

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta

Analýza moderních palivových soustav a jejich vliv na
vlastnosti vznětových motorů

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Hromádka Ph.D.

Bakalář: Jindřich Kovač

PRAHA 2011

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Akademický rok 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jindřich Kovač

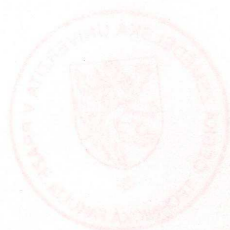
obor Silniční a městská automobilová doprava

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze
čl. 17 odst. 2 určuje tuto diplomovou práci.

Název práce: **Analýza moderních palivových soustav a jejich
vliv na vlastnosti vznětových motorů**

Osnova diplomové práce:

1. Úvod
2. Rozdělení a základní charakteristika jednotlivých typů palivových soustav vznětových motorů
3. Popis činnosti moderních vstřikovacích soustav
4. Cíl práce a metodika
5. Experimentální ověření vlivu palivové soustavy na parametry vznětového motoru
6. Závěr
7. Seznam literatury
8. Přílohy



Rozsah hlavní textové části: 40 - 60 stran

Doporučené zdroje:


1. □ Macek, J.: Spalovací motory I, ČVUT Praha, 2007, ISBN 978-80-01-03618-1
2. □ Scholz, C.: Konstrukce pístového spalovacího motoru. Skripta TU Liberec 2003, ISBN 80-7083-693-8
3. □ VLK, F.: Vozidlové spalovací motory. Nakladatelství a zasilatelství Vlk, Brno, 2002. ISBN 80-238-8756-4
4. □ Technická příručka Bosch – Elektronické vstřikování vznětových motorů EDC 1.3.3, Praha, 2001
5. □ Technická příručka Bosch - Řízení vznětových motorů – Systém vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory, Praha, 2005, ISBN 80-903132-7-2
6. □ Technická příručka Bosch - Řízení vznětových motorů – Elektronická regulace vznětových motorů EDC, Praha, 2002, ISBN 80-903132-4-8

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Hromádko, Ph.D.**


Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2011

L.S.


.....
Vedoucí katedry




.....
Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Hromádka Ph.D. a uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Praze, duben 2011

.....

Kovač Jindřich

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Janu Hromádkovi Ph.D. za ochotu, cenné rady, informace a odborné vedení v průběhu zpracování této diplomové práce a Ladislavu Zelenkovi za pomoc při provádění úprav na řídicí jednotce motoru.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá analýzou moderních palivových soustav a jejich vlivem na vlastnosti vznětových motorů. Úkolem je zmapování současných i očekávaných systémů vstřikování paliva Common Rail a Pumpe Düse.

V první části rešerše je proveden rozbor systému přímého vstřikování paliva Common Rail od firmy Bosch, jeho použití, výhody a nevýhody. V druhé části rešerše je popsán princip činnosti, typy systémů, výhody a nevýhody přímého vstřikování paliva Pumpe Düse.

Experimentální část popisuje způsob provedení diagnostiky a úprav řídicí jednotky motoru za účelem zvýšení výkonu motoru u vozidla BMW 525d a jeho ověřování na výkonových válcových zkušebnách.

Klíčová slova: vstřikování Common Rail, Pumpe Düse, vstřikovače, výkon, tlak paliva

Analysis of modern fuel systems and their impact on characteristics of diesel engines

Abstract

This thesis is focused on analysis of modern fuel systems and their impact on characteristics of diesel engines. Aim of the thesis is to monitor current as well as expected injection Common Rail and Pumpe Düse systems.

The first part of literature review analyses Bosh Common Rail injection system, its ways of use, advantages and disadvantages. The second part of literature review describes principle of operation, types of systems and advantages and disadvantages of Pumpe Düse direct fuel injection.

The experimental part of the thesis describes procedure of diagnostics and upgrade of control unit in order to increase engine power of BMW 525d and its testing on power brake test.

Key words: Common Rail injection, Pumpe Düse, injectors, power, pressure of fuel

1	Úvod.....	1
2	Základní informace o systému Common Rail.....	2
2.1	Oblasti použití systému CR	2
2.2	Princip činnosti CR, typy systémů	2
2.2.1	Princip činnosti systému Common Rail.....	2
2.2.2	Typy systémů Common Rail	4
3	Komponenty vstřikovacího systému Common Rail.....	7
3.1	Nízkotlaký okruh zásobování palivem	7
3.1.1	Palivový filtr	7
3.2	Vysokotlaký okruh zásobování palivem.....	9
3.2.1	Vysokotlaké čerpadlo TYP CP1	9
3.2.2	Regulace tlaku.....	11
3.2.3	Regulační tlakový ventil	12
3.2.4	Omezovací ventil.....	15
3.2.5	Vstřikovače	16
3.3	Elektronické řízení.....	23
3.3.1	Řídící jednotka	23
3.3.2	Snímač otáček klikového a vačkového hřídele	23
3.3.3	Snímač polohy pedálu plynu.....	23
3.3.4	Snímač hmotnosti nasávaného vzduchu	23
3.3.5	Ovladač zpětného vedení výfukových plynů (EGR)	23
4	Přednosti a problémy systému Common Rail	27
4.1	Přednosti	27
4.2	Problémy se vstřikováním common rail.....	27
4.2.1	Možné závady	28
5	Sdružená vstřikovací jednotka - Unit Injektor System.....	32
5.1	Princip činnosti a konstrukce systému.....	32
5.2	Elektronická regulace sdružené vstřikovací jednotky	34
5.3	Třetí generace systému Unit Injector.....	36
5.4	Poruchy a opravy elektronicky řízeného systému čerpadlo-tryska	36
5.4.1	Měřené parametry	37
6	Cíl práce a metodika.....	38
7	Experimentální ověření vlivu palivové soustavy na parametry vznětového motoru	39
7.1	Základní údaje o diagnostikovaném vozidle	39
7.2	Úvodní kompletní diagnostika vozidla.....	40
7.3	Měření kouřivosti motoru před úpravami.....	43
7.4	Měření originálního nastavení výkonu na výkonové válcové zkušebně	45
7.5	Provedení úprav v řídicí jednotce motoru	46
7.5.1	Konkrétní provedené úpravy.....	47
7.6	Kompletní diagnostika po úpravě řídicí jednotky	51
7.7	Měření kouřivosti motoru po úpravě řídicí jednotky.....	53
7.8	Závěrečné porovnávací měření na výkonové válcové zkušebně.....	55
8	Závěr.....	57

1 Úvod

Common Rail je celosvětově nejrozšířenější systém přímého vysokotlakého vstřikování nafty u vznětových motorů. Polovina nově vyrobených osobních vozidel v západní Evropě má pod kapotou motoru vznětový motor. Bosch má se systémy vysokotlakého vstřikování, jako je Common Rail nebo Unit injektor rozhodující podíl na této historii úspěchu. Zaručuje nejlepší možné využití výkonu a čisté spalování paliva. Požadavky na nižší spotřebu paliva, malý obsah škodlivých látek ve spalinách a na tišší chod motoru kladou vysoké nároky na motor a vstřikovací soustavu. Tyto požadavky mohou splnit jen vstřikovací systémy, které jsou schopny zajistit vysoký vstřikovací tlak nutný pro jemné rozprašení paliva v trysce, velmi přesné dávkování množství, přesný průběh vstřikování a rovněž pilotní vstřiky a následné vstřiky. Systém, který momentálně nejlépe tyto požadavky splňuje, je zásobníkový systém Common Rail. Na rozdíl od ostatních vstřikovacích systémů je palivo ve vysokotlakém zásobníku stále připraveno ke vstřikování.

Nároky na vstřikovací systémy vznětových motorů se neustále zvyšují. Vyšší tlaky, rychlejší spínací časy a pružné přizpůsobení průběhu vstřiku provoznímu stavu motoru činí vznětový motor úsporným, čistým a výkonným. Tím se vznětové motory prosadily do všech tříd automobilů.

Systém Common Rail je dnes jedním z nejvíce vyvíjených systémů přímého vstřikování paliva. Hlavní výhoda systému Common Rail spočívá ve velkých možnostech variability při vytváření vstřikovacího tlaku a časového okamžiku vstřiku. Toho je dosaženo oddělením vytváření vysokého tlaku (vysokotlaké čerpadlo) a vstřikování (vstřikovače). Jako zásobník tlaku přitom slouží zásobník "rail".

Srdce systému je vstřikovač, který existuje ve dvou provedeních: vstřikovač s elektromagnetickým ventilem a od roku 2004 zavedený piezoelektrický vstřikovač in-line. Jen díky elektronice obsažené v systému Common Rail mohou být plně využity možnosti tohoto vstřikovacího systému.

Systém Common Rail je v současné době nejvíce používaným vstřikovacím systémem pro moderní rychloběžné vznětové motory osobních a nákladních vozů.

2 Základní informace o systému Common Rail

2.1 Oblasti použití systému CR

System vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory s přímým vstřikem paliva (Direkt Injection, DI) je používán v následujících vozidlech:

Osobní vozidla - s velmi úspornými tříválcovými motory od objemu 0,8 l, výkonem od 30 kW, točivým momentem 100 Nm a spotřebou paliva od 3,5 l/100km až do osmiválcových motorů vozidel vyšší třídy s objemem 6 l, výkonem 250 kW a točivým momentem 700 Nm.

Lehká užitková vozidla - s výkonem od 30kW/válec,

Těžká nákladní vozidla až po lokomotivy a lodě s výkonem cca 200 kW/ válec. [1,2]

2.2 Princip činnosti CR, typy systémů

Jedná se o systém vstřikování ze společné zásobní a rozdělovací trubky (Common-Rail). Je použit u vznětových motorů s přímým vstřikováním paliva. Vstřikované množství paliva je dáno: tlakem paliva v rozdělovací trubce - otevírací dobou vstřikovače, tryskou.

Rozdíl proti ostatním způsobům vstřikování paliva je v tom, že tento systém může vyvinout tlak paliva 135 MPa a více (až 250 MPa). Proti zážehovým motorům je tento tlak až čtyřicetkrát vyšší.

2.2.1 Princip činnosti systému Common Rail

U vstřikovacího systému CR je odděleno vytváření tlaku a vstřikování. Vstřikovací tlak je vytvářen nezávisle na otáčkách motoru a vstřikované dávce. Palivo je připraveno pro vstřikování ve vysokotlakém zásobníku paliva „railu“. Vstřikovaná dávka je určena řidičem, okamžik vstřiku a vstřikovací tlak jsou vypočteny z uložených polí hodnot v elektronické řídicí jednotce a realizovány vstřikovačem (vstřikovací jednotkou) každého válce prostřednictvím řízeného magnetického (piezoelektrického) ventilu. [1]

První uživatelé systému

Nejdříve se tímto systémem zabývala firma Fiat a první systém pod názvem "Unijet" byl použit v roce 1989. Po uzavření smlouvy s firmou Bosch došlo k prudkému vývoji tohoto systému. Objevuje se v mnoha variantách a označeních na různých typech motorů. Např.:

- 1997 Alfa Romeo 156 - vznětový motor 1,9 JTD
- 1998 Fiat Brava a Bravo - motory 1,9 JTD
- 2001 VOLVO a BMW E39 – motory 2,5d a 3,0d
- Mercedes Benz - vznětový motor CDI
- skupina PSA (Peugeot/ Citroen)

Sériovou výrobu zahájila firma Bosch. Přednosti a výhody tohoto systému proti klasickému použití řadového nebo rotačního čerpadla jsou: dokonalost a velmi jemné rozprášení paliva vede k jeho zplynování při okamžitém odpaření, a tudíž ke vzniku dokonalé směsi paliva se vzduchem, která dokonale prohoří.

Výhody dokonalého spalování

- vyšší výkon motoru až o 20 %
- vyšší točivý moment v režimu nízkých otáček až o 50 %
- snížení spotřeby paliva až o cca 20 %
- výrazné snížení emisí zplodin ve výfukových plynech
- motor vykazuje výrazně tišší a měkký chod, který je bez typických projevů motorů s přímým vstřikem paliva, kde se projevují vibrace dieselových agregátů. Výrazně se na tom podílí rozdělení hlavního vstřiku na dvě a více částí. Předvstříknutí paliva před hlavním vstřikem způsobí jakési předehřátí spalovacího prostoru a tím palivo nehoří rázově po hlavním vstřiku, ale jeho hoření se přibližuje hoření u vznětového komůrkového motoru, chod je tišší, není tvrdý.

- Emise zplodin výfukových plynů jsou proti klasickému vznětovému motoru výrazně nižší a to:

- a) je snížen obsah CO₂ na standardní hladinu
- b) obsah NO je snížen až o 20 %
- c) obsah CO je snížen až o 40 %
- d) obsah HC je snížen až o 50 %
- e) obsah NO_x je navíc snížen pomocí EGR ventilů
- f) obsah pevných částic je snížen až o 60 % [1]

2.2.2 Typy systémů Common Rail

V současnosti se hovoří o systému Common Rail 4. generace od firmy BOSCH. Byl představen na výstavě ve Frankfurtu. S momentálně nejmodernější třetí generací systému common-rail jezdí stále více běžných automobilů a nevýhody kdysi jednoznačně identifikovatelného typu motoru se postupně daří odstraňovat.

Systém Common Rail 3. generace, ve kterém nahradily solenoidové vstřikovače přesnější a rychlejší piezoelektricky ovládané prvky, byl zaveden v roce 2004.

Pro budoucí generace vznětových motorů vyvinul Bosch už čtvrtou generaci systému vstřikování Common-Rail. Na trhu se objevila v roce 2008. Na tomto stupni vývoje je u osobního vozu poprvé aplikován hydraulicky zesilující vstřikovač nafty. Tento vstřikovač pracuje s převodovým pístem, který zesiluje systémový tlak panující v liště a umožňuje dosáhnout vstřikovacích tlaků až do 250 MPa. Tato u osobních vozidel nová technika otevírá možnost pracovat v samotném řídicím systému se zjevně nižším tlakem, který je snadněji ovladatelný, a požadovaný **maximální tlak vytvářet teprve až ve vstřikovači**. Požadovaný konstrukční prostor u vstřikovače čtvrté generace Common Rail přitom v podstatě odpovídá potřebě tradičního vstřikovače druhé generace.

Méně škodlivin při spalování vzniká také tím, že palivo není náhle vstříknuto do spalovacího prostoru, ale díky speciálnímu geometrickému dimenzování vstřikovače je vstřikováno s rostoucím tlakem. Tento průběh vstřiku umožňuje šetrnější postup spalování s méně patrnými teplotními špičkami a příslušně redukovanou tvorbou oxidu dusíku. Zlepšuje

se také příprava směsi, a tím se redukuje vznik částic. Čtvrtá generace Common Rail umožňuje vícenásobný vstřík, aby bylo možné řídit regeneraci filtrů částic. [10]

Konkurence - Nový systém Common Rail s přímým ovládáním

Společnost Delphi vyvinula po několika letech usilovného vývoje a za spolupráce s týmy techniků společnosti Daimler revoluční přímo ovládaný piezoelektrický vstřikovač Delphi.

Nový systém Common Rail s přímým ovládáním společnosti Delphi představuje radikální průlom v technologii vstřikování paliva u vznětových motorů, protože **jehla vstřikovače je poprvé ovládána přímo piezoelektricky, čímž se eliminuje hydraulický okruh a s ním spojené zpoždování a spotřeba energie.** Tato změna umožňuje, aby mohli výrobci vozidel splnit budoucí právní normy týkající se emisí výfukových plynů za současného zvýšení výkonu a imperativního snížení spotřeby paliva.

Systém CR s přímým ovládáním společnosti Delphi používá patentovanou koncepci přímého ovládání, která je charakteristická tím, že se jehla vstřikovače uvádí do pohybu přímo piezokeramickým ovladačem místo elektrohydraulickým okruhem tak, jako je tomu u současných palivových vstřikovacích technologií. Piezoelektrický ovladač ovládá počáteční zdvihy, jako jsou zdvihy pilotních vstříků, jehlového ventilu vstřikovače přímo, přičemž k dokončení zdvihů velkých vstříků se používá zesilovač pohybu. To umožňuje rychlejší vstřikování paliva do spalovací komory vstřikovačem s daleko lepší pohybovou energií a přesností vstříků za vyšších tlaků (až 250 MPa). Rovněž zajišťuje mimořádně rychlé otvírání a zavírání jehlového ventilu, a to zcela nezávisle na vstřikovacím tlaku. **Při rychlostech jehly vyšších než 3 m/s, nebo jinak řečeno třikrát vyšších než to umožňují současné servomechanismy,** tento systém umožňuje sedm (nebo i více) individuálních vstříků během jednoho cyklu motoru. Konstrukční řešení hydraulického okruhu společnosti Delphi výhodně využívá charakteristické vlastnosti piezokeramických ovladačů, a to velkou sílu a rychlost při současně účinném balení.

Díky vysoce přesným vícenásobným vstříkům paliva lze vstřikovací proces paliva přizpůsobit s vyšší přesností celému rozsahu zatížení a otáček motoru, což má pozitivní dopad na emise výfukových plynů, spotřebu paliva a hlučnost spalování. Poskytnutím možnosti ovládat rychlost otvírání jehly elektronicky a nezávisle na hydraulických omezeních je

konstruktér motoru schopen vyhovět protichůdným požadavkům na optimalizaci hlučnosti a minimalizaci emisí výfukových plynů, bez jakéhokoliv kompromisu.

Při volnoběhu je hlučnost přímo ovládaných vstřikovačů dokonce nižší než hlučnost vlastního motoru, což je ve srovnání se současnými piezoelektrickými vstřikovacími servosystémy pozoruhodné zlepšení.

Navíc, díky novátorské koncepci ovládní je radikálně nový princip činnosti vstřikovače také **dokonale těsný**. To znamená, že do palivové nádrže se nevrací žádné odpadní vysokotlaké palivo, což znamená úsporu jednoho kilowattu ztrátové energie, kterou používají současné servomechanismy, a dále **eliminaci** požadavku na nákladově náročné **chladiče paliva**, a to dokonce při tlaku v Railu ve výši 200 MPa. Celkové přínosy zahrnují podstatné snížení emisí výfukových plynů, vyšší točivý moment a výkon v celém rozsahu otáček motoru, významné zlepšení úspory paliva a lehký, klidný běh motoru. [11]

3 Komponenty vstřikovacího systému Common Rail

System se dělí na tři základní části: 1. nízkotlaký okruh zásobování palivem

2. vysokotlaký okruh zásobování palivem

3. elektronické řízení

3.1 Nízkotlaký okruh zásobování palivem

Nízkotlaká palivová část zajišťuje dopravu paliva z nádrže k vysokotlakému čerpadlu a to v dostatečném množství.

Podstatné části jsou:

- palivová nádrž
- palivové potrubí nízkotlaké
- podávací čerpadlo s předčističem
- palivový filtr
- nízkotlaký okruh vysokotlakého čerpadla

3.1.1 Palivový filtr

Nečistoty v palivu mohou vést ke škodám na součástech čerpadla, tlakových ventilech a vstřikovacích tryskách. Použití speciálních, pro požadavky vstřikovacích zařízení přizpůsobených, filtrů je proto předpokladem pro bezporuchový provoz a dlouhou životnost. Palivo může obsahovat vodu ve vázané (emulze) nebo nevázané formě (např. tvoření kondenzátu následkem změny teplot). Když se tato voda dostane do vstřikovacího systému, mohou na základě koroze vzniknout poškození. Na filtru bývá umístěn odkalovací ventil a automatický hlásič vody (varovná kontrolka na přístrojové desce).

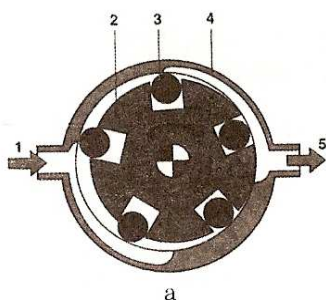
Přídavné funkce

Moderní filtrační moduly mají integrovány modulární přídavné funkce, jako jsou predehřívání paliva: provádí se elektricky, pomocí chladicí vody nebo teplem z paliva ve zpětném vedení. V zimním provozu zabraňuje ucpávání pórů filtru krystaly parafinu. Nutnost údržby je indikována rozdílovým tlakem filtru. [2]

Princip činnosti

Palivo je z nádrže dopravováno palivovým čerpadlem, které je umístěné přímo v nádrži. Některé typy užívají čerpadlo mimo nádrž, poháněné od vačkové hřídele. Na nádrži je umístěn multifunkční ventil 4, který zajišťuje v nádrži mírný přetlak (0,55 – 0,75 MPa). Tento přetlakový ventil pro odvětrání nádrže zajistí i to, že nedojde k úniku paliva z nádrže při havárii vozidla.

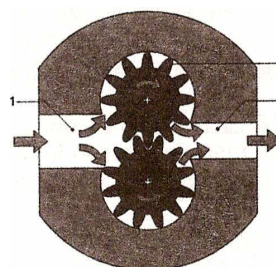
Obr. 1 Válečkové dopravní pal.čerpadlo [1] Zubové palivové dopravní čerpadlo [1]



1-sací strana; 2-rotorový kotouč;

3-váleček; 4-základní deska;

5-výtlačná strana



1-sací prostor; 2-hnací ozubená kola; 3-výtlačný prostor

Po zapnutí klíčku zapalování je čerpadlo uvedeno do činnosti a během asi 5 sekund doplní palivo do systému a odvdzušní nízkotlakovou část. Přetlakový ventil udržuje v nízkotlakové části přetlak 0,5 MPa. Další součástí tohoto okruhu je filtrace paliva a předehřívání paliva v čističích. Při poklesu teploty pod 6 °C je palivo předehřáto na 15 °C.

O udržování rovnoměrného tlaku v tomto okruhu paliva se stará přepouštěcí ventil umístěný na palivovém čističi. Udržuje tlak mezi 0,2 – 0,25 MPa. Do nízkotlakového okruhu je zařazeno i zpětné vedení paliva.

Měříme běžnými tlakoměry, které připojíme pomocí adaptérů mezi palivové čerpadlo a čistič. Tlak ve zpětném vedení se měří po napojení na vedení paliva mezi nádrž a zpětný vývod. Není li, tlak na odpovídající hodnotě může být nejčastější příčinou palivový čistič, jeho vložka, zanesená, neprůchodná. Nebo je vadný či nesprávně nastavený přepouštěcí ventil. Tlak může být stanoven na základě škrcení průtoku odváděného paliva kalibrovaným otvorem. I ten je nutné zkontrolovat. [1]

3.2 Vysokotlaký okruh zásobování palivem

Vysokotlaká část systému Common Rail se dělí na tři oblasti:

Vytváření tlaku (ve vysokotlakém čerpadle)

Udržování tlaku (v zásobníku Rail)

Odměřování paliva (pomocí vstřikovačů)

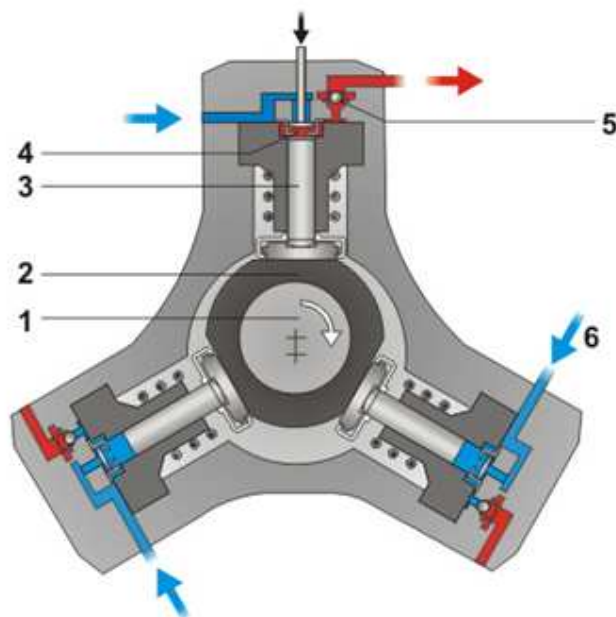
3.2.1 Vysokotlaké čerpadlo TYP CP1

Vysokotlaké čerpadlo Bosch CP1, mimo jiné vyráběné v jihlavském Pávově, tvoří rozhraní mezi nízkotlakou a vysokotlakou částí. Jejím úkolem je vždy dodávat dostatek stlačeného paliva ve všech provozních stavech po celou dobu životnosti vozidla. Do toho se počítá i příprava rezervy paliva, která je nutná pro rychlý start motoru a prudký nárůst tlaku. Vysokotlaké čerpadlo vytváří trvale systémový tlak pro vysokotlaký zásobník Rail. Proto nemusí být stlačené palivo ve srovnání s obvyklým vstřikovacím systémem „vysoce stlačeno“ speciálně pro každý jednotlivý vstřík.

Konstrukce

Vysokotlaké čerpadlo je na vznětovém motoru přednostně montováno na stejném místě jako konvenční rotační vstřikovací čerpadlo. Je poháněno od motoru přes spojku, ozubené kolo, řetězem nebo ozubeným řemenem s maximálně 3000 min^{-1} . Je mazáno palivem. [2]

Obr. 2 Vysokotlaké čerpadlo (schéma, řez) [2]



1-hnací hřídel, 2-excentrická vačka, 3-čerpací element s pístkem, 4-sací ventil,

5-výtlačný ventil, 6-přívod

Redukční ventil je podle zástavbového prostoru, buď namontován přímo na vysokotlakém čerpadle, nebo je instalován odděleně. Palivo je ve vysokotlakém čerpadle stlačováno až třemi (u typu CP1) radiálně umístěnými písty čerpadla. Tyto písty jsou každý vzájemně přesazeny o 120° . Se třemi dopravními zdvihy na otáčku vychází menší špičkový hnací moment a rovnoměrnější zatížení náhonu čerpadla. Točivý moment dosahuje 16 Nm - sotva $1/9$ potřebného hnacího momentu pro srovnatelné rotační vstřikovací čerpadlo. Tím klade CR na náhon čerpadla nižší požadavky než konvenční vstřikovací systémy. Výkon potřebný k pohonu čerpadla roste úměrně nastavovanému tlaku v railu a otáčkám čerpadla.

Princip činnosti

Podávací čerpadlo dopravuje palivo přes filtr a odlučovač vody k pojistnému ventilu. Tlačí palivo škrtkým otvorem pojistného ventilu do mazacího a chladícího okruhu vysokotlakého čerpadla. Hnací hřídel s její excentrickou vačkou pohybuje se třemi písty čerpadla podle tvaru vačky nahoru a dolů. Překročí-li podávací tlak otevírací tlak pojistného ventilu (0,05-0,15 MPa), může podávací čerpadlo tlačít palivo sacím ventilem vysokotlakého čerpadla do toho válce, v němž se píst čerpadla pohybuje dolů (sací zdvih). Když je překročena dolní úvrať pístu čerpadla, tak se uzavírá sací ventil a palivo v prostoru válce nemůže dále unikat. Může být pouze vytlačováno nad podávací tlak podávacího čerpadla. To si konstruktivním tlakem otevírá výtlačný ventil, jakmile je dosažen tlak v railu, stlačené palivo se dostává do vysokotlakého okruhu. Píst čerpadla dopravuje palivo tak dlouho, až je dosažena horní úvrať (čerpací zdvih). Potom odpadá tlak tak, že se výtlačný ventil zavře. Zbývající palivo se uvolní, píst se pohybuje dolů. Dosáhne-li tlak v prostoru válce podávací tlak, otevře se zase sací ventil a proces začíná znovu.

3.2.2 Regulace tlaku

Podle použití systému jsou využívány rozdílné způsoby regulace tlaku:

Regulace vysokotlakého čerpadla na straně vysokého tlaku

U systémů osobních vozidel je požadovaný tlak v Railu regulován regulačním tlakovým ventilem na straně vysokého tlaku (viz obr. 3). Palivo, které při vstřikování není využito, odtéká přes regulační tlakový ventil do nízkotlaké části okruhu. Tato regulace umožňuje rychlé přizpůsobení tlaku v Railu při změnách provozního zatížení.

Regulace na straně vysokého tlaku byla používána u prvních systémů Common Rail. Regulační tlakový ventil je umístěn nejčastěji na Railu, u některých aplikací přímo na vysokotlakém čerpadle.

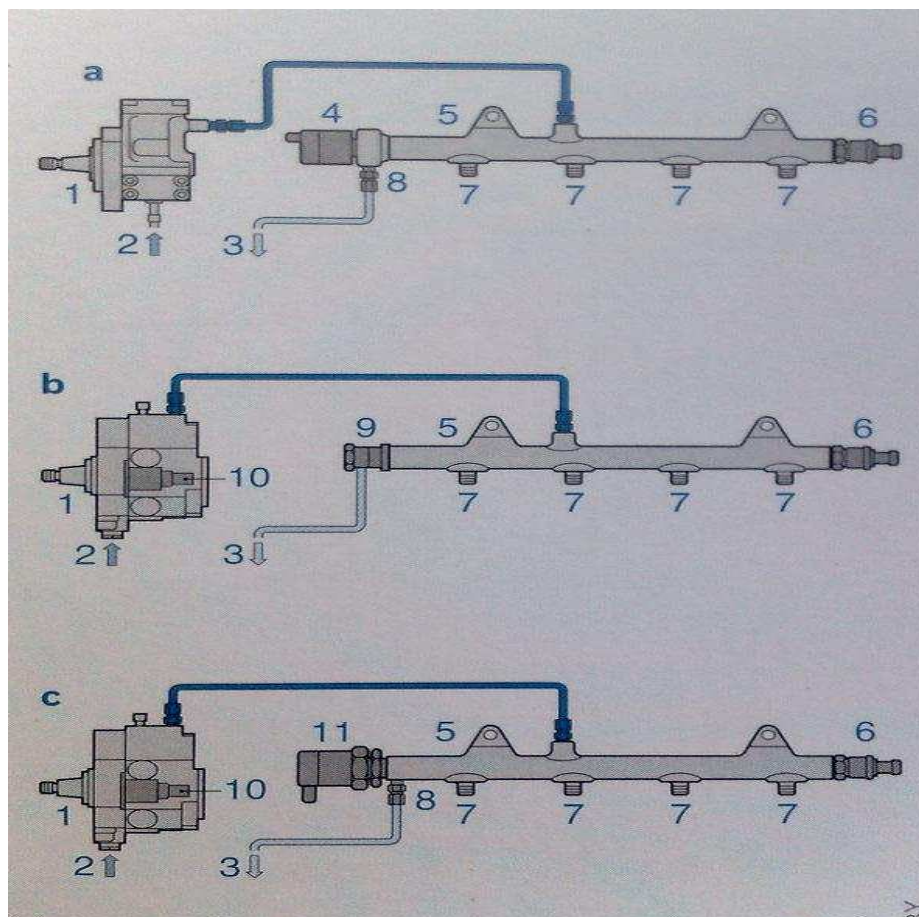
Regulace množství na sací straně

Další možností regulace tlaku v Railu je regulace množství na sací straně obr. 3. Dávkovací jednotka (10) uchycená pomocí příruby na sací straně vysokotlakého čerpadla zajišťuje, aby čerpadlo dodávalo do Railu přesně takové množství, při kterém je dosažen

vstříkovací tlak požadovaný systémem. Omezovací tlakový ventil (9) zabraňuje nepřipustně vysokému nárůstu tlaku v Railu v případě poruchy.

Díky regulaci množství na sací straně je množství paliva stlačené na vysoký tlak nižší, a tím je nižší také odebíraný výkon čerpadla. To pozitivně ovlivňuje spotřebu paliva. Kromě toho je ve srovnání s vysokotlakou regulací snížena teplota paliva přitékajícího do nádrže zpětným palivovým potrubím.

Obr. 3 Příklady vysokotlaké regulace systémů CR [2]



a) Regulace na straně vysokého tlaku

b) Regulace na sací straně s dávkovací jednotkou

c) Regulace na sací straně s dávkovací jednotkou přidavnou regulací pomocí regulačního tlakového ventilu

1-vysokotlaké čerpadlo, 2-přívod paliva, 3-zpětné palivové potrubí, 4-regulační tlakový ventil, 5-vysokotlaký zásobník, 6-snímač tlaku v zásobníku, 7-přípojky ke vstříkovačům, 8-přípojka zpětného palivového potrubí, 9-omezovací tlakový ventil, 10-dávkovací jednotka(škrťací ventil), 11-regulační tlakový ventil

3.2.3 Regulační tlakový ventil

Úkolem regulačního tlakového ventilu je řídit a udržovat tlak v Railu v závislosti na zatížení (výkonu) motoru. Otvírá se při vysokém tlaku v Railu, aby se určitá část paliva z Railu odvedla přes sběrné potrubí zpět do nádrže. Zavírá se při příliš nízkém tlaku v Railu a slouží jako těsnicí prvek mezi vysokotlakou a nízkotlakou stranou okruhu.

Konstrukce

Regulační tlakový ventil (obr. 4) má přírubu k přírubovému upevnění k vysokotlakému čerpadlu nebo k Railu. Kotva (5) přitlačuje kuličku ventilu (6) do těsnicího sedla, aby se utěsnila vysokotlaká strana proti nízkotlaké straně: za tím účelem zaprvé ventilová pružina (2) při tlači kotvu směrem dolů, zadruhé elektromagnet (4) vyvine sílu na kotvu. Za účelem mazání a odvodu tepla je celá kotva obtékána palivem.

Způsob činnosti

Regulační tlakový ventil má dva regulační okruhy: jeden pomalejší elektrický regulační obvod slouží k nastavení proměnné střední hodnoty tlaku v zásobníku Rail, jeden rychlejší mechanicko-hydraulický regulační okruh, který vyrovnává vysokofrekvenční tlakové kmitání.

Regulační tlakový ventil není aktivován. Vysoký tlak, který je v zásobníku Rail nebo na výstupu vysokotlakého čerpadla je přiváděn vysokotlakým potrubím k regulačnímu tlakovému ventilu. Elektromagnet bez proudu nevyvíjí žádnou sílu, a proto síla vysokého tlaku převažuje sílu pružiny, takže se regulační tlakový ventil otevře a podle dodávaného množství zůstane více nebo méně otevřen. Pružina je navržena tak, aby nastavovala tlak přibližně 10 MPa.

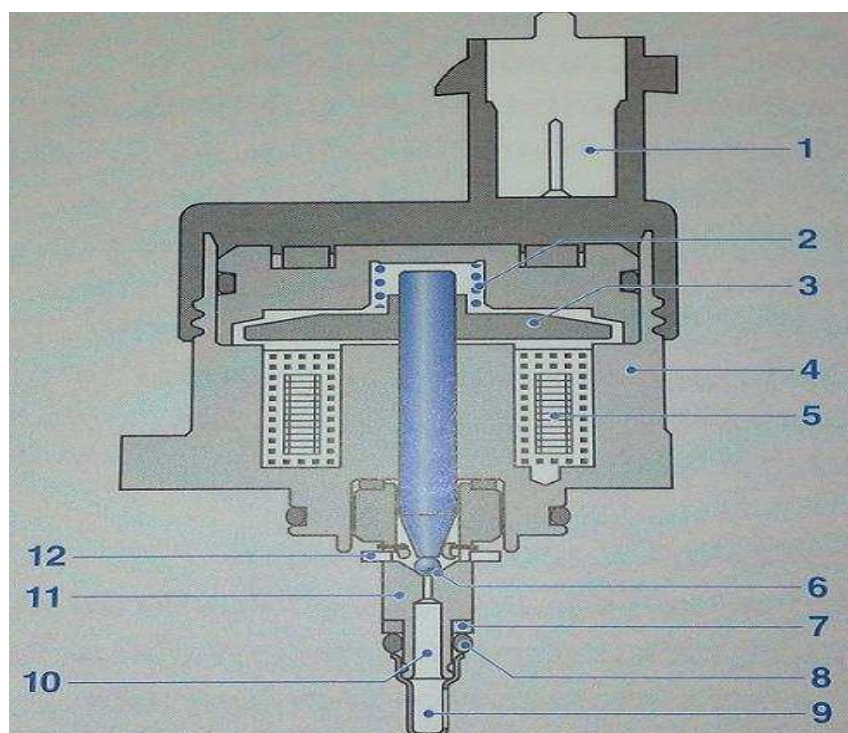
Regulační tlakový ventil je aktivován, když má být tlak ve vysokotlakém okruhu zvýšen, musí být kromě síly pružiny vytvořena ještě elektromagnetická síla. Regulační tlakový ventil je aktivován a uzavřen do doby, než mezi silou vysokého tlaku na jedné straně a silou elektromagnetu a pružiny na druhé straně dojde k rovnováze. Poté zůstává v otevřeném stavu a udržuje tlak na konstantní úrovni. Mění se množství dodávané vysokotlakým čerpadlem a odběr paliva z vysokotlaké části vstřikovačů je vyrovnáváno různým stupněm otevření. Síla elektromagnetu je úměrná aktivačnímu proudu. Změna aktivačního proudu se provádí pomocí modulace šířky impulzu (taktování). Taktovací frekvence 1 kHz je dostatečně vysoká, aby se vyloučily rušivé pohyby kotvy příp. odchylky tlaku v Railu.

Provedení

U systémů Common Rail 1. generace našel využití regulační tlakový ventil DRV1. Systémy CR 2. a 3. generace pracují na principu dvou regulátorů, přičemž tlak v Railu je regulován jak pomocí dávkovací jednotky (škrticí ventil), tak také pomocí regulačního tlakového ventilu. V tomto případě se používá regulační tlakový ventil DRV2 nebo varianta DRV3 zvyšující tlak. Díky této strategii regulace dochází k menšímu ohřívání paliva a může být upuštěno od chlazení paliva. DRV2/3 se od DRV1 liší v následujících ohledech:

- tvrdé utěsnění vysokotlakého rozhraní (zářezná hrana),
- optimalizovaný obvod elektromagnetu (menší spotřeba proudu),
- flexibilní koncepce elektromagnetu (volná orientace konektoru).

Obr. 4 Regulační tlakový ventil DRV1 (řez)[2]



1 Elektrická přípojka, 2 Ventilová pružina, 3 Kotva, 4 Pouzdro ventilu, 5 Cívka elektromagnetu, 6 Kulička ventilu, 7 Opěrný kroužek, 8 O-kroužek, 9 Filtr, 10 Přívod vysokého tlaku, 11 Těleso ventilu, 12 výstup k nízkotlakému okruhu

3.2.4 Omezovací ventil

Úloha

Úloha omezovacího tlakového ventilu odpovídá přetlakovému ventilu, přičemž do nejnovější verze interního omezovacího tlakového ventilu byla integrována funkce nouzového chodu. Omezovací tlakový ventil omezuje tlak v Railu a při příliš vysokém zatížení uvolňuje vypouštěcí otvor. Díky funkci nouzového chodu je nyní zaručeno, že v Railu zůstane zachován určitý tlak a umožní se další omezená jízda.

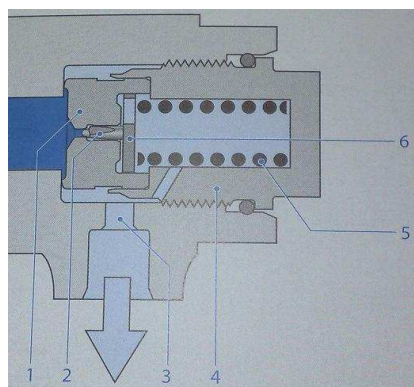
Konstrukce a způsob činnosti

U omezovacího tlakového ventilu (obr. 5) se jedná o komponenty s mechanickou činností. Obsahuje následující součásti:

- těleso s vnějším závitem k našroubování na Rail,
- přípojka zpětného vedení paliva do palivové nádrže (3),
- pohyblivý píst (2),
- tlačná pružina (5).

Těleso má na straně připojení k Railu otvor, který je uzavřen kuželovitým koncem pístu v sedle uvnitř tělesa. Při normálním tlaku přitlačuje pružina píst do sedla, takže je Rail uzavřen. Teprve při překročení maximálního tlaku v systému je píst odtlačen tlakem v Railu proti pružině a palivo, které je pod vysokým tlakem, se může uvolnit. Přitom je palivo vedeno kanály do centrálního otvoru pístu a odváděno přes sběrné potrubí do palivové nádrže. Otevřením ventilu se uvolní palivo z Railu a důsledkem je snížení tlaku v zásobníku Rail.

Obr. 5 Omezovací tlakový ventil DBV4 [2]



- 1 - Vložka ventilu 2 - Píst ventilu
3 - Nízkotlaký okruh 4 - Držák ventilu
5 - Tlačná pružina 6 - Talířová
podložka

3.2.5 Vstřikovače

U vstřikovacího systému Common Rail pro vznětové motory jsou vstřikovače připojeny k vysokotlakému zásobníku Rail krátkými vysokotlakými palivovými potrubími. Těsnění vstřikovačů u spalovacího prostoru je provedeno pomocí měděné těsnicí podložky. Vstřikovače jsou pomocí upínacích prvků upevněny k hlavě válců. Vstřikovače CR jsou podle provedení vstřikovacích trysek vhodné pro přímou nebo šikmou vestavbu do vznětových motorů s přímým vstřikem. Charakteristickým znakem je, že vytváření vstřikovacího tlaku je nezávislé na otáčkách motoru a vstřikovaném množství. Počátek vstřiku a vstřikované množství jsou řízeny elektricky aktivovaným vstřikovačem. Okamžik vstřiku je řízen systémem úhel – čas elektronické regulace vznětového motoru (EDC). K tomu jsou na klikovém hřídeli a k rozpoznání válců na vačkovém hřídeli (rozpoznání fáze) potřebné dva snímače otáček. Požadavky na snížení škodlivých emisí výfukových plynů a rovněž na stálé snižování hlučnosti vznětových motorů vyžadují optimální přípravu směsi, přičemž je od vstřikovačů vyžadován předstřík s velmi malým množstvím a rovněž několikanásobné vstřikování.

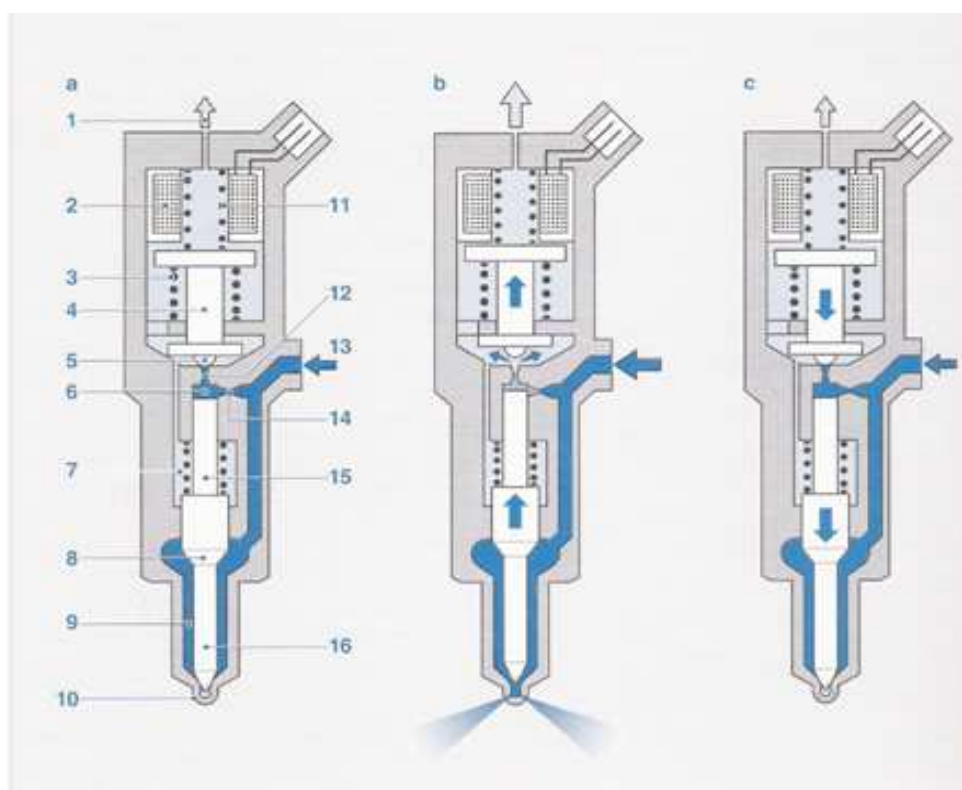
Vstřikovač lze rozdělit na několik funkčních bloků:

- otvorová tryska
- hydraulický servosystém
- elektromagnetický ventil

Typy vstřikovačů používané v současné době sériově:

- vstřikovač s elektromagnetickým ventilem
- vstřikovač s piezoelektrickým členem

Obr. 6 Vstříkovač s elektromagnetickým ventilem (popis činnosti) [2]



a) klidový stav b) vstříkovač se otevírá c) vstříkovač se zavírá

1- zpětné palivové potrubí, 2- cívka elektromagnetu, 3- pružina přeběhu, 4- kotva, 5-kulička ventilu, 6- řídicí prostor ventilu, 7- pružina trysky, 8- tlačné mezikruží jehly trysky, 9- objem komory, 10- vstříkovací otvor, 11- pružina elmg.ventilu, 12- škrcení na odpadu, 13- vysokotlaká přípojka, 14- škrcení na přívodu, 15- píst ventilu, 16- jehla trysky

U vstříkovačů 1. a 2. generace systému CR firmy BOSCH se vstříkovací proces řídí solenoidy na vstříkovačích. **Vstřík je rozdělen až do 4 částí.** Dvojitý pilotní, hlavní vstřík a dostřík. Síla potřebná k otevírání a zavírání vstříkovače není vytvářena pouze pomocí magnetického ventilu, ale nepřímo se na jejím vzniku podílí i sílu zvětšující hydraulická síla.

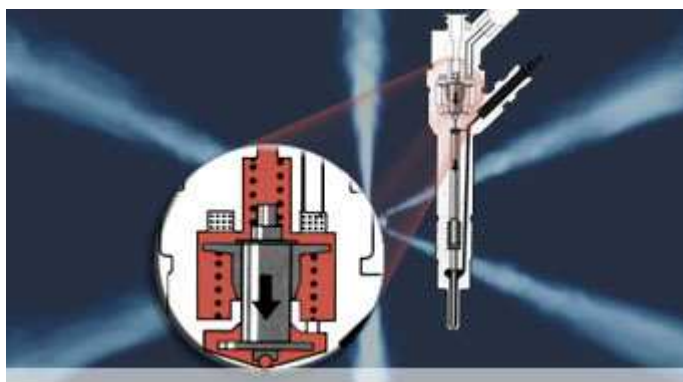
Aby se zvýšil stupeň volnosti při úpravách vstříkování, vyvinul Bosch **Piezo-Inline-injektory**. Jejich jehla trysky může být ovládána dvakrát tak rychle jak je tomu u elektromagnetických injektorů. Tak lze počátek, trvání a průběh vstříkování upravit tak, aby se motoru umožnilo ještě lepší využití jeho pole charakteristik.

- až o 3 % menší spotřeba, o 15 až 20 % menší emise, o 5 až 7 % vyšší výkon

a o 3 dB nižší hluk motoru, než je tomu u injektorů s elektromagnety

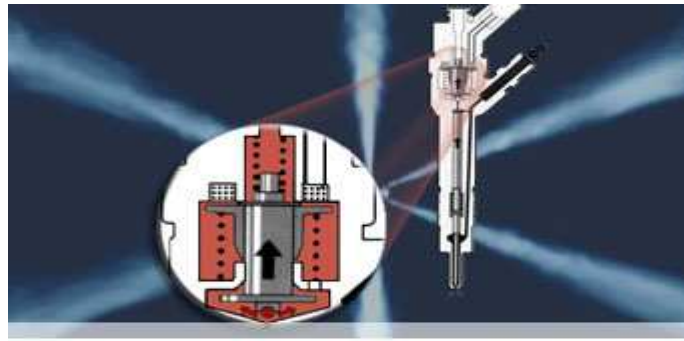
1. zavřený injektor – Obr. 7. V klidovém stavu není vstřikovač aktivován (viz obr. str. 17 nahore). Pružina elektromagnetického ventilu (11) přitlačí kuličku ventilu (5) do sedla škrcení na odpadu (12). V řídicím prostoru ventilu se vytvoří vysoký tlak Railu. Tentýž tlak začne působit také v objemu komory (9) trysky. Síly působící v důsledku tlaku Railu na čelní plochu řídicího pístu (15) a síla pružiny trysky (7) drží jehlu trysky uzavřenou, a to proti síle vyvolávající otevření, která působí na tlačné mezikruží (8).

Obr. 7 Zavřený injektor [4]

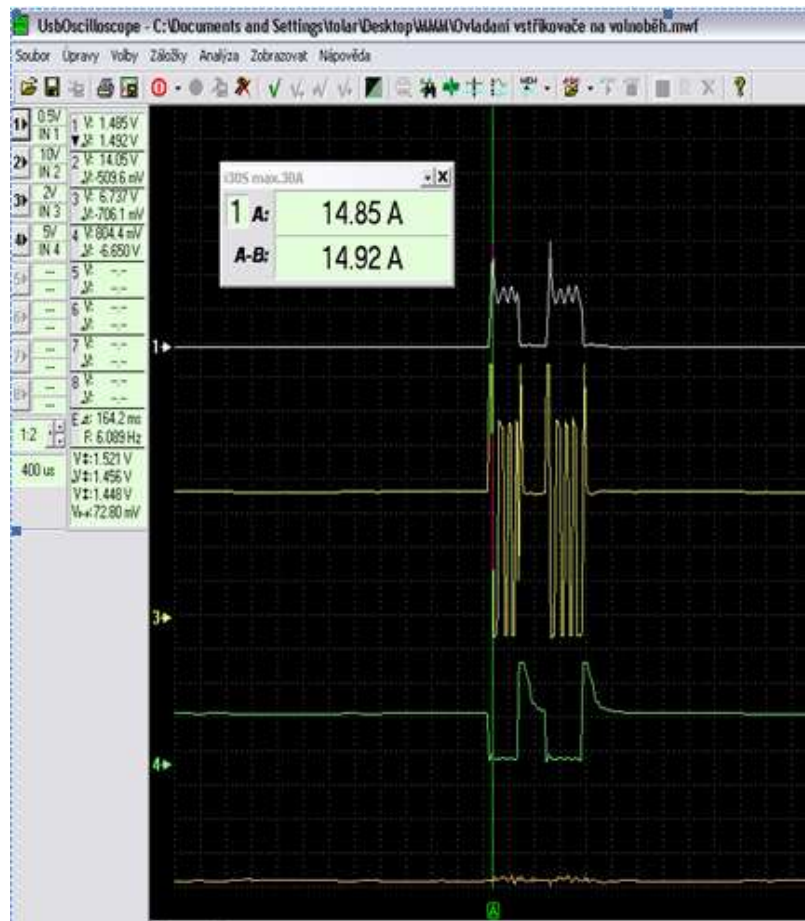


2. počátek vstříku – Obr.8a. Vstřikovač se nachází v klidovém stavu. Elektromagnetický ventil je aktivován "přitahovacím proudem", což přispívá k rychlému otevření elektromagnetického ventilu. Požadované krátké spínací časy lze dosáhnout odpovídající koncepcí aktivace elektromagnetických ventilů v řídicí jednotce s použitím vysokých napětí a proudů. Elektromagnetická síla právě aktivovaného elektromagnetu převyšuje sílu ventilové pružiny. Kotva nadzvedne kuličku ze sedla ventilu a otevře škrcení na odpadu. Po krátké době je zvýšený přitahovací proud snížen na nízkou hodnotu udržovacího proudu elektromagnetu. Spolu s otevřením škrcení na odpadu může nyní palivo z řídicího prostoru ventilu odtéci do pod ním ležícího prázdného prostoru a dále zpětným palivovým potrubím zpět do nádrže. Škrcení na přívodu (14) zabraňuje úplnému vyrovnání tlaku, takže tlak v řídicím prostoru ventilu poklesne. To vede k tomu, že tlak v řídicím prostoru ventilu je nižší než tlak v objemu komory trysky, který má stále úroveň tlaku Railu. Snížený tlak v řídicím prostoru ventilu vyvolává nižší sílu na řídicí píst a vede k otevření jehly trysky. Začíná vstřikování.

Obr. 8a Počátek vstříku [4]



Obr. 8b Počátek vstříku – průběh otvíracího proudu na vstřikovači



3. konec vstříku – Obr. 9. Při neaktivovaném elektromagnetickém ventilu dotlačuje ventilová pružina kotvu dolů, kulička ventilu poté uzavře škrcení na odpadu. V důsledku uzavření škrcení na odpadu se v řídicím prostoru v důsledku přítoku ze škrcení na přívodu opět vytvoří tlak stejný jako v zásobníku Rail. Tento zvýšený tlak vyvolává zvýšenou sílu na řídicí píst. Tato síla z řídicího prostoru ventilu a síla pružiny trysky nyní překročí sílu na jehle

trysky a jehla trysky se uzavře. Průtok škrcením na přívodu určuje rychlost zavírání jehly trysky. Vstřikování končí, když jehla trysky opět dosáhne sedla tělesa trysky a tím uzavře vstříkovací otvory.

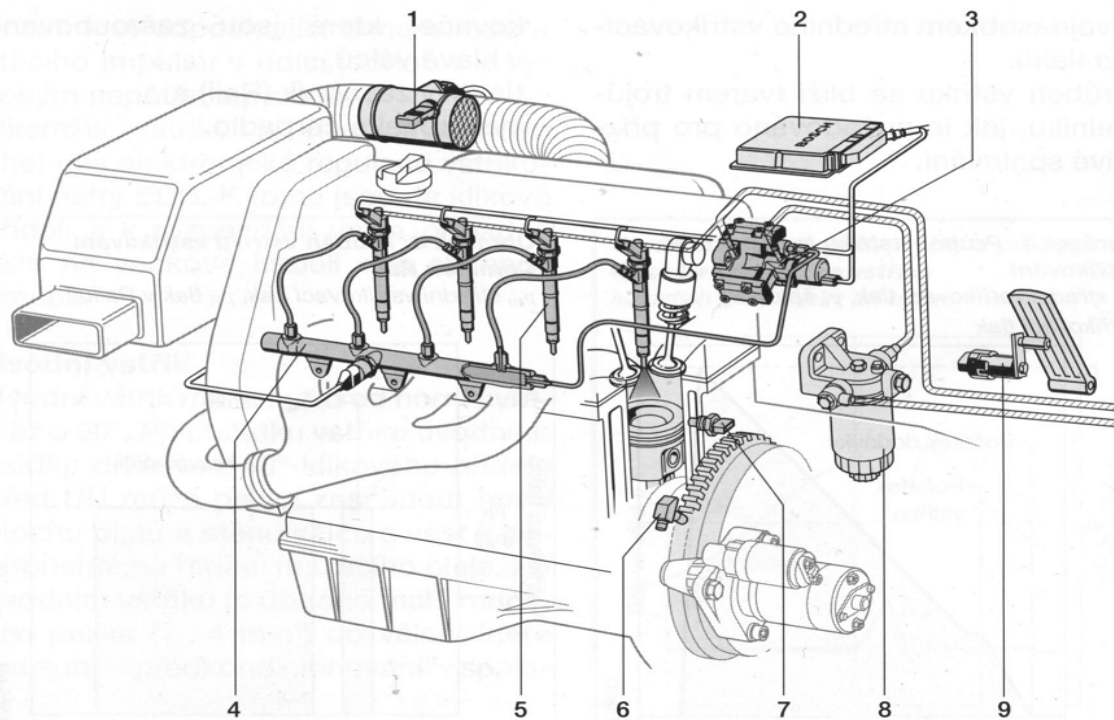
Nepřímá aktivace jehly trysky prostřednictvím hydraulického posilovacího systému se použije tehdy, když síly potřebné k rychlému otevření jehly trysky nelze dosáhnout přímo pomocí elektromagnetického ventilu. "Řídicí množství" nutné navíc k vstříkovanému množství paliva se dostane přes škrcení řídicího prostoru ve zpětném palivovém potrubí.

Kromě řídicího množství je zde také uniklé množství na jehle trysky a ve vedení pístu ventilu. Řídicí množství a uniklé množství jsou odváděny přes zpětné palivové potrubí pomocí sběrného vedení, k němuž je připojen přepouštěcí ventil, vysokotlaké čerpadlo a regulační tlakový ventil, zpět do palivové nádrže.

Obr. 9 Konec vstřiku [4]



Obr. 10 Části systému Common rail (motorová oblast)[1]



1 snímač hmotnosti nasávaného vzduchu, **2** řídicí jednotka, **3** vysokotlaké čerpadlo, **4** vysokotlaký zásobník (Rail), **5** vstřikovač, **6** snímač otáček klikové hřídele, **7** snímač teploty chladící kapaliny, **8** palivový filtr, **9** snímač polohy pedálu plynu

Tab. 1 Přehled systémů Common Rail [2]

Generace CR	Max. tlak	Vstřikovač	Vysokotlaké čerpadlo (Bosch, Delphi)
1. generace (osobní vozidla)	135-140 MPa	Vstřikovač s elektromagn. ventilem	CP1 Regulace tlaku na straně vysokého tlaku s regulačním tlakovým ventilem
1. generace (náklad. vozidla)	140MPa	Vstřikovač s elektro- magn. ventilem	CP2 Regulace množství na straně sání s dvěma elektromagnetickými ventily
2. generace (osob. + nákl.)	160MPa	Vstřikovač s elektromagn. ventilem	CP3,CP1H Regulace množství na straně sání s dávkovací jednotkou
3. generace (osobní vozidla)	160-180 MPa	Piezoelektrický vstřikovač Inline	CP3,CP1H Regulace množství na straně sání s dávkovací jednotkou
4. generace (nákladní vozidla)	180MPa	Vstřikovač s elektromagn. ventilem	CP3.3NH Dávkovací jednotka (škrticí ventil)
5. generace (osob. + nákl.)	250MPa	Piezoelektrický vstřikovač s přímo ovládanou jehlou	Delphi - DFP1, DFP3

3.3 Elektronické řízení

3.3.1 Řídící jednotka

Shromažďuje pomocí snímačů požadavky řidiče (poloha pedálu „plynu“) a aktuální provozní poměry motoru a vozidla. Zpracovává signály vytvářené snímači a vedené po datových vedeních. Se získanými informacemi přebírá v dané situaci řídicí a regulující vliv nad vozidlem a zejména nad motorem.

3.3.2 Snímač otáček klikového a vačkového hřídele

Snímá otáčky motoru a snímač otáček vačkového hřídele zajišťuje pořadí vstřiku (fázovou polohu).

3.3.3 Snímač polohy pedálu plynu

3.3.4 Snímač hmotnosti nasávaného vzduchu

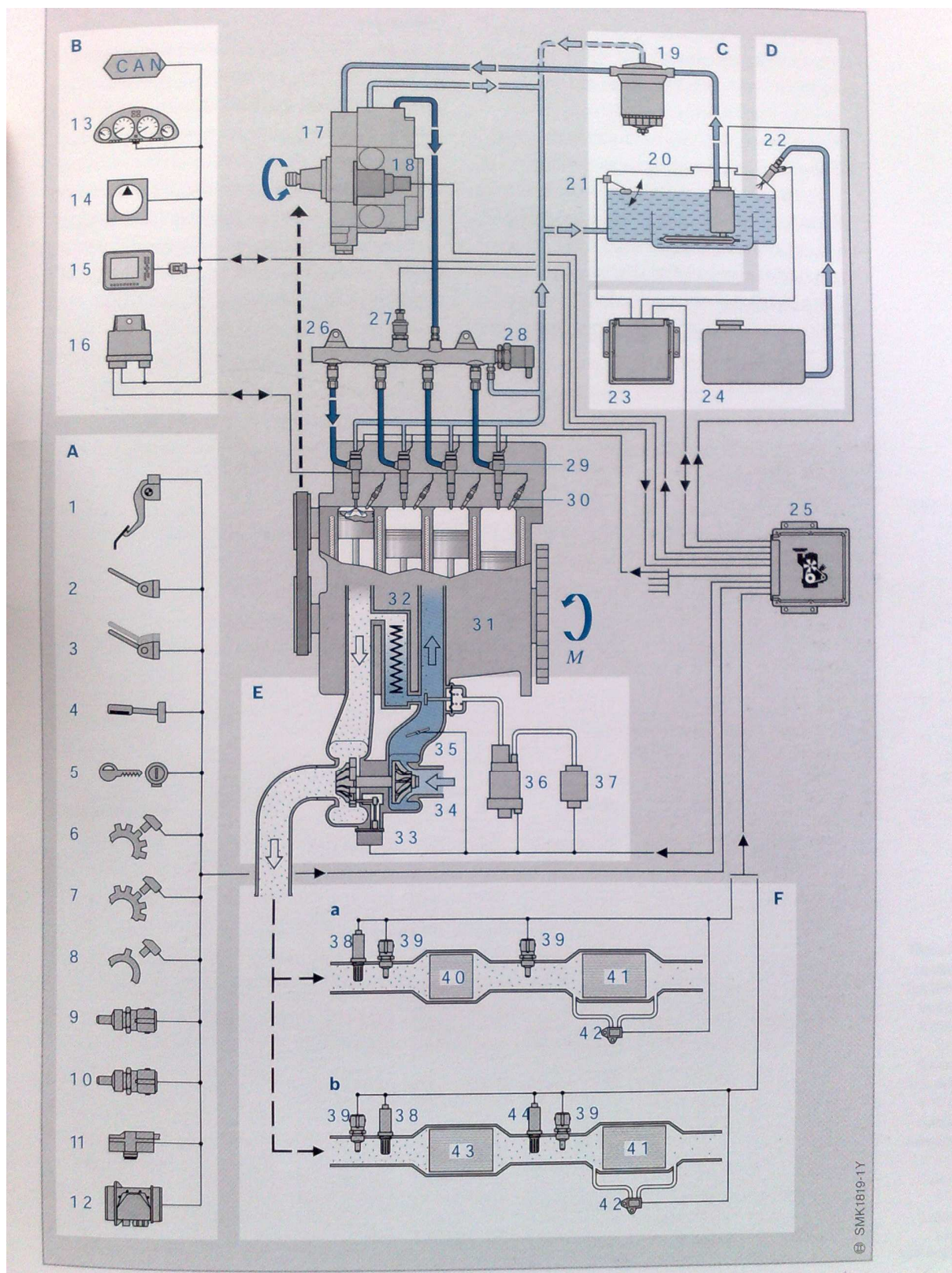
Dává řídicí jednotce informaci o aktuální hmotnosti vzduchu, aby se spalování přizpůsobilo odpovídajícím emisním předpisům. U motoru s turbodmychadlem a regulací plnicího tlaku měří snímač plnicího tlaku plnicí tlak. Podle teploty chladicí kapaliny a vzduchu může řídicí jednotka při nízkých teplotách a studeném motoru přizpůsobit požadované hodnoty předvstřiku, úvodní vstřikované dávky a dalších parametrů provozním podmínkám.

3.3.5 Ovladač zpětného vedení výfukových plynů (EGR)

Zpětné vedení výfukových plynů snižuje v důsledku snížení přebytku kyslíku a snížení teplotních a tlakových špiček podíl oxidů dusíku (NO_x) ve výfukových plynech. Spínání ovladače systému EGR realizuje řídicí jednotka EDC (elektronik diesel control). Informace o teplotě plnicího vzduchu poskytuje senzor teploty plnicího vzduchu. Systém EGR se při určitých teplotách vypíná na jedné straně kvůli zabránění vzniku kyselých par síry v kondenzaci působením příliš studeného plnicího vzduchu a na druhé straně kvůli vyloučení přílišného ohřátí plnicího vzduchu přiváděnými výfukovými plyny.

Ovladač zpětného přivádění výfukových plynů se obecně skládá z následujících konstrukčních součástí: pneumatického válce pro ovládání klapky systému, elektromagnetického ventilu pro ovládání pneumatického válce, snímacího kontaktu pro zpětné hlášení polohy pístu

Obr. 11 Vstříkovací systém Common Rail pro vznětový motor osobního automobilu [2]



© SMK1819-1Y

Legenda k obrázku 11

<i>Legenda k obrázku 11</i>			
Motor, řízení motoru a vysokotlaké komponenty		C	Zásobování palivem (nizkotlaká část)
17	Vysokotlaké čerpadlo	19	Palivový filtr s přepouštěcím ventilem
18	Dávkovací jednotka (škrťací ventil)	20	Palivová nádrž s předřadným filtrem a el. paliv. čerpadlem
25	ŘJ motoru	21	Snímač množství paliva
26	Vysokotlaký zásobník		
27	Snímač tlaku v zásobníku	D	Systém přísad (aditiv)
28	Regulační tlakový ventil	22	Dávkovací zařízení přísad
29	Vstřikovač	23	ŘJ přísad
30	Žhavicí svíčka	24	Nádrž s přísadami
31	Vznětový motor		
M	Točivý moment	E	Zásobování vzduchem
		32	Chladič zpětně vedených spalin
A	Snímače a čidla požadovaných hodnot	33	Regulátor plnicího tlaku
1	Snímač plynového pedálu	34	Turbodmychadlo (s proměnlivou geometrií lopatek)
2	Snímač spojky	35	Regulační klapka
3	Brzdové kontakty	36	Regulátor recirkulace spalin
4	Ovládání tempomatu	37	Podtlaková pumpa
5	Spínač žhavení		
6	Snímač rychlosti jízdy	F	Úprava výfukových plynů
7	Snímač otáček klikového hřídele	38	Širokopásmová lambdasonda
8	Snímač otáček vačkového hřídele	39	Snímač teploty výfukových plynů
9	Snímač teploty motoru	40	Oxidační katalyzátor
10	Snímač teploty nasávaného vzduchu	41	Filtr pevných částic
11	Snímač plnicího tlaku	42	Snímač rozdílu tlaku
12	Měřič hmotnosti nasávaného vzduchu	43	Zásobníkový katalyzátor Nox
		44	Širokopásmová lambdasonda
B	Rozhraní		

13	Přístrojová deska s výstupem signálu spotřeby paliva, otáček apod.		
14	Kompresor klimatizace s ovládacím panelem		
15	Diagnostické rozhraní		
16	Řídící jednotka doby žhavení		
	CAN Controller Area Network – sériová datová sběrnice ve vozidle		

4 Přednosti a problémy systému Common Rail

4.1 Přednosti

Zásobníkový systém CR, byť je konstrukčně náročný, vykazuje velmi lákavé přednosti. K těm nejpodstatnějším patří:

Přímé vstřikování paliva pod vysokým tlakem, který zajistí jeho extrémně jemné rozprášení, okamžité odpaření tím i vznik kvalitní směsi. Na základě toho pracuje motor s dokonalejším spalováním se všemi pozitivy, které z toho vyplývají. Jde hlavně o vyšší výkon (cca o 25 % ve srovnání s klasickým vznětovým motorem), vyšší točivý moment v režimu nízkých otáček (až o 50 %), snížení spotřeby paliva (cca o 20 %).

Motor vykazuje tišší, měkčí chod, bez typických vibrací diesellových agregátů. Přispívá k tomu i možnost rozdělení doby vstřiku na více částí, kdy se využívá tzv. pilotní vstřík.

Ten je realizován několik milisekund před vlastním vstřikem a má za následek predehřátí spalovacího prostoru. Následkem toho je že palivo nehoří tak “rázově“, chod není tak tvrdý a přibližuje se benzinovým motorům.

Emise ve výfukových plynech jsou podstatně nižší než u vznětových motorů předchozí generace. Reálně lze uvažovat se snížením CO₂ při konstantní hladině NO_x o 20 %, CO o 40 %, HC o 50 % a pevných nespálených částic o 60 %. Motor má minimální kouřivost. Systém s rezervou plní normu EURO 4. [1]

4.2 Problémy se vstřikováním common rail

O přínosu vysokotlakého vstřikování nafty Common Rail novým diesellovým vozům nikdo nepochybuje. Jeho zásluhou jsou tiché, úsporné a výkonné. Sebelepší technika však není věčná, a tak ruku v ruce s vývojem nového produktu by měl jít i vývoj servisních technologií. Automobilky, potažmo jejich dodavatelé byli přesvědčeni, že vstřikovací systémy Common Rail žádné opravy potřebovat nebudou. Dokonalá technologie zpracování a odolné materiály totiž při zkouškách životnosti uspěly, a tak se skutečně zdálo, že elektromagneticky či piezoelektricky ovládané vstřikovače složené z mikroskopicky přesných součástí vydrží tolik co motor samotný.

Nafta působí problémy

Stačí však, aby takové auto přijelo do Česka, natankovalo zdejší naftu a vše je jinak. Čerpadlo a vstřikovače naftu nejen dopravují na místo určení (v patřičně stlačeném stavu), ale jsou jí i mazány. Nejen nečistoty, zbytky benzínu či vody, anebo dokonce rostlinné oleje, tvořící lepkavé a karbonové úsady, mohou systém ohrozit – kolaps může způsobit i nedostatečná mazací schopnost nafty. Pak se třeba začne zadírat čerpadlo a z něj uvolněné kovové špony ucoupou vstřikovače. Common Rail navíc mnozí stále vnímají jako nejnovější výkřik technického pokroku, ale on je v autech nasazován už od roku 1997. Například Mercedes-Benz C220 CDI či Alfa Romeo 156 2,4 JTD mají dnes najeto třeba i 300 tisíc km, což vysokotlaké vstřikování (zejména samotné vstřikovače) jen stěží může vydržet. Připomeňme, že kontrola či výměna vstřikovačů bývala vždy běžnou součástí servisu klasického vznětového motoru. Obvykle stačilo vyměnit hlavní část původních jednoduchých vstřikovačů, tedy trysku v ceně přibližně za 800 Kč za kus.

Opravy šetří peníze

Opravy vstřikovacích zařízení autorizovanými specialisty vyjdou několikanásobně levněji než výměna jednotlivých částí. Tento příklad platí obecně pro vozy se vstřikovacím zařízením Delphi.

Opravy vysokotlakého čerpadla:

test čerpadla na stanici AVM2PC -1000 Kč
přetěsnění a test -2000 Kč
výměna válečků a botiček, přetěsnění, test -7000 Kč
nové čerpadlo -25 000 Kč

Opravy vstřikovačů:

vyčištění v ultrazvuku 3x10 min -200 Kč
výměna trysky -1900 Kč
nový vstřikovač -6800 Kč

Poznámka: Všechny ceny bez DPH podle T.A.D. Praha.

4.2.1 Možné závady

Vstřikovače Common Railu pracují s násobně vyššími tlaky, jejich trysky mají pět až osm mikroskopických otvorů, jimiž naftu rozpráší na mikroskopické kapky a v každém cyklu

se neotvírají a uzavírají jednou, ale až sedmkrát. Jejich namáhání je proto mnohem vyšší a není důvod, aby na servis či výměny namáhaných částí neměly také nárok. Samotný vstříkovač může mít zanesenou trysku či zadřenou jehlu, pak špatně rozprašuje. To se pozná podle tvrdého chodu, sníženého výkonu či podle vyšší kouřivosti motoru. Následkem takové závady by mohlo být třeba i poškození dna pístu tepelným namáháním. Dále může být unavený solenoid (elektromagnetická cívka), jež ovládá otevírání vstříkovače. Varováním je opět tvrdý chod motoru, protože pomaleji pracující solenoid nestíhá provádět předvstříky sloužící ke zmírnění rychlosti nárůstu expanzních tlaků. Velmi častou závadou je rovněž propouštějící ventil uvnitř vstříkovače – následkem toho pak neúměrné množství nafty odchází přepadem. Tuto závadu obvykle signalizuje kontrolka diagnostiky, v pokročilé fázi pak může motor běžet nepravidelně, protože některý z válců vynechává. V neposlední řadě mohou být miniaturní otvory, jimiž uvnitř vstříkovače proudí nafta, zaneseny nečistotami z paliva nebo opotřebeného vysokotlakého čerpadla. Následky jsou podobné. Zmínili jsme vysokotlaké čerpadlo – z něj může unikat nafta, do systému může uvolňovat kovové špony a také může poklesnout vytvářený tlak.

PROBLÉM JE CENA

Ač diagnostika jednotlivých závad je možná, autoservisy většinou problém řeší výměnou postižené součásti. Navíc často nejsou schopny poznat, který vstříkovač zlobí, a tak vymění všechny čtyři. Pokud jeden stojí i 15 tisíc Kč, znamená to opravu, jež bezpečně smaže jakoukoliv ekonomickou výhodu vznětového motoru. Přitom by třeba stačilo pouze některý z nich vyčistit, což dnes specializovaný servis zvládne za 2000 korun.

Většina automobilek přecházela na systém Common Rail kolem roku 2000, a tak mnoho nákladných výměn bylo řešeno v rámci záruky. Nyní však přibývá těch, kteří by si měli opravy platit sami. Common Rail navíc postupem času z původních drahých vozů sestupuje i do malých a levných aut, jejichž majitele by oprava v popsané ceně prostě zruinovala. Tlak na možnost opravy součástí vstříkování Common Rail zákonitě roste.

ŘEŠENÍ EXISTUJE

Fordu Mondeo druhé generace měl problémy se vstříkováním Common Rail od firmy Delphi. U tohoto motoru TDCi značkové servisy řešily problém výměnou celé vysokotlaké části systému za přibližných 100 tisíc Kč. Navíc nebyly schopny zákazníkům slíbit, zda se problém nezopakuje i po uplynutí dvouleté záruční doby, kdy už by si museli výměnu hradit sami. Popsaný stav byl způsoben neinformovaností značkových servisů a systémem marží, jimiž jsou motivovány odebírat náhradní díly. Vysokotlaká čerpadla zpočátku nepoužívala

dostatečně kvalitní materiály, jejichž otěrem se do systému dostávaly části kovu. Vybavené servisy zvládnou kompletní opravu čerpadla za 7000 Kč, vstřikovače pak často stačí odborně rozebrat a vyčistit ultrazvukem.

V České republice je v současné době zatím 13 autorizovaných diesel servisů Bosch schopných opravovat moderní dieselové vstřikovací systémy včetně technologie Common Rail. Motorista může se svým vozem zajet přímo k nim za předpokladu, že mají autorizaci pro značku vstřikovacího systému, jakákoliv spojitost s výrobcem daného automobilu není nutná. Mnoho značkových servisů, které chtějí zejména u pozáručních oprav udržet cenu v přijatelné výši, už o specializovaných autorizovaných „dieselservisech“ ví. Ekonomicky mnohem přijatelnější řešení nemusí být ani náročné časově, protože dieseloví specialisté mohou kupříkladu opravy vstřikovačů provádět výměnným způsobem.

KDO KOMU VĚŘÍ

Mezi výrobci vstřikovacích zařízení Common-Rail panuje ostrá konkurence. Jednotlivé automobilky se zatím rozhodují následovně:

Bosch:

Fiat, Alfa Romeo, BMW, Mercedes-Benz, Renault, PSA, Opel, Kia, Hyundai, Honda, Isuzu

Delphi:

Renault, Ford, PSA, Kia, Hyundai, Ssangyong, Nissan, Suzuki, Jaguar

Denso:

Toyota, Nissan, Mazda, Ford, Isuzu, Opel, Renault, Saab, Siemens: PSA, Ford, Mazda, Jaguar, Land Rover

DIESELOVÍ SPECIALISTÉ

Díky vybavení od firmy Hartridge si poradí s jakoukoliv opravou vysokotlakých čerpadel. U samotných vstřikovačů pak můžou vyměnit trysku či ovládací cívku. Až polovinu vstřikovačů stačí pouze vyčistit ultrazvukem. Nejpalčivějším problémem jsou dvě přesně obroubené součástky v horní části vstřikovače, které dohromady tvoří ventil. Jejich miniaturní dosedací plochy se opotřebí a vstřikovač začne téci přepadem. Tyto jsou na trhu již běžně dostupné, takže můžeme mluvit o stoprocentní opravitelnosti vstřikovačů. Proč si nejsou schopny podobným způsobem poradit samotné značkové servisy a často ruínují neinformované zákazníky tak, že mnozí ztrácejí důvěru v moderní dieselové vozy? Jednak

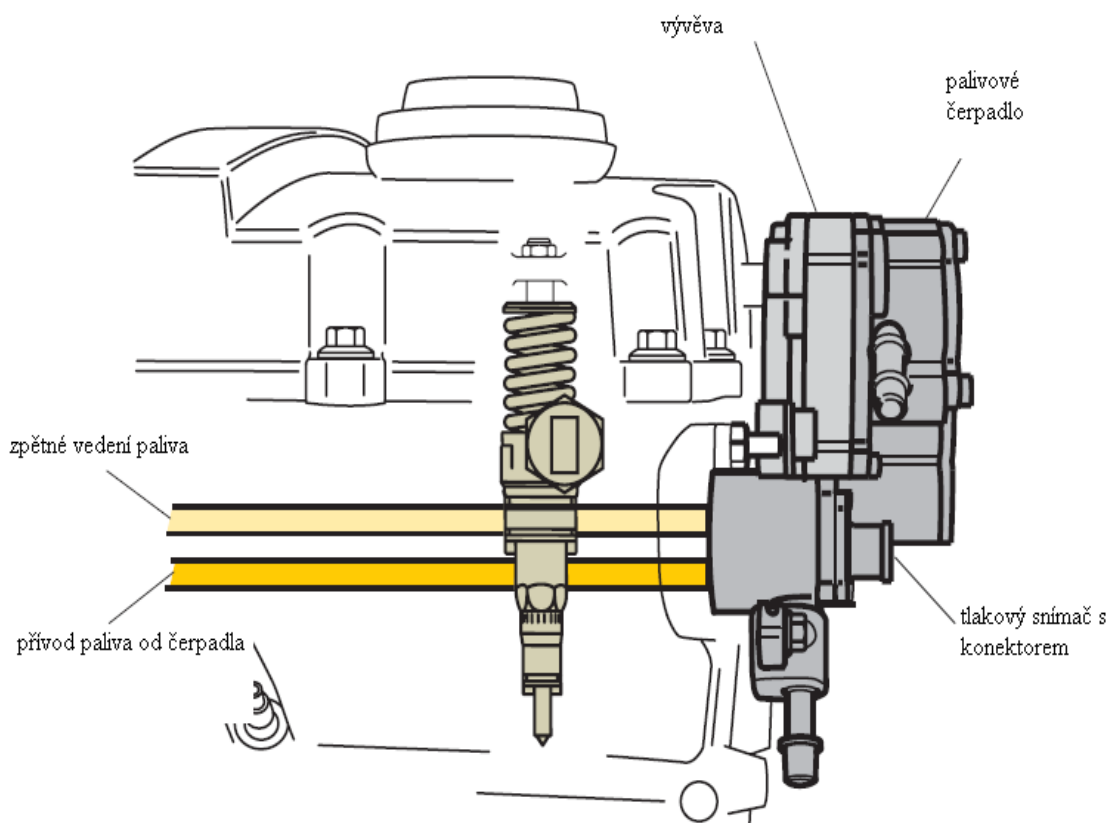
chtějí prodávat drahé díly, jednak nemají drahé vybavení, a často ani nedokáží rozpoznat, kde konkrétně se problém skrývá. Obecná diagnostika pouze nějakým způsobem interpretuje naměřené hodnoty, často špatně. Ke správnému úsudku dojde jen ten, který věci dobře rozumí, má potřebná školení, a hlavně daný problém už řešil mnohokrát. Moderní vstříkovací zařízení jsou tak složitá, že potřebují vlastní servisní zázemí stejně sofistikované jako celý zbytek automobilu. Je škoda, že firma Bosch stále nedovoluje opravy vstříkovačů Common Rail, jimiž je vybavena velká část vozů. Specialisté na nich sice třeba dokážou vyměnit trysku, ale vlastně načerno s použitím neoriginálního náhradního dílu italské výroby. [16]

5 Sdružená vstříkovací jednotka - Unit Injector System

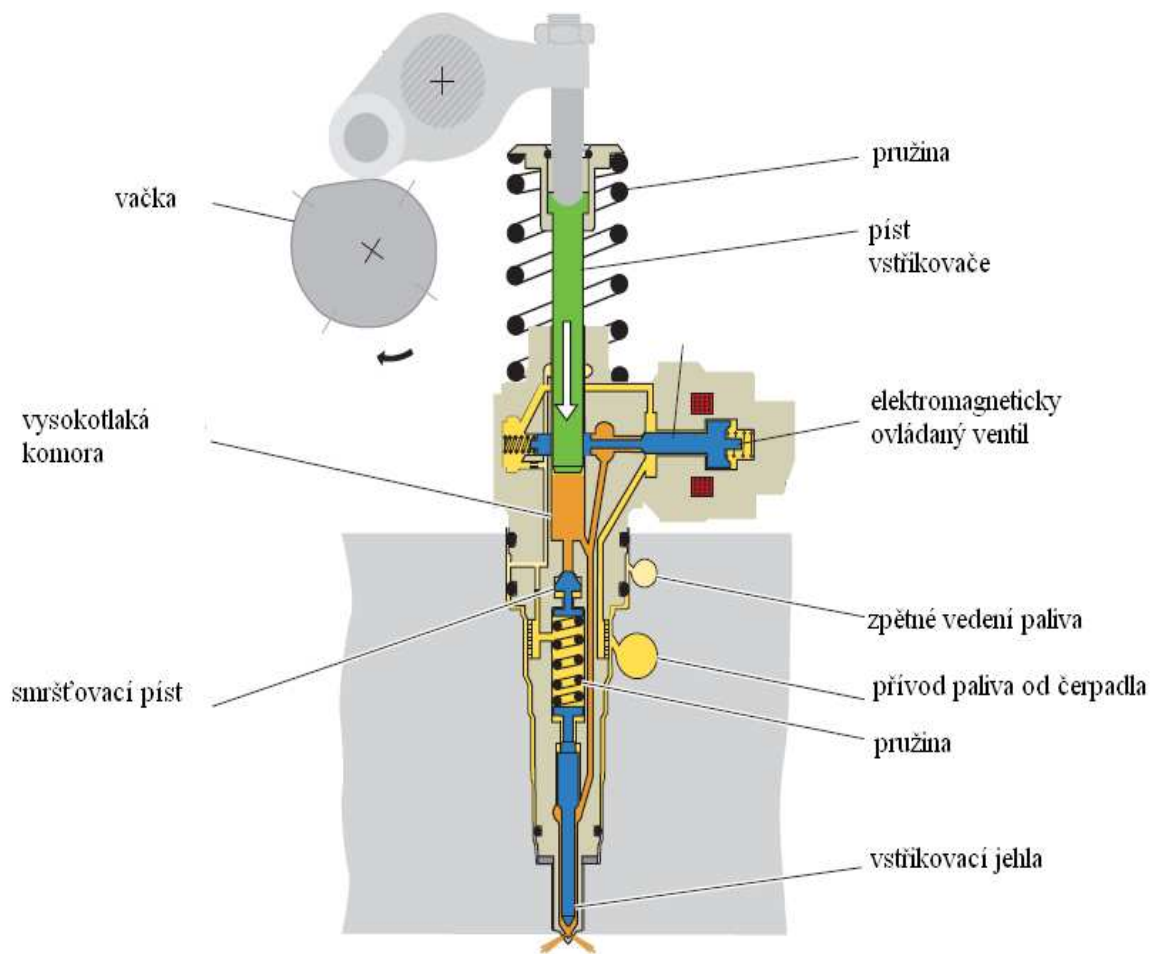
5.1 Princip činnosti a konstrukce systému

U systému UIS (také nazývaného jednotka čerpadlo-tryska z německého Pumpedüse, PD) tvoří vstříkovací čerpadlo a vstříkovací tryska jednu jednotku (viz obr. 13). Pro každý válec motoru je v hlavě válce vestavěna jedna jednotka. Ta je poháněna přímo přes zdvihátko nebo nepřímo přes vahadlo od vačkového hřídele motoru. Protože nejsou použita žádná vysokotlaká vedení, je možné dosáhnout podstatně vyššího vstříkovacího tlaku (až 220 MPa) než u řadových a rotačních vstříkovacích čerpadel. Vstřík je vypočten řídicí jednotkou a řízen otevřením a zavřením vysokotlakého elektromagnetického ventilu.[9]

Obr. 12 a) Umístění vstříkovače v hlavě motoru [9]



Obr. 12 b) Řez vstříkovačem a princip pohonu od motoru [9]



Obr. 13 Vstříkovací jednotka UIS [9]

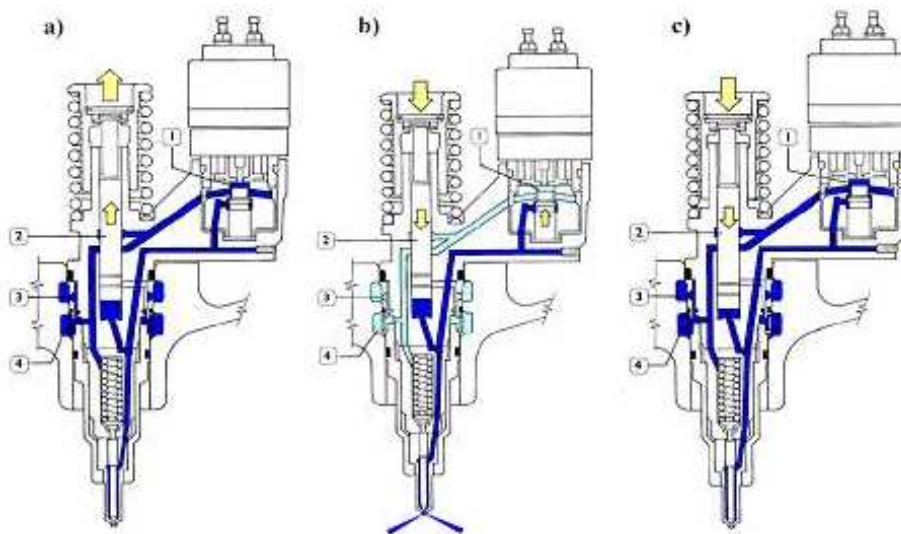


1- hnací vačka, 2- píst čerpadla, 3- vysokotlaký elektromagnetický ventil, 4- vstříkovací tryska

Popis práce sdruženého vstřikovače je uveden na obr. 14. Při pohybu pístu vstřikovače nahoru (obr. 14 a) proudí přes otevřený elektromagnetický ventil do prostoru pod pístem palivo. Po obrácení směru pohybu pístu se palivo vrací do plnicího okruhu do doby, než se uzavře elektromagnetický ventil. Po jeho uzavření stoupá v prostoru pod pístem a s ním spojeném prostoru pod jehlou trysky tlak. V okamžiku, kdy síla působící na jehlu trysky překoná sílu pružiny, dojde ke vstřiku paliva do válce motoru (viz obr. 14 b). Tento vstřik trvá do té doby, než se otevře elektromagnetický ventil a umožní palivu proudit zpět do plnicího kanálku. Tím poklesne síla působící na jehlu trysky a pružina uzavře vstup paliva do válce motoru (obr. 14 c). Plnicí prostor je spojen se zásobním prostorem, který je napojen na kanál přívodu paliva mikrofiltrem.

Zpětné vedení paliva je napojené na systém chlazení, který udržuje teplotu paliva proudícího do nádrže v rozmezí 70 - 120°C. [9]

Obr. 14 Princip funkce sdruženého vstřikovače a jeho umístění v hlavě motoru [9]



a) plnění prostoru pod pístem, b) počátek vstřiku paliva, c) konec vstřiku paliva

5.2 Elektronická regulace sdružené vstřikovací jednotky

Aktivace vysokotlakého elektromagnetického ventilu (obr. 15) klade vysoké požadavky na koncové stupně. Musí pracovat se strmými hranami proudových impulsů, aby se docílilo úzkých tolerancí a vysoké reprodukovatelnosti vstřikované dávky.

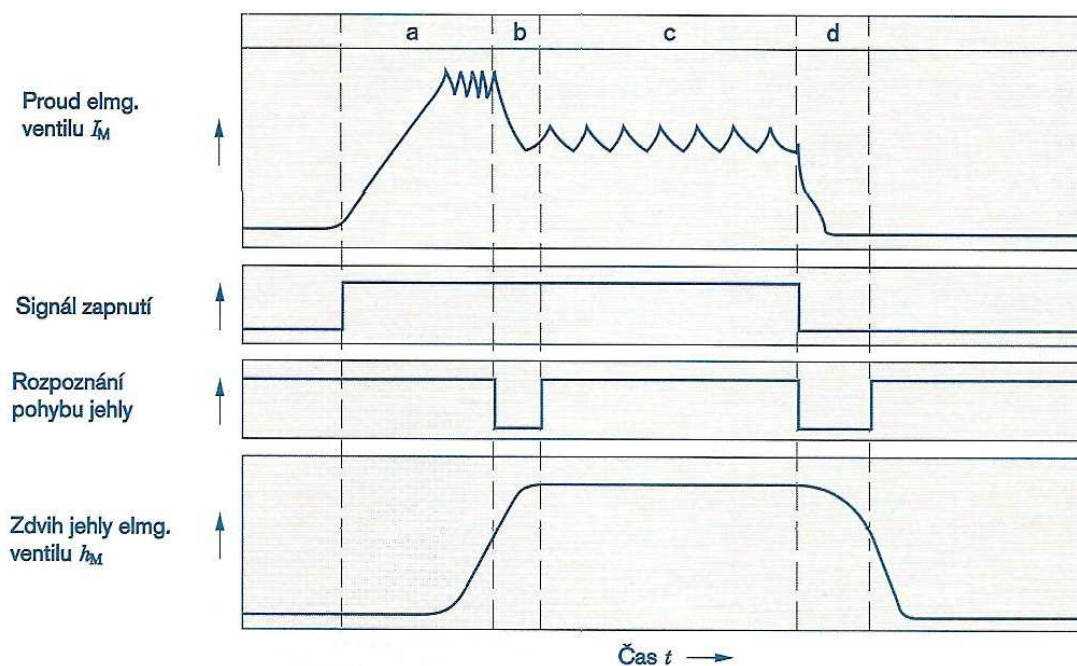
Vysokotlaký elektromagnetický ventil u systémů UIS je aktivován podobně jako u rotačních čerpadel, a to pomocí regulace proudu. Při ní se aktivace dělí na fázi přitahovacího proudu (obr.15a) a fázi udržovacího proudu. Tato aktivace umožňuje dosažení krátkých spínacích časů a snižuje ztrátový výkon. Mezi těmito oběma fázemi je za účelem rozpoznání okamžiku uzavření elektromagnetického ventilu prováděna krátkodobá aktivace konstantním napětím.

Aby se na konci vstřiku dosáhlo definovaného a rychlého otevření elektromagnetického ventilu, proběhne zde tzv. rychlé vypnutí (obr.15d) energie obsažené v elektromagnetickém ventilu přivedením vysokého napětí na svorky (obr.15d).

Rozdělení do jednotlivých fází aktivace propočítává mikrokontroler. Modul ASIC (Gate Array), jenž se vyznačuje velmi vysokým výpočetním výkonem a je podporován mikrokontrolerem, generuje dva digitální aktivační signály (signál MODE a signál ON).

Tyto aktivační signály pak aktivují koncové stupně přes budič koncových stupňů, a tak vytvářejí potřebnou sekvenci aktivačního proudu. [9]

Obr. 15 Aktivační sekvence vysokotlakého elektromagnetického ventilu [9]

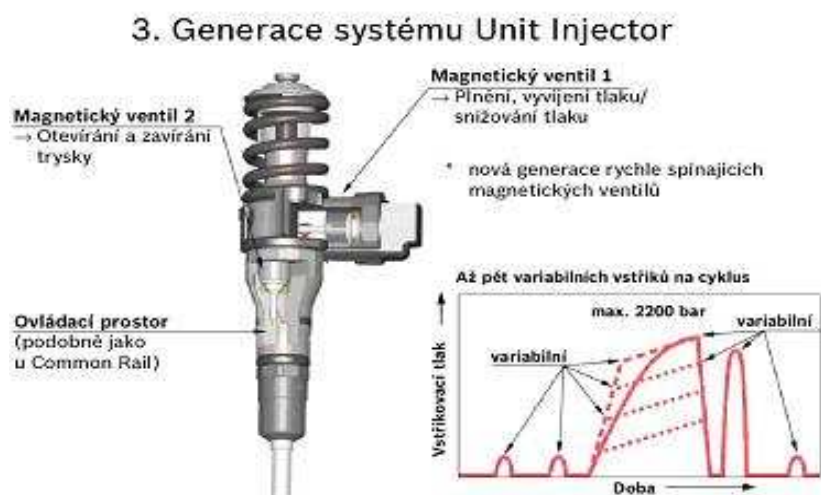


a-přitahovací proud (UIS/UPS pro užitková vozidla 12 - 20 A, UIS pro osobní vozy 20 A), b-rozpoznání BIP, c-udržovací proud (UIS/UPS pro užitková vozidla 8. - 14 A, UIS pro osobní vozy 12 A), d-rychlé vypnutí

5.3 Třetí generace systému Unit Injector

Nejnovější generace UIS3 (obr. 16), koncipovaná firmou Bosch, dává možnost maximálního vstřikovacího tlaku téměř 220 MPa, přičemž lze použitím dvou ovládačů namísto jednoho průběh vstřikování velmi variabilně upravovat. Pružnost při úpravě rychlosti vstřikování je přitom srovnatelná se systémem Common Rail 3. a 4. generace. K tomuto účelu se používají nové velmi rychle spínací magnetické ventily. Jedním ventilem se řídí nárůst a pokles tlaku, zatímco druhý ventil nezávisle řídí otvírání a uzavírání jehly ventilu, podobně jako ovládací ventil vstřikovače Common Rail. [9]

Obr. 16 - 3. Generace UIS [9]



5.4 Poruchy a opravy elektronicky řízeného systému čerpadlo-tryska

Vzhledem k mimořádně složité povaze elektronicky řízeného systému čerpadlo-tryska a k extrémně vysokému provoznímu tlaku uvnitř tohoto systému, byla až do dnešní doby jediným servisním úkonem výměna vadného systému za nový nebo repasovaný výrobek – jeho oprava byla zhora nemožná, protože tradiční vybavení opravářské dílny a okolní prostředí nebylo pro takovou opravu vhodné. Nicméně v posledních letech byly do opravárenské sítě vloženy značné investiční prostředky, které umožnily vybudování speciálních opraven, které splňují požadavky na provádění údržby a oprav pokročilých technologií oblasti naftových motorů. Tyto opravy mají zvláštní prostory (takzvané „čisté místnosti“) vyhrazené výlučně na opravy systému Common Rail a systému čerpadlo-tryska. Tyto čisté místnosti jsou vybaveny nejmodernějším diagnostickým a zkušebním zařízením

a musí se v nich udržovat naprostá čistota podle přísných norem upravujících čistotu pracovního prostředí.

Opravy elektronicky řízených systémů čerpadlo-tryska např. firmy DELPHI se provádějí za pomoci zvláštního náradí a nástrojů ve zvlášť čistém prostoru zvaném „Microcabinet“ kde je přetlakem vzduchu přes 2 filtry zajištěn ultračistý prostor pro opravy mj. i komponentů systému „common rail“.

Společnost DELPHI dodává všechny potřebné náhradní díly, jako jsou tělesa vstřikovačů, elektromagnety, vstřikovací trysky, pružiny, sedla, těsnění, podložky atd.

Před samotnou opravou je možno provést diagnostiku motoru systémem DIAMAND, anebo rovnou provést vstupní test vstřikovače na stanici AVM2PC. Zde se opravář dozví, co je vlastně potřeba opravit či vyměnit. [15]

5.4.1 Měřené parametry

Měřené parametry jsou: počátek vstřiku, konec vstřiku, zpoždění vstřikovače, maximální vstřikovací tlak a vstřikované množství v různých režimech (volnoběh, nízké zatížení, střední zatížení, maximální zatížení.) Součástí testu je i vyhodnocení elektrických parametrů elektromagnetu. [15]

6 Cíl práce a metodika

Cílem diplomové práce je analyzovat moderní palivovou soustavu Common Rail se systémem vstřikování od firmy Bosch a její vliv na vlastnosti vznětového motoru. V konkrétní podobě to znamená seznámení se se systémem CR Bosch, v tomto případě typ 2. generace s elektromagnetickými vstřikovači, vysokotlakým čerpadlem typu CP1 a vstřikovacím tlakem až 160 MPa. Navrhnout a provést změny, které by měly vliv jak na vlastnosti palivové soustavy, tak i na vlastnosti motoru a celého vozidla. Takovýto účinek mají změny, jako např.: hodnota tlaku paliva v zásobníku a na vstřikovačích, prodloužení doby vstřiku paliva, změna doby vstřiku paliva, změna tlaku paliva při akceleraci, teplota paliva, plnicí tlak turbodmychadla, množství nasávaného vzduchu a jeho teplota atd.

Nejprve je nutné získat všechny původní informace o daném systému, nastaveném od výrobce a zálohovat je. Poté lze provést patřičné změny v řídicí jednotce a její paměti EPROM. Jedná se o elektricky mazatelnou semipermanentní paměť. Paměť má omezenější počet zápisů než paměť typu flash a před novým naprogramováním je nutné smazat elektrickým signálem celý její obsah. Využití této paměti je jako úložiště u zařízení, kde nedochází často k přepisům paměti. Tyto změny nahrát zpět do řídicí jednotky motoru a ověřit jejich vliv na vlastnosti vznětového motoru. Ověření provést pomocí diagnostických zařízení např. Bosch nebo Atal, opacimetru a výkonové válcové zkušebny. Výsledná data už lze snadno porovnat a vyvodit z nich závěr, která to změna má jaký vliv na vlastnosti motoru.

7 Experimentální ověření vlivu palivové soustavy na parametry vznětového motoru

7.1 Základní údaje o diagnostikovaném vozidle

BMW 525d E39, rok výroby 2003 - typ motoru: 25 6D 1 – plní EURO 3

Základní parametry vozidla:

Motor - objem 2497 cm³

- řadový, přeplňovaný 6 válec, DOHC, s mezichladičem stlačeného vzduchu
- 24 ventilů
- vrtání x zdvih – 80x82,8 mm
- vstřikování Bosch Common Rail 1. generace (135MPa)
- kompresní poměr – 17,5:1
- maximální výkon 120kW při 4000ot/min
- maximální krouticí moment 340Nm při 2000ot/min

Převodovka – 5. stupňová, ručně řazená

Pohotovostní hmotnost – 1595 kg

Max. rychlost – 219 km/h

Zrychlení z 0 – 100 za 8,9 s

Spotřeba dle EU – 5,3/6,7/9,2 L/100km

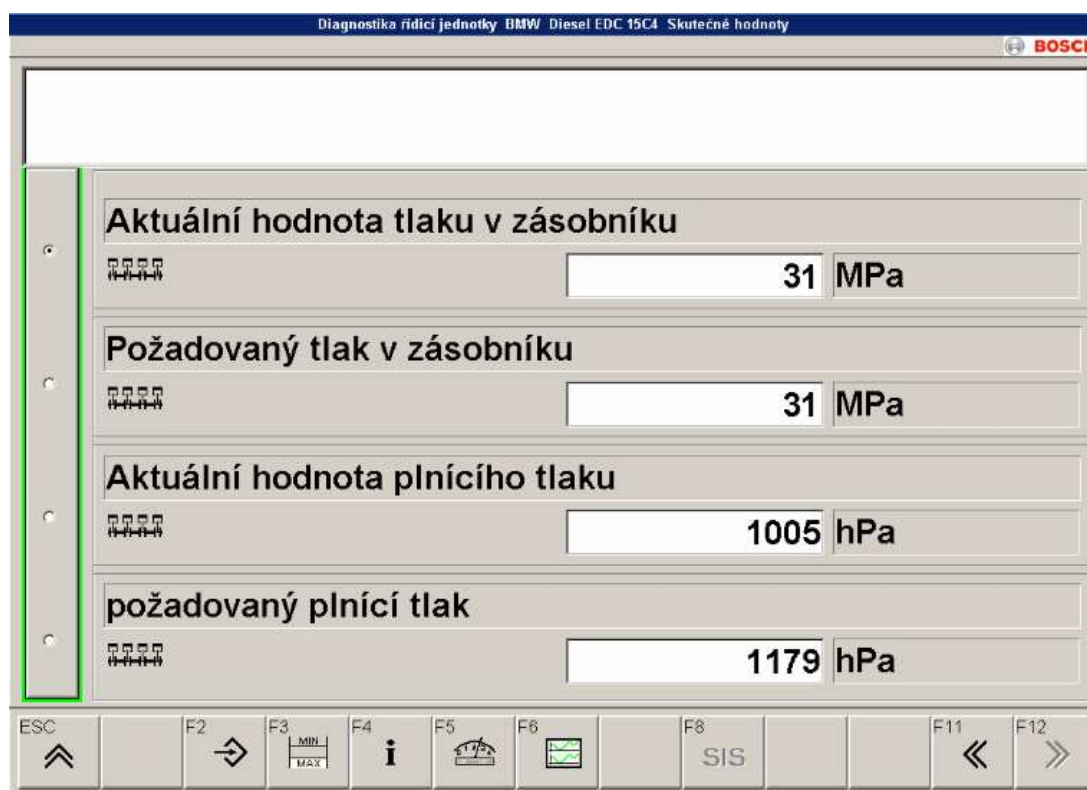


Obr. 17 Diagnostikované vozidlo

7.2 Úvodní kompletní diagnostika vozidla

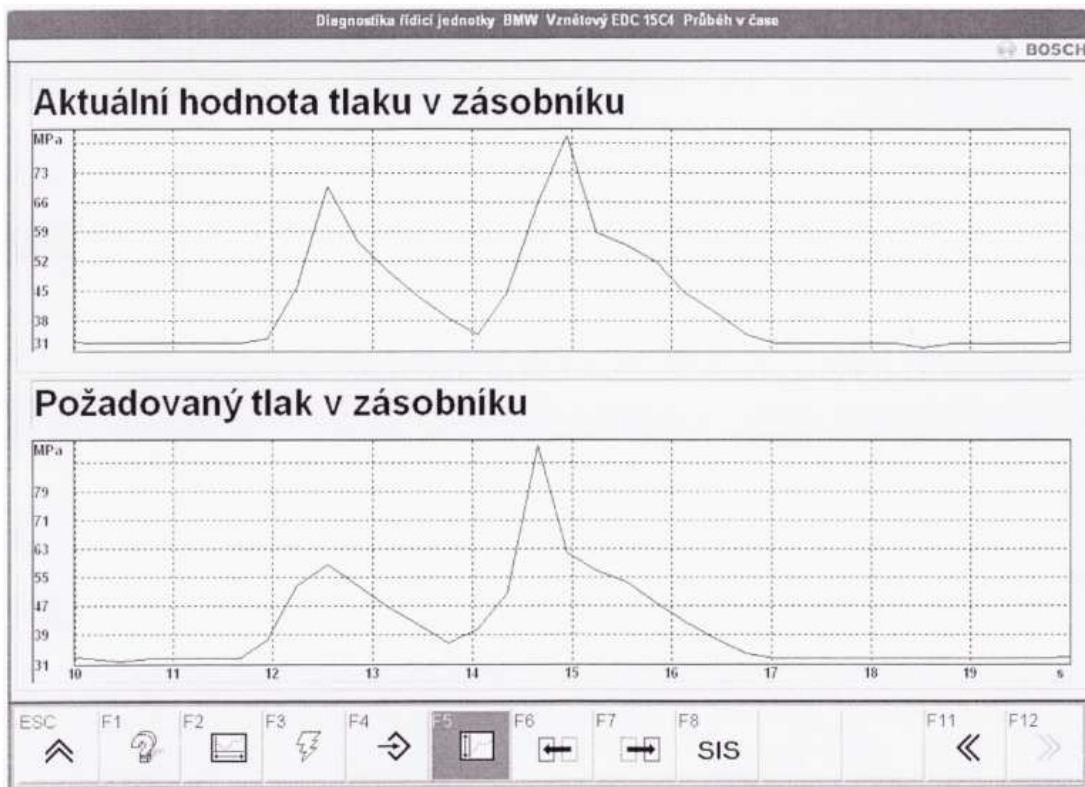
Nejprve jsem provedl pomocí diagnostického přístroje Bosch KTS 540 kompletní diagnostiku vozidla, v paměti závad se nevyskytoval žádný problém, tudíž bylo možné pokračovat ve vyhledání a zálohování potřebných dat, která mají vliv na chod motoru. Jako první jsem zaznamenal systémový tlak v railu při volnoběžných otáčkách motoru a hodnotu plnicího tlaku vzduchu.

Obr. 18 Hodnota tlaku v zásobníku a plnicího tlaku

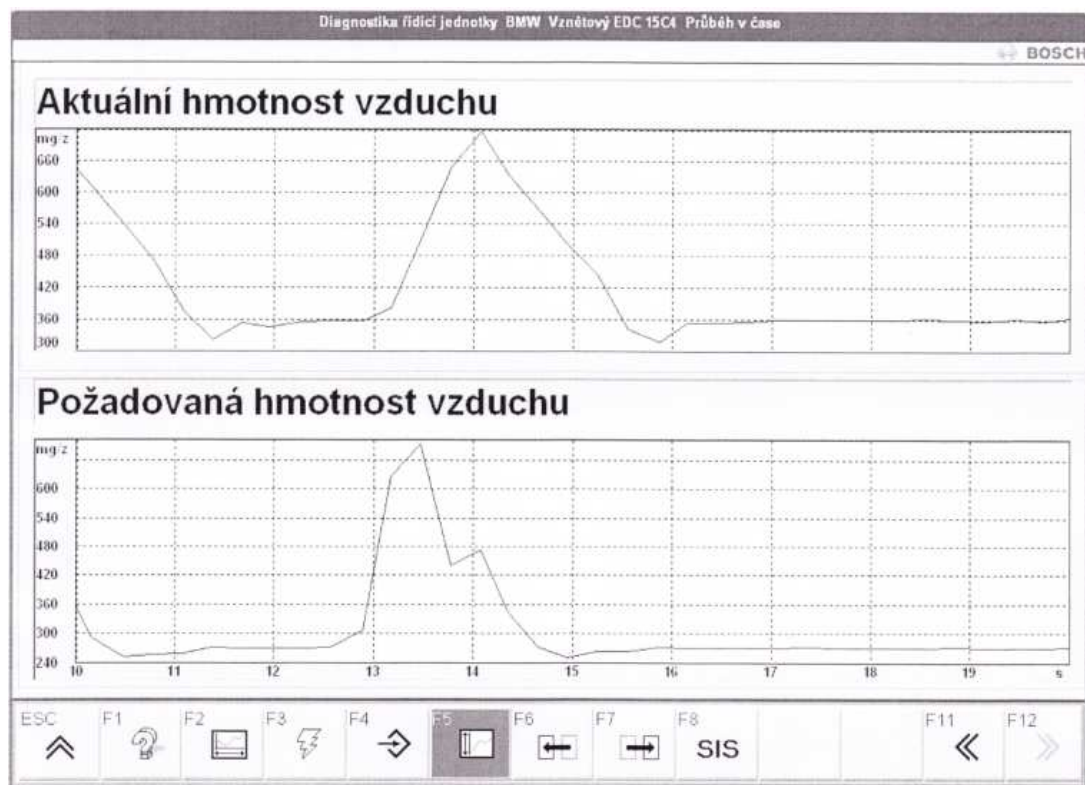


Další následovala kontrola náběhu tlaku paliva v zásobníku, viz obrázek 19. Aktuální hodnotu tlaku paliva v zásobníku při akceleraci z volnoběžných otáček při maximální dodávce paliva, jsem kontroloval s aktuální hodnotou, požadovanou hodnotou a schopností systému a vysokotlakého čerpadla tuto hodnotu dosahovat. Obr. 20 zobrazuje ověření správné funkčnosti váhy vzduchu.

Obr. 19 Náběh tlaku paliva v zásobníku



Obr. 20 Ověření funkčnosti váhy vzduchu



Nezbytnou součástí úvodní diagnostiky byla kontrola elektromagneticky ovládaných vstřikovačů. Vstřikovače patří mezi neporuchovější a nejchoulostivější část celého systému. Za dlouhou dobu používání může dojít k nejrůznějším poruchám a opotřebením. Jelikož v diagnostikovaném vozidle jsou tyto vstřikovače původní, lze předpokládat, že budou vykazovat určité opotřebením, které se projeví na vstřikovaném množství, době ovládní vstřikovače a tvaru vstřikovaného palivového paprsku. Tyto vady vstřikovačů mohou později způsobit velké škody na motoru.

Na obr. 21 je zobrazena tabulka, ve které nám diagnostika zobrazuje porovnání množství vstřikovaného paliva pro každý jeden válec motoru. Ideální hodnota je 0. Korekční množství se obvykle pohybuje v rozmezí -0,7 až +0,7 mm³/zdvih, z čehož vyplývá, že vstřikovač 6. válce je mimo toleranci. To může být způsobeno jeho příděním, hodnota 1,28mm³/zdvih nám říká, že daný vstřikovač vstříkuje méně paliva, než by měl.


Obr. 21 Porovnání vstřikovaného množství paliva na jednotlivých vstřikovačích

BMW Vznětový EDC 15C4 Porovnání množství		
Zkuš. úsek ukončen, dále pomocí F5.		
Porovnání množství		
Korekční množství 1. válce	-0.49	mm3/zdvi
Korekční množství 2. válce	-0.39	mm3/zdvi
Korekční množství 3. válce	0.08	mm3/zdvi
Korekční množství 4. válce	-0.35	mm3/zdvi
Korekční množství 5. válce	-0.45	mm3/zdvi
Korekční množství 6. válce	1.28	mm3/zdvi

7.3 Měření kouřivosti motoru před úpravami


Jedním ze způsobů, jak ověřit správnost chodu motoru a funkčnost celé výfukové soustavy, je měření emisí. V tomto případě měření kouřivosti. Parametrem, popisujícím emisní chování vznětového motoru v provozu je kouřivost motoru, vyjádřená součinitelem absorpce světla (optickou hustotou - opacitou) výfukového plynu „k“ [m^{-1}], zjišťovanou metodou volné akcelerace. Součinitel „k“ je aritmetickým průměrem hodnot součinitelů absorpce změřených při čtyřech za sebou jdoucích akceleracích, které splnily podmínku, že rozpětí (pásmo) jejich hodnot není větší než 0,25.“ Jelikož pozitivní i eventuálně špatné (chybné) úpravy, které se budou na vozidle provádět by mohly mít na emise vozidla velký vliv, je nutné zaznamenat původní stav a po úpravách toto měření zopakovat, protože by vozidlo nemuselo plnit emisní normy ČR a také by se mohla tímto způsobem rozpoznat zvýšená spotřeba paliva nebo porucha na vstřikovací soustavě. Měření jsem provedl ve škole na opacimetru od firmy Atal AT 605 viz obr. 22.

Obr. 22 Protokol o měření emisí



SME:

SME nr.:



Tel:

Fax:

GSM:

e-mail:

PROTOKOL č.
o měření emisí vozidla se vznětovým motorem

Značka vozidla: BMW	Druh vozidla: Osobní automobil
Typ vozidla: 525D	Kategorie vozidla M1
Typ motoru: TDi	Registrační značka: 2C41001
Výr. č. motoru*):	Rok výroby(1.registrace): 2002
Stav poč. ujeté vzdálenosti: 150000 km	Druh paliva: DIESEL
Typ emisního systému:	

Provozovatel vozidla (jméno, adresa) , ,

Kontrola	
Výsledek vizuální kontroly	Bez závad
Výsledek kontroly závad řídicí jednotkou	Bez závad

Otáčky	Předepsané hodnoty	Naměřené hodnoty
Volnoběžné otáčky[1/min]:	600 - 800	750
Otáčky regulace[1/min]:	4300 - 5000	4640

Korigovaný součinitel absorpce(ze štítku)[1/m]	1
Hodnota kouřivosti [1/m]:	Dovolená 1,50
	Naměřená 0,52
Rozpětí hodnot kouřivosti čtyř po sobě jdoucích měření [1/m]	Dovolená 0,25
	Naměřená 0,23

Použitý opacimetr (výrobce, typ): **ATAL, AT605 CZ**
 Naměřená data z opacimetru tvoří přílohu tohoto protokolu.
 Naměřené hodnoty jsou online záznamem z opacimetru.

Naměřené hodnoty

Akc. č.	nvol [1/min]	nreg [1/min]	ta [s]	k [1/m]
1.	750	4200	2,21	0,50
2.	750	4660	1,83	0,62
3.	750	4660	1,89	0,56
4.	750	4670	2,26	0,39
Průměr			2,05	0,52
Rozpětí			0,43	0,23

Teplota oleje v motoru: 81°C

Naměřené volnoběžné otáčky: 750[1/min]

Naměřené otáčky regulace: 4640[1/min]

Smokemeter: ATAL, AT605 CZ

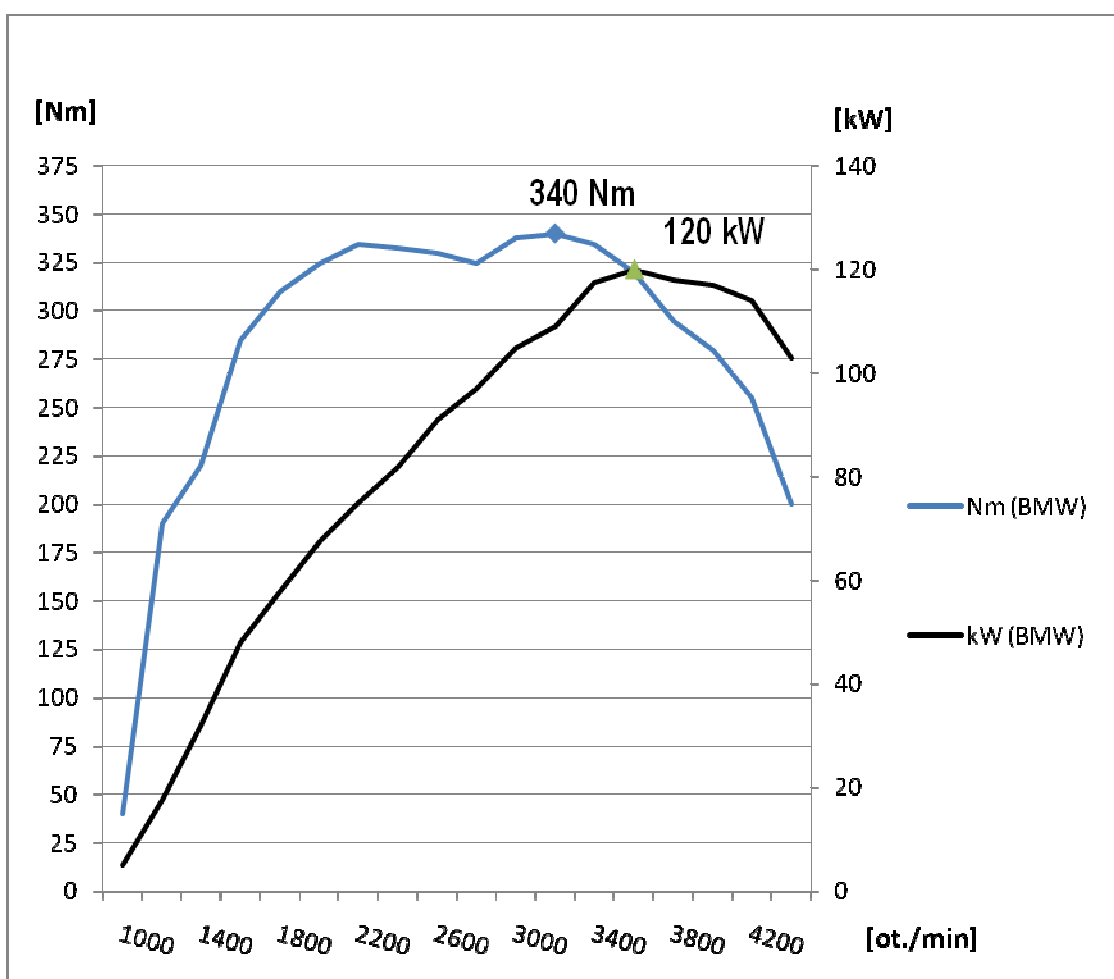
Použitá sonda:P-1

Z naměřených hodnot vyplívá, že vozidlo splňuje emisní podmínky a nic by nebránilo vylepení nové známky o emisní kontrole. Výsledná průměrná hodnota součinitele kouřivosti k je 0,52 a max. rozpětí hodnot je 0,23. Zároveň nám hodnoty součinitele absorpce „k“ budou sloužit pro porovnání po následujících změnách v systému.

7.4 Měření originálního nastavení výkonu na výkonové válcové zkušebně

První měření pro ověření originálního nastavení výkonu testovaného vozidla jsem provedl ve firmě Camp Performance, Praha 5. Tato firma se zabývá chiptuningem a k dispozici mají válcovou výkonovou zkušebnu vybavenou zařízením Motocom. Po upevnění vozidla na válce proběhlo měření na 4. převodový stupeň. Výsledný graf výkonu a točivého momentu je na obrázku 23. Měřením jsme ověřili, že vozidlo disponuje deklarovaným výkonem 120kW a krouticím momentem 340Nm od nastavení výrobce.

Obr. 23 Naměřený výkon před úpravami



7.5 Provedení úprav v řídicí jednotce motoru

Úpravu řídicí jednotky jsem prováděl s pomocí pana Ladislava Zelenky, který se specializuje na diagnostiku vozidel všech značek v Týně nad Vltavou, kam za ním jezdí i z autorizovaných servisů z Českých Budějovic a okolí. Úpravu jsem provedl bezdemontážně pomocí notebooku s programem Alien Tech, přes diagnostickou zástrčku OBD2. Základem bylo nejprve zkopírovat originální nastavení jednotky do programu Alien Tech. Vozidlo musí být v klidu, zapnuté pouze zapalování a vše ostatní vypnuté. Nežádoucí kolísání napětí by mohlo způsobit nedokonalé načtení řídicí jednotky.

V posledních letech výrobci automobilů podnikají kroky zaměřené proti neautorizovanému přístupu, které mají snahu zkomplikovat komunikaci externího zařízení s automobilem. Tímto se snaží, aby majitelé automobilů využívali pouze autorizované servisy. Bez profesionálního vybavení lze provádět libovolné úpravy ECU dvěma způsoby. Je možné komunikovat přes OBD2 diagnostickou zásuvku nebo pomocí BDM rozhraní přistupovat přímo ke konkrétnímu integrovanému obvodu (EEPROM). Tato druhá varianta vyžaduje speciální zařízení. Nevýhodou BDM přístupu je nutnost demontovat ECU z automobilu. Výhodou je jednak snadnější přístup k datům, ale především při přerušení během aktualizace firmware ECU, nebo při zapsání chybných dat, řídicí jednotka přes OBD2 nekomunikuje. Ke stavu, kdy ECU se chybně přeprogramuje, může dojít, když dojde k poklesu napětí nebo při silném rušení během nahrávání firmware. Z tohoto důvodu nebývá doporučována komunikace prostřednictvím bluetooth.

Po nahrání do programu Alien Tech se provede operace „Check sum“, která zkontroluje úplnost všech nahraných dat z jednotky. Neodborně provedená úprava jednotky, například nahráním nového programu (mapy) staženého z internetu, by mohla vozidlo znepojízdnit nebo ho uvádět do nouzového režimu, právě kvůli neúplnému obsahu.

Po operaci „Check sum“ už nic nebrání v úpravách libovolných dat, zkopírovaných z řídicí jednotky motoru.

Pokud uživatel může modifikovat libovolná data ECU, je možné měnit například VIN jednotky nebo stav ujetých kilometrů. Častějším důvodem ale bývá právě úprava výkonu motoru. Jedny z prvních ECU měly data uloženy v EPROM. Modifikace dat vyžadoval demontáž ECU, vyjmutí čipu a jeho přeprogramování případně náhrada. Bylo možné zakoupit naprogramované čipy pro konkrétní úpravy na vozidle (například pro laděný výfuk), a tak tuto úpravu mohl provést i laik. Někteří výrobci umisťovali EPROM do patič, čímž výměnu

usnadnili. Další generace ECU už obsahují paměti EEPROM, jenž je možné přeprogramovat prostřednictvím diagnostické zásuvky nebo BDM rozhraní.

Upravenou mapu nelze ihned nahrát do řídicí jednotky. Data jsou stejně jako komunikační protokoly zabezpečeny kontrolním součtem „Check sum“. Bohužel na rozdíl od kontrolních součtů protokolů jsou algoritmy nestandardizované a tudíž u různých výrobců jiné. Protože takovéto algoritmy slouží jako hlavní ochrana před neautorizovaným přístupem, bývají extrémně složité. To znamená, že upravovací programy nemají tyto algoritmy implementované, ale je možné pro konkrétní řídicí jednotky algoritmus do programu přidat prostřednictvím softwarových modulů. Cena těchto algoritmů často přesahuje cenu programu. Tedy řádově desítky tisíc korun. Nutno také upozornit na možné situace, kdy úprava dat nemá pozitivní účinek. Drobné chyby v parametrech se projeví nenormálním chováním motoru. Vážnější zásahy do dat nebo nahrání modifikovaných dat bez provedení kontrolních součtů (neplatná data) buď nepovolí motor nastartovat, nebo během jízdy automobil přejde do nouzového režimu. Tento režim nastává také tehdy, jsou-li přerušeny komunikační vodiče. V takovémto případě pracují veškeré systémy s vlastními senzory nebo konstantními hodnotami, čímž motor není schopen podávat plný výkon. Při nejhorší úpravě dat v ECU může dojít k poškození motoru.

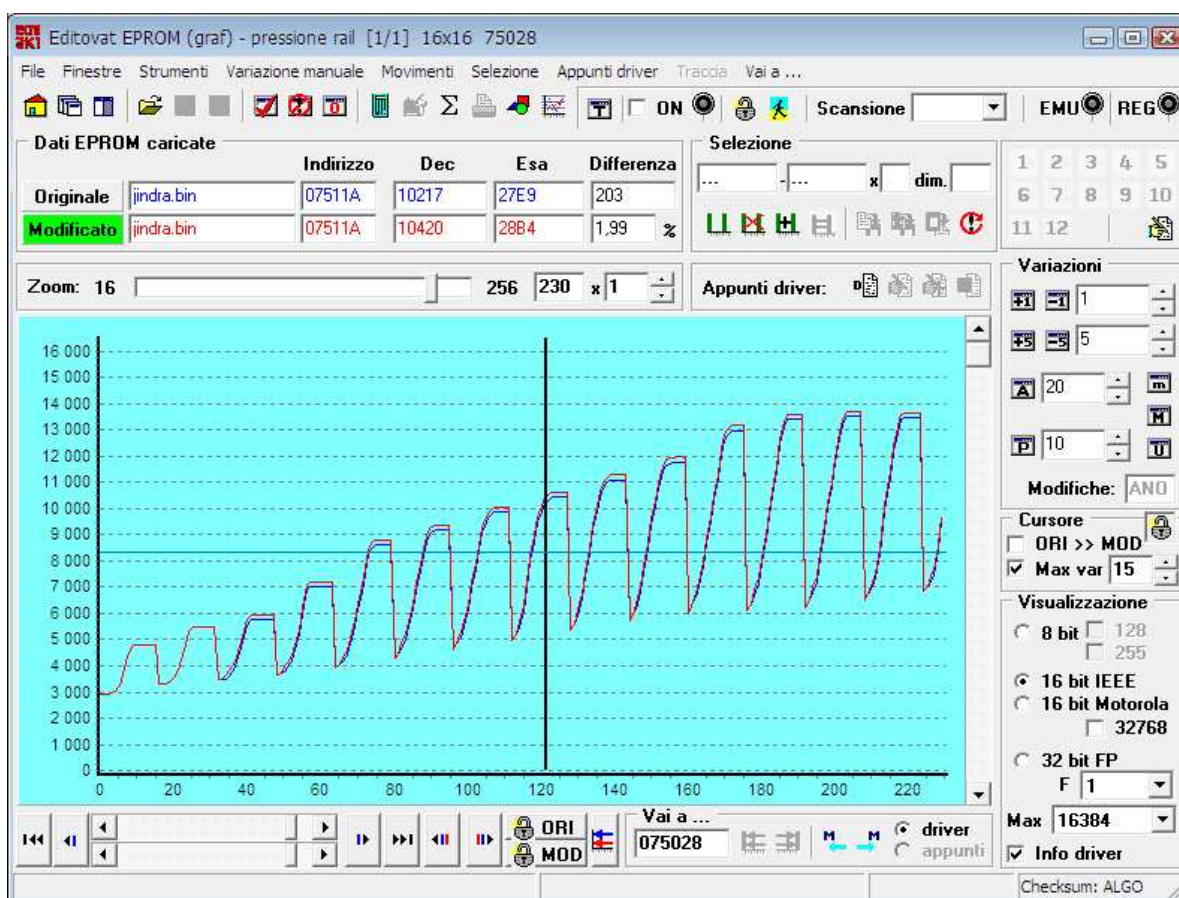
7.5.1 Konkrétní provedené úpravy

Celkem jsem postupně vytvořil 4 varianty úprav řídicí jednotky motoru. Původně měla být jen 1, jenže po nahrání 1. varianty přes OBD2 do řídicí jednotky motoru se vozidlo sice podařilo nastartovat, ale při provádění zkušební jízdy se vyskytly nečekané problémy. Už na první dojem bylo znát zvýšení výkonu motoru a jeho větší záťah od nižších otáček než před úpravou, ale po akceleraci při maximální dávce paliva a následném ubrání, se vždy samy vypnuly palubní přístroje a motor bylo nutné ihned znovu nastartovat. Ani při pokusu po akceleraci vyřadit a nechat vozidlo ustálit na volnoběžné otáčky, jsem nebyl schopen udržet motor v chodu. V takovém stavu se s vozidlem nedalo téměř vůbec jezdit, po každé akceleraci následovalo startování a hrozilo zablokování volantu, tak následovala cesta zpět na diagnostiku. Diagnostikoval jsem závadu na snímači tlaku v railu, který vozidlo po akceleraci vypínal. Tlak paliva se pravděpodobně po akceleraci dostal špičkově nad povolenou mez a řídicí jednotka vyhodnotila možnost havárie systému, tak vypnula motor. Tato varianta měla podle programu dosahovat změny výkonu o 40kW. Další 2 varianty úprav měly vždy o trochu menší nárůst výkonu, ale po akceleraci nastal vždy ten samý problém. Až jsem se dostal na poslední, 4. variantu, která měla způsobit nárůst výkonu o 18 kW a nárůst krouticího

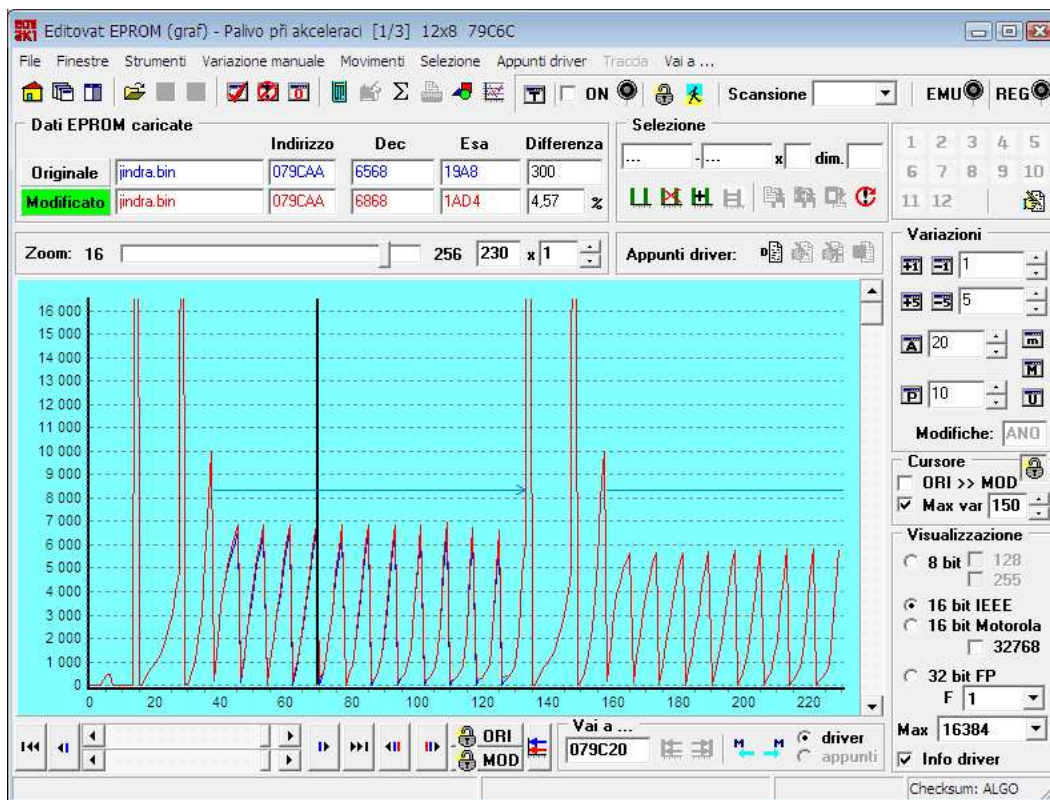
momentu o 60 Nm. Po bezproblémové zkušební jízdě bylo rozhodnuto o ponechání této varianty a jejím ověření na výkonové válcové zkušebně.

Pomocí programu Alien Tech jsem tedy u poslední varianty provedl následující změny: zvýšení systémového tlaku paliva v railu o necelé 2 % viz obrázek 24, nárůst tlaku paliva při akceleraci o 4,5 % viz obrázek 25, nárůst tlaku při částečně otevřené škrtkové klapce o 4,1 % viz obrázek 26 a samozřejmě zvýšení plnicího tlaku turbodmychadla o 16,4 % viz obrázek 27.

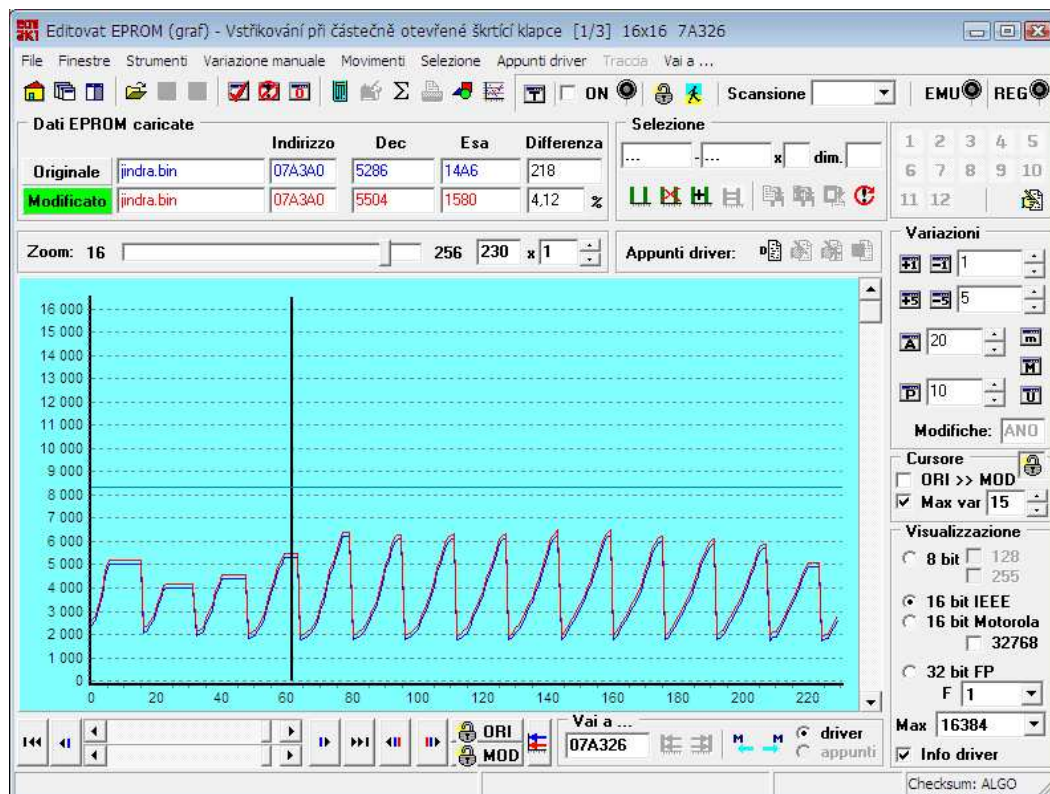
Obr. 24 Zvýšení systémového tlaku paliva



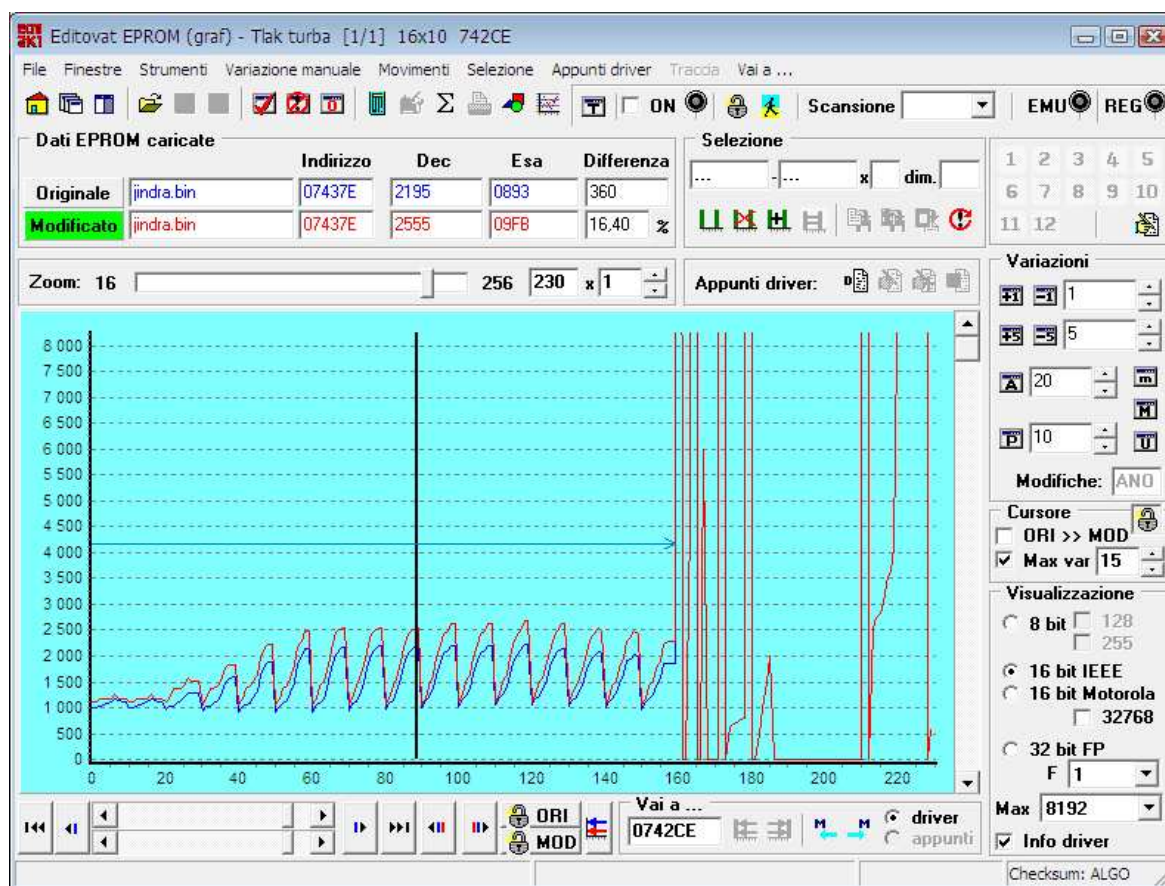
Obr. 25 Nárůst tlaku paliva při akceleraci



Obr. 26 Nárůst tlaku při částečně otevřené škrticí klapce



Obr. 27 Zvýšení plnicího tlaku turbodmychadla

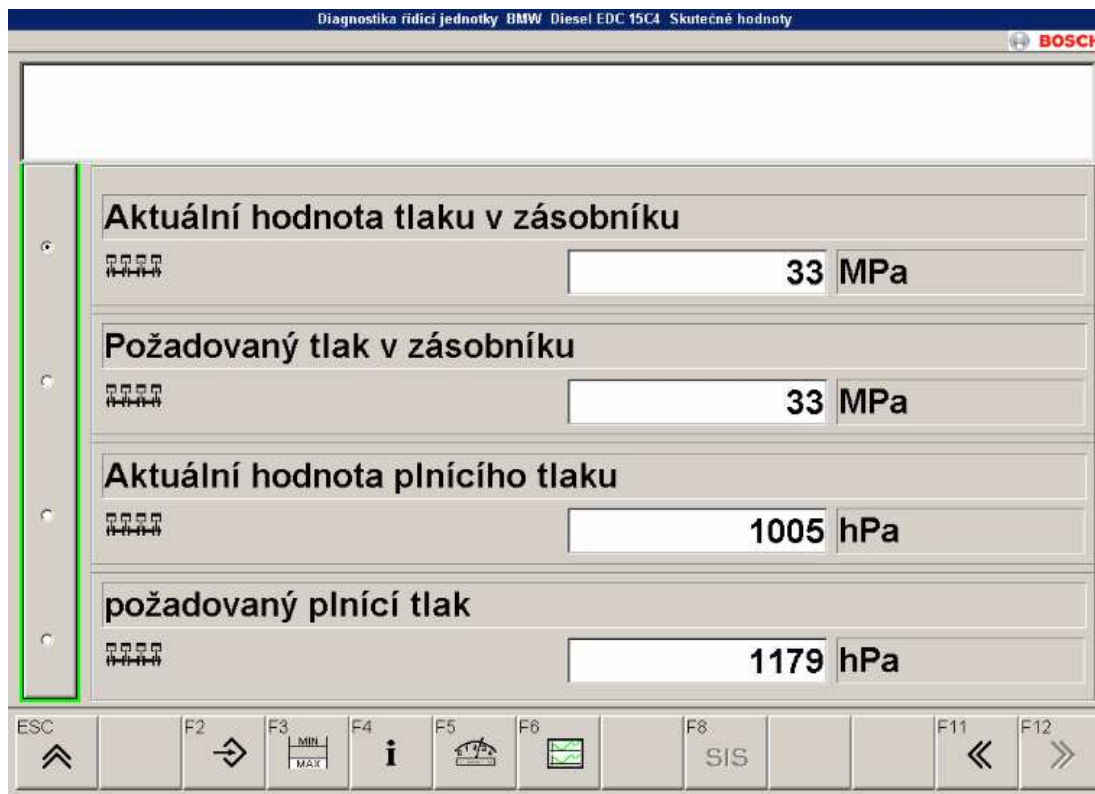


Všechny tyto změny měly podle programu způsobit **nárůst výkonu motoru ze 120kW na 138kW** a **zvýšení kroutícího momentu z původních 340Nm na 400Nm**. Nezbyvalo, než provést znovu diagnostiku po úpravě řídicí jednotky, měření emisí a ověřit výkon a kroutící moment na výkonové válcové zkušebně.

7.6 Kompletní diagnostika po úpravě řídicí jednotky

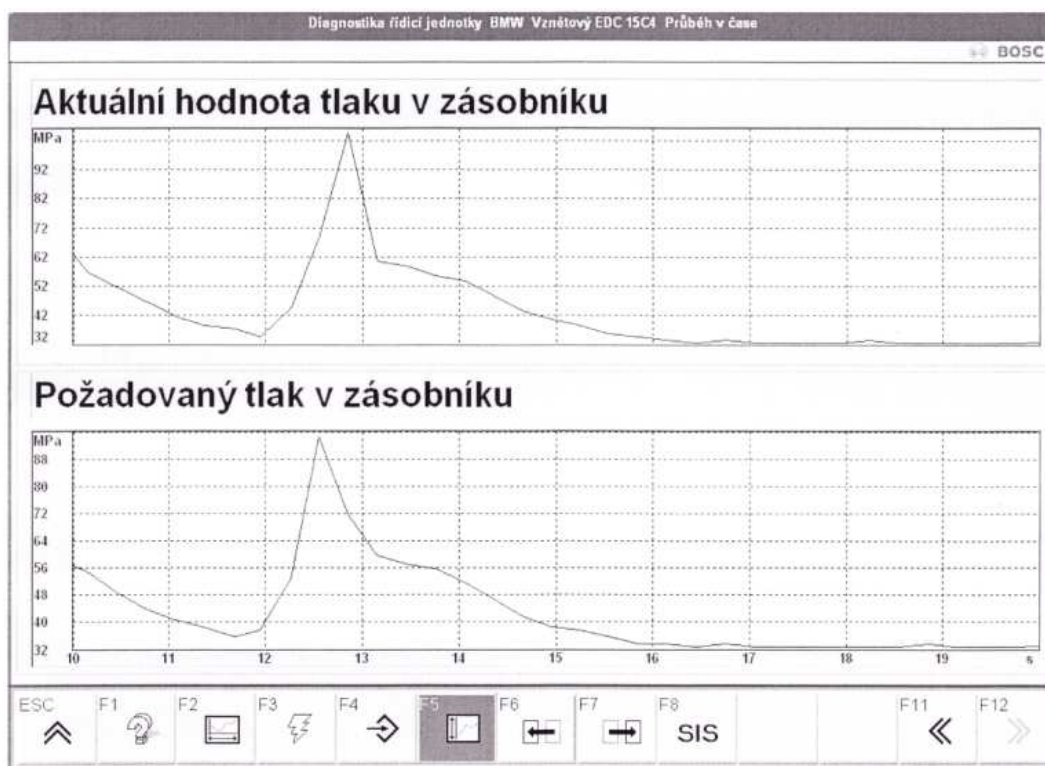
Diagnostiku jsem provedl opět na přístroji Bosch KTS 540 a zaměřil jsem se na hledání změn spojených s úpravou řídicí jednotky. První změna byla evidentní už při kontrole systémového tlaku paliva v railu, při volnoběžných otáčkách. Po úpravě došlo ke zvýšení tlaku paliva v railu o 2 MPa, na celkových 33 MPa, viz obr. 28.

Obr. 28 Hodnota systémového tlaku paliva v railu po úpravě



Další následovala opět kontrola náběhu tlaku paliva v zásobníku, viz obr. 29. Aktuální hodnotu tlaku paliva v zásobníku při akceleraci z volnoběžných otáček při maximální dodávce paliva, jsem porovnával s požadovanou hodnotou a schopností systému a vysokotlakého čerpadla tuto hodnotu dosahovat. Po porovnání s původními hodnotami jsem zjistil, že systémový tlak se zvýšil i při akceleraci na plnou dávku paliva a to výrazně až na hodnotu 102 MPa. **Rozdíl od originálního nastavení je tedy 20 MPa.**

Obr. 29 Kontrola náběhu tlaku paliva při maximální dodávce paliva



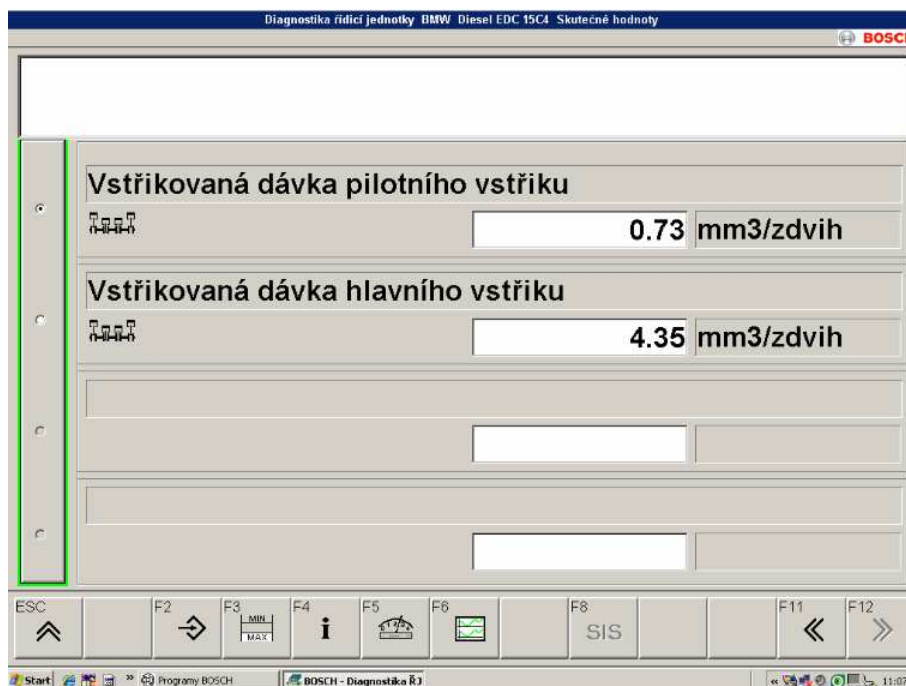
Nárůst systémového tlaku se projevil i na korekčních množstvích vstříkovaného paliva u jednotlivých vstříkovačů. Nejvýraznější změna je vidět u vstříkovače na 6. válci. Ten se po úpravě vrátil do tolerančního pole $-0,7$ až $+0,7$ mm^3/zdvih . Viz obrázek 30.

Obr. 30 Porovnání vstříkovaného množství paliva na jednotlivých vstříkovačích po úpravě

The screenshot shows a diagnostic software window with the title 'BMW Diesel EDC 15C4 Porovnání množství'. A message at the top reads 'Zkuš. úsek ukončen, dále pomocí F5.' Below this is a table with six rows, each representing a cylinder. Each row contains a label for the correction amount, a numerical value in a text input field, and the unit 'mm3/zdvi'. At the bottom of the window, there is a control bar with a highlighted 'F5' button and a right-pointing arrow.

Korekční množství 1. válce	0.55	mm3/zdvi
Korekční množství 2. válce	-0.35	mm3/zdvi
Korekční množství 3. válce	-0.26	mm3/zdvi
Korekční množství 4. válce	-0.16	mm3/zdvi
Korekční množství 5. válce	0.07	mm3/zdvi
Korekční množství 6. válce	-0.20	mm3/zdvi

Obr. 31 Dávky pilotního a hlavního vstřiku na volnoběh



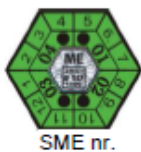
7.7 Měření kouřivosti motoru po úpravě řídicí jednotky

Toto měření jsem provedl ve škole, opět pomocí opacimetru Atal AT605. Viz obr. 32. Hodnoty součinitele kouřivosti „k“ se také viditelně změnily a to k lepšímu, obr. 33. To je pravděpodobně zapříčiněno zvýšením vstřikovacího tlaku paliva, tudíž jeho lepším rozprášením, lepším prohořením ve spalovacím prostoru a také zvýšením plnicího tlaku turbodmychadla. Výsledná průměrná hodnota součinitele kouřivosti „k“ klesla z původní hodnoty **0,52** na hodnotu **0,21** a max. rozpětí hodnot se také zmenšilo z 0,23 na 0,18. Limitní hodnota součinitele kouřivosti uvedená na štítku vozidla je 1,9, což je se značnou rezervou dodrženo, bylo také dodrženo rozpětí těchto hodnot do 0,25, takže vozidlo i po úpravě splňuje emisní normu.

Obr. 32 Opacimetr Atal AT605



Obr. 33 Protokol o měření emisí po úpravě řídicí jednotky



SME:



SME nr.

Tel:

Fax:

GSM:

e-mail:

**PROTOKOL č.
o měření emisí vozidla se vznětovým motorem**

Značka vozidla: BMW	Druh vozidla: Osobní automobil
Typ vozidla: 525	Kategorie vozidla M1
Typ motoru: TDi	Registrační značka: 2C41001
Výr. č. motoru*):	Rok výroby(1.registrace): 2002
Stav poč. ujeté vzdálenosti: 157000 km	Druh paliva: DIESEL
Typ emisního systému:	
Provozovatel vozidla (jméno, adresa) , ,	

Kontrola

Výsledek vizuální kontroly	Bez závad
Výsledek kontroly závad řídicí jednotkou	Bez závad

Otáčky	Předepsané hodnoty	Naměřené hodnoty
Volnoběžné otáčky[1/min]:	600 - 800	750
Otáčky regulace[1/min]:	4300 - 5000	4640

Korigovaný součinitel absorpce(ze štítku)[1/m]		1
Hodnota kouřivosti [1/m]:	Dovolená	1,50
	Naměřená	0,21
Rozpětí hodnot kouřivosti čtyř po sobě jdoucích měření [1/m]	Dovolená	0,25
	Naměřená	0,18

Použitý opacimetr (výrobce, typ): **ATAL, AT605 CZ**
 Naměřená data z opacimetru tvoří přílohu tohoto protokolu.
 Naměřené hodnoty jsou online záznamem z opacimetru.

Naměřené hodnoty

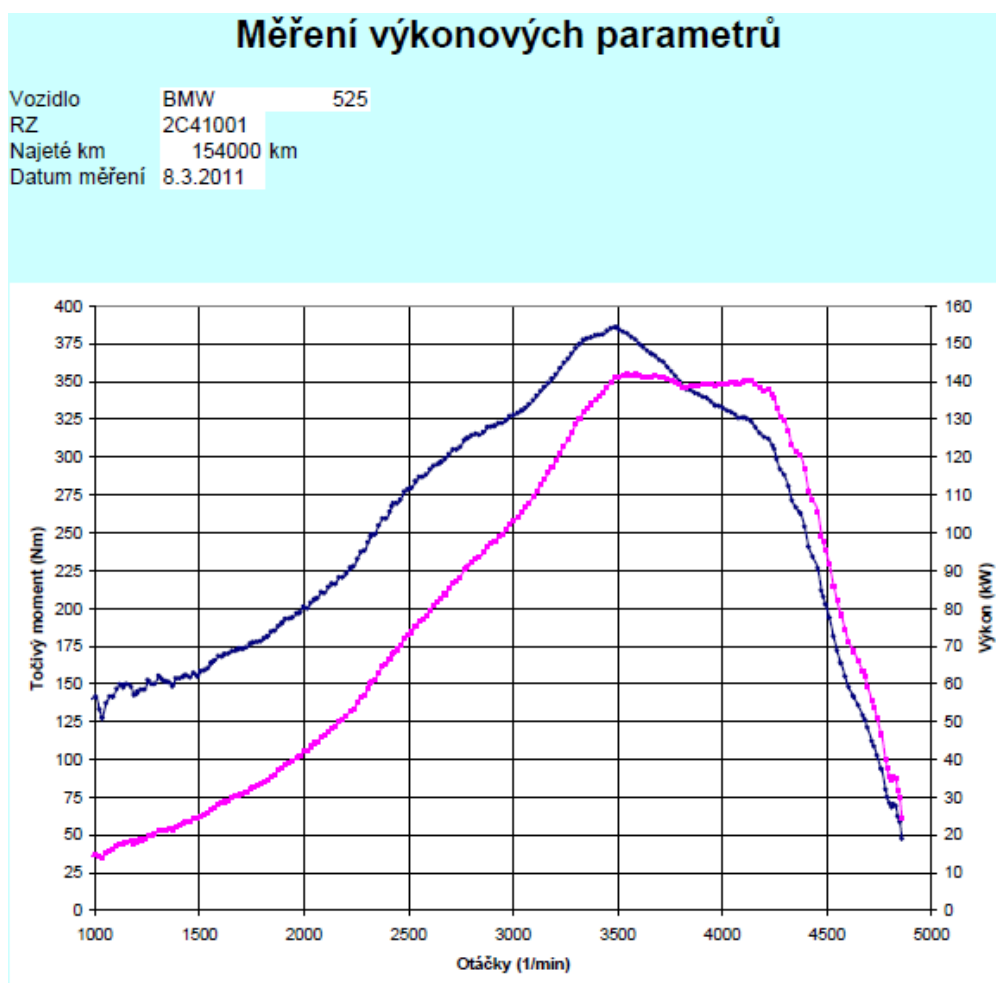
Akc. č.	nvol [1/min]	nreg [1/min]	ta [s]	k [1/m]
1.	750	4740	2,88	0,29
2.	750	4740	3,11	0,17
3.	750	4750	3,12	0,26
4.	750	4760	3,10	0,11
Průměr			3,05	0,21
Rozpětí			0,24	0,18

Výsledná průměrná hodnota součinitele kouřivosti „k“ klesla z původní hodnoty **0,52** na hodnotu **0,21** a max. rozpětí hodnot se také zmenšilo z 0,23 na 0,18.

7.8 Závěrečné porovnávací měření na výkonové válcové zkušebně

Závěrečné měření, pro ověření změn provedených na řídicí jednotce motoru a ověření výkonu testovaného vozidla, jsem provedl ve školních dílnách. Měření jsem prováděl s Ing. Martinem Pexou Ph.D. Po přesném najetí vozidlem na válce a jeho zajištění proběhlo měření na 2. převodový stupeň. Výsledný graf výkonu a točivého momentu je na obrázku 34. Měřením jsem ověřil, že provedené změny v nastavení řídicí jednotky mají skutečný vliv na výkon vozidla a točivý moment jeho motoru. Úprava provedená v programu Alien Tech měla zvýšit výkon vozidla o 17,5 %, což se na výkonové válcové zkušebně prokázalo. Vozidlo nově disponuje výkonem 141 kW při 4000 ot/min. a krouticím momentem 386 Nm při 3500ot./min proti původním hodnotám 120 kW a 340 Nm. Na obrázku 35 je proto graf, který znázorňuje průběh a výsledné hodnoty měření před a po úpravách řídicí jednotky.

Obr. 34 Závěrečné porovnávací měření na válcové výkonové zkušebně

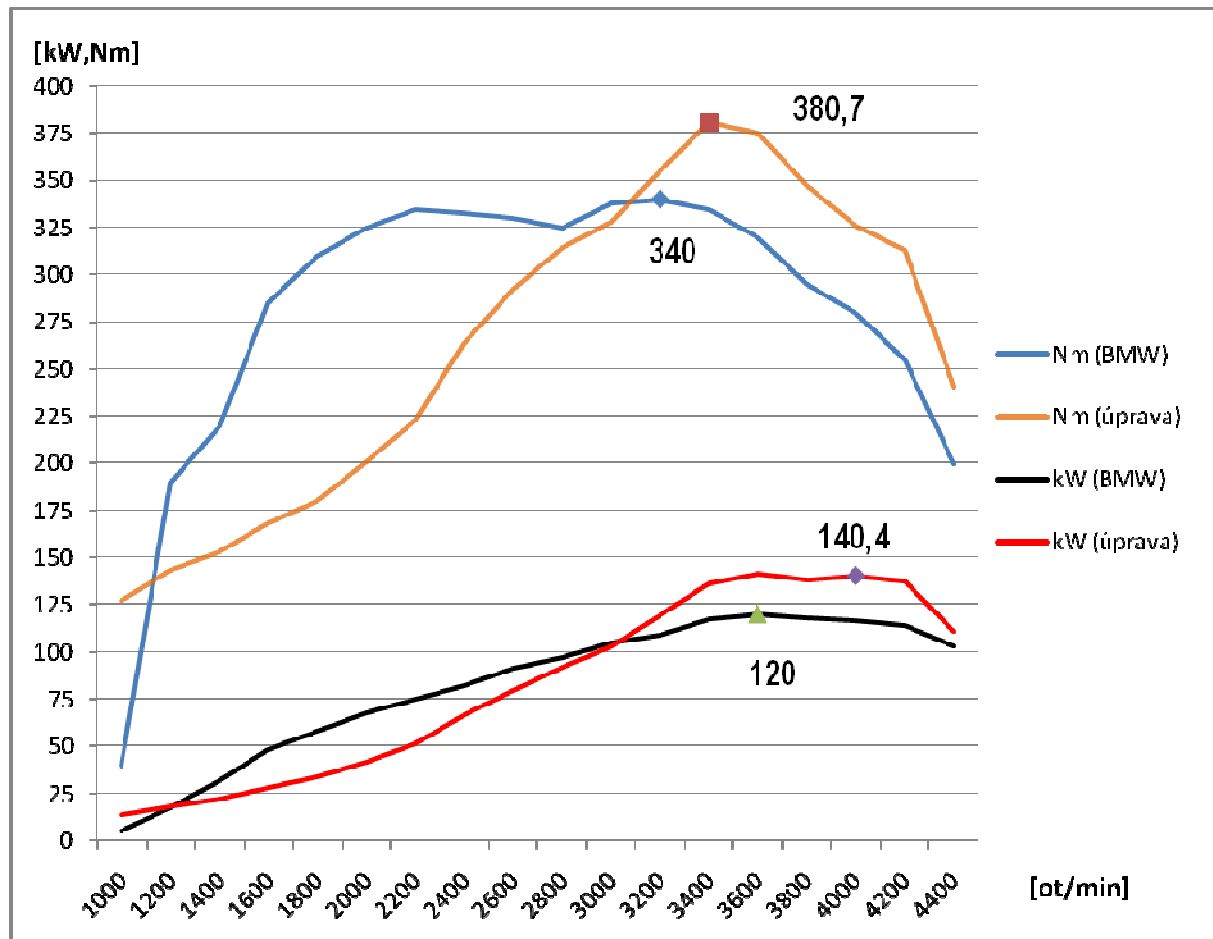


Obr. 34 Závěrečné porovnávací měření na válcové výkonové zkušebně

	Tabulkové hodnoty	Naměřené hodnoty	Porovnání (%)
Točivý moment (Nm) při	350 Nm	386 Nm	110,3 %
	3200 1/min	3489 1/min	
Výkon motoru (kW) při	120 kW	141 kW	117,5 %
	4000 1/min	3585 1/min	

Volnoběžné otáčky	750 1/min
Celkový převodový poměr	2,9
Setrvačná hmotnost na válcích	586,62 kg
Ztrátová hmotnost na válcích	377,44 kg
Moment setrvačnosti motoru	0,388635 kg.m ²

Obr. 35 Porovnání průběhu a hodnot před a po úpravě řídicí jednotky



8 Závěr

Cílem diplomové práce byla analýza moderních vstřikovacích systémů a jejich vliv na vlastnosti vznětových motorů. V úvodní části rešerše je popsán princip a struktura, dvou momentálně nejpoužívanějších systémů vysokotlakého vstřikování paliva pro naftové motory a také podrobný popis jednotlivých částí. Jsou probrány jednotlivé generace vysokotlakého vstřikování common rail, PD a popsány rozdílnosti v provedení základních prvků vyráběných různými firmami. U obou systémů jsou zmíněny hlavně jejich přednosti a problémy, které vyplývají z jejich používání v naftových motorech. Současným největším problémem je zejména tankování nekvalitních pohonných hmot, nabízených u čerpacích stanic na území naší republiky.

Hlavní přínos rešerše spočívá ve čtvrté a konci páté kapitoly, kde je podrobněji probírána problematika obou vstřikovacích systémů. Jsou vyjmenovány nejčastější závady a jejich možné postupy řešení, ze kterých jasně vyplývá, že značkový servis se značkovým vybavením a s podporou výrobce je schopen si poradit s většinou vzniklých poruch bez větších finančních nároků. Dále z tohoto rozboru vyplývá, že za většinu problémů, zejména to jsou problémy vstřikovačů, může nekvalitní nafta. Z tohoto pohledu je vhodnější tankovat naftu u renomovaných značek.

V praktické části jsem se zaměřil na systém Common Rail, u vozidla BMW 525d roku výroby 2003 a provedení některých změn, nejen v palivové části systému tohoto vozidla, pomocí italského programu pro úpravy řídicích jednotek od firmy Alien Tech. Pomocí diagnostických zařízení Bosch KTS 200, KTS 540, opacimetru Atal a 2 výkonových válcových zkušeben jsem nejprve diagnostikoval vozidlo a jeho původní nastavení od výrobce a následně po provedených změnách. Díky jednotlivým úpravám došlo k nárůstu výkonu vozidla o 20 kW, nárůstu točivého momentu o 40 Nm a dokonce i k snížení kouřivosti. Výsledná průměrná hodnota součinitele kouřivosti „k“ klesla z původní hodnoty **0,52** na hodnotu **0,21** a max. rozpětí hodnot se také zmenšilo z 0,23 na 0,18, protože palivo je nyní vstřikováno do spalovacího prostoru pod větším tlakem, lépe se mísí s větším množstvím přivedeného vzduchu a lépe prohoří. Díky možnosti ujetí zkušebních cca 1000 km jsem ověřil, že nedošlo ani ke zvýšení spotřeby paliva. Před úpravou byla hodnota dlouhodobé průměrné spotřeby paliva ustálena na hodnotě 5,5 l/100km, po úpravě jsme zatím nepřekročili hodnotu 5,2 l/100km.

Otázka je, jaký vliv bude mít tato změna na životnost celé palivové soustavy a turbodmyhadla.

Z historického vývoje systému common rail lze usuzovat na budoucí směřování systému common rail. Vývoj bude směřovat zejména ke zvyšování vstřikovacího tlaku, který je u 4. generace 250 MPa, tedy skoro dvojnásobný oproti první generaci. Dále dojde k větší variabilitě vstřiků, nejen v počtu vstřiků ale také v geometrickém tvarování vstřiku. Zvýšena bude také přesnost ovládání vstřikovačů, zde se jeví, jako nejlepší způsob přímé ovládání vstřikovačů pomocí piezoelektrických elementů viz vstřikovače od firmy Delphi. V poslední řadě snahy povedou ke snížení energické náročnosti celého vstřikovacího systému, která je výrazně nižší v porovnání s klasickými způsoby vstřikování motorové nafty do válců.

Systém common rail je v současné době jedním z nejrozšířenějších systémů vstřikování paliva. Přináší jedny z nejlepších výsledků na poli snižování produkce škodlivých emisí a spotřeby paliva (ta je přímo úměrná produkci skleníkového plynu CO₂). Pozitivní přínos je i ve snížení hlučnosti motoru, vibrací motoru a ve zvýšení kultivovanosti chodu motoru. V porovnání s ostatními systémy lze usuzovat, že tento systém i v budoucnosti zůstane jedním z dominantních systémů vstřikování.

Použitá literatura

- [1] Motejl, V.: Vstřikovací zařízení vznětových motorů. Nakladatelství Kopp, České Budějovice, 2001. ISBN 80-7232-142-0
- [2] Technická příručka Bosch - Řízení vznětových motorů – Systém vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory, Praha, 2005, ISBN 80-903132-7-2
- [3] Pošta, J. a kolektiv: Opravárenství a diagnostika III. Nakladatelství Informatorium, spol. s. r. o. 2003. ISBN 80-7333-017-2
- [4] Rolf, G.: Příručka pro automechanika
- [5] Baumruk, P.: Příslušenství spalovacích motorů, ČVUT Praha, 1996, ISBN 80-01-02062-2
- [6] Beroun, S.: Vozidlové motory, Studijní opory, TU Liberec
- [7] Kameš, J.: Spalovací motory, Česká zemědělská univerzita, Praha, 2002, ISBN 80-213-0895-8
- [8] Macek, J.: Spalovací motory I, ČVUT Praha, 2007, ISBN 978-80-01-03618-1
- [9] Hromádko, J., Hönig, V., Miler, P.: Spalovací motory, Nakladatelství Grada, 2011, ISBN 978-80-247-3475-0, 296 s.
- [10] Takáts, M.: Měření emisí spalovacích motorů, ČVUT Praha 1997
- [11] Technická příručka Bosch – Elektronické vstřikování vznětových motorů EDC 1.3.3, Praha, 2001
- [12] Technická příručka Bosch - Řízení vznětových motorů – Elektronická regulace vznětových motorů EDC, Praha, 2002, ISBN 80-903132-4-8
- [13] VLK, F.: Vozidlové spalovací motory. Nakladatelství a zasilatelství Vlk, Brno, 2002. ISBN 80-238-8756-4

Internetové odkazy:

- [14] Frankfurt živě: Common-rail 4. generace od Bosch, zveřejněno 14. 09. 2006
Dostupný z WWW:
<http://news.auto.cz/aktuality/frankfurt-zive-common-rail-4-generace-od-bosche.html>
- [15] Delphi Direct Acting Common Rail, zveřejněno 09. 12. 2008
Dostupný z WWW:
<http://www.tadpraha.cz/index.php?pid=326&id=192>
- [16] Problémy se vstřikováním, zveřejněno 07. 04. 2007
Dostupný z WWW:
http://www.autopart.cz/generate_page.php3?page_id=7230