

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy



Vývoj palivových soustav vznětových motorů

bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Hromádko, Ph. D.

Autor práce: Libor Pavlišta

PRAHA 2014

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pavlišta Libor

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Vývoj palivových soustav vznětových motorů

Anglický název

The development of compression ignition engine fuel systems

Cíle práce

Cílem práce je vytvořit literární rešerši s vlastními komentáři zabývající se vývojem palivových soustav vznětových motorů.

Metodika

- prostudovat základní literaturu v oblasti palivových soustav vznětových motorů
- kontaktovat významné organizace zabývající se danou problematikou
- provést globální literární rešerši v dané problematice
- vlastní rozbor problematiky palivových soustav vznětových motorů
- návrh doporučení a předpokládaný vývoj v oblasti palivových soustav vznětových motorů

Osnova práce

1. Úvod
2. Historický vývoj palivových soustav vznětových motorů
3. Popis základních komponentů palivových soustav vznětových motorů
4. Očekávaný vývoj palivových soustav vznětových motorů
5. Doporučení a závěr

Rozsah textové části

30 - 40 stran formátu A4

Klíčová slova

vznětový motor, motorová nafta, vstříkovací čerpadlo, common rail

Doporučené zdroje informací

1. Rauscher, J.: Spalovací motory, Studijní opory, VUT FSI Brno, 2004
2. Macek, J.: Spalovací motory I, ČVUT Praha, 2007, ISBN 978-80-01-03618-1
3. Beroun, S.: Vozidlové motory. Studijní opory, TU Liberec
4. Scholz, C.: Konstrukce pístového spalovacího motoru. Skripta TU Liberec 2003, ISBN 80-7083-693-8
5. Hromádko J., Hromádko J., Hönig, V., Miler P.: Spalovací motory, Nakladatelství Grada, Praha, 2011, ISBN 978-80-247-3475-0
6. Technická příručka Bosch - Řízení vznětových motorů – Systém vstříkování s tlakovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory, Praha, 2005, ISBN 80-903132-7-2

Vedoucí práce

Hromádko Jan, Ing., Ph.D.

Termín zadání

listopad 2012

Termín odevzdání

duben 2014

doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 18.3.2013

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Vývoj palivových soustav vznětových motorů“ jsem vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Hromádka, Ph.D., s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Janu Hromádkovi, Ph.D., za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce. Mé poděkování také patří panu Jiřímu Zejdovi z firmy Motorpal, a. s., panu Ing. Milanu Koutovi z firmy Robert Bosch odbytová s.r.o., a panu Michalu Tolarovi z firmy KIA Motors Czech s.r.o., za poskytnutí cenných rad a informací.

Abstrakt: Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit literární rešerši s vlastními komentáři, zabývající se vývojem palivových soustav vznětových motorů. V kapitole „Historický vývoj palivových soustav vznětových motorů“ je popsán princip činnosti vznětového motoru a vlastnosti motorové nafty. Dále jsou zde uvedena historická data týkající se vývoje vznětového motoru a důležitých součástí palivové soustavy. V navazující kapitole „Popis základních komponentů palivových soustav vznětových motorů“ jsou podrobněji popsány jednotlivé prvky palivové soustavy a princip jejich činnosti. Jsou zde také popsány základní typy palivových soustav. V další kapitole „Očekávaný vývoj palivových soustav vznětových motorů“ je popsán výhled a možné hlavní směry budoucího vývoje palivových soustav. V závěrečné kapitole je provedeno shrnutí popisované tematiky.

Klíčová slova: vznětový motor, motorová nafta, vstřikovací čerpadlo, common rail

The development of compression ignition engine fuel systems

Summary: objective of this bachelor thesis was to create a literature research with my own comments, engaged in the development of compression ignition engine fuel systems. In the chapter "Historical development of diesel engine fuel systems" is described the working principle of diesel engine and diesel fuel. There are also the historical data concerning the development of the diesel engine and important parts of the fuel system. In the following section "Description of the main components of the fuel system of diesel engines" are described in detail the various elements of the fuel system and the principle of their work. This section also describes the basic types of fuel systems. In the next chapter "The expected development of diesel engine fuel systems" is a trend and possible guidelines for the future development of the fuel system. In the final chapter are summary of described topics.

Key words: compression ignition engine, diesel fuel, fuel injection pump, common rail

Obsah

1. Úvod.....	1
1.1. Cíl práce.....	1
1.2. Metodika.....	2
2. Historický vývoj palivových soustav vznětových motorů	3
2.1. Charakteristika vznětového motoru	3
2.2. Historický vývoj vznětového motoru	4
2.3. Palivo pro vznětové motory.....	6
2.4. Počátky vývoje palivových soustav	7
2.4.1. Vstřikování paliva tlakem vzduchu	8
2.4.2. Mechanické vstřikování paliva	8
2.4.3. Vstřikování se sdruženým tlakovým zásobníkem - Common Rail	9
2.4.4. Pístové vstřikovací čerpadlo.....	9
2.4.5. Ovládání velikosti dodávky paliva	10
2.4.6. Vstřikování s rozdělovačem paliva.....	11
2.4.7. Výtlačné ventily.....	11
2.4.8. Vstřikovací trysky	12
2.4.9. Sdružené vstřikovací jednotky	13
2.5. Vstup zdokonalených vstřikovacích zařízení na trh.....	14
3. Popis základních komponentů palivových soustav pro vznětové motory	15
3.1. Popis jednotlivých součástí palivové soustavy – nízkotlaká část.....	15
3.2. Popis jednotlivých součástí palivové soustavy – vysokotlaká část	17
3.4. Komponenty vstřikovacích soustav - shrnutí	24
3.5. Popis činnosti vstřikovacích soustav	25
3.5.1. Soustava s řadovým pístovým vstřikovacím čerpadlem	25
3.5.2. Soustava s rotačním pístovým čerpadlem	27
3.5.3. Vstřikovací soustava se sdruženými vstřikovači (UIS, PD)	31
3.5.4. Vstřikovací soustava se vstřikovacími jednotkami (UPS, PLD)	33
3.5.5. Vstřikovací soustava s tlakovým zásobníkem paliva Common Rail	34
4. Očekávaný vývoj palivových soustav vznětových motorů.....	38
5. Závěr	39

1. Úvod

Spalovací motor doprovází v dnešní době již neoddělitelně všechny obory lidské činnosti. Jen málokteré technické zařízení si dokázalo v tak krátké době dobýt tak výsadní postavení. Moderní společnost by se bez jeho existence jen stěží dokázala obejít. A přece to není tak dlouho, co byl spalovací motor teprve v plenkách.

Ty doby jsou však za námi, dnes je naopak motor jedním z velmi sledovaných zařízení, jehož parametry dokazují úroveň technické vyzrálosti lidské společnosti. V dnešní době mezi spalovacími motory převládají motory vznětové, k jejichž pohonu se používá ve většině případů motorová nafta.

Proč je tomu tak? Jedním z hlavních parametrů motoru je ve většině odvětví ekonomika jeho provozu, která je velkou měrou ovlivněna účinností. A ta je u dieselového motoru o cca 10% vyšší v porovnání s motorem zážehovým. V osobní dopravě jsou však důležité i další parametry, jako je průběh točivého momentu, maximální výkon, hmotnost motoru a snadnost obsluhy a údržby.

Ještě v devadesátých letech minulého století byly osobní vozy vybavené vznětovým motorem považovány sice za úsporné a motory, co se týkalo životnosti, za téměř „nesmrtelné“, ale výkonové parametry nebyly příliš vysoké. Jak je možné, že během dvou desetiletí diesel poráží svého benzinového kolegu? Je to proto, že díky mnoha inovacím se jeho parametry podstatně zlepšily. A jedním ze základních prvků, který v maximální míře ovlivňuje vlastnosti vznětového motoru, je vstřikovací zařízení. Zde bylo dosaženo velmi významného pokroku.

1.1. Cíl práce

Tuto práci jsem se rozhodl zpracovat z několika důvodů. V posledních deseti letech došlo u palivové soustavy k velmi podstatným změnám. Nejprve začala být řadová nebo rotační vstřikovací čerpadla vybavována elektronickou regulací, a zanedlouho začaly být používány soustavy Common Rail a čerpadlo-tryska. V motoristickém odborném tisku vycházely jednotlivé články popisující tyto soustavy a jejich přednosti i nevýhody, ale většinou se zabývaly konkrétním systémem. Prací, kde by byly

stručně popsány všechny hlavní typy palivových soustav včetně souvislostí jejich vývoje, mnoho nevyšlo, nebo neobsahují, díky až překotnému vývoji, všechna fakta.

Dalším důvodem je můj zájem o vznětové motory, neboť se ve volném čase zajímám o užitková vozidla a jejich opravy a renovace. Tato vozidla jsou vybavována přednostně vznětovým motorem. Často se zabývám i opravami palivových soustav, kde jsem měl možnost se přesvědčit o jejich podstatném vlivu na chod motoru.

Mým cílem je vypracovat práci, kde budou přehledně shrnuty jednotlivé prvky palivových soustav vznětových motorů a popsána jejich funkce. Budu se snažit i popsat historické souvislosti vývoje jednotlivých důležitých komponentů.

1.2. Metodika

Nejprve prostuduji dostupnou literaturu, která se týká vývoje a funkce palivových soustav vznětových motorů. Za účelem získání aktuálních informací o stavu výroby a vývoje palivových soustav vznětových motorů budu kontaktovat i výrobce palivových soustav vznětových motorů. Dalším zdrojem budou i informace zveřejněné na internetu.

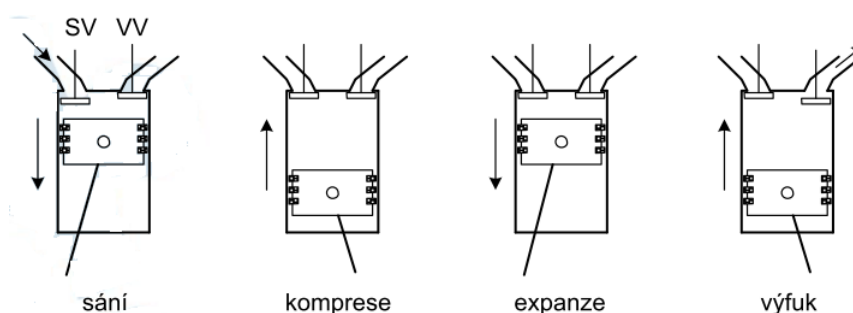
Díky svému rozsahu je práce soustředěna pouze na palivovou soustavu vznětového motoru, aniž by byly blíže popsány další prvky, které sice během práce motoru s palivovým systémem velmi těsně souvisí, avšak nejsou jeho nedílnou součástí. Důvodem je snaha o co největší ucelenost tématu i předem stanovený rozsah.

Na závěr práce shrnu nejdůležitější aspekty a pokusím se nastínit další vývoj v oblasti palivových soustav dieselových motorů.

2. Historický vývoj palivových soustav vznětových motorů

2.1. Charakteristika vznětového motoru

Vznětový motor patří do skupiny motorů s vnitřním spalováním. Během kompresního zdvihu se stlačuje čistý vzduch na vysoký tlak a tím se silně zvýší jeho teplota. Do takto zahřátého vzduchu se před dosažením horní úvratě pístu vstříkne palivo, které se díky vysoké teplotě vzduchu vznítí a spaluje (obr. 2.1.)



Obr. 2.1. Princip činnosti čtyřdobého vznětového motoru [22]

Kvůli dosažení vysoké teploty vzduchu musí být použit vysoký kompresní poměr minimálně 1:12, v praxi se používá obvykle poměr 1:16 až 1:22, přičemž u komůrkových motorů je vyšší. Na konci komprese dosahuje tlak hodnoty 3,0 až 5,5 MPa a teplota je 700 až 900 °C.

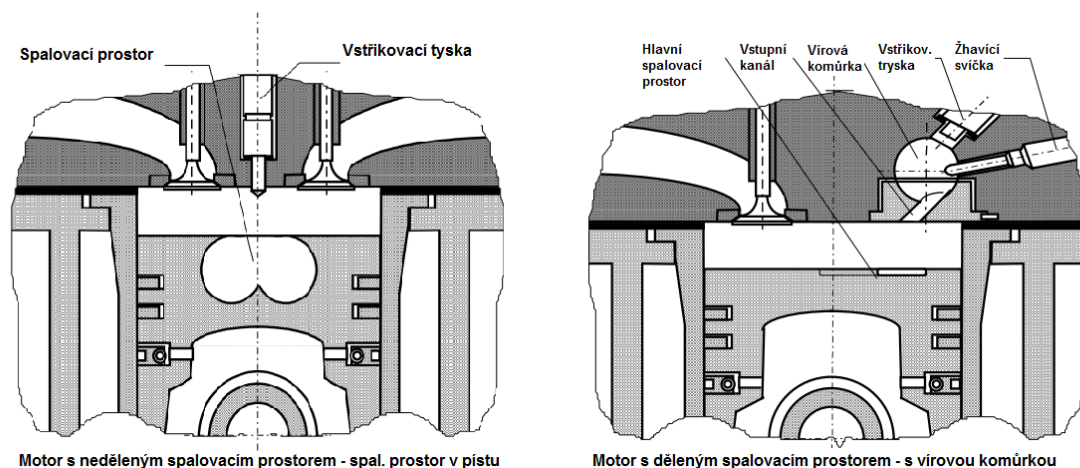
Charakteristické je, že vstřikování paliva, tvoření směsi vzduchu a paliva i hoření směsi probíhá téměř ve stejném časovém intervalu. Všechny způsoby tvorby směsi mají za cíl vytvořit homogenní směs paliva a vzduchu.

Existují dva způsoby tvorby směsi – objemový a termický.

Objemový způsob tvorby směsi paliva a vzduchu se vyznačuje tím, že je celý spalovací prostor vyplněn rozprášeným palivem, přičemž palivo by nemělo dopadat na stěny. Tento způsob je obvykle realizován víceotvorovou tryskou vstřikující palivo do uceleného spalovacího prostoru, rovnoměrnost promísení směsi je obvykle podpořena uměle vytvořeným pohybem vzduchu ve spalovacím prostoru.

Termický způsob je charakterizován tím, že palivo je vstřikováno do spalovacího prostoru jedno nebo dvouotvorovou tryskou a dochází k jeho kontaktu se stěnou spalovacího prostoru. Přívodem tepla ze stěny spalovacího prostoru dochází

k postupnému odpařování paliva a promíšení takto vzniklých par se stlačeným vzduchem, čímž dochází k postupné tvorbě a spalování směsi paliva se vzduchem. Motory používající tento způsob tvorby směsi lze rozdělit na motory s děleným spalovacím prostorem (komůrkové) a s uceleným spalovacím prostorem (M-proces, D-proces).



Obr. 2.2. Spalovací prostory vznětových motorů [22]

2.2. Historický vývoj vznětového motoru

Vynálezce vznětového motoru, Rudolf Diesel (obr. 2.3.), se narodil v Paříži v roce 1858. Jeho vynález přišel v době, kdy se jako zdroj síly používaly téměř výhradně parní stroje.



Obr. 2.3. Rudolf Diesel [19]

V roce 1885 začal Rudolf Diesel pracovat na vývoji vznětového motoru. Jeho práce trvala 13 let, během této doby získal několik patentů. V letech 1893 až 1897, Diesel dále pracoval na svých myšlenkách ve firmě Maschinenfabrik-Augsburg AG.

První prototyp motoru byl navržen na spalování uhelného prachu, což se však neosvědčilo. Teprve použití nejprve benzínu a posléze petroleje vedlo ke kýženému úspěchu. V Augsburgu začalo zkoušení prototypu motoru s vrtáním 250 mm a zdvihem 400 mm (obr. 2.4). Ačkoliv se první test nevydařil podle očekávání, další vývoj vedl k první úspěšné zkoušce 17. února 1897. Motor pracoval s účinností 26,2%, což bylo v porovnání s tehdejšími parními stroji s účinností do 10% vynikající.



*jednoválcový, čtyřdobý,
vodní chlazení*

*vzduchové vstřikování
paliva*

Výkon: 14,7 kW (20 hp)

*Spotřeba: 317 g/kWh (238
g/hp za hodinu)*

Účinnost: 26,2 %

Počet otáček: 172 min⁻¹

Zdvihový objem: 19,6 litru

Vrtání: 250 mm

Zdvih: 400 mm

Obr. 2.4. Dieselův třetí zkušební motor použitý při úspěšné zkoušce v roce 1897 [19]

Dieselův motor potřeboval ještě mnoho dalších vylepšení, aby mohl být úspěšně používán v praxi. Do práce na jeho zdokonalení se pustili i další konstruktéři. Diesel se však cítil do jisté míry touto skutečností ohrožen a ne vždy byl schopen najít s ostatními společnou řeč. Objevila se i kritika jeho role při vývoji motoru a to spolu s finančními problémy vedlo k jeho dosud uspokojivě nevysvětlenému zmizení z paluby lodě na cestě do Anglie.

2.3. Palivo pro vznětové motory

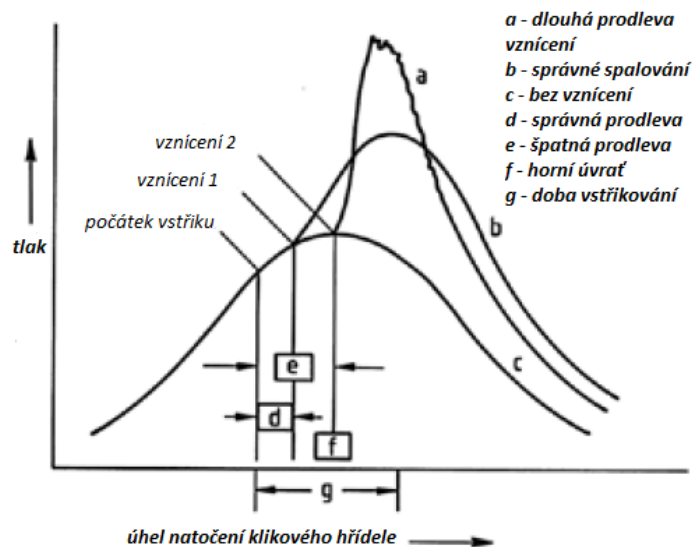
Jako palivo pro vznětový motor se používá ve většině případů motorová nafta, méně již směsná paliva (např. nafta + metylester řepkového oleje) nebo paliva neropného původu (např. metylester řepkového oleje). Poměrně ojedinělé jsou vznětové motory v tzv. „různopalivovém“ provedení na naftu nebo automobilový benzin, které se vyskytují spíše u vojenské techniky.

Motorová nafta patří mezi střední ropné destiláty. V současnosti se jedná o nejdůležitější motorové palivo ve vyspělých zemích. Používá se pro vznětové motory ve všech odvětvích hospodářství i v soukromém sektoru. Motorové nafty jsou poměrně komplikovanou směsí alkanických, cyklánických a aromatických uhlovodíků vroucí v rozmezí cca 180 až 370 °C.

Charakteristika motorové nafty je stanovena v ČSN EN 590 (viz. Příloha 1). V tuzemsku jsou spotřebitelům dodávány dva druhy motorové nafty: letní a zimní. Liší se teplotou vylučování parafínů, jejichž krystalky mohou při nízké teplotě ucpávat palivové filtry a způsobit pokles výkonu motoru nebo jeho zastavení.

Nejdůležitějším palivářským parametrem motorové nafty je cetanové číslo, které vyjadřuje reaktivitu (vznětlivost) paliva. Průtah vznícení, což je doba potřebná ke vznícení paliva po jeho vstřiku, musí být přiměřená. Velký průtah vznícení vede k tvrdému chodu motoru, neboť v okamžiku vznícení je ve válci již velké množství paliva, které se vznítí současně (obr. 2.5.). Naopak, při malém průtahu vznícení palivo začíná hořet bezprostředně po výstřiku z trysky, není dokonale promícháno se vzduchem, takže dochází k nedokonalému spalování. Navíc může dojít ke zvýšenému tepelnému namáhání trysky.

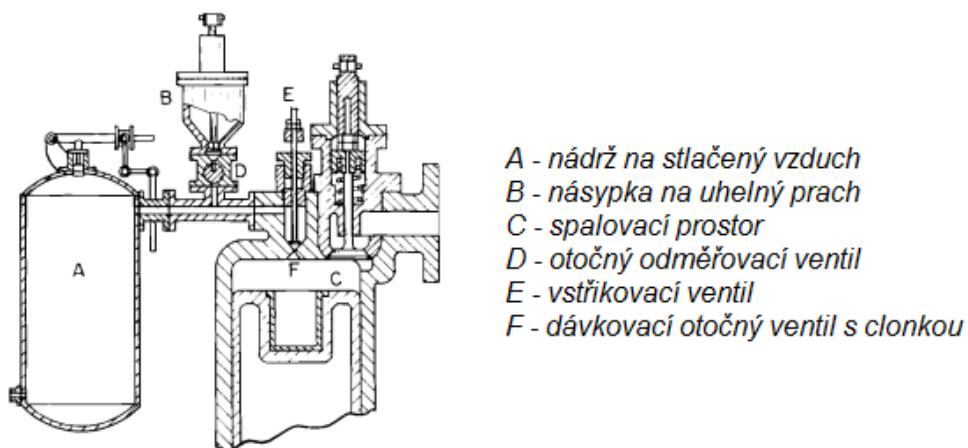
Ke stanovení cetanového čísla slouží zkušební jednoválcový motor s hlavou upravenou pro přímý vstřik. Cetanové číslo je určeno objemovým poměrem 2 látek – cetanu (cetanové číslo 100 – malá prodleva vznícení) a heptametylnonanu (cetanové číslo 0 – velká prodleva vznícení).



Obr. 2.5. Vliv cetanového čísla na průběh hoření [18]

2.4. Počátky vývoje palivových soustav

Když Rudolf Diesel začal vyvíjet vznětový motor, jedním z jeho cílů bylo sestrojít motor, který bude spalovat uhelný prach (obr. 2.6.). Dopravu uhelného prachu do spalovacího prostoru válce obstarávalo „vstřikovací“ zařízení, kde uhelný prach byl dávkován pomocí otočného ventilu a dopravován po otevření mechanicky ovládaného „vstřikovacího“ ventilu jeho ústím do spalovacího prostoru.

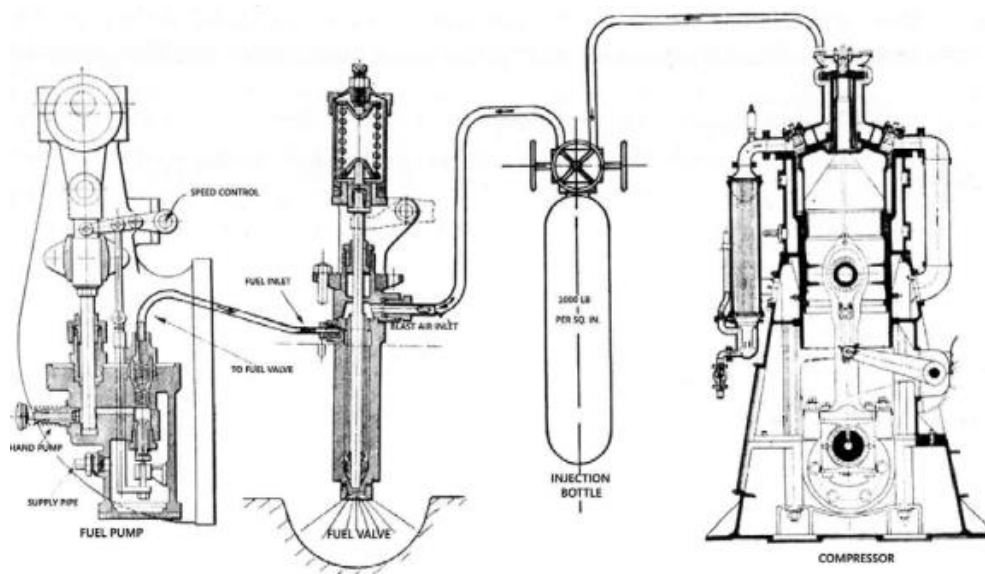


Obr. 2.6. Zařízení na vstřikování uhelného prachu- patent R. Diesela z roku 1895 [17]

Uhelný prach se ale jako palivo neosvědčil, a tak se Diesel začal zajímat o kapalná paliva. Nejprve to byl benzín, který také nepřinesl uspokojivý výsledek, ale později použil petrolej, se kterým měl motor klidnější chod.

2.4.1. Vstřikování paliva tlakem vzduchu

První mechanické vstřikovací zařízení bylo ovšem značně nedokonalé, možná kvůli velkému objemu paliva v samotném vstřikovacím systému, a proto bylo vstřikování velmi nepřesné a Diesel si proto vzpomněl na použití stlačeného vzduchu. Využil zařízení, které měl z pokusů o spalování uhlénoho prachu. Hned první zkouška vyšla a vstřikování tlakem vzduchu se používalo ještě mnoho let (obr. 2.7.). Už v počátcích vývoje vznětového motoru tak bylo jasné, že úspěch nebo neúspěch tohoto motoru bude velmi těsně spjat s vývojem vhodného vstřikovacího zařízení.

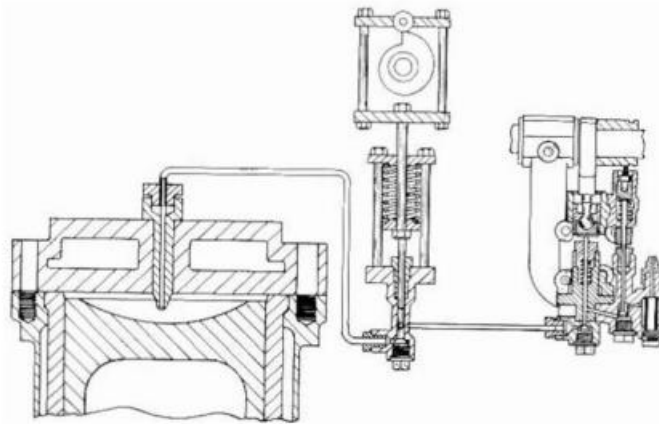


Obr. 2.7. Vysokotlaké vzduchové vstřikovací zařízení [17]

Většina používaných vstřikovacích zařízení pracujících se stlačeným vzduchem měla stejný princip jako původní zařízení, které používal Rudolf Diesel. Stlačený vzduch byl vyráběn v kompresoru a shromažďován ve vysokotlakém vzduchojemu. Vzduch ze vzduchojemu se mohl použít i při spouštění motoru. Palivo bylo dávkováno potrubím do vstřikovače, který byl spojen se vzduchojemem. Výstřik nastal po otevření vstřikovacího ventilu, který byl ovládán mechanicky pomocí vačky. Do válce se vstříkla již promísená směs paliva se vzduchem.

2.4.2. Mechanické vstřikování paliva

Jeden z prvních uspokojivě pracujících vstřikovacích systémů, které již pracovaly na mechanickém principu, tzn. nepotřebovaly stlačený vzduch, byl použit na motoru v roce 1910 Jamesem McKechniem z anglické firmy Vickers Ltd. (obr. 2.8.)



Obr. 2.8. Mechanické vstříkovací zařízení Jamese McKechnie z firmy Vickers [17]

Nafta byla dopravována pomocí dávkovacího čerpadla do pístového plunžrového čerpadla ovládaného pružinou, která byla napínána vačkou. Po uvolnění napětí pružina stlačila píst čerpadla, které vstříklo palivo do spalovacího prostoru.

2.4.3. Vstříkování se sdruženým tlakovým zásobníkem - Common Rail

V roce 1913 firma Vickers, Ltd., vyvinula systém vstříkování s tlakovým zásobníkem „Common Rail“. Několikaválcové čerpadlo stlačovalo palivo do tlakového velkokapacitního zásobníku, kde byl pomocí redukčního ventilu udržován tlak přibližně 35 MPa. Dávkování paliva bylo ovládáno délkou otevření vstříkovacích ventilů.

2.4.4. Pístové vstříkovací čerpadlo

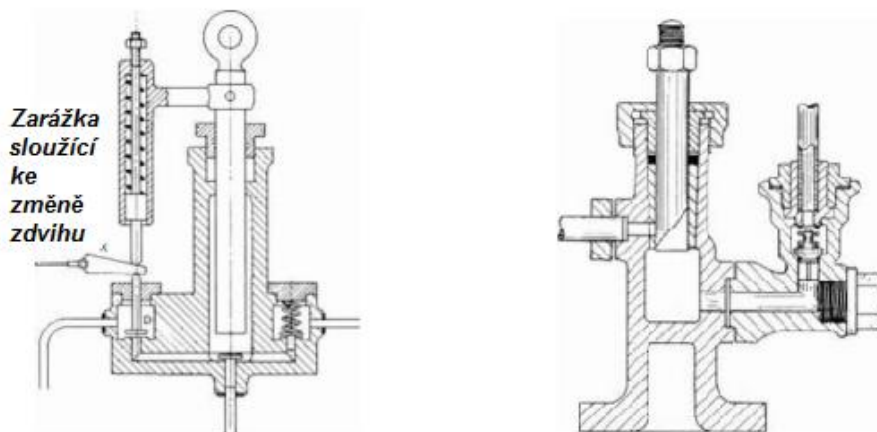
Vynálezce pístového vstříkovacího čerpadla, které vstříkovalo odměřené množství paliva do spalovacího prostoru válce motoru, je těžké vystopovat. Anglická společnost Richard Hornsby and Sons použila vstříkovací čerpadlo v roce 1891, další anglická firma, Proctor and Co., použila podobný typ čerpadla v roce 1909. V roce 1914 De La Vergne Company z Philadelphie použila vstříkovací čerpadlo, které vstříkovalo palivo velmi vysokým tlakem (maximální dávka paliva byla vstříknuta během 12° otočení klikové hřídele) do dvou jednotvorových vířivých trysek, ústících proti sobě do spalovacího prostoru.

Společným rysem těchto raných vstříkovacích zařízení, který přetrval dodnes, bylo použití pístkových elementů pro vytvoření vysokého tlaku potřebného pro vstříknutí do válce motoru. Utěsnění dvojice válec – píst bylo provedeno pomocí těsnění, která

byla zdrojem potíží. První provedení, které díky přesnému lícování pístu ve válci odstranilo nutnost použití těsnění, patentoval v roce 1912 Otto F. Persson z USA. V roce 1919 Phillip L. Scott popsal metodu lícování pístků do válců s předpokládanou vůlí 0,0025 mm.

2.4.5. Ovládání velikosti dodávky paliva

Jedním z hlavních úkolů vstřikovacího zařízení je přesné odměřování dávky paliva. První používaná metoda ovládání dávky paliva byla pomocí změny zdvihu pístku ve válci čerpadla. Američan John F. Holland patentoval v roce 1886 systém změny zdvihu pístů pomocí posouvání vačkové hřídele se šikmými vačkami. Rudolf Diesel v roce 1900 vyvinul zařízení, u kterého se měnil zdvih pístu zasouváním klínové zarážky a tím docházelo ke změně dodávky paliva (obr. 2.9.).

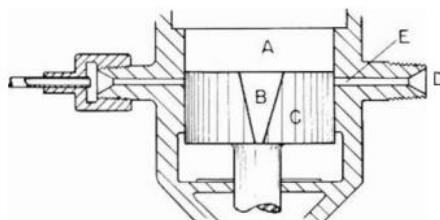


Obr. 2.9. Dieselův systém řízení dávky paliva pomocí klínové zarážky a Pieperův systém ovládání dávky pomocí natáčení pístu [17]

Ovládání dávky paliva pomocí šikmé hrany pístu poprvé zrealizoval Carl Pieper z Německa v roce 1892. Sací kanál čerpadla byl uzavírán šroubovitě zkosenou hranou pístu. Pomocí natáčení pístu a tím změně nasátého množství paliva bylo možno ovládat vstřikované množství paliva. Angličan William H. Scott v roce 1895 přišel s variantou, kde se natáčením pístu měnil počátek i konec vstřiku paliva. Často se také používalo ovládání dávky pomocí změny množství nasátého paliva, kdy byl regulátor spojen přímo se sáním čerpadla a pomocí jeho škrcení ovládal vstřikovanou dávku. S tímto nápadem poprvé přišel němec Imanuel Lanster v roce 1892.

2.4.6. Vstřikování s rozdělovačem paliva

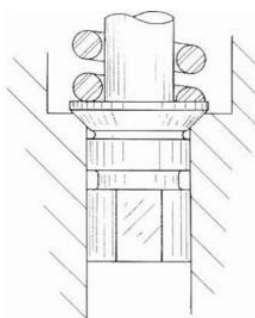
V roce 1914 patentoval belgičan Francois Feyens vstřikovací zařízení s otočným rozdělovačem paliva, které dopravovalo odměřenou dávku paliva do několikaválcového motoru. Jak je patrné z obrázku 2.10., stlačené palivo bylo dopravováno do prostoru A, odkud proudilo do prostoru B se šikmými hranami, který byl vytvořen ve válcové rozdělovací hlavě C. Množství paliva bylo ovládáno zvedáním nebo spouštěním rozdělovací hlavy C, takže se měnila efektivní šířka kanálku B a tím i velikost dodávky do kanálku E. Rozdělovací hlava se otáčela a odkrývala vývody čerpadla D tak, aby bylo palivo vstřikováno ve správném okamžiku.



Obr. 2.10. Vstřikovací jednotka s otočnou rozdělovací hlavou dle F. Feyense [17]

2.4.7. Výtlačné ventily

Jedním z problémů, které doprovázely vývoj vstřikovacích zařízení, bylo odkapávání paliva z trysky po ukončení vstřiku, které bylo způsobeno zbytkovým tlakem v přívodním vysokotlakém potrubí. Tento nepříznivý jev se projevuje kouřením motoru, postupným zakarbonováním a ucpáváním trysky a samozřejmě zvýšením spotřeby paliva. V roce 1910 američan Herbert Kempton navrhl výtlačný ventil s otvorem, kterým se palivo mohlo vracet z vysokotlakého potrubí při pohybu pístku čerpadla do dolní úvratě.



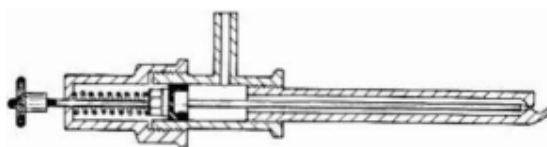
Obr. 2.11. Výtlačný ventil firmy Atlas z roku 1926 [17]

Axel Danielson ze švédské firmy Atlas Diesel Company v roce 1924 zavedl odlehčovací ventil, který byl patentován v roce 1926 (obr. 2.11.). Podařilo se mu vyřešit to, oč usilovali jeho předchůdci: snížení tlaku ve vysokotlakém potrubí okamžitě po skončení vstřiku paliva. Ventil měl pod svým těsnicím sedlem pístek, který těsnil ve vysokotlakém vývodu čerpadla. Po ukončení vstřiku ventil dosedl zpět do sedla a odlehčil vstřikovací potrubí o objem pístku.

2.4.8. Vstřikovací trysky

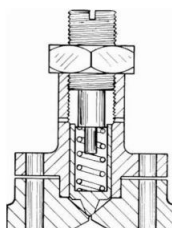
Američan John P. Holland v roce 1886 patentoval trysku s talířovým ventilkem, měla sloužit pro vstřikování kerosinu, petroleje a nafty do směšovače, ze kterého se měla po promísení se vzduchem směs dostávat do spalovacího prostoru motoru.

V roce 1890 patentoval vstřikovač, který samočinně hydraulicky otevíral trysku při zvýšení tlaku v přívodním vysokotlakém potrubí, angličan James Hargreaves. Tryska byla uzavřena čepem, který do sedla přitlačovala pružina (obr. 2.12.). Mezi čepem a pružinou byl pístek, který se při zvýšení tlaku nadzvedl, a palivo se vstříklo do válce. Pod ústím trysky byl nosík, na který dopadalo palivo a lépe se rozprašovalo, protože vstřikovací tlak nebyl příliš vysoký.



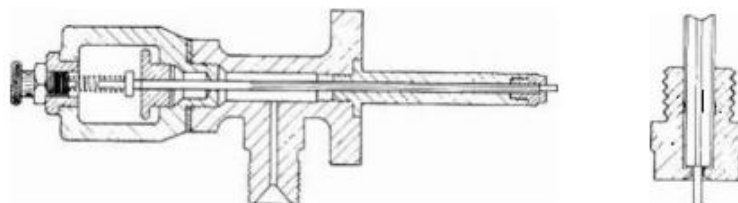
Obr. 2.12. Hargreavesova vstřikovací tryska [17]

Vstřikovací tryska se samočinným otevíráním hydraulickým tlakem vstřikovaného paliva, jak ji známe dodnes, byla poprvé použita firmou Thornycroft v Anglii v roce 1908 (obr. 2.13.). V roce 1910 Frederick H. Livens patentoval v Anglii na podobnou trysku s tangenciálními kanálky v sedle trysky za účelem dobrého rozprašení paliva.



Obr. 2.13. Vstřikovací tryska Thornycroft – hydraulicky otevíraná tlakem paliva [17]

První vstříkovací trysku, která byla předchůdkyní dnešních čepových trysek, patentoval dán Peter Bowman v roce 1910. Čep, který byl v podstatě prodloužením jehly trysky, procházel výstřikovým otvorem (obr. 2.14.). Protože těsnicí plocha ventilu byla blízko ústí trysky, dá se říct, že to je první představitelka čepových trysek ovládaných hydraulicky tlakem vstříkovaného paliva.

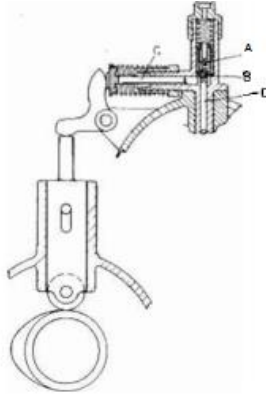


Obr. 2.14. Vstříkovací tryska Peter Bowmana a detailní pohled na otvor s čepem [17]

S myšlenkou ovládat vstříkovač pomocí elektromagnetického ventilu přišel poprvé američan Thomas T. Gaff v roce 1913. Dle jeho patentu byly vstříkovače zásobovány palivem z vysokotlakého zásobníku, který byl plněn vysokotlakým čerpadlem, tlak paliva byl regulován redukčním ventilem. V roce 1933 Harry E. Kennedy přímo navrhl vstříkovač, který byl ovládán pomocí elektromagnetu, a firma Atlas-Imperial Diesel Engine Company dokonce v této době oznámila uvedení podobného systému na trh.

2.4.9. Sdružené vstříkovací jednotky

Snahou všech konstruktérů, kteří se podíleli na vývoji vstříkovacích zařízení, bylo vyvinutí co nejspolehlivějšího systému. Jedním z problematických míst bylo vysokotlaké potrubí spojující čerpadlo a vstříkovač. Možné řešení bylo i spojení vstříkovacího čerpadla a vstříkovače do jedné jednotky. Už v roce 1905 němec Carl Weidman patentoval systém, kde bylo dávkovací čerpadlo a tryska sdruženy do jednoho celku. Vstříkování bylo prováděno pomocí tlakového vzduchu. A v roce 1911 si nechal angličan Frederick Lamplough patentovat sdružený vstříkovač, jehož princip se používá dodnes (obr. 2.15.).



Obr. 2.15. Systém čerpadlo – tryska z roku 1911 dle návrhu Fredericka Lamplougha [17]

Konstrukce byla jednoduchá. Přívod paliva procházel zeshora kuličkovým ventilem A a ventilem B do činného prostoru čerpadla C. Při stlačení paliva jeho tlak nadzvedl ventil D a palivo bylo vstříknuto tryskou do válce.

2.5. Vstup zdokonalených vstříkovacích zařízení na trh

Do roku 1926 každý výrobce vznětových motorů vyvíjel a vyráběl své vlastní konstrukce vstříkovacích systémů. Většinou však nebyly tyto firmy schopny vyrobit vstříkovací zařízení s dostatečnou přesností a s dodržením výrobních tolerancí. Důsledkem bylo používání primitivních vzduchových systémů vstříkování a common-railů spíše na velkých motorech. Menší motory nebyly díky tomuto omezení příliš rozšířené.

V roce 1922 se firma Robert Bosch rozhodla začít s výrobou vstříkovacích zařízení. Po několikaletém úsilí v roce 1927 zavedla na trh vstříkovací čerpadla s regulací dodávky šikmou hranou pístu. Dále byla zahájena výroba přesných otvorových i čepových vstříkovacích trysek a dalšího nezbytného příslušenství, jako dopravních čerpadel, palivových filtrů a regulátorů otáček.

Teprve v této době, kdy začalo být dostupné kvalitní vstříkovací zařízení, se začala psát historie rychloběžných dieselových motorů. Zanedlouho přišli i další výrobci s nabídkou komponentů vstříkovacích soustav vznětových motorů a dalšímu úspěšnému rozvoji dieselů už nestálo nic v cestě.

3. Popis základních komponentů palivových soustav pro vznětové motory

Jak vyplývá ze samotného principu činnosti vznětového motoru, kdy podmínkou vysoké účinnosti využití paliva je vytvoření homogenní směsi vzduchu a paliva ve správném poměru, i z jeho historického vývoje, je vstřikovací zařízení jednou z nejdůležitějších částí motoru. Pomocí vstřikovacího zařízení lze ve velmi široké míře ovlivňovat parametry motoru. Na práci vstřikovacího zařízení jsou kladeny velmi vysoké nároky, neboť pracuje na jedné straně s velmi vysokým tlakem paliva (dnes i přes 250 MPa) a na druhé straně je vstřikovací tryska vystavena velmi vysokým tlakům a teplotám, protože vstřikuje palivo přímo do spalovacího prostoru motoru. Proto je vstřikovací tryska považována za nejdůležitější součást vstřikovacího zařízení, jelikož na její bezvadné funkci záleží jakost rozprášení paliva a tím kvalita spalovacího procesu. Avšak jako v každém zařízení, i ve vstřikovacím systému motoru musí být jednotlivé součásti pečlivě sladěny, neboť tvoří funkční celek.

Vstřikovací soustavu vznětového motoru můžeme rozdělit na dvě části:

Nízkotlaká část: slouží k uchování zásoby paliva, jeho čištění a dopravě do vstřikovacího nebo vysokotlakého čerpadla. Její součástí je nádrž, palivová nízkotlaká vedení nafty, palivové filtry a dopravní čerpadlo.

Vysokotlaká část: slouží k vytvoření vysokého tlaku paliva a jeho vstříknutí do spalovacího prostoru motoru. Její součásti se liší dle použitého systému vstřikování. Může to být vstřikovací nebo vysokotlaké čerpadlo, vysokotlaké vedení nafty, vysokotlaký zásobník nafty, vstřikovače nebo sdružené vstřikovací jednotky.

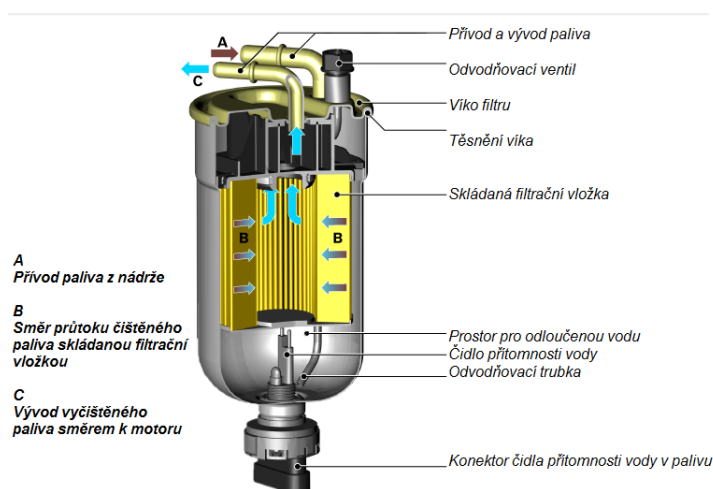
3.1. Popis jednotlivých součástí palivové soustavy – nízkotlaká část

Palivová nádrž: slouží k uchování zásoby paliva sloužícího pro provoz motoru. Musí odolávat chemickému působení paliva i korozi. Dříve se vyráběla převážně z plechu, dnes převažují nádrže plastové. Nádrž musí být vhodným způsobem spojena s okolní atmosférou, aby bylo zabráněno vzniku podtlaku nebo přetlaku při provozu, zároveň však z ní nesmí unikat palivo při provozu vozidla nebo při případné havárii. Musí být oddělena od motoru pro případ nehody vozidla.

Palivové vedení: palivová vedení jsou buď nízkotlaká, sloužící k dopravě nafty do vstřikovacího čerpadla nebo ke spojení přepadu z vysokotlakých částí palivové soustavy, nebo vysokotlaká, sloužící ke spojení vstřikovacího nebo vysokotlakého čerpadla se vstřikovači nebo s vysokotlakým zásobníkem a zásobníku se vstřikovači. Potrubí jsou buď kovová, nebo pryžová s výztuží. Musí být připevněna ve vozidle tak, aby nedocházelo při provozu k jejich nežádoucímu pohybu a poškození. Z bezpečnostních důvodů nesmí být palivo dopravováno samospádem.

Palivové dopravní čerpadlo: jeho úkolem je doprava paliva z nádrže ke vstřikovacímu nebo vysokotlakému čerpadlu. Dopravní čerpadla mohou být pístová, membránová, zubová, ostředivá, případně i jiné konstrukce. Dopravní čerpadlo nasává naftu z nádrže a dopravuje ji do vysokotlakého čerpadla. Obvykle pracuje s přetlakem 0,2 – 0,6 MPa. Může být součástí vysokotlakého čerpadla. U novějších konstrukcí však bývá obvykle poháněno elektricky a umístěno přímo v palivové nádrži nebo v nízkotlakém přívodním vedení od nádrže.

Palivové filtry: mají za úkol zachytit nečistoty obsažené v palivu, a zabránit tak poškození vstřikovací soustavy. Filtry obvykle zachycují jak pevné částice, obsažené v palivu, tak vodu, která může být přimísena v palivu. Zabraňují jednak mechanickému poškození přesně vyrobených součástí vstřikovací soustavy, dále pak korozi způsobené vodou obsaženou v palivu. Odloučením vody zabraňují i zamrznutí systému v zimě. Vyrábí se z různých materiálů, dnes jsou převážně papírové. Mohou být jednostupňové (obr. 3.16.) nebo dvoustupňové, případně doplněné samostatnou usazovací jímkou. Obvykle mají i odkalovací šrouby.



Obr. 3.16. Jednostupňový naftový filtr Bosch s čidlem přítomnosti vody v palivu [18]

3.2. Popis jednotlivých součástí palivové soustavy – vysokotlaká část

Vysokotlaké vstřikovací čerpadlo: vysokotlaká čerpadla slouží u vznětových motorů k vytváření vysokého tlaku paliva, potřebného k jeho vstříknutí a dokonalému rozprášení paliva v pracovním prostoru válce. U vznětových motorů jsou používána výhradně čerpadla pístová.

Podle konstrukce je lze rozdělit na:

1. Čerpadla se samostatnou vstřikovací jednotkou pro každý válec motoru - samostatnou jednotkou se rozumí válec s pístem.
2. Čerpadla s jednou vstřikovací jednotkou společnou pro všechny válce motoru – čerpadla rotační s axiálním pohybem pístu nebo s radiálními písty a rozdělovačem
3. Čerpadlo s vysokotlakým zásobníkem – Common Rail

Podle uspořádání a umístění vstřikovacích jednotek čerpadla dělíme na:

1. Čerpadla s vlastním pohonem – obvykle řadová, tvoří samostatný funkční celek s vlastním vačkovým hřídelem (obr. 3.17.), případně rotační.
2. Čerpadla s cizím pohonem – jednotlivé vstřikovací jednotky jsou připevněny k bloku motoru a jsou poháněny od vačkového hřídele motoru. (čerpadlo-vedení-tryska, Unit pump system - UPS, Pumpe leitung düse - PLD).
3. Sdružené vstřikovací jednotky – vstřikovací jednotka tvoří konstrukční celek se vstřikovačem a je namontována v hlavě motoru. Je poháněna vačkovým hřídelem motoru. (čerpadlo-tryska, Unit injector systém - UIS, Pumpe düse - PD)

Podle řízení velikosti dodávky paliva a počátku (konce) vstřiku

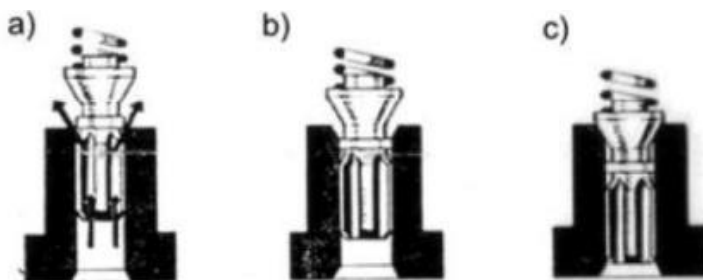
1. Řízení velikosti dodávky pomocí regulační hrany pístu – velikost a načasování vstřiku se děje pomocí natáčení pístku ve válci. Předvstřík lze řídit i pomocí regulačního šoupátka nebo přesuvníku vstřiku (v závislosti na otáčkách).
2. Řízení dodávky paliva pomocí elektromagnetického ventilu umístěného na čerpadle – součástí čerpadla je ventil, který řídí dodávku paliva

3. Řízení dodávky paliva pomocí elektromagneticky řízeného vstřikovače –
dodávka paliva je řízena pomocí elektromagnetických rychlých ventilů, které
jsou součástí vstřikovače.



Obr. 3.17. Řadové elektronicky řízené vstřikovací čerpadlo Motorpal řady EPP.M [4]

Výtlačný ventil: je obvykle součástí vstřikovacího čerpadla, zastává funkci zpětného ventilu, odlehčuje výtlačné potrubí a případně koriguje dodávku vstřikovacího čerpadla (obr. 3.18.).

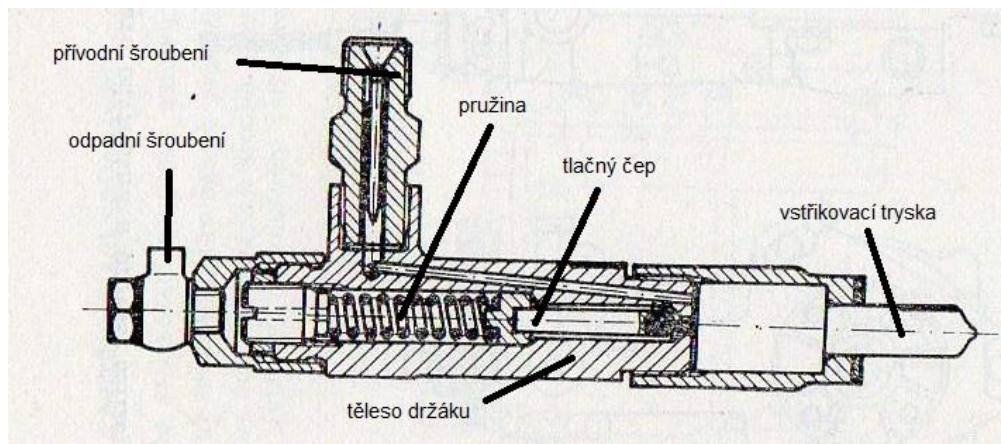


Obr. 3.18. Znáznornění funkce výtlačného rovnoobjemového ventilu – a) poloha při
výtlaku paliva, b) poloha při ukončení výtlaku, c) odlehčení výtlačného potrubí [1]

Zabraňuje tedy vracení paliva z výtlačného potrubí do čerpadla při sacím zdvihu, po výtlaku odlehčí prostor vysokotlakého potrubí (zabránění tzv. „dostřiků“ paliva) a případně vhodným uspořádáním drážek na pístu ventilu lze korigovat i velikost dodávky paliva. Vedle rovnoobjemových výtlačných ventilů se používají i rovnotlaké výtlačné ventily, u nichž zbytkový tlak nezávisí na počtu otáček motoru. Toto provedení bývá použito u přeplňovaných motorů.

Vstřikovač: tvoří konečný článek vstřikovacího zařízení, z něhož se odměřená dávka paliva vstřikuje vysokým tlakem do spalovacího prostoru motoru (obr. 3.19.). Patří

k nejvíce mechanicky i tepelně namáhaným součástem vstřikovacího zařízení a značnou měrou ovlivňuje jakost vstřiku paliva.



Obr. 3.19. Řez vstřikovačem firmy Motorpal [6]

Vstřikovač se skládá z držáku a vstřikovací trysky. Držák je upraven pro připojení přívodního vysokotlakého potrubí a odpadního potrubí. V držáku je pružina a tlačný čep. Držák je konstruován tak, aby umožňoval seřízení předpětí pružiny a tím otevíracího tlaku trysky. Pružina přes tlačný čep působí na jehlu vstřikovací trysky. Při vstřiku paliva proudí palivo z přívodního potrubí tělesem držáku a posléze trysky do sedla trysky, kde hydraulickým tlakem nadzvihne diferenciální jehlu trysky a dojde k výstřiku paliva. Poloha trysky vůči držáku je většinou jednoznačně stanovena pomocí fixovacích kolíků nebo rysek na držáku a trysce. Nedodržení této polohy znamená zhoršení geometrických parametrů vstřiku paliva do válce.

Vstřikovací trysky: vstřikovací tryska je součástí vstřikovače. Jejím úkolem je vstříknout pod vysokým tlakem palivo přímo do spalovacího prostoru válce. Vstřikovací trysky lze rozdělit na trysky otevřené a uzavřené.

Otevřené trysky mají výstřikový otvor otevřený a používají se pouze u velkých motorů.

Uzavřené trysky se vyznačují tím, že po ukončení vstřiku diferenciální jehla uzavírá výstřikový otvor. Tyto trysky se dále dělí na:

Čepové trysky: těmito tryskami jsou osazeny komůrkové spalovací motory. Pod kuželovým sedlem jehly je na jehle vytvořen čep procházející výstřikovým otvorem (obr. 3.20.). Při výstřiku proudí palivo mezikružím tvořeným výstřikovým otvorem

a čepem jehly. Vhodným tvarem čepu lze dosáhnout potřebného rozevření paprsku paliva.



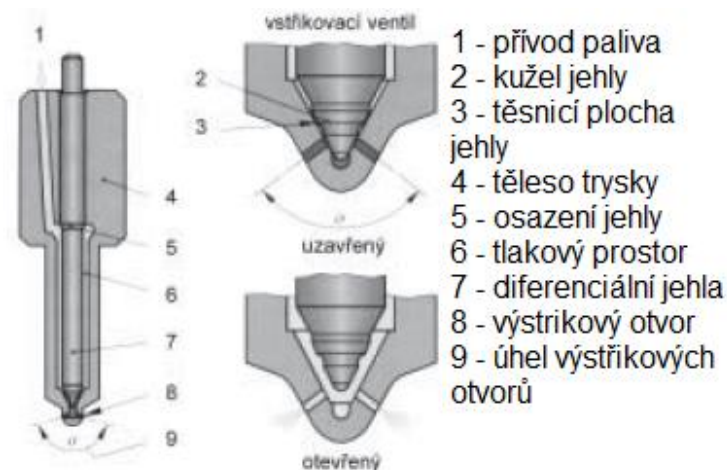
Obr. 3.20. Řez čepovou vstříkovací tryskou [20]

Čepové trysky mohou být i tzv. „škrcené“. Čep těchto trysek je vytvořen tak, že v první části zdvihu jehly je průtočný průřez velmi malý a teprve při dalším nadzvižení jehly se odkryje větší průřez. Použitím škrcené trysky se má docílit měkčího chodu motoru – v první fázi vstřiku se dostává do pracovního prostoru válce pouze malé množství paliva, takže nárůst tlaku je plynulejší a chod motoru je měkčí.

Otvírací tlak u čepových trysek je nižší, obvykle v rozmezí 10-14 MPa, neboť komůrkové motory nejsou díky intenzivnímu víření vzduchu ve spalovacím prostoru tak náročné na kvalitu rozprášení paliva. Obvykle nezáleží na jejich poloze vůči držáku trysky.

Otvorové trysky: tyto trysky jsou v provedení jedno nebo dvouotvorové anebo víceotvorové. Jedno a dvouotvorové trysky se používají u motorů s termickým způsobem tvoření směsi (M-proces, D-proces, Saviem-Avia).

Víceotvorové trysky se používají u motorů s přímým vstřikem paliva. Jejich otvírací tlak je kvůli lepšímu rozprášení paliva vyšší než u trysek čepových, pohybuje se obvykle v rozmezí 15-25 MPa. Počet vstříkovacích otvorů bývá 3 až 8, většinou symetricky uspořádaných a obvykle odkloněných od osy trysky (obr. 3.21.) Vrcholový úhel bývá až 160°. Průměr otvorů bývá 0,15 – 0,40 mm. Menší otvory se snadněji ucpávají. Diferenciální jehla má kuželovité zakončení, které těsní do dosedací plochy v tělese trysky. Většinou je výrobcem určena poloha trysky vůči držáku při montáži.



Obr. 3.21. Řez otvorovou vstříkovací tryskou [20]

3.3. Regulační zařízení vstříkovacích soustav

Jeho účelem je přizpůsobování dávky paliva dle okamžitých provozních podmínek motoru tak, aby proces spalování paliva probíhal co nejefektivněji. Zároveň má regulační soustava za úkol zabránit poškození motoru přílišným zvýšením otáček, a proto musí při dosažení nastavených otáček uzavřít dodávku paliva.

Regulační zařízení se dělí na mechanická a elektronická.

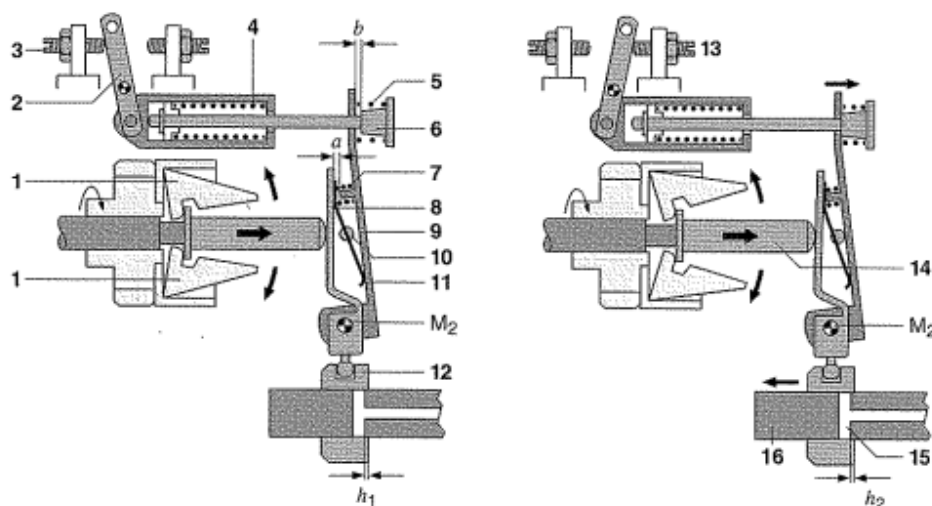
Mechanické regulátory jsou obvykle odstředivé, ale mohou být pneumatické nebo hydraulické. Odstředivé regulátory vycházejí z principu Wattova odstředivého regulátoru, tzn. při změně otáček dochází odstředivou silou ke změně polohy závaží, která jsou spojena pomocí ovládacího mechanismu s regulační tyčí nebo regulační objímkou vstříkovacího čerpadla. Na základě polohy ovládací páky čerpadla, otáček motoru, u přeplňovaných motorů také na základě plnicího tlaku, dochází k ovládní dávky paliva dodávané vstříkovacím čerpadlem.

Pneumatické regulátory regulují na základě velikosti podtlaku v sacím potrubí motoru.

Hydraulické regulátory regulují podle výše tlaku kapaliny vytvářeného čerpadlem, které je připojené k motoru.

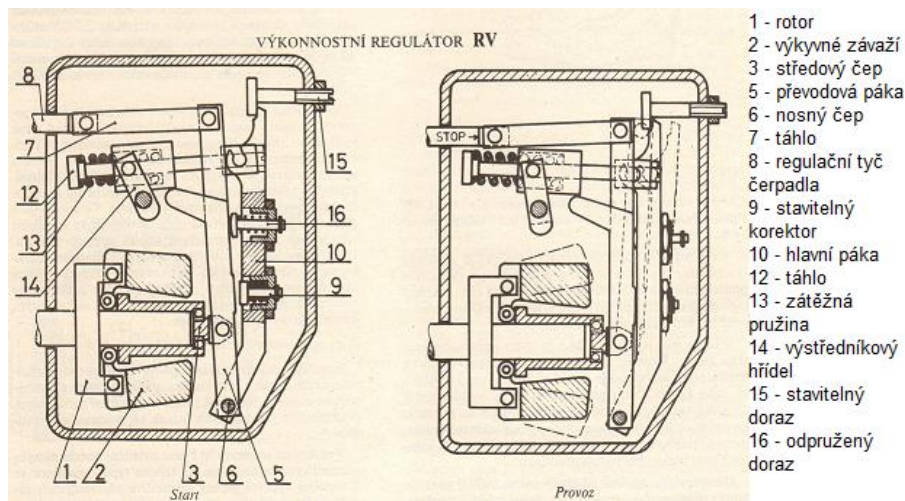
Mechanické regulátory jsou dvojího druhu: omezovací a výkonnostní.

Omezovací regulátor: udržuje pravidelné otáčky v rozsahu volnoběhu motoru, neboť naftový motor by se při konstantní dodávce paliva v oblasti volnoběžných otáček měl tendenci buď rozbíhat, nebo zastavovat. Dále při dosažení maximálních otáček motoru uzavře dodávku paliva (obr. 3.22.) Mezi oblastí volnoběhu a maximálních otáček záleží dávka paliva pouze na poloze ovládací páčky čerpadla (poloze pedálu akcelerace).



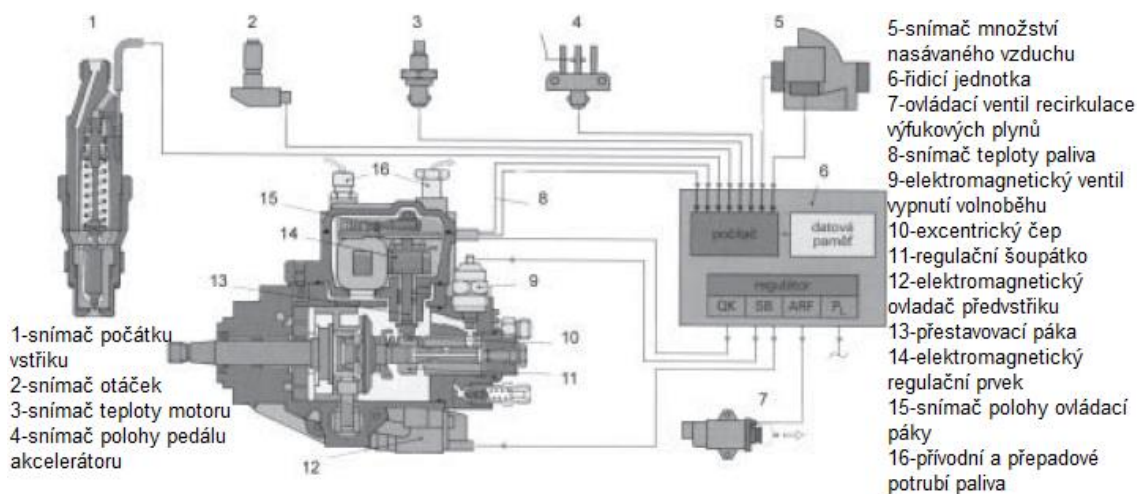
Obr. 3.22. Odstředivý omezovací regulátor Bosch montovaný na rotačních čerpadlech řady VE – působí na regulační objímku (poz. 12) [3]

Výkonnostní regulátor: udržuje otáčky motoru v celém jejich rozsahu podle polohy ovládací páky vstřikovacího čerpadla. Zároveň nedovolí překročení maximálních otáček motoru, neboť při jejich dosažení uzavírá dodávku paliva. Při konstantní poloze ovládací páky kolísají otáčky pouze v určitém rozmezí, nazývaném nerovnoměrnost regulátoru. Regulátor pracuje tak, že při zvýšení zatížení a tím způsobeném poklesu otáček zvýší dodávku paliva do doby, než dojde ke zvýšení otáček na hodnotu, která odpovídá poloze ovládací páčky. Stejně pracuje i v opačném případě, při odlehčení motoru a vzestupu otáček, kdy naopak sníží dodávku do doby, než dojde k vyrovnání otáček na hodnotu odpovídající poloze ovládací páky (obr. 4.23.).



Obr. 4.23. Odstředivý výkonostní regulátor Motorpal – působí na regulační tyč, která natáčí regulační objímky pístků čerpadla [4]

Elektronické regulační zařízení (EDC – Electronic Diesel Control): použití mikroprocesorové elektronické regulace představuje výrazný krok kupředu v oblasti regulace vstřikovacích soustav vznětových motorů. Umožňuje velmi přesnou regulaci kvalitativních i kvantitativních parametrů dodávky paliva v závislosti na provozních podmínkách motoru (obr. 3.24., tab. 3.1). Řídící jednotka motoru sleduje širokou škálu provozních parametrů motoru i vozidla pomocí hlavních a doplňkových snímačů. Po jejich zpracování s ohledem na charakteristiky, uložené v paměti (pole hodnot), řídí činnost motoru. Přenos signálu z řídicí jednotky na jednotlivé regulované součásti vstřikovací soustavy probíhá pomocí nastavovacích zařízení, tzv. akčních členů. Ty mají za úkol mechanické provedení příkazů z řídicí jednotky motoru.



Obr. 3.24. Schéma elektronického řízení motoru (s rotačním čerpadlem) [20]

Elektronickým regulátorem lze vybavit i vstřikovací soupravu, která byla dosud vybavována mechanickým regulátorem. Charakteristiku lze nastavit stejnou jako u omezovacího nebo výkonnostního regulátoru, případně ji upravit.

Vstupní signály	Řídící jednotka (zpracování)	Výstupní signály
poloha pedálu akcelérátoru		
otáčky motoru		
počátek vstřiku		nastavení dávky paliva
tlak plnicího vzduchu		nastavení počátku vstřiku
teplota chladicí kapaliny		uzavření dodávky paliva
teplota nasávaného vzduchu		
teplota paliva		zapínání recirkulace
poloha regulační tyče		regulace tlaku přeplňování
rychlost vozidla		
stav vody v palivu		řízení doby žhavení
klimatizace		td-signál
alarm		
brzdový spínač		signál spotřeby paliva
spínač spojky		
regulátor rychlosti jízdy		odpojení klimatizace
napájecí napětí (svorky 15 a 30)		
kostra vozidla		

Tab. 3.1. Přehled elektronické regulace vstřikovacího systému – vstupy a výstupy řídicí jednotky [19]

Elektronická regulace provádí i nastavování recirkulace výfukových plynů a nastavování plnicího tlaku motoru pomocí řízení funkce turbodmychadla.

3.4. Komponenty vstřikovacích soustav - shrnutí

Jak vyplývá z přehledu hlavních součástí palivových soustav vznětových motorů, je vstřikovací soustava u moderních vznětových motorů velmi sofistikované zařízení, náročné na přesnou výrobu, které v maximální míře ovlivňuje chod motoru a jeho parametry. Podmínky, za kterých pracuje, jsou většinou velmi nepříznivé. Jednotlivé komponenty jsou vystaveny chemickému působení paliva a dalších provozních kapalin, vysokému tlaku, střídání teplot, atmosferickým vlivům, chvění i otřesům vznikajícím při provozu vozidla. Navíc dochází k postupnému opotřebování jednotlivých komponentů. V protikladu k těmto skutečnostem stojí požadavky na co nejdelší bezporuchový provoz, pokud možno neměnné parametry během provozu,

minimální nároky na obsluhu i údržbu, hospodárny provoz motoru a plnění stále přísnějších emisních limitů.

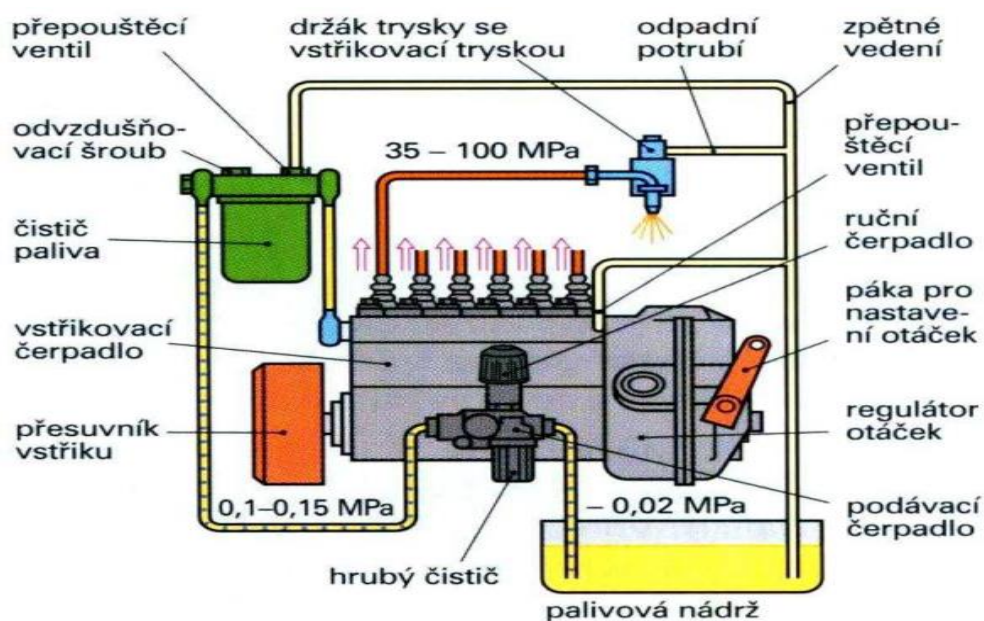
Aby mohla vstřikovací soustava dostát těmto náročným požadavkům, je třeba, aby řidič vozidla věnoval pozornost údržbě vozidla a motoru v intervalech, předepsaných výrobcem vozidla. Servis vozidla by měl provádět autorizovaný servis. Uživatel vozidla může napomoci dlouhé životnosti vstřikovací soustavy i používáním nafty z prověřených zdrojů, neboť moderní vstřikovací systémy jsou velmi náročné na kvalitu paliva. Případné opravy škod, způsobených použitím nekvalitního paliva, jsou obvykle velmi nákladné a vysoce převyšují případnou úsporu, vzniklou nákupem levného, ale nekvalitního paliva.

3.5. Popis činnosti vstřikovacích soustav

Volba vstřikovací soustavy značnou měrou ovlivňuje parametry motoru. V dnešní době je vedle výkonových parametrů velmi důležitým parametrem také produkce škodlivin ve výfukových plynech. Výrobci proto obvykle volí takovou vstřikovací soustavu, která dokáže splnit velmi přísné emisní limity, platné v dnešní době. Největší variabilitu nabízí v současnosti systém vstřikování Common rail, který se uplatňuje u všech typů motorů jak osobních, tak užitkových vozidel.

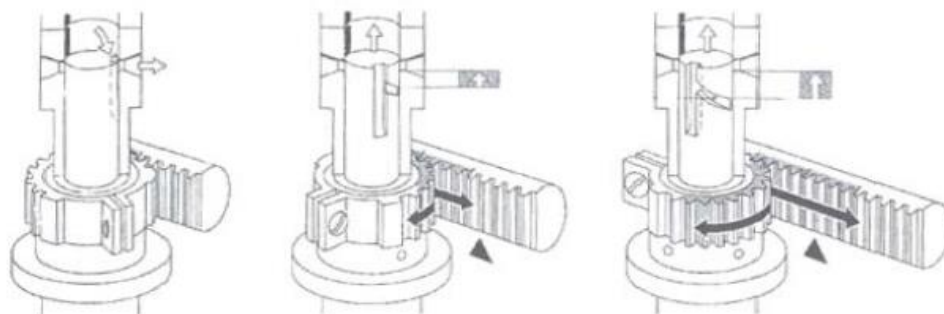
3.5.1. Soustava s řadovým pístovým vstřikovacím čerpadlem

Tato soustava byla v minulosti nejpoužívanější, zejména u užitkových vozidel (obr. 3.25.). Pro každý válec má samostatnou vstřikovací jednotku. Součástí čerpadla bývá obvykle regulátor, dříve mechanický, pneumatický nebo hydraulický, dnes velmi často i elektronický. V dnešní době je často nahrazována systémy čerpadlo-tryska nebo common rail, ale v mnoha aplikacích se stále používá. V budoucnu bude mít stále svoje místo, zejména ve spojení s elektronickým regulátorem. Řadové vstřikovací čerpadlo má pro každý válec samostatnou vstřikovací jednotku (vysokotlaký element), která je tvořena válcem a pístem. Píst je stlačován vačkovým hřídelem čerpadla a vracen zpět pružinou pístu. Jednotky jsou uspořádány v řadě. Zdvih pístu se nemění. Uzavře-li horní hrana pístu plnicí kanálek ve válci, nastává počátek dodávky paliva. Pohybem pístu nastává zvyšování tlaku ve výtlačném potrubí, otevření trysky a vstřik paliva.



Obr. 3.25. Schéma palivové soustavy vznětového motoru s řadovým čerpadlem [22]

Regulace množství paliva se děje obvykle pomocí šikmé regulační hrany pístu čerpadla.



Obr. 3.26. – Regulace množství vstřikovaného paliva natáčením pístu [6]

Ve válci jsou vyvrtány dva radiální kanálky k plnění prostoru nad pístem palivem. Na pístu je svislá drážka a šroubová regulační hrana. Podle natočení pístu se používá vždy část z celkového výtlačného zdvihu pístu. Natáčení pístu čerpadla se obvykle děje pomocí ozubené regulační tyče, která zapadá do regulačního pouzdra s ozubeným pastorkem, které je připevněno na pístu (obr. 3.26.). Regulační tyč je ovládána regulátorem vstřikovacího čerpadla (buď mechanickým nebo elektronickým).

Další možností regulace množství dodávaného paliva je regulační šoupátko na pístu. Toto provedení je více flexibilní a umožňuje mimo změny velikosti dávky i změnu časování dávky paliva (předvstříku).

Vstřikovací čerpadlo může být vybaveno dalším příslušenstvím, jako například samočinným přesuvníkem vstříku, který mění předvstřík v závislosti na otáčkách motoru, dopravním čerpadlem, korektorem dávky paliva napojeným na sání motoru, který u přeplňovaných motorů koriguje dávku paliva v závislosti na plnicím tlaku turbodmychadla.

Součástí vstřikovacího čerpadla v řadovém provedení je obvykle i regulátor otáček, buď mechanický nebo elektronický. Někteří výrobci nabízejí možnost výběru regulátoru buď v provedení omezovacím, nebo výkonostním.

Mazání čerpadla je zajištěno buď vlastní náplní oleje, nebo olejem z mazací soustavy motoru. Nesmí však docházet k ředění mazacího oleje v motoru naftou. Některé konstrukce čerpadel jsou mazány přímo naftou. Konstrukce, které používají mazání olejem, jsou však méně citlivé na čistotu paliva.

3.5.2. Soustava s rotačním pístovým čerpadlem

Rotační vstřikovací čerpadla jsou rozšířena zejména u malých rychloběžných motorů pro osobní a menší nákladní automobily. V porovnání s řadovým vstřikovacím čerpadlem má rotační vstřikovací čerpadlo menší rozměry a je kompaktnější. Obvykle je mazáno přímo motorovou naftou, což sebou přináší zvýšené nároky na čistotu paliva. Současná špičková rotační čerpadla pracují se vstřikovacími tlaky až 150 MPa i více.

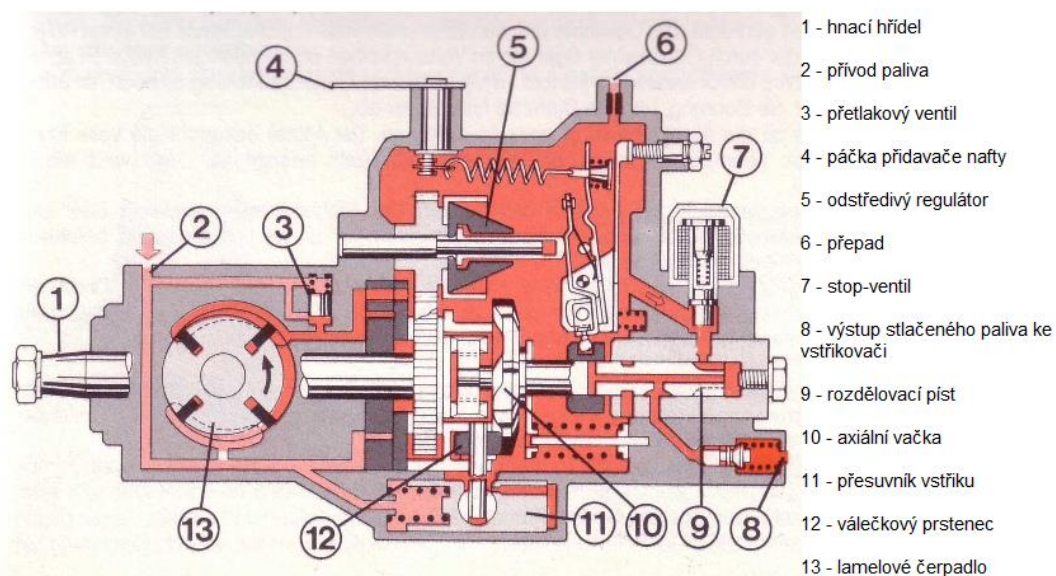
Rotační čerpadla mohou být vybavována jak klasickým mechanickým regulátorem, tak regulátorem elektronickým, který je v dnešní době přednostně používán díky velké flexibilitě řízení. První elektronicky řízené čerpadlo bylo vyrobeno firmou Bosch v roce 1986. Systém EDC (Electronic Diesel Control) byl poprvé použit v roce 1996 firmou Opel.

Společným rysem rotačních čerpadel je, že mají jen jednu vysokotlakou jednotku pro všechny válce. Lamelové čerpadlo dopravuje palivo do vysokotlakého prostoru.

Vysokotlaká jednotka je tvořena buď jedním axiálním pístem nebo dvěma radiálními písty. Množství paliva pro jednotlivé válce určuje a rozděluje rotační pístek.

U rotačního vstřikovacího čerpadla s axiálním pístem koná píst vstřikovací jednotky přímočarý vratný a zároveň otáčivý pohyb. U vstřikovacího čerpadla pro čtyřdobý motor se píst čerpadla otáčí polovičními otáčkami než klikový hřídel motoru.

Při provozu čerpadla je palivo čerpáno lamelovým čerpadlem do celého vnitřního prostoru čerpadla. Přetlak v prostoru čerpadla je udržován přetlakovým ventilem a nadbytečné palivo se vrací přepadem přes škrticí trysku zpět do nádrže (obr. 3.27.). Tlak nafty v tělese čerpadla se zvyšujícími otáčkami motoru stoupá. S rostoucími otáčkami tlak působí na pístek přesuvníku vstřiku, který prostřednictvím kolíku natáčí regulační objímku. V této objímce jsou uloženy kladky.



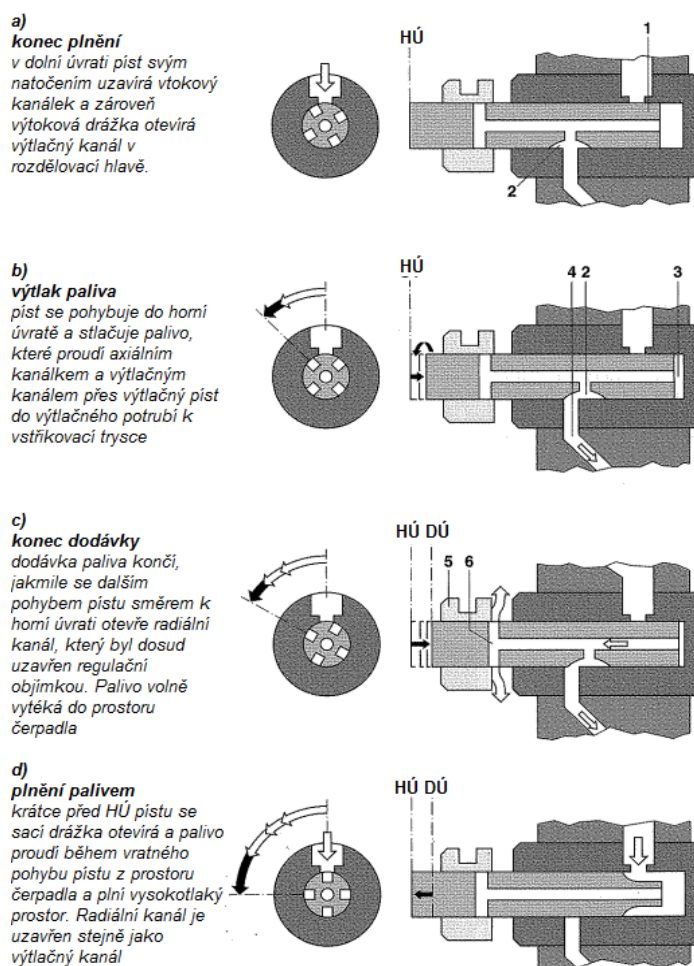
Obr. 3.27. Řez axiálním rotačním vstřikovacím čerpadlem Bosch řady VE s mechanickým odstředivým regulátorem otáček [3]

Natáčením této objímky se posouvá dotykový bod s vačkami, které zajišťují výtlačný pohyb pístu – přímočarý vratný pohyb. Píst zároveň plní i funkci rozdělovače paliva – otáčivý pohyb. Objímka se natáčí proti směru otáčení vačky a tím se zároveň se stoupajícími otáčkami zvyšuje i hodnota předstihu dodávky paliva.

Axiální píst je spojen s pohonem pomocí zubové spojky. Vysokotlaká část čerpadla je plněna palivem pod vysokým tlakem a rotující axiálního píst rozděluje palivo do

jednotlivých výtlačných potrubí (obr. 3.28.). Ve vysokotlakých vývodech čerpadla jsou umístěny rovnoobjemové výtlačné ventilk.

Přesné dávkování je řízeno regulační objímkou, posuvnou po axiálním pístu. Pohyb regulační objímky je určen nastavením regulačních pák objímky ovládaných řidičem a zároveň i odstředivým mechanickým regulátorem. Regulátor je poháněn ozubeným soukolím a zajišťuje regulaci chodu naprázdno a zároveň uzavření dodávky paliva při překročení maximálních otáček motoru. Pracuje tedy jako omezovací. K tomuto typu čerpadla lze použít i regulátor výkonnosti.

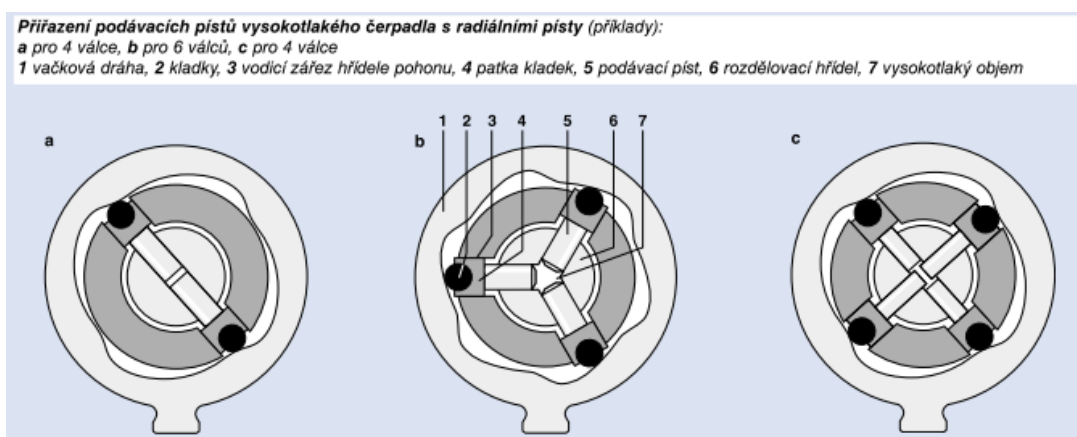


Obr. 3.28. Jednotlivé pracovní fáze vstříkovací jednotky rotačního vstříkovacího čerpadla Bosch řady VE [3]

Přerušování dodávky se provádí buď posuvem regulační objímky pístu čerpadla nebo uzavřením přívodu paliva ventilem odstavení (ELAB). Ventil odstavení je otevřen

tehdy, je-li do něj přiváděn elektrický proud, tzn. po zapnutí klíčku spínací skříňky. Po přerušení dodávky proudu se ventil uzavře a přeruší dodávku paliva.

Rotační vstřikovací čerpadlo s radiálními písty je elektronicky řízené vstřikovací čerpadlo, ve kterém je vysoký tlak paliva vytvářen radiálním pohybem pístů (obr. 4.36.). Písty mohou být dva až čtyři podle počtu válců motoru a použití čerpadla. Čerpadlo vytváří tlak až 100 MPa na straně čerpadla, na straně trysky je vstřikovací tlak až 185 MPa. Rozdělovací hřídel je poháněna přímo od pohonu čerpadla prostřednictvím unašeče. Kolem rozdělovací hřídele je umístěn vačkový prstenec s vnitřními drahami. V hlavě rozdělovací hřídele jsou radiálně umístěny vysokotlaké písty čerpadla. Při otáčení rozdělovací hřídele vysokotlaké písty kopírují vnitřní tvar vačkového prstence a konají vratný pohyb (obr. 3.29.). Tím je stlačováno palivo v centrálním vysokotlakém prostoru.

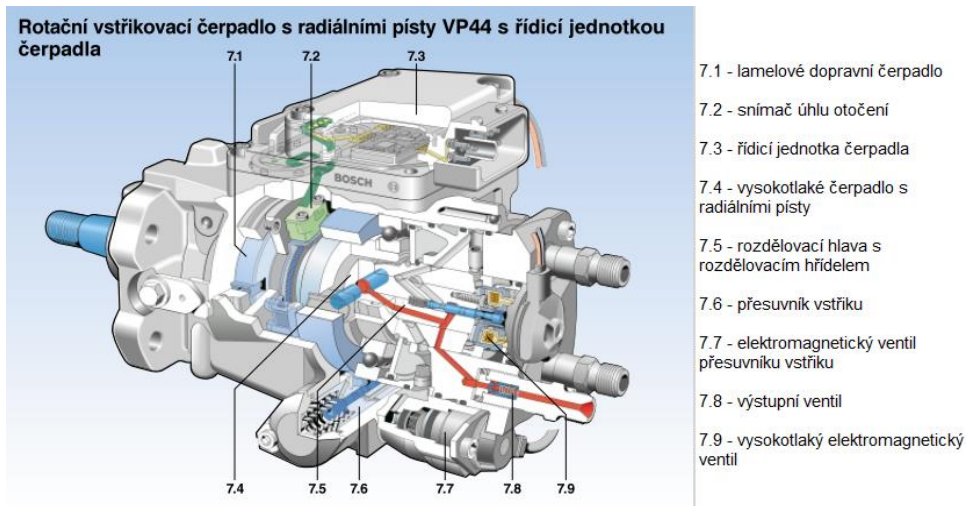


Obr. 3.29. Znárodnění provedení pohonu vysokotlakých pístů – Bosch VR/VP [13]

Počátek vstřiku je nastavován pomocí natáčení vačkového prstence přesuvníkem vstřiku. Pohyb přesuvníku vstřiku je ovládán elektromagnetem na základě signálu z řídicí jednotky čerpadla.

Regulaci dodávky paliva zastává speciální vysokotlaký elektromagnetický ventil v rozdělovací hlavě prostřednictvím jehly ventilu. Je-li ventil uzavřen, trvá dávka paliva. Přebytečné palivo po otevření ventilu odtéká do membránového zásobníku, který tlumí tlakové spičky po otevření ventilu (obr. 3.30.).

Při zastavování motoru vysokotlaký elektromagnetický ventil dodávku zcela zruší (zůstane otevřen), proto u tohoto typu čerpadla není použit ventil odstavení dodávky.

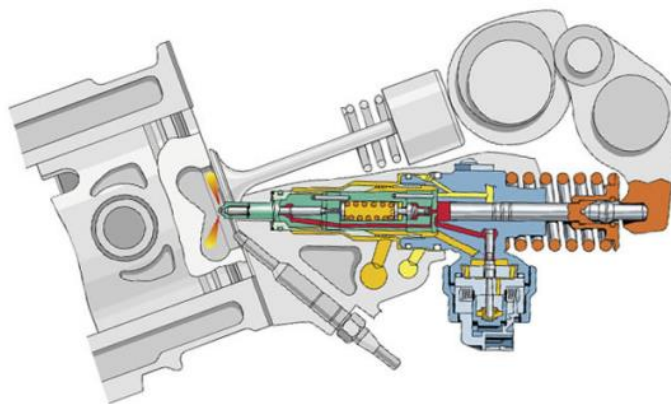


Obr. 3.30. Vstříkovací čerpadlo s radiálními písty Bosch VP 44 [13]

Nízkotlaká část je uspořádána podobně jako u vstříkovacího čerpadla s axiálním pístem. Dodávku paliva do nízkotlakého okruhu vykonává lamelové čerpadlo, které zásobuje palivem vysokotlakou část čerpadla.

3.5.3. Vstříkovací soustava se sdruženými vstříkovači (UIS, PD)

Tato vstříkovací soustava je charakteristická tím, že každý válec motoru má svou samostatnou sdruženou vstříkovací jednotku (obr. 3.31.), která je umístěna přímo v hlavě válce. Tato jednotka se sestává z vysokotlakého elementu a vstříkovací trysky, které spolu tvoří jeden celek. Používá se u motorů s rozvodem OHC. Píst vstříkovací jednotky je poháněn od vačkového hřídele motoru.



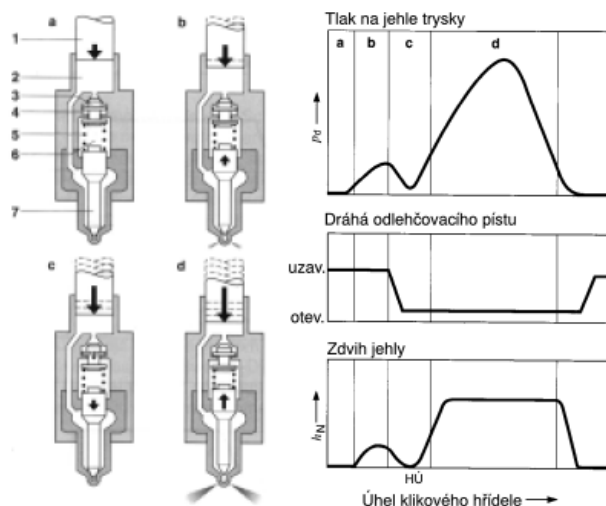
Obr. 3.31. Řez sdruženou vstříkovací jednotkou Bosch [3]

Toto uspořádání je výhodné tím, že odpadá vysokotlaké potrubí mezi vstřikovacím čerpadlem a tryskou, které bývá ve vstřikovací soustavě zdrojem obtíží. Díky absenci vysokotlakého potrubí může tato soustava pracovat s tlakem až 220 MPa a ve spojení s elektronickým řízením motoru (EDC) nabízí velmi široký rozsah využití.

Palivo je z nádrže dopravováno elektrickým dopravním čerpadlem. Vstřikovací soustavu pak zásobuje mechanické rotační čerpadlo s plovoucími lamelami. Je umístěno společně s vakuovým čerpadlem na zadní straně vačkového hřídele. Palivo je do vstřikovacích jednotek dopravováno trubkou vloženou v hlavě. Každá vstřikovací jednotka má vlastní filtraci tvořenou velmi malými otvory na tělese jednotky. Součástí každé jednotky je elektromagnetický, případně piezoelektrický ventil, který na základě impulsů z řídicí jednotky motoru řídí průběh vstřikování.

Princip funkce mechanického předvstříku u UIS

a klidová poloha, b začátek předvstříku, c konec předvstříku, d hlavní vstřík,
 1 píst čerpadla, 2 vysokotlaký prostor, 3 odlehčovací píst, 4 zásobník,
 5 tlačná pružina, 6 prostor držáku pružiny, 7 jehla trysky



Obr. 3.32. Princip funkce vstřikování se sdruženou vstřikovací jednotkou [13]

Vstřikování paliva je rozděleno na před-vstřík, který zajišťuje měkký chod motoru, a hlavní vstřík (viz. obr. 3.32.) Během před-vstříku se vstříkne 1-2 mm² paliva. Řídicí jednotkou motoru je určen počátek vstříku. Samotný před-vstřík je řízen pouze hydromechanicky. Při pohybu pístu dolů a po uzavření elektromagnetického ventilu začne narůstat tlak v prostoru vysokého tlaku (2). Když dosáhne hodnoty 18 MPa, překoná sílu pružiny (5), jehla (7) se nadzvihne a začne před-vstřík paliva. Protože však zároveň tlakem paliva odlehčovací píst (3) otevře vstup do vysokotlakého prostoru (2), dojde k poklesu tlaku a jehla se uzavře, čímž se ukončí fáze před-vstříku. Tento děj probíhá, aniž by došlo k otevření elektromagnetického ventilu.

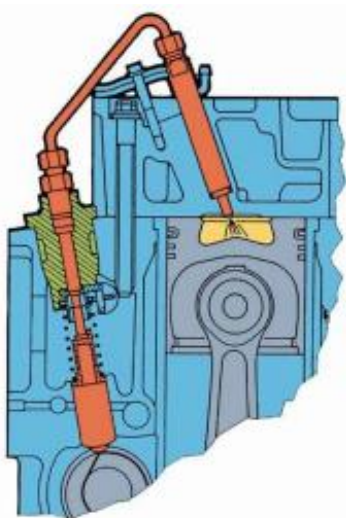
Při ukončení před-vstřiku je díky odlehčovacímu ventilu, který je ve spodní poloze, více předepjata pružina trysky, a proto je třeba k uskutečnění hlavního vstřiku vyšší tlak než u předvstřiku – přibližně 30 MPa. Tlak během vstřikování vystoupá až na hodnotu přes 200 MPa, neboť je ve vysokotlakém prostoru vstřikovače více paliva, než může vytéci tryskou. Nejvyšší tlak je při maximálním výkonu motoru, tedy při nejvyšších otáčkách a maximální dodávce. Konec dodávky nastane při otevření elektromagnetického ventilu, kdy palivo z vysokotlakého prostoru unikne do přívodního potrubí. Díky poklesu dojde k uzavření jehly trysky a ukončení vstřiku.

Vstřikovací soustava se sdruženým vstřikovačem dodává při volnoběhu motoru pod poměrně vysokým tlakem v rozmezí 34 – 40 MPa, proto je chod motoru na volnoběh tvrdší (soustava Common Rail vstřikuje při volnoběhu tlakem 25 MPa).

V současné době třetí generace systému má již vstřikovací jednotky se dvěma elektromagnetickými ventily, z nichž jeden řídí hodnotu tlaku ve vysokotlakém prostoru a druhý pohyb jehly vstřikovače, čímž dosahuje variability vstřiku téměř stejné jako u systému Common Rail.

3.5.4. Vstřikovací soustava se vstřikovacími jednotkami (UPS, PLD)

Tato koncepce vstřikovací soustavy je odvozena od soustavy se sdruženými vstřikovači, avšak významně se liší tím, že je v ní použito vysokotlakého výtlačného potrubí, spojující vstřikovací jednotku a vstřikovací trysku (obr. 3.33.)



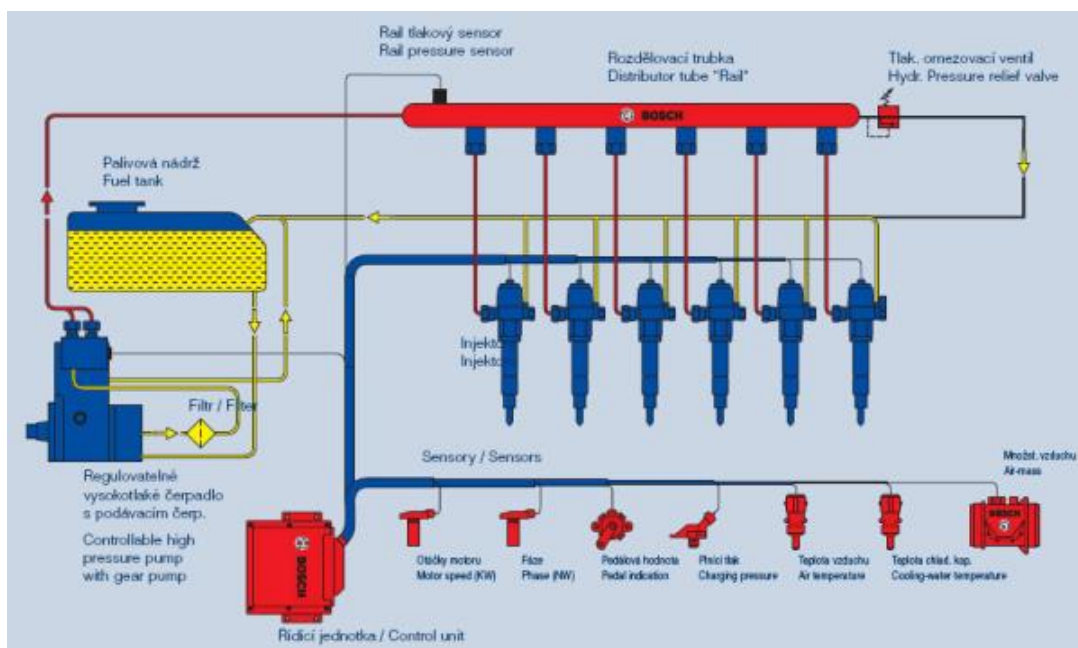
Obr. 3.33. Schéma soustavy se vstřikovací jednotkou [3]

Vstřikovací jednotka je samostatná pro každý válec motoru a je upevněna na bloku motoru. Poháněna je od vačkové hřídele motoru. Používá se pro motory s rozvodem OHV, kde je vačkový hřídel v bloku motoru.

Vstřikovací jednotky jsou řízeny elektronickou řídicí jednotkou motoru prostřednictvím elektromagnetického ventilu. Dosahovaný maximální vstřikovací tlak se pohybuje na hranici 200 MPa.

3.5.5. Vstřikovací soustava s tlakovým zásobníkem paliva Common Rail

Vstřikovací soustava s tlakovým zásobníkem paliva je v současnosti nejpoužívanějším systémem vstřikování (obr. 3.34.). Poprvé začala být sériově montována do automobilů v polovině devadesátých let. Dovoluje nejširší variabilitu průběhu vstřikování. Vytváření vysokého tlaku je odděleno od vstřikování. Není tedy vázáno na rychlost otáčení klikové hřídele, úhel natočení klikové hřídele nebo velikost vstřikované dávky paliva. Soustava Common Rail je vždy řízena prostřednictvím elektronické regulace EDC.



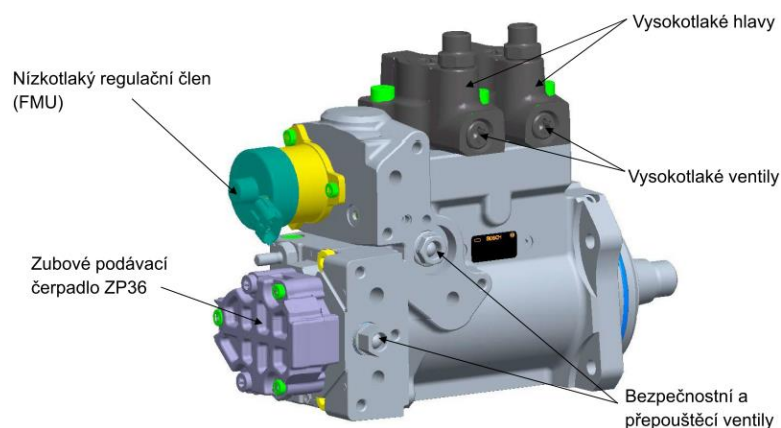
Obr. 3.34. Schéma palivové soustavy s tlakovým zásobníkem Common Rail [3]

Zásoba paliva pro vstřikování je připravena ve vysokotlakém sdruženém zásobníku – Railu. Rail je propojen s výtlačným potrubím vysokotlakého čerpadla a s jednotlivými vstřikovači. Vstřikovaná dávka je závislá na poloze akceleračního pedálu a její parametry jsou vypočteny (okamžik vstřiku, vstřikovací tlak, počet vstřiků) řídicí

jednotkou motoru. Vstřikovač je ovládán elektromagneticky nebo piezoelektricky. Současné špičkové verze vstřikování Common Rail pracují s maximálním vstřikovacím tlakem až 250 MPa.

Palivo je z nádrže dopravováno pomocí dopravního čerpadla přes palivový filtr do vysokotlakého čerpadla. Dopravní čerpadlo může být buď elektrické, nebo zubové či tandemové.

Vysokotlaké čerpadlo vytváří systémový tlak paliva v zásobníku (railu). Je konstruováno vždy jako pístové s radiálním uspořádáním pístů buď v řadě, nebo hvězdicovitě. Počet pístů je závislý na množství paliva potřebného pro práci systému. Tlak dodávaného paliva v railu může být řízen na straně vysokého tlaku regulačním ventilem, umístěným přímo na zásobníku nebo vysokotlakém čerpadle. Přebytečné palivo je přepouštěno zpět do nádrže. U modernějších systémů je tlak v railu řízen na straně nízkého tlaku pomocí podavače s elektromagnetickým ventilem. Výhodou tohoto uspořádání je zvýšení účinnosti čerpadla, snížení teploty nafty a snížení příkonu pro pohon vysokotlakého čerpadla. (obr. 3.35.)

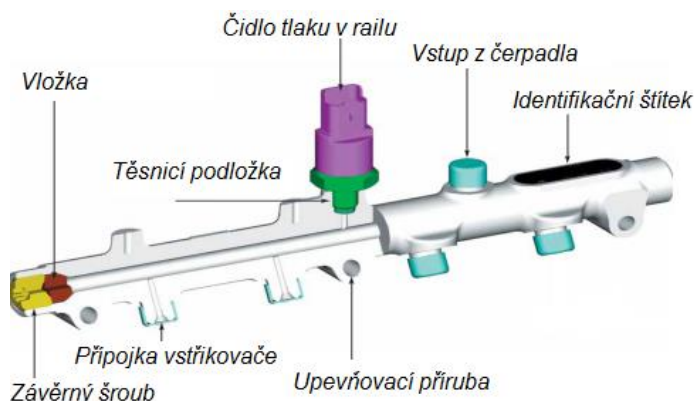


Obr. 3.35. Radiální pístové vysokotlaké čerpadlo Bosch CP5 N se dvěma jednotkami [3]

Vysokotlaká čerpadla mohou být mazána motorovou naftou, případně u nákladních automobilů motorovým olejem z náplně motoru - toto provedení je méně citlivé na čistotu motorové nafty.

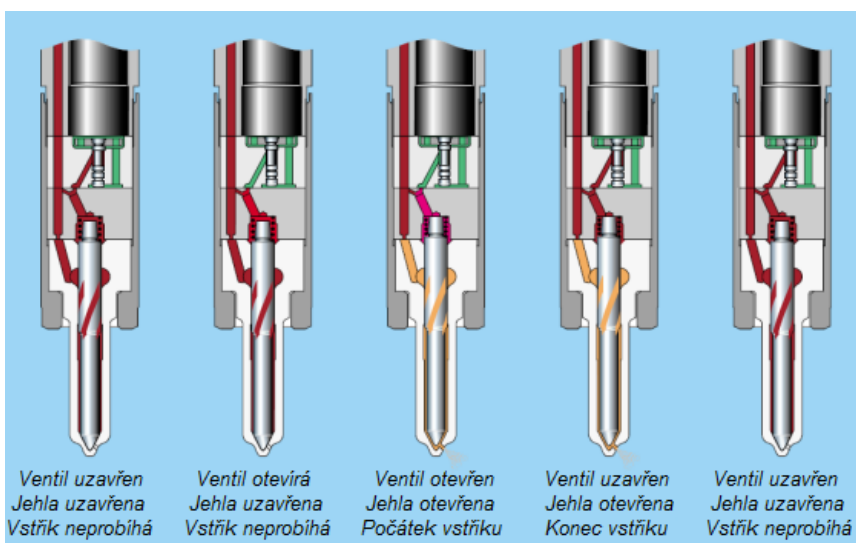
Tlakový zásobník (rail) je s čerpadlem spojen vysokotlakým potrubím. Účelem tlakového zásobníku (obr. 3.36.) je udržovat vysoký tlak paliva, tlumit pulsaci tlaku

způsobenou vysokotlakým čerpadlem a zároveň rovnoměrně rozdělovat palivo k jednotlivým vstřikovačům. Velikost vnitřního tlakového prostoru musí splňovat i požadavek na rychlý nárůst tlaku při spouštění a provozu motoru. Důležitou součástí railu je čidlo tlaku paliva.



Obr. 3.36. Tlakový zásobník paliva (rail) [18]

Vstřikovače jsou k railu připojeny krátkým potrubím. Skládají se z trysky a řídicího elektromagnetického nebo piezoelektrického ventilu.

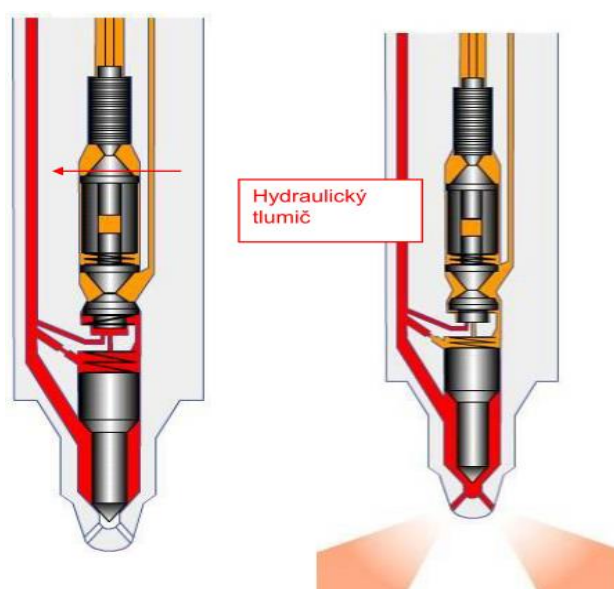


Obr. 3.37. Znárodnění pracovních fází vstřikovače Delphi [7]

Funkce vstřikovače s elektromagnetickým řídicím ventilem je patrná z obrázku 3.37. Je-li tryska uzavřena, jehla těsní vysoký tlak paliva z railu a zároveň je do sedla přitlačována shora tlakem pružiny a vysokým tlakem z railu. Ovládání se provádí aktivací elektromagnetického ventilu, který reguluje otevření přepadu paliva

z prostoru nad jehlou do nádrže. Po aktivaci ventilu poklesne tlak, působící na jehlu, a dojde k jejímu otevření a počátku vstřiku.

Vstřikovače s piezoelektrickým řídicím ventilem (obr. 3.38.) mají až čtyřnásobně vyšší přesnost vstřiku v porovnání s elektromagnetickými vstřikovači. Řídicí ventil je ovládán piezoelektrickým prvkem, který po aktivaci napětím 150 V zvýší svou délku o 0,04 mm. Mechanismus řídicího ventilu, který je složen ze soustavy pístů a pružin, mění tuto hodnotu na zdvih jehly vstřikovací trysky o 0,08 mm. Tato hodnota je dostatečná k přesnému ovládní vstřikovače.



Obr. 3.38. Piezoelektrický vstřikovač firmy Delphi [7]

Piezoelektrické vstřikovače dovolují realizovat vstřik až v pěti sekvencích dle požadavků na dokonalé parametry spalování. Mohou to být 2 před-vstřiky, hlavní vstřik a 2 po-vstřiky, které slouží k regeneračnímu procesu u nezatíženého motoru a nepodílejí se již na samotném spalovacím procesu.

Firma Bosch nabízí v poslední, čtvrté generaci Common Railu, vstřikovače s posílením tlaku v poměru 1:2 (HADI – Hydraulically Amplified Diesel Injector). Tyto vstřikovače dokáží při systémovém tlaku v zásobníku paliva 135 MPa pomocí převodového pístu vstřikovat palivo tlakem až 250 MPa, přičemž možnost vícenásobného vstřiku zůstává zachována. Velkou výhodou tohoto uspořádání je nižší tlak v railu, a tím nižší příkon vysokotlakého čerpadla, a lineárně rostoucí průběh vstřikovacího tlaku, což přispívá ke zlepšení průběhu hoření paliva.

4. Očekávaný vývoj palivových soustav vznětových motorů

Z uvedeného přehledu palivových soustav vyplývá, že jejich technická úroveň se zejména v posledních letech neustále zvyšuje. Jak jsem uvedl v úvodu, stoupající nároky uživatelů vznětových motorů vedou výrobce k neustálým inovacím. Není to však jen tlak na vylepšení výkonových parametrů motorů, ale zejména neustále přísnější limity na obsah škodlivin ve výfukových plynech. Ačkoliv dochází k neustálému nárůstu „čistoty“ výfukových zplodin, vzhledem ke stoupajícímu počtu provozovaných motorů lze očekávat i další zpřísnování předpisů regulujících emise motorů.

Z tohoto pohledu se mi jeví jako nejperspektivnější soustava Common-Rail. Její flexibilita je největší a ve spojení s precizními piezo-vstřikovači splňuje velmi přísná kritéria na kvalitu procesu vstřikování paliva.

Vývoj palivových soustav je, dle mého názoru, charakterizován třemi směry, kde je nejširší možnost dalšího zlepšování parametrů palivových soustav.

1. Snižování výkonu potřebného pro pohon vstřikovací soustavy: zde má velkou výhodu Common Rail, neboť u něj lze regulací na straně nízkého tlaku přesně regulovat množství paliva dodávaného vysokotlakým čerpadlem a eliminovat přepouštění paliva z vysokotlakého prostoru do nádrže. To má spolu se vstřikovači, které již pro ovládání pohybu jehly trysky nemusí část paliva přepouštět do přepadu, příznivý vliv na příkon pohonu palivové soustavy a tím i na spotřebu paliva.
2. Použití velmi přesných piezoelektrických vstřikovačů, které dovolují rozdělit vstřik paliva na několik sekvencí a tak řídit průběh vstřiku. Tím je dosaženo optimálního spalovacího procesu a současně pomocí dodatečných vstřiků lze snížit i množství škodlivin ve výfukových zplodinách.
3. Zvyšování vstřikovacího tlaku: díky velmi vysokému vstřikovacímu tlaku je možno dosáhnout dokonalého rozprášení paliva a tím optimální účinnosti motoru. V tomto ohledu je velmi výhodné použití vstřikovačů s posilováním vstřikovacího tlaku.

Zejména v těchto třech oblastech je možné v budoucnu dosahovat nadále pokroku ve zvyšování užitečných vlastností vstřikovacích soustav.

5. Závěr

Z uvedených faktů by mohlo vyplývat, že budoucnost patří pouze nejmodernějším vstřikovacím systémům pracujícím s velmi vysokým tlakem paliva. V praxi se však ukazuje, že moderní vstřikovací soustavy jsou, díky velmi přesnému lícování součástí, velmi náročné na kvalitu paliva, a také na dodržování zásad pravidelné údržby a správné obsluhy. To jsou podmínky, které jsou v některých oblastech jen obtížně splnitelné.

Proto předpokládám, že na trhu bude převládat používání palivových systémů nabízejících největší flexibilitu a reprodukovatelnost průběhu vstřiku, což nabízí jednoznačně soustava Common Rail, případně poslední generace systému se sdruženými vstřikovači. Například tradiční tuzemský výrobce vstřikovacích soustav, firma Motorpal Jihlava, který dosud produkoval pouze klasická pístová vstřikovací čerpadla různých provedení, již na vývoji vlastního systému Common Rail několik let pracuje, jeho uvedení na trh plánuje v roce 2015. Samozřejmě bude záležet i na zvyklostech některých výrobců – například v oblasti motorů pro nákladní vozy někteří výrobci dosahují velmi dobrých výsledků právě s motory osazenými sdruženými vstřikovači a na systém Common Rail prozatím přecházet nechtějí.

Do některých geografických oblastí však budou výrobci motorů i nadále osazovat vstřikovací soustavy, které jsou méně citlivé na zhoršené podmínky provozu, tzn. s řadovými nebo rotačními čerpadly. Limitující podmínkou bude vždy splnění emisních legislativních nařízení.

Seznam použité literatury

- [1] HROMÁDKO Jan, HROMÁDKO Jiří, HÖNIG Vladimír, MILER Petr. *Spalovací motory*. Praha: Grada Publishing, a. s., 2011, ISBN 978-80-247-3475-0
- [2] REMEK, Branko. *Automobil a spalovací motor*. Praha: Grada Publishing, a. s., 2012, ISBN 978-80-247-3538-2
- [3] Firemní literatura Bosch
- [4] Firemní literatura Motorpal
- [5] Firemní literatura Zetor
- [6] INDRA, Jaromír. *Palivové soustavy vozidlových vznětových motorů (zkoušení, seřizování, údržba)*. Praha: SNTL, 1984
- [7] Kia Motors Czech, s. r. o. Praha. *Palivový systém dieselového motoru – TRP Expert Engine*. 2013
- [8] MOTEJL, Vladimír. *Vstříkovací zařízení vznětových motorů*. České Budějovice, KOPP, 2003, ISBN 80-7232-142-0
- [9] Robert Bosch odbytová, s. r. o. Praha. *Řízení vznětových motorů – Systém vstříkování s tlakovým zásobníkem Common Rail*. 2005. ISBN 80-903132-7-2
- [10] Robert Bosch odbytová, s. r. o. Praha. *Řízení vznětových motorů – Elektronická regulace vznětových motorů EDC*. 2002. ISBN 80-903132-5-1
- [11] Sáblík, Radko. *Teorie, zkoušení a údržba palivové soustavy vznětových motorů*. Praha: SZN, 1961
- [12] STRITZKO, Vilém. *Zjišťování příčin kouření naftových motorů – provozní diagnostika vstříkovacího zařízení*. Praha: SNTL, 1968

Internetové odkazy:

- [13] *Časopis formule Bosch*. [online]. [cit 10.2.2014]. Dostupné na WWW: <http://aa.bosch.cz/ostatni-informace/casopis-formule-bosch.html>
- [14] *Časopis Tryska - Motorpal bulletin*. [online]. [cit 1.3.2014]. Dostupné na WWW: <http://www.motorpal.cz/cz/spolecnost/tiskove-forum/casopis-tryska>
- [15] *ČSN EN 590 + A1*. [online]. [cit 1.3.2014]. Dostupné z WWW: www.mogul.cz/data/VyrobkovaDokumentace/en_590_10.pdf
- [16] *Tiskové zprávy Bosch*. [online]. [cit 15.2.2014]. Dostupné na WWW: <http://aa.bosch.cz/ostatni-informace/tiskove-zpravy.html>

- [17] DE LUCA, Frank. *History of fuel injection*. [online]. [cit 10.2.2014]. Dostupné na WWW: <http://www.disa.it/>
- [18] *Engine & Emission Technology*. [online]. [cit 10.2.2014]. Dostupné na WWW: <http://www.dieselnet.com/technical.html>
- [19] *Osobnost: Rudolf Diesel*. [online]. [cit 5.2.2014]. Dostupné na WWW: <http://www.autoweb.cz/osobnost-rudolf-diesel/>
- [20] *Praktická dílna. Vstříkovací systémy vznětových motorů a elektronická regulace* [online]. [cit 20.2.2014]. Dostupné na WWW: <http://www.autopress.cz/?page=prakticka-dilna>
- [21] PRAŽÁK, Václav. *Vývoj kvality a sortimentu motorových paliv*. [online]. [cit 11.2.2014]. Dostupné na WWW: www.ceskarafinerska.cz/data/publications/vyvoj_motorovych_paliv.pdf
- [22] *Teorie spalovacích motorů*. [online]. [cit 11.2.2014]. Dostupné na WWW: http://drogo.fme.vutbr.cz/%2Fopory%2Fhtml%2Fmotory_a_pohony%2Fpohony_a_motory%2Fprednasky%2Fprezentace%2F4-2-tvorba_smesi.pdf

Seznam zkratek

ČSN EN	česká technická norma
D-proces	speciální způsob termického tvoření směsi paliva a vzduchu
M-proces	speciální způsob termického tvoření směsi paliva a vzduchu
OHC	provedení rozvodu vačkovým hřídelem umístěným v hlavě
OHV	provedení rozvodu ventily umístěnými v hlavě
PD	vstříkovací soustava se sdruženými vstříkovači
PLD	vstříkovací soustava se sdruženými vstříkovacími jednotkami
UIS	vstříkovací soustava se sdruženými vstříkovači
UPS	vstříkovací soustava se sdruženými vstříkovacími jednotkami

Seznam obrázků

- 2.1. Princip činnosti čtyřdobého vznětového motoru
- 2.2. Spalovací prostory vznětových motorů
- 2.3. Rudolf Diesel
- 2.4. Dieselův třetí zkušební motor použitý při úspěšné zkoušce v roce 1892
- 2.5. Vliv cetanového čísla na průběh hoření
- 2.6. Zařízení na vstřikování uhelného prachu - patent R. Diesela z roku 1895
- 2.7. Vysokotlaké vzduchové vstřikovací zařízení
- 2.8. Mechanické vstřikovací zařízení Jamese McKechnie z firmy Vickers
- 2.9. Dieselův systém řízení dávky paliva pomocí klínové zarážky a Pieperův systém ovládání dávky pomocí natáčení pístu
- 2.10. Vstřikovací jednotka s otočnou rozdělovací hlavou dle F. Feyense
- 2.11. Výtlačný ventil firmy Atlas z roku 1926
- 2.12. Hargreavesova vstřikovací tryska
- 2.13. Vstřikovací tryska Thornycroft – hydraulicky otevíraná tlakem paliva
- 2.14. Vstřikovací tryska Peter Bowmana a detailní pohled na otvor s čepem
- 2.15. Systém čerpadlo – tryska z roku 1911 dle návrhu Fredericka Lamplougha
- 3.16. Jednostupňový naftový filtr Bosch s čidlem přítomnosti vody v palivu
- 3.17. Řadové elektronicky řízené vstřikovací čerpadlo Motorpal řady EPP.M
- 3.18. Znázornění funkce výtlačného rovnoobjemového ventilu
- 3.19. Řez vstřikovačem firmy Motorpal
- 3.20. Řez čepovou vstřikovací tryskou
- 3.21. Řez otvorovou vstřikovací tryskou
- 3.22. Odstředivý omezovací regulátor Bosch montovaný na rotačních čerpadlech řady VE
- 4.23. Odstředivý výkonostní regulátor Motorpal
- 3.24. Schéma elektronického řízení motoru (s rotačním čerpadlem)
- 3.25. Schéma palivové soustavy vznětového motoru s řadovým čerpadlem
- 3.26. Regulace množství vstřikovaného paliva natáčením pístu
- 3.27. Řez axiálním rotačním vstřikovacím čerpadlem Bosch řady VE s mechanickým odstředivým regulátorem otáček
- 3.28. Jednotlivé pracovní fáze vstřikovací jednotky rotačního vstřikovacího čerpadla Bosch řady VE
- 3.29. Znázornění provedení pohonu vysokotlakých pístů – Bosch VR/VP
- 3.30. Vstřikovací čerpadlo s radiálními písty Bosch VP 44
- 3.31. Řez sdruženou vstřikovací jednotkou Bosch
- 3.32. Princip funkce vstřikování se sdruženou vstřikovací jednotkou
- 3.33. Schéma soustavy se vstřikovací jednotkou
- 3.34. Schéma palivové soustavy s tlakovým zásobníkem Common Rail
- 3.35. Radiální pístové vysokotlaké čerpadlo Bosch CP5 N se dvěma jednotkami
- 3.36. Tlakový zásobník paliva (rail)
- 3.37. Znázornění pracovních fází vstřikovače Delphi
- 3.38. Piezoelektrický vstřikovač firmy Delphi

Příloha 1: vybrané vlastnosti motorové nafty dle ČSN EN 590 [15]

Tabulka 1 – Všeobecné požadavky a metody zkoušení

Vlastnosti	Jednotky	Mezní hodnoty		Zkušební metoda
		min.	max.	
Cetanové číslo		51,0	-	EN ISO 5165 EN 15195
Cetanový index		46,0	-	EN ISO 4264
Hustota při 15 °C	kg/m³	820,0	845,0	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Polycyklické aromatické uhlovodíky^d	% (m/m)	-	8,0	EN 12916
Obsah síry^e	mg/kg	-	10,0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Bod vzplanutí	°C	nad 55	-	EN 2719
Karbonizační zbytek (vztaženo na 10 % destilačního zbytku)	% (m/m)	-	0,30	EN ISO 10370
Obsah popela	% (m/m)	-	0,01	EN ISO 6245
Obsah vody	mg/kg	-	200	EN ISO 12937
Celkový obsah nečistot	mg/kg	-	24	EN 12662
Korozivní působení na měď (3 h při 50 °C)	stupeň koroze	třída 1		EN ISO 2160
Obsah methylesterů mastných kyselin (FAME)^h	% (V/V)	-	7,0	EN 14078
Oxidační stabilita	g/m ³ h	- 20	25 -	EN ISO 12205 EN 1575 ⁱ
Mazivost, korigovaný průměr oděrové plochy (wsd 1,4) při 60 °C	μm	-	460	ISO 12156-1
Viskozita při 40 °C	mm ² /s	2,00	4,50	EN ISO 3104
Destilační zkouška^{k, l} při 250 °C předdestiluje při 350 °C předdestiluje 95 % (V/V) předdestiluje při	% (V/V) % (V/V) °C	85	< 65 360	EN ISO 3405

POZNÁMKA Požadavky uvedené tučně vycházejí ze směrnice 98/70/ES a její změny směrnici 2003/17/ES a změny 2009/30/ES.

d) Pro účely této evropské normy se polycyklické aromatické uhlovodíky definují jako celkový obsah aromatických uhlovodíků snížený o obsah monoaromatických uhlovodíků, jak jsou stanoveny EN 12916.

e) Ve sporných případech týkajících se obsahu síry nebyly mezilaboratorním zkoušením identifikovány statistické rozdíly ve shodnosti při daných koncentracích mezi EN ISO 20846 a EN ISO 20884.

f) Viz též 5.4.2 a příloha A

h) FAME musí splňovat požadavky EN 14214.

i) Je to další požadavek pro motorové nafty obsahující více než 2 % FAME. Je to prozatímní požadavek, když budou dostupné další technické údaje o oxidační stabilitě a provozní údaje o motorové naftě, CEN provede revizi.

k) Pro výpočet cetanového indexu jsou nutné také údaje o předestilování 10 % (V/V), 50 % (V/V) a 90 % (V/V).

l) Mezní hodnoty pro destilaci při 250 °C a 350 °C jsou pro motorovou naftu zařazeny v souladu se společným celním sazebníkem EU.

Příloha 2: schéma systému elektronického řízení motoru EDC ve spojení s rotačním čerpadlem Bosch VP 44. [13]

