

Česká zemědělská univerzita v Praze

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2021

Michal MAREK

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta

Vývoj palivových soustav vznětových motorů

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

Autor práce: Michal Marek

PRAHA 2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Michal Marek

Technika a technologie v dopravě a spojích
Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Vývoj palivových soustav vznětových motorů

Název anglicky

evolution of diesel fuel systems

Cíle práce

Cílem práce je literární rešerše zabývající se vývojem palivových soustav vznětových motorů.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Přehled řešené problematiky
4. Závěr
5. Seznam použitých zdrojů
6. Přílohy

Doporučený rozsah práce

30-40 str. včetně obrázků, tabulek a grafů

Klíčová slova

vznětový motor, palivová soustava, nafta

Doporučené zdroje informací

ČUPERA, J. – FAJMAN, M. – ŠMERDA, T. Vznětové motory vozidel : biopaliva, emise, traktory. Brno: CPress, 2013. ISBN 978-80-264-0160-5.

HROMÁDKO, J. Spalovací motory : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.

HROMÁDKO, J. Speciální spalovací motory a alternativní pohony : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.

KHAIR, Magdi K. a Federico. MILLO. Diesel exhaust aftertreatment, 2000-2007. Warrendale, PA: SAE International, c2008. ISBN 9780768017090.

Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2020

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 17. 05. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou/bakalářskou práci na téma: Vývoj palivových soustav vznětových motorů vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne.....

.....

Michal Marek

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Jakubu Maříkovi, Ph. D., za odborné vedení, cenné připomínky při psaní bakalářské práce a ochotu spolupracovat. Dále bych chtěl poděkovat mému strýci Vítu Markovi z firmy Volvo Truck Center Brno, Olomouc za poskytnutí odborné literatury a školení v oblasti vstříkovacích systémů vznětových motorů.

Vývoj palivových soustav vznětových motorů

Abstrakt:

Cílem této bakalářské práce je literární rešerše týkající se vývojem palivových soustav vznětových motorů a jeho součástí. Úvod je zaměřen na historii vznětového motoru, začínající Rudolfem Dieselem, Charlesem Franklinem Ketteringem a následně Robertem Boschem a jeho prvním vstříkáním. Následuje popis paliv pro vznětové motory včetně alternativních, následně termomechanika vznětových motorů a porovnávací oběhy spalovacích motorů. Příprava a spalování směsi je další část, kterou jsem popsal a rozdělil jsem vznětové motory na základní skupiny, jako jsou motory s přímým a nepřímým vstříkem paliva. Další část se věnuje systémům vstříkání směsi pro vznětové motory. V této kapitole jsem popsal systémy, jako jsou řadová čerpadla, rotační čerpadla, sdružené vstříkací jednotky, Common Rail. Vstříkací systém Common Rail jsem charakterizoval podle generací vstříkacích tlaků a podrobněji jsem se zaměřil na palivovou soustavu.

Klíčová slova: vznětový motor, příprava směsi, vstříkání, Common Rail

Development of diesel fuel systems

Abstract:

The aim of this bachelor thesis is to create a literature search about the development of diesel fuel systems and parts from the beginning to the present. The introduction focuses on the history of the diesel engine, starting with Rudolf Diesel, Charles Franklin Kettering and then Robert Bosch and his first diesel fuel injection. The following description of fuel for diesel engines, including alternatives, followed by thermomechanics of diesel engines and comparative circuits of internal combustion engines. Preparation and combustion of the mixture is another part which I have described and I shared the diesel engines in the basic group, such as engines with direct and indirect fuel injection. Another part deals with the mixture injection systems for diesel engines. In this chapter I have described systems, such as in-line pump, rotary pump, injection units, common rail. Common Rail Injection System I characterized by generation of injection pressures and more specifically, I focused on the fuel systém.

Keywords: diesel engine, mixture preparation, injection, Common Rail

OBSAH

1. Úvod.....	1
1.1. Rudolf Diesel a počátky vznětového motoru	1
1.2. Charles Franklin Kettering	3
1.3. Robert Bosch	4
2. Cíl práce	5
3. Historický vývoj vstřikování vznětových motorů.....	6
4. Teorie oběhu vznětového motoru	8
4.1. Paliva pro vznětové motory	8
4.1.1. Motorová nafta	8
4.1.2. Bionafta	9
4.1.3. Rostlinný olej	9
4.1.4. Syntetická paliva	10
4.2. Proces uvolňování tepelné energie	10
4.2.1. Ideální tepelný oběh	11
4.2.2. Ottův rovnoobjemový oběh.....	12
4.2.3. Dieselův rovnotlaký oběh.....	13
4.2.4. Smíšený (Sabateův) oběh	15
4.3. Činnost čtyřdobého vznětového motoru.....	16
5. Tvorba směsi ve vznětových motorech.....	17
5.1. Způsoby tvorby směsi.....	17
5.1.1. Dělené spalovací prostory motorů s nepřímým vstřikem paliva	18
5.1.2. Nedělené spalovací prostory motorů s přímým vstřikem paliva	18
6. Systémy vstřikování paliva vznětových motorů	19
6.1. Řadová vstřikovací čerpadla.....	19
6.1.1. Standartní řadové čerpadlo	19
6.1.2. Řadové vstřikovací čerpadlo se zdvihovým šoupátkem	20
6.1.3. Elektronická regulace řadových vstřikovacích čerpadel.....	20
6.2. Rotační vstřikovací čerpadla	21
6.2.1. Rotační vstřikovací čerpadlo s axiálním pístem	21
6.2.2. Rotační vstřikovací čerpadlo s radiálními písty.....	23
6.2.3. Elektronická regulace rotačních vstřikovacích čerpadel.....	25
6.3. Sdružená vstřikovací jednotka – UIS	26
6.4. Sdružený vstřikovací systém – UPS	29
6.5. Vstřikovací systém s tlakovým zásobníkem – Common Rail	30

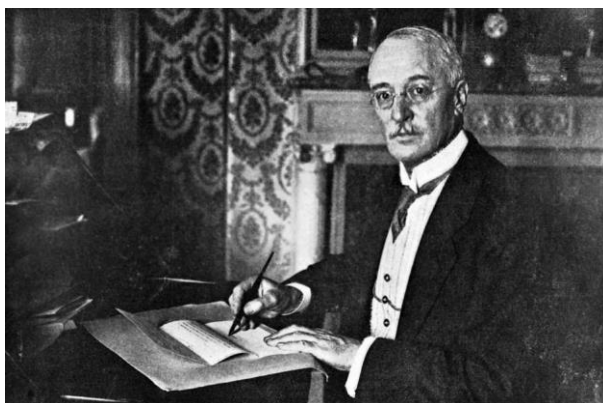
6.5.1.	Princip činnosti systému Common Rail u osobních vozidel.....	32
6.5.2.	Princip činnosti systému Common Rail u nákladních vozidel	34
7.	Závěr	36
8.	Literatura.....	37
9.	Seznam obrázků	39

1. Úvod

Tato bakalářská práce se zaměřuje na vývoj palivových soustav a přípravě směsi vznětových motorů. Mapuje historický vývoj a rozebírá konstrukci vstřikovacích soustav. Vznětový spalovací motor, který je hlavním tématem mojí bakalářské práce, pracuje na stejném mechanickém principu jako zážehový.

První vznětový motor vznikl při pokusu Rudolfa Diesela o uskutečnění ideálního Carnotova cyklu. V současné době je požadavek ve vývoji vznětových motorů především na zvyšování výkonu a točivého momentu, ale zároveň také o snížení spotřeby paliva, emisí a hluku. A právě tyto parametry jsou z velké části závislé na palivové soustavě, která má za úkol dopravit dávku paliva do spalovacího prostoru a zde ho rozprášit v požadované formě ve stanoveném čase.

1.1. Rudolf Diesel a počátky vznětového motoru



Obrázek 1 - Rudolf Diesel [15]

Rudolf Diesel (1858–1913), narozený v Paříži, pocházel z rodiny kožišníka z Augsburgu. Otec rodinu přestěhoval do Paříže v polovině padesátých let 19. století, protože vypukla sedmiletá válka. V jeho dvanácti letech, když skončila válka, ho otec Theodor poslal zpět do Augsburgu ke strýci, který byl matematik, aby se Rudolfovi věnoval. Ve 14 letech se rozhodl, že se chce stát inženýrem. Poté složil závěrečné zkoušky na Mnichovské polytechnice s nejlepšími známkami. Zde se seznámil také s Carlem von Linde, vynálezcem a německým podnikatelem, který založil plynářskou skupinu Linde. Linde také Rudolfa Diesela po absolvování univerzity ve své firmě zaměstnal.

Dieslův nápad pro nový motor byl zkonstruovat motor s výrazně vyšší účinností, než měli parní motory, které byly v té době populární. Motor na základě izotermického cyklu by mělo být podle teorie francouzského fyzika Sadi Carnota dosaženo vysoké úrovně účinnosti – přes 90 %.

Diesel vyvinul svůj motor zpočátku na papíře, na základě Carnotových modelů. Jeho cílem bylo navrhnout výkonný motor se srovnatelně malými rozměry. Diesel byl naprosto přesvědčen funkčností a výkonem jeho motoru.

Pro realizaci motoru oslovil společnosti, které měli zkušenosti s výrobou motorů, jako je Gasmotoren-Fabrik Deutz AG. Ti se však vyhýbali Dieselova projektu. Požadovaný kompresní tlak 250 bar byl nad rámec toho, co se zdálo být technicky proveditelné. V roce 1893, po mnoha měsících úsilí se Dieselovi nakonec podařilo dosáhnout dohody spolupracovat s Maschinenfabrik Augsburg-Norimberk (MAN). Nicméně dohoda obsahovala Dieselovy ústupky společnosti v tomto ohledu ideálního motoru. Maximální tlak byl snížen z 250 na 90 bar a později na 30 bar. Konečně na jaře 1893 začal MAN sestavovat první, nechlazený testovací motor. Původně se předpokládal petrolej jako palivo, ale začal se používat benzín, protože se myslelo (mylně), že toto palivo se snadněji samovznítí. Ve druhém testovacím motoru palivo nebylo vstříkováno a rozprašováno přímo, ale s pomocí stlačeného vzduchu. Motor byl také vybaven systémem vodního chlazení. Ovšem teprve až třetí testovací motor s novým designem s jednostupňovým vzduchovým čerpadlem pro vstříkávání stlačeného vzduchu byl jako průlomový vyroben.

Dne 17. února 1897 profesor Moritz Schröder z Mnichovské Technické Univerzity provedl přijímací zkoušky. Výsledky testu potvrdily na tehdejší dobu pro spalovací motor vysokou účinnost 26,2 %. Následné patentové spory Diesela s konsorciem ohledně vývoje strategie a neúspěchy si vyžádaly svou psychickou i fyzickou daň na brilantního vynálezce. Diesel následně oznamuje že jeho motor není k dispozici pro válečné účely. Předpokládá se, že spadl přes palubu na přechodu Lamanšského průlivu do Anglie dne 29. září 1913. [1]

1.2. Charles Franklin Kettering

Charles Franklin Kettering se narodil 29. srpna 1876 do venkovské zemědělské rodiny v Loudonville v Ohiu. Po maturitě v roce 1895 nastoupil na Ohio State University studovat inženýrství. Bohužel musel odejít kvůli opakovaným problémům s očima.

V roce 1909 založili Kettering a Edward Deeds společnost Dayton Engineering Laboratories Company (Delco) pro vývoj a spuštění elektrického spouštěcího motoru. Kettering uspěl, protože vyvinul produkt jako součást celkového automobilového elektrického zapalovacího systému. V roce 1916 se společnost Billy Durant's General Motors koupila Ketteringovu společnost Delco. Kettering byl jmenován do čela nové GM Research Corporation. Do roku 1920 byl také viceprezidentem General Motors.

Kettering cítil, že jeho inženýři GM provedou naftovou revoluci s jednotkami, které jsou lehké a flexibilní. Počátečním zájmem bylo hledání lepší spotřeby paliva. Jeho vznětový motor využíval vysokou kompresi, spaloval levnější palivo a nepotřeboval elektrický zapalovací systém. Při konstrukci ovšem potřeboval silnější, a tedy dražší komponenty. Při počáteční studii Ketteringa s evropskými výrobci zůstaly hlavními aplikacemi stacionární výroba energie a námořní využití. V roce 1927 dávají vyjádření Society of Automotive Engineers (SAE), kde reflektují možnou aplikaci nafty i pro těžké nákladní automobily.

Kettering zahájil svůj vlastní naftový výzkum v roce 1928 postavením své jachty. Zde v krátkém čase objevil vadu v jednoduchém vstříkovacím systému. Kromě toho Kettering při hledání vyššího výkonu odvodil, že dvoutaktní nafta bude mnohem lepší než masivní čtyřtaktní diesely. Jeho úvaha byla jednoduchá: Kdyby zdvojnásobil počet vznětů na válec, mohl by postavit motory s menším počtem válců. Jeho bezprostředním cílem pro takovou jednotku byl železniční průmysl. Problém byl v tom, že firmy z železničního průmyslu to nezajímalo. Hlavní nevýhodou byly systémy vstříkování paliva. Ketteringův tým studoval přímé vstříkování paliva. Tento nový systém snižoval hmotnost, ale dodával i více paliva do jednoho válce než druhý a způsoboval nepravidelný chod a vysokou kouřivost. Inženýři společnosti Winton dále vyvinuli vlastní verzi vstříkovacího systému Bosch s čerpadlem zabudovaným jako součást vstříkovací trysky, ovládaným vahadlovým ramenem. Nově navržené vstříkovací ventily usnadňovaly pro vysokotlaké systémy vstříkování paliva. Výsledek této práce viděl, když společnost General Motors v roce 1939 vyrobila první dieselovou nákladní lokomotivu. Po sérii mrtvic zemřel 24. listopadu 1958. [4]

1.3. Robert Bosch

V roce 1886 Robert Bosch (1861–1942) otevřel „Dílna pro světelnou a elektrotechnickou techniku“ ve Stuttgartu. Zaměstnal jednoho dalšího mechanika a učně. Na začátku, jeho obor práce spočíval v instalaci a opravách telefonů, telegrafů, hromosvodů a další prací v oblasti elektrotechnického inženýrství. Nízkonapěťový magneto-zapalovací systém vyvinutý v roce 1897 společností Bosch poskytl spolehlivé zapalování v benzínových motorech. Tento produkt byl odrazovým můstkem a následovala rychlá expanze podnikání Roberta Bosche. Vysokonapěťový magnetický zapalovací systém se zapalovací svíčkou následoval v roce 1902. Kotva tohoto zapalovacího systému je dodnes znázorněna v logu Roberta Bosche GmbH. V roce 1922 obrátil Robert Bosch pozornost k naftovému motoru. Věřil, že některé součásti příslušenství pro tyto motory může Bosch podobně vyrábět s vysoce přesnou výrobou, jako jsou magneta a zapalovací svíčky.

Díky velkým poptávkám se v rozmezí let 1900 a 1925 založily první prodejní pobočky a výrobní provozy mimo Německo. Také na našem území fungovala Československá centrála Bosch na pražských Vinohradech.

V roce 1913 dosáhla firma Bosch druhé významné změny v automobilovém průmyslu. Na trh byl uveden světelný systém Bosch pro automobily. Systém skládající se z generátoru, baterie a reflektorů představoval první kompletní systém společnosti Bosch. Tím byly položeny základy všech dnešních palubních automobilových elektrických systémů.

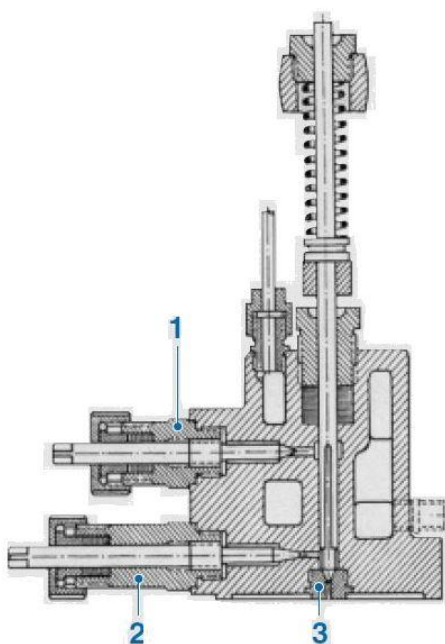
Obrat ovšem nastal, když se začal používat systém montážní linky, který byl zaveden v roce 1925. Pro firmu to znamenalo prudké zvýšení produktivity. Robert Bosch se začal soustřeďovat na jiné výrobní segmenty, aby tak snížil svoji závislost na automobilismu. Firma Bosch se začala orientovat v jiných směrech. Mezi novinky na trhu od firmy Bosch patří první elektrické nářadí (1928), první evropské sériově vyráběné autorádio společnosti Blaupunkt (1932) a první chladnička Bosch (1933). V tomto období vznikla novinka v automobilovém světě techniky. Jednalo se o vstřikovací systém pro vznětové motory nákladních automobilů (1927), který byl od roku 1936 k dispozici i pro osobní automobily. [7]

2. Cíl práce

Cílem této práce je popsat vývoj vstříkovacích systémů vznětových motorů od historie po současnost. Mé zaměření bude hlavně směřováno na přímé vstříkávání vznětových motorů. V poslední kapitole se zmíním také o systémech redukce emisí.

3. Historický vývoj vstřikování vznětových motorů

Už Rudolf Diesel chtěl vstřikovat palivo přímo, ale nebyl schopen to udělat. K dosažení tohoto cíle nebylo k dispozici právě čerpadlo a trysky pro vstřikování paliva. Tato čerpadla, na rozdíl od palivových čerpadel používaných při vstřikování stlačeného vzduchu, musela být vhodná pro protitlakové reakce až do několika set atmosfér. Trysky musely mít docela jemné výstupní otvory, protože požadavky na čerpadlo a samotnou trysku byly, aby dávkovaly a rozprašovaly palivo. [1]



Obrázek 2 - Konstrukce vstřikovače z Dieslova motoru (1895) [1]

Společnost Bosch se tedy 28. prosince 1922 rozhodla zaměřit na vývoj těchto příslušenství pro diesellové motory. Vstřikovací čerpadla, která společnost Bosch chtěla vyvinout, by měla odpovídat nejen požadavkům všech naftových motorů poháněnými těžkými oleji s nízkým výkonem a přímým vstřikováním paliva, které v té době existovaly, ale také budoucím diesellovým motorům.

V polovině 30. let 20. století byla zahájena sériová výroba řadových vstřikovacích čerpadel pro osobní automobily. Začátkem roku 1962 uvedla firma Bosch na trh první rotační vstřikovací čerpadlo s axiálním pístem s označením EP-VM. O 13 let později bylo toto čerpadlo použito u vozidel značky Volkswagen Golf I a v polovině 90. let 20. století bylo prodáno celkem 25 milionu kusů těchto čerpadel. V roce 1986 přišlo od firmy Bosch vylepšení v podobě rotačního čerpadla s elektronickým systémem vstřikování paliva. O rok později byl systém EDC (Elektronic Diesel Control) zaveden i u řadových vstřikovacích čerpadel. Rozdíl v

konstrukci mechanicky a elektricky řízeného čerpadla se zásadně neliší, rozdíly jsou pouze v elektronicky řízeném přesuvníku počátku vstřiku paliva a elektronicky nebo mechanicky řízené dodávce paliva do vstřikovacích trysek.

Nový princip vstřikování byl uveden na trh v polovině 90. let 20. století. Jedná se o vstřikovací jednotky UIS – PDE (Pumpe Düse Einheit), které byly na trh uvedeny v roce 1994. Charakteristickým znakem tohoto systému je to, že každý válec motoru má svou vlastní elektronicky řízenou vstřikovací jednotku. V roce 1998 byl poprvé použit systém UIS – PDE v osobních automobilech.

V roce 1996 bylo na trh uvedeno radiální rotační čerpadlo s magneticky ovládanými ventily. Toto čerpadlo bylo poprvé použito v osobních vozidlech značky Opel. Rok 1997 je pro firmu Bosch charakteristický použitím systému vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail. [6]

Do historie přípravy směsi pro vznětové motory se zapsala velkým podílem také firma Denso. Prototyp systému Common Rail vyvinul koncem 60. let Švýcar Robert Huber. V období let 1976 až 1992 pokračoval ve vývoji systému Swiss Federal Institute of Technology. V první polovině 90. let Dr. Shohei Itoh a Masahiko Mijaki z firmy Denso vyvinuli Common Rail pro velká nákladní vozidla. Prvním prakticky použitelným systémem označeným ECD-U2 Common Rail byl vybaven automobil Hino Raising Ranger. Začátkem 90. let na vývoji spolupracovaly firmy Magneti Marelli, Centro Ricerche Fiat a Elasis, tato fáze skončila v roce 1994. Koncem roku 1993 patenty zakoupila německá firma Robert Bosch GmbH a pokračovala ve výzkumu a vývoji pro uvedení do sériové výroby. V roce 1997 přišly na trh první modely osobních automobilů, jako první se představila 1. října Alfa Romeo 156 1.9 JTD a později i Mercedes-Benz E 320 CDI. [7]

4. Teorie oběhu vznětového motoru

V této kapitole se budu zabývat spalovacím procesem, který probíhá u naftového motoru. Detailněji bude popsáno uvolňování tepla, které je důsledkem spalovacího procesu a využití tohoto tepla. Spalovací proces bude prozkoumán i z hlediska paliva, které dodává energii celému systému. Z čeho se paliva skládají a jak se vyrábí, je popsáno v následující podkapitole.

4.1. Paliva pro vznětové motory

Palivem pro vznětové motory je řada ropných frakcí, počínaje petrolejem a konče lehkými oleji. Tyto látky svým destilačním rozmezím leží nad destilační křivkou benzínu, proto se nazývají též těžkými palivy. Běžně je označujeme jako plynový olej nebo motorová nafta. V zahraničí se vyrábí kromě běžných druhů motorové nafty určených pro silniční vozidla též těžší frakce pod názvem plynové oleje určené pro lodní dopravu, železniční dopravu, stabilní motory s velkým výkonem atd. U nás se ovšem tyto druhy těžší nafty nevyrábějí, jelikož absolutně převládá park silničních vznětových motorů nad stabilními. [19]

4.1.1. Motorová nafta

Motorová nafta je směsí kapalných uhlovodíků (n-alkanů, izoalkanů, alkenů, naftalenu, aromátů), které mají 10 až 22 uhlíků v uhlíkovém řetězci. Nejčastěji zastoupeny uhlovodíky s počtem 15 až 17 uhlíků. S narůstající délkou uhlovodíkového řetězce roste cetanové číslo nafty. [11]

Kvalita a vhodnost motorové nafty pro spalování ve vznětových motorech prodávaná v České republice musí svými hodnotami splňovat normu ČSN - EN 590. Motorová nafta má destilační rozmezí 160°C – 380°C. Nafta se poměrně špatně odpařuje a její směs par se vzduchem jde zažehnout při teplotách od 55 °C do 100 °C podle druhu nafty. Vyrábí se mísením dvou složek. První složka je petrolej destilující od 160 °C do 260 °C. Druhou složkou je plynový olej s rozmezím destilace 250°C – 360°C. Poměr smíšení těchto dvou frakcí má vliv na její užití v ročních obdobích. Petrolej tuhne při teplotě pod -50 °C a tvoří hlavní část zimního druhu motorové nafty. Naopak plynový olej má bod tuhnutí okolo 0 °C a tvoří tak převážný podíl letního druhu nafty. Obsah síry v motorové naftě nesmí být větší než 10 mg/kg. Tato hodnota je daná normou.

Kvalita nafty se označuje tzv. Cetanovým číslem. Je označované značkou CN nebo CC. Udává množství cetanu v objemových procentech ve směsi s aromatickým uhlovodíkem (1-

methylnaftalenem). Ten má stejnou vznětovou vlastnost jako skutečný vzorek nafty. Cetanové číslo 0 odpovídá čistému metylnaftalenu, cetanové číslo 100 odpovídá čistému cetanu. U nafty je vyžadované minimální cetanové číslo 51. Běžně na trhu se vyskytuje nafta s cetanovým číslem mezi 51 - 55. Cetanové číslo se pořád zvyšuje, dnes už je ve světě běžná nafta s cetanovým číslem v rozmezí 58 - 65. „Je třeba dodat, že cetanové číslo neovlivňuje výkon motoru.“ [16] [11]

4.1.2. Bionafta

Termín bionafta souhrnně označuje estery mastných kyselin, které vznikají krakováním olejů nebo tuků a následně konvertovány s methanolem nebo ethanolem. To vytváří mastné kyseliny methylesteru (FAME) nebo mastných kyselin ethylesteru (FAEE). Molekuly bionafty jsou z hlediska velikosti a vlastností mnohem více podobné motorové naftě než rostlinnému oleji. Bionafta proto nemůže být srovnávána s rostlinnými oleji. [1]

V současnosti je 80 % vyráběných metylesterů na bázi řepkového oleje. Podle použitého druhu oleje jsou označovány následujícími zkratkami:

- RME: Rape-Methyl-Ester (metylester řepkového oleje - MEŘO)
- SME: Sunflower-Methyl-Ester (metylester slunečnicového oleje)
- SOME: SOya-Methyl-Ester (metylester sójového oleje)
- FAME: FattyAcid-Methyl-Ester (metylester z živočišných tuků)
- VUOME: Vaste Used Oil-Methyl-Ester (metylester použitých fritovacích olejů)

[17]

V současnosti, se smí FAME přimíchávat do motorové nafty dle ČSN EN 590 do 7 % obj., dále do Směsné motorové nafty (SMN30) dle ČSN 65 6508 minimálně 30 % obj. nebo lze použít i B100, což je 100 % obj. FAME podléhající normě EN 14214. Na taková vysokoprocenní paliva musí být ovšem vozidla uzpůsobena. Směsná motorová nafta má lepší spalovací vlastnosti v sériových dieselových motorech oproti čisté bionaftě (B100) a také nevyžaduje úpravu motoru a palivového systému vozidel.

4.1.3. Rostlinný olej

Už v roce 1900 na světové výstavě v Paříži byl Dieslův vznětový motor provozovaný na olej z podzemnice olejné. V současné době nelze používat čistě řepkový olej jako palivo u spalovacích motorů (vyjimka jsou upravené motory Deutz), aniž by to neovlivnilo ztrátu určité míry spolehlivosti a provozuschopnosti. Důležité je sledovat biologické vlastnosti řepkového

oleje. Ty se týkají korozivnosti, tvorby polymerů a úsad, obsahu nečistot atd., jejichž mezní hodnoty jsou stanoveny normami. Vlastnosti paliv vyrobených z řepkového oleje lze rozdělit na charakteristické a variabilní. Charakteristické znaky jsou pro každý olej geneticky dané a kolísají jen nepatrně. Jde například o hustotu, bod vzplanutí, výhřevnost, cetanové číslo a obsah síry. Variabilní znaky jsou ovlivněné odrůdou, pěstováním, způsobem uvolňování oleje, skladováním atd., proto jsou hodnoty těchto parametrů kolísavé. Mezi tyto parametry patří např. číslo kyselosti, oxidační stabilita, obsah fosforu, obsah magnézia a vápníku, obsah vody. [17] [18]

U palivových soustav, kde se používají vysokotlaká čerpadla je objem a energie paliva vytlačovaného do válce podobné jako u motorové nafty, což se v konečném důsledku projeví např. malými rozdíly ve výkonu motoru, ikdyž je výhřevnost paliva u řepkového oleje nižší. To se u moderních palivových systémů koriguje dalšími provozními parametry. [18]

4.1.4. Syntetická paliva

Syntetická paliva se vyrábějí z jednotlivých chemických bloků. Uhlí, zemní plyn nebo biomasu lze tepelně přeměnit na syntézní plyn složený z oxidu uhelnatého a vodíku. Syntetická motorová nafta je vyráběna Fischer-Tropschovou syntézou, která je známá již od 30. let minulého století. Fyzikálně–chemické vlastnosti jsou čistě parafinické, tj. neobsahují aromata ani síru a mají také vysoké cetanové číslo. Výsledná nafta s hustotou přibližně 800 kg / m³ je však pod rozsahem hustoty evropské normy pro naftu EN 590. Tento přístup k nové výrobě paliv se zásadně liší od běžných metod, které jsou založeny na transformaci složek, jako jsou tuky nebo oleje, chemickou změnou na paliva. Proto jsou syntetická paliva známá také jako paliva druhé generace. [1]

4.2. Proces uvolňování tepelné energie

Proces přeměny tepelné energie na mechanickou práci ve spalovacích motorech probíhá za složitých termodynamických a fyzikálně-chemických procesů. Získávání energie je periodický děj, který popisuje tepelný oběh.

Rozlišujeme 4 tepelné oběhy:

1. Ideální
2. Termodynamické
3. Výpočtové
4. Skutečné

4.2.1. Ideální tepelný oběh

Po dlouhá léta se fyzici snažili zjistit, jak určit hodnotu účinnosti skutečných tepelných strojů. Ze začátku uvažovali nejprve jen ideální podmínky.

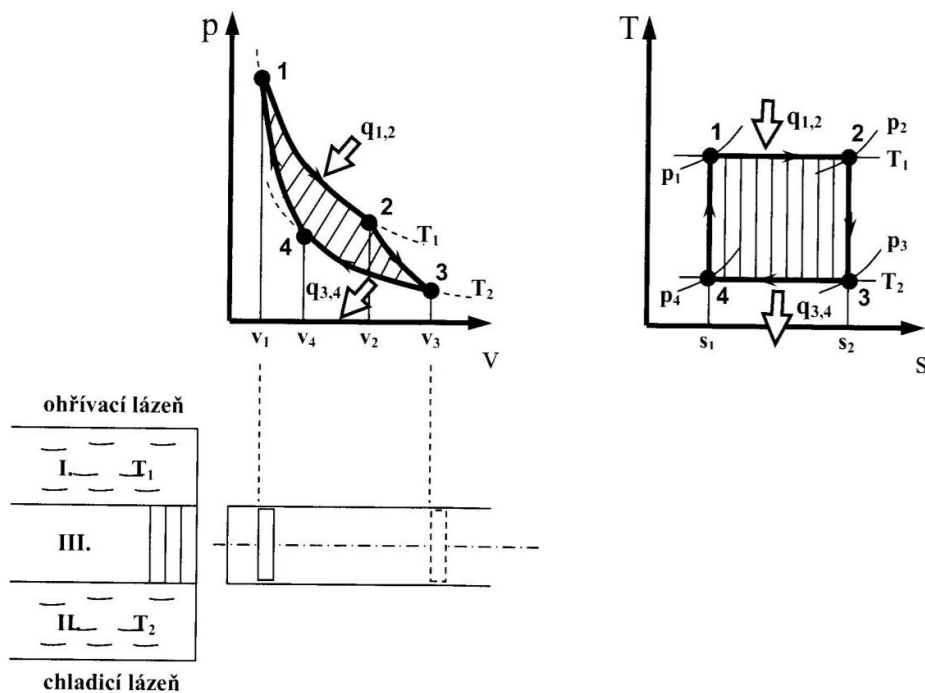
Poté francouzský fyzik Leonard Sadi Carnot (1796 – 1832) formuloval jistý termodynamický cyklus pracující s ideálním plynem, dnes označovaný jako Carnotův cyklus. Tento ideální teoretický vratný termodynamický cyklus vyžaduje pro svou práci dva zásobníky tepla o stálých, ale navzájem různých teplotách T_H a T_C .

Účinnost Carnotova cyklu je výraznou vlastností a lze dokázat, že žádný jiný tepelný cyklus, který je uskutečňovaný mezi týmiž teplotami T_H a T_C nemůže dosáhnout vyšší účinnosti, než je Carnotův cyklus, V tomto smyslu je Carnotův cyklus limitním případem pro ideální plyn a nedosažitelným případem cyklů reálných plynů.

Podmínky vratnosti Carnotova cyklu:

1. Pracovní látka je ve stálé termodynamické rovnováze s okolím.
2. Při sdílení tepla s lázněmi se nemění teplota lázní.
3. V cyklu nedochází k tepelným nebo mechanickým ztrátám.

Podmínky vratnosti Carnotova cyklu nelze splnit a v praxi se jim můžeme jen přiblížit. Proto používáme Carnotův cyklus jako kritérium pro hodnocení skutečných cyklů. [2]



Obrázek 3 - Carnotův cyklus [2]

Pro srovnání pracovních oběhů se zavádí termín ideální oběh pro dokonalý motor, který umožňuje posoudit, zda je daný motor hospodárný. Je platný pouze za těchto podmínek:

- Rozměry dokonalého motoru odpovídají rozměrů skutečným.
- Válec obsahuje pouze čistou náplň, aby byla splněna podmínka, že nebude ovlivněn spalovací proces.
- Skladba směsi v ideálním motoru odpovídá složení směsi u motoru skutečného.
- Musí být zachována podmínka dokonalého spálení, tedy musí odpovídat směšovací poměr.
- Směs je zapálena s předstihem a spálení musí proběhnout co nejrychleji.
- Při procesu spalování mezi stěnami nedochází k výměně tepla.
- Spalovací proces probíhá podle zákonitostí termodynamiky pro daný typ motoru.
- Ztráty prouděním při sání a výfuku jsou zanedbávány. [12]

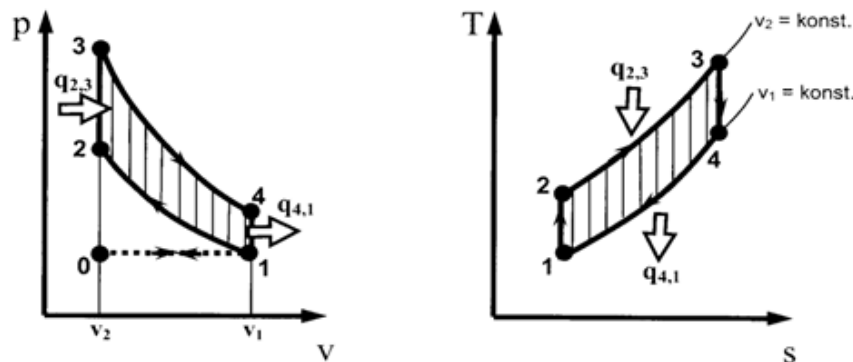
Jeho hlavní výhodou bylo snadné stanovení celkové účinnosti oběhu, avšak dnes již tento postup není prakticky využíván. [13]

4.2.2. Ottův rovnoobjemový oběh

Oběh se realizuje u zážehových pístových spalovacích motorů. Skládá se ze dvou izochor a dvou adiabat.

U čtyřdobého zážehového motoru probíhá oběh následovně:

1. V prvním zdvihu je sací ventil otevřen a motor při atmosférickém plnění plynnou směsí vzduchu a paliva. V bodě 1 je sací ventil uzavřen a začíná vlastní oběh.
2. Ve druhém zdvihu probíhá adiabatická komprese ze stavu 1 do stavu 2. Ve stavu 2 se směs zažehne jiskrou od zapalovací svíčky a hoří za stálého objemu do stavu 3. Tím se do oběhu přivede teplo $q_{2,3}$.
3. Třetí zdvih pístu je adiabatická expanze mezi stavem 3 a stavem 4. Ve stavu 4 je otevřen výfukový ventil a spaliny expandují z válce za stálého objemu v_1 na stav 1. Tím se z oběhu odvede teplo $q_{4,1}$.
4. Ve čtvrtém zdvihu pístu je nutné vytlačit z válce zbytek spalin při atmosférickém tlaku, aby mohla být nasáta znovu nová směs a motor mohl oběh pakovat. [2]



Obrázek 4 - Oběh zážehového spalovacího motoru [2]

Výpočet termické účinnosti η_t :

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \quad (1)$$

Ze vztahu vyplývá, že tepelná účinnost zážehového motoru roste se stoupajícím kompresním poměrem. Zároveň také nezávisí na teplotním poměru τ . Kompresní poměr nemůžeme volit libovolně, jinak by docházelo k samovznícení ještě před ukončení komprese. [2]

4.2.3. Dieselův rovnotlaký oběh

Spalování paliva v oběhu vznětového spalovacího motoru (také rovnotlaký oběh) probíhá při konstantním tlaku. Oběh vznětového spalovacího motoru znázorněného na obr. 3-5 se skládá ze dvou adiabat, izobary a izochory. Podle tohoto oběhu pracují pomaloběžné motory na těžší kapalná paliva, především naftu. U čtyřdobého motoru probíhá oběh následovně:

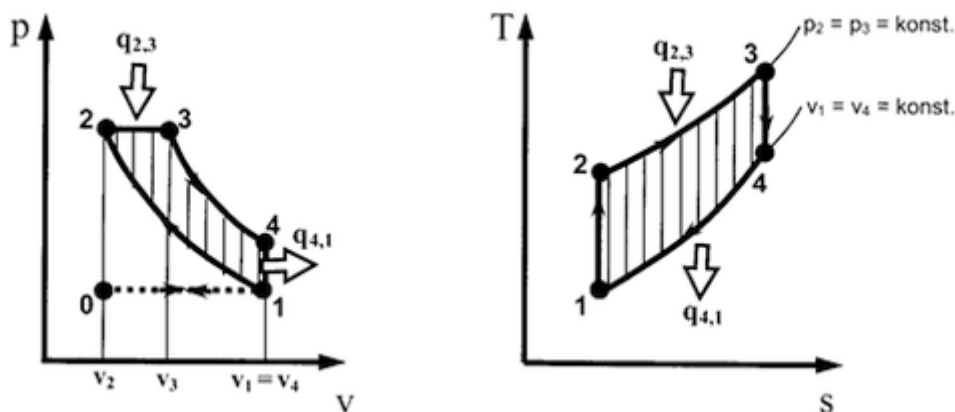
1. V prvním zdvihu motor nasává vzduch při atmosférickém tlaku. V bodě 1 se uzavře sací ventil a začíná vlastní oběh.

2. V druhém zdvihu probíhá adiabatická komprese 1-2.

3. Na začátku třetího zdvihu v bodě 2 se do válce vsříkne palivo, které se v komprimovaném vzduchu samo vznítí a hoří za stálého tlaku do stavu 3, čímž se přivede teplo $q_{2,3}$. Po vyhoření paliva probíhá ve třetím zdvihu adiabatická expanze 3-4. V bodě 4 se otevře výfukový ventil a spaliny vyexpandují do výfuku při stálém objemu, změna 4-1. Tím se odvede teplo $q_{4,1}$.

4. Ve čtvrtém zdvihu pístu se z válce vytlačí zbytky spalin a motor může celý oběh opakovat.

[2]

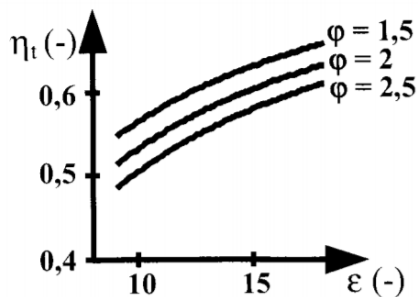


Obrázek 5 – Oběh vznětového spalovacího motoru [2]

Výpočet termické účinnosti η_t :

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \frac{\varphi^{\kappa}-1}{\kappa*(\varphi-1)} \quad (2)$$

Účinnost vznětového motoru stoupá, čím je větší je kompresní poměr ε . Naopak klesá, čím větší je plnění φ . S rostoucím kompresním poměrem ε tedy roste celková práce vznětového motoru, a tedy i účinnost. Práce vznětového motoru se s nárůstem plnění φ zvětšuje, ale jeho účinnost klesá. [2]



Obrázek 6 – Závislost účinnosti vznětového motoru η_t na kompresním poměru ε a plnění ϕ [2]

Z rovnic termických účinností (1) a (2) vyplývá, že účinnost zážehového oběhu je při stejném kompresním poměru větší než účinnost oběhu rovnotlakého. U Dieselova oběhu však můžeme volit vyšší kompresní poměr, protože nejsme omezeni samovznícením směsi. [2]

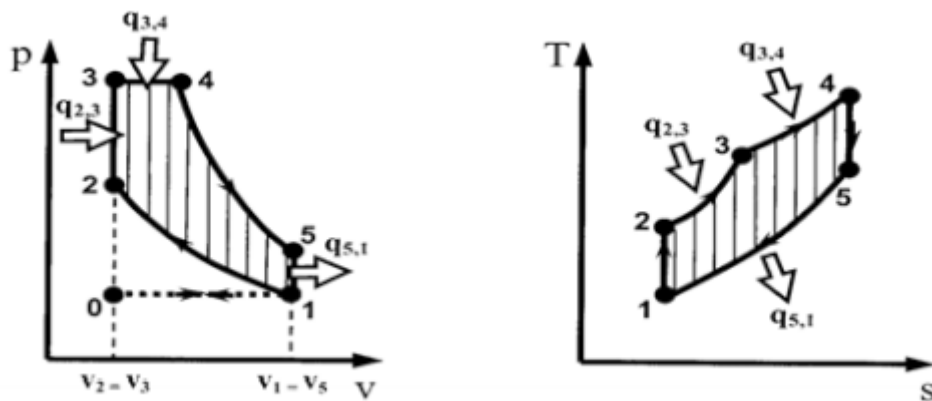
Důvodem je, že izobarickým přívodem tepla (2-3) přicházíme o část práce, která by mohla být vykonána v případě realizaci izochorického přívodu tepla. V takovém případě by byl bod 2 posunut výše a v části cyklu s objemem menším, než V_3 by byl tlak působící na píst rovněž

vyšší. Důsledkem toho je nižší tepelná účinnost takového oběhu v případě přímého porovnání s cyklem izochorickým. [13]

4.2.4. Smíšený (Sabateův) oběh

Tento oběh se skládá ze dvou adiabat, dvou izochor a jedné izobary. Spalování paliva, a tedy přívod tepla probíhá částečně při stálém objemu a částečně při stálém tlaku. Je to tedy spojení zážehového a rovnotlakého oběhu v jeden. Tento oběh se díky rozdělení přívodu tepla na dvě části lépe blíží reálnému průběhu hoření a bývá označován jako modernizovaný Dieselův cyklus. [13]

Rudolf Diesel zdokonalil tento oběh tak, že palivo vstříkoval do stlačeného vzduchu o tlaku 4 - 8 MPa. Tento postup zlepšil spalování paliva, neboť se palivo dodávalo do spalovacího prostoru už dobře rozprášené. Později pak už byla použita vstříkovací čerpadla, která pracovala s tlaky 20,0 MPa a více.



Obrázek 7 – Oběh smíšeného spalovacího motoru [2]

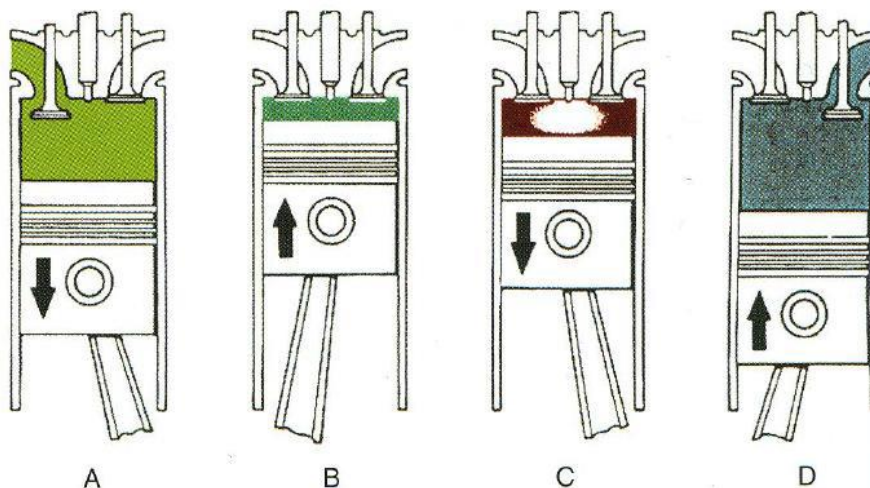
Výpočet termické účinnosti η_t :

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \frac{\tau \varphi^{\kappa-1} - \varepsilon^{\kappa-1}}{\tau \left[\kappa - \frac{1}{\varphi} (\kappa-1) \right] - \varepsilon^{\kappa-1}} \quad (3)$$

„Lze dokázat, že tepelná účinnost stejně jako práce smíšeného motoru roste s rostoucím teplotním poměrem τ .“ [2]

4.3. Činnost čtyřdobého vznětového motoru

Pracovní proces čtyřdobého motoru proběhne během dvou otáček klikového hřídele a čtyř zdvihů pístu.



Obrázek 8 - Pracovní oběh čtyřdobého vznětového motoru [3]

A) Sání – V této fázi se píst pohybuje z horní úvratě do dolní úvratě a nasává čistý vzduch. Sací ventil je otevřen a výfukový ventil je uzavřen. Sací ventil se uzavírá, jakmile píst dosáhne dolní úvratě.

B) Komprese - Píst se pohybuje z dolní do horní úvratě a stlačuje vzduch. Výfukové i sací ventily jsou uzavřeny. Před dosažením horní úvratě je stlačeného vzduchu vstříknuto palivo.

C) Expanze – Dochází ke samovznícení směsi vlivem kompresního tepla a píst se pohybuje do dolní úvratě. Dochází ke zvýšení teploty a tlaku. Tlakem je pak píst donucen se pohybovat do dolní úvratě a roztáčí tak klikový hřídel. Výfukové i sací ventily jsou uzavřeny.

D) Výfuk – Před dosažením dolní úvratě jsou otevřeny Výfukové ventily. Píst se následně pohybuje do horní úvratě a vytlačuje výfukové plyny do výfukového potrubí. Sací ventily je otevřen těsně před horní úvratí, k dosažení lepší výměně směsi. Výfukové ventily se uzavírají po dosažení horní úvratě. [8]

5. Tvorba směsi ve vznětových motorech

U každého spalovacího motoru je důležité, jak se směs připravuje, neboť je to jedna z hlavních částí motoru, která ovlivňuje parametry motoru (spotřeba paliva, užitečný výkon, emise výfukových plynů). Vznětový motor nasává do válce pouze vzduch a stlačuje jej. Až do stlačeného a zahřátého vzduchu se následně pod vysokým tlakem vstříkuje určitá dávka paliva. Vznětový motor tedy pracuje s kvalitativní regulací. Tato dávka může být od 4mg na volnoběh až do 80mg při plném zatížení na jeden vstřík. Stechiometrický směšovací poměr pro vznětové motory je 14,3:1, to znamená, že na 1kg paliva je potřeba 14,3 kg vzduchu. Moderní naftový motor pracuje při chodu naprázdno s mimořádně chudou směsí se součinitelem přebytku vzduchu $\lambda = 3,4$. Při plném zatížení se součinitelem $\lambda = 1,3 - 2$. Charakteristické pro vznětový motor je vnitřní tvorba směsi. Důsledkem vysoké teploty stlačeného vzduchu při kompresi se vstříkované palivo odpařuje a vytváří hořlavou směs se vzduchem, který se sama vznítí. Teplota stlačeného vzduchu při kompresi se pohybuje v rozmezí 800 °C až 900 °C. Rychlost hoření se pohybuje 20 až 50 m/s. Nejdříve dochází ke spálení vnější vrstvy molekul paliva, protože ihned reagují s kyslíkem. Po shoření vnější vrstvy musí zůstat ve spalovacím prostoru dostatek kyslíku na pokračování procesu hoření. Pokud ve válci nezůstane správné množství kyslíku k hoření, dochází k nedokonalému spalování a tvorbě škodlivých emisí. [3]

Proto z důvodu plnění přísných emisních předpisů a požadavků na co nejnižší spotřebu paliva, jsou kladeny stále vyšší nároky na vstříkovací systémy vznětových motorů. Pro co nejlepší přípravu směsi, musí vstříkovací soustava vznětových motorů vstříkovat palivo pod vysokým tlakem a zároveň zajistit přesné dávkování do spalovacího prostoru. Hodnoty vstříkovaného tlaku se pohybují v rozmezí 350 až 2050 baru [14]

5.1. Způsoby tvorby směsi

U vznětových motorů se používá dvou způsobů tvorby směsi:

- Objemový způsob

Typický, že celý objem spalovacího prostoru je vyplněn jemně rozprášeným palivem, přičemž palivo by mělo být vstříknuto tak aby nedopadlo na stěny válce. To se dosahuje přímým vstříkáváním paliva do neděleného spalovacího prostoru víceotvorovou tryskou.

- Termický způsob

Používá se jedno nebo dvou otvorová tryska. Palivo se záměrně u tohoto způsobu tvorby směsi vstříkuje tak, aby dopadlo na stěnu spalovacího prostoru a vytvořilo tenký film.

Priváděním tepla ze stěn spalovacího prostoru do palivového filmu dochází k postupnému odpařování paliva. Vzniknuté páry paliva se následně mísí se vzduchem a vytváří směs, která začíná postupně hořet. Tento způsob se používá u motorů s děleným spalovacím prostorem (tzv. komůrkové motory) a u motorů s neděleným spalovacím prostorem tzv. "M-způsobem" tvorby směsi. [5]

5.1.1. Dělené spalovací prostory motorů s nepřímým vstřikem paliva

V porovnání s motory s přímým vstřikem paliva se vyznačují tišším a měkčím chodem, způsobeným pomalejším nárůstem tlaku nad pístem. Z tohoto důvodu, i když mají vyšší spotřebu paliva, převládalo jejich použití u osobních automobilů v minulosti. Výhodou komůrkových motorů je dobré promísení paliva se vzduchem. Jelikož je palivo vstřikováno do komůrky, je možno pro vstřik paliva použít jednotvorové trysky s nižšími otviroacími tlaky. V současné době se již nevyrábějí především z důvodů vyšší měrné spotřeby a neplnění tak emisních norem. Aby se za nízkých teplot zabezpečilo dobrá startovatelnost je v komůrce umístěna žhavicí svíčka, která se před startováním rozžhává proudem z akumulátorové baterie. Druhy komůrek:

- Tlaková komůrka
- Vírová komůrka [5] [9]

5.1.2. Nedělené spalovací prostory motorů s přímým vstřikem paliva

Až do příchodu víceotvorových vstřikovačů a systémů nezbytné k jejich podpoře byl tento typ velmi těžko proveditelný. Dnes již motory s přímým vstřikováním jsou efektivnější a úspornější než motory s nepřímým vstřikováním. Proto se používají ve všech typech vozidel v moderních vozidlech. Jak název napovídá, přímý proces vstřikování zahrnuje přímé vstřikování paliva do spalovacího prostoru, jehož část je tvořena tvarem hlavou pístu. Atomizace paliva, ohřev, odpařování a směšování se vzduchem musí proto probíhat rychle za sebou. To dává vysoké nároky na palivo a dodávku vzduchu. Během sacího a kompresního zdvihu, speciální tvar sacího kanálu v hlavě válce vytváří vzdušný vír uvnitř válce. [9] [1]

Druhy spalovacích prostorů s přímým vstřikem paliva:

- Válcový (miskový) spalovací prostor
- Spalovací prostor Hesselman
- Toroidní spalovací prostor
- Kulovitý spalovací prostor s termickým způsobem tvoření směsi [8]

6. Systémy vstřikování paliva vznětových motorů

Hlavní rozdíly mezi systémy vstřikování jsou v tvorbě vysokého tlaku paliva v systému a v hlídání začátku vstřikování a době trvání vstřikování. Zatímco starší systémy měli pouze mechanické ovládání, dnes je již také vzhledem k tvorbě emisím rozšířená elektronická kontrola EDC.

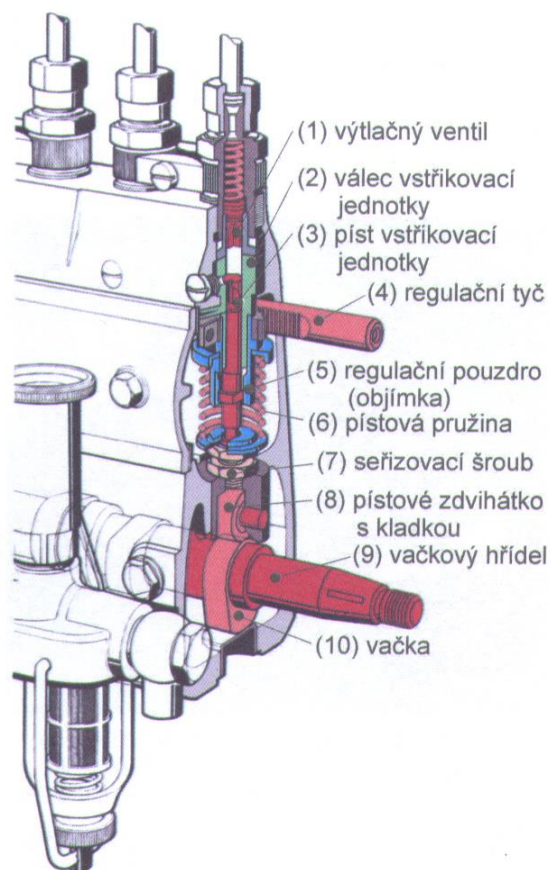
6.1. Řadová vstřikovací čerpadla

6.1.1. Standartní řadové čerpadlo

Jedná se o nejstarší typ vstřikovacích čerpadel používaných u vznětových motorů. Je to již 94 let, kdy listopadu 1927 společnost Bosch byla první společností na světě, která zahájila sériovou výrobu vstřikovacích čerpadel a vstřikovačů. Poprvé tak mohli výrobci motorů zakoupit vstřikovací systém, který umožňoval ekonomickou a rentabilní výrobu vysokorychlostních vznětových motorů s dlouhou životností. První čerpadla byla použita do dieselových nákladních automobilů firmou MAN. [10]

Hlavním účelem je vytvořit požadovaný vstřikovací tlak a v závislosti na otáčkách motoru přizpůsobit okamžik vstřiku. Dále také musí zabezpečit v závislosti na poloze plynového pedálu přesně odměřenou dávku paliva.

Řadové vstřikovací čerpadla jsou charakteristické uspořádáním výtlačných prvků do řady a pro každý válec motoru je určená jeden výtlačná jednotka. Tuto jednotku tvoří (viz obrázek 11) píst (3), který je nadzvedáván vačkou (9) umístěné na vačkové hřídeli čerpadla (10) přes pístové zdvihátko s válcovou kladkou (8). Zpět se vrací působením síly od pístové vinuté pružiny (6). Píst nasává palivo z palivové komory, která je jedním nebo dvěma otvory spojena s vnitřním prostorem pístu. Každý píst má konstantní zdvih, musí odměřit a vytlačovat stejné množství paliva, aby byl výkon ve všech válcích motoru stejný. Pokud chceme změnit výkon motoru, musíme změnit dávku paliva. To musí probíhat u všech pístů současně, proto je regulační ústrojí pro všechny jednotky společné. To je zabezpečeno pomocí šikmé řídicí hrany v pístu, která umožňuje přepouštění paliva. Regulace pootočením pístu posuvnou regulační tyčí (4), která je ovládána akceleračním pedálem a také odstředivým regulátorem měníme užitečný zdvih pístu, a tím i velikost dávky paliva. Vstřikovací jednotka je spojena pomocí vysokotlakého potrubí se vstřikovačem. [3] [5]



Obrázek 9 – Průhledová kresba vstřikovací jednotky řadového vstřikovacího čerpadla [16]

6.1.2. Řadové vstřikovací čerpadlo se zdvihovým šoupátkem

Hlavní rozdíl řadového vstřikovacího čerpadla se zdvihovým šoupátkem od standardního řadového čerpadla spočívá ve zdvihovém šoupátku, který je kluzně umístěný na pístu čerpadla. Lze jím měnit úvodní zdvih pístu pomocí ovládacího hřídele a tím počátek vstřiku paliva. Další rozdíl ve srovnání se standardními řadovými vstřikovacemi čerpadly jsou další stupně volnosti. Počátek vstřiku je tedy nezávislý na otáčkách motoru.[5]

6.1.3. Elektronická regulace řadových vstřikovacích čerpadel

S postupem času se ukázalo, že mechanické způsoby regulace vstřikování paliva jsou na hranici svých možností. Bez použití elektronické regulace (EDC, z angl. Electronic Diesel Control) nebylo téměř možné zlepšit jakýkoliv parametr vstřikovacího cyklu. U řadových vstřikovacích čerpadel byl nahrazen mechanický otáčkový regulátor elektronickými. Elektronická regulace spočívá v posouvání regulační tyče pomocí lineárního elektromagnetu, který je upevněn přímo na vstřikovacím čerpadle. U řadových čerpadel se zdvihátkovým šoupátkem je možné kromě vstřikovaného množství také jakkoliv upravovat začátek předvstřiku pomocí přidavného elektromagnetu. [12] [5]

K vinutí elektromagnetického ovladače množství paliva se přivádí signál z elektronické řídicí jednotky. Velikostí proudu zabezpečujeme plynulé nastavování regulační dráhy mezi nulou a maximální dávkou paliva (PWM signál, tj signál modulovaný šířkou impulsu). Se zvyšující hodnotou proudu působí elektromagnet proti tlaku pružiny a zvětší tak regulační dráhu a tedy i vstřikované množství. V řídicí jednotce motoru jsou naprogramovány příslušné charakteristiky čerpadla jako například množství vstřikovaného paliva v závislosti na otáčkách motoru, na zátížení motoru. [12] [5]

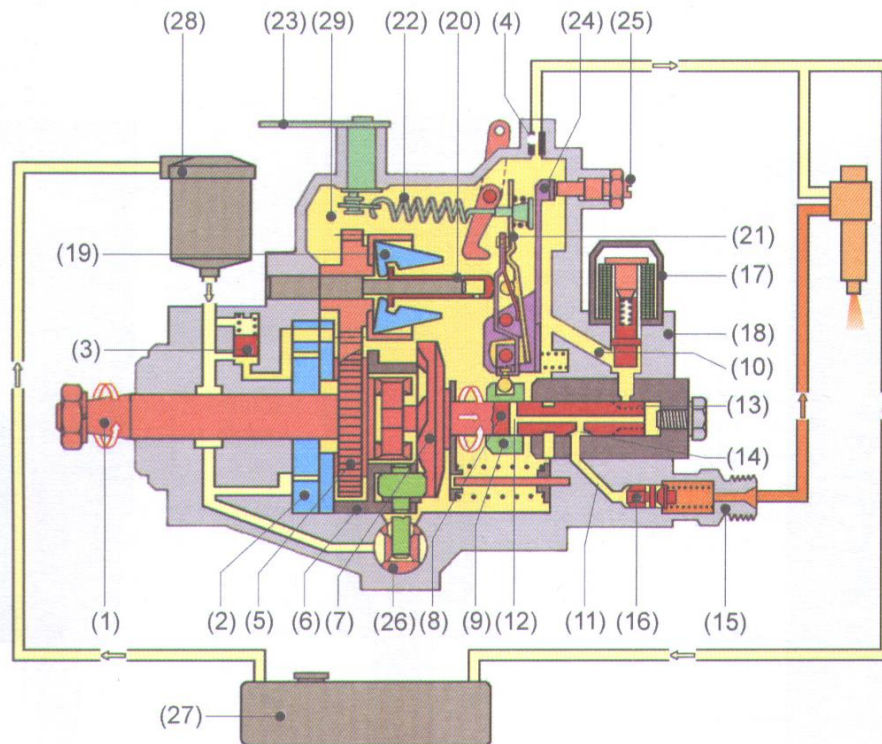
6.2. Rotační vstřikovací čerpadla

Rotační vstřikovací čerpadla mají pouze jednu vysokotlakou jednotku pro všechny válce motoru. Lopatkové čerpadlo dopravuje palivo do vysokotlakého prostoru čerpadla. Vysoký tlak je generovaný axiálním pístem, nebo několika radiálními písty. Centrální rotující píst rozděluje palivo do jednotlivých válců - otevírá a zavírá výtlačný kanály a přepouštěcí kanál. Doba vstřikování je řízena pomocí regulačního šoupátka nebo vysokotlakým elektromagnetickým ventilem.[1]

6.2.1. Rotační vstřikovací čerpadlo s axiálním pístem
Čerpadlo je celek, ve kterém je uvnitř umístěno podávací čerpadlo, vysokotlaké čerpadlo, otáčkový regulátor i přesuvník vstřiku. Lopatkové čerpadlo dopravuje palivo z nádrže nízkotlakým okruhem do čerpadla. Zde vytváří tlak axiální píst. Odměrování dávky paliva pro všechny válce je zajištěno jedním vysokotlakým elementem, které také je přiděluje v pořadí vstřiků k jednotlivým válcům. K hlavním výhodám patří malá váha, nezávislost na mazacím systému motoru vozidla, vhodnost pro elektronickou regulaci a celková kompaktnost konstrukce. [12] [5]

Podávací lopatkové čerpadlo je spojeno s hnací hřídelí čerpadla, který je poháněn od motoru a dodává palivo do sacího prostoru. Zároveň je část paliva dopravována dalším kanálem k redukčnímu ventilu, který v čerpadle udržuje požadovanou hodnotu tlaku. Tlak v čerpadle je tedy závislý na aktuálních otáčkách motoru. Palivo se přes dopravní čerpadlo dostává do vysokotlaké části, kde je stlačeno na potřebný tlak. Rozdělovací píst koná zdvihový a zároveň i rotační pohyb. Zdvihový pohyb pístu je vyvolán kotoučovou axiální vačkou, která se pohybuje po kladkovém prstenci. Počet výstupků na dolní straně vačky je stejný jako počet válců motoru. Tím je zajištěno sání a dodávka paliva přes výtlačné ventily do vysokotlakého potrubí a následně vstřikovačů. Hlavním úkolem výtlačných ventilů je snížit tlak ve výtlačném potrubí

po ukončení vstřiku paliva - okamžik uzavření vstřikovací trysky. Výtlačný ventil je otevírán tlakem paliva a zavírán ventilovou pružinou. [5] [13] [16]



Obrázek 10 – Schéma palivové soustavy s rotačním vstřikovacím čerpadlem s axiálním pístem [16]

1 – hnací hřídel, 2 – lamelové čerpadlo, 3 - redukční ventil, 4 – škrťací tryska, 5 – pohon regulátoru, 6 – kladkový kruh, 7 – axiální vačka, 8 – píst rozdělovače, 9 – regulační šoupátko, 10 – přívodní kanál, 11 – výtlačný kanál, 12 – příčný a přepouštěcí kanál, 13 - plnicí drážka, 14 - rozdělovací drážka, 15 – držák výtlačného ventilu (výstupní hrdlo), 16 – výtlačný ventil, 17 – elektromagnetický zastavovací ventil, 18 – hlava rozdělovače, 19 – odstředivé závaží, 20 – regulační pouzdro, 21 – pákový regulační systém, 22 – regulační pružina, 23 – ovládací páka, 24 – nastavovací páka, 25 – šroub po nastavení velikosti dodávky paliva, 26 – přesuvník vstřiku, 27 – palivová nádrž, 28 – čistič paliva, 29 – vnitřní prostor čerpadla

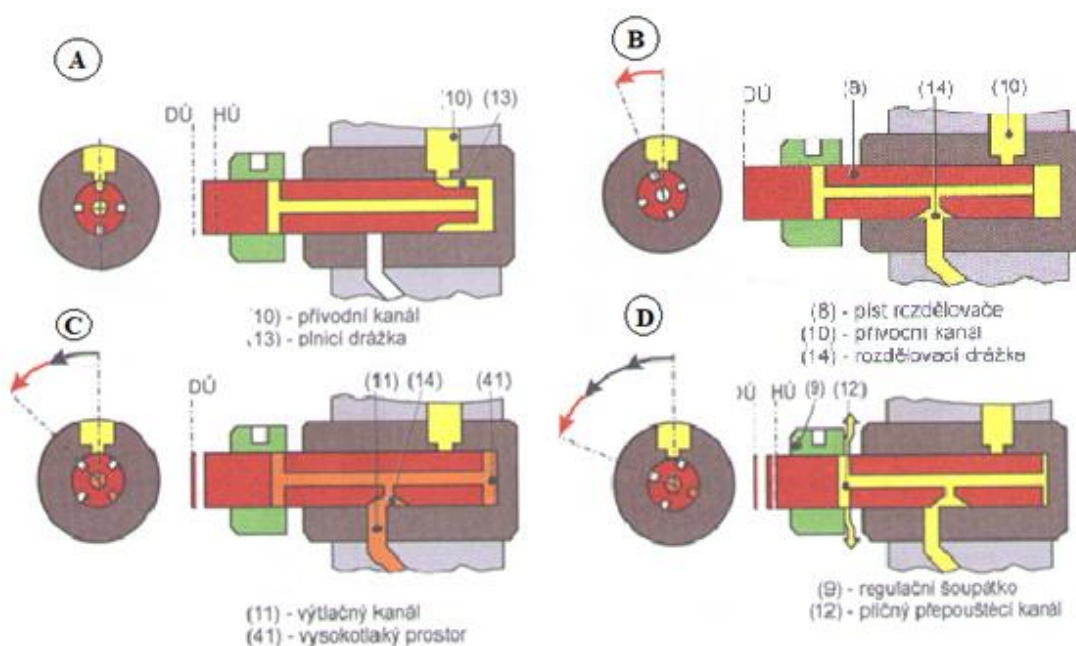
Na obrázku 11 jsou znázorněny jednotlivé fáze zdvihu výtlačného pístu:

A) přívod paliva – Píst se nachází těsně před HÚ. V tomto okamžiku se otevírá přívodní kanál. Během pohybu pístu do DÚ se vysokotlaký prostor naplní palivem a příčný kanál ve výtlačném pístu se uzavře regulačním šoupátkem.

B) Ukončení plnění – Píst je v DÚ. Otáčením pístu dojde k uzavření přívodu paliva. Zároveň se natočí i výtoková drážka pístu naproti následujícímu výtlačnému kanálu v rozdělovací hlavě. Fáze naplnění paliva do vysokotlakého prostoru je tak ukončena a začíná výtlač.

C) Výtlač paliva – Během pohybu pístu z DŮ do HŮ píst stlačuje palivo ve vysokotlakém prostoru na vysoký tlak. Stlačené palivo pak při překročení otevíracího tlaku výtlačného ventilu prochází kanálem v ose pístu, rozdělovací drážkou, výtlačným kanálem a vstřikovacím potrubím ke vstřikovací trysce.

D) Ukončení výtlačku – Výtlač paliva je ukončen v okamžiku, jakmile příčný kanál ve výtlačném pístu odkryje regulační šoupátko. Tlak paliva ve vysokotlakém prostoru klesá, protože palivo z něj vytéká přes příčný kanál zpět do prostoru čerpadla. [5] [16]

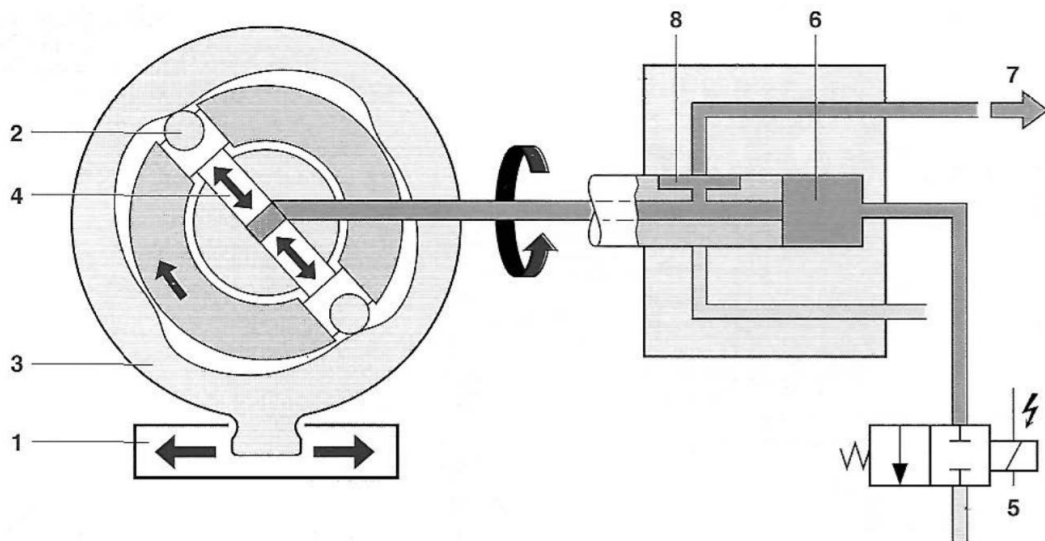


Obrázek 11 – Odměřování a doprava paliva pístem rozdělovače [16]

6.2.2. Rotační vstřikovací čerpadlo s radiálními písty

S rostoucími požadavky na snižování emisí výfukových plynů se ukázalo, že s rotačními čerpadly s axiálním pístem díky nízkému vstřikovacímu tlaku již není možné splnit tyto emisní limity. K dosažení vyšších vstřikovacích tlaků rotačních čerpadel se začalo používat konstrukční řešení s radiálními písty. Tyto čerpadla jsou běžně pracují se vstřikovacím tlakem okolo 150MPa. To je však podmíněno vyšší mechanickou pevností čerpadla. Princip je podobný rotačnímu čerpadlu s axiálním pístem. Rozdíl je zde v systému vytváření vstřikovacího tlaku, který je řešen právě radiálními písty a s vačkovým prstencem. Počet pístů i počet radiálních vaček je přímo závislý na počtu válců daného motor. V praxi jsou využívána čerpadla s dvěma až čtyřmi radiálními písty. Regulace množství paliva se u mechanicky regulovaného rotačního vstřikovacího čerpadla s radiálními písty provádí zpravidla pomocí dávkovacího ventilu, který je vložen mezi podávací čerpadlo a vtokové otvory. Dávkovací

ventil je ovládán sešlápnutím plynového pedálu, čímž se nastavují požadované otáčky motoru. Otevření dávkovacího ventilu je dále upravováno pomocí mechanického setrvačnickového regulátoru, jehož činnost je obdobná jako u rotačního čerpadla s axiálním pístem. Velikost předvstříku paliva je upravována pootočením vačkového prstence, jenž je mechanicky fixován k přesuvníku vstříku. Natočení je závislé na aktuálním tlaku paliva uvnitř čerpadla, který se mění spolu s otáčkami motoru. [5] [16]



Obrázek 12 – Schéma činnosti rotačního vstřikovacího čerpadla s radiálními písty [5]

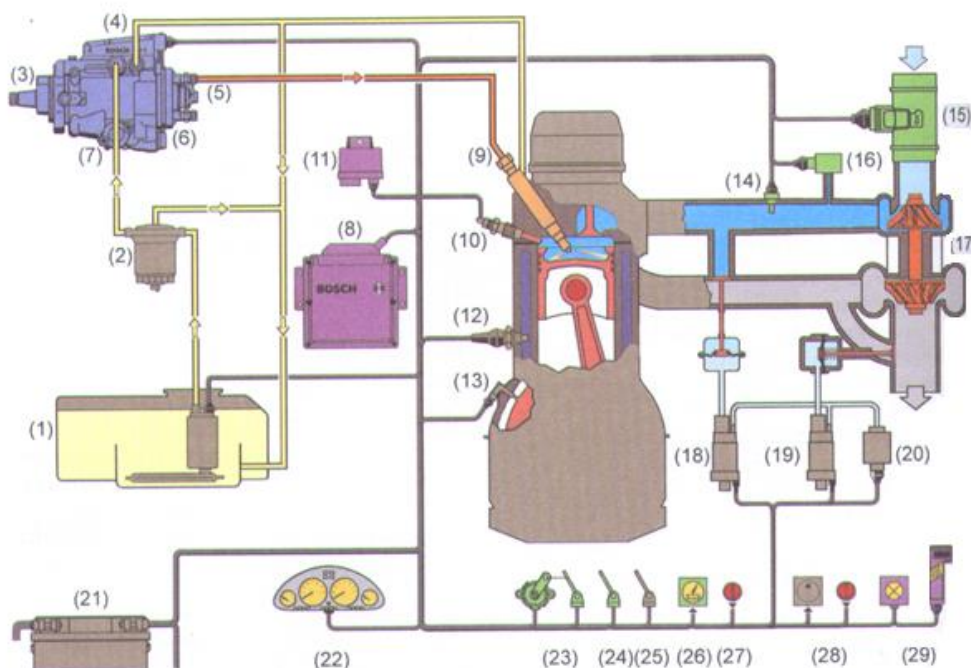
1 – dráha přesuvníku vstříku na unašeči s kladkami, 2 – váleček, 3 – vačkový prstenc, 4 – radiální píst, 5 -vysokotlaký elektromagnetický ventil, 6 – vysokotlaký prostor, 7 – přívod paliva k vstřikovací trysce, 8 – řídicí drážka

Pracovní cyklus začíná fází plnění, kdy se radiální písty nachází v dolní úvrati vačkové dráhy, kdy je centrální prostor plněn palivem. Jakmile kladky naběhnou na vyvýšení vnitřních vaček je objem centrálního prostoru zmenšován, tím stoupá tlak paliva v centrálním vysokotlakém prostoru. Při výtlačné fázi v horní úvrati pístů čerpadla je maximální tlak paliva, proudícího směrem k ose rozdělovacího hřídele. Palivo je stlačováno nyní v uzavřeném prostoru, který se otevře rotačním pohybem až rozdělovací hřídel propojí rozdělovací kanálek vysokotlaký prostor a výtlačný kanálek do příslušného vstřikovače. Typ rotačního čerpadla s radiálními písty je složitější jak svojí konstrukcí, tak řízením množství vstřikované dávky. U rozdělovacích čerpadel s radiálními písty začátek vstřikování a doba trvání vstřiku jsou vždy ovládáno elektromagnetickým ventilem řídicí jednotkou motoru. [1] [16]

6.2.3. Elektronická regulace rotačních vstřikovacích čerpadel

Konstrukce elektronicky řízeného rotačního čerpadla s axiálním pístem je obdobná jako v případě zcela mechanického provedení. Odpadají však mechanické nastavovací prvky a dávku paliva stejně jako počátek vstřiku nastavuje řídicí jednotka motoru prostřednictvím elektromagneticky ovládaných akčních členů. Změna polohy regulačního šoupátka na rozdělovacím pístu čerpadla provádí u elektronické regulace elektromagnetické stavědlo. Součástí tohoto elektromagnetického stavědla je i induktivní či potenciometrický snímač polohy šoupátka. Signál tohoto snímače je přiváděn do řídicí jednotky motoru, která tento signál porovnává s referenční hodnotou vypočtenou ze vstupních signálů snímačů určující provozní stav motoru. V případě rozdílu jednotka provede pomocí akčního členu elektromagnetického stavědla korekci polohou regulačního šoupátka.

Elektronicky řízená rotační vstřikovací čerpadla s radiálními písty jsou schopny pracovat v takovém režimu, aby průběh spalování byl co nejpříznivější, motor produkoval malé množství emisních plynů, a zároveň motor měl vysoký výkon a točivý momentu. Jak již bylo řečeno, rotační vstřikovací čerpadlo je vždy plně elektronicky řízeno a regulováno. Hlavní parametry, které řídicí jednotka motoru řídí je počátek vstřikování a dodávané množství paliva. Ovladače obou těchto parametrů jsou elektromagnetické ventily. Jedním z nejpoužívanějších čerpadel tohoto typu je čerpadlo řady VR firmy Bosch, které bylo uvedeno na trh v roce 1996.



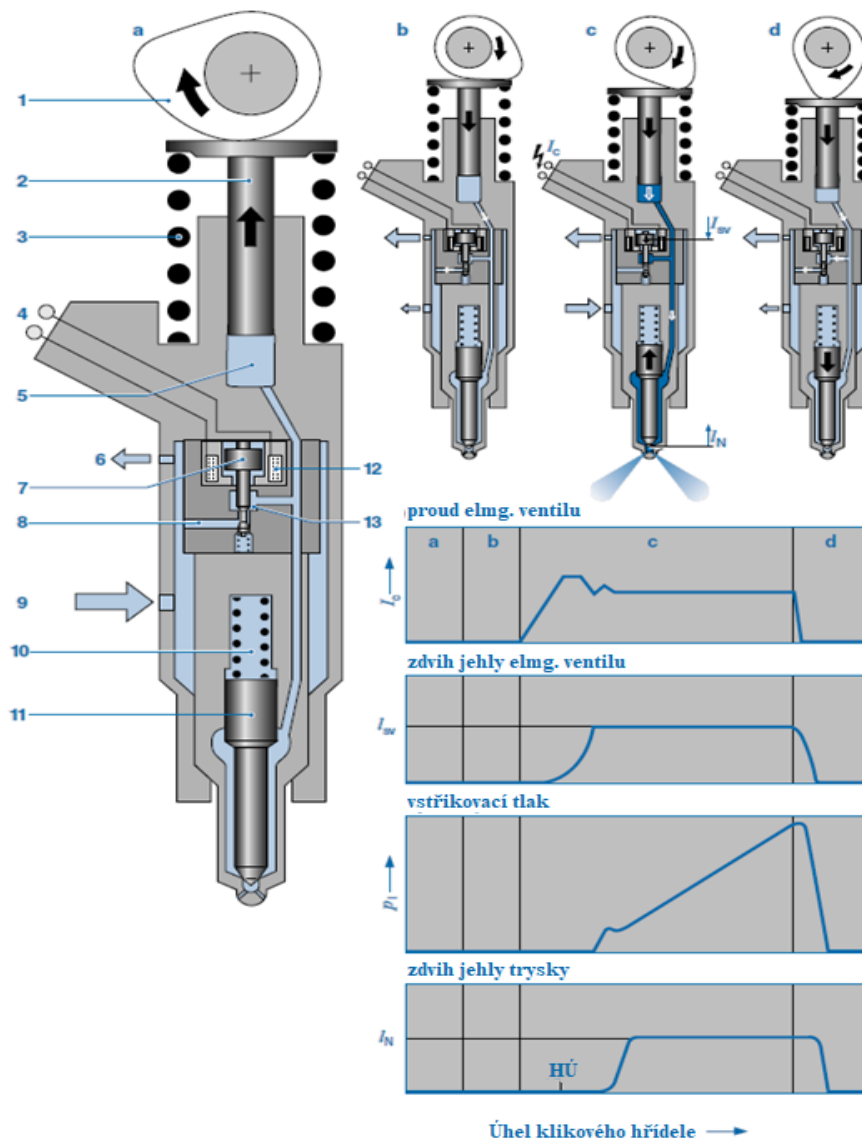
Obrázek 13 - Řídicí systém s elektronickou regulací RDC u palivové soustavy s rotačním vstřikovacím čerpadlem s radiálními písty (Bosch VR) [16]

1 – palivová nádrž, 2 – jemný čistič paliva, 3 – vstřikovací čerpadlo, 4 – řídicí jednotka čerpadla, 5 – vysokotlaký elektromagnetický ventil, 6 – elektromagnetický ventil přesuvníku vstřiku, 7 – přesuvník vstřiku, 8 – řídicí jednotka motoru, 9 – vstřikovač se snímačem pohybu jehly trysky, 10 – žhavicí svíčka, 11 – řídicí jednotka doby žhavení, 12 – snímač teploty chladicí kapaliny, 13 – indukční snímač otáček klikového hřídele, 14 – snímač teploty plnicího vzduchu, 15 – snímač hmotnosti nasávaného vzduchu, 16 – snímač plnicího tlaku, 17 – turbodmychadlo, 18 – elektropneumatický převodník recirkulace výfukových plynů, 19 – elektropneumatický převodník regulace plnicího tlaku, 20 – podtlakové čerpadlo, 21 – akumulátor, 22 – přístrojová deska s výstupem signálu o spotřebě paliva, otáčkách atd., 23 – snímač polohy pedálu akcelérátoru, 24 – spínač spojkového pedálu, 25 – spínač brzdových světel, 26 – signál rychlosti jízdy, 27 – ovládání tempomatu, 28 – kompresor klimatizace se spínačem, 29 – indikace diagnostiky s přípojkou pro diagnostický přístroj

6.3. Sdružená vstřikovací jednotka – UIS

Výroba systému sdružených vstřikovacích jednotek (UIS) začala pro užitková vozidla v roce 1994 a pro automobily v roce 1998. Průkopníkem této technologie byl koncern Volkswagen ve spolupráci s firmou Bosch. Všeobecně je nazývána jako systém “čerpadlo-tryska“. V systému sdružené vstřikovací jednotky UIS tvoří čerpadlo vstřikování paliva a vstřikovací tryska samostatnou jednotku (obr. 17). Každý válec má v hlavě válců namontovanou svoji sdruženou vstřikovací jednotku. Ta je ovládaná přímo zdvihátkem, nebo nepřímo přes vahadlo od vačkové hřídele motoru. Jednotka čerpadlo – tryska je v hlavě válců utěsněna O – kroužky. Vedení paliva je konstrukčně řešeno pomocí kanálů, které jsou umístěny v hlavě motoru. Tato konstrukce má výhodu, že zde není žádné vysokotlaké potrubí mezi čerpadlem a vstřikovací tryskou. Proto může být systém navržen tak, aby pracoval při vyšších vstřikovacích tlacích. Používaný vstřikovací tlak se pohybuje mezi 1800 a 2500 barů v závislosti na použitém čerpadle. Systém vstřikování sdružené jednotky je vždy řízen elektronicky. Začátek vstřikování a doba trvání vstřiku jsou vypočítány řídicí jednotkou motoru, která následně ovládá elektromagnetický ventil vstřikovací jednotky. Hlavní důvod proč už se tento systém v dnešní době nepoužívá byla horší adaptace pro práci s částicovými filtry, které se začli používat ke splnění striktnějších emisních předpisů Evropské unie. [1]

Tento systém nabízí výrazně větší stupeň přizpůsobivosti individuální konstrukci motoru než např. konvenční řadové čerpadlo. Sdružené vstřikovací jednotky umožňují také díky elektronické regulaci tzv. „pilotní“ vstřik (předvstřik). Předvstřik s následnou pauzou, která předchází hlavnímu vstřiku, zajišťuje, že se tlak ve spalovacím prostoru nevytvoří skokově, ale jejich nárůst bude pozvolný. Výsledkem je kultivovanější chod motoru a nižší obsah oxidů dusíku ve výfukových plynech. [1] [16]



Obrázek 14 – Princip funkce vstřikování UIS pro užitková vozidla [1]

a – sací zdvih, b – přípravný zdvih, c – čerpací zdvih, d – zbytkový zdvih,
 1 - Vačka, 2 – Píst čerpadla, 3 – Vratná pružina, 4 - Konektor, 5 – Vysokotlaká komora, 6 –
 Odvod paliva, 7 – Jehla elektromagnetického ventilu, 8 – Nízkotlaký otvor, 9 – Přívod paliva,
 10 - Pružina trysky, 11 – Jehla trysky, 12- elektromagnetická cívka, 13 – sedlo
 elektromagnetického ventilu

Přípravný zdvih (obr. 21a)

Vstříkovač je v klidovém stavu a není aktivován. Píst čerpadla (4) je tlačěn nahoru silou od vratné pružiny. Palivo, které je trvale pod tlakem proudí z nádrže nízkotlakou částí systému přes vstupní kanál (1) do vstříkovače. Elektromagnetický ventil není aktivován a jeho jehla je v klidové poloze. Palivo prochází otevřeným sedlem elektromagnetického ventilu (11) do vysokotlaké komory (5).

Přípravný zdvih (obr. 21b)

Píst čerpadla se při otáčení hnací vačky pohybuje dolů. Přitom stále ještě otevřeným magnetickým ventilem vytlačuje palivo do kanálku odvodu do palivové nádrže. Teplo se rozptyluje ze vstřikovače pomocí paliva, jak proudí zpět, tzn. vstřikovač je chlazený palivem

Čerpací zdvih (obr. 21c)

Předvstřík

Pro hladší chod motoru, je vstříknuto malé množství paliva pod nízkým tlakem. Doba trvání tohoto vstřiku je velmi krátká. Působením vahadla se tlačí píst čerpadla dolů. Řídící jednotka motoru dá pokyn elektromagnetickému ventilu pro zahájení pilotního vstřiku. Jehla ventilu se přesune do sedla a uzavře tak cestu od prostoru vysokého tlaku ke kanálu přívodu paliva. Tím způsobí nárůstu tlaku a při překročení 18 MPa je již větší než síla vytvářená pružinou trysky. Jehla trysky se tedy tlakem nadzvedne a vstříkne se pilotní vstřík.

Hlavní vstřík

Krátce po uzavření trysky jehlou zvyšuje tlak ve vysokotlaké komoře pokračující pohyb pístu čerpadla. Elektromagnetický ventil zůstává stále zavřený, píst čerpadla se pohybuje dolů. Po dosažení otevíracího tlaku trysky - nyní cca. 30 MPa, je jehla trysky nadzvednuta ze sedla a začíná hlavní vstřík do spalovacího prostoru motoru. Vzhledem k tomu, že ve vysokotlakém prostoru je stlačováno více paliva, než je možné tryskou vstříknout za jednotku času, tu pístu se tlak během celého procesu vstřikování stále zvyšuje až dosáhne hodnoty cca 205 MPa. Maximálního tlaku je dosaženo během přechodné fáze mezi výtlačným zdvihem a zbytkovým zdvihem. Ukončení vstřiku proběhne ve chvíli, kdy řídící jednotka přestane napájet elektromagnetický ventil.

Zbytkový zdvih (obr. 21d)

Jehla ventilu je pružinou zvednuta ze sedla, tím se obnoví spojení mezi vysokotlakým (základním) prostorem a nízkotlakou částí. Tlak náhle poklesne, jehla uzavře vstřikovací trysku a odlehčovací píst je zatlačen pružinou trysky do výchozí polohy. Během pohybu pístu čerpadla dolů se zbytkové palivo vrací do nízkotlaké části systému. Během tohoto zdvihu se opět odvádí teplo ze vstřikovače. [1] [12]

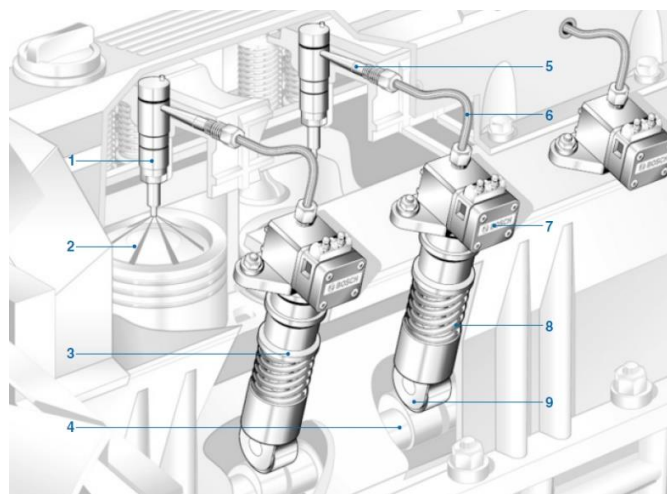
Třetí generace UIS

Firma Delphi přišla v roce 2002 s konstrukční řešení Delphi E3. U této generace je dosahován vstříkovací tlak téměř 250 MPa, přičemž se používají dva elektromagnetické ventily místo jednoho, tj. přetokový ventil a jehlový ventil, s cívkami a elektromagnety s vratnými pružinami. Použity jsou rychle spínající magnetické ventily. První ovládá nárůst a pokles tlaku a druhý nezávisle na prvním řídí otevírání a uzavírání jehly ventilu. Vstříkovač umožňuje rozdělit až 5 variabilních vstříků na jeden cyklus. Charakteristiky třetí generace systému sdružené vstříkovací jednotky jsou tedy srovnatelné se systémem Common Rail 3. a 4. generace. Při výměně jedné nebo několika vstříkovacích trysek se řídicí jednotka motoru musí naprogramovat podle kódu korekce množství paliva nových vstříkovacích trysek, protože motor je vyladěn na optimální vstříkování paliva a na co nejnižší možné emise. [5] [21]

U tohoto systému dosáhla společnost Volvo laboratorních vstříkovacích tlaků 300 MPa. Tento vstříkovací tlak byl však již neefektivní kvůli výraznému kavitačnímu opotřebení. [20]

6.4. Sdružený vstříkovací systém – UPS

Systém UPS také nazývaný čerpadlo - vedení – tryska (německy Pump Leitung Düse, PLD) pracuje na stejném principu jako systém UIS. Rozdíl, jak je patrné z obrázku 18 je v použití krátkého vysokotlakého potrubí, které propojuje vstříkovací čerpadlo a trysku. Použití systém našel u užitkových vozidel a velkých motorů. Sdružený vstříkovací systém (UPS) funguje stejným způsobem jako sdružená vstříkovací jednotka (UIS). Každý válec má svoji vstříkovací jednotku (vstříkovací čerpadlo, vedení a držák trysky). [1] [16]



Obrázek 15 - Schéma umístění sdruženého vstříkovacího systému (UPS) [1]

1 – vstříkovací tryska, 2 – spalovací prostor motoru, 3 – vstříkovací vysokotlaké čerpadlo, 4 -vačkový hřídel motoru, 5 – omezovač tlaku, 6 – vysokotlaké potrubí, 7 – elektromagnetický ventil, 8 – vratná pružina, 9 – válečkové zdvihátko

6.5. Vstříkovací systém s tlakovým zásobníkem – Common Rail

Prototyp systému Common Rail vyvinul koncem 60. let Robert Huber ze Švýcarska a další kdo technologii zlepšil byl Dr. Marco Ganser ze Švýcarského federálního technologického institutu v Curychu. V roce 1995 firma Denso vyvinula první vstříkování Common Rail pro nákladní automobily pod označením ECD-U2. Další vývoj probíhal v 90. letech spoluprací společností MagnetiMarelli a výzkumného centra Fiat. Po výzkumu a vývoji Fiat Group získala výsledky a dokumentaci německá společnost Robert Bosch GmbH. Ta dokončila vývoj a zdokonalila jej pro masovou výrobu. Jak se časem ukázalo, prodej se pro Fiat ukázal jako strategická chyba, protože nová technologie se ukázala jako vysoce zisková. První osobní automobily vybavené systémem Common Rail pak byla v roce 1997 Alfa Romeo 156 2.4 JTD. [25]

V současné době požadavky na systémy vstříkování paliva vznětových motorů neustále rostou. Zvyšují se vstříkovací tlaky, musí být rychlejší spínací časy a proměnná křivka doby vstříku upravená podle provozního stavu motoru způsobily, že vznětový motor se stal ekonomický, čistý a výkonný. Díky tomu používá tento systém dnes většina výrobců automobilů, protože dosud nebyl navržen efektivnější způsob vstříkování paliva.

Konstrukčně se systém Common Rail se skládá z následujících základních skupin:

- nízkotlaká část s komponenty pro zásobování palivem.
- vysokotlaká část s komponenty, např. vysokotlaké čerpadlo, tlakový zásobník (Rail), vstříkovače a vysokotlaké palivové vedení.
- elektronická regulace vznětového motoru (EDC) se systémovými bloky snímačů, řídicí jednotka motoru a akční členy. [1]

Paliva z nádrže dodává k vysokotlakému čerpadlu elektrické podávací či zubové čerpadlo, v některých případech je použita kombinace obou způsobů. Klíčové součásti systému Common-Rail jsou vstříkovače. Ty jsou vybaveny rychločinným ventilem (elektromagnetický ventil nebo piezoelektrický aktuátor), který otevírá a zavírá trysku. To umožňuje velkou proměnlivost časování vstříku a možnost přesného řízení dávky paliva pro jediný pracovní zdvih daného válce motoru. Tím je možné rozdělit dávku paliva na více vstříků, díky čemu má

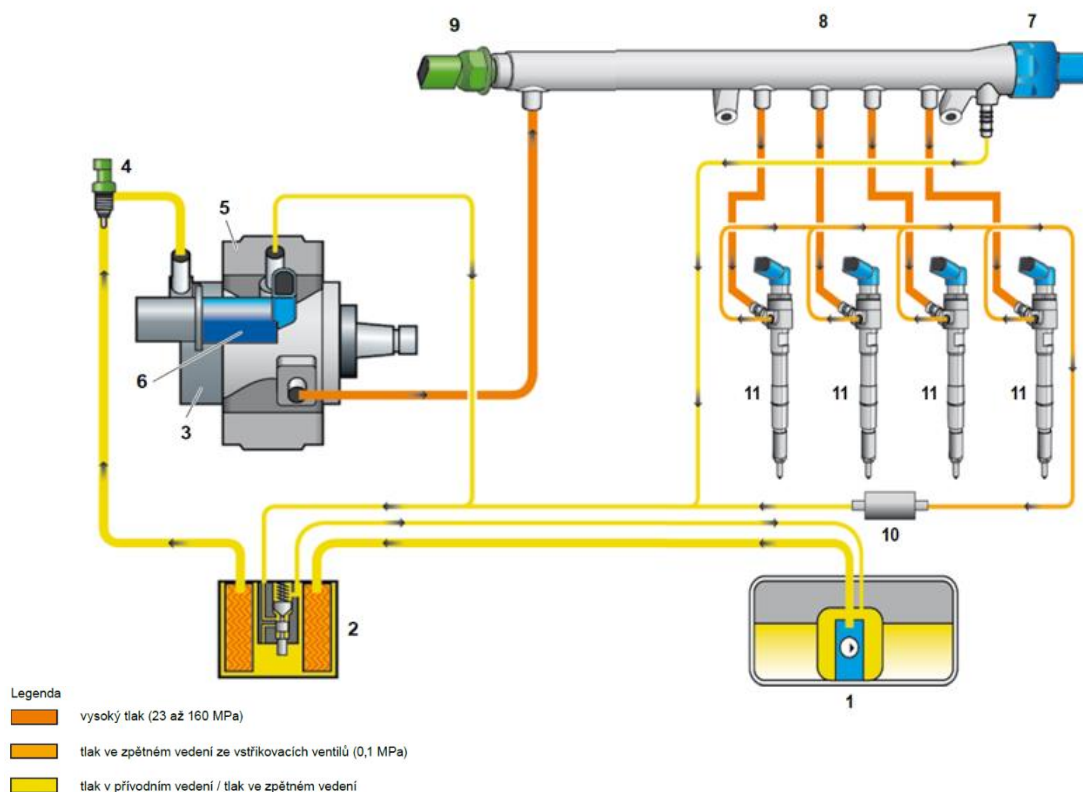
motor tišší a měkčí chod. Hlavním důvodem rozvoje tohoto systému je zpřísnování emisích norem. [1]

V tabulce 1. je zaznamenán postupný vývoj generací vstřikovacího systému Common Rail

Generace CR	Maximální tlak	Vstřikovač	Vysokotlaké čerpadlo
1. Generace Osobní vozidla	135 – 145 MPa	Vstřikovač s elektromagnetickým ventilem	CP1 Regulace tlaku na straně vysokého tlaku s regulačním tlakovým ventilem
1. Generace Nákladní vozidla	140 MPa	Vstřikovač s elektromagnetickým ventilem	CP2 Regulace množství na straně sání dvěma elektromagnetickými ventily.
2. Generace Osobní a nákladní vozidla	160 MPa	Vstřikovač s elektromagnetickým ventilem	CP3, CP1H Regulace množství na straně sání s dávkovací jednotkou.
3. Generace Osobní vozidla	160 – 180 MPa	Piezoelektrický vstřikovač Inline	CP3, CP1H Regulace množství na straně sání s dávkovací jednotkou.
3. Generace Nákladní vozidla	180 MPa	Vstřikovač s elektromagnetickým ventilem	CP3.3NH Dávkovací jednotka (škrticí ventil)
4. Generace Osobní a nákladní vozidla	250 MPa	Hydraulicky posilovaný Piezoelektrický vstřikovač Inline	CP4 regulace množství na straně sání s dávkovací jednotkou

Tabulka 1 - Vývoj generací systému Common Rail

6.5.1. Princip činnosti systému Common Rail u osobních vozidel



Obrázek 16 – Palivová soustava čtyřválcového motoru 1.6 TDi, součásti [24]

- 1 – Palivová nádrž s elektrickým palivovým čerpadlem, 2 - Palivový filtr s předehřívacím ventilem, 3 -Předřazené dopravní palivové čerpadlo, 4 - Snímač teploty paliva, 5 - Vysokotlaké palivové čerpadlo, 6 - Ventil dávkování paliva, 7 - Ventil regulace tlaku paliva, 8 - Vysokotlaký zásobník paliva (rail), 9 - Snímač tlaku paliva - vysoký tlak, 10 - Zpětný tlakový ventil, 11 - Vstřikovací ventily

Systém vstřikování paliva common rail byl u motoru 1,6 TDI vyvinut firmou Continental. Pro vstřikování paliva je použita 3.generace vstřikovacího systému Common Rail s piezoelektricky ovládanými vstřikovací ventily. Množství vstřikovaného paliva je určováno v závislosti na zatížení motoru a skládá se z předvstřiku, hlavního vstřiku a sekundárního vstřiku. Vstřikovací tlak dosahuje až 160 MPa.

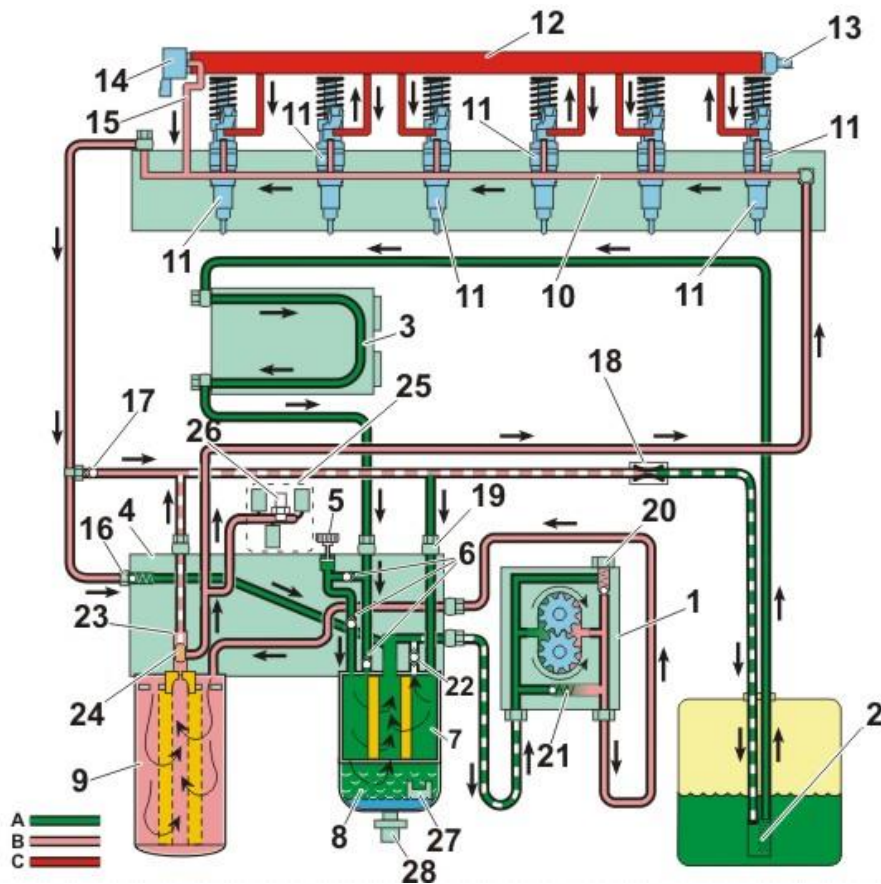
Začátek nízkotlaké části je v palivové nádrži, odkud je palivo dopravováno elektrickým dopravním čerpadlem. Maximální dopravní výkon elektrického palivového čerpadla je 190 l/h. Aby bylo zajištěno rychlé nastartování motoru, čerpadlo se zapne, jakmile je otočeno klíčkem ve spínací skřínce. Dále palivo proudí přívodním palivovým vedením přes palivový filtr s předehřívacím ventilem do předřazeného dopravního palivového čerpadla. Účelem předehřívacího ventilu je, že při nízkých venkovních teplotách brání ucpání filtru krystalky parafínu. Zubové čerpadlo je spojeno s vysokotlakým čerpadlem a je poháněno jeho vstupním

hřídelem přes ozubený rozvodový řemen od klikového hřídele. Díky tomu dodává zubové čerpadlo palivo až při startování motoru, jakmile se motor začne otáčet. Dodávané množství závisí na otáčkách motoru a dosahuje dopravního výkonu až 400 l / h. Jedná se o dvě ozubená kola, která v zubových mezerách posunují palivo od sací k výtlačné straně a dále jej dopravují přes ventil dávkování paliva k vysokotlaké čerpací jednotce. Tím je zabezpečeno rovnoměrné zásobování vysokotlaké čerpací jednotky ve všech provozních režimech. Lze tak už v nízkotlaké části korigovat dodávku paliva vysokotlakou čerpací jednotkou vzhledem k aktuální potřebě motoru. Ventil dávkování paliva je ovládán řídicí jednotkou motoru prostřednictvím signálu PWM. Dojde-li k výpadku funkce ventilu, ventil uzavře přívod paliva k vysokotlaké čerpací jednotce a motor zhasne. [24]

Konstrukce vysokotlakého čerpadla je nejčastěji koncipována pro osobní automobily se třemi písty a pro užitkové vozy se dvěma. Písty jsou pootočené o 120° oproti sobě a stlačují palivo. Výstředník na hnací hřídeli vytvoří pohyb pístů zpět. Dále palivo putuje přes výtokový ventil do zásobníku Rail. Tlak v Railu je udržován pomocí ventilu regulace tlaku paliva, který je umístěn na Railu, na určité hodnotě nezávisle na otáčkách motoru a vstřikovaném množství paliva. Ventil ovládá řídicí jednotka motoru prostřednictvím signálu PWM. Dojde-li k výpadku funkce ventilu, nelze vytvořit potřebný tlak paliva pro vstřikování a provoz motoru není možný (bez přívodu napájení je ventil otevřen). Zásobník je spojený s každou vstřikovací tryskou pomocí krátkého vysokotlakého potrubí. Vstřikovače Common Rail jsou podle použité vstřikovací trysky vestavěny přímo nebo šikmo. V případě vstřikovače od firmy Siemens VDO je tento piezočlen tvořen asi 400 pláty křemene do výšky 30 milimetrů. Po přivedení napětí okolo 140 Volt, které způsobí prodloužení krystalů celkem asi o 0,04 mm. Pohyb krystalů se mechanicky pomocí pístků a pružinek převede na zdvih jehly vstřikovací trysky asi o 0,08 mm. Je možné tak dosáhnout otevření či uzavření trysky během méně než jediné desítitisíciny sekundy. To je méně než polovina času, kterou potřebuje elektromagnetický ventil. Lze tak snížit doby mezi jednotlivými vstřiky podle potřeby velmi pružně vytvářet průběh vstřikování. „Okamžik vstřiku je řízen systémem úhel-čas elektronické regulace vznětového motoru (EDC).“ [5] [24]

Vznětové motory vybavené touto technikou se staly úspornější až o 3 % a výkonnější o 7 %. Vratné množství paliva, které se nevyužije pro vstřikování, je u inline vstřikovací trysky velmi nízké. Snížilo se tak dopravní množství, a tím potřebný výkon vysokotlakého čerpadla. Dále toto řešení umožnilo snížit emise sazí až o 20 %. [12] [1] [24] [23]

6.5.2. Princip činnosti systému Common Rail u nákladních vozidel



Obrázek 17 – Schéma palivové soustavy Volvo D16K750, součásti, varianta s chladičí spirálou na ECM [22]

Tlak A <math>< 500 \text{ kPa}</math>, B = 500 kPa, C >30 MPa

Palivo je čerpáno podávacím čerpadlem (1) přes sítko (2) v jednotce kombinované nádrže do chladičí spirály (3), kterou je ochlazována řídicí jednotka motoru, a pak dolů do skříně čističe paliva (4). Odtud palivo prochází vypouštěcím čerpadlem (5) (ruční nebo elektrické) je umístěno na skříně čističe paliva a používá se k vypouštění systému, jednosměrnými ventily (6) a primárním filtrem (7) s odlučovačem vody (8). Účelem jednosměrných ventilů je zabránit zpětnému toku paliva do nádrže, když je motor vypnutý, a když se používá vypouštěcí čerpadlo. Ze skříně čističe paliva (4) proudí palivo přes hlavní čistič (9) vzhůru do podélného palivového kanálu v hlavě válců (10). Tímto kanálem se palivo přivádí k jednotlivým čerpacím vstřikovacím tryskám (11), které vytvářejí tlak v rozdělovacím potrubí Common Rail (12). Snímač tlaku paliva (13) ve sběrné liště měří tlak paliva. Při příliš vysokém zvýšení tlaku v uzavřené soustavě rozdělovacího potrubí Common Rail otevře ECM elektricky ovládaný pojistný ventil (14), který propustí palivo zpětným potrubím (15) do podélného palivového kanálu (10) v hlavě válců a skříně čističe paliva (4) přes přetokový ventil (16) a zpět do nádrže přes jednosměrný ventil (17). Otevírací tlak pojistného ventilu je

nastavený tak, aby byl vždy mírně vyšší než požadovaný tlak v rozdělovacím potrubí Common Rail. ECM používá signál ze snímače tlaku paliva (13) k ovládní elektrického zpětného ventilu (14) a čerpacích vstříkovacích trysek (11).

Ve zpětném potrubí do nádrže je umístěn omezovač (18) za účelem udržování tlaku v přecházejících místech potrubí. Vracené se palivo se směšuje s palivem z nádrže v kanálu, který vede skříň čističe paliva, a dále je nasáváno do vstupu podávacího čerpadla (strana sání) pomocí jednosměrného ventilu (17) přes recirkulační ventil (19) a skříň čističe paliva (4). V podávacím čerpadle jsou dva ventily - pojistný ventil (20) umožňuje při příliš vysokém tlaku průtok paliva upustit tlak paliva na stranu sání, například při zaneseném palivovém filtru, zatímco jednosměrný ventil (21) se otevírá při použití ručního palivového čerpadla (5), čímž usnadňuje ruční čerpání paliva.

Palivová soustava se odvzdušňuje automaticky při startování motoru. Odvzdušňovací ventil (22) na primárním filtru je připojen ke zpětnému potrubí do přívodu podávacího čerpadla (strana sání). Na hlavním filtru je odvzdušňovací ventil (23) připojen ke zpětnému potrubí do palivové nádrže, takže veškerý vzduch v soustavě proudí zpět do nádrže i s malým množstvím paliva. Po dokončení odvzdušnění přestane odvzdušňovacím ventilem (23) proudit vzduch a kuželka ventilu (24) je vytlačena palivem nahoru, čímž uzavře průtok do zpětného potrubí.

Při výměně hlavního filtru (9) se uzavře kuželka ventilu (24) v odvzdušňovacím ventilu (23) a zabrání vytékání paliva při vyšroubování filtru. Skříň čističe paliva obsahuje kanál napájení palivem dávkovací jednotky (25) pro systém AFI (vstříkování paliva do výfukového potrubí pomocí 7. vstříkovače). Dávkovací jednotka rovněž obsahuje snímač tlaku paliva (26), který měří přívodní tlak za hlavním filtrem. Snímač výšky hladiny (27) v odlučovači vody (8) signalizuje přítomnost vody v palivové soustavě. Vypouštění se provádí tlačítky na volantu. Pomocí nich se prostřednictvím řídicí jednotky motoru otevře elektrický vypouštěcí ventil (28). [22]

7. Závěr

V bakalářské práci na téma Vývoj palivových soustav vznětových motorů jsem v první části popsal historický vývoj vznětových motorů. Popsal jsem život Rudolfa Diesela a jeho první vznětový motor. Dále život Charlese Franklina Ketteringa a Roberta Bosche a jeho vstříkovačeho čerpadla. Ve druhé části je popsán princip činnosti vznětových motorů včetně paliv. Ty jsou jedním z řešení pro snižování emisí. Využití alternativních zdrojů paliv, která při stejné nebo vyšší výhřevnosti produkují méně škodlivin.

Vývoj vstříkovačích systémů jde pořád vpřed. Není vůbec jednoduché popsat jednotlivé vstříkovačích systémy. Každá firma, každý výrobce si chrání své informace a v dnešní době se k těmto informacím dostat je velmi složité. S rostoucími požadavky na snížení spotřeby a současně snižování emisí evropskými emisními normami jsou konstruktéři nuceni zdokonalovat technologii vstříkování. Mechanická regulace byla postupně nahrazována elektronickou, kontrolovanou řídicími jednotkami pomocí informací získaných z různých snímačů.

Ještě nedávno nebylo jisté, zda se bude v budoucnu používat v osobních automobilech sdružený vstříkovačích systém UPS, nebo systém s tlakovým zásobníkem Common Rail. Dnes výrobci osobních i nákladních automobilů používají výhradně systém tlakového zásobníku, který umožňuje vyvinout vyšší vstříkovačích tlaky a v kombinaci s filtrem pevných částic nebo SCR dokáže splnit současné nároky na emisní limity. Koncern VW přestal používat sdružené vstříkovače po příchodu normy Euro 5. Tato norma povinně vyžadovala použití filtru pevných částic. Motory s touto technologií vstříkování měly hodně problémů, zejména úspěšně zvládnout regeneraci filtru.

V současnosti se u osobních rozmohl trend zavádění elektropohonů či hybridních pohonů vozidel, kdy je skombinováno několik zdrojů energie pro pohon jednoho dopravního prostředku. Nejčastěji se jedná o kombinaci spalovačeho motoru, elektromotoru a akumulátoru. Zde podle mého názoru se tento podíl pohonů bude zvyšovat. U těžkých nákladních automobilů, kde je požadavek na velký dojezd není současná technologie akumulátorových elektromobilů schopna tyto podmínky zvládnout. Zde se jako vhodnější princip jeví pohon na zkapačněný zemní plyn LNG či vodík. U nákladních vozidel používaných pro městskou rozvážkovou službu s častými rozjezdy jsou zatím v provozu pouze zkušební série elektropohonů či hybridních pohonů, které stále využívají vznětový motor spojený s elektromotorem.

8. Literatura

- [1] Reif, Konrad, Diesel Engine Management, Systems and Components, 2014, ISBN 978-3-658-03980-6
- [2] NEUBERGER, Pavel, Daniel ADAMOVSKEÝ a Radomír ADAMOVSKEÝ. *Termomechanika*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978-80-213-1634-8.
- [3] Bauer F., a kolektiv., 2006. *Traktory*. Praha : Profi Press, s.r.o., 2006. ISBN 80-86726-15-0.
- [4] <http://www.trucktrend.com> [Online] [citace 23.10.2020] <http://www.trucktrend.com/cool-trucks/1108dp-august-2011-baselines-charles-boss-kettering>
- [5] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [6] Růžička A., Petrás Z., 1998. *Elektronické vstřikování vznětových motorů E.D.C 1.3.3*. Praha : Robert Bosch odbytová s.r.o., 1998. str. 67.
- [7] Bosch R., 2009. AA/SEM 3 a PPS. *Servisní služby - školení*. Praha : Robert Bosch odbytová s.r.o. a ŠKODA Auto, a.s, 2. únor 2009. str. 106.
- [8] Jan Z., Žďánský B., 2004. *Automobily 3. Motory*. Brno : Avid s.r.o. Brno, 2004. str. 97.
- [9] *Troubleshooting and Repairing Diesel Engines Fourth Edition By Paul Dempsey Book*
- [10] Dohle, U. 75 years of diesel injection by Bosch. *MTZ Worldw* 64, 6–8 (2003). <https://doi.org/10.1007/BF03228019>
- [11] HÖNIG, Vladimír. *Paliva a maziva*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2013. ISBN 978-80-213-2432-9.
- [12] FERENC, Bohumil. *Spalovací motory: karburátory, vstřikování paliva a optimalizace parametrů motoru*. Vyd. 3. Brno: Computer Press, 2009. Auto-moto-profi. ISBN 978-80-251-2545-8
- [13] Pechout, Martin. *Spalovací motory – základní přehled*. Praha 2019. ISBN 978-80-213-2984-3
- [14] LANDHÄUSSER, Felix. *Systém vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory: Robert Bosch*. Praha: Bosch, 2005. Technické vzdělávání, Řízení vznětových motorů. ISBN 80-903132-7-2
- [15] Helán Vašků, Kateřina. *Vynálezy, které lidé nechtěli: Rudolf Diesel a jeho sebevražedný motor*. [Online] 07.08.2019 [citace 7.11.2020] Dostupné z: <https://www.stoplusjednicka.cz/vynalezy-ktere-lide-nechteli-rudolf-diesel-jeho-sebevrazedny-motor>
- [16] Žďánský, B., Zdeněk, J.: *Automobily příslušenství (4)*, Avid, spol. s.r.o., Brno, 2008. 304 s. ISBN 978-80-87143-08-7

- [17] VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. Brno: František Vlk, 2004. s. 92. ISBN 80-239-1602-5. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:f81c00d0-170c-11e6-9fc8-005056825209>
- [18] ŠMERDA, Tomáš, ČUPERA, Jiří a FAJMAN, Martin. Vznětové motory vozidel: biopaliva, emise, traktory. Brno: CPress, 2013. s. 16. ISBN 978-80-264-0160-5. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:107ad0e0-2df2-11e8-9dd8-005056827e51>
- [19] HÖNIG, Vladimír. *Cvičení z paliv a maziv*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2013. ISBN 978-80-213-2384-1.
- [20] Volvo: Volvo trucks [online]. c2015 [cit. 22.11.2020]. Dostupné z: <http://www.volvotrucks.com/>
- [21] VOLVO TRUCK., 2021. IMPACT 4.07.110. *Palivový systém, popis systému Volvo FH(4), DK16G540 23.10.2013*. Brno: VOLVO TRUCK, 2021.
- [22] VOLVO TRUCK., 2021. IMPACT 4.07.110. *Palivový systém, popis systému Volvo FH(4), DK16K750, FTANK-ST 8.2.2018*. Brno: VOLVO TRUCK, 2021.
- [23] DOHLE, Ulrich. Nová generace vstříkovačích systémů: Piezo a další technologie dělají vznětový motor ještě čistším a úspornějším. Bosch v České republice [online]. 2003 [cit. 5.3.2021]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/34685884-Referat-autoprslusenstvi-prvovybava-nova-generace-vstrikovacich-systemu-piezo-a-dalsi-technologie-delaji-vznetovy-motor-jeste-cistsim-a-uspornejsim.html>
- [24] Vznětové motory 1.2; 1.6l 2.0l se systémem vstříkování common rail, Dílenská učební pomůcka Škoda auto, 1. 2010. S00.2002.80.15
- [25] *CRDI (COMMON RAIL DIRECT INJECTION) and its history* [online]. USA, 2018 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://www.carthrottle.com/post/y88zde8/>

9. Seznam obrázků

Obrázek 1 - Rudolf Diesel [15]	1
Obrázek 2 - Konstrukce vstřikovače z Dieslova motoru (1895) [1]	6
Obrázek 3 - Carnotův cyklus [2]	11
Obrázek 4 - Oběh zážehového spalovacího motoru [2]	13
Obrázek 5 – Oběh vznětového spalovacího motoru [2]	14
Obrázek 6 – Závislost účinnosti vznětového motoru η_t na kompresním poměru ε a plnění ϕ [2]	14
Obrázek 7 – Oběh smíšeného spalovacího motoru [2]	15
Obrázek 8 - Pracovní oběh čtyřdobého vznětového motoru [3]	16
Obrázek 9 – Průhledová kresba vstřikovací jednotky řadového vstřikovacího čerpadla [16].	20
Obrázek 10 – Schéma palivové soustavy s rotačním vstřikovacím čerpadlem s axiálním pístem [16].....	22
Obrázek 11 – Odměrování a doprava paliva pístem rozdělovače [16]	23
Obrázek 12 – Schéma činnosti rotačního vstřikovacího čerpadla s radiálními písty [5] 1 – dráha přesuvníku vstřiku na unašeči s kladkami, 2 – váleček, 3 – vačkový prstenec, 4 – radiální píst, 5 -vysokotlaký elektromagnetický ventil, 6 – vysokotlaký prostor, 7 – přívod paliva k vstřikovací trysce, 8 – řídicí drážka.....	24
Obrázek 13 - Řídicí systém s elektronickou regulací RDC u palivové soustavy s rotačním vstřikovacím čerpadlem s radiálními písty (Bosch VR) [16].....	25
Obrázek 14 – Princip funkce vstřikování UIS pro užitková vozidla [1]	27
Obrázek 15 - Schéma umístění sdruženého vstřikovacího systému (UPS) [1].....	29
Obrázek 16 – Palivová soustava čtyřválcového motoru 1.6 TDi, součásti [24]	32
Obrázek 17 – Schéma palivové soustavy Volvo D16K750, součásti, varianta s chladicí spirálou na ECM [22]	34