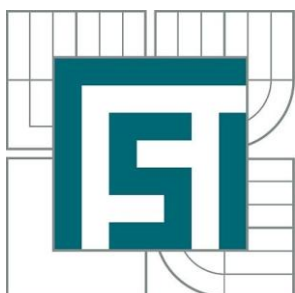


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

SDRUŽENÉ VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKY

UNIT INJECTORS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUKÁŠ CIHLÁŘ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RADIM DUNDÁLEK, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního
inženýrství Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lukáš Cihlář

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Sdružené vstřikovací jednotky

v anglickém jazyce:

Unit Injectors

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Osvojení důležitých pojmů zadaného tématu. Zamyšlení nad budoucností řešené problematiky zejména v souvislosti se snižováním emisí škodlivin ve výfukových plynech.

Cíle bakalářské práce:

Vytvoření popisu funkce vysokotlakých vstřikovacích systémů a obrázkové dokumentace ilustrující znalost zadané problematiky. Zdůraznění řešení používaných na současných pohonných jednotkách.

Seznam odborné literatury:

- [1] STONE , Richard. Introduction to Internal Combustion Engines. 3rd edition. Hampshire : Palgrave, 1999. 641 s. ISBN 0-333-74013-0.
- [2] HAFNER, Karl Ernst a MAASS, Harald. Kräfte, Momente und deren Ausgleich in der Verbrennungskraftmaschinen. Wien, New York: Springer Verlag, 1995. ISBN 978-3-7091-7468-5.
- [3] JINDRA, Jaromír. Palivové soustavy vozidlových vznětových motorů. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984, 192s.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 25.11.2013

L.S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá popisem systému vstřikování Čerpadlo-tryska. Je popsáno vstřikování používané v osobních vozech, ale i systém Čerpadlo-potrubí-tryska používaný v nákladních vozech. Jedna kapitola je všeobecně věnována problematice emisí včetně popisu systémů snižování emisí výfukových plynů. Na závěr je uvedena praktická aplikace systému v motorech koncernu Volkswagen.

KLÍČOVÁ SLOVA

Sdružené vstřikovací jednotky, Čerpadlo-tryska, diesel, Volkswagen, TDI, emise, filtr pevných částic, selektivní katalytická redukce

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the description of unit-injector system. Injection system used in passenger cars as well as Unit-Pump-System used in trucks is described. One chapter deals with general problems of emissions, including description systems of the reduction exhaust gases. In the end is the practical application of the system in the engines of the Volkswagen Group.

KEYWORDS

Unit injector, diesel, Volkswagen, TDI, emission, diesel particulate filter, selective catalytic reduction



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Cihlář, L. *Sdružené vsřřikovací jednotky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 102 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Radima Dundálka, Ph.D a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 30. května 2014

.....

Lukáš Cihlář



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Radimu Dundálkovi, PhD., za jeho ochotu, trpělivost a pomoc při vypracovávání této bakalářské práce.



OBSAH

Úvod	10
1 Sdružené vstřikovací jednotky osobních vozů	11
1.1 Popis a konstrukce jednotky	11
1.1.1 Třetí generace sdružených vstřikovacích jednotek	12
1.1.2 Výhody a nevýhody sdružených vstřikovacích jednotek	13
1.2 Umístění a ovládání vstřikovací jednotky	14
1.2.1 Umístění a upevnění vstřikovací jednotky	14
1.2.2 Ovládání vstřikovací jednotky:	15
1.3 Výměna vstřikovače čerpadlo - tryska	16
1.4 Vstřikovače s piezoelektricky ovládaným ventilem	17
1.4.1 Porovnání elektromagnetického a piezoelektrického vstřikovače	18
1.4.2 Konstrukční odlišnosti od elektromagnetického provedení	19
1.5 Průběh vstřikování paliva	21
1.5.1 Popis jednotlivých fází vstřikování u jednotky čerpadlo - tryska	22
1.6 Palivová soustava	26
1.6.1 Přehled komponent palivového systému	26
1.7 Systém řízení	30
1.7.1 Přehled snímačů	30
1.7.2 Akční členy	32
2 Sdružené vstřikovací jednotky nákladních vozů	34
2.1 Popis systému	34
2.2 Konstrukce a princip vstřikování	35
2.3 Vybrané motory se vstřikováním Čerpadlo – potrubí - tryska	37
2.4 Mechanicky řízené vstřikovače Čerpadlo - tryska	39
3 Sdružené vstřikovací jednotky Delphi	40
3.1 Delphi E1	40
3.2 Delphi E3	41
3.3 Delphi SMART injector	41
4 Emise vznětových motorů	42
4.1 Úvod do problematiky emisí	42
4.1.1 Přehled sledovaných složek emisí	43
4.1.2 Opatření ke snižování emisí vznětového motoru	43
4.2 Emisní předpisy	44
4.2.1 Homologační testy	44
4.2.2 Emisní testy	46



4.3	Zařízení pro snižování emisí vozidel	46
4.3.1	Filtr pevných částic.....	46
4.3.2	Selektivní katalytická redukce (SCR).....	52
4.4	Aktuální situace emisních norem pro osobní a nákladní vozy	55
5	Motory koncernu Volkswagen se vstřikováním čerpadlo-tryska	56
5.1	Motor 1.2 TDI PD.....	56
5.1.1	Přehled a konstrukce jednotlivých motorů	56
5.1.2	Uplatnění motoru v jednotlivých modelech	58
5.1.3	Servisní zhodnocení motoru	58
5.2	Motory 1.4 TDI PD.....	59
5.2.1	Přehled a konstrukce jednotlivých motorů	59
5.2.2	Uplatnění motoru v jednotlivých modelech	63
5.2.3	Servisní zhodnocení motoru	63
5.3	Motory 1.9 TDI PD.....	64
5.3.1	Přehled a konstrukce jednotlivých motorů	64
5.3.2	Aplikace motoru 1.9 TDI PD v užitkových vozech	66
5.3.3	Uplatnění motoru v jednotlivých modelech	68
5.3.4	Servisní zhodnocení motoru	69
5.4	Motory 2.0 TDI PD.....	70
5.4.1	Přehled a konstrukce jednotlivých motorů	70
5.4.2	Uplatnění motoru v jednotlivých modelech	76
5.4.3	Servisní zhodnocení motoru	77
5.5	Motor 2.5 R5 TDI PD	80
5.5.1	Přehled a konstrukce jednotlivých motorů	80
5.5.2	Uplatnění motoru v jednotlivých modelech	83
5.5.3	Servisní zhodnocení motoru	83
5.6	Motor 5.0 V10 TDI.....	84
5.6.1	Přehled a konstrukce motoru	84
5.6.2	Uplatnění motoru v jednotlivých modelech	90
5.6.3	Servisní zhodnocení motoru	90
	Závěr.....	91
	Seznam použitých zkratk a symbolů	98
	Seznam obrázků, tabulek a grafů.....	99



ÚVOD

Na rozdíl od benzínového motoru je u naftového motoru nutné dopravovat palivo do válců přetlakem pomocí čerpadla. Systémy vstřikování se postupem času vylepšovaly a přicházely nové. V roce 1997 byl uveden na trh systém vstřikování Common-Rail, na který přešly skoro všechny velké automobilky až na jednu. Touto jednou automobilkou byl koncern Volkswagen, který se rozhodl nejít cestou systému Common-Rail, ale použil systém sdružených vstřikovacích jednotek. V té době se ovšem nejednalo o žádný nový systém, první návrhy tohoto systému byly provedeny již v roce 1905 Robertem Boschem. V té době ovšem ještě nebyly dostupné technologie, které by umožnily výrobu a nasazení tohoto systému v tehdejších vozidlech [1][83].

Pokud nepočítáme použití mechanicky ovládaných a řízených vstřikovačů v 30. letech v lodních motorech a lokomotivách, tak k znovuvzkříšení systému došlo až v roce 1994, kdy firma Robert Bosch GmbH představila elektronicky řízený vstřikovač pro nákladní vozy [82].

V roce 1998 začal Volkswagen aplikovat první motory s tímto vstřikováním označované jako TDI PD. Motorová paleta nabízených motorů byla také dosti široká a tvořily ji motory od tříválcových 1.2 TDI až po monstrózní desetiválcový 5.0 TDI.

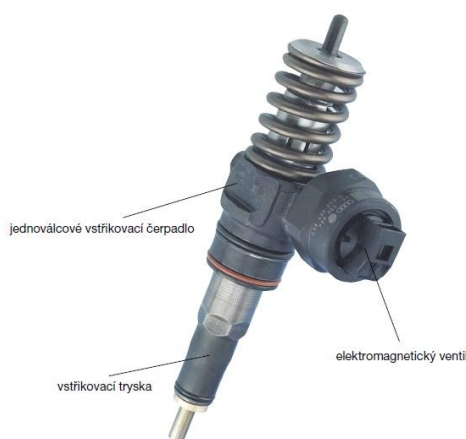
Hlavní rozdíl oproti systému Common-Rail spočívá v tom, že k vytváření tlaku, zde není použito jedno čerpadlo, které poté dopravuje vysokotlaké palivo k jednotlivým vstřikovačům, ale součástí každé vstřikovací jednotky je samostatné čerpadlo. Toto přináší jisté výhody i nevýhody.



1 SDRUŽENÉ VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKY OSOBNÍCH VOZŮ

1.1 POPIS A KONSTRUKCE JEDNOTKY

Sdružené vstříkovací jednotky (německy **Pumpe Düse**, anglicky **Unit Injector System**) je systém elektronicky řízeného a mechanicky ovládaného vysokotlakého vstříkování nafty vznětových motorů. Sdružená vstříkovací jednotka se skládá z jednoválcového vstříkovacího čerpadla, vstříkovací trysky a ovládacího ventilu. Všechny tyto tři součásti spolu tvoří jeden celek a to vlastní vstříkovací jednotku [27].



Obr. 1-1 Sdružená vstříkovací jednotka [24]

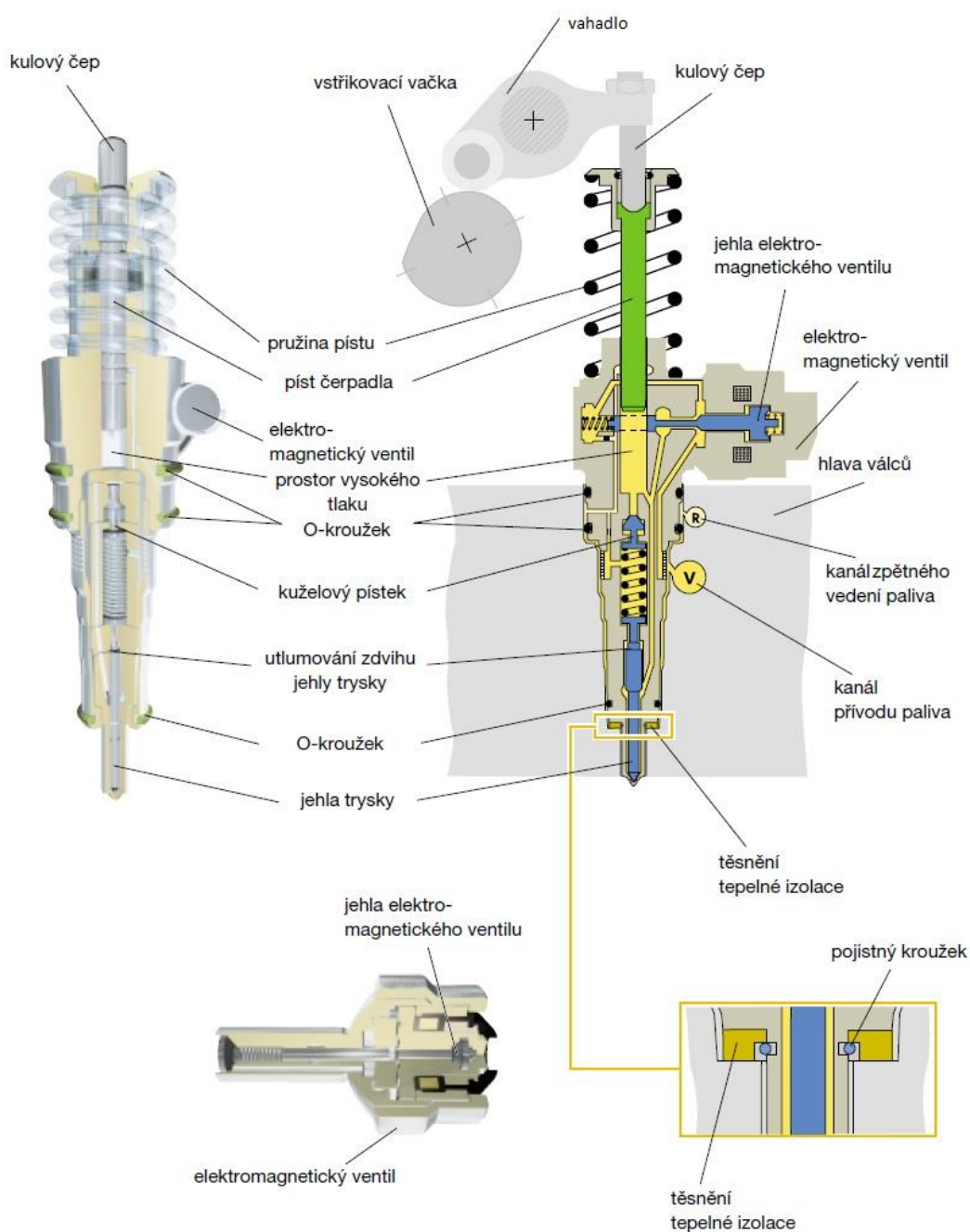
Vlastní vstříkovací tlak se vytváří v jednoválcovém vstříkovacím čerpadle, ve kterém se nachází píst čerpadla. Otáčením vačkové hřídele se přes vahadlo stlačuje pístek a vytváří tak požadovaný tlak. Palivová vedení od tandemového čerpadla k vlastním vstříkovačům jsou nízkotlaká a umístěna v hlavě válce [24].

Vstříkovací tryska se skládá z kuželového pístku (pouze v případě ovládní elektromagnetickým ventilem), pružiny a vlastní jehly trysky. Řešení vstříkovací trysky u piezoelektricky ovládaného vstříkovače je mírně odlišné a je blíže popsáno v kap. 1.4.2.

Ovládací ventil je řízen buď elektromagneticky, nebo piezoelektricky. Ventil ovládá jehlu, která otevírá či uzavírá přívod paliva a řídí tím vytváření tlaku, počátek a množství vstříkovaného paliva [27].



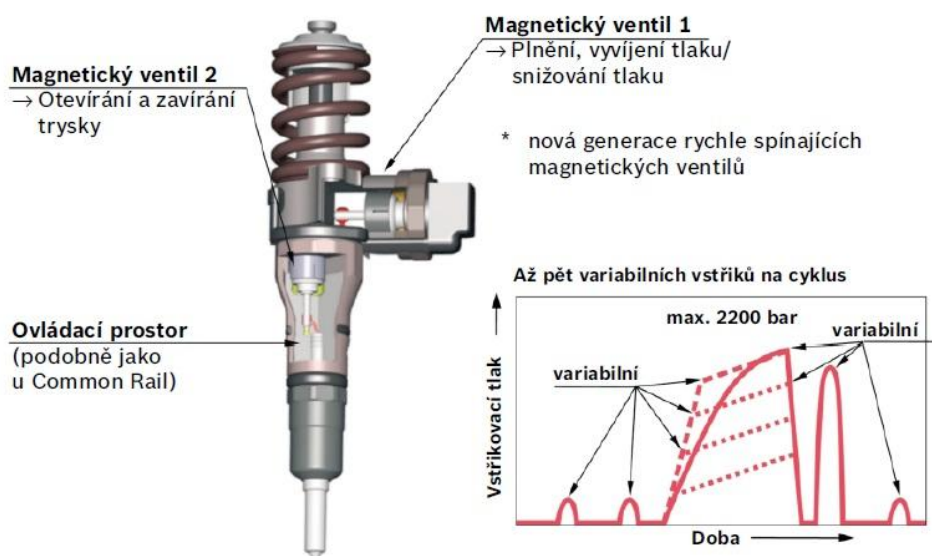
Obr. 1-2 Řez sdruženou vstříkovací jednotkou [78]



Obr. 1-3 Konstrukce sružené vstřikovací jednotky [27]

1.1.1 TŘETÍ GENERACE SDRUŽENÝCH VSTŘIKOVACÍCH JEDNOTEK

Třetí generace sružených vstřikovacích jednotek firmy Bosch umožňuje vstřikovací tlaky až 2200 barů a zároveň variabilní průběh vstřikování s až 5 vstřiky na jeden vstřikovací cyklus. Tohoto bylo dosaženo tak, že jednotka místo běžného jednoho ovládacího ventilu ovládajícího přívod a odvod paliva, obsahuje ventily dva. Jeden ventil slouží k regulaci tlaku a druhý ovládá otevření a zavření jehly. Tímto lze redukovat hluchost motoru a snížit produkci pevných částic a emisí NO_x [76].



Obr. 1-4 Třetí generace sdrúžených vstřikovacích jednotek Bosch [77]

1.1.2 VÝHODY A NEVÝHODY SDRUŽENÝCH VSTŘIKOVACÍCH JEDNOTEK



- velmi vysoký vstřikovací tlak (v době uvedení vyšší než u systému Common-rail) [79]



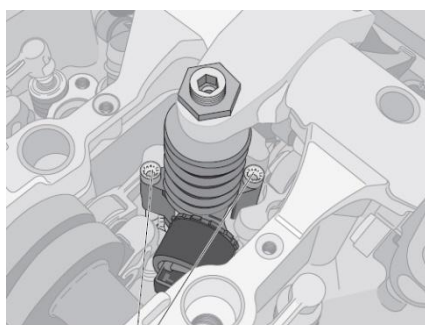
- maximální hodnota tlaku dostupná pouze na okamžik [79]
- omezený počet předvstříků a dodatečných vstříků (zlepšeno použitím piezoelektricky ovládaných vstřikovačů)
- omezená variabilita vstřikování
- vyšší konstrukční náročnost hlavy válců
- vyšší hmotnost motoru oproti systému common rail (cca o 10kg) [79]
- vyšší konstrukční výška motoru (nevýhodné např. z důvodu ochrany chodců při čelní srážce) [79]
- obtížné regenerace filtru pevných částic (v porovnání se systémem Common-rail)



1.2 UMÍSTĚNÍ A OVLÁDÁNÍ VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKY

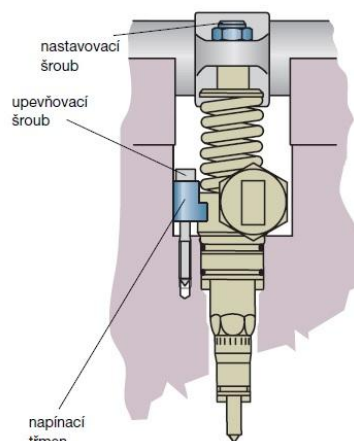
1.2.1 UMÍSTĚNÍ A UPEVNĚNÍ VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKY

Vstřikovací jednotky čerpadlo-tryska jsou umístěny svisle v hlavě válců. Každému válci připadá jedna vstřikovací jednotka. Upevnění každého vstřikovače je pomocí napínacího třmenu s jedním nebo dvěma šrouby pro každou jednotku. Utěsnění jednotky v hlavě je pomocí O-kroužků. Na vahadle ovládajícího vstřikovače se nachází nastavovací šroub, který slouží k seřízení vstřikovací jednotky, aby nedošlo po zahřátí vstřikovače ke kontaktu pístu čerpadla se dnem vysokotlakého prostoru. Při montáži vstřikovače je nutné zajistit kolmou polohu mezi vstřikovací jednotkou a upínacím třmenem, jinak by hrozilo povolení upevňovacího šroubu a poškození vstřikovací jednotky [24][29].



upevňovací šroub

Obr. 1-5 Upevnění vstřikovací jednotky v hlavě válců [29]



Obr. 1-6 Napínací třmen s upevňujícím šroubem a nastavovací šroub na vahadle [24]

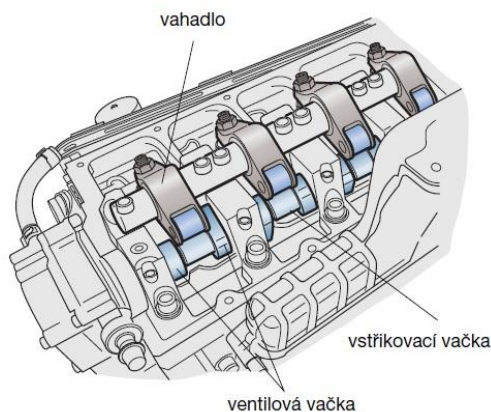


Obr. 1-7 Jednotlivé vstřikovací jednotky a ovládací vahadlo [74]



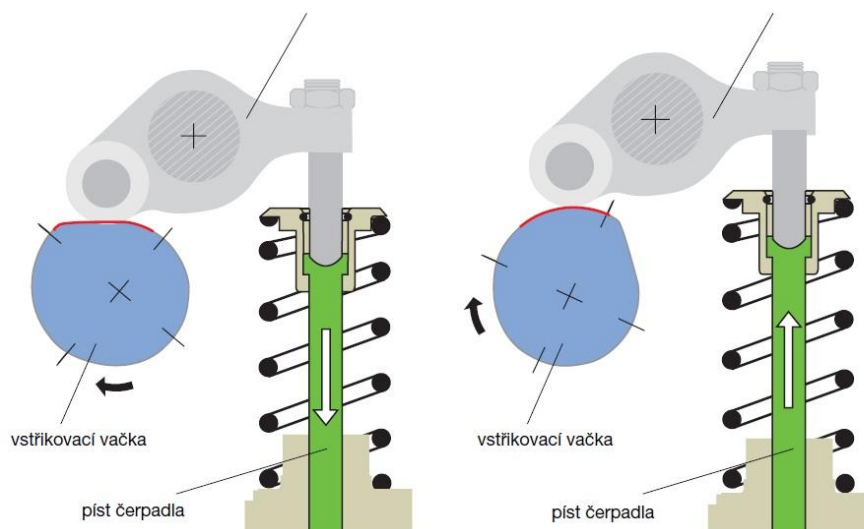
1.2.2 OVLÁDÁNÍ VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKY:

Vstřikovač je ovládán pomocí vahadla přes vačkovou hřídel. Vačková hřídel je poháněna rozvodovým řemenem. Víceválcové motory (2.5 TDI, 5.0 TDI a nákladní vozy) mají rozvody poháněny soustavou ozubených kol. Řemen se zde nepoužívá, protože by byl vysoce silově namáhán (kromě sacích a výfukových ventilů pohání i vstřikovací jednotky). Vačková hřídel obsahuje vstřikovací vačky, ležící mezi ventilovými vačkami. Přes tyto vstřikovací vačky je ovládáno vahadlo. Řízení vstřikování je pomocí elektromagnetického (nebo piezoelektrického) ventilu [24].



Obr. 1-8 Ovládání vstřikovacích jednotek vahadlem [24] Obr. 1-9 Vahadlo (zde tříválcový motor 1.4 TDI) [36]

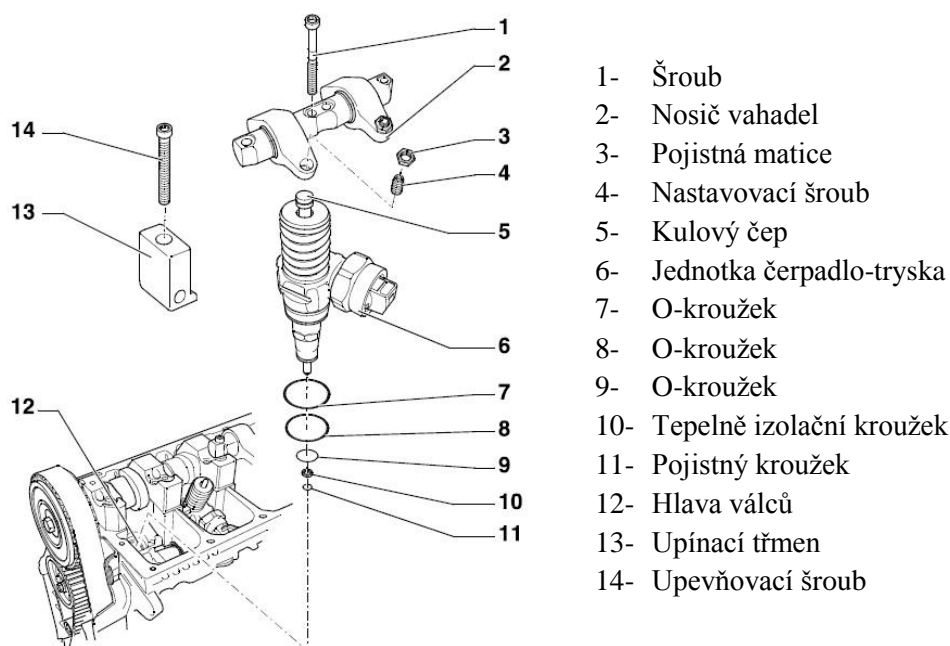
Vstřikovací vačka se skládá ze dvou stran. Náběžná strana je strmější a ovládá píst čerpadla při stlačování. Strmá část profilu způsobí, že je píst čerpadla stlačován velkou rychlostí a dochází k velmi rychlému růstu vstřikovacího tlaku. Sestupná strana je pozvolná a touto stranou je píst čerpadla ovládán ve fázi plnění vysokotlakého prostoru, když se píst pohybuje nahoru. Palivo tak může pomalu a plynule přitékat a nedochází v něm k tvorbě bublinek [24].



Obr. 1-10 Náběžná (vlevo) a sestupná (vpravo) strana vstřikovací vačky [24]



1.3 VÝMĚNA VSTŘIKOVAČE ČERPADLO - TRYSKA

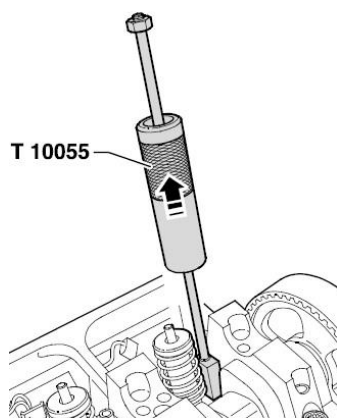


Obr. 1-11 Rozklad na jednotlivé komponenty [23]

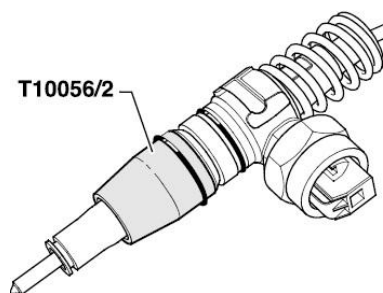
K výměně vstřikovače se používají montážní přípravy. Jedná se o vytahovák T10055 pro demontáž a montáž jednotky z hlavy válců, umístěvaný místo upínacího třmenu. Druhý montážní přípravek je T10056-x pro montáž O-kroužků na vstřikovač, kdy pro každý O-kroužek slouží jeden montážní přípravek [23].

V průběhu vlastní výměny je třeba dávat pozor na nepoškození dosedacích drážek pro O-kroužky a nepoškození vlastních O-kroužku při montáži. Při výměně je nutné použít nové O-kroužky, těsnění tepelné izolace, upevňovací šroub(y) a seřizovací šroub na vahadle. Při montáži nezaměnit mezi sebou jednotlivé vstřikovače [23].

Po montáži a usazení jednotky se posuvným měřítkem a číselníkovými úchylkoměry seřídí umístění jednotky v hlavě válce a časování šroubem na vahadle [23].



Obr. 1-12 Vytahovák [23]



Obr. 1-13 Montážní přípravek pro druhý O-kroužek [23]



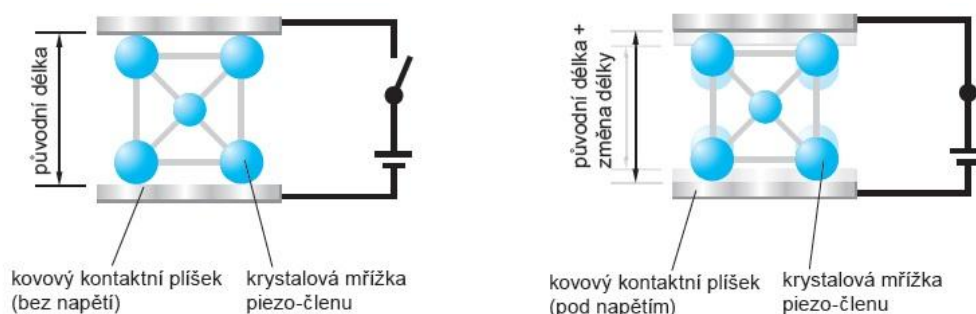
1.4 VSTŘIKOVAČE S PIEZOELEKTRICKY OVLÁDANÝM VENTILEM

Kromě elektromagneticky řízených vstřikovačů byly nabízeny také piezoelektricky řízené. Oproti elektromagneticky ovládaným ventilům slibovaly následující výhody [32]:

- až pět-krát rychlejší činnost
- možnost otevření či zavření ventilu v každé fázi vstřikování
- snížení emisí a spotřeby paliva

System pracuje na principu piezoelektrického jevu. Jedná se o schopnost, kdy s přiváděným napětím dochází k deformaci krystalu, např. křemík [75].

Jednotlivé piezo-členy jsou odděleny kovovými kontaktními plíšky, na které je následně přiváděno napětí v rozmezí 100-200 V. Jednotlivé piezo-členy jsou tlusté 0,08 mm a jsou schopny dosáhnout přibližně 15% roztahení [32].



Obr. 1-14 Piezo-člen bez přivedeného napětí (vlevo) a s přivedeným napětím (vpravo) [32]



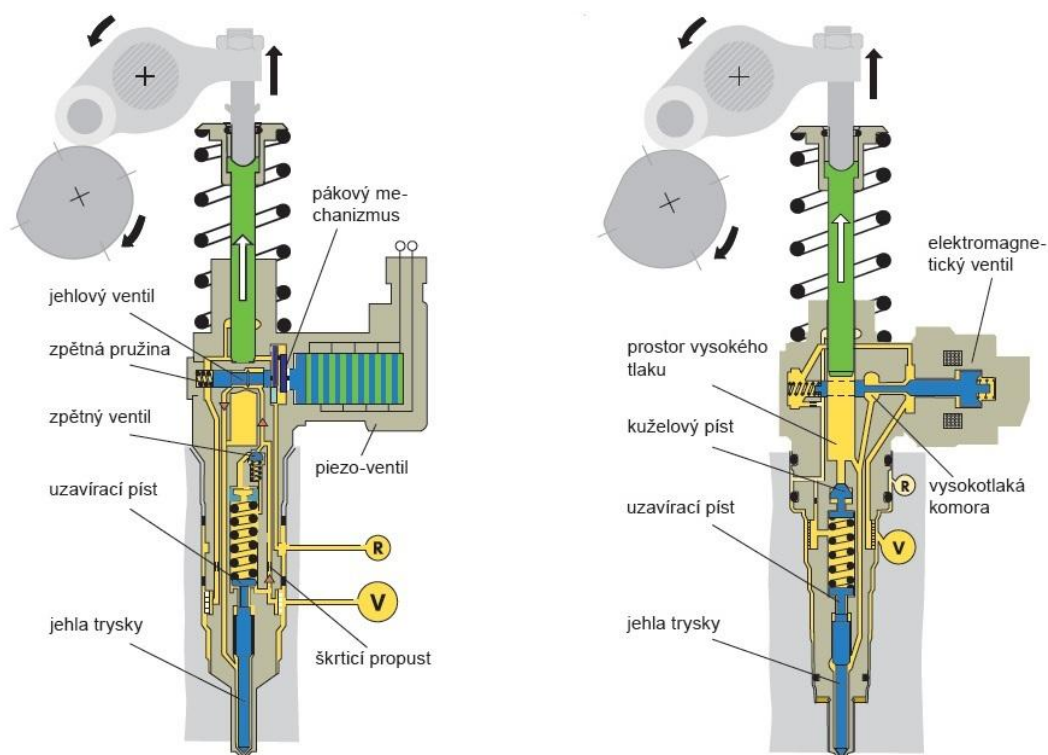
Obr. 1-15 Piezoelektricky ovládaný vstřikovač [44]



1.4.1 POROVNÁNÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO A PIEZOELEKTRICKÉHO VSTŘIKOVAČE

Tab. 1-1 Technické parametry elektromagnetického a piezoelektrického ovládání vstřikovače [32]

	Piezoelektrický ventil	Elektromagnetický ventil
Průměr pístu čerpadla [mm]	6,35	8,0
Minimální tlak vstřiku [bar]	130	160
Maximální tlak vstřiku [bar]	2200	2050
Počet možných předvstříků	0-2 (variabilní)	1 (fixní)
Počet možných dodatečných předvstříků	0-2 (variabilní)	0 nebo 2
Vzdálenost mezi předvstříkem, hlavním a dodatečným vstříkem [° úhel klikové hřídele]	> 6 (variabilní)	cca 6-10 (fixní)
Množství paliva při předvstříku [mm ³]	libovolné (> cca 0,5)	cca 1-3
Rízení předvstříku	Piezo-ventil (elektrické řízení)	kuželový píst (mechanicko – hydraulické řízení)
Součásti pro zvýšení tlaku hlavního vstříku	uzavírací píst, pojistný ventil	kuželový píst



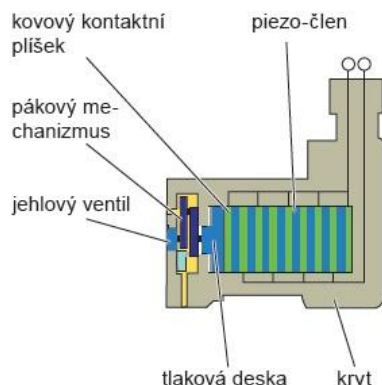
Obr. 1-16 Porovnání konstrukce piezoelektrického (vlevo) a elektromagnetického (vpravo) vstřikovače [32]

Piezoelektrický vstřikovač na rozdíl od elektromagnetického nemá kuželový pístek a vysokotlaký prostor [32].



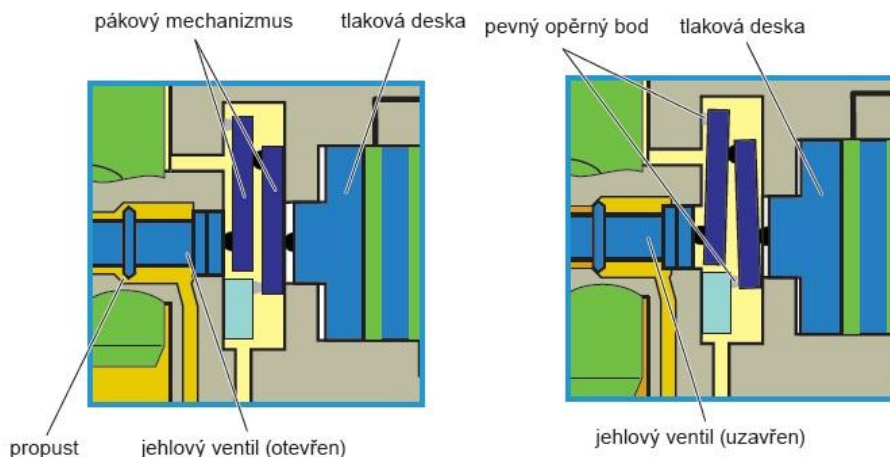
1.4.2 KONSTRUKČNÍ ODLIŠNOSTI OD ELEKTROMAGNETICKÉHO PŘÍVODU

- Piezo-ventil skládající se z piezo-členů, kovového kontaktního plíšku, pákového mechanismu a tlakové desky [32].



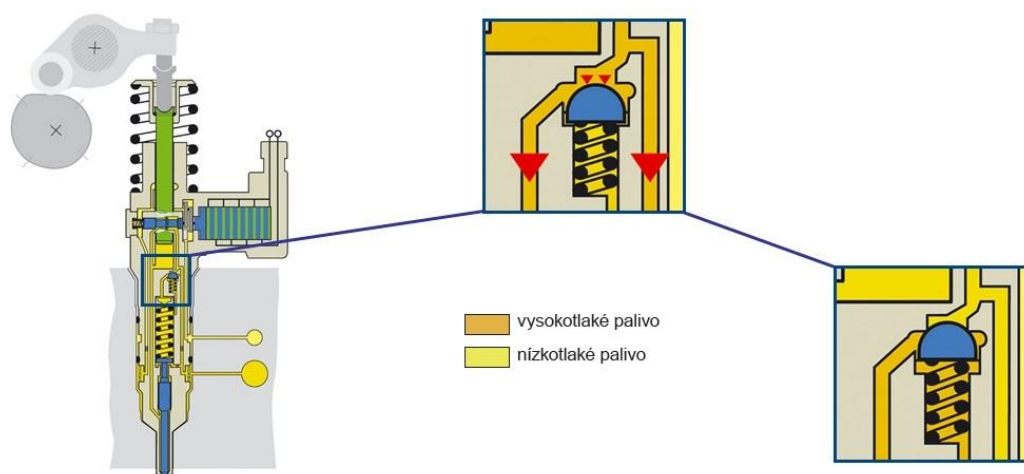
Obr. 1-17 Piezo-ventil [32]

- Pákový mechanismus slouží k umožnění dokonalého uzavření jehlového ventilu, uzavírajícího přívod paliva do vstřikovače. Piezo-členy posouvající tlakovou desku jsou schopny celkového vlastního posuvu pouze 0,04 mm. Na zavření jehlového ventilu je však třeba posuvu 0,1 mm. Z tohoto důvodu je mezi tlakovou deskou a jehlovým ventilem umístěn pákový mechanismus násobící posuv tlakové desky [32].



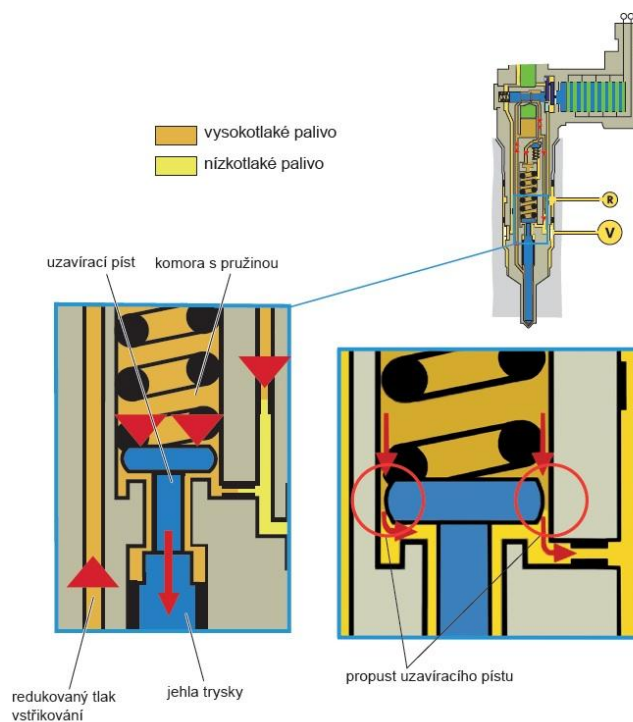
Obr. 1-18 Jehlový ventil otevřen, nulový posuv (vlevo) a jehlový ventil uzavřen, posuv násoben pákovým mechanismem (vpravo) [32]

- Zpětný ventil – po provedené fázi předvstřiku se otevírá jehlový ventil a palivo, stlačované pohybujícím se pístem čerpadla, proudí do přívodní větve. Vstřikovač obsahuje škrťací propust, která zabraňuje dalšímu proudění paliva. S rostoucím tlakem se otevírá zpětný ventil, který palivo přepouští do komory s pružinou. Před započítím hlavního vstřiku uzavírá jehlový ventil přívod paliva, čímž klesne tlak a zpětný ventil se uzavře. Následuje hlavní vstřik [32].



Obr. 1-19 Zpětný ventil [46]

- Uzavírací píst přepouští přes propust' uzavíracího pístu vysokotlaké palivo z komory s pružinou zpět do palivového vedení. Tento proces nastává po každé vstřikovací fázi (předstřík, hlavní vstřík nebo dodatečný vstřík), kdy je nutné snížit tlak, aby mohl následně následovat další předvstřík. Další význam pístku je, že působením tlaku od vysokotlakého paliva a síly pružiny na uzavírací pístek je možno dosáhnout [32]:
 - rychlejšího uzavření trysky a zabránění jejího předčasného otevření
 - zvýšení hlavního vstřikovacího tlaku
 - není třeba kuželového pístku



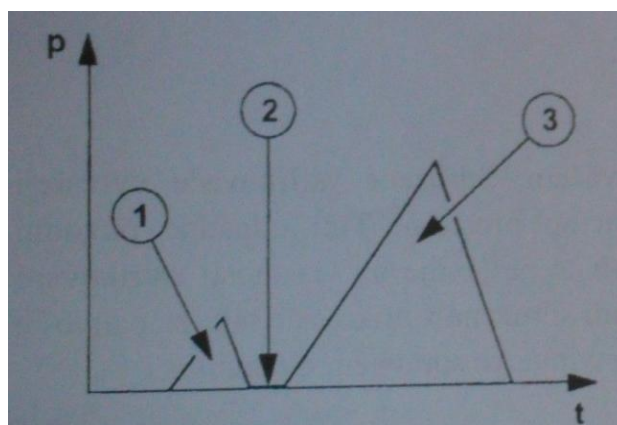
Obr. 1-20 Uzavírací pístek [32]



1.5 PRŮBĚH VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA

Průběh vstřikování můžeme rozdělit do 3 fází:

- a) Předvstřík – tato fáze vstřikování není řízena elektronicky pomocí signálu z řídicí jednotky motoru, ale je řízena pouze mechanicko-hydraulicky pomocí kuželového pístku ve vstřikovači. Při předstříku se za nízkého tlaku vstříkne do spalovacího prostoru velmi malé množství paliva. Cílem předstříku je snížení hlučnosti a emisí NO_x ve výfukových plynech. Snížení hlučnosti je dosaženo tím, že spálením paliva vstříknutého v této fázi vzroste tlak a teplota ve válci. Při následném hlavním vstříku tak již dochází pouze k pozvolnému a ne skokovému nárůstu tlaku [24][5].
- b) Hlavní vstřík – zde dochází ke vstříknutí hlavní dávky paliva. Aby došlo ke kvalitnímu promíchání paliva se vzduchem, je nutné palivo vstříknout pod vysokým tlakem, současně takto dojde i k jemnému rozptýlení paliva [24].
- c) Konec vstříku – v této fázi dojde k rychlému poklesu vstřikovacího tlaku a rychlému uzavření jehly trysky. To je důležité z důvodu, aby nedošlo ke vstříknutí paliva za nízkého tlaku a ve velkých kapkách, které by se nestačily odpařit a spálit. Zhoršilo by se tak složení emisí [24].



Obr. 1-21 Průběh vstřikování sdruženého vstřikovače [5]

p - vstřikovací tlak, t - doba vstřikování

1 - předvstřík

2 - přestávka vstřikování

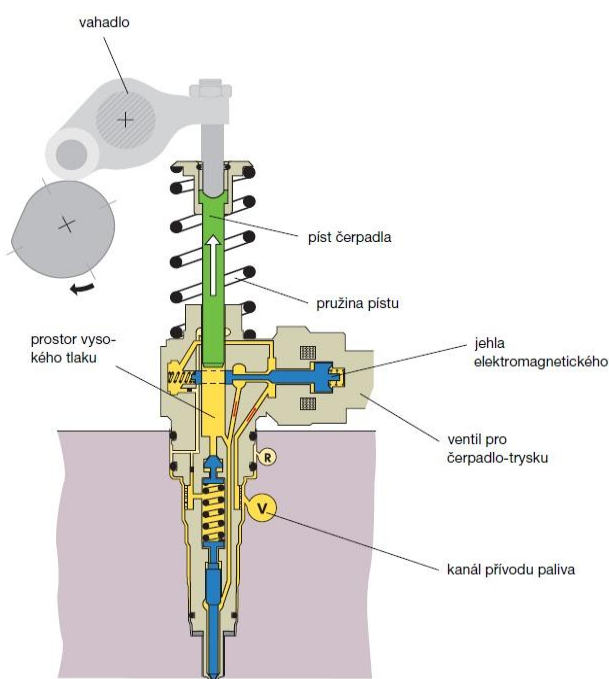
3 - hlavní vstřikování



1.5.1 POPIS JEDNOTLIVÝCH FÁZÍ VSTŘIKOVÁNÍ U JEDNOTKY ČERPADLO - TRYSKA

1) Plnění vysokotlakého prostoru palivem

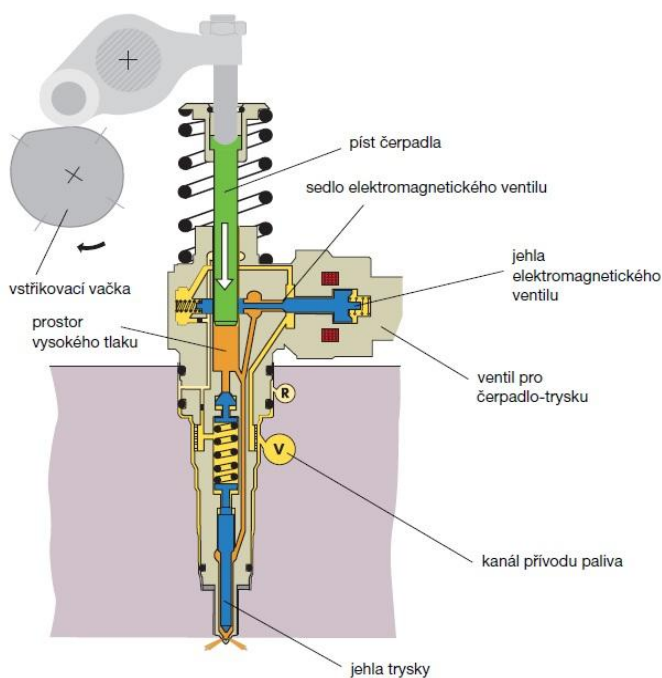
Natáčením vačky dochází k tomu, že na píst čerpadla působí pouze pružina pístu. Pružina se roztahuje a pohybuje pístem čerpadla směrem nahoru. Dochází k zvětšování objemu vysokotlaké části. Do ovládacího ventilu není přiváděno žádné napětí, jehla elektromagnetického ventilu je otevřena a propojuje vysokotlaký prostor s přívodem paliva. Prostor vstřikovače se plní palivem pod tlakem vyvíjeného podávacím čerpadlem [2].



Obr. 1-22 Plnění vysokotlakého prostoru palivem [24]

2) Začátek předvstříku

Píst čerpadla je vstřikovací vačkou přes vahadlo stlačován směrem dolů a vytlačuje palivo z vysokotlakého prostoru do kanálu přívodu paliva. Řídící jednotka motoru zahájí proces vstřikování. Do vinutí elektromagnetického ventilu je přivedeno napětí, dojde k zatlačení jehly elektromagnetického ventilu do sedla a uzavření spojení mezi vysokotlakým prostorem a přívodem paliva. Stlačováním pístu čerpadla dochází k nárůstu tlaku. Při tlaku 18 MPa (180 bar) je překonána síla přitlačné pružiny a jehla trysky se nadzvedne. Začíná předstřík, který trvá pouze okamžik a je při něm vstříknuto přibližně 1.5 mm^3 paliva [3][24].

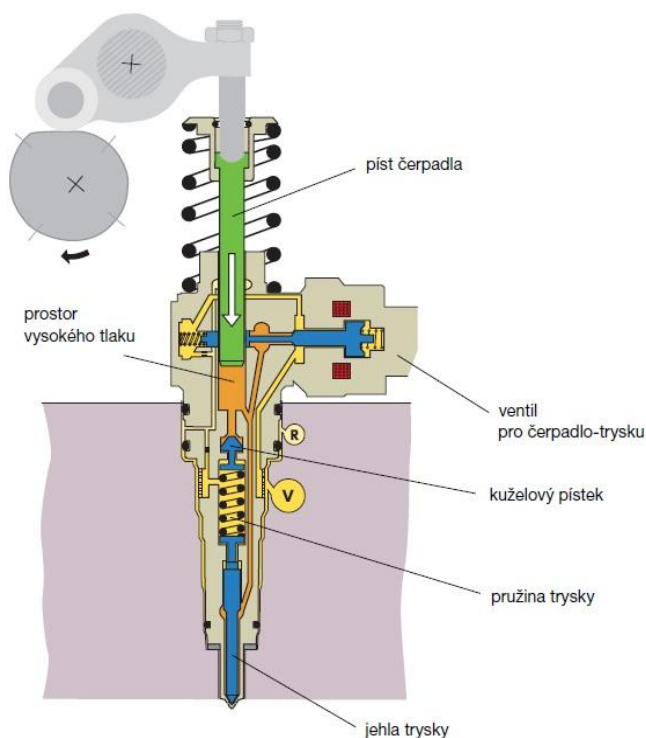


Obr. 1-23 Začátek předvstříku [24]



3) Ukončení předstříku

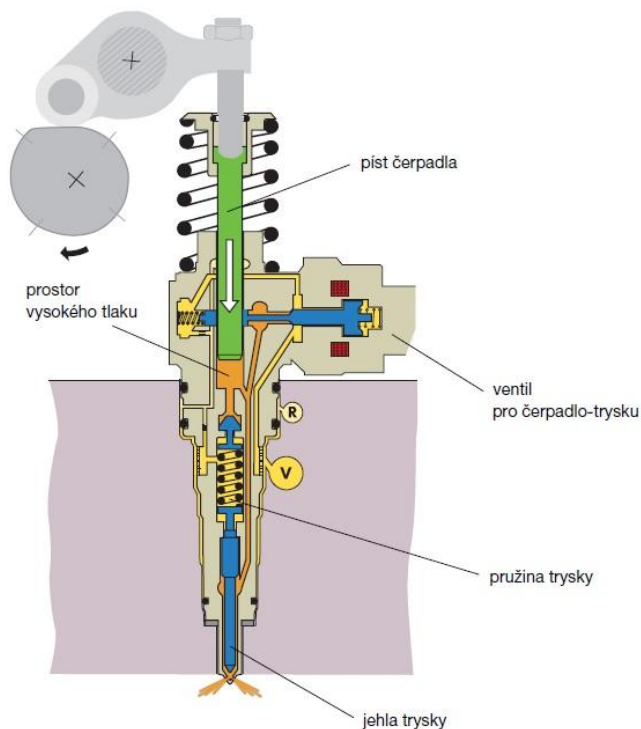
Fáze ukončení předstříku začíná bezprostředně po nadzvednutí trysky. Píst čerpadla se stále pohybuje směrem dolů. Zvyšujícím se tlakem dojde k zatlačení kuželového pístku. Tím dojde k zvětšení objemu vysokotlakého prostoru a poklesu tlaku v něm. Jehla trysky se vrátí zpět do sedla. Předstřík je ukončen. Zatlačením kuželového pístku je pružina trysky ještě více předepnuta. K opětovnému nadzvednutí jehly trysky pro další fázi vstříku je nyní potřeba vyššího tlaku, než pro samotný předstřík [24].



Obr. 1-24 Ukončení předstříku [24]

4) Počátek hlavního vstříku

Píst čerpadla je vačkou stále stlačován a narůstá tlak. Dosáhne-li se tlaku asi 30 MPa (300 bar), překoná se síla předepjaté pružiny trysky, která se opět nadzvedne a dojde ke vstříku. Stálým pohybem pístu směrem dolů je palivo vytlačováno z vysokotlakého prostoru a tlak paliva dosahuje hodnot až 205 MPa (2050 bar). Těchto tlaků je dosaženo tím, že otvory trysky je vytlačováno více paliva, než je jimi možno protéct. Maximálních hodnot tlaku vstříkovaného paliva je dosaženo v oblasti největším výkonu motoru a při vstříkovaní největšího množství paliva [2][24].

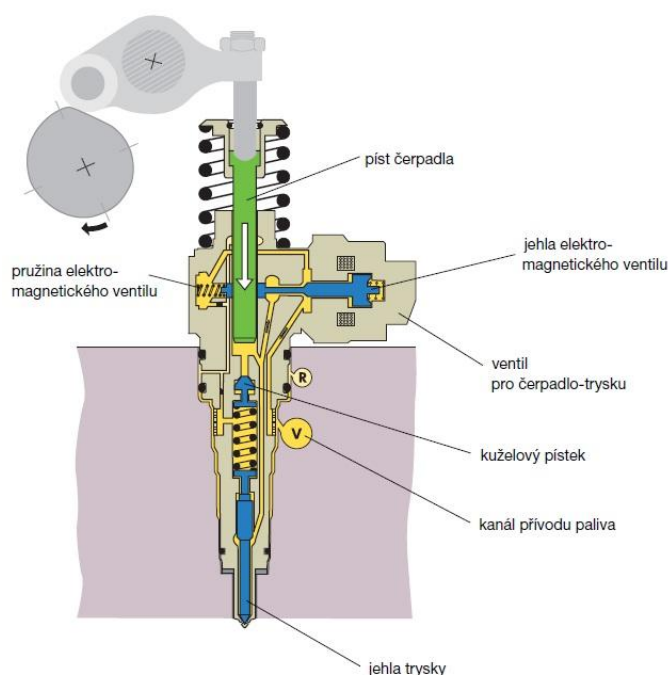


Obr. 1-25 Počátek hlavního vstříku [24]



5) Konec hlavního vstříku

Konec vstříku nastává otevřením elektromagnetického ventilu. K tomu dojde přerušením napětí z řídicí jednotky motoru k vinutí elektromagnetu. Jehla elektromagnetického ventilu je vrácena silou své pružiny zpět do klidové polohy. Spojení vysokotlakého prostoru a palivové větve je opět otevřeno a palivo odtéká vratným potrubím zpět do nádrže. Ve vstřikovači poklesne tlak. Pružina trysky zatlačí jehlu trysky zpět do sedla, vstřikovací trysky se uzavřou. Zároveň dochází k navrácení kuželového pístku zpět do základní polohy. Vstřík hlavní dávky je ukončen [2].

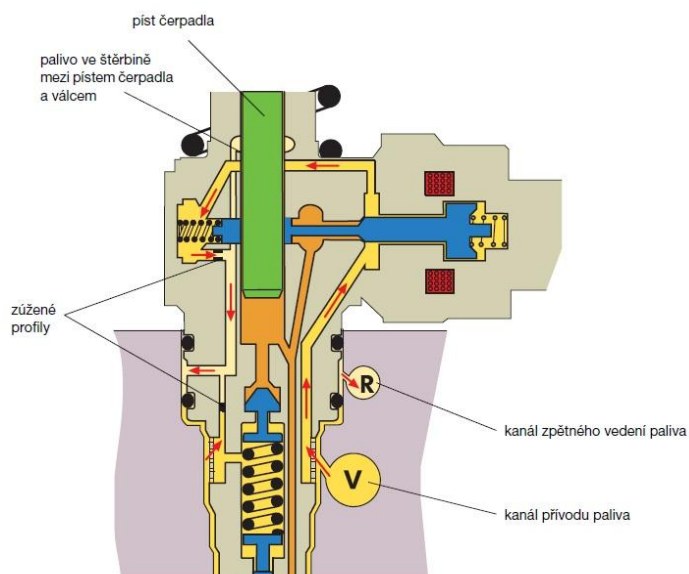


Obr. 1-26 Konec hlavního vstříku [24]

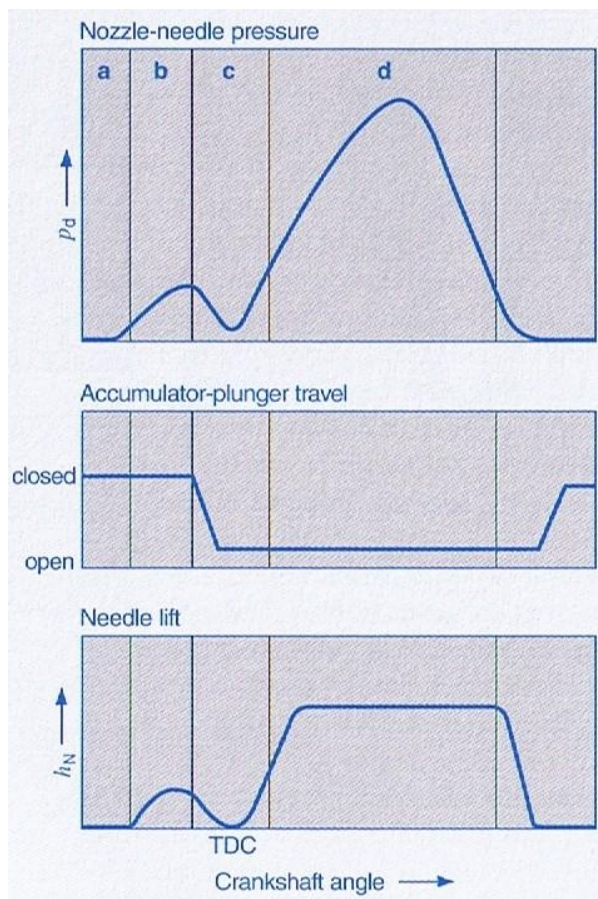
6) Zpětné vedení paliva

Plní několik funkcí. Pomáhá ochlazovat vstřikovací jednotku a odvádí nevstříknuté palivo.

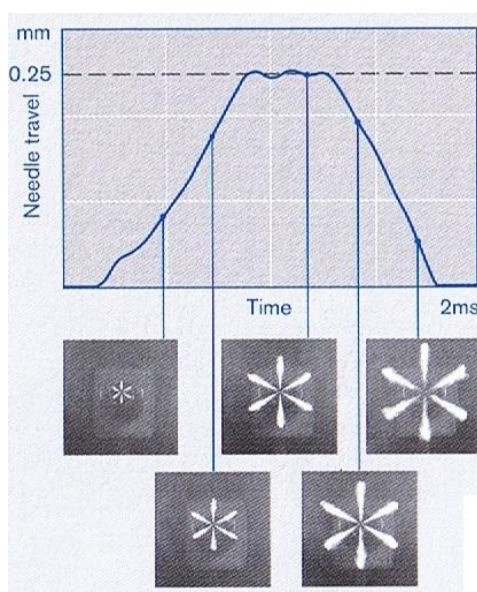
Prouděním paliva přes zúžené profily se zamezí zanesení bublinek v palivu do zpětného vedení paliva [24].



Obr. 1-27 Zpětné vedení paliva [24]



Obr. 1-28 Průběh tlaku, zdvihu kuželového pístku a jehly trysky v průběhu vstřikovacího procesu [1]
 a - plnění prostoru vstřikovače palivem
 b - začátek předvstřiku
 c - konec předvstřiku
 d - hlavní vstřik

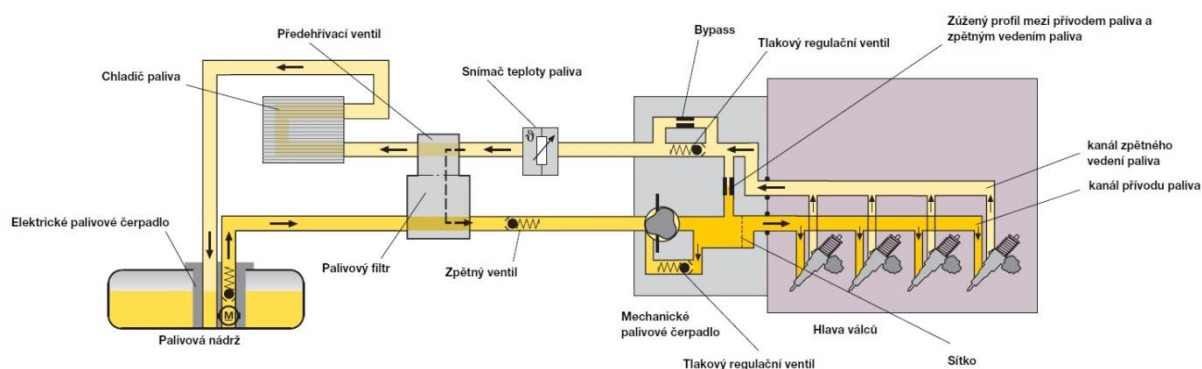


Obr. 1-29 Ilustrační průběh zdvihu jehly trysky se znázorněným množstvím vstřikovaného paliva [1]



1.6 PALIVOVÁ SOUSTAVA

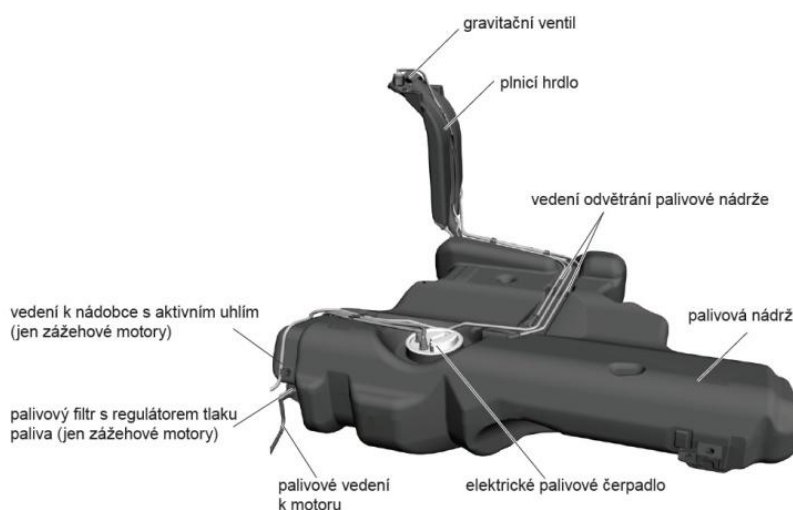
Z palivové nádrže je palivo dopravováno elektrickým palivovým čerpadlem přes palivový filtr k mechanickému palivovému čerpadlu, umístěnému vedle podtlakového čerpadla na hlavě válců (souhrnně tandemové čerpadlo). Mechanické palivové čerpadlo následně dopravuje nízkotlaké palivo palivovými kanály v hlavě válců k jednotlivým vstříkovačům. Přebytečné palivo se vrací kanály zpětného vedení přes chladič paliva zpět do nádrže [24].



Obr. 1-30 Schéma palivové soustavy (1.9 TDI PD) [24]

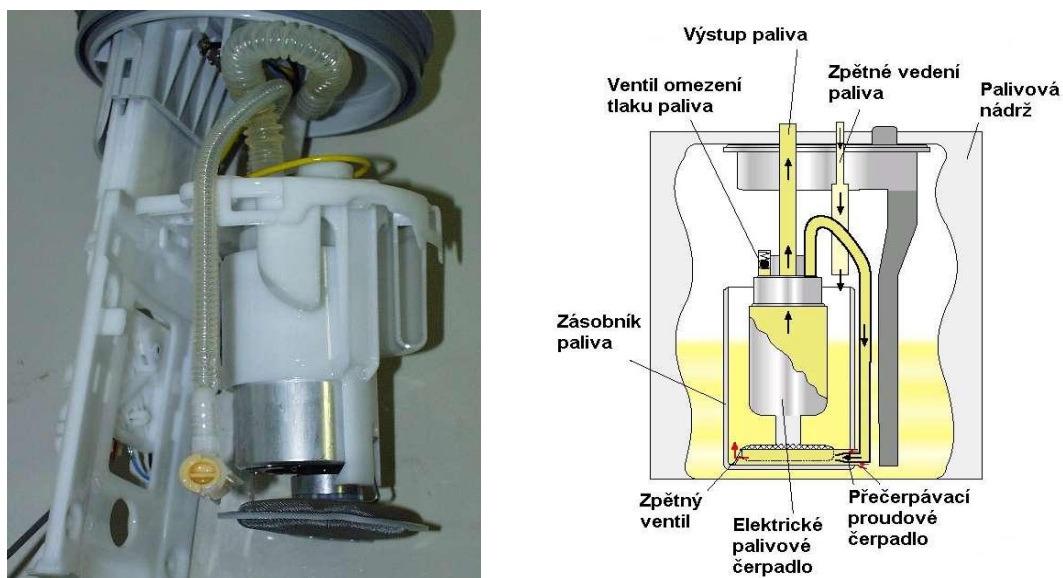
1.6.1 PŘEHLED KOMPONENT PALIVOVÉHO SYSTÉMU

- Palivová nádrž je vyrobena z plastu a slouží k uchování paliva [5].



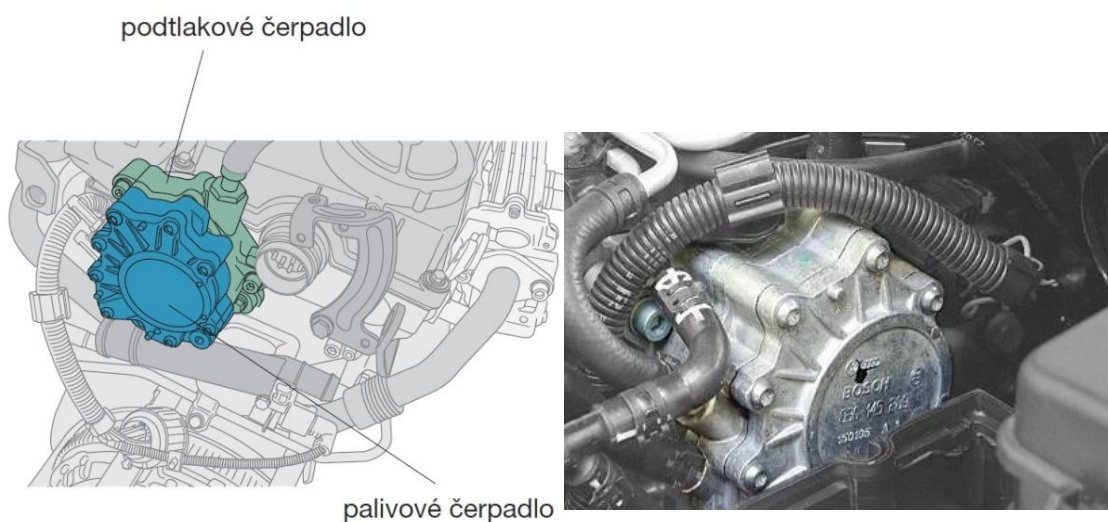
Obr. 1-31 Palivová nádrž (Škoda Roomster) [32]

- Elektrické palivové čerpadlo slouží k dopravě paliva z nádrže k tandemovému čerpadlu pod tlakem 0,5 bar v případě motoru 1.9 TDI PD, či pod tlakem 0,8 baru u jednotky 1.4 TDI PD. Palivo je nasáváno přes filtr spodní částí a vytlačováno směrem vzhůru. Bývá umístěno uvnitř nádrže a chlazeno omíláním paliva. Po zapnutí zapalování čerpadlo na 2s naběhne, poté se vypne a další naběhnutí nastane při startování motoru. Následně již dopravuje palivo kontinuálně [24][32].



Obr. 1-32 Elektrické palivové čerpadlo [36]

- Palivový filtr zabraňuje průchodu nečistot a vody, které by mohly poškodit části palivové soustavy a vstřikovacích zařízení [24].
- Tandemové čerpadlo se skládá z podtlakového a palivového čerpadla. Čerpadla jsou umístěna na hlavě válců a poháněna vačkovou hřídelí.

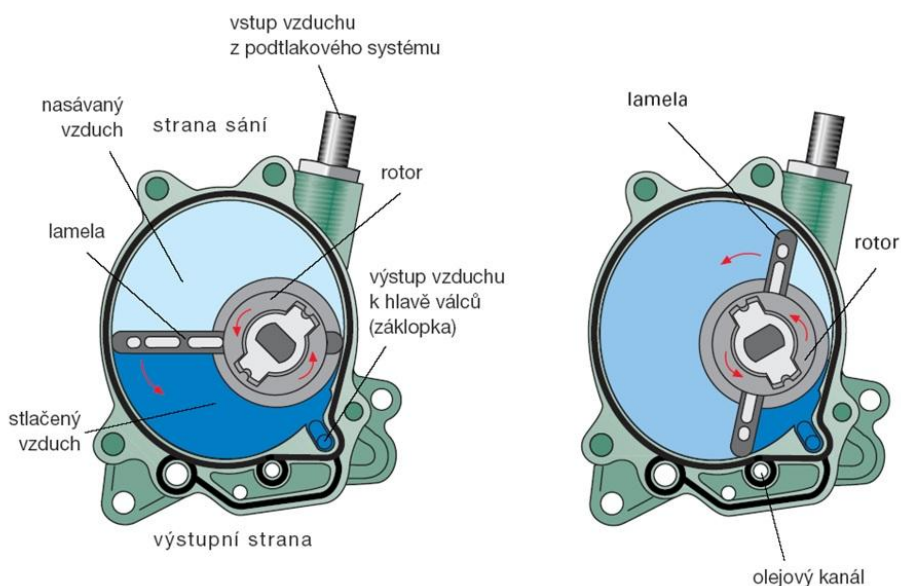


Obr. 1-33 Umístění tandemového čerpadla na motoru [29]

Obr. 1-34 Tandemové čerpadlo [47]

- Podtlakové čerpadlo

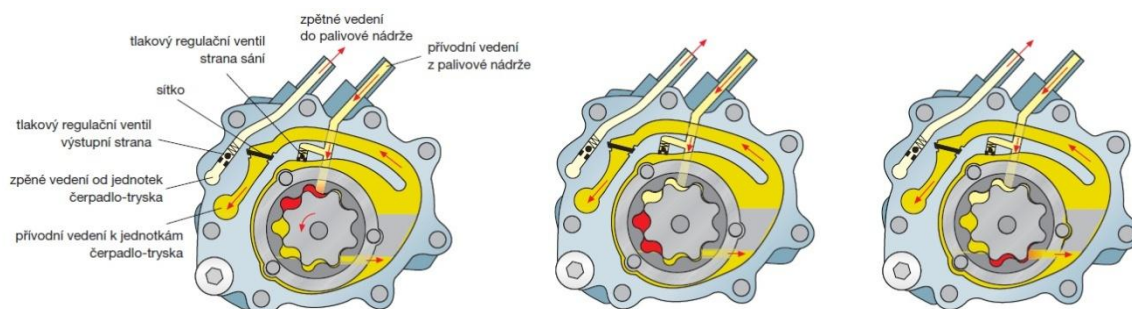
Slouží k vytváření podtlaku pro ovládání dalších komponent vozu (např. podtlakový posilovač brzd). Skládá se z excentricky umístěného rotoru, který se otáčí v prostoru čerpadla. Na rotoru je pohyblivě umístěna lamela, která rozděljuje prostor čerpadla na sací a výtlačnou stranu. Otáčivým pohybem rotoru dochází k posouvání lamely a vzájemné změně objemu sací a výtlačné části. Mazání rotoru a utěsnění lamely v čerpadle je zajištěno dodávkou oleje přes olejový kanál [29].



Obr. 1-35 Podtlakové čerpadlo [29]

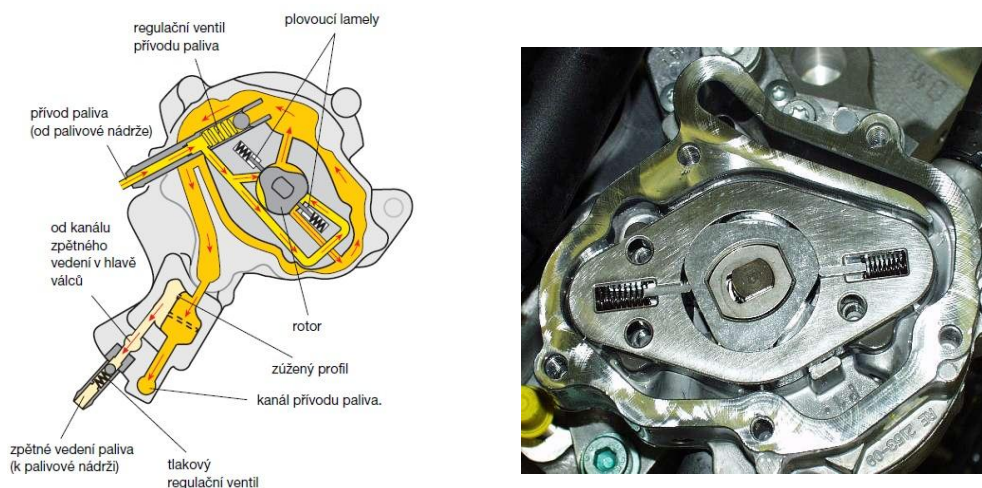
- Palivové čerpadlo

Dopravuje palivo k vlastním vstřikovačům. Jedná se o čerpadlo s vnitřním ozubeným kolem, které koná otáčivý pohyb. Otáčením dochází k zvětšování mezer mezi ozubenými (nasávání paliva), nebo k zmenšování (výtlak paliva). Maximální dodávaný tlak čerpadla je 11,5 baru při 4000 min^{-1} (2.0 TDI PD) [29].



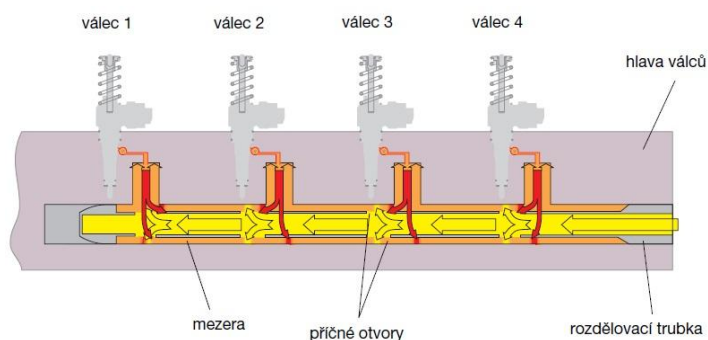
Obr. 1-36 Palivové čerpadlo (2.0 TDI PD) [29]

Motory 1.9 TDI PD a 1.4 TDI PD mají palivové čerpadlo pracující na obdobném principu. Čerpadlo se skládá z otáčejícího se rotoru a plovoucích lamel, tlačeními na rotor. Otáčením rotoru dochází k zvětšování a zmenšování komor mezi rotorem a vlastním čerpadlem, kdy do zvětšující-se komory je palivo nasáváno a ze zmenšující je vytlačeno [24].



Obr. 1-37 Palivové čerpadlo (1.4 TDI PD) [36]

- Rozdělovací trubka zajišťuje konstantní množství a teplotu dodávaného paliva vstřikovací jednotkám. Pracuje na principu míchání teplého paliva vraceného zpět od vstřikovače a nového paliva dopraveného tandemovým čerpadlem. Je umístěna v kanálu přívodu paliva od tandemového čerpadla k vstřikovacím jednotkám [24].



Obr. 1-38 Rozdělovací trubka [24]

- Zúžený profil mezi přívodem paliva a zpětným vedením zabraňuje průchodu bublinek do přívodního kanálku ke vstřikovačům přepouštěním do zpětného vedení. Bublínky se dále zachytávají na síťce na výstupu z tandemového čerpadla [24].
- Předehřívací ventil v závislosti na teplotě paliva přepouští teplé palivo ze zpětné větve palivovým filtrem zpět do přívodního potrubí k tandemovému čerpadlu. Slouží k rychlejšímu zahřátí paliva při studeném motoru [24].
- Chladič paliva ochlazuje palivo proudící zpětnou větví zpět do palivové nádrže. Palivo se zahřívá z důvodu vysokých tlaků ve vstřikovači. Palivo je ochlazováno proudícím vzduchem. Bývá umístěn zespod vozu [24].

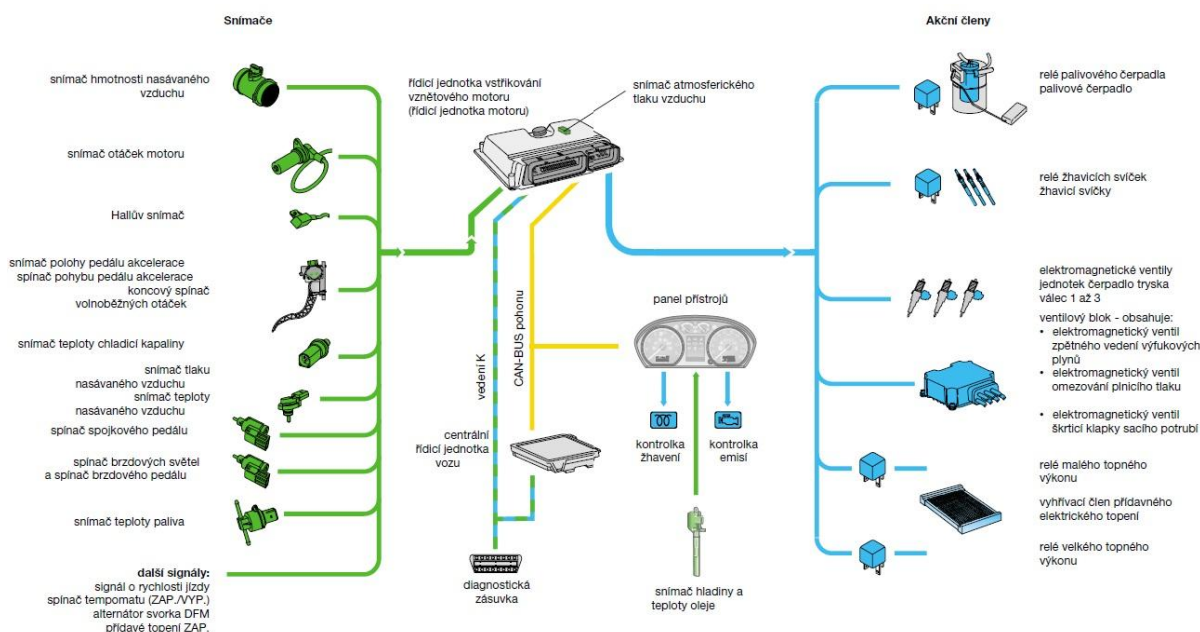


Obr. 1-39 Chladič paliva (Škoda Superb) [37]



1.7 SYSTÉM ŘÍZENÍ

System je řízen řídicí jednotkou motoru na základě dat a signálů, které získává ze snímačů a čidel. Tato data následně zpracovává a výstupy posílá akčním členům, které na základě těchto dat řídí.

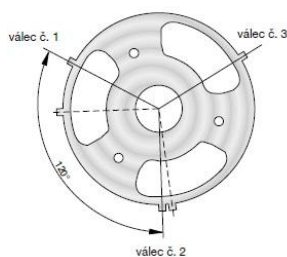


Obr. 1-40 Schéma řízení motoru (1.4 TDI PD) [27]

1.7.1 PŘEHLED SNÍMAČŮ

- Snímač polohy vačkové hřídele

Skládá se z vlastního snímače a snímacího kotouče umístěného na vačkovém kole. Snímací kotouč má po obvodu zuby, odpovídající počtu válců. Snímač slouží k určení počtu válců motoru a ve fázi startování také k určení válce nacházejícího se ve fázi komprese, aby pro něho mohla aktivovat ventil vstřikovací jednotky a provést vstřík. Informaci o tom, jaký válec se nachází se fázi komprese, získá díky tomu, že na snímacím kotouči je kromě počtu zubu odpovídajících počtu válců umístěno ještě několik dalších zubů, posunutých o různé úhly. V případě tříválcového motoru jsou válce posunuty o 120° , tedy tři zuby na snímacím kotouči jsou také po 120° , další dva zuby pro první a druhý válec jsou posunuté o jiné úhly. V případě výpadku signálů je možný chod motoru, systém je řízen signálem z otáček motoru [27].

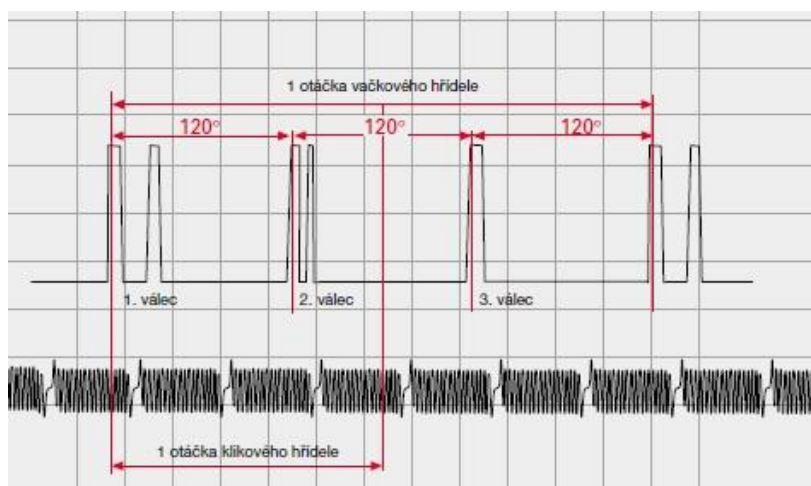


Obr. 1-41 Snímací kotouč pro identifikování jednotlivých válců [27]



- Snímač otáček motoru

Umístěn na bloku motoru. Snímá otáčky a polohu klikové hřídele. Snímací kotouč má po obvodě zuby, kdy v každé třetině jsou vybrány dva zuby. Toto opět pomáhá při startu motoru, kdy řídicí jednotka má informace o každé třetině otáčky klikové hřídele. V případě ztráty signálu přestane motor pracovat [27].



Obr. 1-42 Výstup snímače vačkové hřídele k identifikování jednotlivých válců (nahore) a výstup ze snímače klikové hřídele s informací o každé třetině otáčky klikové hřídele (dole) [27]

- Snímač polohy pedálu akcelerace

Jedná se o potenciometr umístěný v modulu plynového pedálu. Signál snímače slouží hlavně k určení množství vstříkovaného paliva. Součástí je spínač volnoběžných otáček signalizující nesešlápnutý pedál. Při výpadku motor drží vyšší volnoběžné otáčky, aby bylo možné dojet do servisu [27].

- Snímač hmotnosti nasávaného vzduchu

Umístěn v sacím potrubí motoru. Signál slouží k určení množství vstříkovaného paliva a výpočet množství výfukových plynů přepouštěných EGR ventilem zpět do sání. V případě výpadku signálu má motor nižší výkon a řídicí jednotka počítá s defaultně nastavenou hodnotou [27].

- Snímač teploty chladicí kapaliny

Slouží ke korekci množství vstříkovaného paliva a při výpadku signálu je počítáno s defaultně nastavenou hodnotou [27].

- Snímač tlaku a teploty nasávaného vzduchu

Oba signály slouží ke korekci plnicího tlaku [27].

- Snímač atmosférického tlaku vzduchu

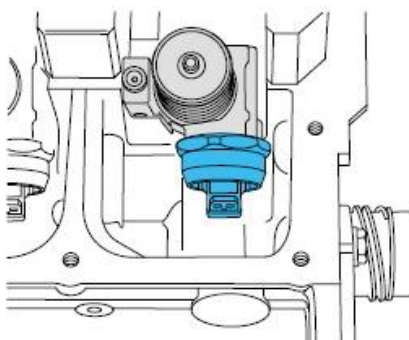
Umístěn v řídicí jednotce motoru a snímá atmosférický tlak, jehož hodnota se mění s nadmořskou výškou a následně pomáhá korigovat plnicí tlak. Při výpadku může docházet k černým výfukovým plynům [27].



- Snímač spojkového pedálu
Určuje okamžik sešlápnuté spojky, kdy se sníží množství vstřikovaného paliva, aby nedocházelo k cukání při řazení [27].
- Snímač teploty paliva
Měří teplotu paliva ve zpětné větvi mezi tandemovým čerpadlem a chladičem paliva. Na základě signálu se vypočítá počátek dopravy paliva a počátek vstřiku. Zohlední se při tom hustota paliva [27].

1.7.2 AKČNÍ ČLENY

- Elektromagnetické ventily jednotek čerpadlo tryska
Ventily jsou maticí připevněny k vlastnímu vstřikovači. Řídící jednotka motoru ovládá ventilem dvě funkce. Počátek dopravy paliva, kdy signálem z řídicí jednotky motoru dojde k uzavření jehly ventilu a následně ke vstřiku. Druhé je množství vstřikovaného paliva pomocí délky uzavření jehly ventilu. V případě výpadku signálu má motor menší výkon a nerovnoměrný chod. Ventil dále obsahuje dvě bezpečnostní pojistky. V případě otevřeného ventilu není možné vytvářet tlak a v případě uzavřeného ventilu plnění vysokotlakého prostoru palivem [27].

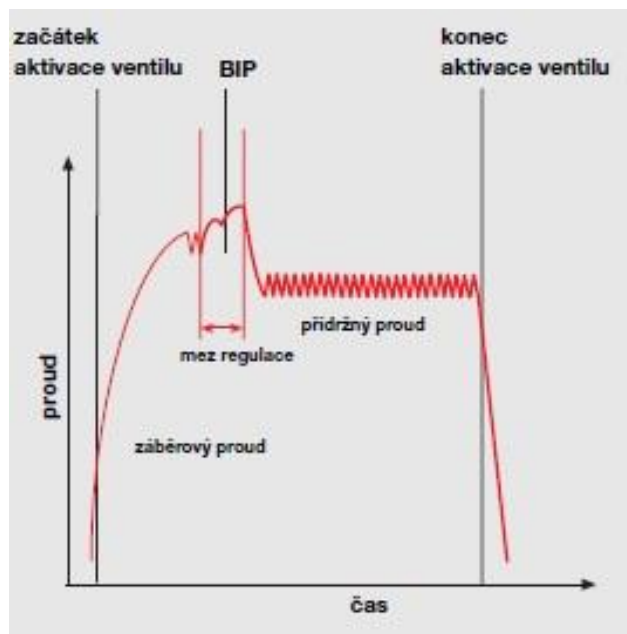


Obr. 1-43 Elektromagnetický ventil vstřikovače [27]

Aby mohla řídicí jednotka regulovat začátek vstřiku paliva, sleduje zpětnou vazbou závislost proudu na čase. Jakmile dojde k tomu, že jehla ventilu dosedne do svého sedla a uzavře tím přívod paliva, je možné vidět v průběhu proudu zlom. Ten se označuje jako BIP (**B**eginning of **I**njection **P**eriod) a značí okamžik, kdy nastává počátek vstřiku. Po dosednutí jehly ventilu a uzavření přívodu paliva dojde k poklesu proudu a následné držení na konstantní hodnotě – přídržný proud. Po ukončení vstřiků dojde k otevření jehly ventilu a zaznamenání skutečného okamžiku otevření, ze kterého se poté určí okamžik uzavření ventilu pro další vstřik. Pokud se skutečný a vypočítaný začátek vstřiku od sebe odlišují, bude začátek aktivace ventilu zkorigován. Řídící jednotka dále kontroluje správnost fungování ventilu tím, že sleduje průběh proudu a očekává umístění BIP v rozsahu regulace. Pokud se BIP nachází mimo tento rozsah ventil nepracuje správně. V tomto případě určí řídicí jednotka počátek dopravy paliva z předvolených hodnot [24].



Příklad poruchy - v palivu ve vstřikovači nachází vzduch, jehla ventilu se snáze a rychleji uzavře. Počátek vstřiku (BIP) tak nastane dříve, než jej řídicí jednotka očekávala [24].



Obr. 1-44 Průběh proudu na čase s BIP v oblasti regulace [24]

- Elektromagnetický ventil omezování plnicího tlaku
Slouží k regulaci plnicího tlaku turbodmychadla. Při výpadku má motor nižší výkon [27].
- Elektromagnetický ventil zpětného vedení výfukových plynů
Přepouští část výfukových plynů zpět do sacího potrubí. Při výpadku signálu není zpětné vedení výfukových plynů v činnosti [27].
- Elektromagnetický ventil škrtkící klapky sacího potrubí
Slouží k fázi vypnutí motoru. Při vypínání omezí přívod vzduchu, kterého se takto poté ve válci méně stačuje a motor měkčeji doběhne [27].

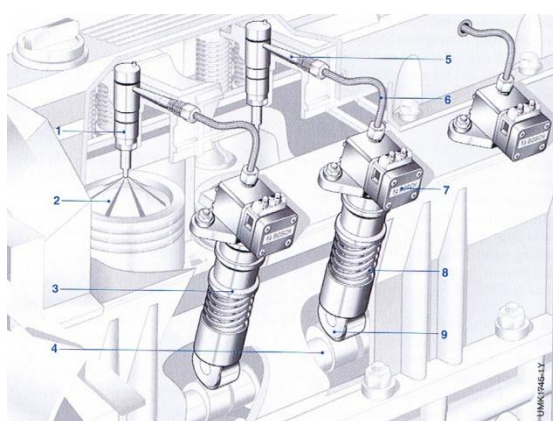


2 SDRUŽENÉ VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKY NÁKLADNÍCH VOZŮ

Sdružené vstřikovací jednotky byly kromě osobních vozů užívané i v užitkových vozzech. Oproti jednotkám použitým v osobních vozzech se mírně odlišovaly. Vstřikovací čerpadlo a vstřikovací tryska zde již nejsou součástí jednoho kompletu, ale jsou oddělené a spojeny vedením. Odtud pochází jejich název čerpadlo – vedení – tryska (německy *Pumpe – Leitung – Duse*, anglicky *Unit Pump System*). Z důvodu oddělení čerpadla od trysky je možné tento systém bez větších konstrukčních zásahů použít i u vozů s rozvody OHV, kdy čerpadlo je umístěno v bloku motoru a poháněno vačkovou hřídelí.

2.1 POPIS SYSTÉMU

Systém se skládá z elektromagneticky řízeného čerpadla ovládaného vačkovou hřídelí. Každému válci náleží opět jedno čerpadlo. Tryska bývá jedno-pružinová či dvou-pružinová a s vlastním čerpadlem je spojena krátkým vedením. Všechna přívodní vedení jsou stejné délky, musí odolat vysokým vstřikovacím tlakům a vysokofrekvenčnímu kolísání tlaků během vstřikovacích pauz. Vedení je vyrobeno z vysokopevnostních bezešvých ocelových trubek [1].



- 1- Vstřikovací tryska
- 2- Spalovací prostor
- 3- Vstřikovací čerpadlo
- 4- Vačková hřídel
- 5- Tlaková přípojka
- 6- Vysokotlaké vedení
- 7- Elektromagnetický ventil
- 8- Vratná pružina
- 9- Válcové zdvihátko

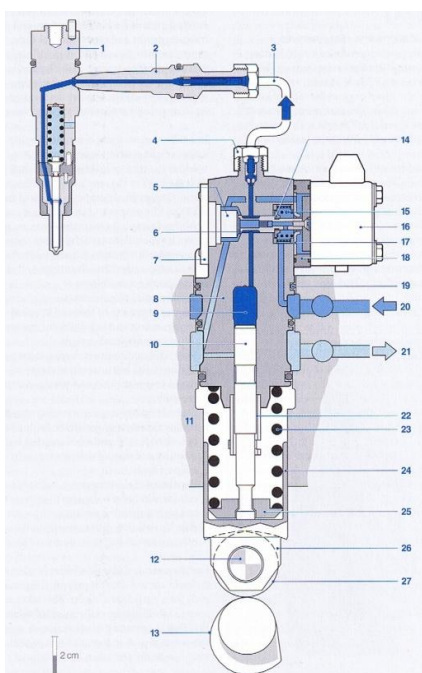
Obr. 2-1 Systém Čerpadlo - vedení - tryska [1]



Obr. 2-2 Vstřikovací čerpadla Bosch [59]

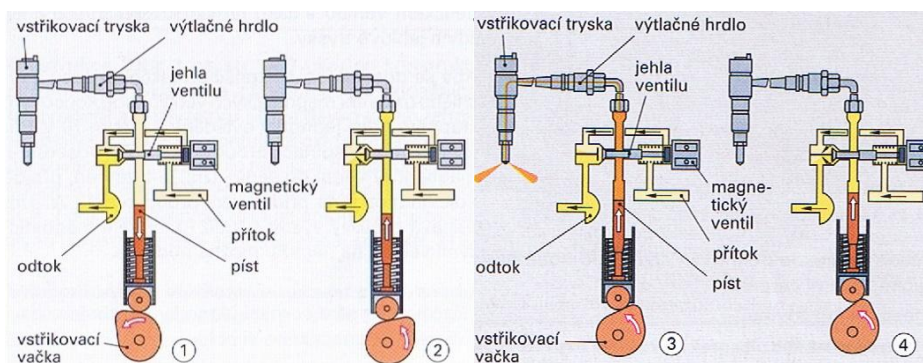


2.2 KONSTRUKCE A PRINCIP VSTŘIKOVÁNÍ



- 1- Vstřikovací tryska
- 2- Tlaková přípojka
- 3- Vysokotlaké vedení
- 5- Doraz jehly elektromagnetického ventilu
- 6- Jehla elektromagnetického ventilu
- 8- Tělo vstřikovacího čerpadla
- 9- Vysokotlaký prostor
- 10- Píst čerpadla
- 11- Blok motoru
- 13- Vačka
- 15- Pružina elektromagnetického ventilu
- 16- Elektromagnetický ventil
- 19- Těsnění
- 20- Přívod paliva (nízkotlakého)
- 21- Zpětný odvod paliva
- 22- Doraz pístu čerpadla
- 23- Pružina zdvihátka
- 24- Tělo zdvihátka
- 27- Válcové zdvihátko

Obr. 2-3 Popis vstřikovací jednotky [1]



Obr. 2-4 Jednotlivé fáze vstřikování [3]

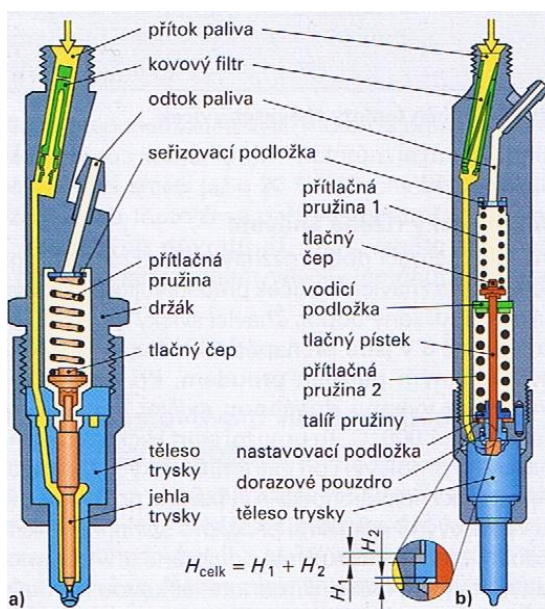
Fáze vstřiku:

- 1) Fáze sacího zdvihu
Otáčením vačky na píst čerpadla působí pouze stlačená pružina, která jej tlačí směrem dolů. Dochází k zvětšování vysokotlakého prostoru a plnění paliva [3].
- 2) Fáze předzdvihu
Otáčením vačky se píst čerpadla pohybuje směrem nahoru a vytlačuje přes otevřený ventil palivo z vysokotlakého prostoru k zpětnému vedení paliva z čerpadla [3].
- 3) Fáze dopravního zdvihu
Aktivováním elektromagnetického ventilu dojde k posuvu jehly a uzavření ventilu. Palivo je z vysokotlakého prostoru vytláčováno do vstřikovací trysky, jakmile dojde k překročení síly pružiny ve vstřikovači, dochází k vstřiknutí paliva [3].
- 4) Fáze zbytkového zdvihu
Fáze vstřiku končí ukončením aktivace elektromagnetického ventilu, jehla ventilu otevře ventil a palivo proudí z vysokotlakého prostoru zpětným vedením zpět do nádrže [3].

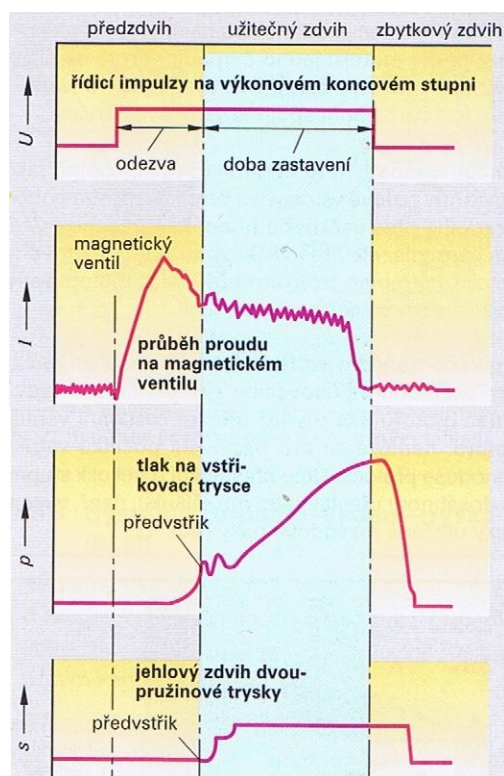


Fáze předstříku je zde možné realizovat pouze použitím dvou-pružinového vstřikovače. Jedno-pružinové provedení je schopno dodat pouze hlavní vstřík [3].

Jedno-pružinový vstřikovač obsahuje pouze jednu pružinu, kdy k otevření trysky a vstříku dojde po překročení její otevírací síly. Dvou-pružinový vstřikovač obsahuje pružiny dvě. Nejdříve dojde ke stlačení měkčí pružiny a fázi předstříku. S rostoucím tlakem následně dojde i k stlačení pružiny o vyšší tuhosti a hlavnímu vstříku [3].



Obr. 2-5 Jedno-pružinové (a) a dvou-pružinové (b) provedení vstřikovač [3]



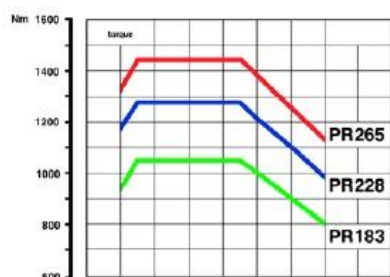
Obr. 2-6 Průběhy napětí, proudu, tlaku a zdvihu jehly trysky v průběhu vstřikování [3]



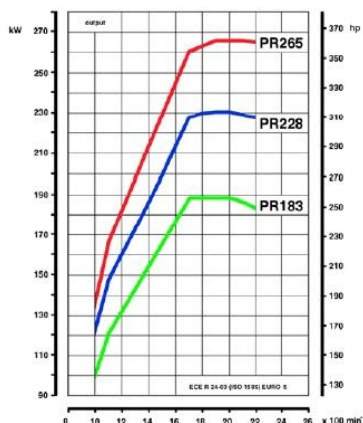
2.3 VYBRANÉ MOTORY SE VSTŘIKOVÁNÍM ČERPADLO – POTRUBÍ - TRYSKA

a) PACCAR PR183, PR228, PR265

Jedná se o přeplňované řadové šestiválcové vznětové motory o objemu 9,2 l vybavené technologií SCR a plnicí normu Euro 5 [61].



Obr. 2-7 Momentová charakteristika [61]

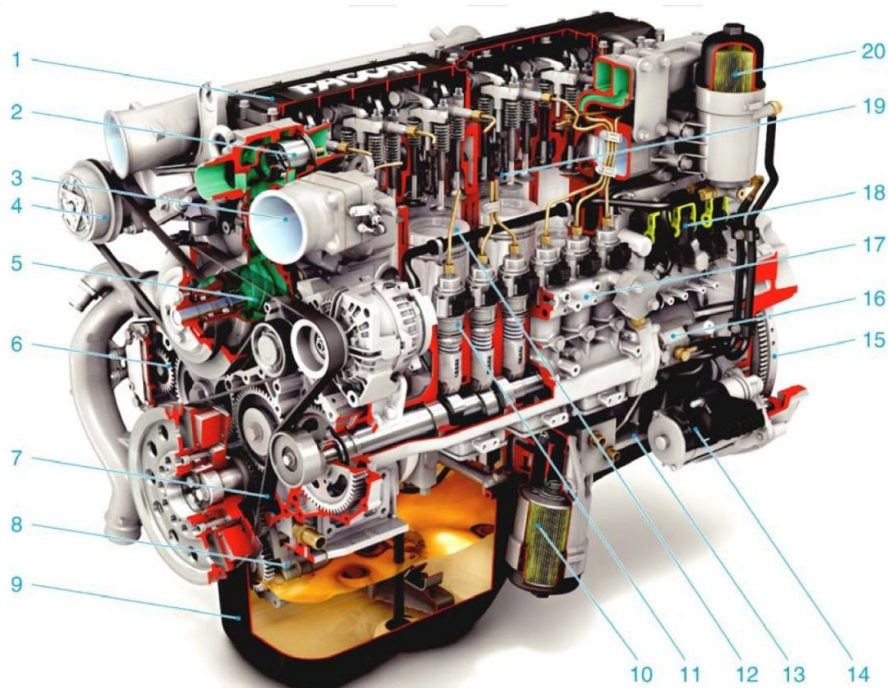


Obr. 2-8 Výkonová charakteristika [61]



Obr. 2-9 Vstřikovací čerpadla [61]

Motor má litinový blok válců a dvě samostatné litinové hlavy válců, společné vždy pro tři válce. Čtyři ventily na válec. Kliková hřídel je kovaná a nitridovaná, uložena v sedmi ložiscích a vybavena čtyřmi protizávažemi. Vačková hřídel je kovaná a kalená. Rozvody pomocí ozubeného soukolí s přímými zuby. Systém vstřikování s elektronicky řízenými čerpadly a vstřikovači DELPHI SMART, maximální vstřikovací tlak 1500 barů [61].



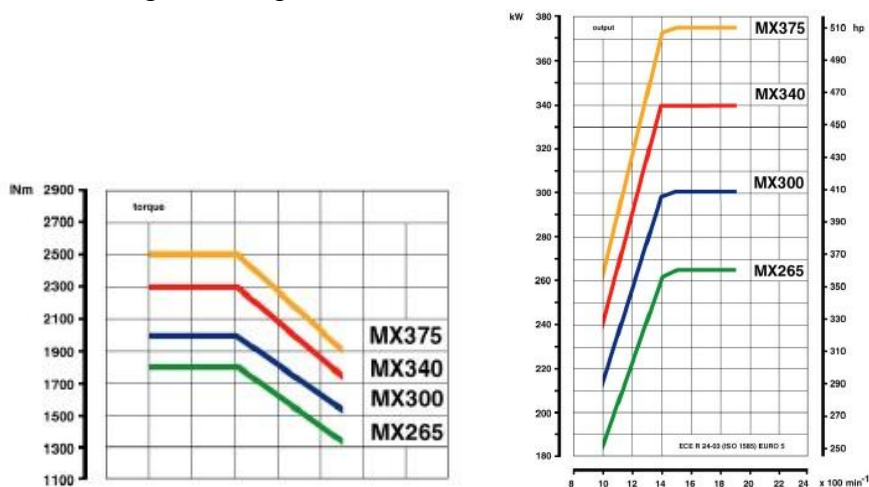
Obr. 2-10 Motor PACCAR PR v řezu [61]

11- Vstřikovací jednotka, 16 – Palivové čerpadlo, 17 – Těleso jednotky čerpadla, 19 - Vstřikovač SMART, 20 – palivový filtr



b) PACCAR MX265, MX300, MX340, MX375

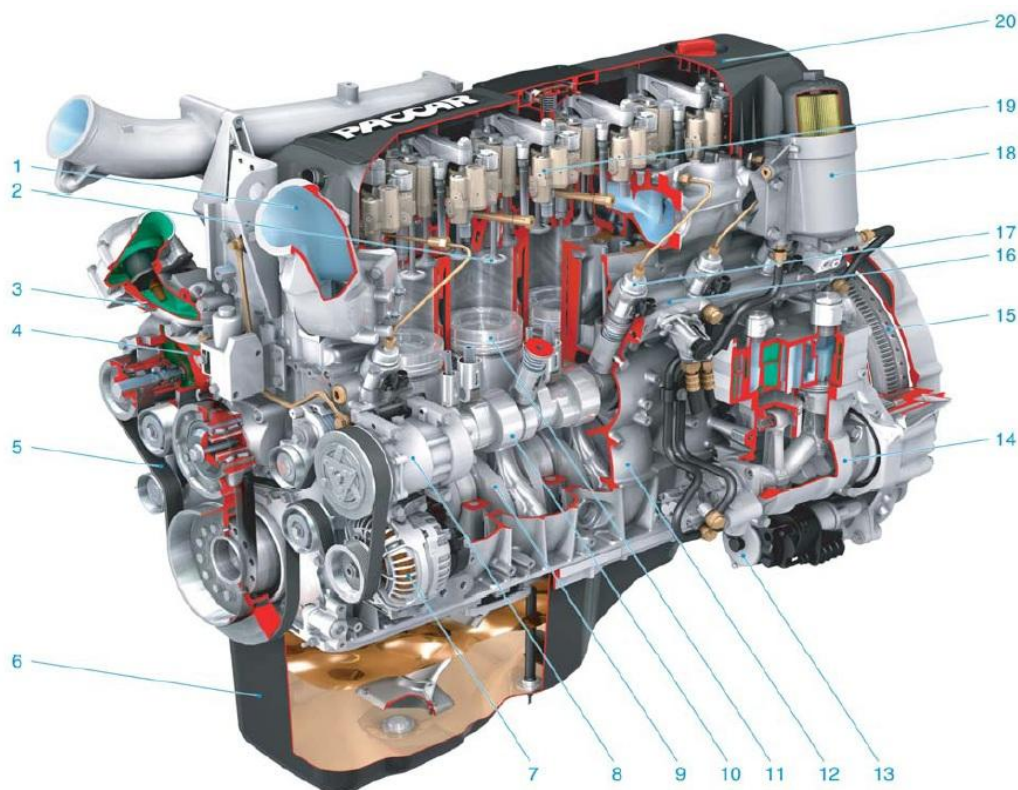
Jedná se o přepínávané řadové šestiválcové vznětové motory o objemu 12,9 l vybavené technologií SCR a plnicí normu Euro 5 [60].



Obr. 2-11 Momentová charakteristika [60]

Obr. 2-12 Výkonová charakteristika [60]

Motor má blok válců z vysokopevnostní litiny s integrovaným hliníkovým žebřinovým rámem z důvodu vyšší tuhosti klikové skříně. Hlava válců je jednodílná s integrovaným nízkotlakým palivovým potrubím. Kompozitní víko ventilů. Čtyři ventily na válec. Kliková hřídel je kovaná a neobsahuje protizávaží. Rozvody pomocí ozubeného soukolí s přímými zuby. Systém vstřikování se solenoidy řízenými čerpadly a vstřikovači DELPHI SMART, maximální vstřikovací tlak 2000 barů [60].



Obr. 2-13 Motor PACCAR MX v řezu [60]

16 – Nízkotlaký rozvod paliva, 17 – Vstřikovací jednotka



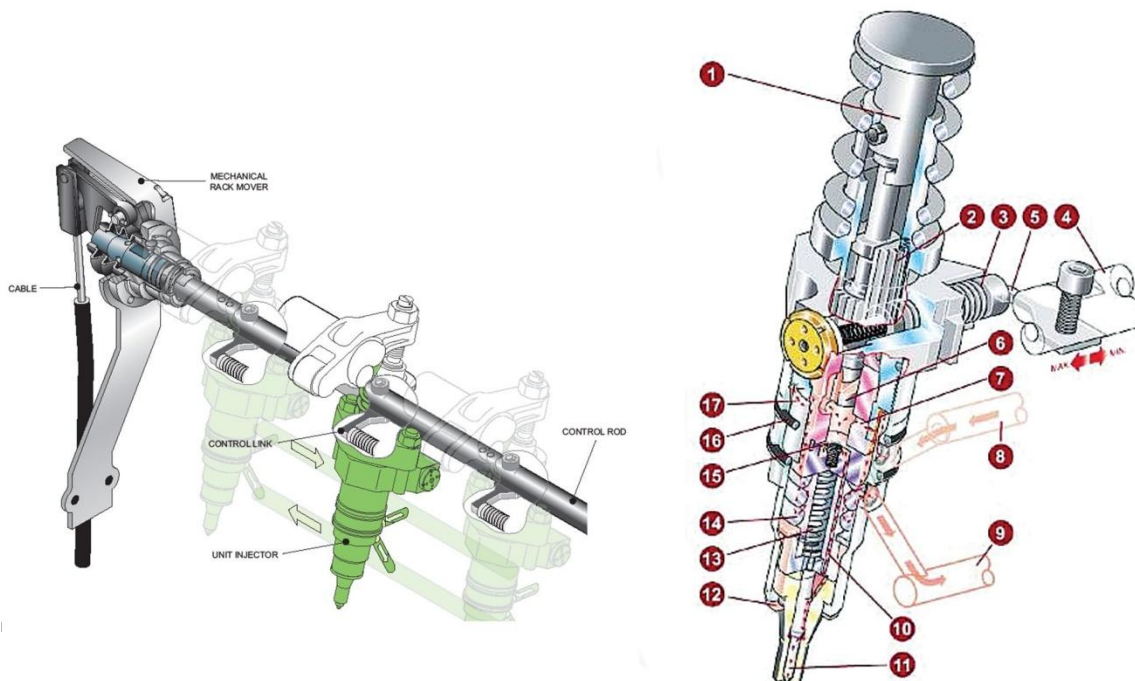
Ilustrační přehled vstříkovačů používaných u ostatních výrobců vozidel.



Obr. 2-14 Přehled vstříkovačů Čerpadlo – tryska, Čerpadlo – vedení – tryska [64]

2.4 MECHANICKY ŘÍZENÉ VSTŘIKOVAČE ČERPADLO - TRYSKA

Jednotka obsahuje posuvnou regulační tyč, jejímž posouváním dochází k otáčení pístu čerpadla. Píst čerpadla obsahuje ve své horní části regulační hranu. Otáčením pístu dochází k otáčení regulační hrany a řízení fáze vstříkávání. Regulační hrana pracuje na principu obdobném u řadového vstříkovačového čerpadla. Systém využívá výrobce STEYR.



Obr. 2-15 Ovládání vstříkovače [63]

Obr. 2-16 Řez vstříkovačem [62]



3 SDRUŽENÉ VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKY DELPHI

Kromě jednotek vyráběných firmami Bosch, popř. Siemens popisovaných na předchozích stranách je dalším výrobcem firma Delphi, produkující jednotky převážně pro nákladní vozy. Z aplikací v osobních vozech je možno zmínit vozy Land Rover Discovery a Land Rover Defender.

3.1 DELPHI E1

Jednotka obsahuje vysokotlaké čerpadlo a trysku v jednom celku, každému válci připadá jeden vstříkovač. Dosahuje maximálního vstříkovacího tlaku 2000 barů. Plní emisní normy Euro II/III, US 02/04 a Tier II/III. Vhodný pro motory o zdvihovém objemu od 9l do 16l [48].

Tab. 3-1 Specifikace Delphi E1 [48]

Průměr pístu čerpadla	9-11 mm
Zdvih	do 18 mm
Obsah jednoho válce	1.5 až 2.6 l
Hmotnost	1,1 kg
Ovládací napětí	50 nebo 90V



Obr. 3-1 Delphi E1 [48]



Obr. 3-2 Vstříkovač Delphi E1 rozložený na jednotlivé komponenty [80]



3.2 DEPLHI E3

Jednotka obsahuje dva ovládací ventily. Oproti předchozí jednotce E1 má o 40% méně dílů. Dosahuje maximálního vstřikovacího tlaku 2500 barů a umožňuje rozdělit vstřík do fáze předstříku, hlavního vstříku a dostříku. Plní emisní normy Euro IV, V a VI; US 07 a US 10. Vhodný pro motory o zdvihovém objemu od 9l do 16l [49].

Tab. 3-2 Specifikace Deplhi E3 [49]

Průměr pístu čerpadla	9-11 mm
Zdvih	do 18 mm
Obsah jednoho válce	1.5 až 2.6 l
Hmotnost	1,1 kg
Ovládací napětí	50 V



Obr. 3-3 Delphi E3 [49]

3.3 DELPHI SMART INJECTOR

Systém se skládá z elektronicky řízeného vstřikovacího čerpadla a elektronicky řízeného vstřikovače. Vstřikovací čerpadlo je opět uloženo v bloku motoru a ovládáno vačkovou hřídelí. Plní emisní normy Euro III, IV, V a VI; US 07 a US 10; Tier III/IV; Japan NLTR. Maximální dosahovaný tlak je 2500 barů [50].

Tab. 3-3 Specifikace Deplhi SMART [50]

Obsah jednoho válce	0,7 až 2.6 l
Hmotnost	0,75 kg
Ovládací napětí	50 V



Obr. 3-4 Vstřikovací čerpadlo a dva typy SMART vstřikovačů [51]



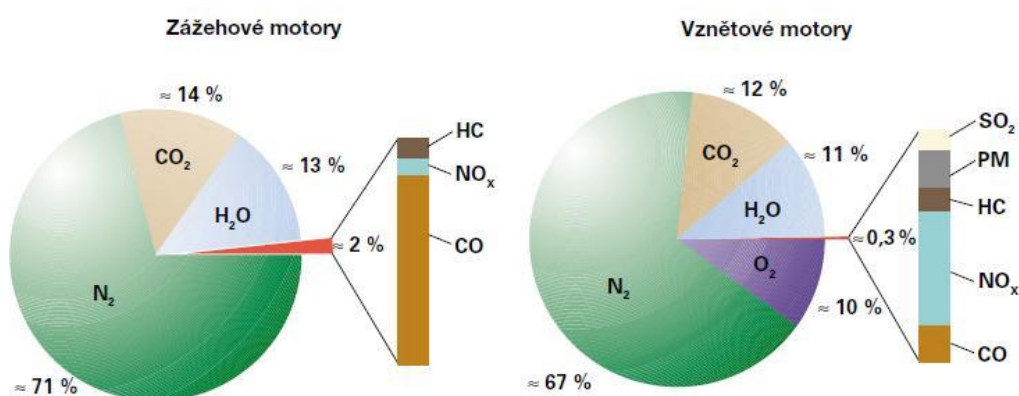
Obr. 3-5 Rozložený vstřikovač Delphi SMART [51]



4 EMISE VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

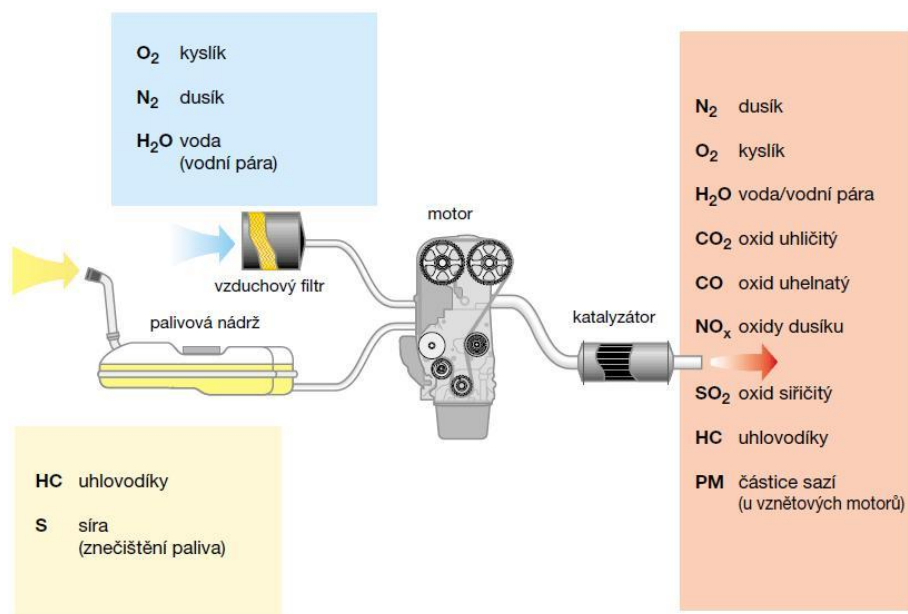
4.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY EMISÍ

Při ideálním spalování paliva vzniká pouze oxid uhličitý (CO_2) a voda (H_2O). V praxi ovšem tento případ nenastane a dochází k nedokonalému spalování, při kterém vznikají další složky. Jedná se o oxid uhelnatý (CO) a vodík (H_2). Pokud dochází ke spalování s přebytkem kyslíku (u dieselového motoru vždy) obsahují spaliny ještě kyslík (O_2). Další složky jsou dusík (N_2), oxidy síry (SO_x), oxidy dusíku (NO_x) a nespálené uhlovodíky (HC). Hlavně u vznětových motorů vznikají dále pevné částice (PM) [4].



Obr. 4-1 Složení výfukových plynů zážehových a vznětových motorů [25]

Na Obr. 4-2 jsou znázorněny složky, které do motoru vstupují a následně jsou spalovány ve spalovacím prostoru a složky, které z motoru vystupují jako emise.



Obr. 4-2 Přehled složek do motoru vstupujících a z motoru vystupujících [25]



4.1.1 PŘEHLED SLEDOVANÝCH SLOŽEK EMISÍ

Oxid uhelnatý (CO) – Vzniká při spalování směsi s nedostatkem kyslíku, tedy v oblasti bohaté směsi. K největší produkci dochází při volnoběhu. Je jedovatý, brání přenosu kyslíku krví [4][25][31].

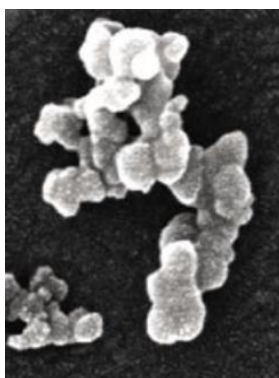
Oxid uhličitý (CO₂) - Patří mezi skleníkové plyny a vzniká spalováním paliva obsahujícího uhlík [25].

Oxidy dusíku (NO_x)- Vzniká při vysokých teplotách a tlacích. Vyvolává pocit dušení a kašle [4][25].

Nespálené uhlovodíky (HC) – nespálené části paliva. Množství závisí na více faktorech – např. teplota, konstrukce spalovacího prostoru a pístu, bohatost směsi. Působí škodlivě na sliznici, dýchací cesty a některé mohou být rakovinotvorné [4].

Oxidy síry (SO_x) – Produkce hlavně u vznětových motorů. Produkované množství je zanedbatelné a postupně se snižuje se snižujícím se obsahem síry v naftě. Způsobují dýchací potíže [4].

Pevné částice (PM, saze) – Vznikají u vznětových motorů při spalování neodpařených kapek paliva. Jádro tvoří čistý uhlík, na jehož povrch se dále přichytávají další složky (uhlovodíkové sloučeniny, oxidy kovů, síra). Jsou velice malé, 90% je menších jak 0,1 μm. Množství vyprodukovaných sazí závisí na kvalitě spalování. S rostoucí kvalitou spalování dochází k produkci stále menších částic. Pokud jsou částice příliš malé, nemusí být v lidském těle zadrženy, je tedy nutné použití filtru pevných částic [4][31].



Obr. 4-3 Částice saze (přibližně milionkrát zvětšeno) [31]

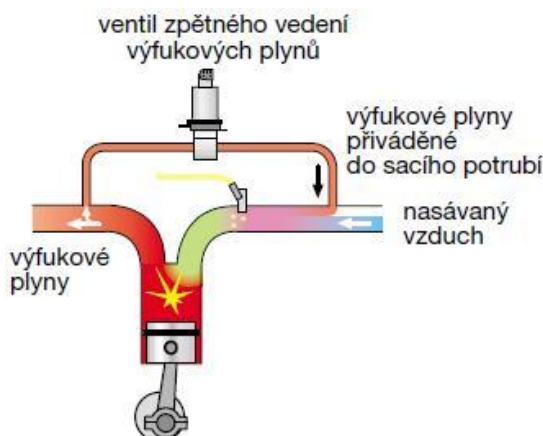
4.1.2 OPATŘENÍ KE SNIŽOVÁNÍ EMISÍ VZNĚTOVÉHO MOTORU

- 1) Opatření před motorem
 - Návrh plnicí soustavy s ohledem na dosažení optimálního pohybu náplně válce a co nejkratší doby nutné na promíchání kyslíku s palivem [4].



2) Opatření v motoru

- Zajištění optimálního proudění směsi ve válci např. tvarováním sacích a výfukových kanálů [31].
- Tvarování spalovacího prostoru [31]
- Vstřikovací soustava – rozdělení dávek, vyšší tlak a přesnější časování vstříků [31]
- Recirkulace výfukových plynů – přivádění části spálených výfukových plynů zpět do sání a následně do spalovacího prostoru. Cílem je snížení teploty ve spalovacím prostoru a tím redukce NO_x [25].



Obr. 4-4 Recirkulace výfukových plynů [25]

3) Opatření za motorem:

- Oxidační katalyzátor – snižuje obsah CO a HC. Skládá se z vrstev drahých kovů (platina, paladium). Následnou chemickou reakcí vzniká CO_2 a H_2O . Pro dosažení vysoké účinnosti musí být plocha katalyzátoru velmi velká (přibližně jako fotbalové hřiště) [3][4].
- Filtr pevných částic – zachytává pevné částice (viz. kap. 4.3.1).
- Selektivní katalytická redukce (SCR) – Slouží k snižování emisí NO_x (viz. kap. 4.3.2)

4.2 EMISNÍ PŘEDPISY

Měření produkcí emisí:

- Homologační testy – při schvalování nových vozidel do provozu [4]
- Emisní kontroly – pravidelné kontroly všech provozovaných vozidel [4]

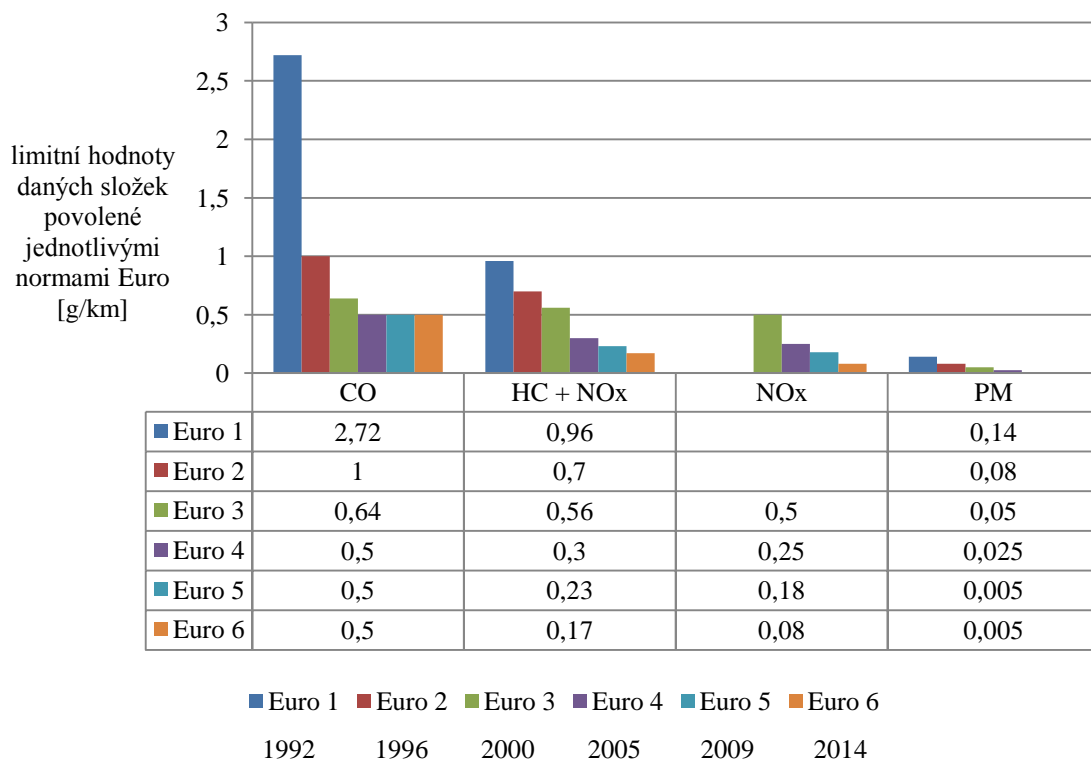
4.2.1 HOMOLOGAČNÍ TESTY

1) Vozidla do 3,5t

První předpis v Evropě byla směrnice EHK 15 zavedená v roce 1971. Obsahovala čtyři městské cykly a měřila obsah CO a HC. Postupně docházelo k upravování předpisu i měřených látek (doplnění NO_x). V osmdesátých letech došlo k nahrazení normou EHK 83, která se stala základem dnes platných předpisů. Předpis se postupně zpříšňoval a počátkem

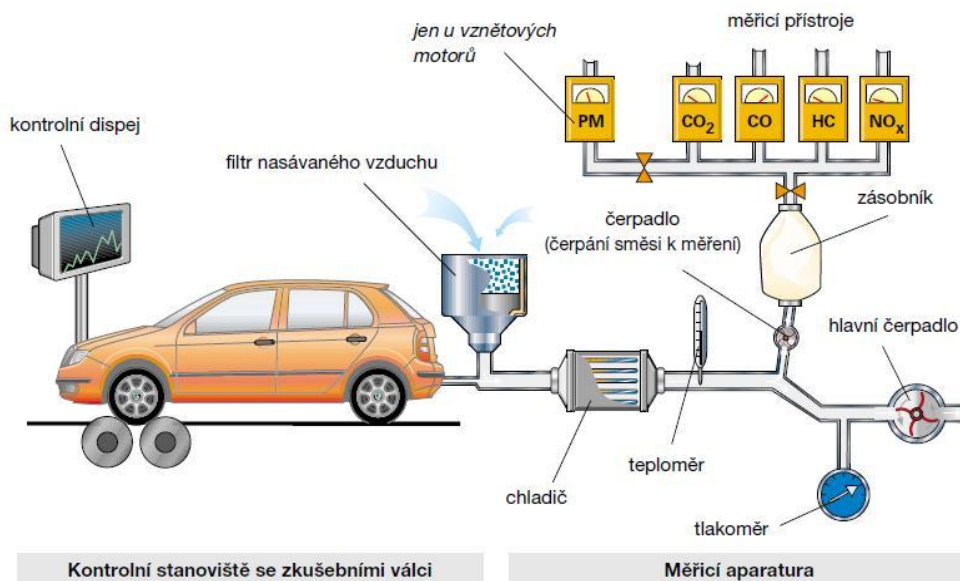


devadesátých let došlo k vydání jednotné specifikace pro státy EU (později i v státech mimo EU) známé pod označením Euro. Postupnými revizemi předpisu vznikaly normy Euro 2, Euro 3 atd. Dané limity jednotlivých složek jsou určeny zvláště pro každou kategorii vozidel [4].



Graf 4-1. Přehled emisních norem Euro [4]

Při homologaci vozidla se simuluje zkušební cyklus, skládající se z městského a mimoměstského cyklu. Vozidlo je umístěno na válcový dynamometr. Výfukové plyny jsou odsávány do zásobníků spolu s filtrovaným vzduchem, aby byl zajištěn stále stejný proud výfukových plynů a vzduchu. Množství zachycených výfukových plynů se následně přepočítá na produkci v g/km [4][25].



Obr. 4-5 Průběh homologačního měření emisí [25]



2) Vozidla nad 3,5t

Pro vozidla nad 3,5t platí opět normy Euro 1-6 (s jinými hodnotami jednotlivých sledovaných složek). Měřené veličiny jsou CO, HC, NO_x, pevné částice a kouřivost (vznětové motory) [4].

4.2.2 EMISNÍ TESTY

Kontrola plnění emisí vozidla platných v době homologace vozu. Její měření je součástí kontroly na stanici STK.

Kromě emisních norem Euro platných v Evropě jsou další emisní normy pro ostatní regiony zobrazené na *Obr.4-6*.



Obr. 4-6 Přehled emisních norem platných v jednotlivých regionech [1]

4.3 ZAŘÍZENÍ PRO SNIŽOVÁNÍ EMISÍ VOZIDEL

4.3.1 FILTR PEVNÝCH ČÁSTIC

POPIS SYSTÉMU

Jedná se o filtr zachytávající pevné částice vznikající při spalování. Poprvé byl představen v roce 2000 v modelu Peugeot 607 [53].

Konstrukce:

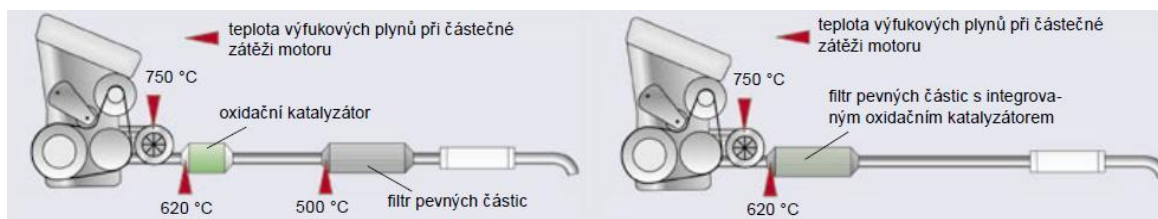
Skládá se z keramického tělesa uloženého v ocelovém pouzdře. Keramické těleso má voštinovou strukturu tvořenou karbidem křemíku. Těleso je rozděleno na několik rovnoběžných kanálků, které jsou střídavě z jedné strany uzavřeny [31].



Rozdělení filtrů pevných částic:

Filtry pevných částic můžeme rozdělit na dvě hlavní skupiny – systém s aditivem a bez aditiv.

- Systém s aditivem má filtr umístěn dále od motoru za oxidačním katalyzátorem. Teploty nutné pro správnou funkci systému se dosahuje přidáváním aditiva [31].
- Systém bez aditivů má filtr umístěn co nejbližší k motoru, aby nedošlo k příliš velkému snížení teploty výfukových plynů nutných pro činnost filtru. Filtr pevných částic a oxidační katalyzátor zde tvoří jedno těleso [31].



Obr. 4-7 Systém s aditivem (vlevo) a bez aditiv (vpravo) [31]



Obr. 4-8 Umístění filtru pevných částic (systém bez aditiv) na vozidle - 2.0 TDI PD 125kW [45]

Model/Motor	1,4/51 kW	1,4/59 kW	1,9/74 kW	1,9/77 kW	1,9/85 kW	2,0/103 kW	2,0/125 kW
nová Fabia	–	○		○			
Fabia Combi/Sedan	–	–	–				
Roomster	–	○		○			
Octavia				○		○	
Octavia RS							●
Octavia Combi 4x4				○		●	
Octavia Scout						●	
Octavia Tour			–				
Superb					–	●	

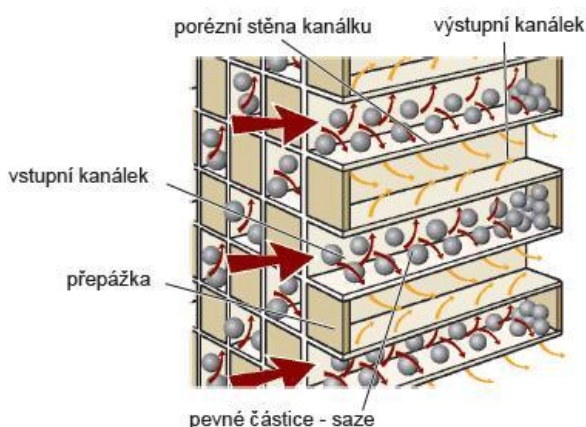
● DPF standardně
 ○ DPF na přání
 – DPF se nedodává
 □ motor nelze s daným modelem objednat

Obr. 4-9 Přehled vozů Škoda se vstříkováním čerpadlo tryska a montáží filtru pevných částic - platné pro rok 2007 [35]



PRINCIP ČINNOSTI FILTRU PEVNÝCH ČÁSTÍ A REGENERACE FILTRU

Spaliny mohou procházet pouze bočními porézními stěnami kanálku. Boční stěny jsou průchozí pouze přes mikroskopické otvory, které jsou natolik malé, že pevné částice jimi nemohou projít a zůstanou zde zachyceny [31].



Obr. 4-10 Průchod výfukových plynů filtrem a zachytávání pevných částic [31]



Obr. 4-11 Řez filtrem pevných částic [31]

Proces regenerace filtru:

Během provozu dochází k postupnému zanášení filtru pevnými částicemi. S rostoucí mírou zanášení klesá účinnost filtru a je nutné provést regeneraci, čili odstranění nahromaděných pevných částic ve filtru. K tomu dochází tak, že nahromaděné saze jsou spáleny, aby bylo možné tohoto dosáhnout tak je nutné, aby teplota výfukových plynů dosáhla přibližně 600-650°C, což je přibližný bod vzplanutí sazí. Při spalování dochází k reakci s kyslíkem a vzniká oxid uhličitý. Regenerace trvá dle podmínek 10-15 minut a poté je filtr opět prázdný [4][31].

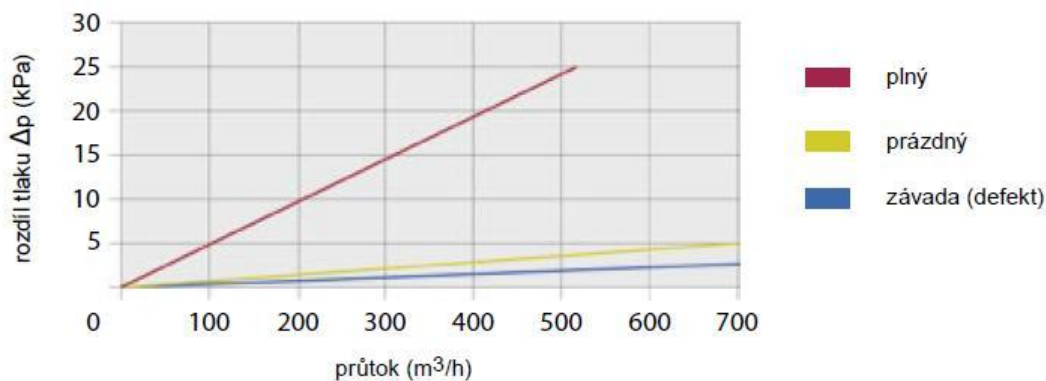
V případě systemu s aditivu je obtížné dosáhnout takto vysoké teploty výfukových plynů (z důvodu umístění filtru příliš daleko od motoru). Do systému je tedy přidáváno aditivum. Jedná se o kapalnou látku obsahující železo, která snižuje bod vzplanutí sazí na přibližně 500°C. Aditivum je automaticky dávkováno z vlastní nádržky do palivové nádrže po každém natankování, jeden litr aditiva vystačí přibližně na 2800 litrů paliva (celkově přibližně 120 000km, poté je nutné aditivum doplnit) [31].

V případě systemu bez aditiv slouží pro spálení sazí pouze vlastní teplota výfukových plynů. Filtr je umístěn hned za turbodmychadlem, aby nedošlo k příliš velkému zchladnutí výfukových plynů [31].

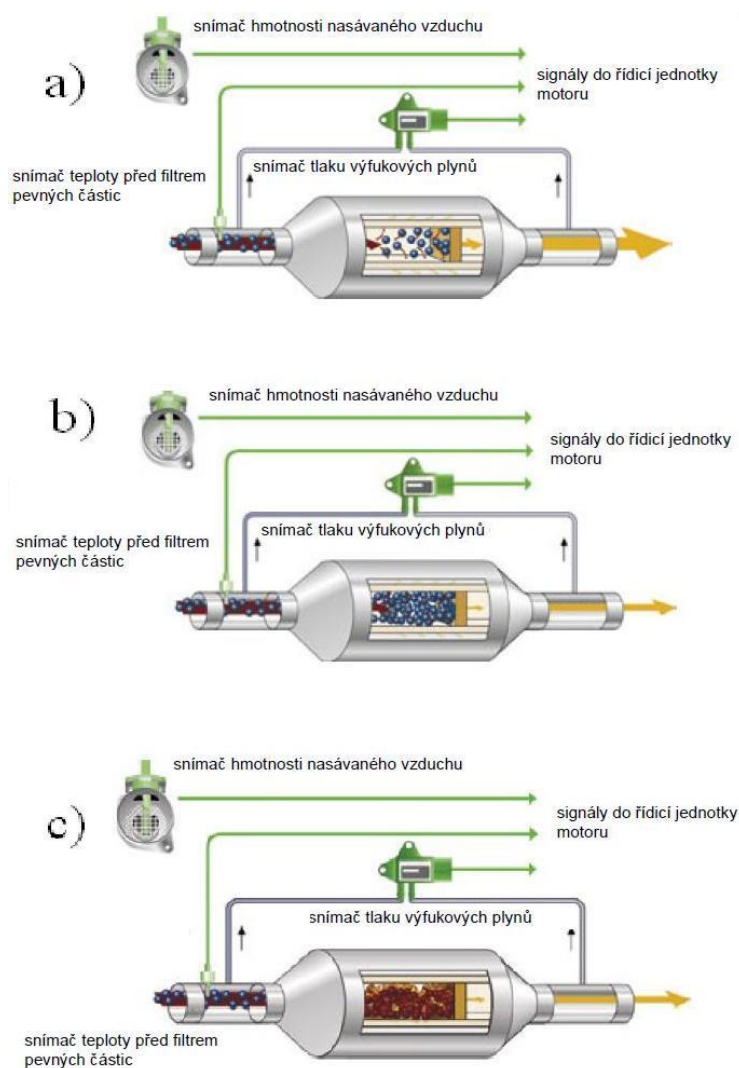
V procesu regenerace je po hlavním vstříku, vstříknuto ještě další malé množství paliva, které má za úkol zvýšit teplotu výfukových plynů z přibližně 350-500°C na 600-650°C nutnou pro regeneraci. Dále dojde k odpojení zpětného vedení výfukových plynů, regulování plnicího tlaku a množství nasávaného vzduchu v sání motoru [31].



Míra zaplnění filtru se vyhodnocuje z odporu proudění plynů ve filtru pevných částic. Ten získá z rozdílu hodnot naměřených snímači tlaku výfukových plynů umístěných před a za filtrem a průtoku výfukových plynů (odpovídá přibližně průtoku vzduchu v sání a teplotě výfukových plynů před filtrem) [31].



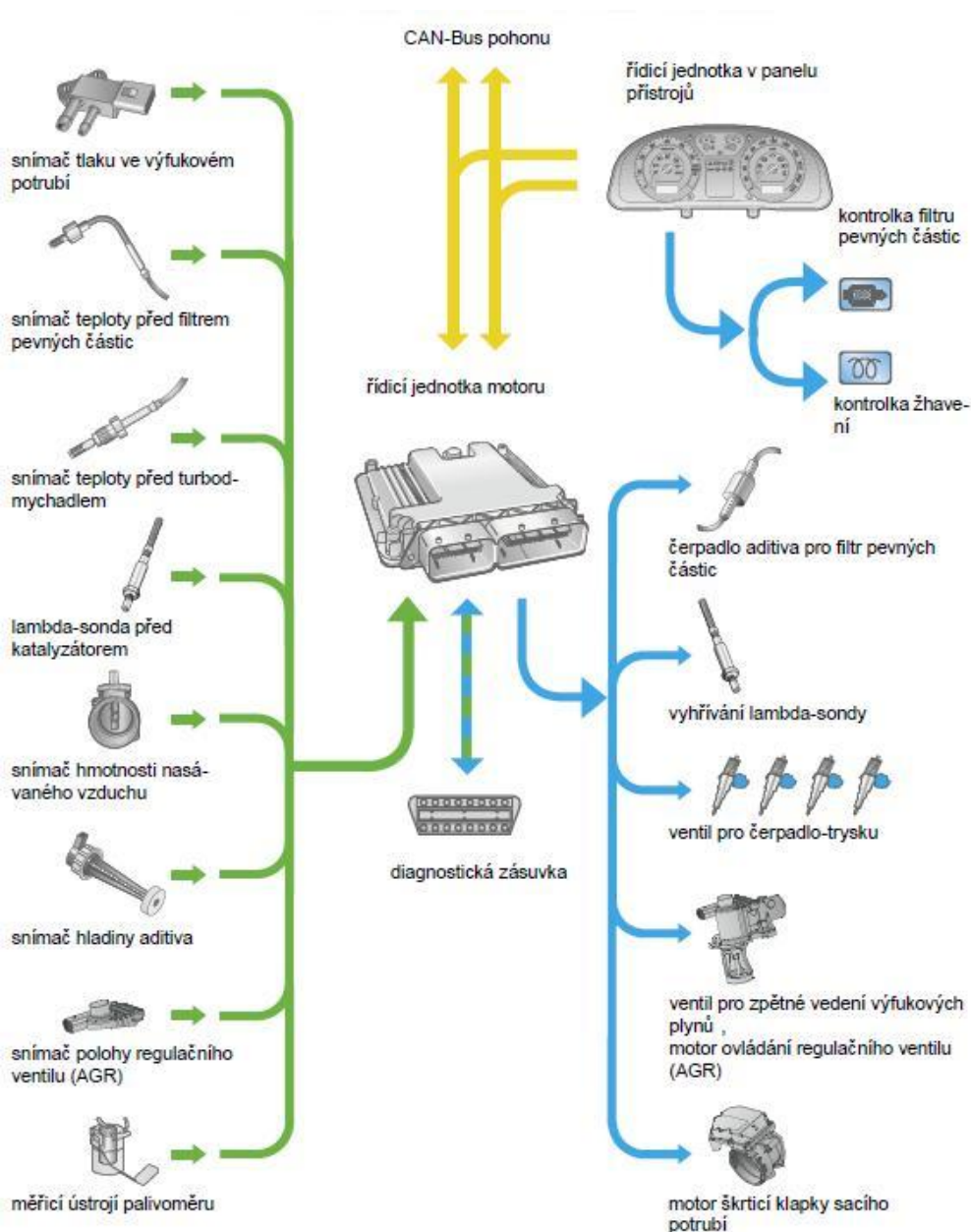
Graf 4-2 Závislost rozdílu tlaku před a za filtrem a průtoku výfukových plynů na zanesení filtru pevných částic pevných částic [31]



Obr. 4-12 Prázdný filtr (a), zaplněný filtr (b) a regenerace filtru (c) [31]



SYSTEM ŘÍZENÍ



Obr. 4-13 Schéma řízení filtru pevných částic - systém s aditivu [31]

Přehled snímačů:

- Snímač tlaku ve výfukovém potrubí
Slouží k vyhodnocení míry zaplnění filtru. V případě výpadku signálu probíhá regenerace periodicky po určité ujeté vzdálenosti nebo čase. Dlouhodobý provoz takto není možný a po určitém čase se na přístrojové desce zobrazí kontrolka [31].
- Snímač teploty před filtrem
Slouží k vyhodnocení míry zaplnění filtru a jako ochrana před výfukovými plyny o příliš vysoké teplotě. V případě výpadku signálu se systém chová, jako v případě výpadku snímače tlaku ve výfukovém potrubí [31].



- Snímač teploty před turbodmychadlem
Slouží pro určení okamžiku dodatečného vstřiku a vstřikovaného množství pro zvýšení teploty výfukových plynů. V případě výpadku signálu regenerace neproběhne [31].
- Lambda sonda před katalyzátorem
Slouží pro určení okamžiku dodatečného vstřiku a vstřikovaného množství pro zvýšení teploty výfukových plynů. V případě výpadku signálu regenerace probíhá, ne však zcela ideálně [31].
- Snímač hmotnosti nasávaného vzduchu
Slouží k určení míry zaplnění filtru. V případě výpadku signálu probíhá regenerace jako v případě výpadku signálu snímače tlaku ve výfukovém potrubí [31].
- Snímač hladiny aditiva
Slouží k upozornění na nízkou hladinu aditiva. Při nízkém množství aditiva regenerace neprobíhá [31].

Přehled akčních členů:

- Čerpadlo aditiva pro filtr pevných částic
Pístové čerpadlo dodávající aditivum do palivové nádrže [31].
- Kontrolka filtru pevných částic
Rozsvítí se v případě, že není možno dosáhnout regenerace filtru – např. důsledkem krátkých jízd. Hrozí poškození filtru pevných částic i samotného motoru [31].

FILTR PEVNÝCH ČÁSTIC A VSTŘIKOVÁNÍ ČERPADLO-TRYSKA

Motory se vstřikováním čerpadlo-tryska nejsou s filtrem pevných částic tak dobře sladěny, jako například systém Common-rail. To je způsobeno hlavně nepružností systému čerpadlo-tryska v případě provádění regeneraci. Systém pracuje na mechanickém principu, takže jeho schopnost provádět několik vstřiků na jeden pracovní cyklus jsou dosti omezené. Situace je ještě horší pokud se vozidlo provozuje hlavně na krátké vzdálenosti, kdy není systém schopen provést kompletní regeneraci. Dochází tak k předčasným ukončením regenerací, jejíž hlavní problém tkví v ředění oleje naftou. Systém vstříkne regenerační dávku paliva, pokud je ovšem regenerace předčasně ukončena, uplívá toto palivo na stěnách válce a následně je pístními kroužky setřeno a dostane se do oleje. S rostoucím množstvím takto přerušovaných regenerací roste ředění oleje naftou a klesá mazací schopnost oleje. Můžeme pozorovat přibývání hladiny oleje (přibýváním nafty o oleji).

Příchod emisní normy Euro 5 mělo splnit nasazení piezokrystalicky ovládaných ventilů vstřikovacích jednotek (umožňujících více vstřiků na cyklus) spolu se standardním filtrem pevných částic. Toto spojení se ovšem ukázalo jako velice problematické a bylo od něj upuštěno (viz. 2.0 TDI PD 125kW). Koncern Volkswagen v roce 2007 s příchodem emisní

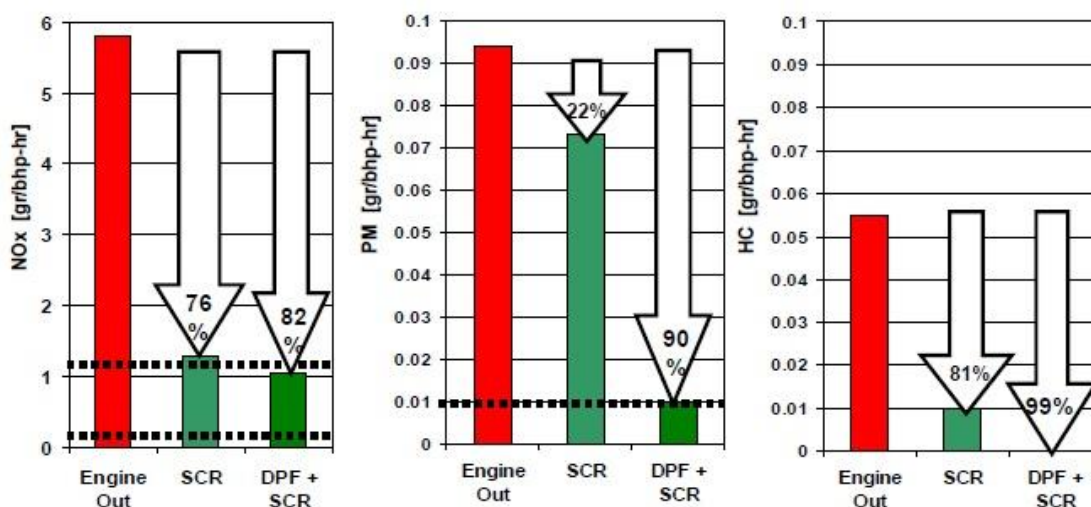


normy Euro 5 zcela upustil od systému vstřikování čerpadlo-tryska a přešel na systém vstřikování Common-rail.

4.3.2 SELEKTIVNÍ KATALYTICKÁ REDUKCE (SCR)

VÝZNAM A POPIS SYSTÉMU

Slouží k snižování emisí NO_x a dosahuje účinnosti až 85-95%. Využit hlavně u nákladních vozů, zemědělské techniky nebo větších vozů (např. Mercedes-Benz G).



Obr. 4-14 Vliv technologie SCR a filtru pevných částic na snížení emisí NO_x, pevných částic a HC (měřeno na vozidle MACK E7, 12l, 355/380 HP) [56]

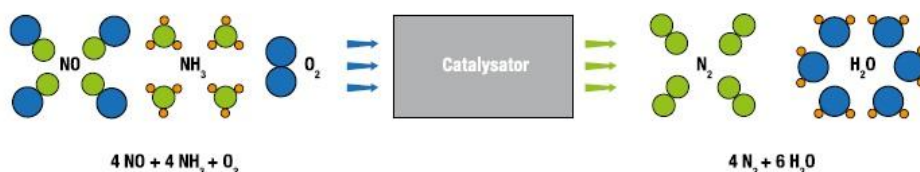
Jedná se o soustavu skládající se z oxidického katalyzátoru, za kterým následuje vlastní katalyzátor SCR a dávkovacího zařízení, které vstřikuje redukční činidlo před SCR katalyzátor v závislosti na zatížení motoru. Vlastní vnitřní plocha SCR katalyzátoru je opatřena vrstvami titanu, wolframu a vanadu. Systém může být proveden i v kombinaci s filtrem pevných částic jako jeden kus, např. koncern PSA [3][4][53].



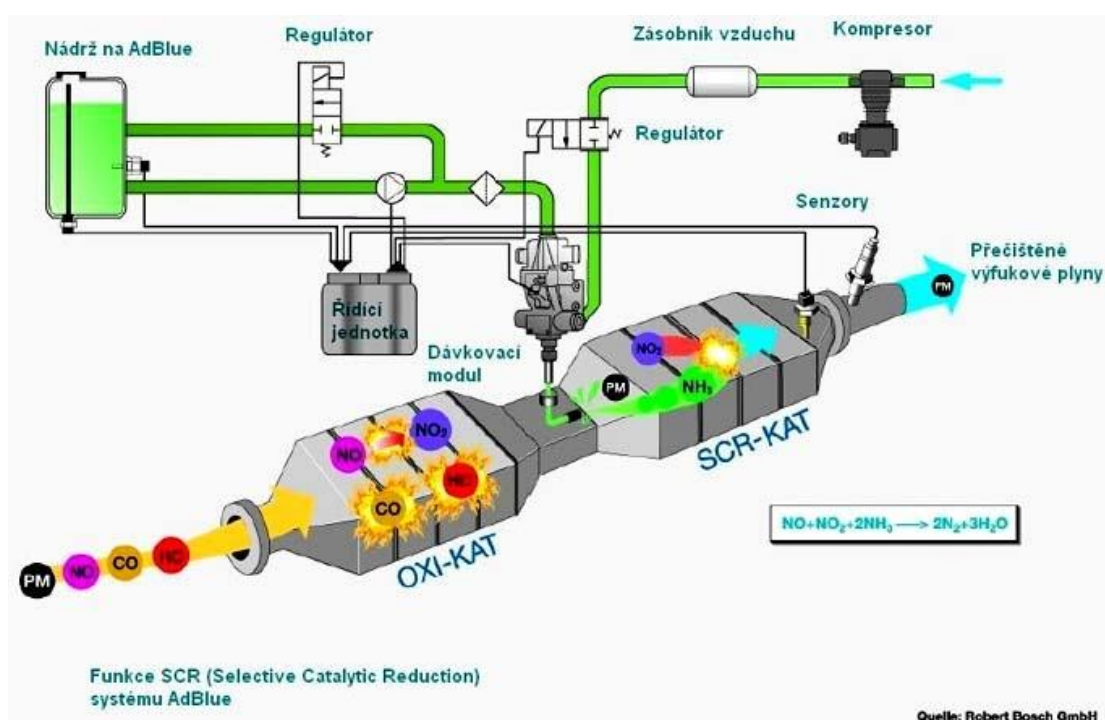
Obr. 4-15 Kombinace filtr pevných částic (vlevo) a SCR katalyzátor (vpravo) - motor blueHDI Euro 6 [53]



System pracuje na principu vstřikování redukčního činidla do výfukového potrubí, před SCR katalyzátorem. Hydrolyzou redukčního činidla v SCR katalyzátoru vzniká amoniak, který reaguje s oxidy dusíku, které se následně rozkládají na dusík a vodní páru. Množství vypouštěných oxidů dusíku snímá snímač, který následně dává informace řídicí jednotce motoru pro regulování množství vstřikovaného činidla [3][4].

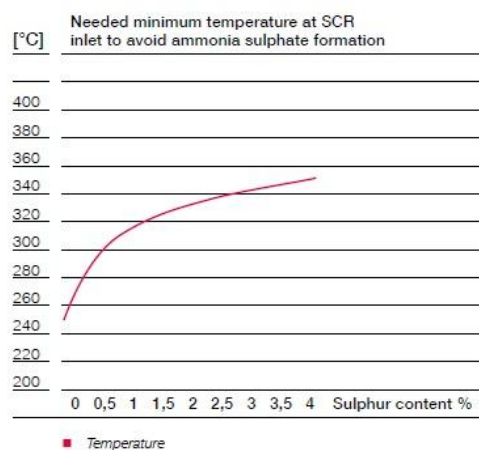


Obr. 4-16 Chemické reakce probíhající v SCR katalyzátoru [55]



Obr. 4-17 Schéma systému SRC (Tatra) [52]

Množství síry obsažené v palivu má vliv na minimální teplotu výfukových plynů, nutnou pro správnou činnost SCR katalyzátoru. S rostoucím množstvím síry tato teplota roste, což je negativní jev. Naší snahou je, aby regenerace probíhala pokud možno od nejnižších teplot, ideálně již od volnoběhu [55].



Graf 4-3 Vliv obsahu síry na minimální teplotu výfukových plynů [55]



REDUKČNÍ ČINIDLO

Jako redukční činidlo se používá AdBlue (v USA označované jako DEF – Diesel Exhaust Fluid), které je složené z 32,5% močoviny a 67,5% vody. AdBlue je skladováno ve vlastní nádržce a je nutné jej po určité době opět doplnit. Spotřeba Adblue se pohybuje přibližně okolo 5% spotřeby nafty [58].



Obr. 4-18 Nádržka na AdBlue (s modrým uzávěrem) na vozidle MACK [54]

Při teplotě menší jak -11°C AdBlue začíná zamrzat. Systém proto obsahuje vyhřívanou nádrž AdBlue a vyhřívané přívodní potrubí z nádrže k dávkovacímu modulu. Při skladování při vyšších teplotách jak 32°C dochází k degradaci. Optimální teplota pro skladování je do 25°C [54][57].

AdBlue působí korozivně při kontaktu s ocelí a některými druhy kovů. V případě kontaktu je nutné dané místo vyčistit [57].



Obr. 4-19 Koroze způsobena AdBlue [57]



4.4 AKTUÁLNÍ SITUACE EMISNÍCH NOREM PRO OSOBNÍ A NÁKLADNÍ VOZY

Do nástupu emisní normy Euro 5 bývala filtrem pevných částic vybavena pouze některá vozidla. Většinou ekologicky zaměřené varianty osobních vozů, či těžší vozidla mající vyšší kouřivost (např. terénní vozy, či velkoprostorové). K plnění normy Euro 5 se již filtry pevných částic začínají objevovat „skoro“ v každém dieselovém autě. Ve vozech do 3,5 t se již začíná objevovat i technologie SCR, především u těžších vozů (např. Mercedes – Benz G).

Příchodem emisní normy Euro 6 pro nákladní vozy (platná od 1. 1. 2014) začínají být nákladní vozy vybaveny všemi třemi technologiemi úpravy spalin. Jedná se o zpětnou recirkulaci výfukových plynů (EGR systém), filtr pevných částic a SCR technologii. Oproti normě Euro 5 je nutné snížit emise NO_x z 2,0 g/kWh na 0,46g/kWh a pevných částic z 0,03g/kWh na 0,01g/kWh a tyto hodnoty zaručit po dobu 7 let, či ujetí 700 000km. Splnění tohoto vede přes vysoké vstřikovací tlaky (systém Common rail, kromě Scanie se systémem XPI) a VGT turbodmychadla. Upravené vodní hospodářství chladicí EGR systém, ovšem s ohledem na dodržení správné teploty výfukových plynů pro systém SCR. Každý výrobce nákladních vozů přistoupil k splnění uvedené normy po svém [15].

Iveco si vystačilo pouze se systémem SCR a filtrem pevných částic. Tento systém bylo ale nutno důkladně optimalizovat. *Mercedes – Benz* užil duté kompozitní vačkové hřídele snižující hmotnost, systém variabilního časování ventilů. Americký *Cummins* se snažil integrovat co nejvíce zařízení do bloku motoru, elektrické svazky a vedení zalil do pružné pěny. Snížil počet pístních kroužků, upravil olejové hospodářství. *Volvo* použilo nechlazený EGR systém, který využívá k zvýšení teploty výfukových plynů u studeného motoru, aby bylo rychleji dosaženo optimální teploty pro činnost SCR systému [15].



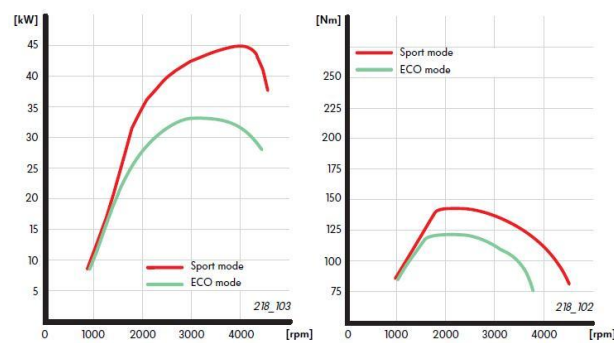
5 MOTORY KONCERNU VOLKSWAGEN SE VSTŘIKOVÁNÍM ČERPADLO-TRYSKA

5.1 MOTOR 1.2 TDI PD

5.1.1 PŘEHLED A KONSTRUKCE JEDNOTLIVÝCH MOTORŮ

Tab. 5-1 Technické údaje motoru 1.2 TDI PD 45/33 kW [39]

1.2 TDI PD 45/33 kW	
Kód motoru	ANY
konstrukce	3 válcový řadový motor
obsah	1191 cm ³
vrtání	76,5 mm
zdvih	86,7 mm
kompresní poměr	19,5 : 1
Pořadí zapalování	1 - 2 - 3
max. výkon	45 kW při 4000 min ⁻¹ (v eko módu 33 kW při 3000 min ⁻¹)
max. krouticí moment	140 Nm při 1800 min ⁻¹ až 2400 min ⁻¹ (v eko módu 120 Nm při 1600 min ⁻¹ až 2400 min ⁻¹)
řídící jednotka motoru	Bosch EDC 15P
palivo	motorová nafta min. cetanové číslo 49 nebo bionafta



Obr. 5-1 Výkonová a momentová charakteristika motoru 1.2 TDI PD v normálním a ekonomickém módu [39]

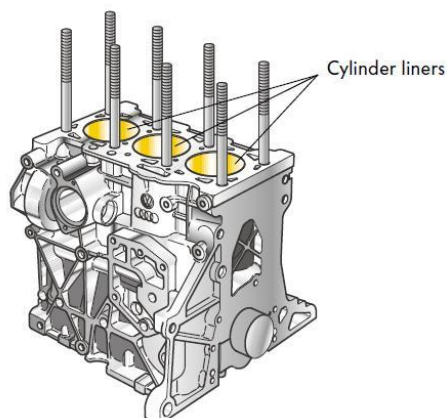


Obr. 5-2 Motor 1.2 TDI PD [67]



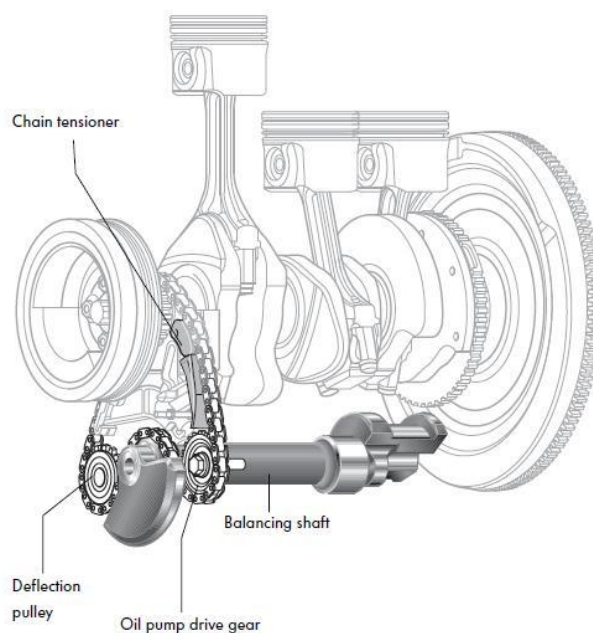
Konstrukce motoru:

- Blok válců je z hliníkové slitiny (první diesellový model koncernu VW s blokem válců odlitým z hliníku), nalisované vložky válců jsou litinové [39].



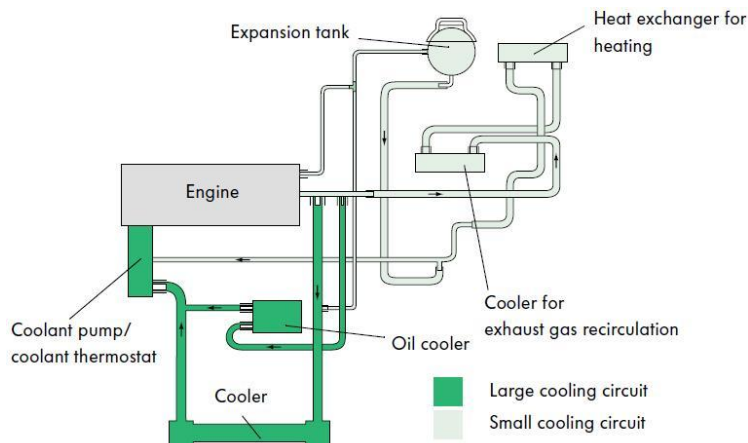
Obr. 5-3 Blok válců s vložkami [40]

- Z důvodu snížení vibrací obsahuje motor vyvažovací hřídel, otáčející se opačným směrem než kliková hřídel. Pohon řešen pomocí řetězu, který zároveň pohání i olejové čerpadlo [39].



Obr. 5-4 Vyvažovací hřídel [39]

- Lichoběžníkový tvar uložení pístu a ojnice [40].
- Chladič oleje je integrován ve velkém okruhu chladicí kapaliny, což umožňuje rychlejší dosažení provozní teploty a snížení spotřeby [40].
- Rozvody poháněny ozubeným řemenem [40].



Obr. 5-5 Umístění chladiče oleje [40]

5.1.2 UPLATNĚNÍ MOTORU V JEDNOTLIVÝCH MODELECH

Tab. 5-2 Přehled verzí a modelů, kde byl motor 1.2 TDI PD nabízen [18]

verze	výkon	Označení motoru	vozidla
1.2 TDI	45kW	ANY	Audi A2; VW Lupo 3L

- VW Lupo 3L byl model slibující velmi nízkou spotřebu 3 l/100 km. Motor byl spojen s robotizovanou převodovkou. Aby byl model schopen dosáhnout takto nízké spotřeby podrobil se velkému snižování hmotnosti. Samotné vozidlo vážilo pouze 830 kg. Bylo použito velké množství hliníku, který byl použit na dveřích, kapotě, zadních výklopných dveřích, podmotorovém rámu, závěsích kol, rámu sedaček. Vnitřek volantu je z hořčíku, pružiny jsou tenčí a vyrobeny z vysokopevnostní oceli [18].



Obr. 5-6 Volkswagen Lupo 3L [71]

5.1.3 SERVISNÍ ZHODNOCENÍ MOTORU

- Z hlediska spolehlivosti s motorem problémy nebývají [18].



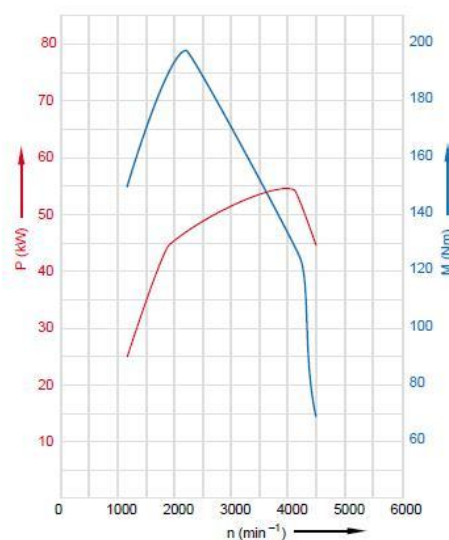
5.2 MOTORY 1.4 TDI PD

5.2.1 PŘEHLED A KONSTRUKCE JEDNOTLIVÝCH MOTORŮ

Motor 1.4 TDI PD vychází z motoru 1.9 TDI PD, který byl zkrácen o jeden válec se zachováním původní rozteče a vrtání válce [27].

Tab. 5-3 Technické údaje motoru 1.4 TDI PD 55kW [27]

1.4 TDI PD 55kW	
Kód motoru	AMF, BAY, BHC
konstrukce	3 válcový řadový motor
obsah	1422 cm ³
vrtání	79,5 mm
zdvih	95,5 mm
kompresní poměr	19,5 : 1
ventilů na válec	2
pořadí zapalování	1 - 2 - 3
max. výkon	55 kW při 4000 min ⁻¹
max. krouticí moment	195 Nm při 2200 min ⁻¹
řídící jednotka motoru	Bosch EDC 15 P
palivo	motorová nafta min. 49 CZ - DIN EN 590, nebo bionafta - DIN E 51 606
emisní norma	EU3



Obr. 5-7 Výkonová a momentová charakteristika motoru 1.4 TDI PD 55kW [27]

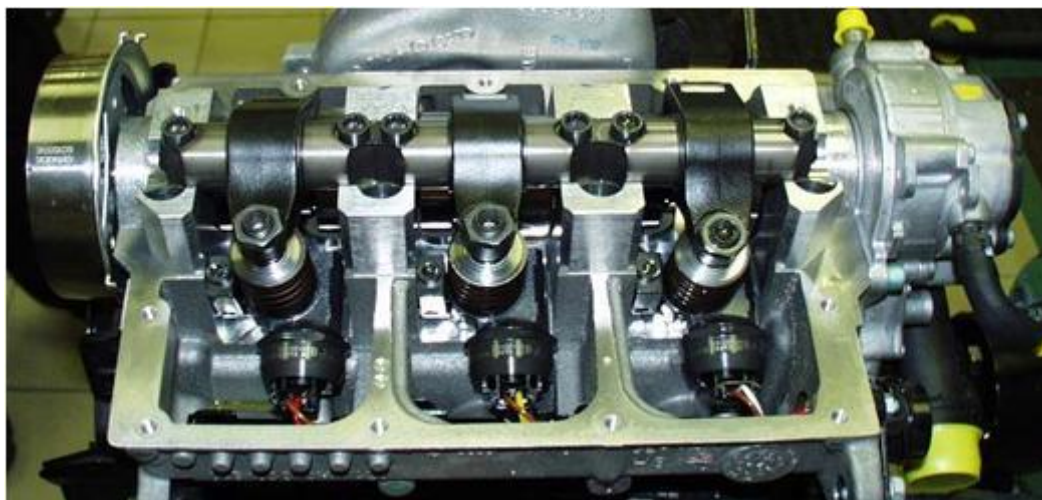


Obr. 5-8 Motor 1.4 TDI PD 55kW [27]



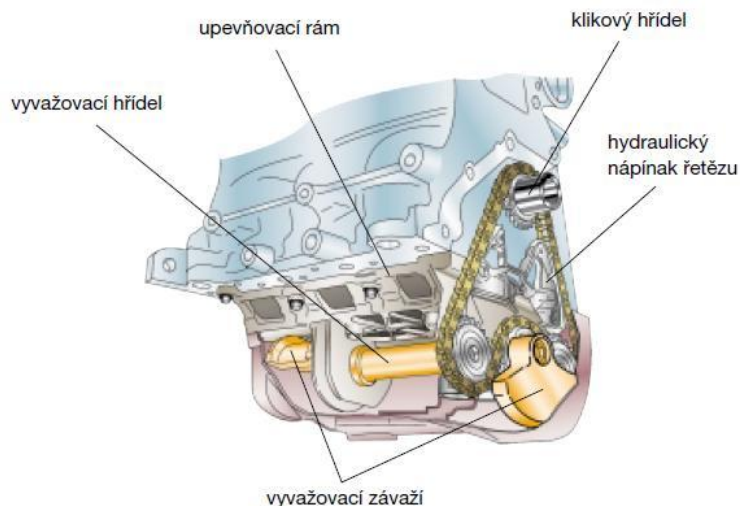
Konstrukce motoru:

- Bloku motoru odlit z šedé litiny, hlava válců je z hliníkové slitiny [27].



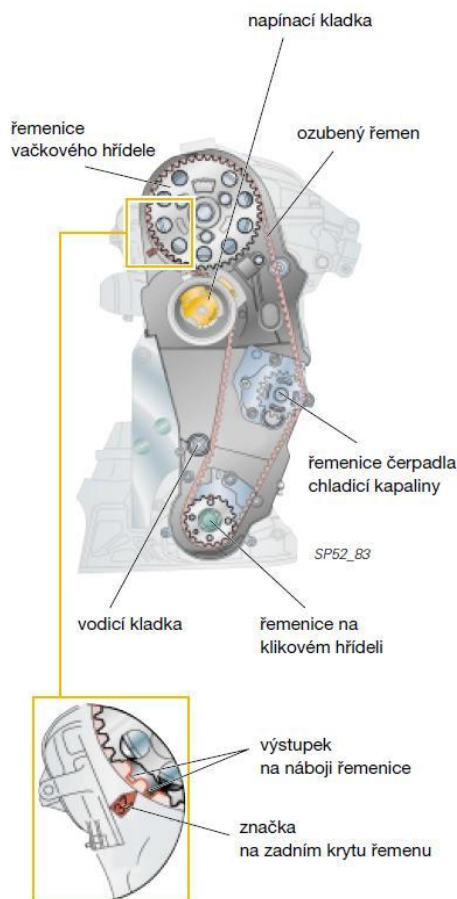
Obr. 5-9 Hlava válců s jednotkami čerpadlo-tryska [36]

- Motor obsahuje dvě vyvažovací hřídele zajišťující tlumení vibrací a měkký chod motoru. Vyvažovací hřídele jsou uloženy v upevňovacím rámu, přišroubovaném na blok motoru a otáčejí se stejnou rychlostí, ale opačným směrem než kliková hřídel motoru. Pohon je řešen pomocí řetězu [27].



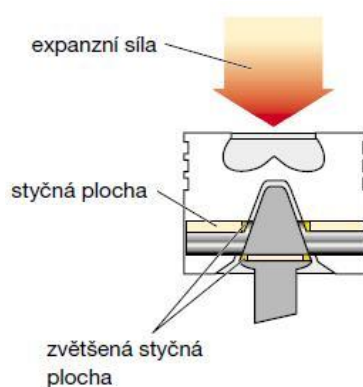
Obr. 5-10 Umístění vyvažovacích hřídelí [27]

- Rozvody jsou poháněny ozubeným řemenem. Z důvodu snížení vysokého namáhání ozubeného řemenu byl zaveden tlumič kmitů umístěný v řemenici vačkového hřídele, napínací kladka zajišťující rovnoměrné napnutí řemene a byl použit řemen s šířkou 30 mm [27].



Obr. 5-11 Rozvody motoru 1.4 TDI PD [27]

- Lichoběžníkové uložení ojnice v pístu. Tento typ uložení zvyšuje styčnou plochu. Dojde tak k snížení tlaku vzniklého od expanzní síly působící na píst a snížení namáhání ojnice, pístního čepu a pístu [27].



Obr. 5-12 Lichoběžníkové uložení ojnice [27]

- Olejové čerpadlo s vnitřním ozubením je připevněno na upínací rám a poháněno od klikové hřídele řetězem [27].
- Podtlakové čerpadlo je umístěno na hlavě válce a poháněno vačkovým hřídelem [27].
- Čerpadlo chladicí kapaliny integrováno v bloku motoru [27].



Z důvodu splnění emisní normy EURO 4 byly z této varianty následně odvozeny varianty s výkonem 51kW a 59kW.

Tab. 5-4 Technické údaje motoru 1.4 TDI PD 51kW [32]

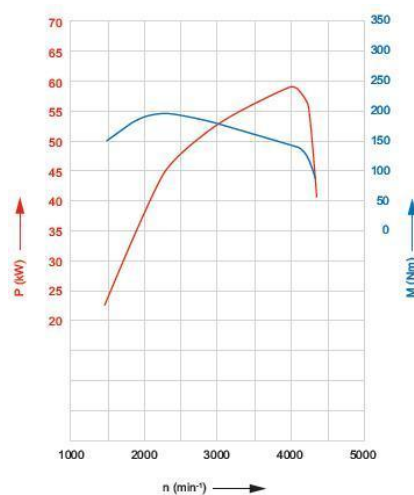
1.4 TDI PD 51kW	
kód motoru:	BWB, BNM
konstrukce:	řadový motor
počet válců:	3
ventilů na válce:	2
obsah:	1422 cm ³
vrtání:	79,5 mm
zdvih:	95,5 mm
kompresní poměr:	19,5
max. výkon:	51 kW při 4000 min ⁻¹
max. krouticí moment:	155 Nm při 1600-2800 min ⁻¹
řídící jednotka:	BOSCH EDC15P+
palivo:	nafta min. 49 CZ
úprava výfuk. plynů:	zpětné vedení výfukových plynů; oxidační katalyzátor
emisní norma:	EU4



Obr. 5-13 Výkonová a momentová charakteristika motoru 1.4 TDI PD 51kW [32]

Tab. 5-5 Technické údaje motoru 1.4 TDI PD 59kW [32]

1.4 TDI PD 59kW	
kód motoru:	BMS, BNV
konstrukce:	řadový motor
počet válců:	3
ventilů na válce:	2
obsah:	1422 cm ³
vrtání:	79,5 mm
zdvih:	95,5 mm
kompresní poměr:	19,5
max. výkon:	59 kW při 4000 min ⁻¹
max. krouticí moment:	195 Nm při 2200 min ⁻¹
řídící jednotka:	BOSCH EDC15P+
palivo:	nafta min. 49 CZ
úprava výfuk. plynů:	zpětné vedení výfukových plynů; oxidační katalyzátor; filtr pevných částic (u verze BMS)
emisní norma:	EU4



Obr. 5-14 Výkonová a momentová charakteristika motoru 1.4 TDI PD 59kW [32]

- Nabízena byla ještě verze s 66 kW při 4000 min⁻¹; 230 Nm při 1900-2300 min⁻¹ [81].



Obr. 5-15 Motor 1.4 TDI PD 59kW [65]

5.2.2 UPLATNĚNÍ MOTORU V JEDNOTLIVÝCH MODELECH

Tab. 5-6 Přehled verzí a modelů, kde byl motor 1.4 TDI PD nabízen [81]

verze	výkon	Označení motoru	vozidla
1.4 TDI	51kW	BNM	VW Polo; Škoda Fabia, Roomster; Seat Ibiza, Cordoba
		BWB	VW Polo
	55kW	AMF	VW Polo, Lupo; Seat Arosa, Ibiza, Cordoba; Audi A2; Škoda Fabia
		BAY	VW Polo
		BHC	Audi A2
	59kW	BMS	VW Polo; Seat Ibiza, Cordoba; Škoda Fabia, Roomster
		BVN	VW Polo; Seat Ibiza, Cordoba; Škoda Fabia, Roomster
	66kW	ATL	VW Polo; Audi A2

5.2.3 SERVISNÍ ZHODNOCENÍ MOTORU

- Tento motor je považován spolehlivostí se skoro rovnající jednotce 1.9 TDI PD. Žádné závažné problémy se zde nevyskytují [17].
- Problémy mohou hlavně nastat, pokud je model vybaven filtrem pevných částic a jezdí spíše v městském provozu, kdy bývají problémy s vypalováním sazí z filtru a následně pak dochází k ucpávání filtru [17].
- Jako hlavním problémem tohoto motoru bývá označována spíše kultura chodu a hlučnost [17].

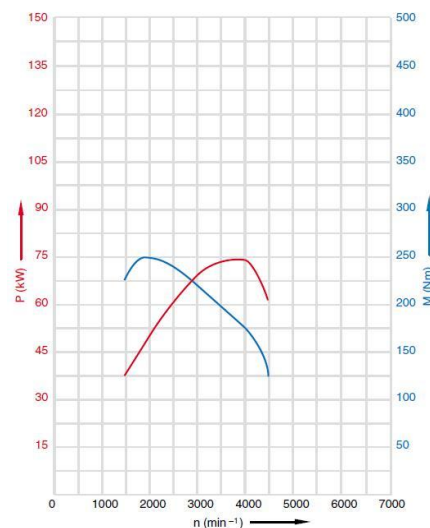


5.3 MOTORY 1.9 TDI PD

5.3.1 PŘEHLED A KONSTRUKCE JEDNOTLIVÝCH MOTORŮ

Tab. 5-7 Technické údaje motoru 1.9 TDI PD 74kW [24]

1.9 TDI PD 74kW	
Kód motoru	ATD, AXR, BEW, BMT
konstrukce	4 válcový řadový motor
obsah	1896cm ³
vrtání	79,5 mm
zdvih	95,5 mm
kompresní poměr	19 : 1
ventilů na válec	2
max. výkon	74 kW při 4000 min ⁻¹
max. krouticí moment	240 Nm při 1900 až 2400 min ⁻¹
řídící jednotka motoru	Bosch EDC 15 P
palivo	motorová nafta min. ČČ 49, nebo bionafta min. ČČ 48
emisní norma	EU3



Obr. 5-16 Výkonová a momentová charakteristika motoru 1.9 TDI PD 74kW [26]



Obr. 5-17 Motor 1.9 TDI PD 74kW [38]

Konstrukce motoru:

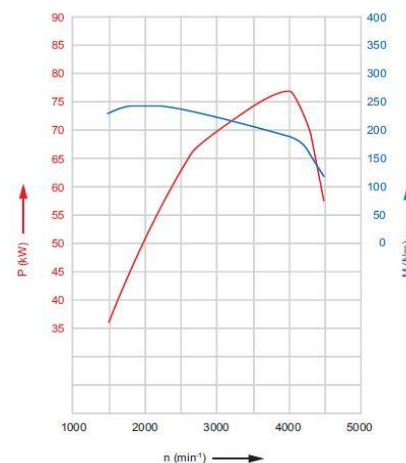
- Základem motoru byla jednotka 1.9 TDI s rotačním vstřikovacím čerpadlem [24].
- Motor má stejně jako jednotka 1.4 TDI PD lichoběžníkový tvar náboje pístu a ojnice [24].
- Rozvody opět poháněny ozubeným řemenem [24].
- Blok válců je odlit z šedé litiny, hlava válců je z hliníkové slitiny [24].



- Vymezení ventilových vůlí je provedeno pomocí hrníčkových zdvihátek [24].
- Nabízeny i varianty (AVB, AVQ) s krouticím momentem 250Nm při 1900 min⁻¹ [81].

Tab. 5-8 Technické údaje motoru 1.9 TDI PD 77kW [28]

1.9 TDI PD 77kW	
Kód motoru	BJB, BKC, BLS, BSV, BXE
konstrukce	4 válcový řadový motor
obsah	1896cm ³
vrtání	79,5 mm
zdvih	95,5 mm
kompresní poměr	19 : 1
ventilů na válec	2
max. výkon	77 kW při 4000 min ⁻¹
max. krouticí moment	250 Nm při 1900 min ⁻¹
řídící jednotka motoru	Bosch EDC 16
palivo	motorová nafta min. cetanové číslo 49
emisní norma	BJB-EU3; EU4



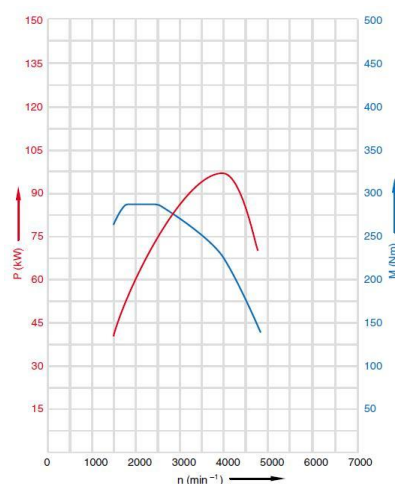
Obr. 5-18 Výkonová a momentová charakteristika motoru 1.9 TDI PD 77kW [33]

Konstrukce motoru:

- Konstrukce motoru je shodná s jednotkou 1.9 TDI PD 74 kW, kdy vyššího výkonu bylo dosaženo softwarově v řídicí jednotce motoru.
- Motor přichází s nástupem emisních norem EURO 4.
- Keramické žhavicí svíčky (některé verze) [33].
- Zpětné vedení výfukových plynů s chlazením [33].
- Možnost vybavení filtrem pevných částic [33].
- Dále nabízena varianta (BSW) s krouticím momentem 240Nm při 1800 min⁻¹ [81].

Tab. 5-9 Technické údaje motoru 1.9 TDI PD 96kW [26]

1.9 TDI PD 96kW	
Kód motoru	AWX
konstrukce	4 válcový řadový motor
obsah	1896cm ³
vrtání	79,5 mm
zdvih	95,5 mm
kompresní poměr	19 : 1
ventilů na válec	2
max. výkon	96 kW při 4000 min ⁻¹
max. krouticí moment	285 Nm při 1750 - 2500 min ⁻¹
řídící jednotka motoru	Bosch EDC 15P
palivo	motorová nafta min. cetanové číslo 49
emisní norma	EU3



Obr. 5-19 Výkonová a momentová charakteristika motoru 1.9 TDI PD 96kW [26]



Motor vychází z jednotky 1.9 TDI PD 74kW, kdy oproti výchozímu motoru došlo k těmto úpravám [37]:

- Softwarové zvýšení výkonu motoru.
- Zvětšení průměrů otvorů vstřikovací trysky o 18%.
- Zvětšení průměrů hlavních ložisek a zvýšení pevnosti šroubů, zesílené pístní čepy.
- Upravené turbo.
- Kliková hřídel a ojnice z jiného materiálu, kvalitnější materiál uložení klikové hřídele.
- Hliníkový povlak pístů z důvodu snížení tepelného zatížení.
- Nové čtyřvrstvé těsnění pod hlavou válců.
- Zvýšení množství dodávaného oleje o 25%.
- Větší plocha chladiče. [37]

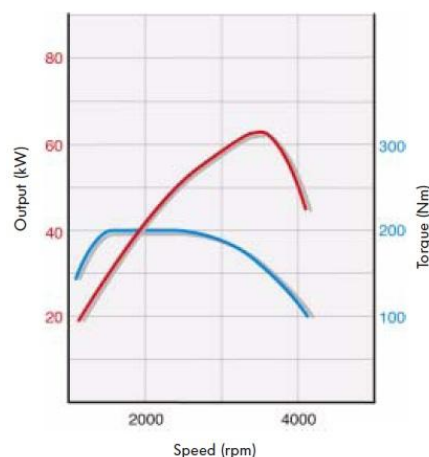
Další nabízené varianty motoru 1.9 TDI PD 96kW (ASZ, AVF, BLT) s krouticím momentem 310Nm při 1900 min⁻¹ [81].

Další nabízené varianty motoru 1.9 TDI PD byly 55kW, 66kW, 85kW, 110kW a 118kW [81].

5.3.2 APLIKACE MOTORU 1.9 TDI PD V UŽITKOVÝCH VOZECH

Tab. 5-10 Technické údaje motoru 1.9 TDI PD 63kW [43]

1.9 TDI PD 63kW	
Kód motoru	AXC
konstrukce	4 válcový řadový motor
obsah	1896cm ³
vrtání	79,5 mm
zdvih	95,5 mm
kompresní poměr	18 : 1
ventilů na válec	2
max. výkon	63 kW při 3500 min ⁻¹
max. krouticí moment	200 Nm při 1750 - 2750 min ⁻¹
řídící jednotka motoru	Bosch EDC 16
palivo	motorová nafta min. cetanové číslo 49
emisní norma	EU3

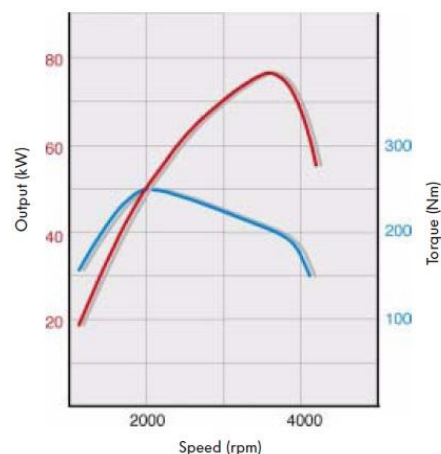


Obr. 5-20 Výkonová a momentová charakteristika motoru 1.9 TDI PD 63kW [43]



Tab. 5-11 Technické údaje motoru 1.9 TDI PD 77kW [43]

1.9 TDI PD 77kW	
Kód motoru	AXB
konstrukce	4 válcový řadový motor
obsah	1896cm ³
vrtání	79,5 mm
zdvih	95,5 mm
kompresní poměr	18 : 1
ventilů na válec	2
max. výkon	77 kW při 3500 min ⁻¹
max. krouticí moment	250 Nm při 2000 min ⁻¹
řídící jednotka motoru	Bosch EDC 16
palivo	motorová nafta min. cetanolové číslo 49
emisní norma	EU3



Obr. 5-21 Výkonová a momentová charakteristika motoru 1.9 TDI PD 77kW [43]

- Oba motory jsou konstrukčně obdobné jednotce 1.9 TDI PD 74kW, užívané v osobních vozech [43].
- Využity např. ve VW Transporter.



Obr. 5-22 Motor 1.9 TDI PD 63/77kW [43]



5.3.3 UPLATNĚNÍ MOTORU V JEDNOTLIVÝCH MODELECH

Tab. 5-12 Přehled verzí a modelů, kde byl motor 1.9 TDI PD nabízen [81]

model	výkon		Ozn.	vozidla
1.9 TDI PD	55 kW	210 Nm	BSU	VW Caddy
	66 kW	210 Nm	BRU	VW Golf, Touran
			BXF	Seat Leon, Altea; VW Golf, Touran
		BXJ	Seat Ibiza; VW Golf, Touran	
	74 kW	240 Nm	ANU	VW Sharan; Seat Alhambra; Ford Galaxy
			ATD	Audi A3; Seat Ibiza, Cordoba; Škoda Fabia, Octavia; VW Polo, Golf, Bora/Jetta, New Beetle
			AXR	Audi A3; Seat Ibiza, Cordoba, Leon; Škoda Fabia, Roomster, Octavia; VW Polo, Golf, Bora/Jetta, New Beetle
			BEW	VW Golf, Bora/Jetta, New Beetle
		250 Nm	BMT	Seat Ibiza, Cordoba; VW Polo
			AVB	Audi A4; Škoda Superb; VW Passat
	77 kW	250 Nm	AVQ	VW Touran
			BSW	Škoda Fabia, Roomster; VW New Beetle
			BJB	Seat Altea, Toledo; Škoda Octavia; VW Caddy
			BKC	Audi A3; Seat Leon, Altea, Toledo; Škoda Octavia; VW Golf, Jetta, Touran, Passat
			BSV	Škoda Superb,
			BLS	Audi A3; Seat Ibiza, Leon, Altea, Toledo; Škoda Fabia, Roomster, Octavia, Superb; VW Golf, Jetta, Touran, Passat, Caddy
			BXE	Audi A3; Seat Leon, Altea, Toledo; Škoda Octavia, Superb; VW Golf, Jetta, Touran, Passat
	85 kW	250 Nm	BPZ	Škoda Superb; VW Passat
		285 Nm	AMJ	Audi A4,A6; VW Golf, Bora/Jetta, Passat
		310 Nm	ATJ	Audi A4; VW Passat
			AUY	Seat Alhambra; Ford Galaxy; VW Golf, Bora/Jetta, Sharan
			BVK	Seat Alhambra; Ford Galaxy; VW Sharan
	96 kW	310 Nm	AWX	Audi A4,A6; Škoda Superb; VW Passat
			ASZ	Audi A3; Ford Galaxy; Seat Ibiza, Cordoba, Leon, Toledo, Alhambra; Škoda Fabia, Octavia; VW Polo, Golf, Bora/Jetta, Sharan
			AVF	Audi A4,A6; Škoda Superb; VW Passat
			BLT	Ford Galaxy; Seat Ibiza, Cordoba; Škoda Fabia; VW Polo
	110 kW	320 Nm	ARL	Ford Galaxy; Seat Leon, Toledo; VW Golf, Bora/Jetta
BTB			Seat Alhambra; VW Sharan	
118 kW	330 Nm	BPX	Seat Ibiza	
		BUK		



5.3.4 SERVISNÍ ZHODNOCENÍ MOTORU

- Nástupce motoru 1.9 TDI s rotačním čerpadlem již nenabízí takovou úspornost, platí ovšem také za velmi spolehlivý, hlavně pokud není vybaven filtrem pevných částic (pak mívá problémy s vypalováním sazí - viz. 1.4 TDI PD).
- Většina závad motoru má příčinu v prodloužených intervalech výměny oleje případně tankování nekvalitní nafty – závady turbodmychadel, opotřebené vačkové hřídele, zapečené trysky, vyviklávání vstřikovačů (způsobeno radiální silou při stlačování jednotky), rozleptaná těsnění motoru [9][13].
- Přibývání olejové náplně je způsobené ředěním oleje naftou, to nejčastěji způsobuje vadné tandemové čerpadlo, selhávání těsnění vstřikovačů (vyviklávání vstřikovačů) či často neprovedené regenerace u filtru pevných částic [9][13].
- U jednotky 1.9 TDI PD 77kW s označením BXE z roku 2008 docházelo v ojedinělých případech k praskání ojnice způsobené špatným dotažením ojničních šroubů [12].

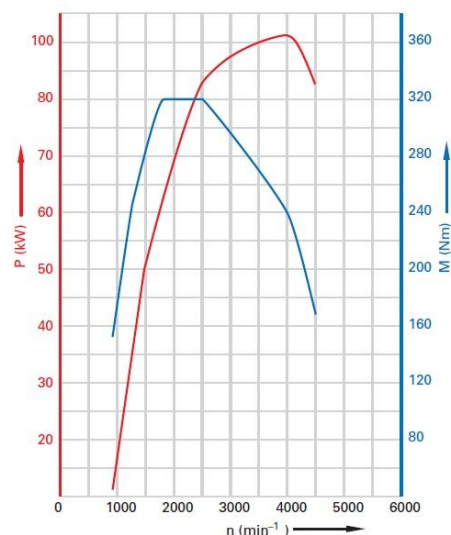


5.4 MOTORY 2.0 TDI PD

5.4.1 PŘEHLED A KONSTRUKCE JEDNOTLIVÝCH MOTORŮ

Tab. 5-13 Technické údaje motoru 2.0 TDI PD 16V 103kW [29]

2.0 TDI PD 16V 103kW	
Kód motoru	BKD, BKP, BRE
konstrukce	4 válcový řadový motor
obsah	1968 cm ³
vrtání	81 mm
zdvih	95,5 mm
kompresní poměr	18,5 : 1
ventilů na válec	4
max. výkon	103 kW* při 4000 min ⁻¹
max. krouticí moment	320 Nm při 1750 až 2500 min ⁻¹
řídící jednotka motoru	Bosch EDC 16
palivo	motorová nafta min. cetanové číslo 49
emisní norma	EU4



Obr. 5-23 Výkonová a momentová charakteristika motoru 2.0 TDI PD 16V 103kW [29]

* V nabídce byla ještě verze s kódem motoru AZV s výkonem 100kW a krouticím momentem 320 Nm určená pro belgický trh [29].

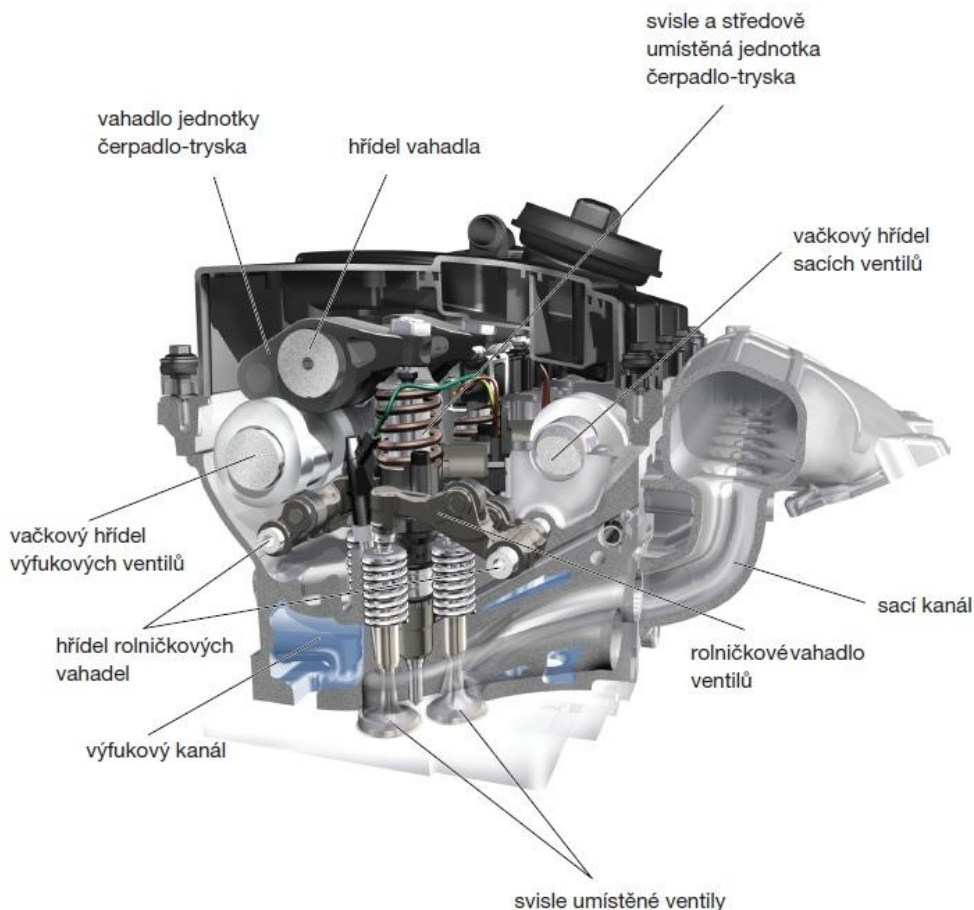


Obr. 5-24 Motor 2.0 TDI PD 103kW [29]



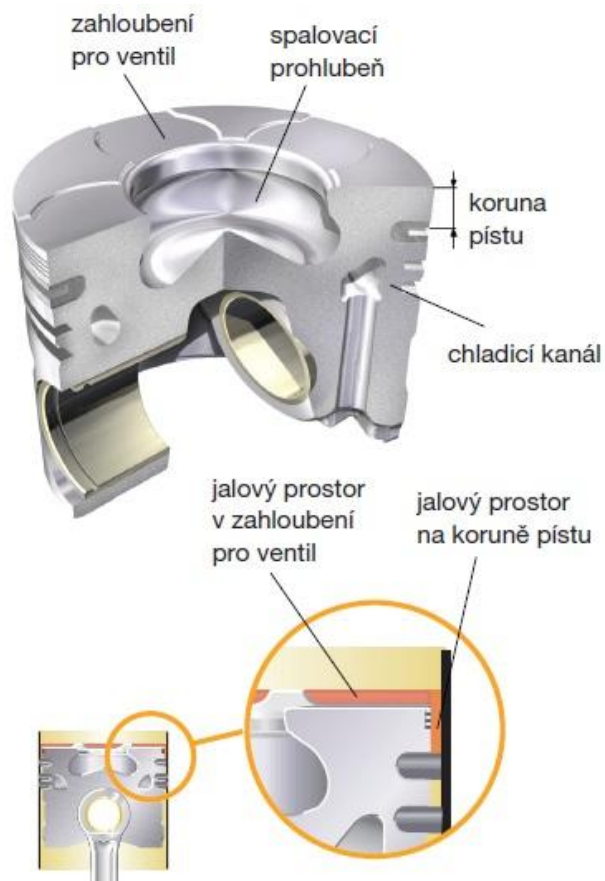
Konstrukce motoru:

- Motor vychází z jednotky 1.9 TDI PD 96kW [28].
- Hlava válců je vyrobena z hliníkové slitiny [29].



Obr. 5-25 Hlava válců 2.0 TDI PD 16V 103kW [29]

- Čtyři ventily na válec [29].
- Úpravou konstrukce pístu a snížením zahloubení pro ventily došlo k zmenšení jalového prostoru (prostor kde dochází k neúplnému spálení paliva) [29].
- Jednotky čerpadlo tryska ovládný přes vačkovou hřidel výfukových ventilů [29].
- Tandemové čerpadlo poháněno vačkovou hřidelí sacích ventilů [29].
- Vačkové hřídele uloženy v hliníkovém rámu, sloužícím zároveň k vedení kabeláže ke vstříkovacím jednotkám a žhavicím svíčkám [29].
- Rozvody poháněny ozubeným řemenem, na hřbetu opatřeným polyamidovou tkaninou [29].
- Hydraulické vymezování ventilových vůlí [29].
- Nový systém žhavení, kdy jeden z otvorů trysky tvoří zapalovací paprsek. Jedná se o paprsek, který je nasměrovaný směrem ke žhavicí svíčke [29].
- Motor může být vybaven filtrem pevných částic a soustavou vyvažovacích hřidelí [29].



Obr. 5-26 Píst a jalový prostor motoru 2.0 TDI PD 16V 103kW [29]

Tab. 5-14 Technické údaje motoru 2.0 TDI PD 8V 103kW [8] [34]

2.0 TDI PD 8V 103kW	
Kód motoru	BMM, BSS, BMP, BSY, BYL, BWD
konstrukce	4 válcový řadový motor
obsah	1968 cm ³
vrtání	81 mm
zdvih	95,5 mm
kompresní poměr	18,5 : 1
ventilů na válec	2
max. výkon	103 kW při 4000 min ⁻¹
max. krouticí moment	320 Nm při 1750 až 2500 min ⁻¹
řídící jednotka motoru	Bosch EDC 15 (16)
palivo	motorová nafta min. CČ 49
emisní norma	EU4



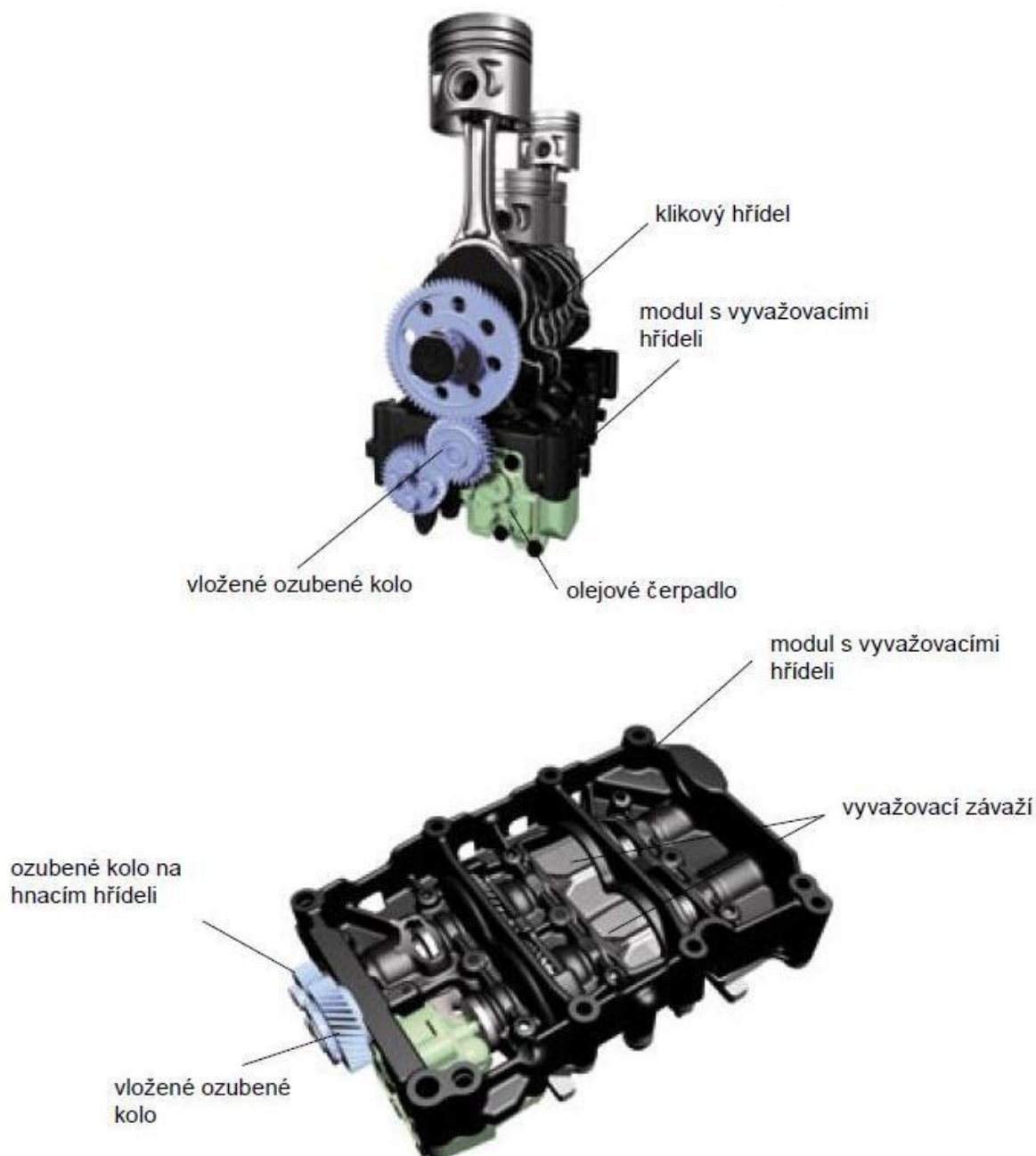
Obr. 5-27 Výkonová a momentová charakteristika motoru 2.0 TDI PD 8V 103kW [31]

- Jedná se o osmi ventilovou verzi motoru 2.0 TDI PD 103kW.



- Motor může být vybaven filtrem pevných částic a soustavou vyvažovacích hřídelí.

Modul vyvažovacích hřídelí je umístěn v olejové vaně. Vyvažovací hřídele se otáčejí dvounásobnou rychlostí oproti klikové hřídeli. Pohon pomocí ozubeného kola od klikové hřídele. V modulu je také integrované olejové čerpadlo poháněné jedním vyvažovacím hřídelem [31].

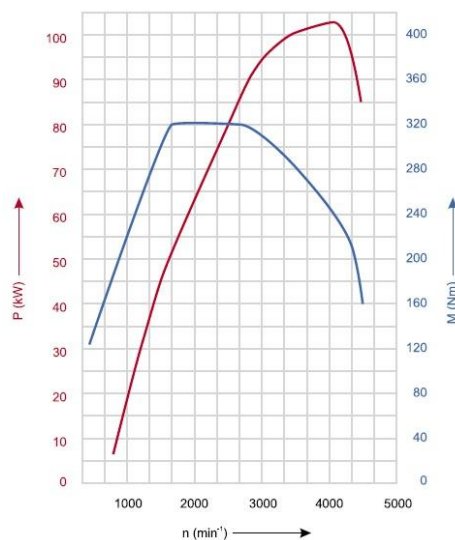


Obr. 5-28 Modul vyvažovacích hřídelí [31]



Tab. 5-15 Technické údaje motoru 2.0 TDI PD 16V 125kW [30]

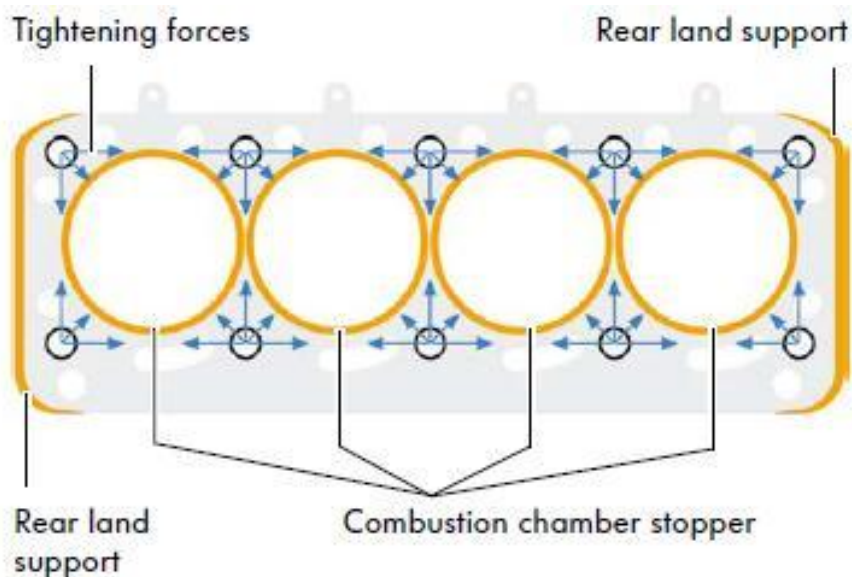
2.0 TDI PD 16V 125kW	
Kód motoru	BMR, BMN, BRD
konstrukce	4 válcový řadový motor
obsah	1968 cm ³
vrtání	81 mm
zdvih	95,5 mm
kompresní poměr	18,5 : 1
ventilů na válec	4
max. výkon	125 kW při 4200 min ⁻¹
max. krouticí moment	350 Nm při 1800 min ⁻¹
řídící jednotka motoru	Siemens Simos PPD
palivo	motorová nafta min. cetanové číslo 49
emisní norma	EU4



Obr. 5-29 Výkonová a momentová charakteristika motoru 2.0 TDI PD 125kW [30]

Konstrukce motoru:

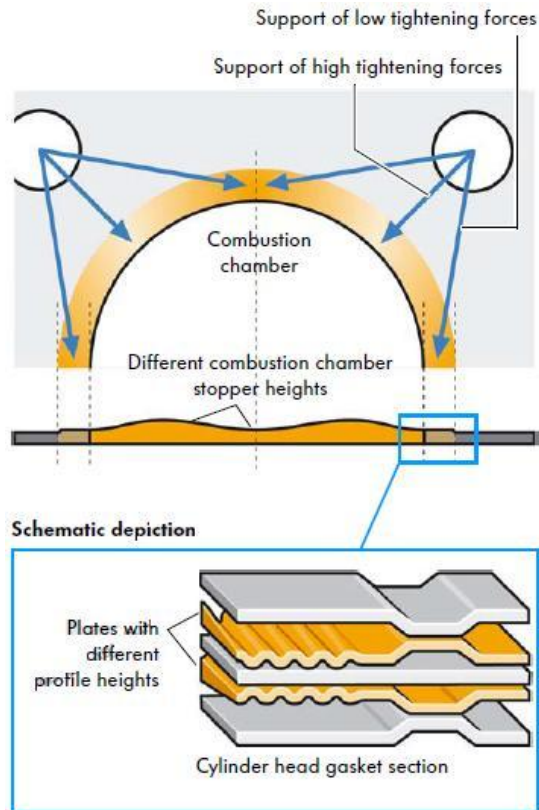
- Motor vychází konstrukčně z jednotky 2.0 TDI PD 16V 103kW [30].
- Hlava válců z hliníkové slitiny [45].
- Nové těsnění hlavy válců [45].



Obr. 5-30 Těsnění hlavy válců [45]

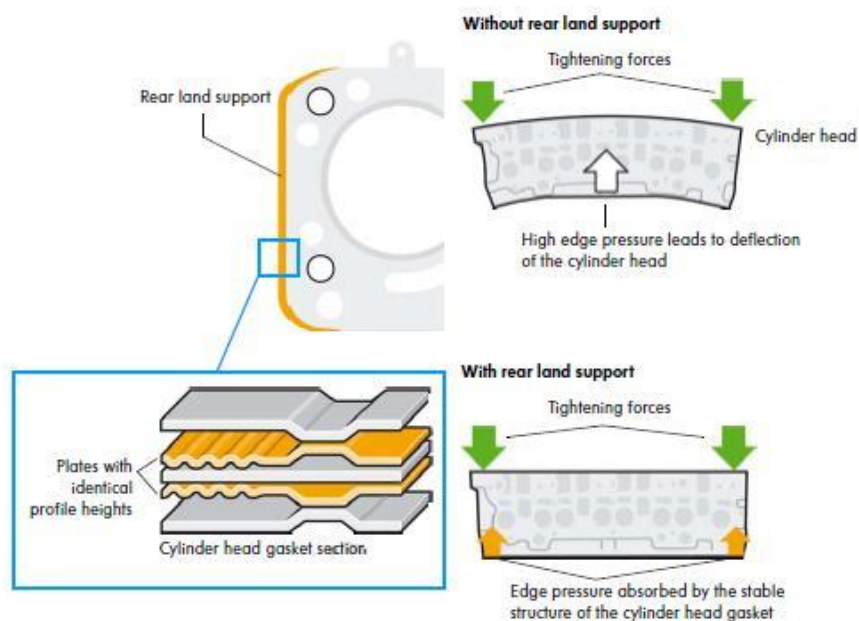
Těsnění se skládající se z 5 vrstev a má dvě speciální funkce:

- Vertikálně tvarované utěsnění spalovacího prostoru (Combustion chamber stopper)* – to se skládá z různých výšek podél hrany spalovacího prostoru, díky čemuž dochází k lepšímu rozložení síly od utahovacích šroubů (tightening forces) [45].



Obr. 5-31 Tvarování těsnění na krajích těsnění hlavy válců zachycující tlaky od spalovacího procesu [45]

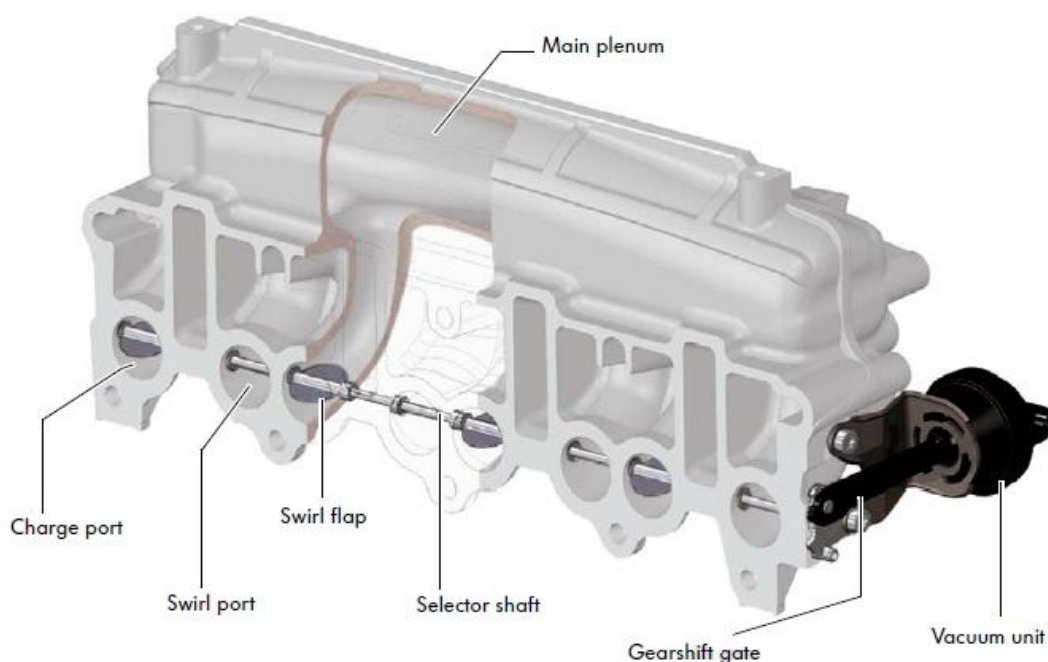
- b) *Tvarování těsnění (Rear land support)* na krajích těsnění hlavy válců zajišťuje, že působením tlaku od spalování nedojde ke kroucení hlavy válců, díky absorbování tohoto tlaku v těchto místech [45].



Obr. 5-32 Vertikální tvarování utěsnění spalovacího prostoru [45]



- Nové piezoelektricky ovládané vstřikovací jednotky čerpadlo-tryska PPD 1.1 od firmy SIEMENS umožňující vyšší vstřikovací tlak až 2200 barů [45].
- Motor je vybaven filtrem pevných částic a může být vybaven soustavou vyvažovacích hřídelí s integrovaným olejovým čerpadlem (modely VW Passat, či v případě podélné montáže) [45].
- Z důvodu snížení hmotnosti má kliková hřídel místo osmi protizávaží pouze čtyři [45].
- Nové keramické žhavicí svíčky [45].
- Rozvody poháněny ozubeným řemenem [45].
- Písty bez vybrání pro ventily [45].
- Sací potrubí s vířivými klapkami [45].



Obr. 5-33 Sací potrubí 2.0 TDI PD 16V 125kW [45]

5.4.2 UPLATNĚNÍ MOTORU V JEDNOTLIVÝCH MODELECH

Tab. 5-16 Přehled modelů a variant, kde byl motor 2.0 TDI PD nabízen [81]

motor	varianta	výkon	model
2.0 TDI PD	8V	103kW	VW Golf, Jetta, Touran, Tiguan, Passat; Audi A3, A4, A6; Seat Leon Altea ,Toledo; Škoda Octavia; Chrysler Sebring; Dodge Avenger, Caliber, Journey; Jeep Compass; Mitsubishi Lancer, Grandis, Outlander
	16V	103kW,125kW	Audi A3, A4, A6; Seat Leon; Škoda Octavia Superb; VW Golf, Jetta, Touran, Passat

Pozn. Kromě aplikace v motorech koncernu VW byl tento motor nabízen pod jinými označeními (např. DI-D, CRD) i v automobilech jiných výrobců.



Tab. 5-17 Přehled aplikací motoru 2.0 TDI PD v modelech platformy PQ35 [7]

Ozn.	Verze	Vyv. Hřídél	DPF	Audi				Volkswagen		Škoda		Seat	
				A3	Golf	Touran	Passat	Octavia	Superb	Leon	Altea		
BKD	103 kW 16V	NE	NE	X	X	X		X			X	X	
BKP	103 kW 16V	ANO	NE				X						
BMM	103 kW 8V	NE	ANO	X	X	X		X			X	X	
BMN	125 kW 16V	NE	ANO	X	X	X		X			X	X	
BMP	103 kW 8V	ANO	ANO				X		X				
BMR	125 kW 16V	ANO	ANO				X						
BUZ	125 kW 16V	ANO	ANO				X						

Pozn. PQ35 – platforma koncernu VW pro vozy založené na podvozku VW Golf V [70].

5.4.3 SERVISNÍ ZHODNOCENÍ MOTORU

- Motor 2.0 TDI PD si ve svých začátcích příliš dobrou pověst nenadělal.
- Kromě jednotky s výkonem 125kW a modelu 103kW s označením BKP (VW Passat a některé modely Audi) mají všechny jednotky elektromagnetické jednotky Bosch [14].

Motor můžeme rozdělit na tři varianty:

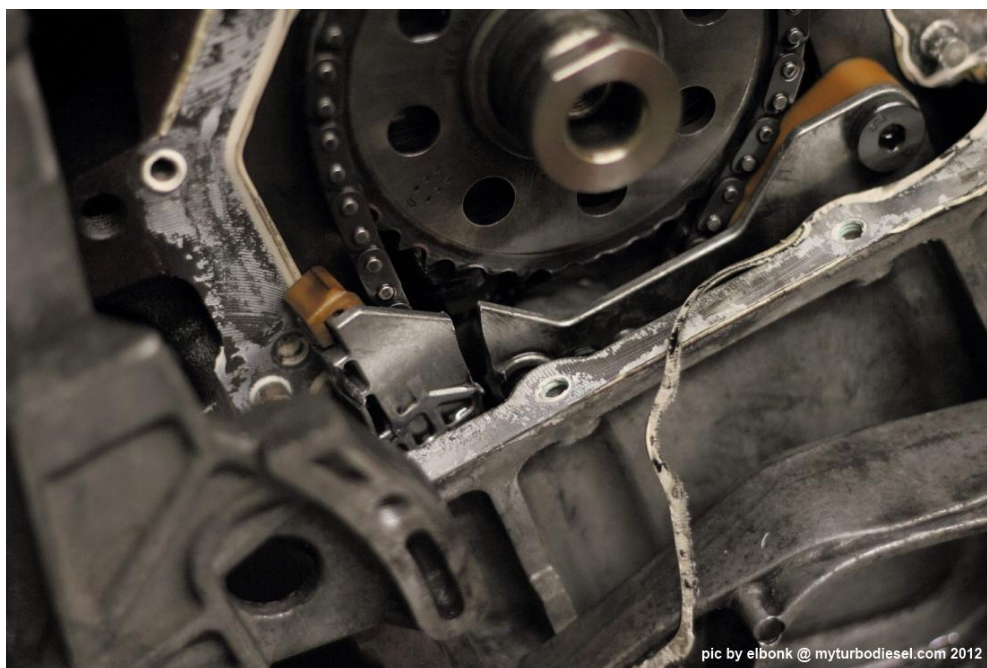
- a) s 8-mi ventilovou hlavou
 - Nejčastěji bývá označena BMM. Jedná se o převrtanou jednotku 1.9 TDI PD a z jednotek 2.0 TDI PD platí za nejméně problematickou. Pozor je třeba dát na dlouhé intervaly výměny oleje, nebo dlouhý chod na volnoběh, který způsobí prodřená zdvihátka ventilů (materiálová vada) a opotřebený vačkový hřídél [10][21].
- b) s 16-ti ventilovou hlavou a výkonem 103kW
 - Tato verze je na tom se spolehlivostí oproti 8-mi ventilové již horší a je jí věnován zbytek kapitoly.
 - Zpočátku výroby motoru často praskala hlava válců (technologická chyba ve výrobě) a docházelo k propouštění chladicí kapaliny do výfukového kanálu. Následně se pak zalepily regulační klapky turbodmychadla ethyloglykolem [11][21].
 - Pohon modulu vyvažovacích hřídělů (i u 8V verze) byl zpočátku řešen pomocí tenkého řetízku. Zuby na ozubeném kole se ovšem po čase oholily a řetízek začal prokluzovat. Následně došlo k změně na pohon pomocí ozubeného kola. Zde je ovšem poddimenzovaný šestihřanný unašeč olejového čerpadla. Provozem dochází k obrousování hran šestihřanu, který se může poté začít protáčet. Unašeč je třeba včas vyměnit (po cca 120-150tis. km) jinak hrozí riziko zadření motoru [6][14].



- Utržená napínací kladka napínacího řemene. Motor obsahuje dvě napínací kladky, kdy horní je uchycena osmimilimetrovým šroubem s jemnou rozteč do hliníkové hlavy válců [7][14].



Obr. 5-34 Praskliny v hlavě válce (2.0 TDI 125kW) [72]



Obr. 5-35 Oholené zuby ozubeného kola pohonu (pomocí řetízku) olejového čerpadla [69]



Obr. 5-36 Nový a opotřebený unášec pohonu olejového čerpadla [73]

- c) s 16-ti ventilovou hlavou a výkonem 125kW
- Tato verze používala problematické piezo-jednotky Siemens. Jednotky zvládly více vstříků na zdvih a dosahovaly vyšších vstřikovacích tlaku. Jednotky měly v kombinaci s filtrem pevných částic zajistit splnění emisních norem Euro 5. Realita byla ovšem taková, že toto byla nejproblematičtější varianta motoru 2.0 TDI PD. Pro splnění normy Euro 5 měly vstřikovače velmi malé otvory v trysce. Otvory se ovšem rychle zanášely, klesala dávka a kvalita rozprachu a rostla kouřivost. Tímto docházelo k rychlejšímu zaplňování filtru pevných částic, který pak nestíhá vypalovat saze. K regeneracím nedocházelo, protože zanesené vstřikovače nebyly schopny vytvořit dostatečnou dávku pro vypálení sazí. Čištění trysek ultrazvukem tak nastávalo i po 30 tis. kilometrech a ne vždy pomohlo. Výrobce utlumil kouřivost potlačením dynamiky motoru [14][20][21].
 - Motor postihovaly zakarbonované vstřikovače. Požadavek na provedení několika vstříků na jeden zdvih způsoboval hořením paliva blíže trysky a následné zapékáním úsad. Špatně rozprašující vstřikovače propalovaly písty. Zkratky piezočlánků způsobovaly výpadky celého motoru. Některé kusy mají z výroby špatně natočené váčkové hřídele [14][20][21].



Obr. 5-37 Zakarbonované otvory trysky u jednotky Siemens [20]

- Dále všeobecně poruchy tandemových čerpadel, vyvíklávající se vstřikovače, problémy s filtry pevných částic. Odcházející dvoumotové setrvačníky [6][20].

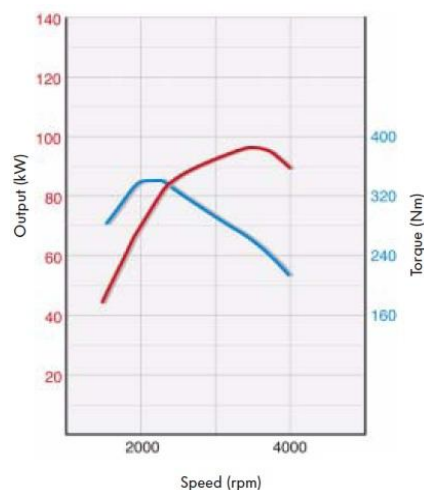


5.5 MOTOR 2.5 R5 TDI PD

5.5.1 PŘEHLED A KONSTRUKCE JEDNOTLIVÝCH MOTORŮ

Tab. 5-18 Technické údaje motoru 2.5 R5 TDI PD 96kW [43]

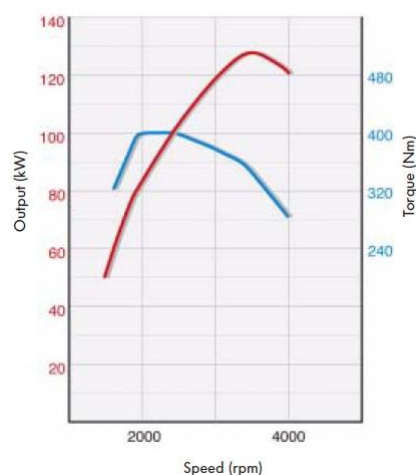
2.5 R5 TDI PD 96kW	
Kód motoru	AXD
konstrukce	5 válcový řadový motor
obsah	2460 cm ³
vrtání	81 mm
zdvih	95,5 mm
kompresní poměr	18,0 : 1
ventilů na válec	2
Pořadí zapalování	1-2-4-5-3
max. výkon	96 kW při 3500 min ⁻¹
max. krouticí moment	340 Nm při 2000 až 2300 min ⁻¹
řídící jednotka motoru	Bosch EDC 16
palivo	motorová nafta min. cetanové číslo 49
emisní norma	EU3



Obr. 5-38 Výkonová a momentová charakteristika motoru 2.5 R5 TDI PD 96kW [43]

Tab. 5-19 Technické údaje motoru 2.5 R5 TDI PD 128kW [42][43]

2.5 R5 TDI PD 128kW	
Kód motoru	AXE, BAC
konstrukce	5 válcový řadový motor
obsah	2460 cm ³
vrtání	81 mm
zdvih	95,5 mm
kompresní poměr	18,0 : 1
ventilů na válec	2
Pořadí zapalování	1-2-4-5-3
max. výkon	128 kW při 3500 min ⁻¹
max. krouticí moment	400 Nm při 2000 až 2300 min ⁻¹
řídící jednotka motoru	Bosch EDC 16
palivo	motorová nafta min. cetanové číslo 49
emisní norma	EU3



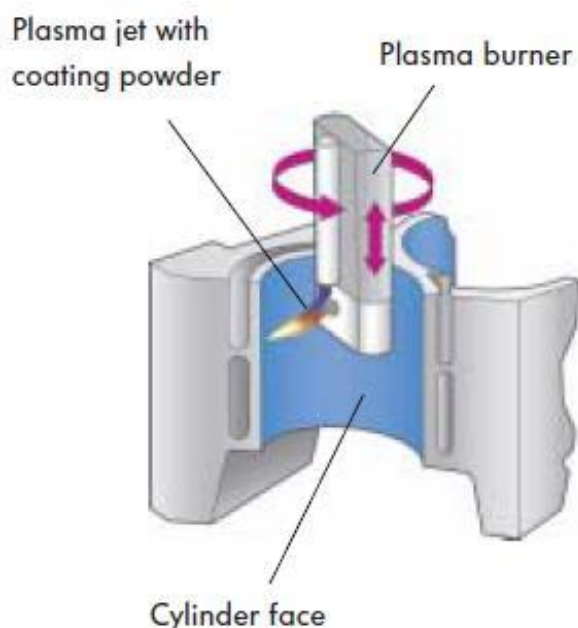
Obr. 5-39 Výkonová a momentová charakteristika motoru 2.5 R5 TDI PD 128kW [43]



Obr. 5-40 Příčná zástavka motoru do VW Transporter (vlevo) a podélná zástavba motoru do VW Touareg (vpravo) [42]

Konstrukce motoru:

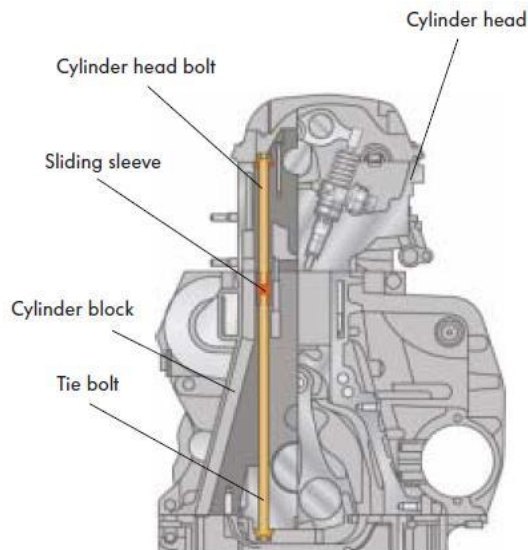
- Blok motoru odlit nízkotlakým litím z vysokopevnostní hliníkové slitiny do trvalé formy. Rozdíl mezi blokem motoru pro podélnou a příčnou zástavbu je v umístění startéru, kdy u příčné zástavby je startér umístěn na straně převodovky, zatímco u podélné je na straně motoru [42].
- Válcové plochy jsou povlakované plazmou. Povlakový prášek se nanáší plazmovým hořákem (plasma burner). Nejsou tedy nutné vložky válců, což má výhodu ve snížení hmotnosti, ve srovnání s nalisovanými vložkami válců z šedé litiny. Dále kompaktnější rozměry díky menší vzdálenosti mezi válci a menší opotřebení válců [42].



Obr. 5-41 Nanášení povlakového prášku plazmou [42]

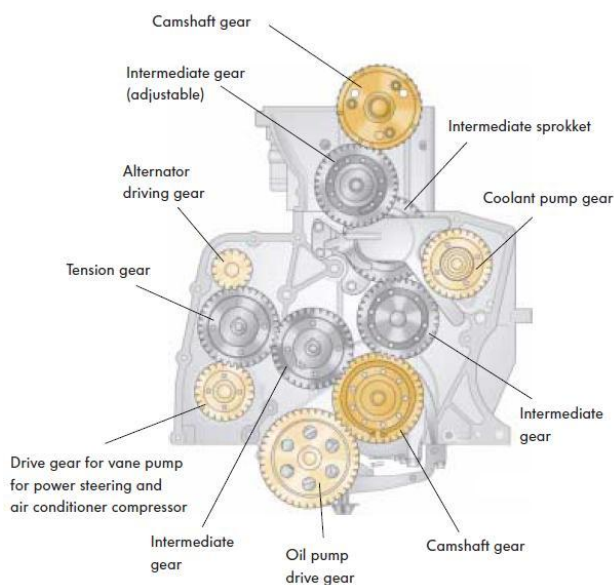


- Blok válců a hlava válců jsou sešroubovány pomocí šroubů z důvodu minimalizování napětí a zajištění optimálního tvaru hlavy válců. Spojení je pomocí kluzné objímky (sliding sleeve) spojující šroub z hlavy válců a bloku motoru. Objímka je zajištěna proti rotaci a umístěna v bloku motoru [42].



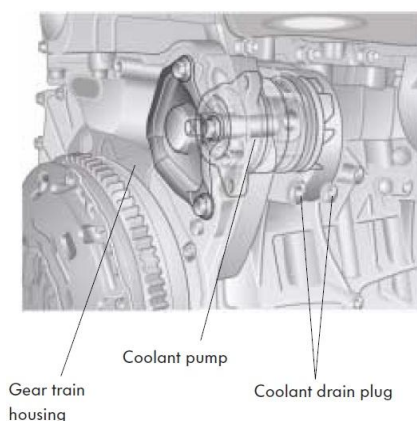
Obr. 5-42 Spojení hlavy válců a bloku motoru pomocí kluzné objímky [42]

- Hlava válců byla konstruována s příčným prouděním. Sací a výfukové kanály jsou proti sobě. Dochází tak k efektivnější výměně náplně válce a zlepšení plnění. [42]
- Rozvody jsou poháněny ozubeným soukolím s šikmými zuby umístěnými na straně setrvačníku [42].



Obr. 5-43 Rozvody pomocí ozubeného soukolí [42]

- Čerpadlo chladicí kapaliny je vloženo do bloku válců vedle čelního ozubeného kola. Pohon přes ozubené soukolí rozvodů [42].



Obr. 5-44 Čerpadlo chladicí kapaliny [42]

- Uložení ojnice a pístu má lichoběžníkový tvar [42].
- Z důvodu zachování krátké délky je tlumič vibrací integrován v klikovém hřídeli [42].

5.5.2 UPLATNĚNÍ MOTORU V JEDNOTLIVÝCH MODELECH

Tab. 5-20 Přehled modelů a variant, ve kterých byl motor 2.5 TDI PD nabízen [42]

motor	výkon	varianta	model
2.5 TDI PD	96 kW	AXD	VW Transporter T5
	128 kW	AXE	VW Transporter T5
		BAC (podélná montáž)	VW Touareg

5.5.3 SERVISNÍ ZHODNOCENÍ MOTORU

- Na tento motor mnoho lidí nahlíželo, jako na nástupce spolehlivých litinových 2.5TDI užívaných např. v modelu VW Transporter T4. Realita ovšem byla jiná a s motory bylo velmi problémů [22].
- V konstrukci motoru byl použit nástřík tvrdokovu na pracovních plochách válců, ten se ovšem po čase začne praskat a oficiální stanovisko VW znělo, že se motor nedá opravit. Neoficiálně je možno tento nástřík odvrtnat a nalisovat do bloku suché vložky válců [22].
- Další problém nastane v případě, že začne netěsnit čerpadlo chladicí kapaliny. Kapalina v tomto případě začne téct do mazacího okruhu motoru s následkem zadření motoru [22].
- Zpočátku praskaly výfukové svody, modifikací dílu byl problém vyřešen [19].
- Z počátku výroby se často kroutily hlavy válců a bloky motoru, což mělo za následek selhání těsnění hlavy válců [22].
- Vstřikovací jednotky čerpadlo-tryska se po čase začaly vyvíklávat a následně docházelo k ředění oleje naftou [22].
- Filtr pevných částic v osobních variantách přinášel další komplikace. Pomalá nebo příliš dynamická jízda nedovolovaly proběhnutí potřebných regenerací. Velký počet nedokončených regenerací vedl opět k ředění oleje naftou [22].

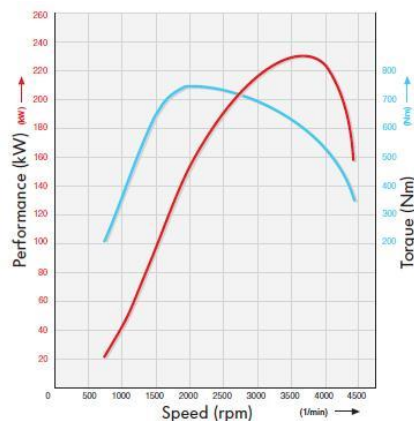


5.6 MOTOR 5.0 V10 TDI

5.6.1 PŘEHLED A KONSTRUKCE MOTORU

Tab. 5-21 Technické údaje motoru 5.0 V10 TDI PD 230 kW [41]

5.0 V10 TDI PD 230 kW	
Kód motoru	AYH, AJS
konstrukce	10 válcový vidlicový motor
obsah	4921 cm ³
vrtání	81 mm
zdvih	95,5 mm
kompresní poměr	18,0 : 1
ventilů na válec	2
Pořadí zapalování	1 - 6 - 5 - 10 - 2 - 7 - 3 - 8 - 4 - 9
max. výkon	230 kW* při 4000 min ⁻¹
max. krouticí moment	750 Nm při 2000 min ⁻¹
řídící jednotka motoru	Bosch EDC 16
palivo	motorová nafta min. cetanové číslo 49 nebo bionafta
emisní norma	EU3



Obr. 5-45 Výkonová a momentová charakteristika motoru 5.0 V10 TDI PD 230 kW [41]

* v roce 2008 zvýšen výkon na 258kW pro model VW Touareg R-Line [16].

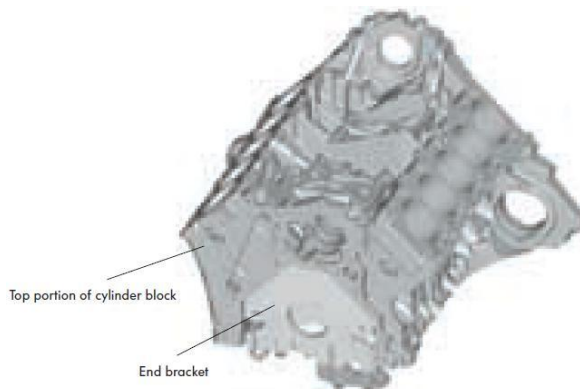


Obr. 5-46 Motor 5.0 V10 TDI [66]



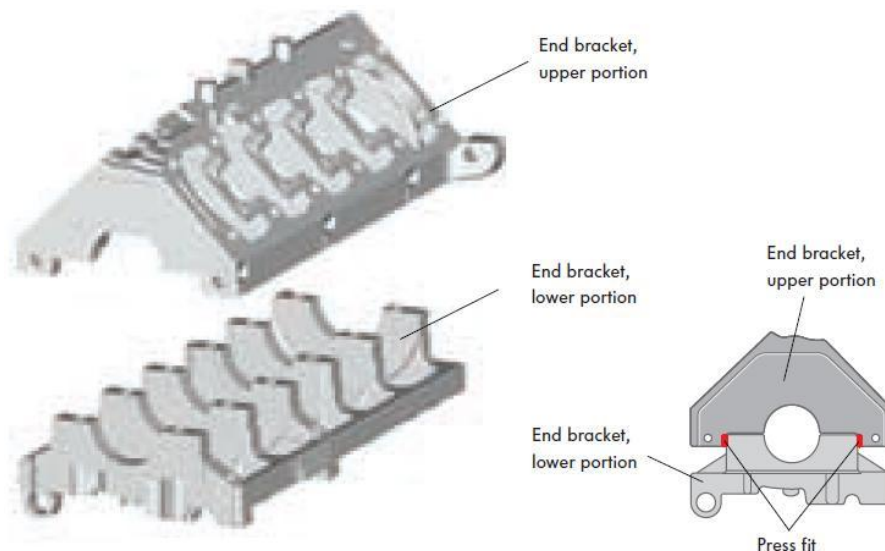
Konstrukce motoru:

- Blok válců se skládá ze dvou částí. Horní část bloku válců (top portion of cylinder block) je z hliníkové slitiny a spodní držák (end bracket) z litiny [41].



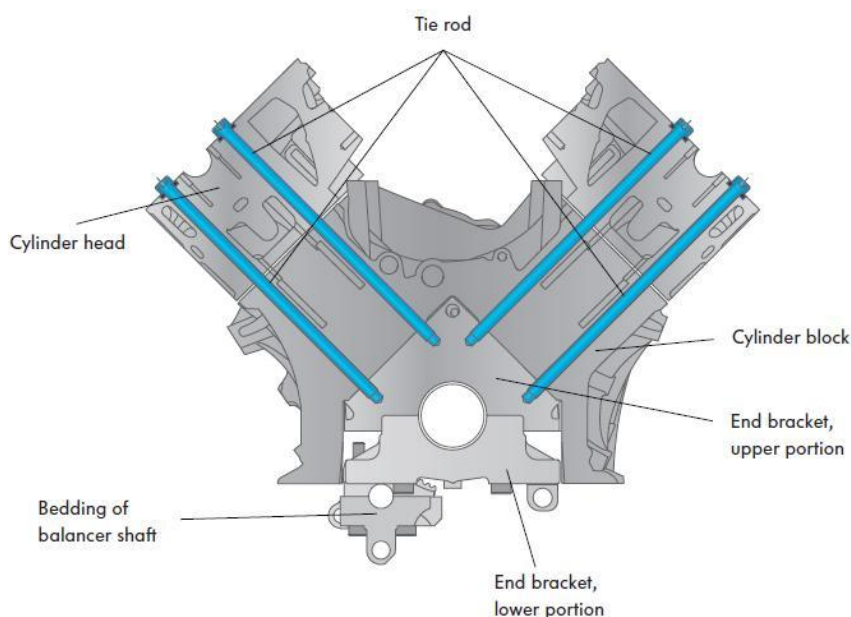
Obr. 5-47 Blok válců [41]

- Spodní držák je rozdělen na horní (end bracket upper portion) a dolní část (end bracket lower portion), které jsou kromě sešroubování i slisované, což umožňuje absorbování vysokých tlaků od spalování ve spodním držáku [41].



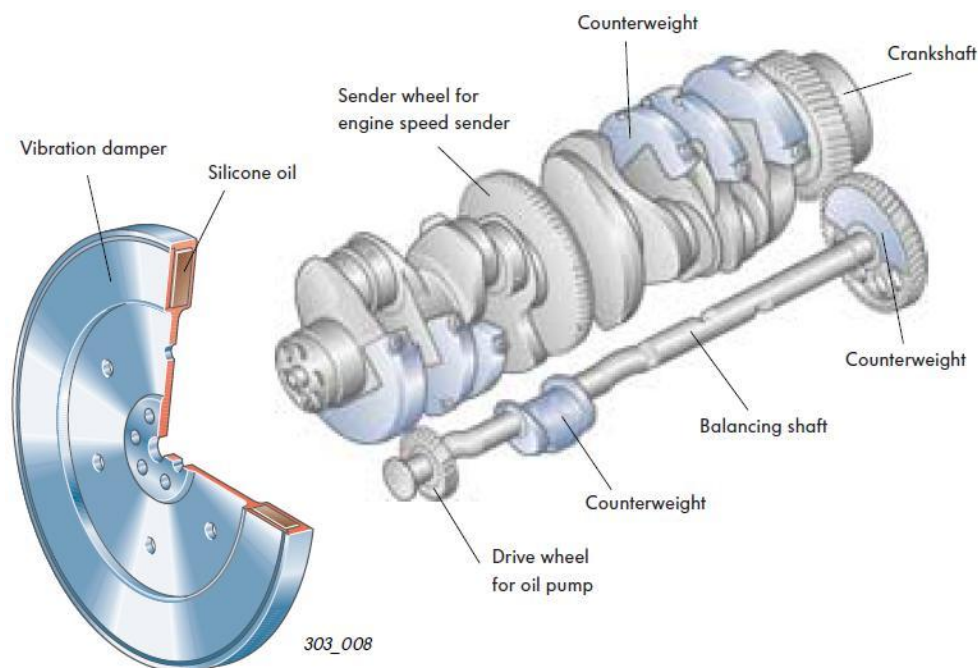
Obr. 5-48 Horní a spodní část spodního držáku a jejich vzájemné spojení [41]

- Místo vložek válců jsou vnitřní plochy povlakovány plazmou (viz. 2.5 TDI) [41].
- Motor má dvě hlavy válců vyrobené z hliníkové slitiny [41].
- Sací a výfukové ventily jsou umístěny proti sobě, což zlepšuje plnění a výměnu obsahu válce. Sací ventil je na vnitřní straně hlavy, výfukový na vnější [41].
- Kvůli zabránění napětí v bloku válce, hlavě motoru a spodním držáku jsou tyto části navzájem sešroubovány [41].



Obr. 5-49 Sešroubování bloku motoru, hlavy válce a spodního držáku [41]

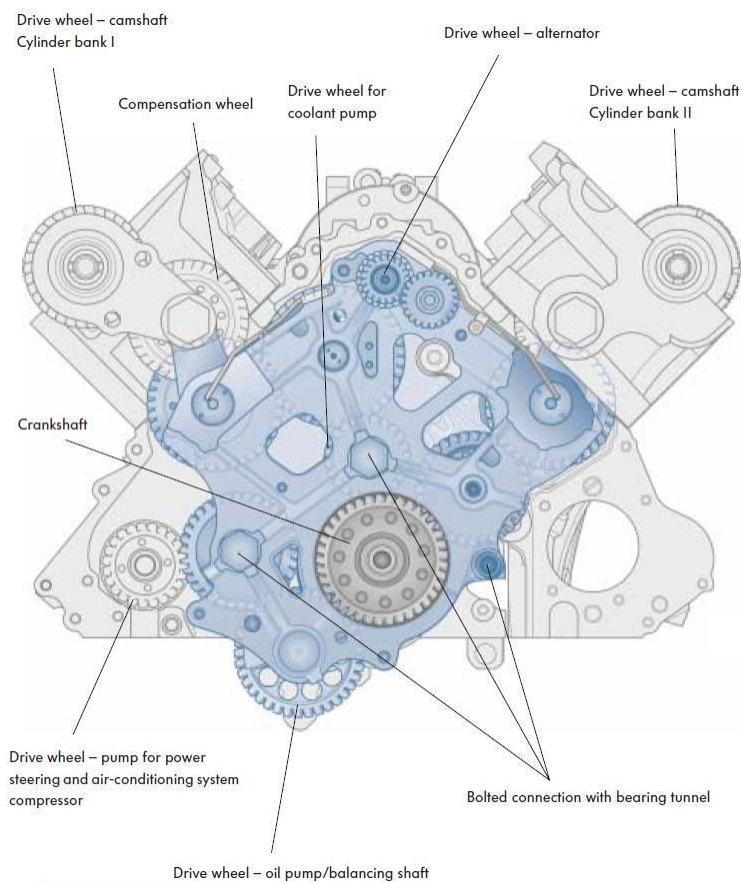
- Kliková hřídel je kovaná z popouštěné oceli [41].
- Uložení pístu a ojnice má lichoběžníkový tvar [41].
- Z důvodu snížení vibrací a setrvačných momentů obsahuje kliková hřídel šest protizávaží a dále vyvažovací hřídel otáčející se stejnou rychlostí jako kliková hřídel. Protizávaží jsou vyrobeny z wolframové slitiny, která má vysokou hustotu. Vystačí si tedy s malými rozměry a šetří prostor. Vibrace klikového hřídele se odstraní v tlumiči vibrací plněného silikonovým olejem [41].



Obr. 5-50 Protizávaží na klikovém hřídeli, vyvažovací hřídel a tlumič vibrací [41]



- Rozvody jsou poháněny ozubeným soukolím [41].

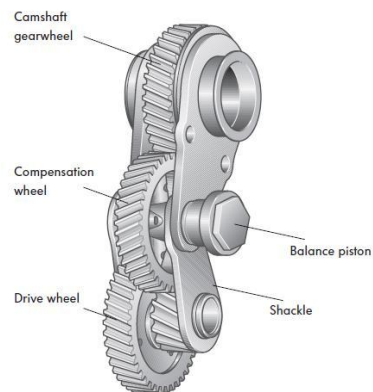


Obr. 5-51 Pohon rozvodů ozubeným soukolím [41]

- Pohon vačkových hřídelí je s modulem ozubených kol řešen pomocí kloubku (shackle) s kompenzačním kolem (compensation wheel). Vačkové hřídele jsou umístěny v hliníkové hlavě válců a rám modulu ozubeného soukolí je vyroben z litiny. Z důvodu různé tepelné roztažnosti hliníku a litiny bylo přidáno kompenzační kolo [41].



Obr. 5-52 Umístění kloubku [41]

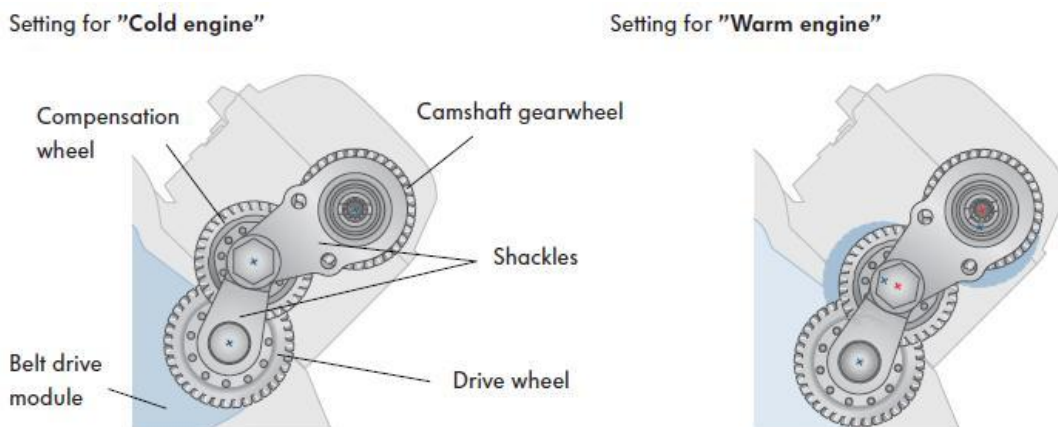


Obr. 5-53 Detail kloubku [41]



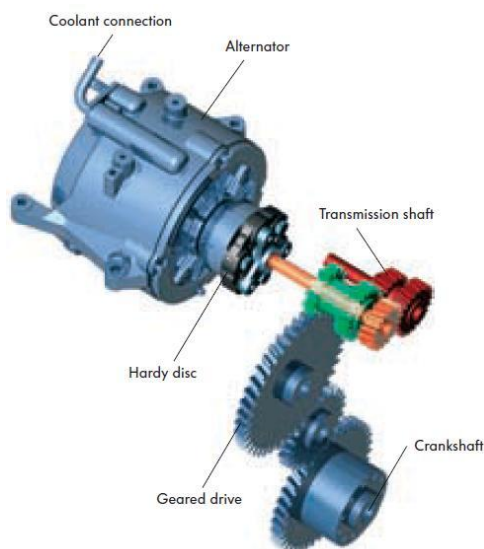
Ohříváním kloubku dochází k změně rozteče mezi vačkovou hřídelí a modulem ozubených kol [41].

Rovnovážný pístek (balance piston) zabraňuje houpavému pohybu kloubku [41].



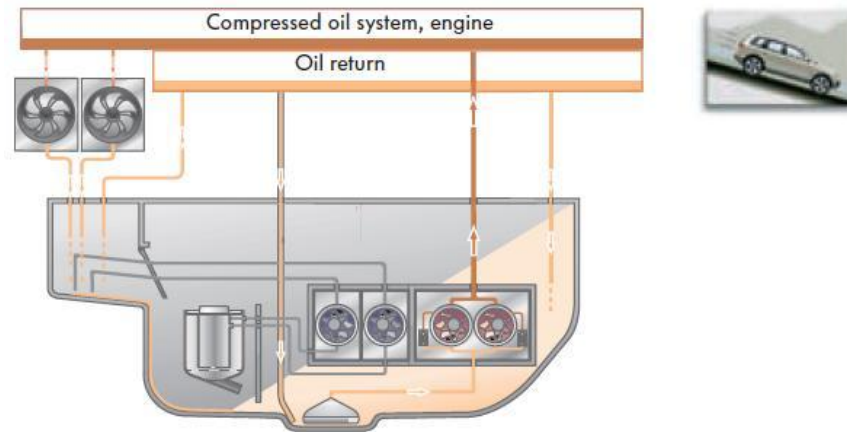
Obr. 5-54 Popis činnosti znázorněný na studeném motoru (vlevo) a zahřátém motoru (vpravo) [41]

- Alternátor umístěn v prostoru mezi válci a poháněn pomocí převodové hřídele od ozubeného soukolí rozvodů [41].

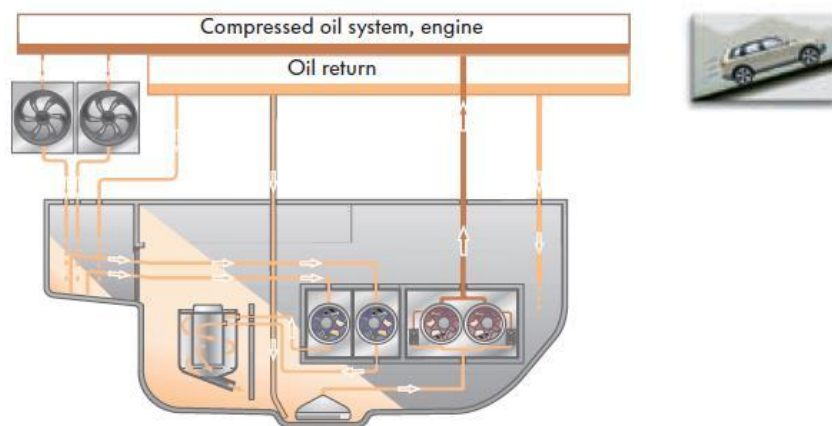


Obr. 5-55 Pohon alternátoru [41]

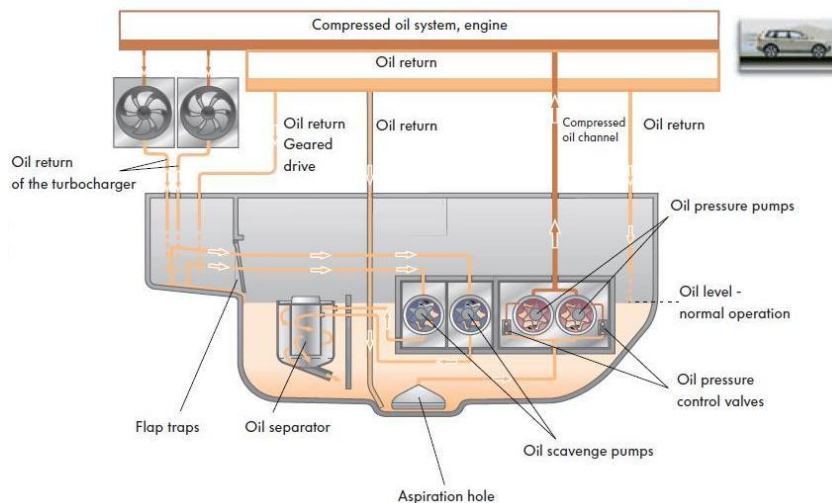
- Z důvodu nasazení motoru i v terénních vozech (VW Touareg) je nutné zajištění dostatečného množství a tlaku oleje pro mazání motoru v různých jízdních situacích. Aby bylo možné toto splnit, obsahuje motor dvě olejová čerpadla. Na obrázku jsou znázorněny tři jízdní situace a způsob mazání motoru v každém z nich [41].



Obr. 5-56 Jízda z kopce [41]

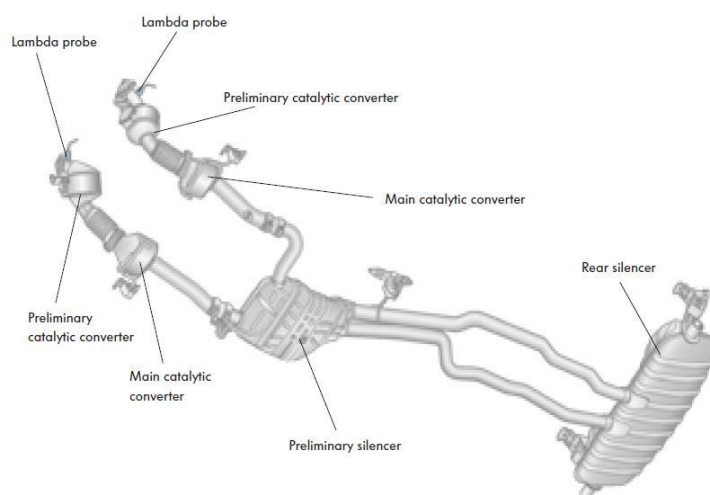


Obr. 5-57 Jízda do kopce [41]



Obr. 5-58 Jízda po rovné silnici [41]

- Výfukový systém se skládá z dvou větví. Každá řada válců má svoji větev obsahující lambda sondu, předřadný katalyzátor a hlavní katalyzátor. Obě větve se scházejí v předřadném tlumiči výfukové soustavy. Soustava končí zadním tlumičem výfuku [41].



Obr. 5-59 Výfuková soustava (VW Touareg) [41]

- Demonstrovat sílu tohoto deseti válcového motoru se rozhodlo anglické zastoupení Volkswagenu ukázat tažením 155 tunového letadla Boeing 747-200 Jumbo-jet. Využilo model VW Touareg vybavený tímto motorem bez dodatečných úprav motoru [68].



Obr. 5-60 Tažení letadla modelem VW Touareg [68]

5.6.2 UPLATNĚNÍ MOTORU V JEDNOTLIVÝCH MODELECH

Tab. 5-22 Přehled modelů a variant, ve kterých byl motor 5.0 TDI PD nabízen [41]

motor	výkon	varianta	model
5.0 V10 TDI PD	230kW	AYH	VW Tourag
		AJS	VW Phaeton

5.6.3 SERVISNÍ ZHODNOCENÍ MOTORU

- Motor vznikl složením dvou jednotek 2.5 TDI R5 PD [16].
- Motor postihují podobné problémy jako jednotku 2.5 TDI R5 PD, tedy praskání naneseného povlaku pracovních ploch válců, průnik chladicí kapaliny do oleje při netěsnosti čerpadla chladicí kapaliny, vyviklané jednotky čerpadlo-tryska způsobující ředění oleje naftou a zpočátku praskající svody [16].
- Předčasně opotřebená turbodmychadla, kdy jejich výměnu komplikuje nutnost demontování celého motoru z vozu [16].



ZÁVĚR

Jak již bylo zmíněno Volkswagen jako jediný výrobce, použil pro svoje agregáty systém vstřikování Čerpadlo – tryska. Hlavní výhoda, kterou tímto oproti systému Common-rail získal, byla schopnost dosáhnout daleko vyšších vstřikovacích tlaků (2050 barů oproti 1350 bar u první generace, či 1600 bar u druhé generace Common-railu). Spolu s vyšším vstřikovacím tlakem bylo možné dosáhnout jemnějšího rozptýlení paliva a snížení spotřeby paliva spolu se snížením emisí. Příkladem snížení paliva může být model VW Lupo 3l, který již na přelomu tisíciletí sliboval reálnou spotřebu 3l/100km. Další neméně důležitou výhodou bylo, že použitím tohoto systému byl Volkswagen schopen splnit s velkým předstihem požadavky emisní normy Euro IV [83][86].

S blížící se emisní normou Euro 5 již začaly přicházet problémy. Aby bylo možno splnit tuto normu, vybavil Volkswagen motory piezoelektrickými vstřikovači a standardním filtrem pevných částic. Toto spojení se ovšem neukázalo jako příliš spolehlivé, příkladem je motor 2.0 TDI PD 125kW. Systém měl s filtry pevných částic všeobecně problémy, pramenící už z jeho principu jeho činnosti. Při regeneraci filtru je třeba zvýšit dávku paliva na vypálení sazí, to ovšem u systému, který je ovládán vačkovým hřídelem, tedy s přesně vymezenou dobou vytváření vstřikovacího tlaku obtížnější, než u Common-railu, který je schopen dodávat vstřikovací tlak v kterékoli fázi.

V roce 2007 došlo k upuštění myšlenky sdružených vstřikovacích jednotek a k plnému přestupu na systém Common-rail. Tímto krokem již byly eliminovány problémy s filtry pevných částic, bylo umožněno hladší splnění emisních norem a vzájemné sjednocení jednotlivých komponent, např. filtrů pevných částic, napříč celým koncernem [84].

Jednotky TDI PD měly při uvedení před sebou nelehký úkol a to navázat na skoro legendární jednotky TDI s rotačním čerpadlem, proslulých spolehlivostí a nízkou spotřebou. Tohoto se již dosáhnout plně nepodařilo. Porovnatelné jednotky 1.9 TDI PD již oproti svému předchůdci 1.9 TDI nevykazovaly tak nízkou spotřebu a spolehlivost, která již také nebyla natolik neprůstělná. Spíše než snížení kvality to způsobily snahy o navození pocitu snížení nákladů při servisních prohlídkách aplikací 30 000 km lhůt a použití long-life olejů. Jiné jednotky měly ale již i závažnější nedostatky, jako např. praskání tvrdokovového povlaku pracovních ploch válců v případě jednotek 2.5 TDI a 5.0 TDI.

Kromě osobních vozů se sdružené jednotky aplikovávají i u nákladních vozů, kde je můžeme stále ještě nalézt, jako v případě nových motorů Renault DTI 13 plnících normu Euro 6. Ovšem i zde se jedná spíše o okrajové použití a převážná část jednotek opět používá systém Common-rail [85].

V době svého uvedení představovaly sdružené vstřikovací jednotky konkurenci systému Common-rail, ovšem s postupem času a se zpřísněním emisních norem, již začínal představovat systém Common-rail větší sázku do budoucnosti a kapitola sdružených vstřikovacích jednotek se pomalu uzavírala. Dnes je skoro výhradně setkáváme se systémem Common-rail.

Na základě žádosti vedoucího práce byla tato problematika popsána podrobněji, z tohoto důvodu je rozsah této bakalářské práce obsáhlejší.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] BOSCH, Robert. *Diesel-engine management*. 3rd ed. Plochingen: Robert Bosch GmbH, 2004, 489 s. ISBN 1-86058-435-7.
- [2] FERENC, Bohumil. *Spalovací motory: karburatory a vstřikování paliva*. 1. vyd. Praha: Computer Press, 2004, 388 s. ISBN 80-251-0207-6.
- [3] GSCHEIDLE, Rolf et al. *Příručka pro automechanika*. 3. přeprac. vyd. / . Praha: Europa - Sobotáles, 2007, 685 s. ISBN 978-80-86706-17-7.
- [4] HROMÁDKO, Jan et al. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [5] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2003, 578 s. ISBN 80-238-8756-4.
- [6] FREI, Martin. Holub v hrsti za cenu vrabce na střeše. *Svět motorů SPECIÁL DIESEL*. 2012, č. 3/2012, s. 62-65. ISSN 0039-7016.
- [7] FREI, Martin. Máme se ho bát?. *Svět motorů SPECIÁL DIESEL*. 2014, č. 1/2014, s. 54-56. ISSN 0039-7016.
- [8] FREI, Martin. Šuby duby pumpa-tryska. *Svět motorů*. 2013, č. 30, s. 28-29. ISSN 0039-7016.
- [9] OBORNÍK, Marek. Český chalupář má jasno. *Svět motorů*. 2011, č. 33, s. 28-30. ISSN 0039-7016.
- [10] OBORNÍK, Marek. Nejslavnější ojetina. *Svět motorů SPECIÁL OJETINY*. 2011, č. jaro/léto 2011, s. 36-37. ISSN 0039-7016.
- [11] OBORNÍK, Marek. V každé rodině je něco. *Svět motorů*. 2011, č. 22, s. 36-38. ISSN 0039-7016.
- [12] STARÝ, Karel a Zdeněk JANDA. Praskající ojnice u octavie. *Svět motorů*. 2013, č. 15, s. 37. ISSN 0039-7016.
- [13] VACULÍK, Martin. Až vyrostu, budu Multivan. *Svět motorů*. 2012, č. 8, s. 28-29. ISSN 0039-7016.
- [14] VACULÍK, Martin. Dobrý passat, zlobivé TDI. *Svět motorů SPECIÁL DIESEL*. 2010, č. podzim 2010, s. 60-62. ISSN 0039-7016.
- [15] LÁNSKÝ, Emil. Teď se láme chleba!. *Svět motorů SPECIÁL DIESEL*. 2013, č. 1/2013, s. 52-55. ISSN 0039-7016.
- [16] VACULÍK, Martin. Fakt na to máte?. *Svět motorů*. 2010, č. 47, s. 36-38. ISSN 0039-7016.



- [17] VACULÍK, Martin. Jedna velká optimalizace.... *Svět motorů*. 2011, č. 19, s. 36-38. ISSN 0039-7016.
- [18] VACULÍK, Martin. Nechci slevu zadarmo. *Svět motorů*. 2012, č. 28, s. 24-25. ISSN 0039-7016.
- [19] VACULÍK, Martin. Obžerství bývá potrestáno. *Svět motorů*. 2011, č. 48, s. 26-28. ISSN 0039-7016.
- [20] VACULÍK, Martin. Skvělý vůz i průšvih. *Svět motorů*. 2010, č. 27, s. 36-38. ISSN 0039-7016.
- [21] VACULÍK, Martin. Tak kterou?. *Svět motorů*. 2013, č. 50, s. 6-8. ISSN 0039-7016.
- [22] VACULÍK, Martin. Věci se mění. *Svět motorů*. 2010, č. 34, s. 36-37. ISSN 0039-7016.
- [23] Dílenská příručka: OCTAVIA II 2004 Motor 1,9/77 kW TDI PD. *Škoda Auto a.s.* 2005. 160s
- [24] Dílenská učební pomůcka č. 36: Motor 1.9 TDI PD. *Škoda Auto a.s.* 46s
- [25] Dílenská učební pomůcka č. 43: Emise výfukových plynů motorových vozidel. *Škoda Auto a.s.* 22s
- [26] Dílenská učební pomůcka č. 46: Škoda Superb I Představení vozidla I.část. *Škoda Auto a.s.* 2001. 40s
- [27] Dílenská učební pomůcka č. 52: Škoda Fabia Motor 1.4l TDI s jednotkami čerpadlo-tryska. *Škoda Auto a.s.* 2003. 48s
- [28] Dílenská učební pomůcka č. 53: Škoda Octavia druhé generace Představení vozidla. *Škoda Auto a.s.* 2004. 48s
- [29] Dílenská učební pomůcka č. 57: Vznětový motor 2,0 l/103 kW TDI s jednotkami čerpadlo-tryska. *Škoda Auto a.s.* 2001. 44s
- [30] Dílenská učební pomůcka č. 59: Škoda Octavia II RS. *Škoda Auto a.s.* 2005. 46s
- [31] Dílenská učební pomůcka č. 60: Vznětový motor 2,0 l/103 kW 2V, Filtr pevných částic (DPF). *Škoda Auto a.s.* 2005. 48s
- [32] Dílenská učební pomůcka č. 62: Škoda Roomster. *Škoda Auto a.s.* 2006. 44s
- [33] Dílenská učební pomůcka č. 64: Škoda Fabia II. *Škoda Auto a.s.* 2007. 59s
- [34] Dílenská učební pomůcka č. 65: Škoda Superb II Představení vozidla I. část. *Škoda Auto a.s.* 2008. 44s
- [35] Informace na podporu prodeje: VOZY ŠKODA S FILTREM PEVNÝCH ČÁSTIC. *Škoda Auto a.s.* 2007. 8s



- [36] VZDĚLÁVÁNÍ PEDAGOGICKÝCH PRACOVNÍKŮ - VZNĚTOVÉ MOTORY: Motor 1,4 TDI/PD/55kW/3R. *Robert Bosch odbytová s.r.o. a Škoda auto a.s.* 2007. 57s
- [37] VZDĚLÁVÁNÍ PEDAGOGICKÝCH PRACOVNÍKŮ - VZNĚTOVÉ MOTORY: Motor 1,9 TDI/PD/74kW. *Robert Bosch odbytová s.r.o. a Škoda auto a.s.* 2007. 42s
- [38] Self-Study Program Course Number 841303: 1.9-Liter TDI Engine with Pump Injection (Pumpe Düse) Design and Function. *Volkswagen of America, Inc.* 2003. 67s
- [39] Self-Study Programme 218: The Lupo 3L Design and function. *Volkswagen AG.* 56s.
- [40] Self-Study Programme 223: The 1.2l and 1.4l TDI engines With Pump Injection System Design and Function. *Volkswagen AG.* 2000. 88s.
- [41] Self-Study Programme 303: The V10-TDI engine with pump-jet fuel injection systém Desinf and Function. *Volkswagen AG.* 2002. 48s
- [42] Self-Study Programme 305: The 2.5 l R5 TDI engine Design and Function. *Volkswagen AG.* 2003. 36s.
- [43] Self-Study Programme 310: The Transporter 2004. *Volkswagen AG.* 2003. 64s.
- [44] Self-Study Programme 352: Unit Injectors with Piezo Valves Desing and Function. *Volkswagen AG.* 2005. 24s
- [45] Self-Study Programme 368: The 2.0l 125 kW TDI Engine with 4-valve technology Design and function. *Volkswagen AG.* 2005. 44s.
- [46] Servise training: Pump-jet Unit with Piezo Valve. *Volkswagen AG.* 2005. 18s
- [47] STANĚK, Radan. Systémy vstřikování paliva Bosch pro vznětové motory a možnosti jejich oprav. *Robert Bosch odbytová s.r.o.* 2007. 51s
- [48] Delphi E1 Diesel Electronic Unit Injector. *Myturbodiesel* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.turbodiesel.com.sg/UploadedImg/UIS_E1%282%29.pdf
- [49] Delphi E3 Diesel Electronic Unit Injector. *Delphi* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://delphi.com/shared/pdf/ppd/cv/pwrtrn/e3-diesel-electronic-unit-injector.pdf>
- [50] Delphi Smart Injector. *Delphi* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://delphi.com/shared/pdf/ppd/cv/pwrtrn/smart-injector.pdf>
- [51] DELPHI: PŘIPRAVUJEME OPRAVY VSTŘIKOVAČŮ SMART A ČERPADEL EUP POUŽÍVANÝCH V MOTORECH DAF (TATRA). *T.A.D. Praha* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.tadpraha.cz/pages/posts/delphi-pripravujeme-opravy-vstrikovacu-smart-a-cerpadel-eup-pouzivanych-v-motorech-daf-tatra-55.php>
- [52] Tatra SCR Bosch. *AGENTURA AUTO DATA, spol. s r.o.* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.aad.sk/images/articles/Tatra_SCR_Bosch.jpg



- [53] SCR (Selective Catalytic Reduction) technology. *PSA PEUGEOT CITROËN* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.psa-peugeot-citroen.com/en/featured-content/diesel-technology/scr-selective-catalytic-reduction>
- [54] Mack ClearTech SCR System. *Mack SCR* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.mackscr.com/assets/mack/brochures/MCKTRK_6222_ClrTchSCRBro150.pdf
- [55] Man SCR Selective Catalytic Reduction. *Clean Shipping Technology* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://cleantech.cnss.no/wp-content/uploads/2011/06/year-unknown-MAN-BW-SCR.pdf>
- [56] FISCHER, Stefan, Klaus RUSCH a Bernd AMON. SCR Technology to Meet Future Diesel Emission Regulations in Europe. SINOX EMISSIONS CONTROL ARGILLON GMBH. *Manufacturers of Emission Controls Association (MECA)* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.meca.org/galleries/files/Fischer.pdf>
- [57] Caterpillar Selective Catalytic Reduction (SCR), Diesel Exhaust Fluid (DEF). *Caterpillar* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://origin-www.cat.com/cda/files/4108593/7/SCR_DEF%20Ed.%20Presentation%20FINAL%20VERSION.pdf
- [58] AdBlue: Otázky a odpovědi. *KONTAKT - služby motoristům, spol. s r.o.* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.kontaktoil.cz/AdBlue/Otazky-a-odpovedi>
- [59] China Bosch Unit Pump PLD UPS. [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://upload.ecvv.com/upload/Product/20108/China_Bosch_Unit_Pump_PLD_UPS2010_8131609545.jpg
- [60] Daf MX engines infosheet. *Daf* [online]. [cit. 2014-01-27]. Dostupné z: www.daf.eu/SiteCollectionDocuments/Infosheets/2012/Engines/MX-engines-infosheet-CZ.pdf
- [61] Daf PR Engines 2009. *Daf* [online]. 2009 [cit. 2014-01-27]. Dostupné z: <http://www.daf.eu/SiteCollectionDocuments/Infosheets/2012/Engines/PR-Engines-2009-CZ.pdf>
- [62] Steyr mechanical system unit injector. *Dieselpowermag* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://image.dieselpowermag.com/f/tech/1002dp_steyr_mechanical_emergency_drive_system/27546928/1002dp_03%2Bsteyr_mechanical_emergency_drive_system%2Bunit_injector.jpg
- [63] Steyr drive system. *Dieselpowermag* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://image.dieselpowermag.com/f/diesel-engines/steyr-emergency-drive-system/30474870/j.jpg>
- [64] EUI BOSCH/LUCAS-DELPHI. *DIESEL CENTRUM-POLSKA* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.dieselcentrum.pl/diagnostyka/articles/eui-boschlucas-delphi>



- [65] Volkswagen polo iv 1.4 tdi 59kw. *Katalog automobilu* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.katalog-automobilu.cz/files/automobily/st1/120/800x600_cs_CZ/1326494844-volkswagen-polo-iv-14-tdi-59kw-47134.jpg
- [66] Volkswagen Touareg v10 tdi. *Gomoters* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://gomoters.net/photos/f2/cc/2004-volkswagen-touareg-v10-tdi-top-front-engine-view-photo-1_4fdbbc.jpg?i
- [67] *Blogspot* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://2.bp.blogspot.com/-pQtzacCnkI8/UVuhP3JJaoI/AAAAAAAAAHKE/osxRtBXz2c0/s1600/8.jpg>
- [68] KOUBEK, Jan. Touareg toho utáhne hodně. *Autoweb auta až na prvním místě* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.autoweb.cz/touareg-toho-utahne-hodne/>
- [69] Oil pump failure or balance shaft module FAQ B5 VW Passat or Audi TDI engine. *Myturbodiesel* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.myturbodiesel.com/wiki/oil-pump-failure-or-balance-shaft-module-faq-b5-vw-passat-or-audi-tdi-engine/>
- [70] Volkswagen Golf 4 platform based cars. *Mbt Engineering* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.mbt-engineering.com/gbase.html>
- [71] VW Lupo 3l TDI. *Netcarshow* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.netcarshow.com/volkswagen/1999-lupo_3l_tdi/800x600/wallpaper_05.htm
- [72] VW Passat Variant 2.0 TDI Zylinderkopf Riss. *Auto Bild* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://i.auto-bild.de/ir_img/5/2/0/3/4/3/VW-Passat-Variant-2-0-TDI-Zylinderkopf-Riss-729x486-3a2b9eea4340d43a.jpg
- [73] OIL PUMP SHAFT DRIVE KEY for Audi/VW/Skoda/SEAT 2.0 TDI new oem. *Vagparts.tictail* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://vagparts.tictail.com/product/oil-pump-shaft-drive-key-for-audivwskodaseat-20-tdi-new-oem>
- [74] Pd head. *Myturbodiesel* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.myturbodiesel.com/images/pd-head.jpg>
- [75] Piezoelektrické jevy. *ČVUT Praha: Fakulta Strojní, Ústav fyziky* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://fyzika.fs.cvut.cz/subjects/fzmt/lectures/FZMT_11.pdf
- [76] Tisková informace: Třetí generace vstřikovacího systému UIS (Unit Injector System) pro vznětové motory od Bosche. *Bosch press* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/upload/PI5010_09_2005.pdf
- [77] *Bosch press* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://press.bosch.cz/img/db/obrazky/1-DS-12943-cz.pdf>
- [78] Repas oprava Vstrekov BOSCH 1.9 TDI PD Pumpe Duse ŠKODA Octavia. *Autovia* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z:



<http://www.autovia.sk/images/parts/623078/389905/repas-oprava-vstrekov-bosch-1-9-tdi-pd-pumpe-duse-skoda-octavia-1839371.jpg>

- [79] LANÍK, Ondřej. Nové motory 2.0 TDI CR: 5 otázek pro inženýry Volkswagenu. *Auto.cz* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/nove-motory-2-0-tdi-cr-5-otazek-pro-inzenyry-volkswagenu-9609>
- [80] Delphi E1 Unit Injector. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5c/Delphi E 1 Unit Injector.JPG](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5c/Delphi_E_1_Unit_Injector.JPG)
- [81] List of Volkswagen Group diesel engines. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. 2014-05-10 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/List of Volkswagen Group diesel engines](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Volkswagen_Group_diesel_engines)
- [82] Unit injectors. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. 2014-02-14 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Unit_injector
- [83] LANÍK, Ondřej. Nové TDI v novém Passatu: Piezo-Pumpe-Düse. *Auto.cz* [online]. [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/nove-tdi-v-novem-passatu-piezo-pumpe-dse-16327>
- [84] LANÍK, Ondřej. Příští generace TDI již bez systému čerpadlo-tryska. *Auto.cz* [online]. [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/pristi-generace-tdi-jiz-bez-systemu-čerpadlo-tryska-15034>
- [85] ČERNÝ, Ladislav. Pohony Renault Trucks C a K: Dvojí vstříkávání. *Auto.cz* [online]. [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/pohony-renault-trucks-c-a-k-dvoji-vstrikovani-81192>
- [86] Třetí generace Common Rail od Bosche: Poprvé sériově v Audi A8. *Bosch press* [online]. [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=286



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

BIP	Počátek vstřiku (Beginning of injection period)
CČ	Cetanové číslo
CO	Oxid uhelnatý
CO ₂	Oxid uhličitý
DEF	Diesel Exhaust Fluid
EGR	Zpětné vedení výfukových plynů (Exhaust Gas Recirculation)
EHK	Evropská hospodářská komise
EU	Evropská unie
Euro	Označení emisní normy
H ₂	Vodík
H ₂ O	Voda
HC	Nespálené uhlovodíky
Japan NLTR	Označení emisní normy
N ₂	Dusík
NO _x	Oxidy dusíku
O ₂	Kyslík
OHV	Over Head Valve
PD	Systém Čerpadlo-tryska (Pumpe-Düse)
PLD	Systém Čerpadlo – potrubí – tryska (Pumpe – Leitung - Düse)
PM	Pevné částice
PPD	Piezoelektrický vstřikovač čerpadlo-tryska od firmy Siemens
SCR	Selektivní katalytická redukce (Selective catalytic reduction)
SO _x	Oxidy síry
STK	Stanice technické kontroly
TDI	Turbocharged Direct Injection
Tier	Označení emisní normy
UIS	Systém Čerpadlo-tryska (Unit – Injection – System)
UPS	Systém Čerpadlo – potrubí – tryska (Unit – Pump - System)
US	Označení emisní normy



SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obr. 1-1 Sdružená vstřikovací jednotka [24]	11
Obr. 1-2 Řez sdruženou vstřikovací jednotkou [78].....	11
Obr. 1-3 Konstrukce sdružené vstřikovací jednotky [27]	12
Obr. 1-4 Třetí generace sdružených vstřikovacích jednotek Bosch [77]	13
Obr. 1-5 Upevnění vstřikovací jednotky v hlavě válců [29]	14
Obr. 1-6 Napínací třmen s upevňujícím šroubem a nastavovací šroub na vahadle [24]	14
Obr. 1-7 Jednotlivé vstřikovací jednotky a ovládací vahadlo [74].....	14
Obr. 1-8 Ovládání vstřikovacích jednotek vahadlem [24]	15
Obr. 1-9 Vahadlo (zde tříválcový motor 1.4 TDI) [36].....	15
Obr. 1-10 Náběžná (vlevo) a sestupná (vpravo) strana vstřikovací vačky [24]	15
Obr. 1-11 Rozklad na jednotlivé komponenty [23].....	16
Obr. 1-12 Montážní přípravek pro druhý O-kroužek [23]	16
Obr. 1-13 Vytahovák [23]	16
Obr. 1-14 Piezo-člen bez přivedeného napětí (vlevo) a s přivedeným napětím (vpravo) [32] 17	
Obr. 1-15 Piezoelektricky ovládaný vstřikovač [44].....	17
Obr. 1-16 Porovnání konstrukce piezoelektrického (vlevo) a elektromagnetického (vpravo) vstřikovače [32].....	18
Obr. 1-17 Piezo-ventil [32].....	19
Obr. 1-18 Jehlový ventil otevřen, nulový posuv (vlevo) a jehlový ventil uzavřen, posuv násoben pákovým mechanismem (vpravo) [32]	19
Obr. 1-19 Zpětný ventil [46].....	20
Obr. 1-20 Uzavírací pístek [32].....	20
Obr. 1-21 Průběh vstřikování sdruženého vstřikovače [5].....	21
Obr. 1-22 Plnění vysokotlakého prostoru palivem [24]	22
Obr. 1-23 Začátek předvstřiku [24]	22
Obr. 1-24 Ukončení předvstřiku [24]	23
Obr. 1-25 Počátek hlavního vstřiku [24]	23
Obr. 1-26 Konec hlavního vstřiku [24]	24
Obr. 1-27 Zpětné vedení paliva [24]	24
Obr. 1-28 Průběh tlaku, zdvihu kuželového pístku a jehly trysky v průběhu vstřikovacího procesu [1].....	25
Obr. 1-29 Ilustrační průběh zdvihu jehly trysky se znázorněným množstvím vstřikovaného paliva [1].....	25
Obr. 1-30 Schéma palivové soustavy (1.9 TDI PD) [24]	26
Obr. 1-31 Palivová nádrž (Škoda Roomster) [32].....	26
Obr. 1-32 Elektrické palivové čerpadlo [36].....	27
Obr. 1-33 Umístění tandemového čerpadla na motoru [29].....	27
Obr. 1-34 Tandemové čerpadlo [47]	27
Obr. 1-35 Podtlakové čerpadlo [29]	28
Obr. 1-36 Palivové čerpadlo (2.0 TDI PD) [29].....	28
Obr. 1-37 Palivové čerpadlo (1.4 TDI PD) [36].....	29
Obr. 1-38 Rozdělovací trubka [24]	29
Obr. 1-39 Chladič paliva (Škoda Superb) [37].....	29
Obr. 1-40 Schéma řízení motoru (1.4 TDI PD) [27]	30
Obr. 1-41 Snímací kotouč pro identifikování jednotlivých válců [27].....	30



Obr. 1-42 Výstup snímače vačkové hřídele k identifikování jednotlivých válců (nahore) a výstup ze snímače klikové hřídele s informací o každé třetině otáčky klikové hřídele (dole) [27]	31
Obr. 1-43 Elektromagnetický ventil vstřikovače [27]	32
Obr. 1-44 Průběh proudu na čase s BIP v oblasti regulace [24].....	33
Obr. 2-1 Systém Čerpadlo - vedení - tryska [1]	34
Obr. 2-2 Vstřikovací čerpadla Bosch [59].....	34
Obr. 2-3 Popis vstřikovací jednotky [1]	35
Obr. 2-4 Jednotlivé fáze vstřikování [3].....	35
Obr. 2-5 Jedno-pružinové (a) a dvou-pružinové (b) provedení vstřikovač [3]	36
Obr. 2-6 Průběhy napětí, proudu, tlaku a zdvihu jehly trysky v průběhu vstřikování [3].....	36
Obr. 2-7 Momentová charakteristika [61]	37
Obr. 2-8 Výkonová charakteristika [61].....	37
Obr. 2-9 Vstřikovací čerpadla [61].....	37
Obr. 2-10 Motor PACCAR PR v řezu [61]	37
Obr. 2-11 Výkonová charakteristika [60].....	38
Obr. 2-12 Momentová charakteristika [60]	38
Obr. 2-13 Motor PACCAR MX v řezu [60].....	38
Obr. 2-14 Přehled vstřikovačů Čerpadlo – tryska, Čerpadlo – vedení – tryska [64].....	39
Obr. 2-15 Ovládání vstřikovače [63].....	39
Obr. 2-16 Řez vstřikovačem [62]	39
Obr. 3-1 Deplhi E1 [48].....	40
Obr. 3-2 Vstřikovač Deplhi E1 rozložený na jednotlivé komponenty [80].....	40
Obr. 3-3 Delphi E3 [49].....	41
Obr. 3-4 Vstřikovací čerpadlo a dva typy SMART vstřikovačů [51]	41
Obr. 3-5 Rozložený vstřikovač Delphi SMART [51].....	41
Obr. 4-1 Složení výfukových plynů zážehových a vznětových motorů [25]	42
Obr. 4-2 Přehled složek do motoru vstupujících a z motoru vystupujících [25].....	42
Obr. 4-3 Částice saze (přibližně milionkrát zvětšeno) [31].....	43
Obr. 4-4 Recirkulace výfukových plynů [25].....	44
Obr. 4-5 Průběh homologačního měření emisí [25]	45
Obr. 4-6 Přehled emisních norem platných v jednotlivých regionech [1].....	46
Obr. 4-7 Systém s aditivou (vlevo) a bez aditiv (vpravo) [31].....	47
Obr. 4-8 Umístění filtru pevných částic (systém bez aditiv) na vozidle - 2.0 TDI PD 125kW [45]	47
Obr. 4-9 Přehled vozů Škoda se vstřikováním čerpadlo tryska a montáží filtru pevných částic - platné pro rok 2007 [35]	47
Obr. 4-10 Průchod výfukových plynů filtrem a zachytávání pevných částic [31].....	48
Obr. 4-11 Řez filtrem pevných částic [31]	48
Obr. 4-12 Prázdný filtr (a), zaplněný filtr (b) a regenerace filtru (c) [31].....	49
Obr. 4-13 Schéma řízení filtru pevných částic - systém s aditivou [31]	50
Obr. 4-14 Vliv technologii SCR a filtru pevných částic na snížení emisí NOx, pevných částic a HC (měřeno na vozidle MACK E7, 12l, 355/380 HP) [56]	52
Obr. 4-15 Kombinace filtru pevných částic (vlevo) a SCR katalyzátor (vpravo) - motor blueHDI Euro 6 [53].....	52
Obr. 4-16 Chemické reakce probíhající v SCR katalyzátoru [55].....	53
Obr. 4-17 Schéma systému SRC (Tatra) [52].....	53
Obr. 4-18 Nádržka na AdBlue (s modrým uzávěrem) na vozidle MACK [54]	54
Obr. 4-19 Koroze způsobena AdBlue [57].....	54



Obr. 5-1 Výkonová a momentová charakteristika motoru 1.2TDI PD v normálním a ekonomickém módu [39].....	56
Obr. 5-2 Motor 1.2 TDI PD [67]	56
Obr. 5-3 Blok válců s vložkami [40]	57
Obr. 5-4 Vyvažovací hřídel [39]	57
Obr. 5-5 Umístění chladiče oleje [40]	58
Obr. 5-6 Volkswagen Lupo 3L [71]	58
Obr. 5-7 Výkonová a momentová charakteristika motoru 1.4 TDI PD 55kW [27].....	59
Obr. 5-8 Motor 1.4 TDI PD 55kW [27]	59
Obr. 5-9 Hlava válců s jednotkami čerpadlo-tryska [36]	60
Obr. 5-10 Umístění vyvažovacích hřídelí [27].....	60
Obr. 5-11 Rozvody motoru 1.4 TDI PD [27]	61
Obr. 5-12 Lichoběžníkové uložení ojnice [27].....	61
Obr. 5-13 Výkonová a momentová charakteristika motoru 1.4 TDI PD 51kW [32].....	62
Obr. 5-14 Výkonová a momentová charakteristika motoru 1.4 TDI PD 59kW [32].....	62
Obr. 5-15 Motor 1.4 TDI PD 59kW [65]	63
Obr. 5-16 Výkonová a momentová charakteristika motoru 1.9 TDI PD 74kW [26].....	64
Obr. 5-17 Motor 1.9 TDI PD 74kW [38]	64
Obr. 5-18 Výkonová a momentová charakteristika motoru 1.9 TDI PD 77kW [33].....	65
Obr. 5-19 Výkonová a momentová charakteristika motoru 1.9 TDI PD 96kW [26].....	65
Obr. 5-20 Výkonová a momentová charakteristika motoru 1.9 TDI PD 63kW [43].....	66
Obr. 5-21 Výkonová a momentová charakteristika motoru 1.9 TDI PD 77kW [43].....	67
Obr. 5-22 Motor 1.9 TDI PD 63/77kW [43]	67
Obr. 5-23 Výkonová a momentová charakteristika motoru 2.0 TDI PD 16V 103kW [29].....	70
Obr. 5-24 Motor 2.0 TDI PD 103kW [29]	70
Obr. 5-25 Hlava válců 2.0 TDI PD 16V 103kW [29]	71
Obr. 5-26 Píst a jalový prostor motoru 2.0 TDI PD 16V 103kW [29].....	72
Obr. 5-27 Výkonová a momentová charakteristika motoru 2.0 TDI PD 8V 103kW [31].....	72
Obr. 5-28 Modul vyvažovacích hřídelí [31].....	73
Obr. 5-29 Výkonová a momentová charakteristika motoru 2.0 TDI PD 125kW [30].....	74
Obr. 5-30 Těsnění hlavy válců [45].....	74
Obr. 5-31 Tvarování těsnění na krajích těsnění hlavy válců zachycující tlaky od spalovacího procesu [45].....	75
Obr. 5-32 Vertikální tvarování utěsnění spalovacího prostoru [45].....	75
Obr. 5-33 Sací potrubí 2.0 TDI PD 16V 125kW [45]	76
Obr. 5-34 Praskliny v hlavě válce (2.0 TDI 125kW) [72].....	78
Obr. 5-35 Oholené zuby ozubeného kola pohonu (pomocí řetízku) olejového čerpadla [69] .	78
Obr. 5-36 Nový a opotřeбенý unášec pohonu olejového čerpadla [73]	79
Obr. 5-37 Zakarbonované otvory trysky u jednotky Siemens [20]	79
Obr. 5-38 Výkonová a momentová charakteristika motoru 2.5 R5 TDI PD 96kW [43]	80
Obr. 5-39 Výkonová a momentová charakteristika motoru 2.5 R5 TDI PD 128kW [43]	80
Obr. 5-40 Příčná zástavka motoru do VW Transporter (vlevo) a podélná zástavba motoru do VW Touareg (vpravo) [42].....	81
Obr. 5-41 Nanášení povlakového prášku plazmou [42].....	81
Obr. 5-42 Spojení hlavy válců a bloku motoru pomocí kluzné objímky [42].....	82
Obr. 5-43 Rozvody pomocí ozubeného soukolí [42]	82
Obr. 5-44 Čerpadlo chladicí kapaliny [42].....	83
Obr. 5-45 Výkonová a momentová charakteristika motoru 5.0 V10 TDI PD 230 kW [41].....	84
Obr. 5-46 Motor 5.0 V10 TDI [66]	84



Obr. 5-47 Blok válců [41].....	85
Obr. 5-48 Horní a spodní část spodního držáku a jejich vzájemné spojení [41].....	85
Obr. 5-49 Sešroubování bloku motoru, hlavy válce a spodního držáku [41].....	86
Obr. 5-50 Protizávaží na klikovém hřídeli, vyvažovací hřídel a tlumič vibrací [41].....	86
Obr. 5-51 Pohon rozvodů ozubeným soukolím [41]	87
Obr. 5-52 Umístění kloubku [41]	87
Obr. 5-53 Detail kloubku [41]	87
Obr. 5-54 Popis činnosti znázorněný na studeném motoru (vlevo) a zahřátém motoru (vpravo) [41]	88
Obr. 5-55 Pohon alternátoru [41]	88
Obr. 5-56 Jízda z kopce [41]	89
Obr. 5-57 Jízda do kopce [41]	89
Obr. 5-58 Jízda po rovné silnici [41].....	89
Obr. 5-59 Výfuková soustava (VW Touareg) [41]	90
Obr. 5-60 Tažení letadla modelem VW Touareg [68].....	90
Tab. 3-1 Specifikace Deplhi E1 [48]	40
Tab. 3-2 Specifikace Deplhi E3 [49]	41
Tab. 3-3 Specifikace Deplhi SMART [50].....	41
Tab. 5-1 Technické údaje motoru 1.2 TDI PD 45/33 kW [39]	56
Tab. 5-2 Přehled verzí a modelů, kde byl motor 1.2 TDI PD nabízen [18]	58
Tab. 5-3 Technické údaje motoru 1.4 TDI PD 55kW [27].....	59
Tab. 5-4 Technické údaje motoru 1.4 TDI PD 51kW [32].....	62
Tab. 5-5 Technické údaje motoru 1.4 TDI PD 59kW [32].....	62
Tab. 5-6 Přehled verzí a modelů, kde byl motor 1.4 TDI PD nabízen [81]	63
Tab. 5-7 Technické údaje motoru 1.9 TDI PD 74kW [24].....	64
Tab. 5-8 Technické údaje motoru 1.9 TDI PD 77kW [28].....	65
Tab. 5-9 Technické údaje motoru 1.9 TDI PD 96kW [26].....	65
Tab. 5-10 Technické údaje motoru 1.9 TDI PD 63kW [43]	66
Tab. 5-11 Technické údaje motoru 1.9 TDI PD 77kW [43]	67
Tab. 5-12 Přehled verzí a modelů, kde byl motor 1.9 TDI PD nabízen [81]	68
Tab. 5-13 Technické údaje motoru 2.0 TDI PD 16V 103kW [29].....	70
Tab. 5-14 Technické údaje motoru 2.0 TDI PD 8V 103kW [8] [34].....	72
Tab. 5-15 Technické údaje motoru 2.0 TDI PD 16V 125kW [30].....	74
Tab. 5-16 Přehled modelů a variant, kde byl motor 2.0 TDI PD nabízen [81]	76
Tab. 5-17 Přehled aplikací motoru 2.0 TDI PD v modelech platformy PQ35 [7]	77
Tab. 5-18 Technické údaje motoru 2.5 R5 TDI PD 96kW [43].....	80
Tab. 5-19 Technické údaje motoru 2.5 R5 TDI PD 128kW [42][43]	80
Tab. 5-20 Přehled modelů a variant, ve kterých byl motor 2.5 TDI PD nabízen [42]	83
Tab. 5-21 Technické údaje motoru 5.0 V10 TDI PD 230 kW [41].....	84
Tab. 5-22 Přehled modelů a variant, ve kterých byl motor 5.0 TDI PD nabízen [41]	90
Graf 4-1. Přehled emisních norem Euro [4]	45
Graf 4-2 Závislost rozdílu tlaku před a za filtrem a průtoku výfukových plynů na zanesení filtru pevných částic pevných částic [31]	49
Graf 4-3 Vliv obsahu síry na minimální teplotu výfukových plynů [55].....	53