

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

## MOŽNOSTI VSTRIKOVACÍHO SYSTÉMU COMMON-RAIL

POSSIBILITIES OF COMMON-RAIL INJECTION SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

TOMÁŠ SMILEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. RADIM DUNDÁLEK, Ph.D.

BRNO 2008

## Anotace

Tomáš Smilek

Možnosti vstřikovacího systému common-rail

BP, Ústav automobilního a dopravního inženýrství, 2008, str. 23, obr. 18, přílohy 0

Bakalářská práce se zabývá vstřikovacím systémem common-rail. Popisuje historii vývoje stejně jako jednotlivé části systému a jejich funkci. Také stanovuje výhody oproti starým způsobům vstřikování.

## Klíčová slova

common-rail, vstřikovač, vysokotlaké čerpadlo, vznětový motor

## Summary

Tomáš Smilek

Possibilities of Common-rail Injection System

BT, Institute of Automotive Engineering, 2008, p. 23, fig. 18, appendices 0

This study's motivation was to describe common-rail injection system. This work describes history of innovation same as the key parts of this system and function each of them. It also declares advantages in confrontation with old way of injection.

## Key words

common-rail, injector, high pressure pump, compression-ignition engine

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma, Možnosti vstřikovacího systému common-rail, vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Květen 2008

.....  
Tomáš Smilek

## Poděkování

Děkuji tímto Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D., za cenné rady a připomínky při vypracování bakalářské práce.

# OBSAH

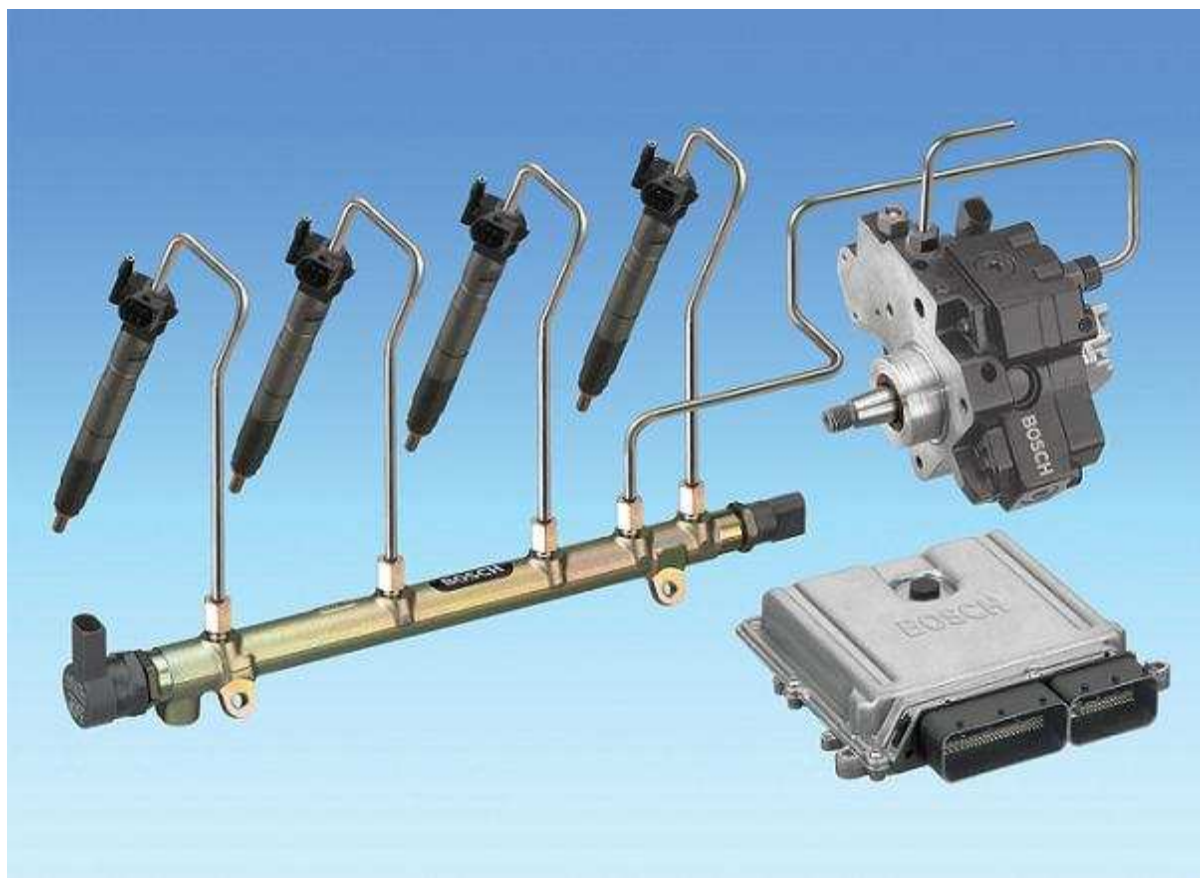
|                                                     |           |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>Úvodní list</b>                                  | <b>1</b>  |
| <b>Zadání závěrečné práce</b>                       | <b>2</b>  |
| <b>Anotace</b>                                      | <b>3</b>  |
| <b>Prohlášení</b>                                   | <b>4</b>  |
| <b>Poděkování</b>                                   | <b>5</b>  |
| <b>OBSAH</b>                                        | <b>6</b>  |
| <b>1 Úvod</b>                                       | <b>7</b>  |
| <b>2 Historie</b>                                   | <b>8</b>  |
| 2.1 Vznik zážehového spalovacího motoru             | 8         |
| 2.2 Vznik vznětového spalovacího motoru             | 8         |
| 2.3 Rozvoj až do současnosti                        | 8         |
| 2.4 Generace vývoje                                 | 9         |
| <b>3 Palivová soustava</b>                          | <b>10</b> |
| 3.1 Palivový systém                                 | 10        |
| 3.2 Dopravní palivové čerpadlo                      | 12        |
| 3.3 Vysokotlaké palivové čerpadlo                   | 12        |
| 3.4 Vysokotlaký zásobník paliva (rail)              | 14        |
| 3.5 Tlakový pojistný ventil                         | 14        |
| 3.6 Omezovač průtoku                                | 14        |
| 3.7 Snímač tlaku paliva                             | 15        |
| 3.8 Regulátor tlaku paliva                          | 16        |
| <b>4 Vstřikovače</b>                                | <b>16</b> |
| 4.1 Vstřikovač ovládaný elektromagneticky           | 16        |
| 4.2 Vstřikovač ovládaný piezoelektricky             | 17        |
| <b>5 Řídící systém s elektronickou regulací EDC</b> | <b>18</b> |
| 5.1 Snímače                                         | 18        |
| 5.1.1 Snímače teploty                               | 18        |
| 5.1.2 Snímač polohy a otáček klikového hřídele      | 19        |
| 5.1.3 Snímač polohy a otáček vačkového hřídele      | 19        |
| 5.1.4 Snímač plnicího tlaku                         | 19        |
| 5.1.5 Měřič hmotnosti nasávaného vzduchu            | 19        |
| 5.2 Řídící jednotka                                 | 20        |
| 5.3 Ovládací členy                                  | 21        |
| 5.3.1 Ovládání škrtící klapky                       | 21        |
| 5.3.2 Elektropneumatické převodníky                 | 21        |
| 5.3.3 Ovládací jednotka žhavení                     | 21        |
| 5.3.4 Regulátor tlaku paliva                        | 21        |
| 5.3.5 Vstřikovače                                   | 21        |
| <b>6 Budoucí rozvoj</b>                             | <b>22</b> |
| <b>7 Závěr</b>                                      | <b>22</b> |
| <b>Seznam použité literatury</b>                    | <b>23</b> |

## 1. Úvod

Za posledních sto let se rozvinul automobilismus do podoby jakou známe dnes. Automobil se stal nedílnou součástí našich životů. Převážnou většinu jich pohání spalovací motor. Přesto že je snahou člověka přejít na alternativní paliva, které jsou ekologické a šetrné k životnímu prostředí, stále je nejrozšířenější klasický motor spalující benzín nebo naftu. I u těchto motorů dochází ale k vývoji, aby splňovali nejnovější emisní normy.

U vznětového spalovacího motoru bylo velkou modernizací, mimo jiné, zavedení vstřikovacího systému s názvem common rail. Do té doby se používal systém čerpadlo-tryska, zde se čerpá nafta do vstřikovacího čerpadla odkud jde pod vyšším tlakem do mechanického vstřikovače, který se tlakem otevře a dojde k vstřiku paliva do válce. Oproti tomu systém common rail pracuje s tlakovým zásobníkem. Tlak v něm je vytvářen nezávisle na otáčkách a vstřikovaném množství paliva. V zásobníku (railu) je palivo připraveno k vstřikování, to řídí elektronická řídicí jednotka. Ta vypočítává okamžik vstřiku a vstřikované množství, které je dáno jeho tlakem a dobou otevření vstřikovací trysky. Trysky jsou ovládány elektrohydraulicky pomocí elektromagnetických ventilů.

Hlavní výhody tohoto druhu vstřikování spočívají ve velmi jemném rozprášení paliva, jeho okamžitém odpaření a vzniku kvalitní směsi se vzduchem. To zajišťují vysoké vstřikovací tlaky (u 1. generace 135MPa, u druhé až 160 MPa). Tím je spalování v motoru ekonomičtější se všemi výhodami z toho plynoucími. Mezi hlavní patří hlavně nižší emise než u předchozích druhů vstřikování a to až o 40% CO, 50% HC a 60% pevných nespálených částic. Snížením měrné spotřeby paliva dochází také k snížení produkce CO<sub>2</sub> až o 20%. Dalšími výhodami jsou tišší a měkčí chod.



Obr. 1.1 – Vstřikovací soustava Common Rail firmy Bosch [6]

## 2. Historie

### 2.1 Vznik zážehového spalovacího motoru

Historie spalovacích motorů se začala psát v roce 1876, kdy německý inženýr **Nicolaus Otto** sestavil první exemplář spalující benzín. Tento motor byl oproti v té době dominujícím parním strojům tišší, menší, lehčí a hlavně účinnější (parní stroje měly účinnost přibližně 12%, dnešní spalovací motory dosahují účinnosti kolem 35%), avšak trvalo ještě několik let aby dosáhl potřebné spolehlivosti. To se podařilo a došlo k jejich velkému rozvoji. Našly uplatnění hlavně v dopravních a mobilních mechanizačních prostředcích (lokomotivy, lodě, ponorky, motorová vozidla, letadla a vrtulníky, stavební a zemědělské stroje, vojenská speciální vozidla, nouzové generátory elektrického proudu atd.).

### 2.2 Vznik vznětového spalovacího motoru

V roce 1897 zkonstruoval **Rudolf Diesel** vysokotlaký spalovací pístový motor se samočinným zážehem, který vyvolalo stlačení vzduchu na 3,5 MPa. Tento typ vysokotlakého motoru, pojmenovaný po svém tvůrci Dieselův motor nebo jednoduše diesel, pracoval na tekuté těžké palivo (hnací olej). K zážehu paliva docházelo po jeho vytrysknutí do spalovací komory od zahřátého vzduchu v důsledku stlačení. V tomtéž roce se mu podařilo motor vylepšit tak, aby využíval tepelnou energii na 26 %, tedy dvakrát účinněji než v té době nejlepší parní stroj. Po dalších úpravách byl jeho motor roku 1900 vyznamenán na světové výstavě v Paříži Velkou cenou. Na základě tohoto úspěchu uzavřely s Dieselem smlouvu kodaňská loděnice. Roku 1911 byla v Kodani spuštěna na vodu loď *Seelandia* se dvěma osmi válcovými čtyřtákními Dieselovými motory, které sloužily spolehlivě až do roku 1942. Vysoké technické přednosti tohoto motoru a také použití nafty jako paliva způsobily jeho rychlé rozšíření v průmyslu a dopravě.



Obr. 2.1 - Stacionární diesel MAN z roku 1906, výkon 12 HP [7]

### 2.3 Rozvoj až do současnosti

Během dvacátých let se začala vyrábět první užitková vozidla s dieselovým motorem, své uplatnění našel také v lodní plavbě a letectví. Dokonce i vzducholodě Zeppelin byly opatřeny dieselovými motory. V roce 1936 byl veřejnosti odhalen první dieselový automobil, a to značky Mercedes typ 260D. Ze začátku byl však považován za exota. I přes jeho úspornost stále platil za hlučný, hrubý a těžkopádný, a to ještě i v sedmdesátých letech. Další větší krok ve vývoji přišel zavedením přímého vstřikovacího systému diesela motoru pro osobní automobily, a to u společnosti Audi. Poté nebyl diesel jen úsporný, ale také se u něj objevila do té doby nečekaná

dynamika. Spolu s tímto vylepšením se otevřel i prostor pro neustálé snižování emisí. Na přelomu tisíciletí již byl boom dieselových motorů v plném proudu. Počet nově přihlášených osobních vozidel s tímto druhem motoru dosahoval téměř 44 procent v roce 2003. Tento trend dále pokračoval a rokem 2005 to již bylo přibližně 50 procent. První sériové použití vstřikovacího systému common-rail zavedly v roce 1997 automobilky Mercedes-Benz a Alfa Romeo, tím došlo k dalšímu pokroku ve snižování emisí a spotřeby a zvyšování účinnosti.

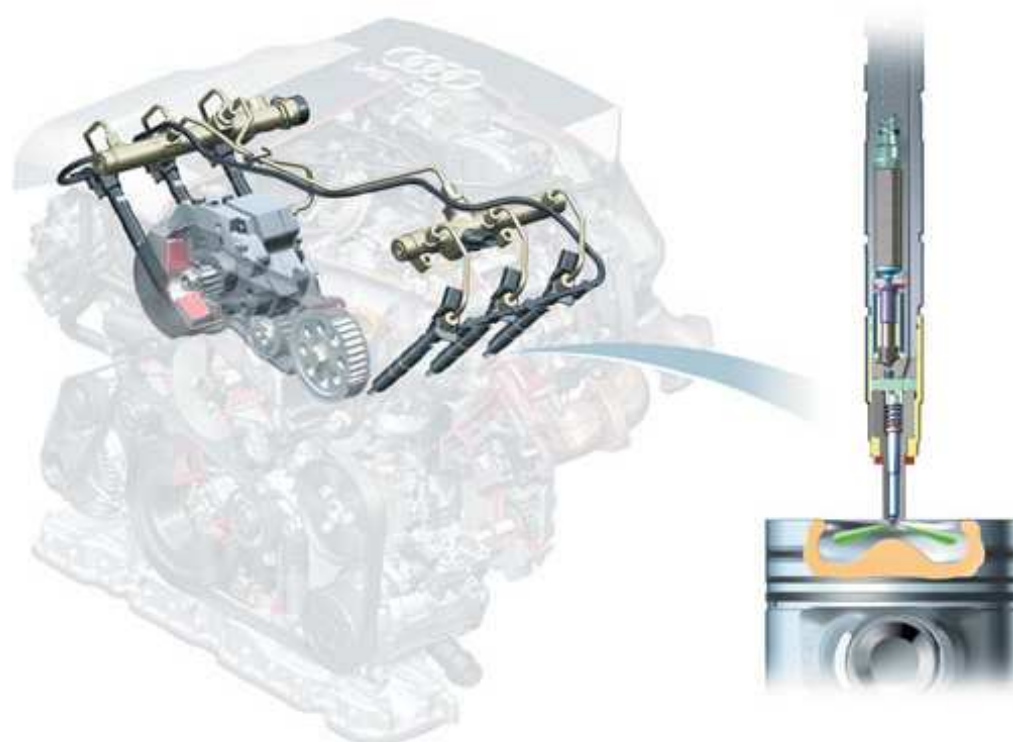
## 2.4 Generace vývoje

Od prvního nástupu vstřikování common rail probíhal vývoj v generacích, které obsahovali inovace. Ta první pracuje s vysokým tlakem dosahujícím až 135 MPa u hlavního vstřiku. Tomu předchází ještě předstřík zanedbatelného množství paliva za účelem předebrání spalovacího prostoru, čímž lze dosáhnout nižší spotřeby.

Druhá generace pracuje na stejném principu, avšak s vyššími vstřikovacími tlaky a to až 160 MPa. Navíc se u ní používá ještě tzv. „dovstřík“ po hlavním vstřiku. Ten stanoví konečné množství spáleného paliva ve válci na jeden pracovní cyklus.

Třetí generace přišla s novým typem vstřikovače, který je ovládán piezoelektricky a také s větším vstřikovacím tlakem až 200 MPa. Díky zvětšení tlaku a elektromagneticky ovládaným vstřikovačům lze palivo daleko lépe a jemněji rozprášit ve válci, tím se zvětšuje účinnost jeho spalování, která přináší vyšší výkon, nižší spotřebu a emise výfukových plynů.

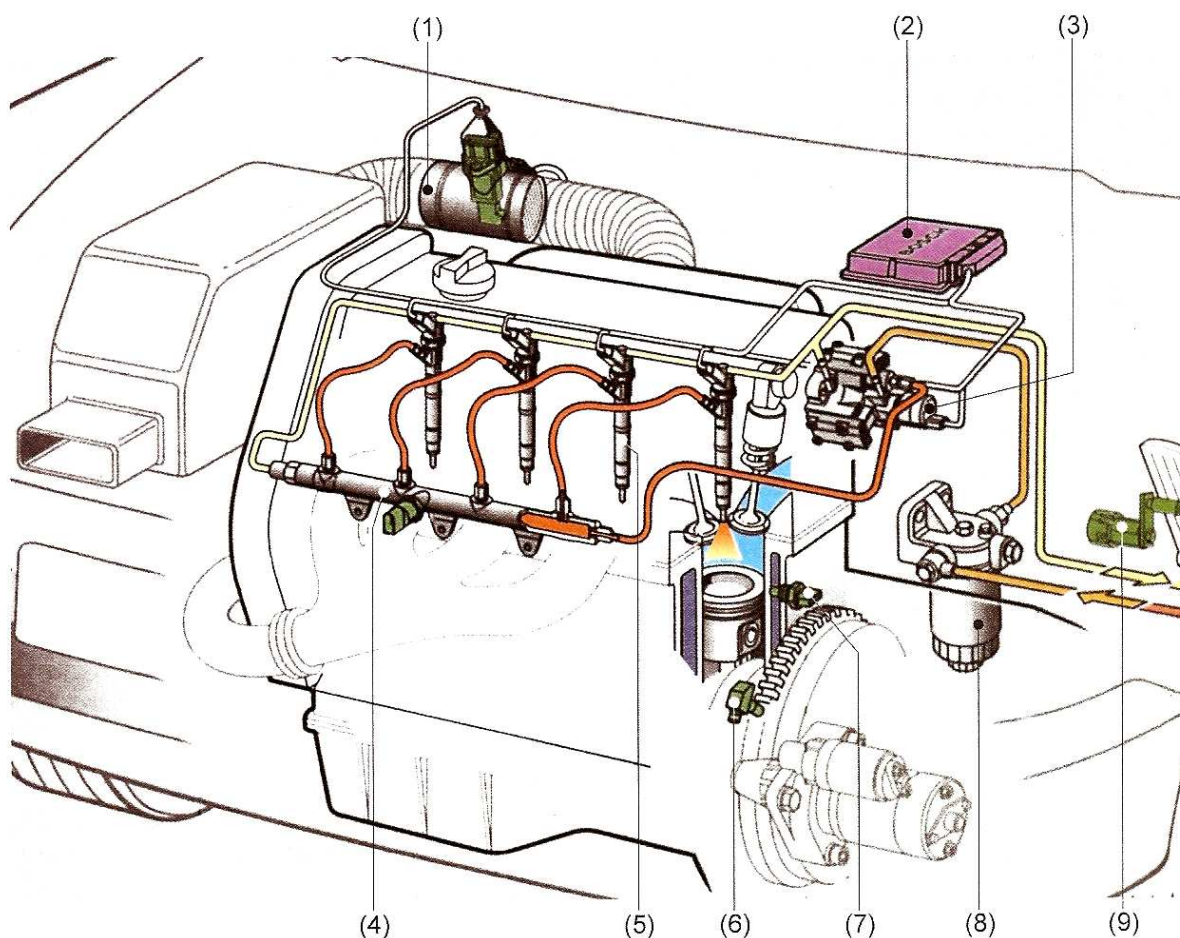
U čtvrté generace chystané na rok 2008 by se měl poprvé objevit hydraulicky zesilující vstřikovač paliva. Tento vstřikovač zesiluje pracovní tlak panující v zásobníku (railu) a umožňuje dosáhnout vstřikovacího tlaku až 250 MPa. To umožňuje pracovat v systému s nižším tlakem nafty, který je snadněji ovladatelný. Potřebný vysoký vstřikovací tlak je vytvářen až ve vstřikovači před samotným vstřikem. U této inovace si konstruktéři především slibují šetrnější spalování a menší tvorbu kysličníku dusíku. Vylepšena je také příprava směsi, to omezuje vznik částic. V poslední řadě lze také pracovat s vícenásobným vstřikem, což přispívá k regeneraci filtrů pevných částic.



Obr. 2.2 – Vstřikovací soustava Common Rail u šestiválcového motoru Audi [6]

## 3 Palivová soustava

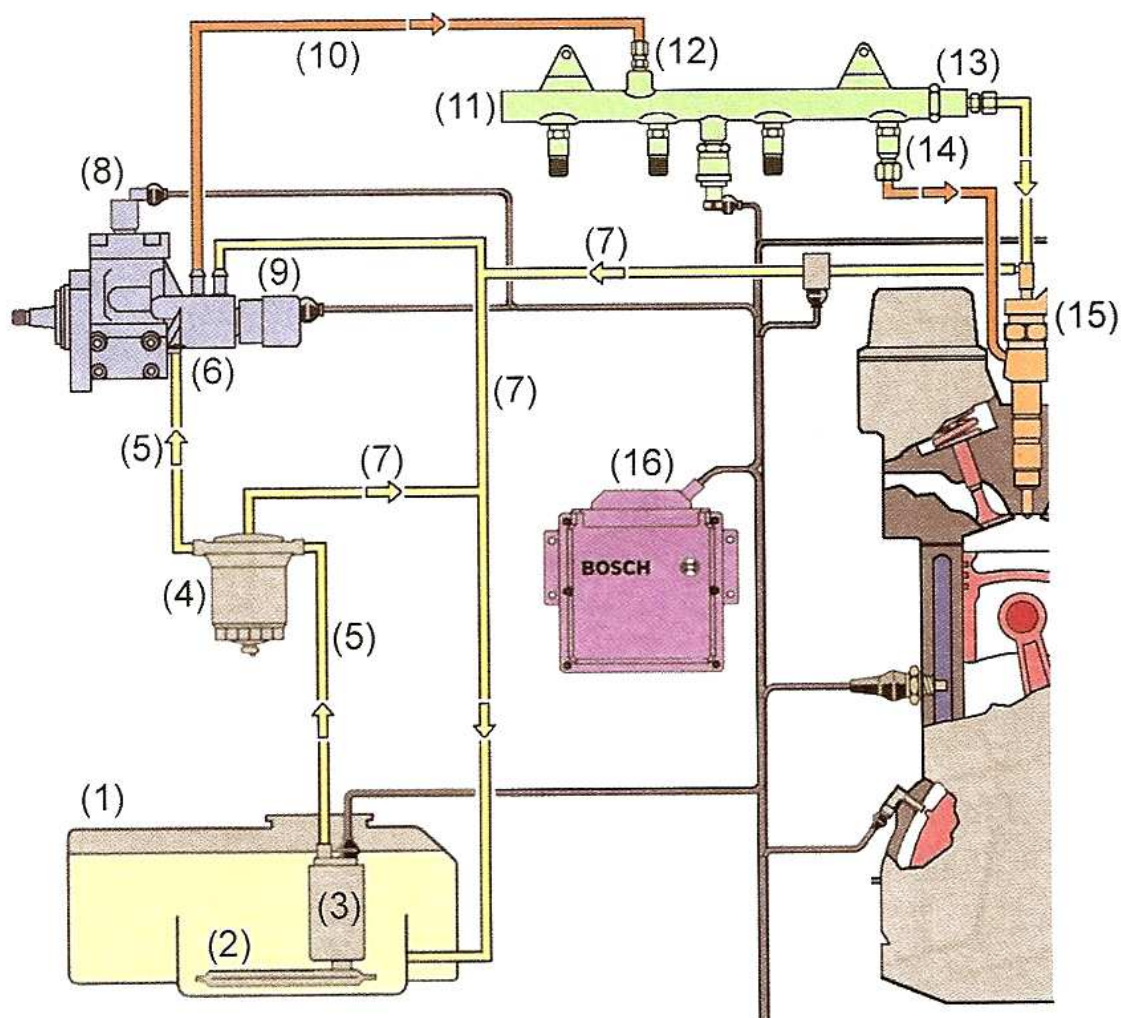
### 3.1 Palivový systém



Obr. 3.1 – Palivová soustava Common Rail od firmy Bosch, umístění na vozidle [4]

- |                                          |                                          |
|------------------------------------------|------------------------------------------|
| (1) – měřič hmotnosti nasávaného vzduchu | (6) – snímač otáček klikového hřídele    |
| (2) – řídicí jednotka                    | (7) – snímač teploty chladicí kapaliny   |
| (3) – vysokotlaké čerpadlo               | (8) – filtr paliva                       |
| (4) – vysokotlaký zásobník               | (9) – snímač polohy akceleračního pedálu |
| (5) – vstřikovač                         |                                          |

Palivový systém vstřikovacího zařízení common rail sestává z nízkotlaké a vysokotlaké části. Ta první zajišťuje čištění a dopravu paliva do vysokotlaké části, v které probíhá následné vlastní vstřikování spolu s odměřováním a rozdělováním paliva k jednotlivým válcům.



Obr. 3.2 – Palivová soustava Common Rail od firmy Bosch [4]

- |                                                   |                                           |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| (1) – palivová nádrž                              | (9) – regulátor tlaku paliva              |
| (2) – sací koš se sítkem                          | (10) – vysokotlaké palivové potrubí       |
| (3) – elektrické dopravní palivové čerpadlo       | (11) – vysokotlaký zásobník paliva (rail) |
| (4) – filtr paliva                                | (12) – snímač tlaku paliva v zásobníku    |
| (5) – nízkotlaké palivové potrubí                 | (13) – pojistný ventil                    |
| (6) – vysokotlaké palivové čerpadlo               | (14) – omezovač průtoku                   |
| (7) – zpětné palivové potrubí                     | (15) – vstřikovač                         |
| (8) – odpojovací ventil pístové jednotky čerpadla | (16) – řídicí jednotka                    |

Nízkotlaká část obsahuje palivovou nádrž (1), sací koš (2) umístěn na dopravním palivovém čerpadle (3), jemný filtr paliva (4), nízkotlaký okruh vysokotlakého čerpadla (6) a zpětné palivové potrubí (7). To vše je propojeno nízkotlakým potrubím (5).

Vysokotlaká část sestává z vysokotlakého čerpadla (6), které obsahuje odpojovací ventil čerpadla (8) a regulátor tlaku paliva (9). Dále pak z vysokotlakého zásobníku paliva – railu (11), snímače tlaku paliva v zásobníku (12), pojistného ventilu (13), omezovače průtoku (14) a jednotlivých vstřikovačů (15). To vše je propojeno vysokotlakým potrubím (10). Celou funkci motoru má na starosti elektronická řídicí jednotka (16).

### 3.2 Dopravní palivové čerpadlo

Účelem tohoto podávacího čerpadla je poskytovat vysokotlakému palivu dostatek paliva. Momentálně jsou používány dva druhy dopravních čerpadel a to elektrické válečkové nebo mechanicky poháněné zubové palivové čerpadlo.

Elektrické válečkové čerpadlo lze nalézt pouze u osobních a lehkých užitkových vozů. Převážně se nachází přímo v nádrži. Jde o výstředně umístěný kotouč ve skříni čerpadla poháněný stejnosměrným elektromotorem. Na obvodě kotouče jsou opatřeny drážky s válečky. Jeho otáčením vzniká odstředivá síla přitlačující válečky k vnitřní straně skříně čerpadla. Palivo je dopravováno v dutinách s válečky.

Zubové čerpadlo se nachází buď přímo ve vysokotlakém čerpadle, kde s ním sdílí pohon, nebo je umístěno na motoru a má vlastní pohon. Regulace množství dopraveného paliva se zajišťuje přepouštěním na výtlačné straně nebo škrcením na straně sací. Dopravované množství paliva je úměrné otáčkám.

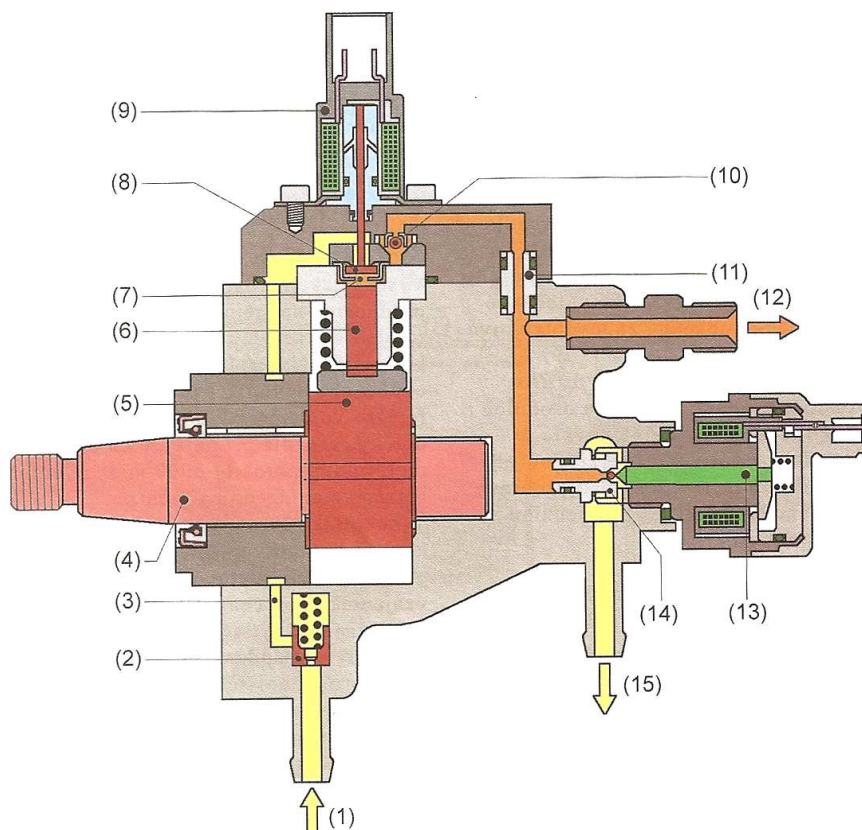
### 3.3 Vysokotlaké palivové čerpadlo

Jeho účel je za všech provozních podmínek vždy dodávat potřebné množství paliva pod vysokým tlakem do zásobníku, tím je v něm vytvořen trvalý systémový tlak. Nachází se na rozhraní nízkotlaké a vysokotlaké části. K motoru je montováno zpravidla na stejné místo jako klasické vstřikovací čerpadlo, o pohon se stará ozubený, řemenový nebo řetězový převod od klikového hřídele motoru. Převod musí zajišťovat maximální otáčky čerpadla  $3000 \text{ min}^{-1}$  při maximálních otáčkách motoru. Chlazení a mazání se zajišťuje přímo protékajícím palivem.

Čerpadlo sestává ze tří základních pístových jednotek (6) pootočených vzájemně o  $120^\circ$ . Každá z těchto jednotek obsahuje sací (8) a výtlačný (10) ventil. Výstředníková vačka (5) je umístěna na hnacím hřídeli čerpadla (4) a ovládá pohyb pístů (6). Točivý pohyb vačky je převáděn na přímočarý vratný pohyb pístu pomocí zdvihátek, přitlačovaných na vačku vinutou pružinou.

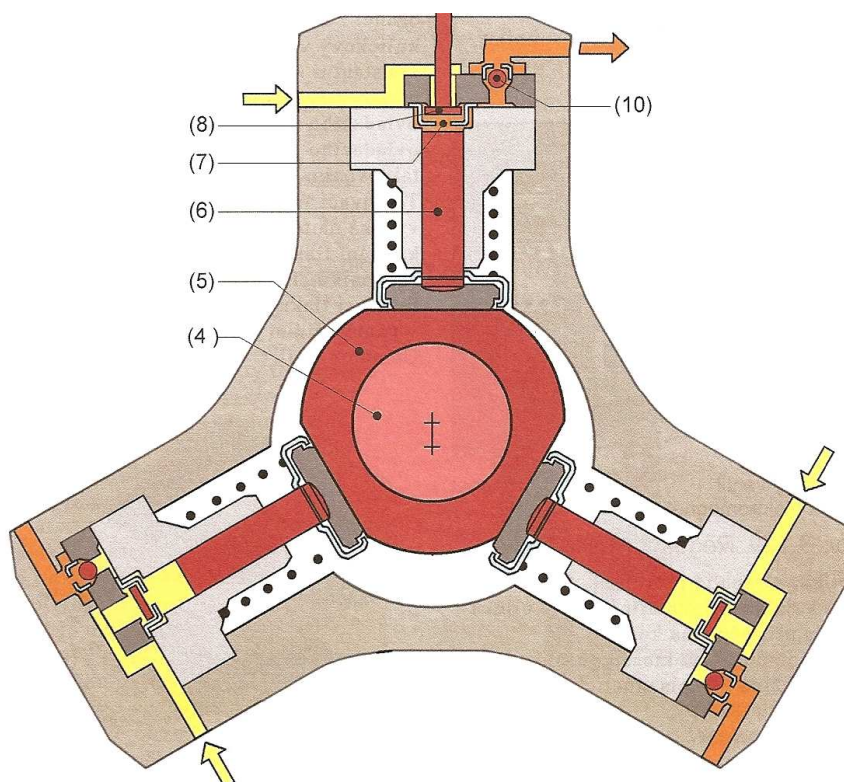
Palivo je z nádrže vytlačováno dopravním nízkotlakým čerpadlem přes jemný filtr k pojistnému ventilu (2). Ten je tvořen pístkem s pružinou a škrtícím otvorem přes který je palivo tlačeno do mazacího a chladicího okruhu čerpadla a k jeho otevření dochází, když je podávací tlak větší než tlak potřebný k jeho otevření. Poté palivo putuje přes sací ventil (8) do prostoru válce (7). Při pohybu pístu čerpadla do horní úvratě (výtlak) se sací ventil uzavře a palivo pokračuje přes výtlačný ventil (10) do zásobníku tlaku přes přípojku (12). Regulátor tlaku paliva (13) nastavuje výtlačný tlak čerpadla v závislosti na aktuálních podmínkách motoru. Přebytečné palivo odtéká kuličkovým ventilem (14) zpět do palivové nádrže.

Čerpadlo se dimenzuje na největší zatížení, kdy je potřeba největší dopravované množství paliva. To však způsobuje, že při běhu naprázdno nebo při malém zatížení je přebytečné palivo odváděno zpět do nádrže, čímž se snižuje účinnost a dochází k jeho ohřevu. Regulace dopravovaného množství se provádí odpojováním pístové jednotky čerpadla odporovacím ventilem (9). Když je potřeba méně paliva elektromagnet ve ventilu drží sací ventil pístové jednotky stále otevřen, tím není palivo stlačeno a není dodáváno pod tlakem do zásobníku. Čerpadlo tak pracuje na dvě pístové jednotky přibližně do dvou třetin maximálního výkonu. Poté se zapojí i třetí a čerpadlo pracuje na plný výkon.



Obr. 3.3 – Vysokotlaké palivové čerpadlo, podélný řez Bosch [4]

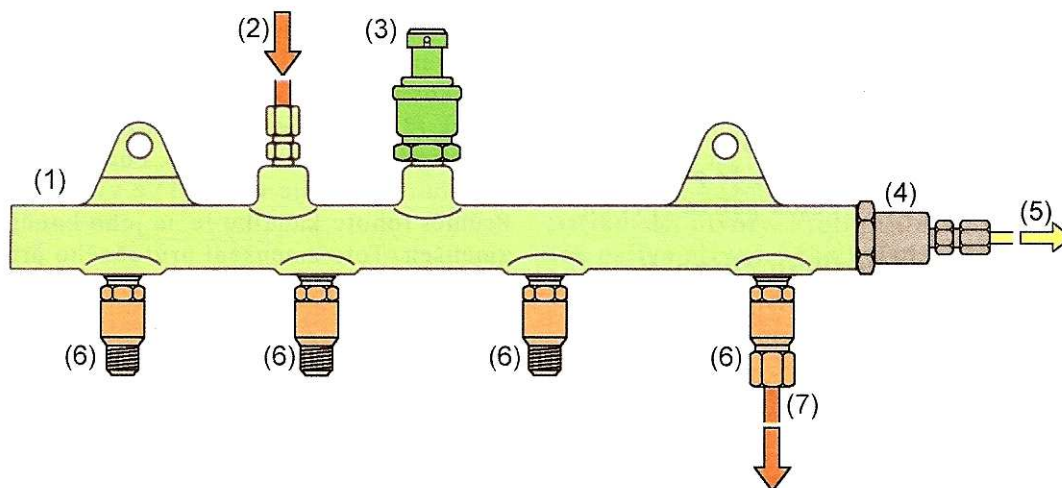
- |                                            |                                           |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------|
| (1) – přívod paliva                        | (9) – odpojovací ventil jednotky čerpadla |
| (2) – pojistný ventil se škrtícím otvorem  | (10) – výtláčný ventil                    |
| (3) – nízkotlaký kanál k jednotce čerpadla | (11) – těsnící vložka                     |
| (4) – hnací hřídel čerpadla                | (12) – vysokotlaká přípojka k railu       |
| (5) – výstředníková vačka                  | (13) – regulátor tlaku paliva             |
| (6) – píst jednotky čerpadla               | (14) – kuličkový ventil                   |
| (7) – prostor ve válci jednotky čerpadla   | (15) – zpětný odvod paliva                |
| (8) – sací ventil                          |                                           |



Obr. 3.4 – Vysokotlaké palivové čerpadlo, příčný řez [4]

### 3.4 Vysokotlaký zásobník paliva (rail)

Funguje jako akumulátor paliva pod vysokým tlakem a zároveň tlumí kolísání (kmitání) tlaku. Zhotovuje se z kované ocele a podle konstrukce motoru a místa pro něj má tvar podélný nebo sférický. Ke kolísání tlaku dochází pracovními pohyby čerpadla a neustálým otevíráním a zavíráním vstřikovačů. Musí mít tedy dostatečný objem k jeho omezení. Nesmí být ale příliš velký, aby se po startu rychle vytvořil potřebný tlak pro chod motoru.

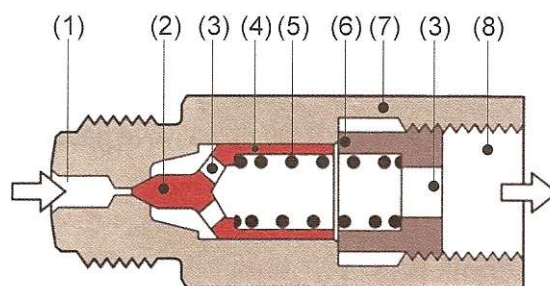


Obr. 3.5 – Vysokotlaký zásobník paliva (rail) [4]

- |                                        |                              |
|----------------------------------------|------------------------------|
| (1) – vysokotlaký zásobník (rail)      | (5) – zpětný odvod paliva    |
| (2) – přívod od vysokotlakého čerpadla | (6) – omezovač průtoku       |
| (3) – snímač tlaku paliva              | (7) – potrubí ke vstřikovači |
| (4) – pojistný ventil                  |                              |

### 3.5 Tlakový pojistný ventil

Při překročení maximálního dovoleného tlaku v zásobníku, který je stanoven tuhostí pružiny (5), se tento ventil otevře působením tlaku paliva na kužel (2). Přebytek paliva tak odtéká přes průtočné otvory zpět do nádrže. Tímto se chrání zařízení proti destrukci vlivem velkého vzrůstu tlaku při funkční poruše.



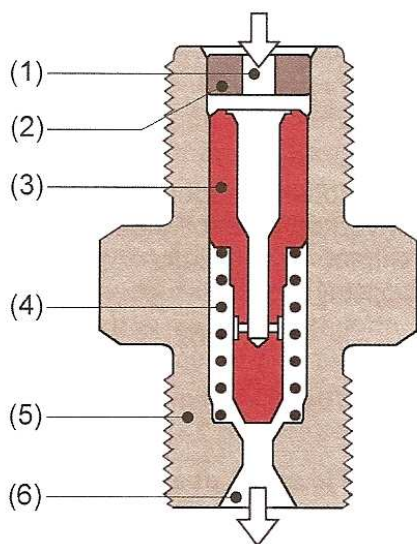
Obr. 3.6 – Tlakový pojistný ventil [4]

- |                        |                           |
|------------------------|---------------------------|
| (1) – přívodní kanálek | (5) – tlačná pružina      |
| (2) – kuželový ventil  | (6) – doraz               |
| (3) – průtočné otvory  | (7) – tělo ventilu        |
| (4) – píst             | (8) – zpětný odvod paliva |

### 3.6 Omezovač průtoku

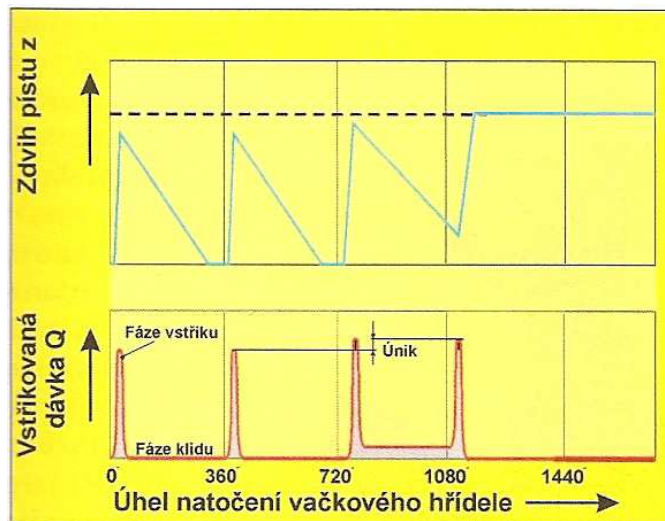
Je namontován na zásobníku a prochází jím palivo k vstřikovači. Každý vstřikovač má vlastní omezovač. V případě poruchy vstřikovače slouží k tomu, aby palivo nepřerušovaně neodtékalo ze zásobníku vadnou tryskou. Když odběr paliva jednoho ze vstřikovačů přesáhne maximální přípustné množství, omezovač jej odstaví až do zastavení motoru.

Základ tvoří kovové pouzdro (5) se dvěma závity, jeden slouží k namontování na zásobník, na druhý se šroubuje vysokotlaké potrubí k vstřikovači. Pístek (3), který se nachází uvnitř, je přitlačován pružinou (4) směrem k zásobníku paliva. Ta se svou silou snaží udržet kanálek otevřený. Při práci vstřikovače dochází k poklesu tlaku, čímž dojde k posunu pístku směrem k výstupu, nedojde však k úplnému uzavření. Při správné funkci vstřikovače trvá pokles tlaku jen malou chvíli a pružina tak vrátí pístek do původní polohy. V případě poruchy s velkým odběrem paliva trvá pokles tlaku tak dlouho že překoná sílu pružiny a pístek dosedne do sedla na straně výstupu a v této poloze zůstane až do zastavení motoru. Tím se uzavře přívod paliva k vadnému vstřikovači. V případě poruchy s malým únikem paliva se pístek nevrací úplně do své výchozí polohy, tudíž po několika vstřicích dosedne až do sedla a odstaví tím vstřikovač opět do vypnutí motoru. Funkce omezovače je znázorněna na obr. 3.8.



Obr. 3.7 – Omezovač průtoku [4]

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



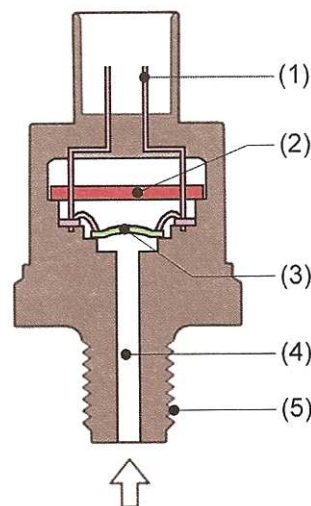
Obr. 3.8 – Funkce omezovače průtoku při normálním režimu a při malém úniku [4]

### 3.7 Snímač tlaku paliva

Používá se pro přesné stanovení okamžitého tlaku v zásobníku. Velikosti snímaného tlaku přísluší napěťový signál, který se poskytuje řídicí jednotce k vyhodnocování.

Na konci přívodního kanálu (4) se nachází membrána (3), na kterou tlačí přiváděné palivo. Na membráně je umístěn polovodičový prvek jako snímací člen. Ten mění deformaci na elektrický signál a ten je dále zesílen vyhodnocovacím obvodem (2) a posílán do řídicí jednotky přes přípojku (1).

Když membrána mění svůj tvar působením tlaku (podle firmy Bosch je průhyb asi 1 mm při tlaku 150 MPa), mění se její vnitřní odpor a tím se změní i napětí v obvodě. Toto napětí ležící mezi 0 až 70 mV je zesilováno vyhodnocovacím obvodem na 0,5 až 4,5 V. Napájení snímače je 5V.



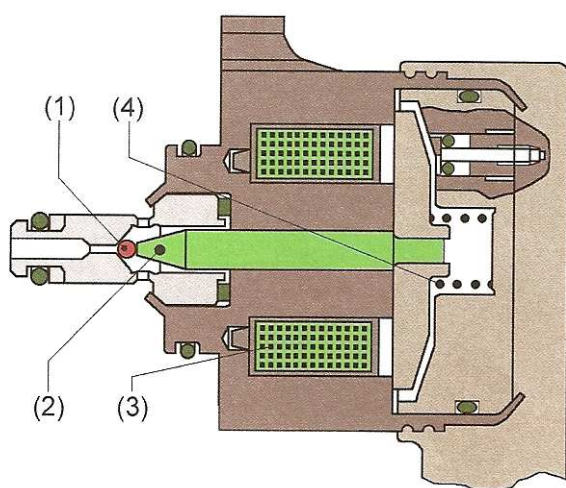
3.9 – Snímač tlaku paliva [4]

- |                                   |
|-----------------------------------|
| (1) – elektrická přípojka         |
| (2) – vyhodnocovací obvod         |
| (3) – membrána se snímacím prvkem |
| (4) – vysokotlaké připojení       |
| (5) – upevňovací závit            |

### 3.8 Regulátor tlaku paliva

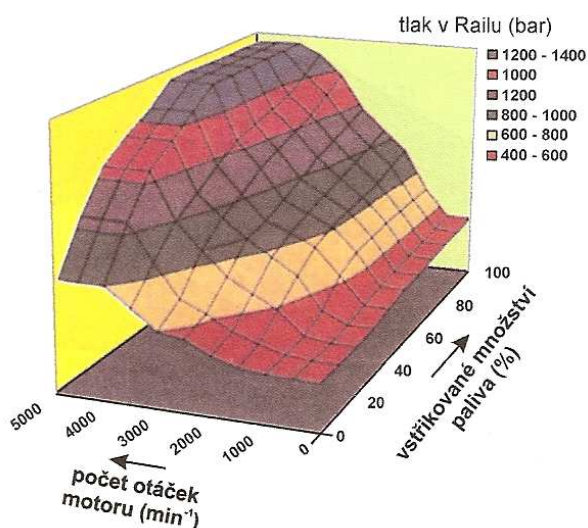
V zásobníku je třeba stále udržovat potřebný tlak za různých pracovních podmínek. Když je zapotřebí nižší tlak paliva, v regulátoru se otevře ventil a přebytečné palivo putuje zpětným potrubím do palivové nádrže. Poklesne-li tlak v zásobníku, ventil se uzavře a čerpadlo pracuje na plný výkon. Regulátor se umísťuje buď na vysokotlaké čerpadlo nebo na zásobník paliva. Vysokotlakou část dělí od nízkotlaké kuličkový ventil (1).

Při nečinnosti regulátoru neprochází vynutím elektromagnetu žádný proud, tudíž je kulička ventilu do sedla přitlačována jen silou pružiny, ta má tuhost odpovídající tlaku asi 10 MPa, což je otevírací tlak paliva. Pro zvýšení tlaku se regulátor aktivuje a tlak paliva pomáhá překonávat navíc i elektromagnet, který je silný podle potřebného tlaku v okruhu. Pro změnu tlaku se elektromagnet buď zesiluje nebo zeslabuje a tím je kulička buď víc nebo méně tlačena do sedla ventilu. Paměť řídicí jednotky common rail obsahuje trojrozměrné datové pole pro regulaci tlaku paliva.



Obr. 3.10 – Regulátor tlaku paliva [4]

- |                            |                     |
|----------------------------|---------------------|
| (1) – kuličkový ventil     | (3) – elektromagnet |
| (2) – kotva elektromagnetu | (4) – pružina       |



Obr. 3.11 – Trojrozměrné datové pole pro regulaci tlaku v zásobníku [4]

## 4 Vstřikovače

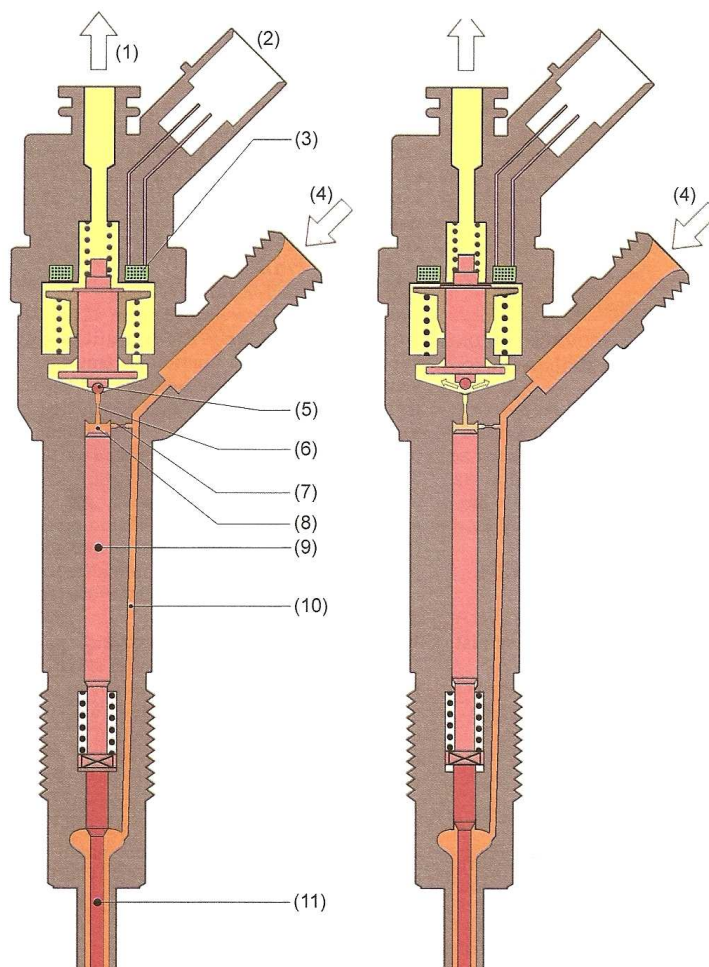
Výhodou systému common rail je přesné a rychlé dávkování paliva do spalovacího prostoru a to díky moderním vstřikovačům. Ty jsou ovládány elektromagneticky nebo piezoelektricky. Řídicí jednotka podává do vstřikovače signál k zahájení vstřiku a jeho délce, tím se stanoví dávka paliva pro jeden pracovní cyklus válce. Ovládací ventily uvnitř vstřikovačů mají velmi malé pohyblivé hmotnosti, tím je dosaženo velmi rychlých spínacích časů a to přibližně 0,3 ms. Díky tomu má systém velmi rychlou reakci na změny provozních stavů motoru. Do hlavy válců jsou vstřikovače montovány pomocí upínacích přílohek a jsou tudíž vhodné pro zástavbu do klasických vznětových motorů bez nutných větších úprav.

### 4.1 Vstřikovač ovládaný elektromagneticky

Tvoří jej tři funkční celky a to vstřikovací tryška, hydraulický ovládací systém a elektromagnetický ventil. Palivo z vysokotlaké přípojky (4) putuje do ovládacího prostoru (8) přes přívodní škrťací trysku (7) a zároveň k jehle trysky (11) přívodním

kanálem (10). Ovládací prostor je spojen se zpětným odvodem paliva (1) pomocí odtokové škrťací trysky (6) a kuličkového ventilu (5). Jehlu trysky (11) tlačí do sedla pružina a tlak paliva v ovládacím prostoru. Proti těmto přitlačným silám působí tlak paliva na nadzvedací kuželovou plochu trysky.

V klidové poloze kdy je vstřikovač uzavřen je tlak v ovládacím prostoru nad tryskou stejný jako tlak působící na nadzvedací kuželovou plochu trysky. Pružina působící na trysku tak spolu s tlakem působícím nad ní drží trysku v jejím sedle a nedochází ke vstřikování. Pro jeho začátek se do elektromagnetického ventilu (3) přivede otevírací proud (asi 20 A). To způsobí otevření kuličkového ventilu (5) a tlak v ovládacím prostoru (8) začne klesat. Jelikož na nadzvedací plochu trysky působí stále stejný tlak (jako v zásobníku) a naproti tomu tlak v ovládacím prostoru klesá, neudrží ji již spolu s pružinou v sedle a tryska se otevře. Pokles tlaku v ovládacím prostoru je způsoben menším průměrem přívodní škrťací trysky (7) než je průměr odtokové škrťací trysky (6). Tím více paliva uniká zpětným odvodem (1) než přitéká do ovládacího prostoru. Jakmile je tryska otevřena proud v elektromagnetu se změní na udržovací (asi 12 A). Pro konec vstřikování se proud přeruší a kuličkový ventil (5) se uzavře. Poté dojde k růstu tlaku v ovládacím prostoru a ten s pomocí pružiny přetlačí tlak působící na nadzvedací plochu trysky. Díky tomu se tryska opět uzavře.



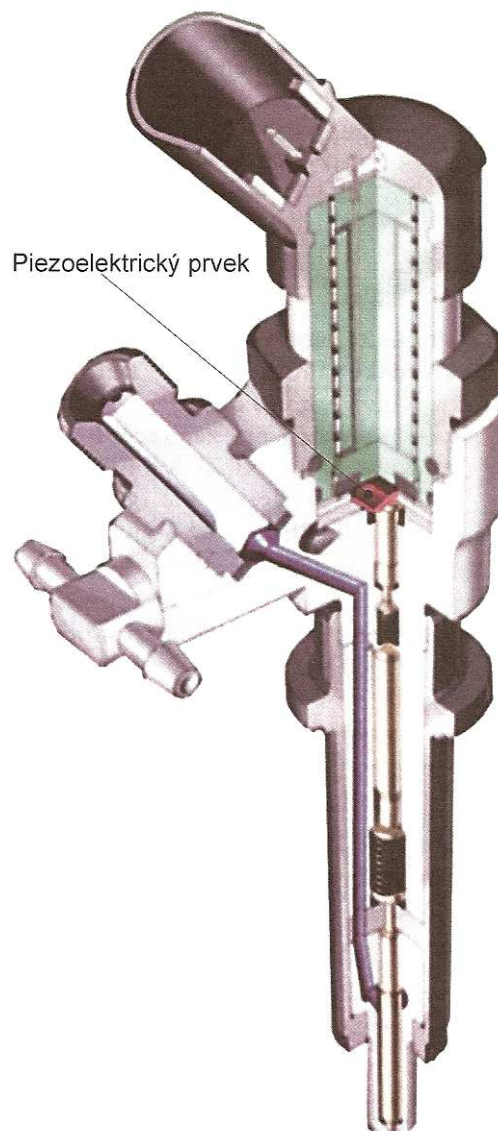
Obr. 4.1 – Vstřikovač ovládaný elektromagneticky (Bosch) [4]

- |                                          |                               |
|------------------------------------------|-------------------------------|
| (1) – zpětný odvod paliva                | (7) – přívodní škrťací tryska |
| (2) – elektrická přípojka                | (8) – ovládací prostor        |
| (3) – elektromagnetický ventil           | (9) – ovládací pístek         |
| (4) – přívod paliva ze zásobníku (railu) | (10) – přívodní kanálek       |
| (5) – kuličkový ventil                   | (11) – jehla trysky           |
| (6) – odtoková škrťací tryska            |                               |

## 4.2 Vstřikovač ovládaný piezoelektricky

Tento vstřikovač pracuje na bázi piezoelektrického jevu, který byl objeven již roku 1880 bratry Pierre a Jacques Curie. Ti zjistili že působením tlaku na krystal (např. křemene) se v něm vyvolá napětí. To je způsobeno deformací pravidelné krystalové mřížky s kladně a záporně nabitými ionty, změna jejich polohy způsobuje proudový impuls. Ukázalo se však že tento jev pracuje i obráceně. Přivede-li se na krystal elektrické napětí, dochází k jeho rychlé deformaci. Tato deformace je využívá pro otevírání trysky ve vstřikovači.

Piezoelektrický prvek je vyroben asi z 400 velmi tenkých keramických fólií, poskládaných do válce o výšce asi 30 mm (u firmy Siemens VDO). Při přivedení 150 V na tento prvek dojde k jeho prodloužení přibližně o 0,04 mm. Tento zdvih se dále převádí mechanicky pomocí pístků a pružinek na konečných asi 0,08 mm. Ačkoliv je to poměrně malý zdvih, plně dostačuje k otevření vstřikovací trysky. Tento způsob má spoustu výhod oproti běžným vstřikovačům common rail. Umožňuje velice přesně dávkovat vstřikovanou dávku a to i velmi malé množství jako  $1 \text{ mm}^3$ . Dále má velmi krátkou dobu sepnutí a to 0,1 s, což je čtyřikrát rychleji. To umožňuje rozdělit vstřikovanou dávku až na 7 samostatných vstřiků, což má příznivý vliv na snížení tvrdosti chodu motoru, mechanického zatížení a emisí výfukových plynů.



Obr. 4.2 – Vstřikovač ovládaný piezoelektricky (Siemens VDO) [4]

## 5 Řídicí systém s elektronickou regulací EDC

Tato regulace se dá rozdělit na tři části. Snímače, řídicí jednotka a ovládací členy. Snímače zachycují fyzikální veličiny při chodu motoru, ty různě převádí na elektrický signál který dále poskytují řídicí jednotce k zpracování. Ta provádí výpočty na základě daných matematických algoritmů a výsledky posílá na výstup. Odtud putují do jednotlivých ovládacích členů které zpětně převádí elektrický signál na mechanickou práci (např. uzavírání a otevírání ventilu).

### 5.1 Snímače

#### 5.1.1 Snímače teploty

Používají se pro měření teploty motoru z teploty chladící směsi (Obr. 5.2, poz 16), teploty plnicího vzduchu v sacím potrubí (Obr. 5.2, poz 19), teploty motorového oleje v mazacím systému a teploty paliva v palivovém potrubí. U těchto snímačů se s vzrůstající teplotou zmenšuje elektrický odpor. Je napájen napětím 5 V, změnou odporu se toto napětí změní a poté se převede pomocí analogově - digitálního převodníku na digitální signál. Tento signál zpracovává řídicí jednotka, která k jeho každé hodnotě přiřazuje odpovídající teplotu podle charakteristiky v ní uložené.

### 5.1.2 Snímač polohy a otáček klikového hřídele

O stanovení těchto veličin se stará indukční snímač umístěný na klikovém hřídeli (Obr. 5.2, poz. 17). Stanovuje jak jeho polohu, která je důležitá pro určení začátku vstřiku, tak jeho otáčky, což je počet otočení za jednu minutu. Snímač dodává indukční signál do řídicí jednotky, která tyto veličiny potřebné pro další výpočty stanovuje.

### 5.1.3 Snímač polohy a otáček vačkového hřídele

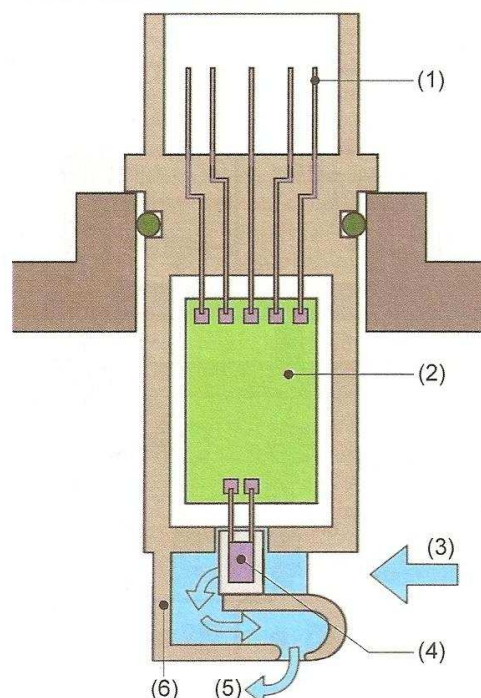
Tento snímač pomocí vačkového hřídele stanovuje při pouštění motoru zda se píst při pohybu do horní úvratě nachází v kompresním nebo výfukovém zdvihu. To právě při startu nemusí být patrné ze snímače polohy klikového hřídele, avšak při běhu motoru jsou již informace získávané z tohoto snímače dostatečné. Díky tomu i při výpadku snímače na vačkovém hřídeli zná řídicí jednotka stále polohu pístů a jaký zdvih konají. Obvykle se používá tzv. Hallův snímač (Obr. 5.2, poz. 18).

### 5.1.4. Snímač plnicího tlaku

Pro určování plnicího tlaku se používá snímač umístěný na sacím potrubí (Obr. 5.2, poz. 20). Ten snímá tlak 50 kPa až 300 kPa a tvoří jej snímací a vyhodnocovací část. Ta první se skládá z membrány uzavírající prostor s přesně stanoveným objemem a vnitřním tlakem. Z vnější strany na ni působí měřený sací tlak v potrubí. Podle jeho velikosti se membrána deformuje a tato deformace se převádí na „piezorezistivní“ prvky, na kterých dochází k změně procházejícího napětí. Toto napětí určuje velikost plnicího tlaku. Pro další zpracování se pomocí vyhodnocovacího obvodu upravuje. Kompenzuje se vliv teploty a linearizuje se charakteristika. Po úpravě je signál poskytován do řídicí jednotky která mu přiřadí přesnou hodnotu tlaku, s kterou dále pracuje.

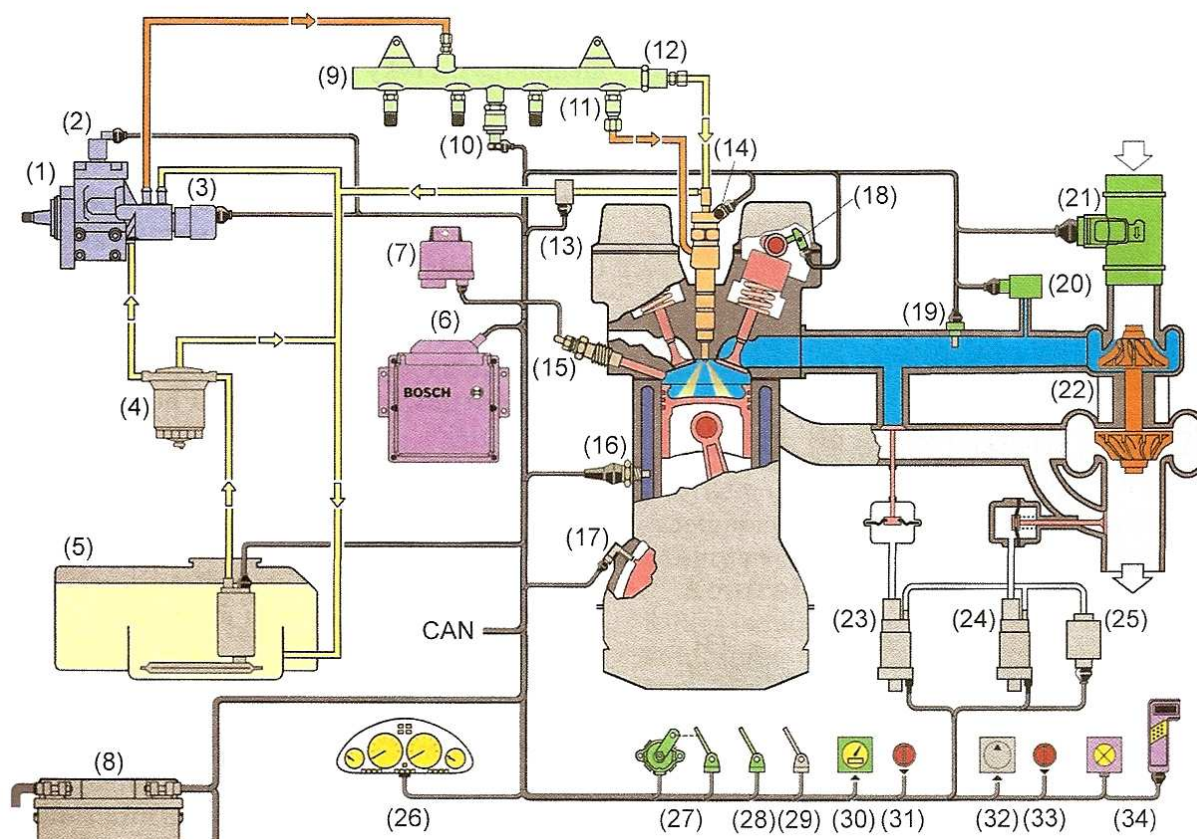
### 5.1.5 Měřič hmotnosti nasávaného vzduchu

Pro dosažení zákonem daných emisních norem je velmi důležité za všech pracovních režimů dodržet co nejideálnějšího poměru paliva se vzduchem. Ten se stanovuje ze vstřikované dávky a množství nasávaného vzduchu. Množství paliva v dávce určuje řídicí jednotka podle délky vstřiku a jeho tlaku. Množství nasávaného vzduchu se stanovuje v sacím potrubí pomocí měřiče hmotnosti nasávaného vzduchu (Obr. 5.2, poz 21). Tvoří jej keramická destička s vyhřívaným filmem, tu ochlazuje proudící vzduch kolem ní. Přesnost měření nesmí být ovlivněna recirkulací spalin, variabilním časováním vačkového hřídele ani změnami teploty nasávaného vzduchu.



Obr. 5.1 – Měřič hmotnosti nasávaného vzduchu [4]

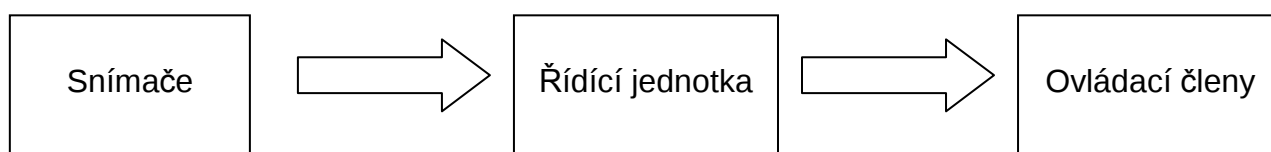
- |                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| (1) – elektrická přípojka | (4) – keramická destička |
| (2) – vyhodnocovací obvod | (5) – výstup vzduchu     |
| (3) – vstup vzduchu       | (6) – pouzdro            |



Obr. 5.2 – Řídicí systém vstřikování Common Rail (Bosch) [4]

- |                                                 |                                                        |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| (1) – vysokotlaké čerpadlo                      | (19) – snímač teploty plnicího vzduchu                 |
| (2) – odpojovací ventil čerpadla                | (20) – snímač plnicího tlaku                           |
| (3) – regulátor tlaku paliva                    | (21) – měřič hmotnosti nasávaného vzduchu              |
| (4) – palivový filtr                            | (22) – turbodmychadlo                                  |
| (5) – palivová nádrž s palivovým čerpadlem      | (23) – elektropneumatický převodník recirkulace spalin |
| (6) – řídicí jednotka motoru                    | (24) – regulace plnicího tlaku turbodmychadla          |
| (7) – ovládací jednotka žhavení                 | (25) – podtlakové čerpadlo                             |
| (8) – akumulátor                                | (26) – přístrojová deska                               |
| (9) – vysokotlaký zásobník paliva (rail)        | (27) – snímač polohy akceleračního pedálu              |
| (10) – snímač tlaku paliva                      | (28) – spínač brzdového pedálu                         |
| (11) – omezovač průtoku paliva                  | (29) – spínač spojkového pedálu                        |
| (12) – pojistný ventil                          | (30) – snímač rychlosti vozidla                        |
| (13) – snímač teploty paliva                    | (31) – ovládání tempomatu                              |
| (14) – vstřikovač                               | (32) – kompresor klimatizace                           |
| (15) – žhavicí svíčka                           | (33) – ovládání klimatizace                            |
| (16) – snímač teploty chladící kapaliny         | (34) – diagnostická kontrolka a zásuvka                |
| (17) – snímač polohy a otáček klikového hřídele |                                                        |
| (18) – snímač polohy a otáček vačkového hřídele |                                                        |

## 5.2. Řídicí jednotka



Řídicí jednotka je umístěna mezi snímači a ovládacími členy. Signály ze snímačů putují do řídicí jednotky, ta je všechny vyhodnocuje a na výstup posílá

signály k regulaci různých součástí. Tyto signály se dostávají do ovládacích členů, které toto realizují.

Umisťuje se v kovovém pouzdře. Všechny snímače a ovládací členy jsou k ní připojeny pomocí vícepólového konektoru. Pouzdro může být jak neutěsněné, tak utěsněné.

Řídící jednotka je tvořena mikroprocesory, které provádějí výpočty. Ze vstupních dat a uložených datových polí určují kdy a jak dlouho má trvat vstřik paliva. Jednotlivé doby se přizpůsobují pracovním režimům motoru a jsou převáděny na signál, který má časový průběh. Tyto operace jsou náročné na výpočetní výkon. Výstupní signály aktivují ovládací členy jako je regulace tlaku paliva v zásobníku, odpojování vysokotlakého čerpadla, recirkulace výfukových plynů, relé palivového čerpadla, atd. Dále ovládá vedlejší zařízení jako ventilátor topení, žhavení, klimatizaci, atd. Vše je třeba chránit proti zkratu a elektrickému přetížení. Všechny případné závady jsou hlášeny zpět do řídicí jednotky. Ta má i vlastní diagnostické funkce, které rozpoznají špatný průběh signálu, např. u vstřikovačů.

### **5.3 Ovládací členy**

#### **5.3.1 Ovládání škrtící klapky**

Umisťuje se do sacího potrubí jako u benzínových motorů, má však jinou funkci. Díky ní se dosahuje zlepšení recirkulace výfukových plynů a to tak že snižuje přetlak v plnicím potrubí. Přiškrtní-li se klapka, potom se zpětně nasává více výfukových plynů a méně čistého vzduchu. Aktivuje jen v nízkých otáčkách a při malém zatížení motoru.

#### **5.3.2 Elektropneumatické převodníky**

Jde o ventily a klapky (Obr. 5.2, poz. 23,24), které jsou ovládány mechanicko – pneumaticky tlakem a pod tlakem. Řídící jednotka vytvoří signál který se v těchto převodnicích změní na tlak nebo podtlak. Ten poté ovládá ventily a klapky, např. klapku regulace plnicího tlaku nebo ovládání recirkulace výfukových plynů.

#### **5.3.3 Ovládací jednotka žhavení**

Žhaviče slouží k zahřátí spalovacího prostoru studeného motoru. To je důležité pro lepší start a nižší emise v průběhu zahřívání motoru. Hlavní údaj pro stanovení žhavení při spuštění motoru je teplota chladící kapaliny. Při běhu se vyhodnocují ještě další údaje jako otáčky motoru a množství vstřikovaného paliva. Podle nich se určuje zda má probíhat žhavení a na jak dlouho. O ovládání doby žhavení se stará výkonové relé.

#### **5.3.4 Regulátor tlaku paliva**

Ovládá velikost tlaku paliva v zásobníku, tu určuje řídicí jednotka. Na Obr. 5.2 je umístěn na vysokotlakém čerpadle (Obr. 5.2, poz. 3). Další popis viz. kapitola 3.8.

#### **5.3.5 Vstřikovače**

Určují přesné množství paliva pro pracovní cyklus. Jsou ovládány řídicí jednotkou a na obr. 5.2 jsou umístěny v hlavě válců (Obr. 5.2, poz. 14). Podrobný popis byl proveden v kapitole 4.

## 5.4 Diagnostika

Řídící jednotka má svou vlastní diagnostiku, která hlídá u snímačů jejich správnou funkci (např. teplota chladící kapaliny by měla být v rozmezí  $-40^{\circ}\text{C}$  až  $150^{\circ}\text{C}$ , v jiných případech se jedná o poruchu). Důležité signály mohou být zdvojeny a v případě poruchy lze přepnout na náhradní podobný signál. Řídící jednotka obsahuje také kontrolní modul, který ji kontroluje. V případě rozpoznání závady může nezávisle na ní zasáhnout. Chyba snímače je stanovena když chybný signál trvá určitou dobu, pak je tato chyba uložena v řídící jednotce, spolu s provozními podmínkami (teplota motoru, otáčky, atd.). V případě závady některého z důležitých snímačů jej dokáže řídící jednotka nahradit nouzovým signálem. Toto lze provést např. u napětí akumulátoru, teploty chladící kapaliny, vzduchu a oleje, plnicího tlaku, atmosférického tlaku a hmotnosti nasávaného vzduchu.

## 6 Budoucí rozvoj

Vstřikovací systém common rail se bude i nadále rozvíjet a to zejména ve zlepšování účinnosti. K tomu bude přispívat zpřesňování začátku a délky vstřiků, čímž dojde ke snížení spotřeby paliva a emisí. To jsou v dnešní době jedny z nejdůležitějších priorit. Naftové motory jsou již dnes velice úsporné, ale i přesto je třeba jít neustále dopředu směrem k ekonomickým, ekologickým obnovitelným zdrojům. Tato cesta je velice dlouhá a na jejím konci by měl stát vodík jako zdroj levné a ekologické energie. Než se k němu ale dostaneme a jeho výroba bude levná, je zde několik mezikroků. Mezi ně patří bionafta, zemní plyn a hlavně hybridní motory, kombinující spalovací motor s elektromotorem. V dnešní době již jezdí po světě spousta těchto automobilů. Tyto hybridy jsou ale většinou poháněny benzínovým motorem s elektromotorem, ten by dle mého názoru měl být nahrazen vznětovým motorem, který je ekonomičtější a má větší účinnost. Proto je důležitý další rozvoj systému common rail jako zlepšování vlastností vznětového motoru. Díky tomu se ještě více zlepší kvalita hybridního pohonu jako celku.

## 7 Závěr

Touto prací jsem chtěl vysvětlit funkci systému common rail a jeho uplatnění spolu s historií jeho rozvoje až do současnosti, stavbu jednotlivých komponentů a jejich funkci. Při psaní jsem čerpal jak z odborných publikací, tak i z článků veřejnosti a internetových stránek přímo výrobců, hlavně firmy Bosch. Příchod vstřikovacího systému common rail vidím jako důležitý krok v rozvoji vznětového spalovacího motoru, který až do roku 1997 pracoval na stejném principu vstřikování čerpadlo – tryska. S jeho příchodem se stal diesel tišší, výkonnější, úspornější a hlavně ekologičtější ve spojení s moderními filtry pevných částic.

## Seznam použité literatury

- [1] Vlk, F. : Příslušenství vozidlových motorů, Brno 2002
- [2] Vlk, F. : Vozidlové spalovací motory, Brno 2003
- [3] Jan Z., Ždánský B. : Automobily 3: Motory; Třetí vydání, Brno 2004
- [4] Jan Z., Ždánský B. : Automobily 4: Příslušenství; Druhé vydání, Brno 2003
- [5] Ferenc B. : Spalovací motory; První vydání, Praha Computer press 2004
- [6] *Diesel systems*, [online]. Dostupné z:  
< <http://www.bosch.com/content/language2/html/3324.htm> >
- [7] *Vznětový motor*, [online]. Dostupné z:  
< [http://cs.wikipedia.org/wiki/Vzn%C4%9Btov%C3%BD\\_motor](http://cs.wikipedia.org/wiki/Vzn%C4%9Btov%C3%BD_motor) >
- [8] Šikl P., *TÉMA: O motorech typu Common Rail*, [online]. Dostupné z:  
< [http://www.auto2.lidovky.cz/clanek\\_lidovky.php?id\\_clanek=1377](http://www.auto2.lidovky.cz/clanek_lidovky.php?id_clanek=1377) >
- [9] Common Rail, [online]. Dostupné z:  
< [http://cs.wikipedia.org/wiki/Common\\_rail](http://cs.wikipedia.org/wiki/Common_rail) >