

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA  
V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA

Katedra vozidel a pozemní dopravy



**Vývoj palivových soustav vznětových motorů**

**Bakalářská práce**

**Vedoucí práce: Ing. Petr Miler**

**Autor práce: Štěpán Janda**

Praha 2012

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Akademický rok 2009/2010

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Štěpán Janda**

obor Silniční a městská automobilová doprava

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze  
čl. 16 určuje tuto bakalářskou práci.

Název práce: **Vývoj palivových soustav vznětových motorů**

## Osnova bakalářské práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Přehled palivových soustav vznětových motorů
4. Popis činnosti moderních palivových soustav
5. Závěr
6. Seznam literatury
7. Přílohy

Rozsah hlavní textové části: 30 - 40 stran

Doporučené zdroje:

1. BAUMRUK, P.: Příslušenství spalovacích motorů, ČVUT Praha, 1996, ISBN 80-01-02062-2
2. KAMEŠ, J.: Spalovací motory. Česká zemědělská univerzita, Praha, 2002. ISBN 80-213-0895-8
3. MACEK, J.: Spalovací motory I, ČVUT Praha, 2007, ISBN 978-80-01-03618-1
4. VLK, F.: Vozidlové spalovací motory. Nakladatelství a zasilatelství Vlk, Brno, 2002. ISBN 80-238-8756-4
5. Technická příručka Bosch - Řízení vznětových motorů – Systém vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory, Praha, 2005, ISBN 80-903132-7-2
6. Technická příručka Bosch - Řízení vznětových motorů – Elektronická regulace vznětových motorů EDC, Praha, 2002, ISBN 80-903132-4-8

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Miler**

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2011

  
.....  
Vedoucí katedry



  
.....  
Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

---

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Vývoj palivových soustav vznětových motorů“ vypracoval samostatně a použil výhradně pramenů, jež cituji a uvádím v seznamu literatury.

V Praze, dne

.....

Štěpán Janda

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Petru Milerovi, Ph. D. za přínosné připomínky v průběhu naší spolupráce. Dále děkuji celé mé rodině za poskytnutí potřebného zázemí k vytvoření práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval příteli Tomáši Kohoutovi za věcné postřehy.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá palivovou soustavou vznětového motoru v osobních automobilech. V první části mapuje historii systému, popisuje zevrubně jeho základní funkce a požadavky. Dále dává ucelený pohled na konvenční zdroje vysokého tlaku, tedy vysokotlaká palivová čerpadla. Druhá část práce se věnuje modernímu systému Common Rail, jeho jednotlivým částem, principu činnosti a v neposlední řadě také výhodám oproti starším systémům.

Klíčová slova: vznětový motor, vysokotlaké čerpadlo, Common Rail

## **Compression ignition engine's fuel system development**

### **Summary**

This theses deals with the diesel engine fuel system in passenger cars. The first part charts the history of the system, describes in detail the basic features and requirements. Also gives a comprehensive view of a conventional high pressure sources, a high pressure fuel pump. The second part deals with modern common rail system, its individual parts, principles of operation and last but not least, the advantages over older systems.

Key words: Diesel engine, high pressure pump, Common Rail

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CÍL A METODIKA PRÁCE .....</b>	<b>2</b>
2.1	Cíl práce .....	2
2.2	Metodika práce .....	2
<b>3</b>	<b>PŘEHLED PALIVOVÝCH SOUSTAV MOTORŮ .....</b>	<b>3</b>
3.1	Historie vznětového motoru .....	3
3.2	Princip činnosti palivové soustavy vznětového motoru.....	5
3.3	Nízkotlaká část palivové soustavy .....	6
3.3.1	Palivová nádrž .....	7
3.3.2	Nízkotlaké palivové vedení.....	7
3.3.3	Palivové čističe .....	7
3.3.4	Nízkotlaká palivová čerpadla.....	8
3.4	Přehled vysokotlakých systémů vznětových motorů.....	10
3.4.1	Řadová vstřikovací čerpadla.....	10
3.4.2	Rotační vstřikovací čerpadla.....	11
3.4.2.1	Rotační vstřikovací čerpadla s axiálním pístem.....	12
3.4.2.2	Rotační čerpadlo s radiálními písty .....	14
3.4.2.3	Systém vstřikování se sdruženými vstřikovači .....	16
<b>4</b>	<b>POPIS ČINNOSTI MODERNÍCH PALIVOVÝCH SOUSTAV.....</b>	<b>18</b>
4.1	Proč právě Common Rail? .....	18
4.2	Konstrukce systému Common Rail .....	18
4.3	Způsob činnosti.....	19
4.3.1	Vytváření tlaku .....	19
4.3.2	Regulace tlaku .....	19
4.3.3	Vstřikování.....	20
4.3.4	Řízení a regulace.....	21
4.3.4	Konfigurace řídicí jednotky.....	21
4.4	Systém Common Rail v osobních vozidlech.....	22
4.4.1	Nízkotlaká část systému Common Rail.....	22

4.4.2	Vysokotlaká část systému Common Rail.....	22
4.4.2.1	Vysokotlaká čerpadla .....	23
4.4.2.1.1	Radiální pístové čerpadlo CP1.....	24
4.4.2.1.2	Radiální pístové čerpadlo CP1H .....	25
4.4.2.1.3	Radiální pístové čerpadlo CP3.....	25
4.2.2.2	Vysokotlaký zásobník (Rail) .....	26
4.2.2.3	Regulační tlakový ventil.....	26
4.2.2.4	Vstřikovače .....	27
4.4.2.4.1	Vstřikovač s elektromagnetickým ventilem .....	28
4.4.2.4.2	Piezelektrický vstřikovač inline .....	30
4.4.2.5	Vstřikovací trysky .....	32
4.4.2.5.1	Otvorové trysky .....	32
<b>4.5</b>	<b>Elektronická regulace vznětových motorů (EDC).....</b>	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>36</b>



# 1 ÚVOD

Doba, kdy vlastníkem osobního automobilu se spalovacím motorem byl zpravidla člověk zámožný nebo vysoce postavený, a kdy setkání s vozidlem jedoucím po ulici bylo vzácností, je dávnou historií. Za posledních třicet let došlo v Evropě k enormnímu nárůstu počtu osobních vozidel, což je na první pohled patrné především z velké hustoty provozu ve větších městech. Osobní automobil je dnes v civilizovaných částech světa dostupnou položkou a běžnou součástí každodenního života.

Pohonnou jednotkou osobních vozidel jsou z naprosté většiny zážehové nebo vznětové spalovací motory. A právě při komparaci těchto dvou koncepcí, se často vyskytuje velký názorový nesoulad. Frekventované, zpravidla negativně laděné názory vztažené ke vznětovému motoru jako např. vysoké hodnoty emisí ve výfukových plynech, neadekvátní doba životnosti některých vysokotlakých komponentů a zároveň jejich vysoká cena, hlučnost motoru při jeho chodu, špatná startovací schopnost při nízkých teplotách aj., daly autorovi podnět k hlubšímu zkoumání této problematiky.

Autor se proto v této práci podrobněji věnuje tématu palivové soustavy vznětového motoru v osobních vozidlech. Zaobírá se historií vývoje běžných vysokotlakých palivových systémů, až po systémy moderní a sofistikované. Důraz klade na zmapování vývojových kroků, vedoucích ke zmírnění výše uvedených negativ.

## **2 CÍL A METODIKA PRÁCE**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem této bakalářské práce je seznámit čtenáře s funkcí, historií a vývojem palivové soustavy vznětového motoru. Dále hlouběji popsat moderní vstřikovací systém a zdůraznit jeho pozitiva.

### **2.2 Metodika práce**

Přípravná fáze spočívala ve studiu a analýze odborné české i cizojazyčné literatury a dalších dostupných zdrojů zabývajících se problematikou vznětových motorů, především jejich palivových soustav. Následovala kompilace, třídění a zpracování získaných poznatků do konečné podoby práce (literární rešerše). Pro lepší pochopení některých pasáží jsou v práci použity obrázky.

## 3 PŘEHLED PALIVOVÝCH SOUSTAV MOTORŮ

### 3.1 Historie vznětového motoru

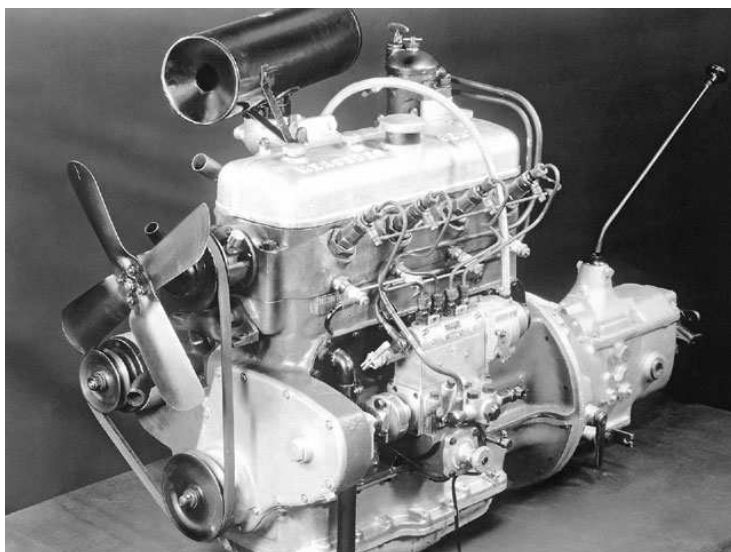
Vynálezce vznětového motoru Rudolf Diesel se narodil 18. března roku 1858 v Paříži. Do svých dvanácti let žil ve Francii, ale poté musel kvůli nepříznivým okolnostem Francii opustit a proto se přestěhoval ke svému strýci do Německa. V Německu začal mladý Diesel studovat nejprve průmyslovou školu a následně získal díky dobrým studijním výsledkům stipendium na mnichovské Technické univerzitě, kterou roku 1880 úspěšně absolvoval. [7]

„Patent na svůj motor dostal Diesel v roce 1892, cesta k funkčnímu stroji ale byla ještě dlouhá. Prototyp ze srpna 1893 poháněl uhelný mou, až v další fázi se stal palivem petrolej. V roce 1897 už měl Diesel připravený motor, který jako palivo mohl používat naftu či olej z burských ořechů. Tepelnou energii využíval nový motor z 26%, dvakrát účinněji než nejlepší parní stroj té doby. Projektované účinnosti 73% se ale Diesel (ani jeho následníci) nedočkal. Dnešní motory zužitkují na pohyb přinejlepším polovinu tepla vytvořeného spalováním.“ [7]

Jednu z nejzásadnějších rolí v historii vývoje vznětových motorů pro automobily měla společnost Bosch. Zakladatel společnosti Robert Bosch udělal zásadní krok kupředu, když v roce 1922 zadal požadavek na vývoj vstřikovacího čerpadla pro vznětový motor, jenž měl být použit pro nákladní automobil. Již v roce 1924 byla zahájena sériová výroba prvních nákladních automobilů se vznětovým motorem, ve kterých směs připravoval právě systém Bosch. [8]

O pár let později začala společnost Deimler-Benz uvažovat o instalaci vznětového motoru do sériově vyráběného osobního automobilu. Spolupráce mezi společnostmi Deimler-Benz a společností Boch dala vzniknout modelu Mercedes-Benz 260 D. Jednalo se o první sériově vyráběný osobní poháněný vznětovým motorem na světě (obr. 1). Tento automobil byl představen na autosalonu v Berlíně roku 1936. Zpočátku prodeje těchto vozů nedosáhly očekávaných čísel a to především kvůli neodpovídající stabilitě a výkonu při srovnání s vozy vybavenými zážehovým motorem. Další vývoj se naštěstí nezastavil, ale pokračoval, a díky tomu se postupně začal vznětový motor stávat rovnocenným konkurentem zážehového motoru. Velmi k tomu přispěl příchod elektronicky řízeného vstřikování (EDC) v roce 1986, o které se postarala opět firma Bosch. Další rozměr získaly naftové automobilové motory

*Obr 1 První vznětový motor pro osobní vůz Mercedes Benz 260 D*



Zdroj: [8]

s příchodem axiálního pístového čerpadla pro přímý vstřík nafty v roce 1989. Tento systém byl schopen vstříkovat s tlakem 100MPa, což mělo velice příznivý dopad na hladký chod motoru, nízké emise, hospodárny provoz a vysoký výkon. Druhá polovina 90. let byla pro vznětový motor zásadní. Vyvinuty totiž byly tři nové produkty, a to sice rotační vstříkovací čerpadlo s radiálními písty v roce 1996, o rok později systém Common Rail, a rok na to systém čerpadlo – tryska. Z těchto tří zmíněných variant získal největší uplatnění právě systém Common Rail, především díky stálému a vysokému vstříkovacímu tlaku u každého válce (v počátku 135 MPa, později přes 200 MPa), a také pro svou schopnost mnohonásobného vstříkování, což v minulosti žádný jiný systém neumožňoval. Mnohonásobné vstříkování a vysoké vstříkovací tlaky měly za následek snížení emisí, zvýšení výkonu a snížení spotřeby paliva a provozního hluku. Do roku 2011 bylo vybaveno tímto systémem více než 66 milionů motorů. Common Rail tedy můžeme považovat za „produkt“ současnosti a zřejmě i budoucnosti. [8]

Důležité milníky v historii automobilu se vznětovým motorem:

- „1921 – první zkušební provoz vstříkovacího systému s maznicemi Bosch
- 1922 – oficiální zahájení vývoje vstříkování paliva pro vznětové motory
- 1927 – sériová výroba vstříkovacích čerpadel a trysek pro užitková vozidla
- 1931 – regulátor pro vstříkovací čerpadla
- 1936 – začátek vstříkování vznětových motorů u osobních automobilů
- 1960 – první rotační vstříkovací čerpadlo VM
- 1975 – rotační vstříkovací čerpadlo VE

**1986** – Electronic Diesel Kontrol (EDC) – elektronicky řízené vstřikování paliva pro rotační vstřikovací čerpadla

**1987** – EDC pro řadová čerpadla

**1989** – rotační vstřikovací čerpadlo s axiálními písty VP 37 pro přímé vstřikování u osobních automobilů

**1996** – rotační vstřikovací čerpadlo s radiálními písty

**1997** – začátek produkce vstřikovacího systému Common Rail

**1998** – vstřikovací jednotka čerpadlo- tryska (PLD)

**2003** – Systém Common Rail pro osobní automobily, třetí generace s piezoelektrickými vstřikovači, vstřikovací tlak až 180 MPa

**2007** – Bosch vyrobil jako první systém s tlakem 200 MPa

**2009** – první vozidla EURO 6 na trhu používají Clean Diesel (pět let před tím než bude Euro 6 povinné)“ [8]

### **3.2 Princip činnosti palivové soustavy vznětového motoru**

Motejl [2] definuje vznětový motor jako neúčinnější spalovací motor, který je schopen využít z energie dodané palivem až 40% energie na výkon. U těchto motorů probíhá příprava směsi paliva se vzduchem výhradně ve spalovacím prostoru válce. Z mnoha typů je zapotřebí zmínit především dva typy pro středně nízké a středně vysoké otáčky motoru.

- Vznětové motory s přímým vstřikováním DI
- Vznětové motory se vstřikováním do komůrky v hlavě válců IDI

Oba tyto typy mohou plnit válce motoru atmosférickým tlakem nebo přeplňováním za pomoci turbodmychadla.

Vlk [1] uvádí, že užitečný výkon vznětového motoru je řízen kvalitativně, tedy přes obsah paliva ve směsi. Děje se tak díky řízení vstřikované dávky za pomoci vstřikovacího zařízení. Stechiometrický směšovací poměr  $\lambda$  je přibližně 14,5 kg vzduchu na 1 kg paliva. Tedy v ideálním případě je ke spálení 1 kg paliva zapotřebí 14,5 kg vzduchu. Avšak z důvodu tvoření směsi až ve válci, nedochází k rovnoměrnému rozprášení paliva a nevzniká proto směs homogenní, ale heterogenní. Z toho důvodu je mez kouřivosti pro vznětové motory při

$\lambda = 1,4$ . Některé modernější motory pracují při chodu na prázdko s výrazně chudou směsí a to až  $\lambda = 3,4$ . Při plném zatížení se dostávají na mez kouřivosti při  $\lambda = 1,4$ .

Užitečný výkon, spotřeba paliva, emise ve výfukových plynech a hluk motoru jsou výrazně ovlivněny přípravou směsi paliva se vzduchem. Zásadní roli zde hraje způsob provedení vstřikovacího zařízení. Faktory, které mají zásadní vliv jsou: [1]

- Začátek dodávky paliva a začátek vstřiku
- Doba a průběh vstřiku (odměřené množství paliva)
- Vstřikovací tlak
- Směr vstřikování a počet vstřikovaných paprsků
- Přebytek vzduchu
- Rozvíření vzduchu [1]

Princip činnosti palivové soustavy můžeme rozdělit do dvou částí:

- Nízkotlaká část má za úkol dopravit palivo z palivové nádrže až do sacího kanálu vysokotlakého vstřikovacího čerpadla. Při dopravě je palivo přečištěno v palivovém čističi. V této soustavě je udržován mírný přetlak díky přetlakovému ventilu umístěnému na konci sacího kanálu. Přebytečné palivo je odváděno přepadovým potrubím zpět do palivové nádrže. [2]
- Vysokotlaká část má za úkol vytvořit potřebný vstřikovací tlak, kterým je palivo vstřikováno buď do komůrky, nebo přímo do válce motoru. Nevstříknuté palivo se vrací od vstřikovače přepadovým potrubím zpět do nádrže. [2]

### **3.3 Nízkotlaká část palivové soustavy**

Dle Bauera [3] musí nízkotlaká část palivové soustavy plnit tyto úkoly: Uskladňovat palivo, čistit je a dopravovat ke vstřikovací jednotce pod požadovaným tlakem za všech provozních podmínek.

### **3.3.1 Palivová nádrž**

Úkolem palivové nádrže je uskladňovat palivo. Základním požadavkem je odolnost vůči korozi a těsnost nádrže. Nádrž musí těsnit při dvojnásobku provozního přetlaku, nejméně však při 30 kPa. Vyšší přetlak musí být odveden otvory k tomu určenými, nebo bezpečnostními ventily. Palivo nesmí vytékat z nádrže plnicím otvorem nebo zařízením pro vyrovnávání přetlaku při nakloněné poloze, průjezdu zatáčkou a nerovným terénem, a ani při nárazech. Nádrž musí být umístěna od motoru v dostatečné vzdálenosti, aby nedošlo ke vznícení paliva jak při provozu, tak při nehodě. U vozidel s otevřenou kabinou, u traktorů, tahačů a autobusů musí být splněny zvláštní podmínky pro výšku umístění a odstínění nádrže. [1, 3]

### **3.3.2 Nízkotlaké palivové vedení**

Pro nízkotlaký okruh se používá ocelové vedení nebo pružné, ohnivzdorné vedení s ocelovým pletivem a v poslední době též vedení celoplastové. Musí být upevněno a vedeno místy, kde nemůže dojít ke kontaktu s pohyblivými částmi vozidla (stroje) nebo kde je náchylnost k mechanickému poškození. Dále by nemělo docházet ke shromažďování paliva mimo systém vlivem netěsností a odpařováním, palivo by se mohlo vznítit. Funkce vedení nesmí být ovlivňována vlivem krutu karoserie, pohyby motoru a jinými jevy podobného ražení. Je žádoucí, aby byly veškeré části dopravující palivo chráněny od působení provozních teplot. U autobusů není možné umístit vedení do prostoru pro cestující a řidiče, a zároveň není možné, aby bylo palivo dopravováno samospádem. [1, 3, 4]

### **3.3.3 Palivové čističe**

Dle Motejla [2] má čistota paliva zásadní vliv na životnost a provozuschopnost vysokotlakého vstřikovacího zařízení. Vysokotlaká čerpadla a vstřikovací trysky obsahují velmi přesně vyrobené součásti dohotovené broušením a lapováním s přesností 0,002 – 0,004 mm. Nečistoty o velikosti tisícín milimetru tedy mohou vážně poškodit přesné součásti vysokotlaké soustavy. Proto je filtrování paliva prováděno víceúrovňově. Z toho pramení vysoký požadavek na filtrační vložky, které by měli mít schopnost zachytit nečistoty o velikosti jednoho mikronu (0,001mm).

Prvním stupněm je zpravidla hrubý čistič. Bývá součástí podávacího čerpadla, někdy však nemusí být součástí, ale může být umístěn před ním. Jeho úkolem je zachytit hrubé

nečistoty, kaly a případně vodu, jenž se do systému může dostat při plnění nádrže nebo jednoduše v nádrži zkondenzuje při změnách teplot [1, 2].

Druhým stupněm bývá jemný čistič. Ten zpravidla bývá také dvoustupňový. Těleso tohoto čističe se skládá z nádoby, demontovatelného víka a svorníku. Pokud je tedy řeč o dvoustupňové jemné filtraci, jsou tím myšleny dvě spojené nádoby, jimiž prochází palivo, je filtrováno a poté proudí dál do palivového systému. Zásadní součástí jsou výměnné filtrační vložky. Filtrační vložky se skládají z filtrační plsti, papíru nebo jiného materiálu s filtrační vlastností, schopného zachytit velmi jemné nečistoty. V prvním stupni jsou zachycovány nečistoty hrubšího a objemnějšího charakteru, které nebyly zachyceny prvním hrubým čističem a v druhém, tedy posledním stupni filtrace jsou zachycovány nečistoty nejjemnější. Palivo je přiváděno tangenciálním vstupem, umístěným v horní části tělesa filtru. Odvod paliva z prvního i druhého filtrovacího stupně je veden střední částí dutého svorníku z důvodu zaručení průchodu paliva skrz obě filtrační vložky. Tyto filtry jsou vybaveny odvzdušňovacími šrouby nebo přetlakovými ventily, jimiž odchází vzduch a přebytečné palivo zpět do palivové nádrže. Dalším důležitým prvkem je odkalovací kanál, sloužící k vypouštění usazených nečistot a kalů pryč z čističe. Vypouštění se provádí povolením vypouštěcího šroubu [2].

### 3.3.4 Nízkotlaká palivová čerpadla

Bauer [3] uvádí, že dopravní palivové čerpadlo je zodpovědné za udržování přiměřené dodávky paliva do vysokotlakého systému. Musí pracovat nezávisle na provozním stavu, s minimální hlučností a vytvářet potřebný přetlak, a to po celou dobu životnosti vozidla.

Používají se tři základní typy:

- **Elektrické palivové čerpadlo** – používá se pouze u osobních nebo u lehkých užitkových vozidel. Úkolem palivového dopravního čerpadla není pouze zásobování vysokotlakého okruhu dostatečným množstvím paliva, ale také přerušování dodávky v případě potřeby [5].

Elektrická palivová čerpadla jsou instalována přímo do palivové nádrže (In-tank) nebo do palivového vedení (Inline). Čerpadlo instalované do vedení je zpravidla umístěno mezi palivovou nádrží a palivovým filtrem, připevněno na podlaze vozidla. Čerpadlo umístěné v palivové nádrži je uchyceno na speciálním držáku, který nese



ještě palivové síto na sací straně, indikátor stavu paliva, zásobník paliva a elektrické a hydraulické přípojky [5].

Elektrické palivové čerpadlo začne nasávat palivo z nádrže kontinuálně v závislosti na spuštění motoru. Palivo proudí přes čistič paliva do vstřikovací soustavy. Přebytečné palivo je díky přepouštěcímu ventilu odváděno zpět do palivové nádrže.

Elektrické palivové čerpadlo jako celek se skládá ze tří funkčních elementů:

**Element čerpadla** – Existuje mnoho druhů těchto elementů a výběr konkrétního z nich je závislý na oblasti použití elektrického čerpadla. U vznětových motorů se nejčastěji setkáme s válečkovými lamelovými čerpadly [5].

„Válečkové lamelové čerpadlo je objemové čerpadlo. Skládá se z excentricky umístěné základní desky, v níž se otáčí základní kotouč. V každé drážce se nachází volně vedený váleček. Odstředivou silou při otáčení drážkového kotouče a tlakem paliva jsou válečky dotlačovány k vnější oběžné dráze a k hnacím plochám drážek. Válečky při tom působí jako oběžné těsnění. Takto se mezi dvěma válečky drážkového kotouče a oběžnou dráhou vytvoří komora. Čerpací účinek vzniká tím, že po uzavření ledvinovitého přívodního otvoru se objem komor postupně zmenšuje.“ [5]

**Elektromotor** – „skládá se ze soustavy permanentních magnetů a jedné kotvy. Jeho uspořádání je určeno požadovaným dodávaným množstvím při daném systémovém tlaku. Elektromotor je stále obtékán palivem a tím trvale chlazen. Tak lze dosáhnout vysokého výkonu motoru bez náročných těsnících prvků mezi elementem čerpadla a elektromotoru.“ [5]

**Připojovací víko** – „obsahuje elektrické přípojky a tlakovou přípojku na výtlačné straně. Zpětný ventil zabraňuje vyprázdnění palivových vedení po vypnutí palivového čerpadla. Kromě toho může být v připojovacím víku integrován také odrušovací člen“ [5]

- **Zubové palivové čerpadlo** – „používá se pro zásobování vstřikovacího modulu systémů se samostatným čerpadlem (nákladní vozidla) a systémů Common Rail (osobní, užitková a zemědělská vozidla). Je upevněno přímo na motoru nebo je

integrováno ve vysokotlakém čerpadle Common Rail. Pohon je přes spojku, ozubené kolo nebo ozubený řemen.“ [5]

„Základními konstrukčními prvky jsou dvě vzájemně zabírající, protiběžně se otáčející ozubená kola, která dopravují palivo v zubových mezerách od sací k výtlačné straně. Styková plocha ozubených kol tvoří těsnění mezi sací a výtlačnou stranou a zabraňuje, aby palivo mohlo odtékat zpět. Dodávané množství je přibližně úměrné otáčkám motoru. Regulace množství se proto provádí buď regulačním škrcením na sací straně, nebo prepouštěcím ventilem na výtlačné straně.“ [5]

- **Lopátkové čerpadlo** – „toto čerpadlo se opět používá u osobních vozidel. Dvě oddělovací lopatky jsou stlačovány pružinami proti rotoru. V momentě, kdy se rotor roztáčí, se palivo dostává do dvou komor. Jakmile rotor pokračuje v rotaci, začne se prostor obou komor zmenšovat díky dvěma již zmíněným lopatkám a palivo je vytlačováno do výstupu paliva a dále do vysokotlakého systému.“ [3]

### 3.4 Přehled vysokotlakých systémů vznětových motorů

Jak již bylo řečeno, vstříkovací zařízení musí plnit několik zásadních úkolů. Musí tedy zajistit dopravu paliva do spalovacího prostoru válce a vyvinout vysoké vstříkovací tlaky, řídit dávky paliva v závislosti na zatížení, časově rozvrhnout a řídit jednotlivé vstříkované dávky v závislosti na otáčkách motoru a rozprášit palivo. [6] O tyto činnosti se starají následující vysokotlaké systémy.

#### 3.4.1 Řadová vstříkovací čerpadla

Tato čerpadla jsou poháněna mechanicky od motoru pomocí vačkového hřídele, který je součástí řadového čerpadla. Vačkový hřídel rotuje s polovičními otáčkami oproti otáčkám motoru. Počet vstříkovacích elementů je závislý na počtu válců motoru. Vstříkovací elementy jsou uspořádány v řadě za sebou, z toho je patrný název - řadová čerpadla. Každý vstříkovací element obsahuje dva základní prvky, jimiž jsou pístek čerpadla a válec čerpadla. Pístek čerpadla je uváděn do pohybu rotací vačky, která přísluší danému elementu. K nárůstu vysokého tlaku dochází v momentě, kdy je uzavřen sací otvor horní hranou pístku. Tento moment označujeme za počátek dodávky paliva. Pístek pokračuje ve svém výtlačném pohybu, v jehož důsledku tlak narůstá. Po dosažení tlaku, jenž je schopen otevřít výtlačný ventil, palivo putuje vysokotlakým potrubím (všechna vysokotlaká potrubí musí mít ke každému

válci stejnou délkou) do vstřikovače, v němž dojde k otevření vstřikovací trysky a ke vstříknutí dávky paliva do komůrky nebo přímo do spalovacího prostoru. Pístek se v tomto momentě pohybuje ještě stále k horní úvratě. Díky přepouštěcímu kanálku, jímž je pístek vybaven, tlak klesá a přebytečné palivo odchází zpět do palivové komory čerpadla. V tomto okamžiku se zavírá jehla trysky a končí samotný vstřik. V momentě dosažení horní úvratě je za pomoci vratné pružiny pístek tlačěn zpět do dolní úvratě a je připraven k dalšímu zdvihu. Každý pístek je opatřen řídicí hranou, jejíž pomocí je systém schopen měnit užitečný zdvih, a tím pádem i vstřikované množství paliva. Užitečným zdvihem je myšlena dráha pístku, od uzavření sacího otvoru, až po jeho následné otevření. Pro změnu užitečného zdvihu je potřeba pootočit pístkem, což je zprostředkováno regulační tyčí, která je ovládána regulátorem.[1, 6]

„Pro regulaci řadových vstřikovacích čerpadel se používají mechanické odstředivé regulátory nebo regulátory elektronické. U lehkých vznětových motorů je regulátor dodávky paliva zpravidla připojen přímo ke vstřikovacímu čerpadlu, poháněn jeho vačkovým hřídelem. U těžkých motorů je regulátor spojen táhly s regulační tyčí vstřikovacího čerpadla. Úkolem regulátoru je přizpůsobovat během provozu samočinně výkon motoru měnícím se zatížením. Regulátor reaguje na změnu otáček, způsobenou měnícím se zatížením a přizpůsobuje dávky paliva vstřikovaného do motoru tak, aby kolísání otáček za provozu bylo v přijatelných mezích. Regulátor určí potřebnou dávku paliva a příslušně posune regulační táhlo. Táhlo pak nastaví správnou polohu pístku vstřikovací jednotky.“ [1]

Žádný jiný vysokotlaký vstřikovací systém nemá tak dlouhou historii jako právě řadová vstřikovací čerpadla. Již v roce 1927 byly k mání první řadová vstřikovací čerpadla firmy Bosch. S příchodem elektronického řízení tohoto systému vstřikování v roce 1987 nabývá toto odvětví nových možností. V roce 1993 je díky zdvihovým šoupátkům možné měnit průběh vstřiku v závislosti na mnoha parametrech jako je například teplota motoru, požadovaná dávka paliva aj., což má příznivý vliv na výkon motoru a nízké emise ve výfukových plynech. [3, 4]

### **3.4.2 Rotační vstřikovací čerpadla**

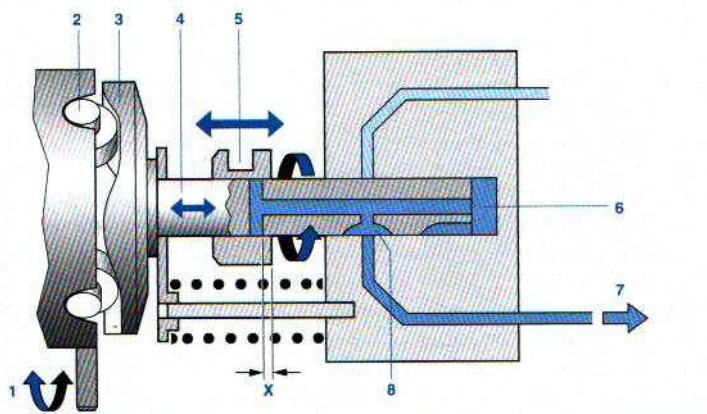
„U rychloběžných vznětových motorů osobních automobilů jsou potřebná vstřikovací čerpadla s nižší hmotností a menšími zastavovacími rozměry. Tyto požadavky splňují rotační vstřikovací čerpadla s rozdělovačem paliva ke vstřikovacím tryskám válců motoru

Na rozdíl od řadového vstřikovacího čerpadla dodává rotační čerpadlo palivo všem válcům jediným pístem, je-li píst posouván axiálně, nebo dvěma až čtyřmi současně pracujícími písty, které jsou posouvány radiálně. Mimo vytváření tlaku paliva čerpadlem provádí jeho rozdělovací píst rozdělení paliva k jednotlivým vstřikovacím tryskám.“ [4]

### **3.4.2.1 Rotační vstřikovací čerpadla s axiálním pístem**

Pro tato vstřikovací zařízení je specifické sdružení několika podstatných částí do jednoho celku. Mimo vysokotlaké vstřikovací části je součástí vstřikovacího čerpadla také podávací lopatkové čerpadlo, regulátor otáček a přesuvník vstřiku. Obecně můžeme rozdělit čerpadlo na tři oblasti. Na oblast nízkotlakou, do které zahrnujeme křídlové podávací čerpadlo, a nachází se na tzv. sací straně. Toto čerpadlo je uváděno do pohybu již při startu a při každé otáčce dopravuje konstantní objem paliva. Palivo se následně dostává do středotlaké oblasti rotačního čerpadla. Zde je udržován stálý tlak, který je odpovídající otáčkám motoru. Pro udržení tohoto tlaku je zařízení opatřeno přepouštěcím ventilem a škrťicí tryskou, kterou odchází přebytečné palivo zpět do nádrže. Se zvyšujícími se otáčkami motoru narůstá ve středotlaké oblasti tlak paliva, jehož následkem dochází ke stlačování pružiny a pohybu pístku, jenž ovládá přesuvník vstřiku. Přesuvník vstřiku má podobu objímky opatřené kladičkami. Při zvyšování otáček roste zároveň tlak a přesuvník vstřiku je otáčen proti pohybu rotace výtláčného pístu vysokotlaké oblasti čerpadla. Při natáčení objímky se mění dotykový bod vaček umístěných na kotouči výtláčného pístu. Tímto způsobem se zvyšuje předstih vstřiku. Při snižování otáček je tomu právě naopak. Velice podstatný díl je výtláčný píst, který zároveň slouží jako rozdělovač vystřikované dávky pro jednotlivé válce. Je spojen s pohonem čerpadla přes zubovou spojku a je zahlcován palivem ze středotlaké oblasti čerpadla. Množství vstřikované dávky je dáno zdvihem pístu. Zdvih pístu je nastavován přesouváním objímky vpravo či vlevo, a to jak řidičem za pomoci ovládacích pák, nebo mechanickým odstředivým regulátorem (u elektronicky řízených čerpadel mechanický regulátor odpadá). Úkolem regulátoru je udržet motor v běhu na prázdko dodáváním minimálního potřebného množství paliva do spalovacího prostoru a zároveň zamezit motoru, aby se dostal do kritických otáček snížením přívodu paliva. [2, 4, 6]

Ob. 2: Schéma činnosti rotačního čerpadla s axiálním pístem

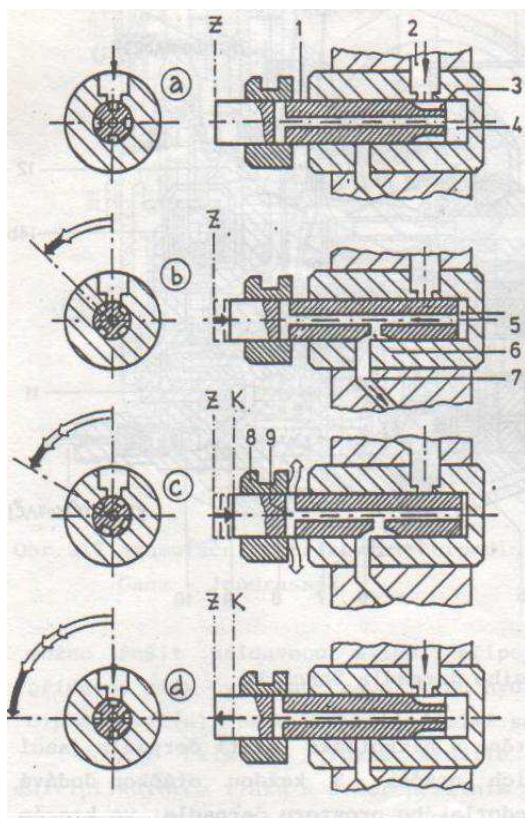


Zdroj [4]

Pro potřebu zastavení motoru (tedy jeho vypnutí) je vstřikovací čerpadlo opatřeno mechanicky ovládaným ventilem, který přepouští palivo z pracovního prostoru čerpadla do nádrže, nebo je používán ventil elektricky ovládaný, jehož úkolem je zastavit dodávku paliva

Obr. 3: Stlačování a rozdělování paliva u čtyřválcového motoru

do pracovního prostoru čerpadla. V momentě, kdy motor není palivem zásobován, dochází k jeho zastavení. [6]



Zdroj [6]

Funkce výtlačného píستku u čtyřválcového čtyřdobého motoru

„a – přívod paliva přívodním kanálem 2, a dále drážkou 3 do vysokotlakého prostoru 4, pístek 1 v krajní levé poloze Z,

b – ukončení přívodu paliva uzavřením kanálu 2 pootočením píستku, axiálním pohybem píستku dochází ke stlačování paliva, v průběhu otáčení píستku se odkrývá drážka 6 a příslušným kanálem 7 se vytlačuje palivo přes výtlačný ventil ke vstřikovačům jednotlivých válců (ventil i vstřikovač jsou obdobného provedení jako u

řadových čerpadel),

c – při pokračujícím axiálním pohybu pístku se ukončuje dodávka paliva, jakmile dojde k odkrytí kanálu 9 pístku regulační objímkou 8 - pístek se dostává do pravé krajní polohy K.

d – během zpětného pohybu pístu k počáteční poloze Z se kanál 9 uzavírá a palivo proudí přívodním kanálem 2 do vysokotlakého prostoru, pístek (rozdělovač se pootočil o  $\frac{1}{4}$  otáčky a opakuje se situace pro následující válec v pořadí vstříku.“ [6]

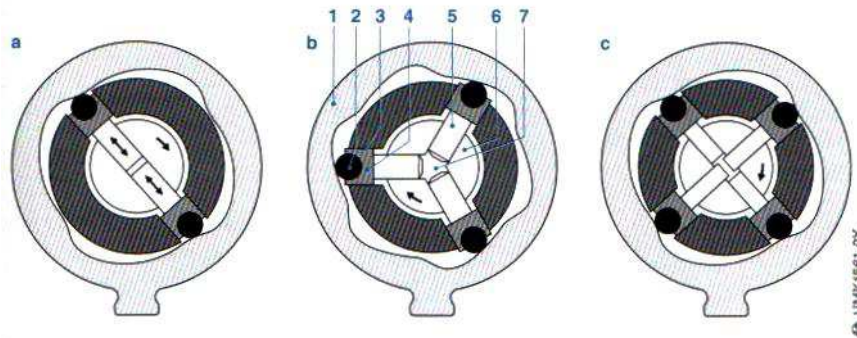
### **3.3.2.2 Rotační čerpadlo s radiálními písty**

Stále větší požadavky kladené na snižování emisí vedly vývojáře k práci na nové konstrukci vstřikovacích čerpadel. Přestože se u čerpadel s axiálními písty podařilo díky elektronické regulaci dosáhnout vyšších vstřikovacích tlaků a tím i snížení emisí, stále to neplnilo požadavky pro přímý vstřík nafty. [4]

Vyšších tlaků (160 až 180 MPa) dosáhla rotační čerpadla díky radiálním pístkům. Konstrukce těchto čerpadel je velice podobná čerpadlům s axiálními pístky. Opět je hnací hřídel (polovičními otáčkami klikové hřídele) poháněno křídlové podávací čerpadlo a hřídel rozdělovače s vysokotlakými válci. Křídlové podávací čerpadlo nasává palivo z přívodního otvoru a vytlačuje ho dál do prostoru čerpadla. Další podobnost s předchozí konstrukcí čerpadla vidíme v udržování stanoveného tlaku v prostoru čerpadla pomocí regulačního ventilu opatřeného tlačnou pružinou. Se zvyšujícími se otáčkami stoupá tlak, který je ovšem díky ventilu s tlačnou pružinou regulován na požadovanou mez. Palivo, které je přepouštěno regulačním ventilem se vrací k přívodnímu otvoru křídlového čerpadla, nebo odchází do palivové nádrže. Vysokotlaká oblast čerpadla obsahuje dva až čtyři výtlačné písty, uložené ve válcích a posouvané vačkovým prstencem. Počet vačkových výstupků na prstenci je závislý na počtu válců motoru. Prstenec je fixován v pístu přesuvníku vstříku. Při otáčení hřídele čerpadla klouzají válečky (uložené v patkách posouvajících radiální písty) po dráze vačkového prstence a díky výstupkům na prstenci jsou radiální pístky vtlačovány směrem dovnitř rotoru, kde dochází k nárůstu vysokého tlaku. Když čerpadlo pokračuje ve směru rotace, dostávají se válečky do míst, ve kterých má prstenec vybrání. Díky tlaku paliva, který

je vytvářen podávacím čerpadlem jsou pístky a potažmo i válečky vytlačovány směrem ven z rotoru a kopírují tvar vybrání prstence. [2, 4, 9]

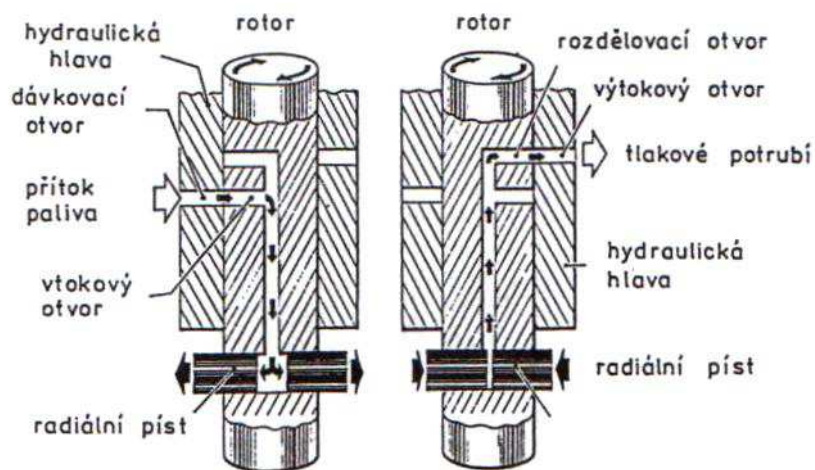
Obr. 4: Různé provedení rotačních čerpadel s radiálními písty 1-vačkový prstenec, 2-válečky, 3-vodící drážka hnací hřídele, 4-náhlavek válečků, 5-radiální píst, 6-rozdělovací/hnací hřídel, 7-vysokotlaký prostor



Zdroj: [3]

„Podél osy rotoru rozdělovače je proveden otvor, který ústí ve vysokotlakém objemu u radiálních pístů vstříkovačného čerpadla. K osovému otvoru jsou příčně vrtány otvory pro přívod paliva z podávacého čerpadla a pro odvod paliva s vysokým tlakem ke vstříkovačným tryskám. Počet vtokových otvorů, kterými se palivo přivádí, bývá roven počtu válců motoru. Otvory jsou rozloženy rovnoměrně po obvodu rotoru rozdělovače. Odtokový otvor paliva s vysokým tlakem je jeden.“ [4]

Obr. 5: Schéma uspořádání rotoru rozdělovače a hydraulické



Zdroj: [4]

Rotační čerpadlo s radiálními písty je elektronicky regulovaný systém. Na počátku byl ovládán dvěma řídicími jednotkami, ale

v posledních letech se přešlo k integraci dvou jednotek do jedné kompaktní. Signály, které jednotka vyhodnocuje, jsou například: teplota chlazení paliva a vzduchu, množství vzduchu, plnicí tlak, úhel natočení hřídele vstřikovacího čerpadla, teplotu paliva apod. Na základě těchto údajů řídicí jednotka ovládá vysokotlaký elektromagnetický ventil čerpadla. Tento ventil má zásadní vliv na časování a množství vstřikované dávky. [2, 9]

### **3.4.2.3      Systém vstřikování se sdruženými vstřikovači**

Dle Vlka [1] je tento systém schopen vstřikovat dávky paliva pod tlakem až 205 MPa, čímž se dosahuje optimálního rozprášení paliva ve spalovacím prostoru motoru. To má za následek snížení emisí ve výfukových plynech, nízkou spotřebu paliva, vyšší točivý moment a vyšší výkon motoru. Podstatou tohoto systému je ovládání jednotlivých vstřikovacích čerpadel vačkovým hřídelem motoru. Jednotlivá vstřikovací čerpadla jsou časově řízena.

Sdružené vstřikovače jsou umístěny na hlavě válců a skládají se ze tří hlavních částí:

- Vstřikovací čerpadlo
- Řídicí jednotka
- Vstřikovací tryska [1]

„Vstřikovací systém se sdruženými vstřikovači má pro každý válec samostatné vstřikovací čerpadlo (sdružený vstřikovač/jednotka čerpadlo – tryska). Každý sdružený vstřikovač je vybaven elektromagnetickým ventilem, přičemž exaktní odměřování paliva zajišťuje modul PCM. U tohoto systému je palivo pro každý válec vstřikováno individuálně, pod velmi vysokým tlakem, ve správném okamžiku s přesně vypočítanou vstřikovanou dávkou.“ [1]

„Sdružené vstřikovače jsou poháněny vačkovým hřídelem. Vačkový hřídel má k pohonu sdružených vstřikovačů čtyři přídavné vačky (pro čtyřválcový motor). Ovládání zajišťuje kladkové vahadlo. Vstřikovací vačka má strmý náběžný bok a plochý úběžný bok. Strmý náběžný bok způsobuje, že píst čerpadla je tlačěn vysokou rychlostí dolů a tím rychle vznikne vysoký vstřikovací tlak. Plochý úběžný bok nechá píst čerpadla pomalu přejít zpět nahoru do výchozí polohy. Tak může palivo odtékat bez bublinek do vysokotlakého prostoru sdruženého vstřikovače.“ [1]



Velikost a průběh vstříkované dávky závisí na stavu elektromagnetického ventilu. Elektromagnetický ventil má dva stavy – uzavřen nebo otevřen. Ve chvíli, kdy je tento ventil uzavřen, dochází ke vstříkování dávky paliva do spalovacího prostoru. Pokud je elektromagnetický ventil bez proudu, zůstane otevřen a nevznikne potřebný tlak ve vysokotlakém prostoru. Palivo proto odchází zpět do přívodu paliva. Pokud ventil setrvá v uzavřeném stavu, nedochází k plnění vysokotlakého prostoru sdruženého vstříkovače palivem. [1]

## 4 POPIS ČINNOSTI MODERNÍCH PALIVOVÝCH SOUSTAV

### 4.1 Proč právě Common Rail?

„Požadavky na nižší spotřebu paliva, malý obsah škodlivých látek ve spalinách, na tišší chod motoru, kladou vysoké nároky na motor a vstřikovací soustavu. Tyto požadavky mohou splnit jen vstřikovací systémy, které jsou schopny zajistit vysoký vstřikovací tlak nutný pro jemné rozprášení paliva v trysce, velmi přesné dávkování vstřikovaného množství, přesný průběh vstřikování a rovněž pilotní vstřiky a následné vstřiky. Systém, který tyto požadavky splňuje, je zásobníkový systém Common Rail. Na rozdíl od ostatních vstřikovacích systémů je palivo ve vysokotlakém zásobníku stále připraveno ke vstřikování.“ [5]

„Systém Common Rail je v současné době nejvíce používaným vstřikovacím systémem pro moderní rychloběžné vznětové motory pro osobní vozy.“ [5]

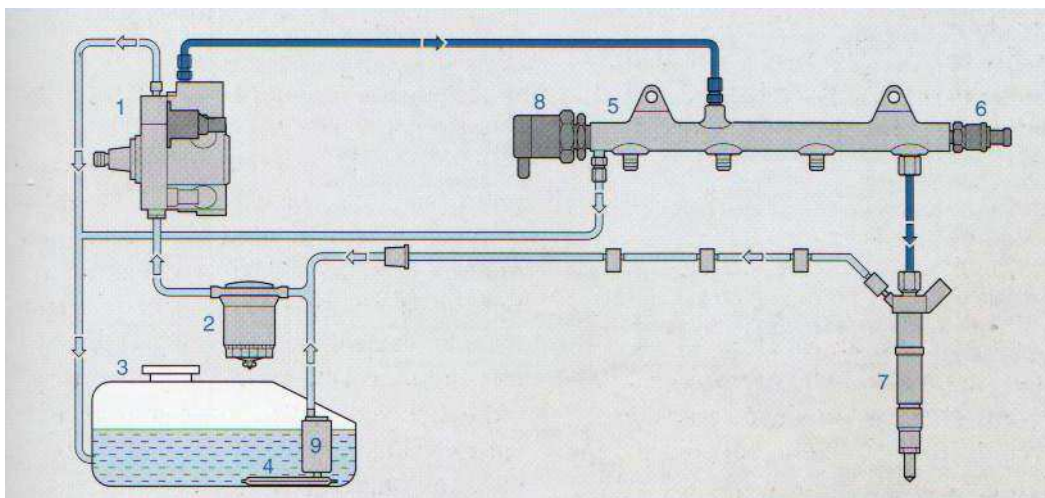
### 4.2 Konstrukce systému Common Rail

Tento systém je zpravidla rozdělován do těchto tří skupin:

- **Nízkotlaká část** – obsahuje komponenty pro zásobování systému palivem (Obr. 6)
- **Vysokotlaká část** – jeho hlavní komponenty jsou vysokotlaké čerpadlo, tlakový zásobník (Rail), vstřikovače a vysokotlaká palivová vedení
- **Elektronická regulace vznětových motorů** – (EDC) obsahuje systémové bloky snímačů, řídicí jednotku a akční členy [5]

Jednou z nejpodstatnějších částí vstřikovacího systému Common Rail jsou vstřikovače. Jsou osazeny buď elektromagnetickým ventilem, nebo piezoelektrickým členem, jejichž úkolem je otevírat a zavírat vstřikovací trysku vstřikovačů. Díky nim může být řízen průběh vstřiku jednotlivě pro každý válec zvlášť. Ke společnému zásobníku (Common Rail v překladu znamená společná trubka) jsou připojeny jednotlivé vstřikovače. Důležitým rysem Common Railu je schopnost nastavení systémového tlaku v závislosti na provozním stavu motoru. Slouží k tomu regulační tlakový ventil nebo dávkovací jednotka. Tuto konstrukci je snadné použít pro různé motory. [5]

Obr. 6: Schéma nízkotlaké a vysokotlaké části systému Common Rail



Zdroj: [5]

## Způsob činnosti

„U vstřikování s vysokotlakým zásobníkem Common Rail je odděleno vytváření tlaku a vstřikování. Vstřikovací tlak je vytvářen nezávisle na otáčkách motoru a vstřikované dávce. Elektronická regulace vznětových motorů (EDC) řídí jednotlivé komponenty.“ [5]

### 4.3.1 Vytváření tlaku

Původcem tlaku je nepřetržitě pracující, motorem poháněné vysokotlaké čerpadlo (osobní automobily pracují z většiny s vysokotlakým čerpadlem opatřeným radiálními písty). Toto čerpadlo udržuje stálý tlak v zásobníku bez ohledu na otáčkách motoru a vstřikovaném množství. Oproti ostatním systémům je zde popisované vysokotlaké čerpadlo mnohem menších rozměrů a postačuje mu i menší špičkový hnací moment, z čehož vyplývá i velké odlehčení pohonu čerpadla. Důvodem je téměř stejnoměrná dodávka paliva. Oddělit vytváření tlaku a vstřikování je možné díky tlakovému zásobníku, který je plný paliva pod tlakem.

### 4.3.2 Regulace tlaku

- **Regulace na straně vysokého tlaku** – je prováděna regulačním tlakovým ventilem. V tomto případě bývá nejčastěji regulační ventil umístěn na tlakovém

zásobníku (Railu). Přebytkové palivo, které není vstříknuto do spalovací komory, odtéká díky regulačnímu ventilu do nízkotlaké části systému. Velkou výhodou je možnost rychlého přizpůsobení tlaku v zásobníku např. při změně zatížení motoru. Regulace tohoto provedení se vyskytovala především u první generace systému Common Rail (CR).

- **Regulace množství na sací straně** – zajišťuje dodávku paliva do zásobníku pod přesným vstřikovacím tlakem, který systém momentálně potřebuje. Tato regulace obsahuje i omezovací ventil, jehož funkcí je zabránit nárůstu nežádoucího vysokého tlaku v zásobníku v případě závady. Tento způsob má dvě zásadní výhody a to nižší teplotu paliva, které je přepouštěno do nízkotlaké části a hlavně pozitivní ovlivnění spotřeby paliva. Množství paliva stlačené na vysoký tlak je totiž nižší, proto je i výkon odebíraný čerpadlem nižší.
- **Dvojitý regulační systém** – jak sám název napovídá, jedná se o kombinaci dvou výše uvedených regulací. [5]

### 4.3.3 Vstřikování

Tlakový zásobník je spojen se vstřikovači krátkým vysokotlakým vedením stejné délky. U systému CR je palivo vstřikováno přímo do spalovacího prostoru válce. Každý vstřikovač je opatřen spínacím ventilem, ovládaným řídicí jednotkou. Signál od řídicí jednotky dává pokyn k otevření nebo zavření vstřikovací trysky.

Vstřikovaná dávka paliva se odráží od systémového tlaku a času, po který je vstřikovací tryska otevřena. Pokud je tedy systémový tlak konstantní, je množství vstříknutého paliva přímo úměrné době, po kterou je tryska otevřena. Mluvíme o tzv. časově řízeném vstřikování. Díky oddělení funkce vytváření tlaku a vstřikování má CR ve srovnání s ostatními systémy stupeň volnosti navíc – je to právě vstřikovací tlak, který je další volitelnou veličinou. Na snížení emisí a značné snížení hlučnosti při spalování má vliv několikanásobné vstřikování při jediném pracovním zdvihu. Ditrich [10] uvádí, že díky piezoelektrickým vstřikovačům lze palivo vstříknout pět i vícekrát, během jednoho pracovního cyklu. Jehla trysky se zavírá za hydraulické podpory a zaručuje tak rychlé ukončení vstřiku. [5]

#### 4.3.4 Řízení a regulace

Řídící jednotka získává signály díky snímačům umístěným ve vozidle. Údaje, které patří k těm podstatnějším:

- Otáčky a úhel natočení klikové hřídele
- Tlak v tlakovém zásobníku
- Plnicí tlak
- Teplota nasávaného vzduchu, chladicí kapaliny a paliva
- Hmotnost nasávaného vzduchu
- Rychlost jízdy atd. [5]

Získaná data řídící jednotka zpracuje a vyhodnotí. Z vyhodnocených informací vyše řídící jednotka pokyny k akčním členům, mezi které patří např. vstřikovače, regulační ventily, dávkovací jednotka aj. Elektronická regulace (EDC) umožňuje motoru velmi přesné dávkování vstřikovaného množství a nabízí potenciál pro další přídatné funkce, které vedou k zlepšení provozního komfortu. [5]

Základní funkcí řízení a regulace je dosáhnout klidného a úsporného chodu motoru. To je prováděno především vstřikováním správného množství paliva, ve správný okamžik a při potřebném tlaku. [5]

#### 4.3.4 Konfigurace řídící jednotky

„Řídící jednotka může být podle pravidel osazena jen max. osmi koncovými stupni pro vstřikovače, což znamená, že u motorů s více než osmi válci jsou používány dvě řídící jednotky. Ty jsou propojeny prostřednictvím velmi rychlého interního rozhraní CAN způsobem Master-Slave (systém hlavního a podřízeného procesoru). Tím je možno také využít větší kapacitu mikro počítačů. Některé funkce jsou vždy pevně přiřazeny jedné řídící jednotce (např. regulace vyrovnání množství). Jiné mohou být flexibilně přiřazeny jedné řídící jednotce při její konfiguraci (např. sběr dat ze snímačů).“ [5]

## **4.4 Systém Common Rail v osobních vozidlech**

Stejně jako každý jiný konvenční systém má i CR nízkotlakou a vysokotlakou část. Z důvodu probrání nízkotlaké části palivové soustavy vznětového motoru výše, v kapitole 3.2, bude pouze nastíněna základní funkce a dále bude podrobněji probíráno téma vysokotlaké části systému CR, do kterého můžeme zahrnout vysokotlaké komponenty, snímače a akční členy, na kterých je funkce systému CR závislá a elektronické řízení EDC. [5]

### **4.4.1 Nízkotlaká část systému Common Rail**

Z palivové nádrže je dopravním palivovým čerpadlem (mechanickým zubovým čerpadlem, poháněným vačkovou hřídelí motoru, nebo elektrickým lopatkovým čerpadlem s válečkovými členy) palivo dopravováno přes palivový čistič, který palivo zbavuje nežádoucích nečistot a vody, k vysokotlakému čerpadlu. Podávací čerpadla jsou schopna dopravit 40 až 120 l paliva za hodinu, v závislosti na otáčkách motoru, což je dostačující množství pro bezproblémový chod motoru v různých provozních podmínkách. Palivo, které není spotřebováno při vstřikování, proudí zpět do palivové nádrže zpravidla skrz chladič paliva. Palivo je ve vysokotlaké části zahříváno a je žádoucí, aby se přebytečné palivo vracelo do nádrže neohřáté. Celý nízkotlaký systém je propojen soustavou nízkotlakého palivového potrubí. [9]

### **4.4.2 Vysokotlaká část systému Common Rail**

Vysokotlaká část má u této konstrukce tři zásadní úkoly: vytváření tlaku, udržování tlaku a odměřování paliva. O vytváření tlaku se stará vysokotlaké čerpadlo, k udržování tlaku je v systému zabudován tlakový zásobník opatřený regulačním, resp. tlakovým omezovacím ventilem a odměřování paliva mají na starosti vstřikovače, které jsou s tlakovým zásobníkem propojeny vysokotlakým vedením. Vysokotlaké vedení propojuje také ostatní vysokotlaké komponenty systému CR. [5]

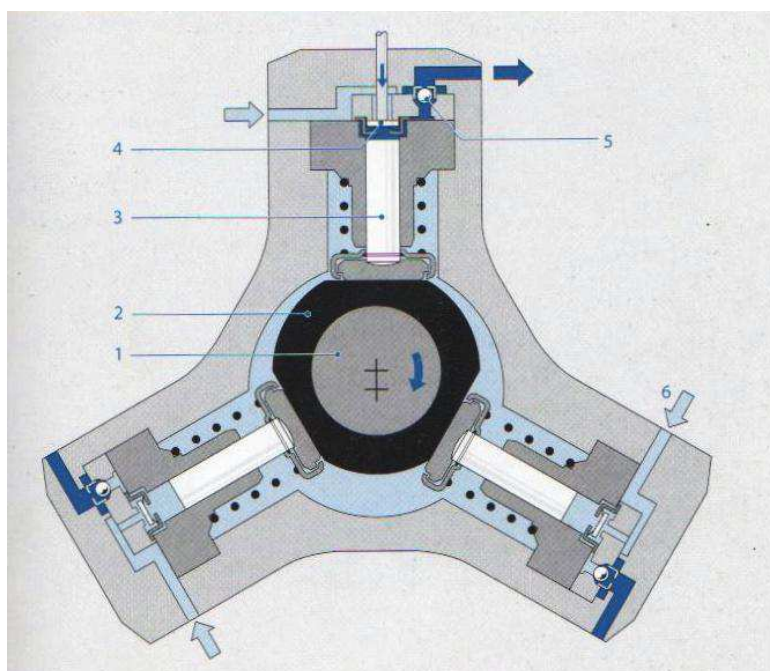
#### 4.4.2.1 Vysokotlaká čerpadla

##### Požadavky a úkoly

Vysokotlaké čerpadlo má za úkol vytvářet požadovaný systémový tlak paliva a plnit jím tlakový zásobník systému nezávisle na vstřikování. U ostatních systémů musí být palivo stlačováno v průběhu vstřikování, což díky tlakovému zásobníku u CR odpadá. [5]

CR používá u osobních vozidel pro vytváření tlaku tří-pístkové radiální čerpadlo. Umístěno bývá na místech, kde se běžně nachází vysokotlaká čerpadla jiných koncepcí, tedy na bloku motoru v prostoru, kde je možné čerpadlo pohánět řetězem, ozubeným řemenem, spojkou či ozubeným kolem. Otáčky čerpadla se odvíjí od otáček motoru a převodového poměru převodu mezi motorem a čerpadlem. Z toho je patrné, že zdrojem pohybu pro čerpadlo je motor. [5]

Obr. 6: Schéma rotačního čerpadla pro CR



Zdroj [5]

v tlakovém zásobníku. V průběhu vytváření tlaku, není přerušena dodávka paliva. Nevýhodou oproti konvenčním systémům je vyšší potřebný příkon k pohonu čerpadla. Příčinou je množství paliva uniklé ve vstřikovači a u vysokotlakého čerpadla pro CR první generace je to kvůli redukci tlaku na požadovaný systémový tlak pomocí regulačního tlakového ventilu.

Velkou konstrukční výhodou je překrývání pracovních zdvihů pístů u radiálního pístového čerpadla. Z toho důvodu stačí pro pohon čerpadla nízký špičkový hnací moment. U osobních vozidel je to konkrétně kolem 16 Nm, což je v porovnání s jinými rotačními vysokotlakými čerpadly devětkrát méně. Pohon čerpadla je proto velmi málo a rovnoměrně zatěžován. Potřebný výkon čerpadla se odvíjí od požadovaného tlaku

Rotační čerpadla CR pro osobní automobily jsou mazány palivem, což má výhodu v konstrukční jednoduchosti, ale zároveň s tím je požadavek na vysokou jakost paliva. Dopravní výkon a dopravní tlak se u různých generací liší. [5]

#### **4.4.2.1.1 Radiální pístové čerpadlo CP1**

##### **Konstrukce**

Toto čerpadlo je použito u CR první generace. Vstřikovací tlak, který je díky čerpadlu vyvinut je dle Landhäußera [5] 135 MPa. Čerpadlo je konstruováno tak, že jeho středem prochází centrální hřídel, na které je výstředník, který vyvolává u pístů čerpadla vratný pohyb. Toto čerpadlo pracuje se třemi písty, které jsou umístěny radiálně k centrální hřídeli v roztečích 120°. Oběžná vačka spolu s kluzným kroužkem a patní deskou pístu slouží k přenosu síly mezi výstředníkem a pracovními písty.

##### **Způsob činnosti**

Za pomoci nízkotlaké soustavy je palivo dopravováno až k přívodu vysokotlakého čerpadla. Za přívodem je zařazen pojistný ventil. Tento ventil začne propouštět palivo z nízkotlakého okruhu při tlaku 50 až 150 KPa a plní jím mazací a chladicí okruh radiálního čerpadla. Hnací hřídel s výstředníkem vyvolává vratný pohyb pístů v souladu se zdvihem výstředníku. Každý pístní element je opatřen vstupním ventilem, jehož otvorem je při sacím zdvihu nasáváno palivo do válce. V momentě, kdy se píst dostane do dolní úvratě, sací ventil se zavře a začíná výtlak. Tlak narůstá až do momentu, kdy je tlak vytlačovaného paliva stejný jako tlak v zásobníku. V této chvíli se palivo z radiálního čerpadla dostává výstupním otvorem do vysokotlaké části (tlakového zásobníku). Když píst dosáhne horní úvratě, klesne tlak a výstupní ventil se uzavře. Píst se začne pohybovat do dolní úvratě a cyklus se začne opakovat.

##### **Převodový poměr**

Čerpadlo dodává palivo úměrné jeho otáčkám. Jak bylo zmíněno výše, čerpadlo je poháněno motorem díky převodu, z čehož je patrné, že otáčky motoru a čerpadla na sobě závisí. Převodový poměr je nastaven tak, aby palivo, které je vysokotlakým čerpadlem vtlačováno do zásobníku, postačovalo pro pokrytí spotřeby při plném zatížení motoru, ale



zároveň aby nebylo dodávané palivo nadbytečné. Používají se většinou poměry 1:2 a 2:3 vztaženo k otáčkám klikové hřídele.

### **Dopravní výkon**

Toto čerpadlo je konstruováno tak, aby stačilo dodávat stlačené palivo i při velkém odběru, tzn. při plném zatížení. Při volnoběhu a malém zatížení je proto velký přebytek stlačeného paliva, který není využit pro vstřikování. Přebytečné palivo odchází přepouštěcím ventilem umístěným na tlakovém zásobníku zpět do palivové nádrže. Na stlačení paliva je spotřebována energie, která je při přepouštění paliva z tlakového zásobníku zpět do nádrže nevyužita. Důsledkem je pokles celkové účinnosti. [5]

#### **4.4.2.1.2 Radiální pístové čerpadlo CP1H**

Toto čerpadlo bývá instalováno do druhé a třetí generace CR u osobních vozidel. Jak sám název napovídá, čerpadlo vychází ze svého předchůdce CP1. Novému nástupci se však podařilo snížit energetické ztráty díky zařazení regulace množství paliva na sací straně vysokotlakého čerpadla. Za pomoci elektromagnetického ventilu (dávkovací jednotka) je palivo přitékající do elementů čerpadla plynule dávkováno podle momentální potřeby systému. Díky tomu je množství paliva stlačeného a následně vráceného zpět do palivové nádrže sníženo na minimální množství. Tato regulace vedla ke snížení příkonu čerpadla a zároveň klesla maximální teplota paliva. CP1H dosahuje oproti svému předchůdci vyšších tlaků a to až 1600 MPa. V důsledku toho musel být zesílen pohon, došlo také k úpravám ventilových jednotek a celé těleso čerpadla prošlo procesem zpevnění. [5]

#### **4.4.2.1.3 Radiální pístové čerpadlo CP3**

Jednotka CP3 je opět konstrukčně velmi podobná čerpadlům CP1, resp. CP1H. Regulaci množství na sací straně měla jednotka CP3 jako první, a odtud byla převzata do čerpadla CP1H. Hlavními odlišnými znaky od CP1 a CP1H jsou:

- U tělesa vysokotlakého čerpadla byl zredukován počet těsnících míst a docíluje se vyššího dodávaného množství

- Díky příčnému zdvihátku nepůsobí příčná síla od vačky přímo na píst čerpadla, ale na stěnu tělesa. Dosahuje se tím vyšší možná zatížitelnost čerpadla a možnost použití vyšších tlaků a to až 180 MPa [5]

#### **4.2.2.2 Vysokotlaký zásobník (Rail)**

##### **Úloha**

„Úlohou vysokotlakého zásobníku je uchovávat palivo pod vysokým tlakem. Přitom musí být v objemu zásobníku tlumeno tlakové kmitání, které vzniká v důsledku pulzující dodávky čerpadla a vstřikování. Tím je zajištěno, že při otevření vstřikovače zůstává vstřikovací tlak konstantní. Na jedné straně musí být objem zásobníku dostatečně velký, aby vyhověl těmto požadavkům. Na druhé straně musí být tak malý, aby se dosáhlo dostatečně rychlého vytvoření tlaku při startování. Pro optimalizaci se během fáze návrhu provádějí simulační výpočty. Kromě funkce ukládání paliva je úlohou zásobníku Rail rozdělovat palivo ke vstřikovačům.“ [5]

##### **Konstrukce**

Vysokotlaký zásobník trubkovitého tvaru může mít různou konstrukci, která je dána především montážními podmínkami konkrétního motoru. Zřetel se bere na možnost montáže snímače tlaku v zásobníku a omezovacího tlakového ventilu. [5]

##### **Způsob činnosti**

Vysokotlaké čerpadlo dopravuje již stlačené palivo do tlakového zásobníku skrz vysokotlaké potrubí. Na tlakový zásobník je připojeno vysokotlakým potrubím několik vstřikovačů. Tlak paliva je v zásobníku regulován prostřednictvím tlakového regulačního ventilu. Aktuální tlak v Railu je měřen snímačem tlaku. Alternativou k regulačnímu ventilu pro regulování tlaku v zásobníku je omezovací tlakový ventil. Objem zásobníku je při chodu neustále doplňován palivem pod vysokým tlakem. Díky stlačitelnosti paliva a jeho vysokého tlaku v zásobníku je možné zachovat tzv. zásobníkový efekt. To znamená, že i při velkém odběru zapříčiněném velkým zatížením motoru, zůstává tlak v zásobníku téměř konstantní. [5]

#### **4.2.2.3 Regulační tlakový ventil**

## Úloha

Tento ventil udržuje v závislosti na zatížení motoru tlak v zásobníku. Při vyšším než potřebném tlaku přepouští část paliva přes sběrné potrubí zpět do nádrže, čímž se tlak v zásobníku sníží na požadovanou hodnotu. Naopak pokud tlak klesne pod požadovanou hodnotu, regulační ventil se zavírá. Slouží zároveň jako těsnící prvek mezi vysokotlakou a nízkotlakou částí. [5]

## Konstrukce

Regulační ventil je opatřen přírubou, kterou bývá upevněn podle potřeby buď k zásobníku, nebo vysokotlakému čerpadlu. Základním prvkem ventilu je kotva umístěná uvnitř ventilu. Pro vzájemné utěsnění nízkotlaké a vysokotlaké části slouží kulička, která je kotvou přitlačována do těsnícího sedla. Kotva je proti těsnící kuličce přitlačována pružinou a zároveň je podporována elektromagnetem. Celý vnitřní mechanismus je obtékán palivem z důvodu mazání a chlazení. [5]

## Způsob Činnosti

„Regulační ventil má dva regulační okruhy:

- Jeden pomalejší elektrický regulační obvod slouží k nastavení střední proměnné hodnoty tlaku v zásobníku Rail,
- Jeden rychlejší mechanicko-hydraulický regulační okruh, který vyrovnává vysokofrekvenční tlakové kmitání.“ [5]

### 4.2.2.4 Vstřikovače

Vstřikovače jsou spojeny s vysokotlakým zásobníkem krátkým vysokotlakým palivovým vedením. Vstřikovače systému CR jsou uchyceny na hlavě válců za pomoci různých upínacích prvků. S ohledem na konstrukci vstřikovací trysky jsou vestavěny buď přímo, nebo šikmo do spalovacího prostoru. Těsněním mezi vstřikovači a hlavou válců jsou měděné těsnící kroužky. CR pracuje výhradně s přímým vstřikováním. [5]

Jak již bylo zmíněno vytváření tlaku a vstřikování je u CR na sobě nezávislé. Počátek, průběh a konec vstřiku jsou řízeny elektricky aktivovaným vstřikovačem. Okamžik vstřiku je

řízen systémem úhel – čas elektronické regulace motoru (EDC). Aby mohlo dojít ke správnému řízení, je potřeba mít dva údaje, a to údaj o otáčkách klikové hřídele, a údaj o otáčkách vačkové hřídele. K tomu slouží dva snímače otáček. Kvůli vysokým nárokům na stále se zpřísnující normy je na vstřikovače kladen požadavek v podobě předvstříku, který vstříkují velmi malou dávku paliva a samozřejmě několikanásobné vstřikování. [5]

U první až třetí generace CR jsou sériově používány tyto vstřikovače:

- Vstřikovač s elektromagnetickým ventilem s jednodílnou kotvou
- Vstřikovač s elektromagnetickým ventilem s dvojdílnou kotvou
- Vstřikovač s piezoelektrickým členem [5]

#### **4.4.2.4.1 Vstřikovač s elektromagnetickým ventilem**

##### **Konstrukce**

Elektromagnetický ventil je složen ze tří základních částí a to sice z tvorové trysky (tou se bude práce zabývat níže), hydraulického servosystému a z elektromagnetického ventilu.

Palivo je přiváděno vysokotlakou přípojkou od zásobníku do vnitřního prostoru vstřikovače. Proudí do objemu komory u vstřikovací trysky a přes škrcení na přívodu se palivo dostává do řídicího prostoru ventilu. Na řídicí prostor je napojeno také škrcení na odpadu, jehož otvor je zavírán či otevírán pomocí elektromagnetu. Přes škrcení na odpadu putuje palivo zpět do nízkotlakého okruhu. [5]

##### **Způsob činnosti**

Při běžícím motoru se funkce vstřikovače standardně rozděluje na následující provozní stavy:

- Vstřikovač je uzavřen (působením vysokého tlaku)
- Vstřikovač se otevírá (počátek vstříku)
- Vstřikovač je zcela otevřen
- Vstřikovač se zavírá (konec vstříku)

Všechny tyto stavy jsou řízeny pomocí rozdělování paliva do různých částí vstřikovače. Pokud je motor v klidu, tedy neběží a tlak v zásobníku poklesne, je vstřikovač díky pružině trysky uzavřen.

### ***Vstřikovač je uzavřen***

Díky pružině elektromagnetického ventilu a těsnící kuličce, dosedlé v sedle škrcení na odpadu, stoupá v ovládacím prostoru a objemu vstřikovací komory tlak dopravený ze zásobníku. Tlaková síla na čelní plochu ovládacího pístu a síla pružiny elektromagnetického ventilu je větší a působí proti tlakové síle, která působí opačným směrem díky tlačnému mezikruží jehly trysky, což drží vstřikovací trysku uzavřenou.

### ***Vstřikovač se otevírá***

Je to moment počátku vstřiku. Elektromagnetický ventil je otevírán za podpory přitahovacího proudu. S pomocí vysokých proudů, napětí a korigováním řídicí jednotky je možné dosáhnout požadovaných krátkých spínacích časů. [5]

Ventilová pružina je přemožena přitahovací silou elektromagnetu, kotva se nadzvedne a těsnící kulička uvolní škrcení na odpadu. V řídicí komoře poklesne tlak díky palivu, které odchází škrcením na odpadu a pokračuje dál do nízkotlakého okruhu. Tlak v objemu komory působící i na tlačné mezikruží převyšuje tlak v řídicí komoře, který se nestačí vyrovnávat z důvodu škrcení na přívodu. Nižší tlak v řídicím prostoru vyvolává i nižší sílu na řídicí píst, tím pádem dochází k otvírání vstřikovací trysky. [5]

### ***Vstřikovač je zcela otevřen***

Rychlost otvírání ventilu je závislá především na rozdílu průtoku při přepouštění paliva u škrcení na přívodu a u škrcení na odpadu. Řídicí píst se při otvírání zastaví o hydraulický doraz, který vzniká prouděním paliva od škrcení na přívodu ke škrcení na odpadu. V této chvíli je vstřikovač plně otevřen a vstřikovací tryska vstřikuje palivo pod téměř srovnatelným tlakem jako je v tlakovém zásobníku. Vstříknuté množství paliva je tedy při daném tlaku úměrné době otevření vstřikovače a není závislé na otáčkách motoru nebo čerpadla.

### ***Vstřikovač se zavírá***

Při neaktivovaném elektromagnetickém ventilu, vlivem síly pružiny na kotvu, dojde k uzavření škrcení na odpadu těsnící kuličkou. V řídicím prostoru se rychle vyrovná tlak na stejný, jako je v zásobníku a v objemu vstřikovací komory. Vlivem zvýšeného tlaku v řídicí komoře a síly pružiny působící na jehlu trysky je přemáhána síla od tlačného mezikruží jehly silou opačné orientace. Vstřikování končí v okamžiku dosednutí jehly trysky do sedla.

#### **4.4.2.4.2 Piezoelektrický vstřikovač inline**

##### **Konstrukce**

Piezoelektrický vstřikovač se často dělí do čtyř podstatných konstrukčních skupin

- Modul akčního členu
- Hydraulický vazební člen nebo převodník
- Řídicí ventil nebo servoventil
- Modul trysky

Konstrukce tohoto vstřikovače klade velký důraz na tuhost regulačního řetězce, do kterého patří akční člen, hydraulický vazební člen a řídicí ventil. U tohoto vstřikovače odpadly mechanické síly na jehlu trysky, které se vyskytovali u vstřikovačů s elektromagnetickým ventilem. Tyto úpravy vedly ke zlepšení stability vstřikovače oproti konvenčním systémům. Tento vstřikovač je také schopen pracovat s velmi krátkými intervaly a umožňuje tak až pět vstřiků při jednom pracovním zdvihu válce. [5]

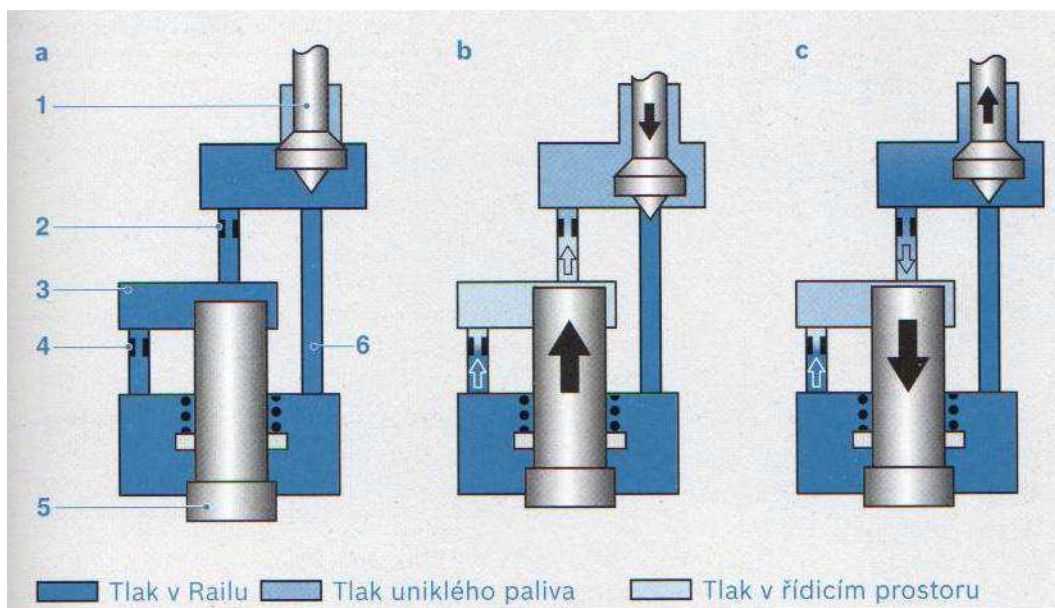
Díky servoventilu je reakce jehly při aktivaci akčního členu téměř okamžitá. Doba prodlevy mezi počátkem elektrické aktivace a reakcí jehly je přibližně 150 mikrosekund. [5]

Tato koncepce vstřikovače nemá žádná místa přímého úniku vysoce stlačeného paliva do nízkotlaké části, což vede ke zvýšení hydraulické účinnosti celého systému. [5]

##### **Způsob činnosti**

Hlavní roli v ovládnání tohoto vstřikovače hraje servoventil (Obr 7). Tímto ventilem je nepřímou aktivována jehla trysky. Délka vstřikování je závislá na době, po kterou je ventil aktivován a udává vstřikované množství. Servoventil odděluje vysokotlakou část od

Obr. 7: Funkce servoventilu a) poloha start, b) jehla trysky se otvírá, c) jehla trysky se zavírá



Zdroj [5]

nízkotlaké v momentě, kdy není aktivován. Stejný tlak jako je v tlakovém zásobníku je i v řídicí komoře, což drží jehlu trysky v uzavřeném stavu. Servoventil je ovládán pomocí piezoelektrického akčního členu, jehož aktivací je uzavřen obtokový kanál. Podobně jako u vstřikovače s elektromagnetickým ventilem, prostřednictvím rozdílu průtoku u škrcení na přívodu a škrcení na výstupu se snižuje tlak v řídicím prostoru a tryska se otevře. Pro zavření vstřikovací trysky se musí vybit piezoelektrický akční člen, jehož prostřednictvím se uvolní obtok. Řídicí prostor se opět začne plnit a to jak škrtícím otvorem na přívodu, tak škrtícím otvorem na výstupu. Díky obousměrnému plnění dosáhne řídicí komora rychle stejného tlaku jako je tlak v zásobníku a jehla trysky se zavře, čímž ukončí vstřikovací cyklus. Oproti konvenčním vstřikovačům je tato konstrukce schopna rychlejšího ovládání a kratší doby vstřiku. Pozitivně se to odráží na emisích a výkonu motoru. [5]

### Výhody piezoelektrických vstřikovačů

Zásadní výhodou oproti konvenčním vstřikovačům je možnost několikanásobného vstřiku s pružným počátkem a prodlevami mezi vstřiky. Tento vstřikovač je schopný vstříknout velmi malé množství při předstřiku. Vstřikovač je celkově menší a má téměř poloviční hmotnost (přibližně 270g) oproti vstřikovači s elektromagnetickým ventilem.

Spotřeba paliva je o 3% nižší, emise se snížily zhruba o 20% a výkon motoru stoupl v průměru o 7%. [5]

#### **4.4.2.5 Vstřikovací trysky**

Vstřikovací trysky mají obrovský vliv na vytváření směsi ve válci, charakter spalin, průběh spalování a tedy i výkon motoru. Vstřikovací trysky jsou proto zásadním orgánem vznětového motoru. Každý motor vyžaduje takové provedení trysky, aby optimálně plnila požadované úkoly. Tryska je při běhu motoru vystavována extrémním podmínkám. Největší odolnost musí vykazovat tryška vůči mechanickému pulznímu a tepelnému namáhání. Tepelné namáhání vzniká nejvíce u jízdy vozidla bez plynu (brzdění motorem), kdy tryška není ochlazována vstřikovaným palivem. Musí být tedy dimenzována na tyto podmínky. [5]

Vstřikovací tryška se významně podílí na těchto činnostech:

- Utváření průběhu tlaku
- Optimální rozprášení a rozdělení paliva ve spalovacím prostoru
- Utěsnění palivového systému vůči spalovacímu prostoru [5]

##### **4.4.2.5.1 Otvorové trysky**

Systém CR a i ostatní systémy přímého vstřiku používají otvorové trysky. Tyto trysky směřují do spalovacího prostoru pod rozličnými úhly, tudíž je potřeba dbát na správnou orientaci vůči spalovacímu prostoru.

Otvorové trysky se dělí na:

- Trysky s vývrtem
- Trysky s otvory do sedla

Dále je můžeme dělit podle průměru jehly na typ P s průměrem jehly 4mm, a typ S s průměrem jehly 5 a 6 mm. [5]

#### **Konstrukce**



Na plášti hrotu trysky leží několik vstřikovacích otvorů. Jejich počet a průměr se odvíjí od požadovaného vstřikovaného množství, tvaru spal. prostoru a víření vzduchu ve spal. prostoru. Vstřikovací otvory nemají stejný průměr v celé své délce. V místě, kde otvor trysky ústí do spal. prostoru, je průměr nepatrně větší oproti druhému konci otvoru. Náběžné hrany bývají někdy zaobleny hydroerozivním obráběním, což by mělo vést k optimalizaci součinitele proudění v trysce, zabránit opotřebení hran a zúžit tolerance průtoku. Tlaková komora trysky je vyrobena elektromagnetickým obráběním. Těleso trysky se nejprve navrtá, poté je do něj zavedena elektroda a za proplachování elektrolytem začne probíhat anodový rozklad, čímž je odebírán materiál a vytváří se tlaková komora. Sedlo jehly trysky je velice důležitým prvkem. Tvar sedla jehly a hrotu trysku může výrazně ovlivnit tvorbu emisí motoru NO<sub>x</sub> a sazí. Pod sedlem se také nachází zbytkové množství paliva, které se vlivem vysokých teplot odpařuje a dochází k tvorbě nežádoucích uhlovodíkových emisí. Důležité je tedy prostor, ve kterém se zbytkové palivo nachází zmenšit na nejmenší možnou mez. S ohledem na tyto důležité parametry se používají především dvě provedení trysek a to tryska se slepým vývrtem a tryska s otvory do sedla. [5]

Pro systém CR je ovšem neoptimálnější tryska se slepým mikrovývrtem. Tato tryska je specifická ve svém až o 30% menším slepém vývrtnu oproti běžným tryskám se slepým vývrtem. Menší slepý vývrt pojme zákonitě méně zbytkového paliva a nedochází k výrazné tvorbě nežádoucích HC emisí. Tato tryska umí relativně rovnoměrně rozdělit vstřikovací paprsky při jejím otevírání. [5]

### **Tvary paprsku**

Trysky pro osobní vozidla pracují většinou s dlouhým a úzkým vstřikovaným paprskem. U motorů osobních vozidel totiž dochází k intenzivnímu víření ve spalovacím prostoru. U nákladních vozidel tomu je naopak. Vstřikované paprsky se nesmí v žádném případě protínat. Při jejich protnutí by se totiž dostala část paliva do prostoru, kde již hoření probíhá a není tam dost vzduchu pro další spalování. Nedostatečné spalování vede ke zvýšení škodlivých emisí a sazí. Počet vstřikovacích otvorů je dán především rozměrem trysky. U osobních vozidel bývá až šest otvorů. Další vývoj směřuje ke zvýšení počtu vstřikovacích otvorů a ke zmenšení jejich průměru (< 0,12 mm), čímž se dosáhne ještě jemnějšího rozprášení. Vzhledem k dynamickému vývoji vstřikovacích systémů půjde i vývoj trysek stále kupředu. [5]

## **4.5 Elektronická regulace vznětových motorů (EDC)**

Zkratku EDC (Electronic Diesel Control) překládáme jako elektronickou regulaci nebo řízení vznětového motoru. Právě díky EDC je schopen vznětový motor plnit přesné vstřikovací požadavky. EDC můžeme rozdělit do tří systémových bloků - na snímače a čidla předepsaných hodnot, řídicí jednotku a akční členy. [5]

### **Požadavky**

Momentální trend ve vývoji vznětových motorů je zaměřen na snižování spotřeby paliva a emisí, látek pro životní prostředí škodlivých, (NO<sub>x</sub>, CO, HC, saze) a zároveň dosažení vyšších výkonů. V posledních letech se proto téměř upustilo od nepřímého vstřikování, kvůli horší tvorbě směsi, nižším vstřikovacím tlakům a vyšší spotřebě o 10 až 15%, v porovnání s přímým vstřikováním, které CR používá. Vysoké nároky jsou také kladeny na jízdní komfort a emise hluku. Vstřikovací systém společně s EDC ovlivňují tyto základní faktory:

- Vysoké vstřikovací tlaky
- Utváření průběhu vstřikování
- Předstřík a následné vstřikování
- Vstřikované množství, plnicí tlak a počátek vstřiku přizpůsobené každému provoznímu stavu
- Regulace volnoběžných otáček nezávislá na zatížení
- Regulovaná recirkulace spalin
- Regulace rychlosti jízdy [5]

Pod tlakem vysokých požadavků se elektronická regulace z počátečních jednoduchých systémů řídicích ovládacích hřídel rychle rozvinula do systému, který je schopen v reálném čase zpracovat velké množství dat a komplexně řídit motor. Díky rychlému pokroku a miniaturizaci elektronických komponentů lze komplexí elektroniku umístit do minimálního prostoru. [5]

### **Způsob činnosti**

Prostřednictvím EDC již nemá řidič přímý vliv na množství vstřikovaného paliva, jako tomu bylo u mechanicky řízených systémů. U elektronicky řízených systémů, což je i CR, je množství vstříknutého paliva závislé na různých ovlivňujících veličinách jako např.:

- Poloha plynového pedálu
- Provozní stav
- Teplota motoru
- Zásahy dalších systémů (např. ASR)
- Působení na emise škodlivých látek aj.

Na základě těchto naměřených veličin je přesně odměřeno a vstříknuto požadované množství paliva. Prostřednictvím EDC je také možné měnit okamžik vstřiku. To je ovšem závislé na rozsáhlém sledování, které je schopné odhalit vzniklé odchylky, na jejichž základě jsou provedena příslušná opatření (např. nouzový režim v oblasti volnoběžných otáček). EDC disponuje velkým počtem regulačních obvodů. [5]

„Elektronická regulace vznětového motoru umožňuje také výměnu dat s jinými elektronickými systémy jako např. protiprokluzová regulace dynamiky jízdy s elektronickým programem stabilizace (ESP). Tím je řízení motoru integrováno do celkového systému vozidla (např. snížení točivého momentu motoru při řazení automatické převodovky, přizpůsobení točivého momentu motoru při prokluzu kol, uvolnění vstřikování imobilizérem atd.). Systém EDC je plně integrován do diagnostického systému vozidla. Splňuje požadavky ODB (On-Board-Diagnose – palubní diagnostika) a EOBB (evropská OBD).“ [5]

Moderní vstřikovací systémy jsou tedy na elektronickém řízení a regulaci plně závislé. Bez EDC by žádný vstřikovací systém nebyl schopen plnit vysoké nároky kladené na spotřebu, výkon, emise výfukových plynů, hluku aj. Mechanické ovládání a regulace nemají v současné době dostatečný potenciál pro samostatné uplatnění v moderních palivových soustavách vznětových motorů. Můžeme tedy očekávat, že obrovský rozmach a neustálý vývoj elektroniky bude mít pozitivní dopad co se vývoje u palivových soustav vznětových motorů týká.

## 6 ZÁVĚR

Do budoucna můžeme očekávat další snižování emisí ve výfukových plynech, spotřeby paliva, zvyšování výkonu a to díky efektivnějšímu spalování paliva. Můžeme tedy předpokládat, že další generace vstřikovacích systémů budou pracovat s vyššími tlaky, s více vstřiky na jeden pracovní cyklus, s modernizovanými vstřikovacími tryskami a dalšími inovacemi.

V současné době představují pro pohon osobních automobilů vznětové motory srovnatelnou alternativu k motorům zážehovým. Moderní technologie a technická řešení již téměř odstranila provozní negativa vznětových motorů s konvenční palivovou soustavou, přičemž podstatná výhoda, tedy nižší spotřeba paliva, je zachována. Zvýšená konstrukční náročnost vznětových motorů je ovšem vykoupena jejich vyšší pořizovací cenou a vyššími náklady na údržbu a opravy. Provoz vznětového motoru je tedy ekonomicky výhodnější u osobních automobilů s vyšším kilometrovým nájezdem.

Podkladem pro vznik práce bylo především studium odborné literatury zabývající se primárně problematikou vznětových motorů. Zdrojem informací byly rovněž internetové servery zaměřené na výrobu komponentů pro vznětové motory ale také ze servery, které se tématu osobních vozidel věnují v širším rozsahu. Cenným zdrojem informací jsou také autorovi vlastní zkušenosti z praxe.

## 7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VLK, F. Vozidlové spalovací motory. 1. vydání. Brno: 2003. 580 s. ISBN 80-238-8756-4
- [2] MOTEJL, V. Vstřikovací zařízení vznětových motorů. 1. vydání. České Budějovice: Kopp, 2001. 181 s. ISBN 80-7232-142-0.
- [3] BAUER, H. et al. Diesel - Engine Management. 3rd edition. Plochingen: Robert Bosch GmbH, 2004. 489 s. ISBN 1-86058-435-7.
- [4] FERENC, B. Spalovací motory. 3. vydání. Brno: 2009. 388 s. ISBN 978-80-251-2545-8
- [5] Landhäußer, F. Systém vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory. 1. vydání. Praha: Robert Bosch odbytová společnost s.r.o., 2005. 95 s. ISBN 80-903132-7-2
- [6] BAUMRUK, P. Příslušenství spalovacích motorů. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1994. 236 s. ISBN 80-01-01103-8
- [7] AUTO CZ. *Rudolf Diesel: otec naftového motoru se narodil před 150 lety.* [online]. 18.3.2008. [cit. 2012-3-18]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/rudolf-diesel-otec-vznetoveho-motoru-se-narodil-pred-150-lety-8109>
- [8] MOTOR INFO. *Automobilu se vznětovým motorem je 75 let.* [online]. 10.3.2011. [cit. 2012-3-19]. Dostupné z: <http://www.pressinfo.cz/automobilu-se-vznetovym-motorem-je-75-let.html>
- [9] GSCHEIDLE, R. et al. Příručka pro automechanika. 2. vydání. Praha: Sobotáles, 2002. 652 s. ISBN 80-85920-83-2
- [10] DITTRICH, L. *Common Rail: systému čerpadlo – tryska odzvonilo.* [online]. 9.9.2008. [cit. 2012-4-2]. Dostupné z: <http://www.zavolantem.cz/clanky/common-rail-systemu-čerpadlo-tryska-odzvono>

## **Seznam obrázků**

Obrázek 1 První vznětový motor pro osobní vůz Mercedes Benz 260 D

Obrázek 2 Schéma činnosti rotačního čerpadla s axiálním pístem

Obrázek 3 Stlačování a rozdělování paliva u čtyřválcového motoru

Obrázek 4 Různé provedení rotačních čerpadel s radiálními písty

Obrázek 5 Schéma uspořádání rotoru rozdělovače a hydraulické

Obrázek 6 Schéma rotačního čerpadla pro CR

Obrázek 7 Funkce servoventilu