



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

PALIVOVÉ SYSTÉMY ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ

FUEL SYSTEMS OF SI-ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ FAIMAN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. RADIM DUNDÁLEK, PH.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Faiman

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:

Palivové systémy zážehových motorů

v anglickém jazyce:

Fuel Systems of SI-engines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Osvojení zadané problematiky. Zamyšlení nad budoucností.

Cíle bakalářské práce:

Vytvoření přehledu základních komponentů palivového systému zážehových pohonných jednotek a obrázkové dokumentace ilustrující znalost zadané problematiky.

Seznam odborné literatury:

[1] Internet

[2] VLK, František. Vozidlové spalovací motory. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2003, 578 s. ISBN 80-238-8756-4.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 19.11.2012

L.S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu

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



ABSTRAKT

Cílem této práce je vytvořit přehled palivových systémů používaných u moderních zážehových motorů a popsání základních komponent těchto systémů. Dále bude popsána funkce jednotlivých těchto komponent a režimy provozu palivového systému při různých režimech provozu motoru. Nakonec budou charakterizovány vybrané motory s těmito systémy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Palivový systém, přímé vstřikování, nepřímé vstřikování, homogenní plnění, vrstvené plnění, vysokotlaké čerpadlo, rozdělovač paliva, tlakový řídicí ventil, senzor tlaku paliva, vstřikovač paliva, vstřikovací tryska, katalyzátor, MED Motronic, TSI motor, FSI motor, TFSI motor, CGI motor, TCE motor.

ABSTRACT

The aim of this work is to create a list of fuel systems used in modern gasoline engines and describe the basic components of these systems. It will then be described the function of each of these components and modes of operation of the fuel system at different modes of engine operation. Finally, will be characterized by the selected engines with these systems.

KEYWORDS

Fuel system, direct injection, indirect injection, homogeneous mode, stratified-charge mode, high-pressure pump, fuel rail, pressure control valve, pressure sensor, fuel injector, injector nozzle, catalysts, MED Motronic, TSI engine, FSI engine TFSI engine, CGI engine TCE engine.



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FAIMAN, J. *Palivové systémy moderních zážehových motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 37s. 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 24. května 2013

.....

Jiří Faiman



PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu mé práce Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D. za trpělivost a poskytnuté cenné rady při jejím vypracování.

**OBSAH**

Úvod	9
1 Systémy vstřikování paliva.....	10
1.1 Nepřímé vstřikování	10
1.1.1 Bodové (centrální) vstřikování	10
1.1.2 Vícebodové vstřikování	10
1.2 Přímé vstřikování	11
2 Systém přímého vstřikování paliva	13
2.1 Komponenty systému	13
2.1.1 Palivová nádrž	13
2.1.2 Palivové čerpadlo	14
2.1.3 Vysokotlaké čerpadlo	14
2.1.4 Rozdělovač paliva.....	14
2.1.5 Senzor tlaku paliva	15
2.1.6 Tlakový řídicí ventil	15
2.1.7 Vstřikovač paliva	16
2.1.8 Elektronická řídicí jednotka.....	20
2.1.9 Třícestný katalyzátor	21
2.1.10 NO _x katalyzátor.....	21
2.1.11 Lambda sonda.....	22
2.2 Režimy plnění spalovacího prostoru.....	22
2.2.1 Vrstvené plnění.....	22
2.2.2 Homogenní plnění	23
3 Vybrané příklady moderních palivových systémů	25
3.1 FSI , TFSI a TSI motory koncernu Volkswagen	25
3.2 CGI motory Mercedes Benz	29
3.3 Mazda, benzínové motory řady Skyactiv	29
3.4 Energy TCE motory	31
Závěr.....	34
Seznam použitých zkratk a symbolů	37



ÚVOD

V této době je velká většina dopravních prostředků poháněna motory na fosilní paliva. Z tohoto počtu asi polovina je poháněna čtyřdobými zážehovými motory, které jsou konstrukčně jednodušší než vznětové, ale mají menší tepelnou účinnost. V poslední době vzhledem k ceně pohonných hmot a z důvodu legislativy je trendem, co nejvíce tepelnou účinnost u zážehových motorů zvyšovat a zároveň jsou kladeny velké nároky na snižování ekologické zátěže těmito motory způsobované. K dosažení tohoto zvolily automobilky různé cesty. Velký podíl na účinnosti motoru má hlavně průběh spalování benzínu ve spalovacím prostoru. Dokonalejšího spalování v motoru se dá dosáhnout optimálním dávkováním paliva do spalovacího prostoru za každých podmínek chodu motoru, které umožňuje hlavně velký pokrok v oblasti řídicí elektroniky. Mnoho výrobců automobilů využívá systémy dodávané firmami, které se na toto specializují a spolupracují s nimi na vývoji. Mezi tyto firmy patří například Bosch, Delphi, Marelli nebo Weber.



1 SYSTÉMY VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA

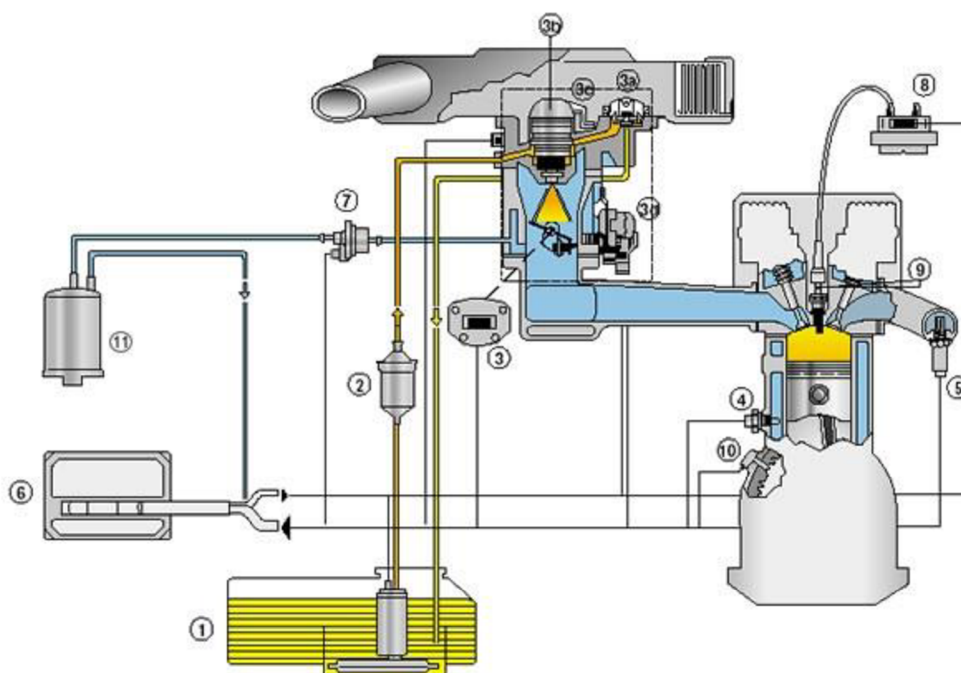
Systém vstřikování paliva plně nahradil karburátory mezi lety 1970-1980. Jedná se o metodu, kdy je palivo vstřikováno pod tlakem do sacího potrubí nebo přímo do spalovacího prostoru pomocí elektronicky řízeného vstřikovače. Spalovací motory se vstřikováním paliva v porovnání s těmi s karburátory nabízí při zachování stejného zdvihového objemu vyšší výkon, vyšší hodnoty točivého momentu, menší spotřebu paliva a nižší hodnoty emisí. Toto je umožněno díky tomu, že systém vstřikování umožňuje přesné dávkování paliva v závislosti na provozních podmínkách (otáčky motoru, teplota motoru, rychlost jízdy,...). [5] [18]

1.1 NEPŘÍMÉ VSTŘIKOVÁNÍ

Benzín je vstřikován do sacího potrubí, kde se mísí se vzduchem a přes sací ventil je tato směs nasávána do spalovacího prostoru. [5] [18]

1.1.1 BODOVÉ (CENTRÁLNÍ) VSTŘIKOVÁNÍ

Při této konfiguraci palivového systému je palivo vstřikováno jedním centrálním elektromagnetickým vstřikovačem do společné části sacího potrubí. Příkladem této konfigurace jsou systémy Mono-Monotronic a Mono-Jetronic od firmy Bosch. Systém Mono-Jetronic byl určen pro benzínové čtyřválcové motory. Základní charakteristiku průběhu vstřiku (okamžik a délku) vypočítá řídicí jednotka z úhlu natočení škrticí klapky α a počtu otáček motoru. [5] [18]



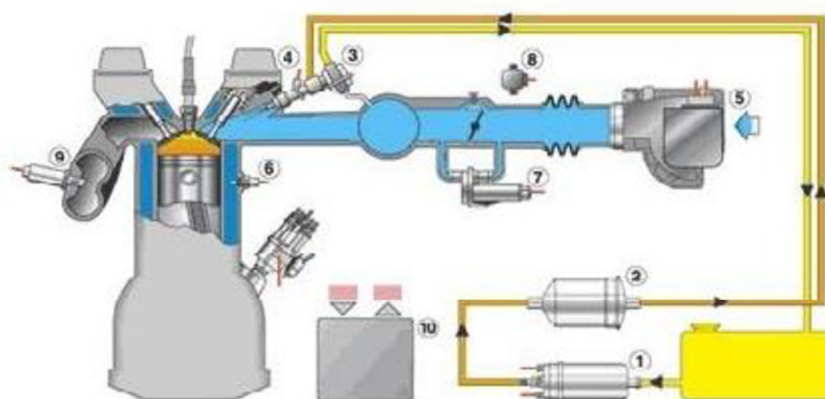
Obrázek 1 Mono-Jetronic [13]

1.1.2 VÍCEBODOVÉ VSTŘIKOVÁNÍ

Tento systém je známý pod zkratkou MPI (Multi Point Injectio). Každému válci v motoru je přiřazen jeden vstřikovací ventil, který vstřikuje benzín těsně před sací ventil, tím je zabráněno nežádoucí kondenzaci paliva na stěnách sacího potrubí. Benzín, který je dávkován do sacího potrubí těsně před otevřením sacího ventilu, se během sání do spalovacího prostoru



rovnoměrně smísí s nasávaným vzduchem a vytvoří dobře zapalitelnou směs. Příkladem jsou systémy KE-Jetronic nebo L- Jetronic také od firmy Bosch. L-Jetronic je elektronicky řízený palivový systém, u kterého jako hlavní řídicí veličiny pro vstřikování jsou počet otáček motoru a množství nasávaného vzduchu, které je měřeno pomocí snímače, umístěného mezi vzduchovým filtrem a škrtkou, který dává řídicí jednotce informace o okamžitém nasávaném množství vzduchu. [5] [18]



Obrázek 2 L-Jetronic[13]

1.2 PŘÍMÉ VSTŘIKOVÁNÍ

Tuto metodu poprvé představila firma Mitsubishi pod zkratkou GDI (Gasoline Direct Injection) v druhé polovině devadesátých let u čtyřválcového motoru o objemu 1,8l a o výkonu 92kW. V Evropě jako první uvedl tento systém do sériové výroby firma Bosch ve spolupráci s koncernem Volkswagen v roce 2000 u vozu VW Lupo 1,4 FSI. Tato metoda se liší od výše popsaných tím, že je palivo vstřikováno přímo do spalovacího prostoru podobně jako u vznětových motorů. Tato skutečnost vyžaduje, aby tlak vsřikovaného paliva byl větší než tlak ve spalovacím prostoru při kompresi, protože v režimu vrstveného plnění (popsáno níže) je palivo vsřikováno do spalovacího prostoru těsně před zapálením směsi. Tlak ve spalovacím prostoru většinou dosahuje, podle kompresního poměru, 0,6-1,4Mpa. Proto je palivový systém přímého vstřikování, na rozdíl od všech výše popsaných systémů, navíc vybaven vysokotlakovým obvodem, který zvyšuje tlak paliva na 4-12Mpa (současným trendem je zvyšování vstřikovacího tlaku), což je oproti 0,25-0,45Mpa, které se používají u nepřímého vstřikování, značný nárůst. Díky výše zmíněnému režimu vrstveného plnění a díky použití dalšího přídavného katalyzátoru produkují motory vybavené tímto systémem méně CO₂ a oplývají menší spotřebou benzínu. [1]



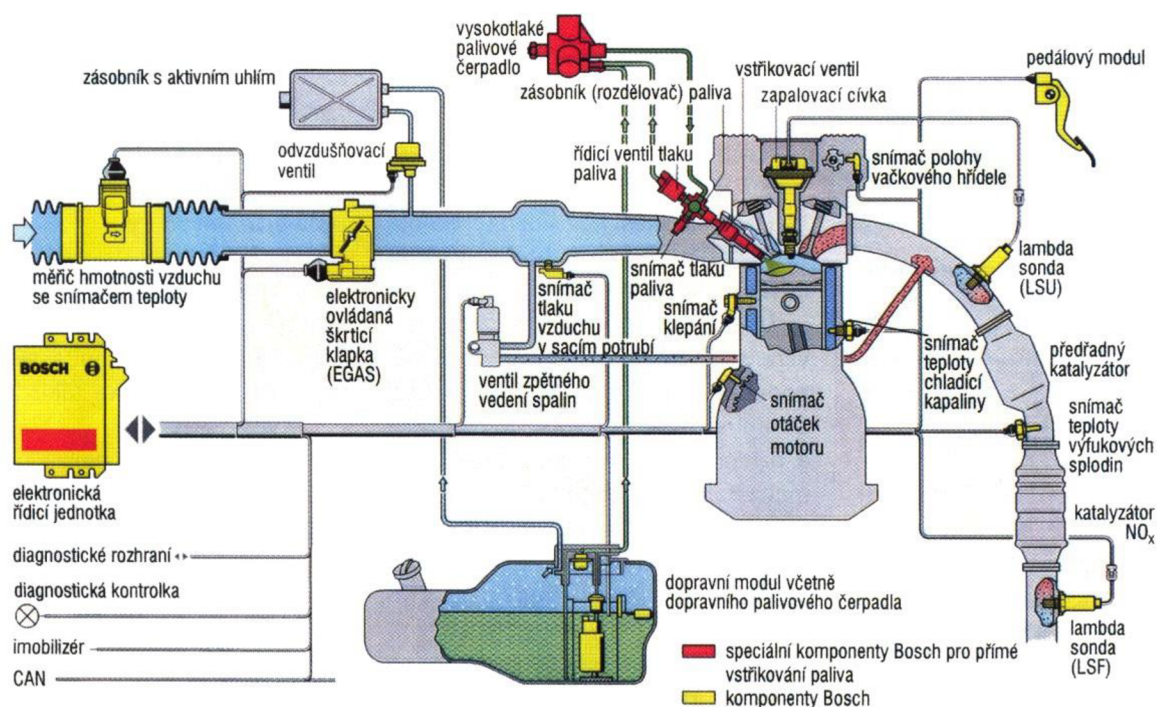
Typ motoru	Obsah	Maximální výkon	Max. točivý moment	Systém přípravy směsy	Spotřeba l/100km ve městě	Spotřeba l/100km mimo město	Produkce CO ₂ g/km
Benzínový motor	1,6l	75kW 5600 1/min	148N/m 3800 1/min	PFI	10,5	6,0	179
TSI motor	1,4l	90kW 5000-5500 1/min	200N/m 1500- 4000 1/min	GDI	8,6	5,5	157

V tabulce je srovnání specifikací dvou rozdílných motorů používaných u vozu Volkswagen Passat model 2009. U motoru PFI je použito nepřímé vícebodové vstřikování. Motor TSI (Twin charged Stratifield Injection) je vybaven dvojitým překlňováním, kde jsou sériově zapojeny Rootsův kompresor a turbodmychadlo. Ačkoli motor s palivovým systémem PFI oplývá větším zdvihovým objemem má spotřebu paliva v městském provozu větší o 18% a mimo město o 8,3%. U motoru se systémem GDI je výkon a točivý moment větší o 20% respektive o 35% vyšší. Větší rozsah maximálního točivého momentu u motoru GDI nevyžaduje přeřazení na nižší převodový stupeň pro akceleraci, poskytuje větší jízdní komfort a zlepšuje dynamiku vozu. [1]



2 SYSTÉM PŘÍMÉHO VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA

Jak už bylo řečeno, jedná se o vstřikování paliva přímo do spalovacího prostoru pomocí vstřikovacího ventilu, který je elektronicky řízen pro přesné a včasné dávkování benzínu. Příkladem takového systému je MED-Motronic od firmy Bosch, která se používá v mnoha verzích, ale základní komponenty jsou vždy stejné. [1] [5]



Obrázek 3 MED-Motronic [13]

2.1 KOMPONENTY SYSTÉMU

2.1.1 PALIVOVÁ NÁDRŽ

Palivová nádrž u osobních automobilů je umístěna v zadní části pod podlahou, a to u vozů s motorem umístěným vpředu, a obvykle bývá složitého tvaru, aby byla co nejvíce zapracována mezi okolní částí aby v případě kontaktu podvozku vozu s terénem nedošlo k jejímu proražení. Objem nádrže se většinou pohybuje mezi 80-100l paliva (dojezd okolo 1000km na jedno natankování). Nejčastějším materiálem pro její výrobu je v posledních letech plast, ale může být také použit hliník nebo ocel opatřena protikorozním nátěrem. Vnitřní prostor nádrže může být (závisí na jejím tvaru) vybaven přepážkami, které při průjezdu v zatáčkách nebo přes nerovnosti zabrání nežádoucímu přelévání paliva v nádrži. Otvor pro doplňování paliva je vyveden na straně vozu a bývá vybaven systémem proti vysávání paliva z nádrže. Otvor pro dopravu paliva dále do systému je většinou na vrchní straně a bývá osazen přírubou k přichycení víka (součást těla palivového čerpadla), ve kterém je mimo vývodu paliva a konektoru senzoru stavu paliva vyveden i odvětrávací systém, který zabrání vzniku podtlaku při spotřebě paliva a vzniku přetlaku například při zahřátí paliva. Tento systém je propojen s přívodem vzduchu do motoru. Úniku benzínových výparů z palivového systému



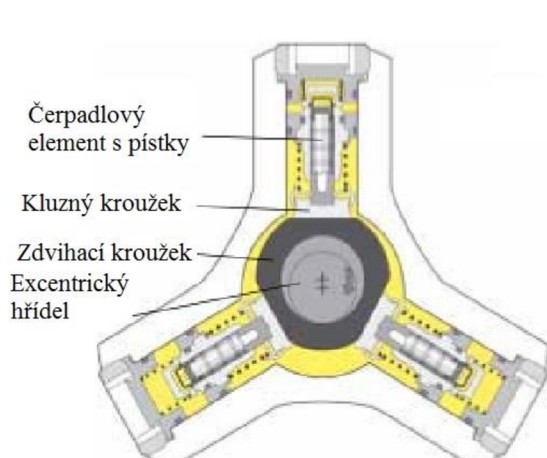
při nečinnosti motoru zabraňuje nádoba s aktivním uhlím, které plynné uhlovodíky zachytí na svém povrchu. Při chodu motoru proběhne regenerace aktivního uhlí. [7] [17]

2.1.2 PALIVOVÉ ČERPADLO

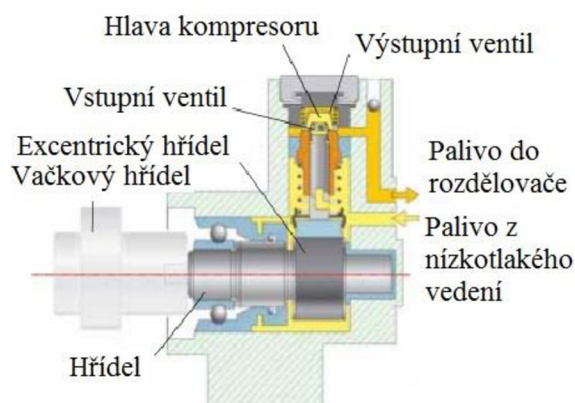
Jedná se nejčastěji o membránové čerpadlo, které je umístěno v palivové nádrži spolu s regulátorem tlaku paliva, který slouží k udržení požadované hodnoty tlaku paliva v nízkotlakém vedení. Membrána v čerpadle je cyklicky přitahována elektromagnetem, čímž vzniká efekt sání. K chlazení čerpadla je využito samotné palivo. Čerpadlo je elektrické a není závislé na chodu motoru. Začíná pracovat ještě před nastartováním motoru, aby při startování již byla zajištěna doprava paliva do vysokotlakého čerpadla. Hodnota tlaku v nízkotlakém vedení je regulátorem udržována okolo 0,3MPa, ale v některých situacích (jako je studený start) může být zásahem řídicí jednotky zvýšena až na 0,58MPa. [7] [8]

2.1.3 VYSOKOTLAKÉ ČERPADLO

Toto čerpadlo je poháněno mechanicky od vačkové hřídele a je tedy závislé na chodu motoru. Jeho úkolem je zvýšit tlak z 0,3MPa na tlak vyšší než 10MPa, který je potřebný pro správnou funkci systému přímého vstřikování. U systému MED-Motronic 7 je použito třípístové radiální čerpadlo, které disponuje menším kolísání tlaku než jednopístové. Jedná se v podstatě o tři čerpadla uspořádaná po 120° okolo excentrické hřídele, která je spojena s vačkovou hřídelí. Rotace excentrické hřídele způsobuje translační pohyb pístků ve válci čerpadla. Z tohoto čerpadla je palivo vedeno kovovými trubičkami do rozdělovače paliva. [7] [8]



Obrázek 4 Vysokotlaké čerpadlo[7]



Obrázek 5 Vysokotlaké čerpadlo-příčný řez[7]

2.1.4 ROZDĚLOVAČ PALIVA

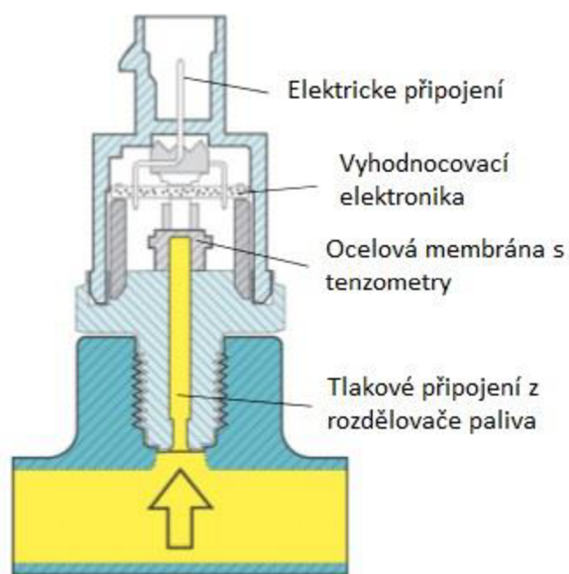
Nejčastěji má tvar podlouhlého válce, který má na jedné podstavě otvor pro vstup paliva z vysokotlakého vedení. Na válcové ploše jsou umístěny v přímce další otvory pro výstup do vstřikovačů paliva. Otvor pro senzor tlaku paliva je také integrován na válcovou plochu. Rozdělovač slouží jako zásobník paliva o požadovaném tlaku, který je řízen řídicí jednotkou a to v závislosti na podmínkách a stylu jízdy. Protože odběr paliva ze zásobníku probíhá v pulzech, musí být dostatečně pružný, aby tyto rázi utlumil, ale musí být i dostatečně pevný na to, aby snesl tlak až 12MPa. Materiálem pro jeho výrobu může být ocel, hliník nebo i plast. [17]



Obrázek 6 Rozdělovač paliva [17]

2.1.5 SENZOR TLAKU PALIVA

Je zašroubován do těla rozdělovače paliva, kde měří tlak a výsledky jsou odesílány do řídicí jednotky. Nejčastěji jde o nerezové provedení s ocelovou membránou. [8]



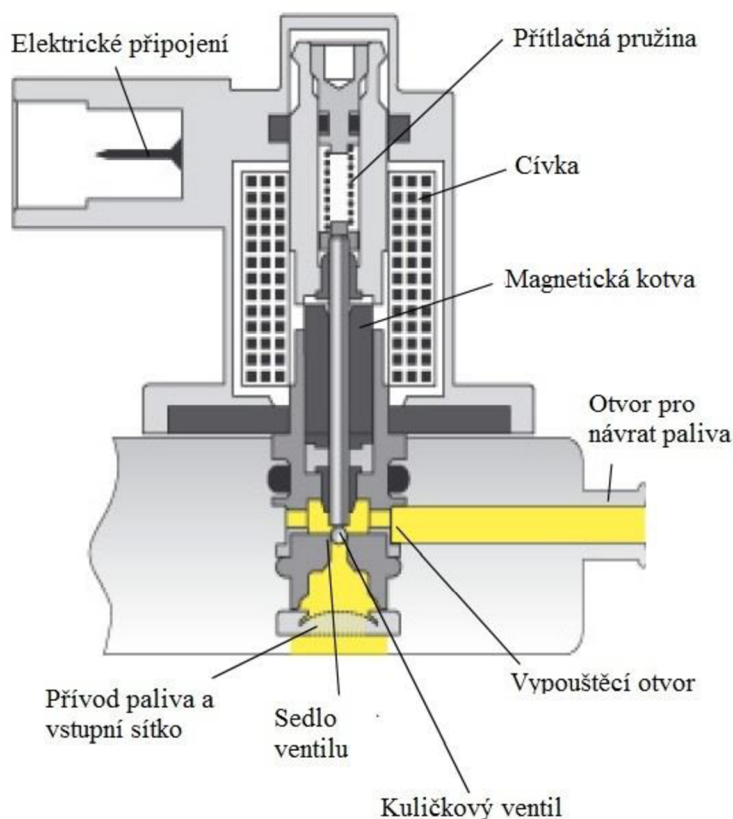
Obrázek 7 Senzor tlaku paliva [7]

2.1.6 TLAKOVÝ ŘÍDÍCÍ VENTIL

Tento ventil je našroubován na místě mezi rozdělovačem paliva a vratným potrubím vedoucím přebytečné palivo zpět do vysokotlakého čerpadla. Slouží k vytvoření předepsaných hodnot tlaku v datovém poli charakteristik. Ventil je aktivován pulsním šířkově modulovaným signálem z řídicí jednotky, v důsledku toho dojde k vytvoření magnetického pole v cívice, které způsobí otevření kuličkového ventilu. Také dojde k částečnému



nadzvednutí sedla ventilu, což způsobí změnu průřezu zpětného vedení. Tímto způsobem se v závislosti na síle signálu mění průtoková množství paliva ventilem a tím i tlak v rozdělovači. [6] [7]



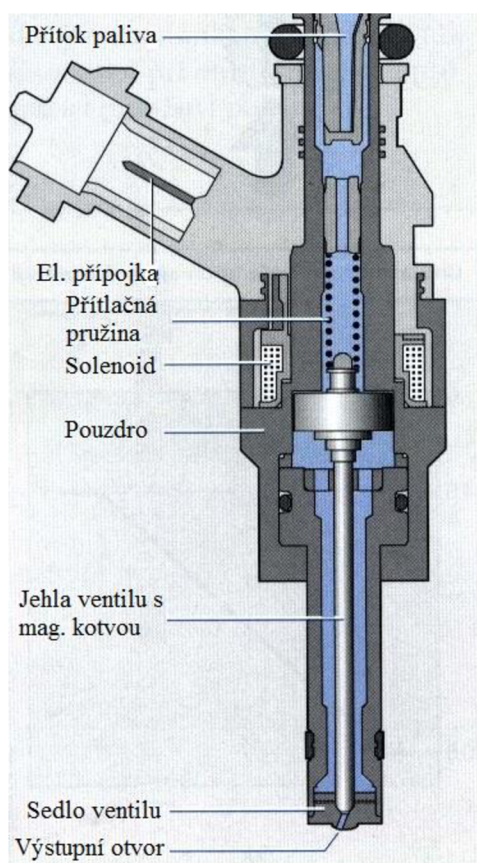
Obrázek 8 Tlakový řídicí ventil [7]

2.1.7 VSTŘIKOVAČ PALIVA

Vstřikovač paliva je hlavní částí palivového systému přímého vstřikování. Slouží ke vstřikování paliva přímo do spalovacího prostoru. Množství vstřikovaného paliva je řízeno řídicí jednotkou a to prostřednictvím času, po který je vstřikovací ventil otevřen a prostřednictvím tlaku paliva, které je do vstřikovače přiváděno z rozdělovače paliva. Doba, po kterou je vstřikovací ventil otevřen se pohybuje podle režimu chodu motoru v řádu jednotek milisekund. [7] [13]

Elektromagnetické vstřikovače

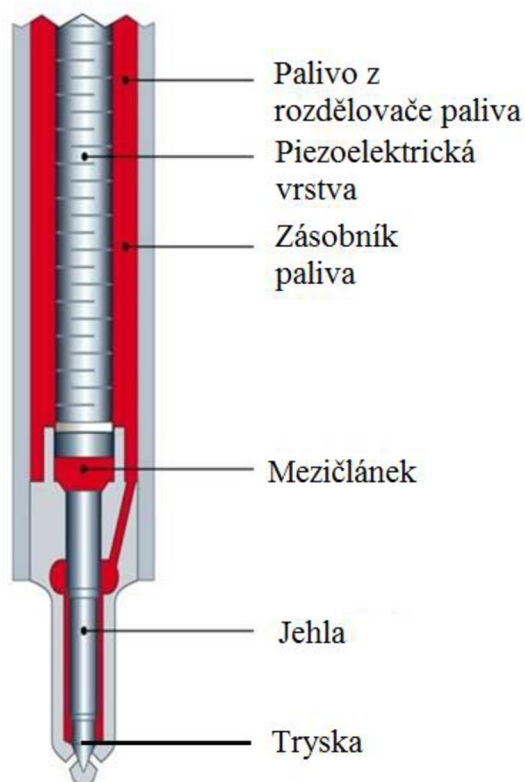
U elektromagnetického vstřikovače je na počátku vstřikovacího cyklu přiveden el. proud do solenoidu, okolo kterého se vytvoří magnetické pole. Toto pole způsobí nadzvednutí magnetické kotvy, která je spojena s jehlou ventilu. Po nadzvednutí jehly ventilu se vytvoří mezera mezi ní a sedlem ventilu, kterou proudí palivo do spalovacího prostoru. Pro ukončení vstřikovacího cyklu je přerušen elektrický proud, tím dojde k zániku magnetického pole v solenoidu a tlačná pružina zatlačí jehlu zpět na ventilové sedlo. [13]



Obrázek 9 Elektromagnetický vstříkovač paliva [13]

Piezoelektrické vstříkovače

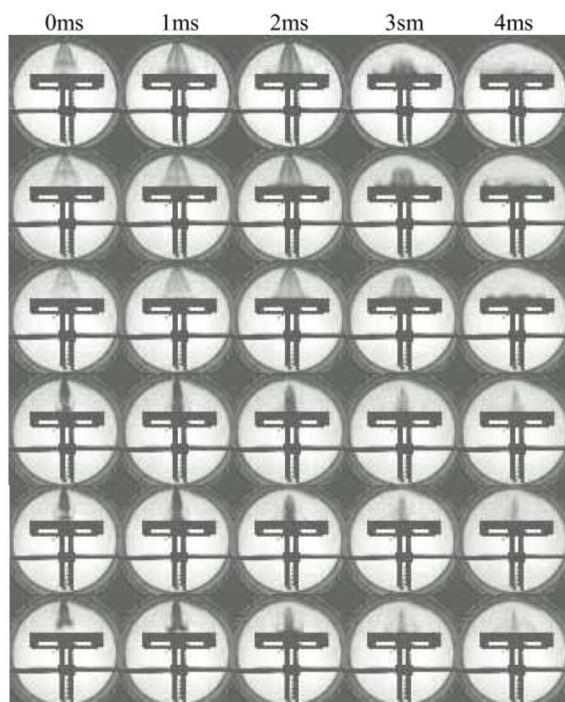
Některé krystalické látky (křemen, křišťál) při jejich deformaci generují elektrické napětí. U těchto vstříkovačů se využívá jev opačný. Do krystalů se přivádí el. napětí a tyto krystaly se rozšíří. Rozšíření např. 0,508mm tlusté vrstvy krystalu je jen 0,000508mm při 140V, proto se používá až několik stovek vrstev krystalů na sobě, aby bylo dosaženo potřebného nadzvednutí ventilové jehly. Tento druh vstříkovačů má několik významných výhod v porovnání s elektromagnetickými. Poskytují zpětnou vazbu tím, že produkují kolísání elektrické energie potřebné k aktivaci krystalů. Např. pokud řídicí jednotka vyžaduje vstřík o délce 0,5s a zpětná vazba indikuje pouze délku 0,496s, řídicí jednotka může kompenzovat tuto odchylku prodloužením vstříku. Také otevření a zavření ventilu probíhá daleko rychleji než u konvenčních elektromagnetických ventilů. Tato vlastnost umožňuje, aby během jednoho cyklu bylo do spalovacího prostoru dopraveno až šest dávek rozprášeného paliva. Tyto vlastnosti umožňují přesnější dávkování paliva, což je důležité pro dokonalejší spalování chudé směsi během vrstveného plnění. [17] [18]



Obrázek 10 Piezoelektrický vstřikovač [16]

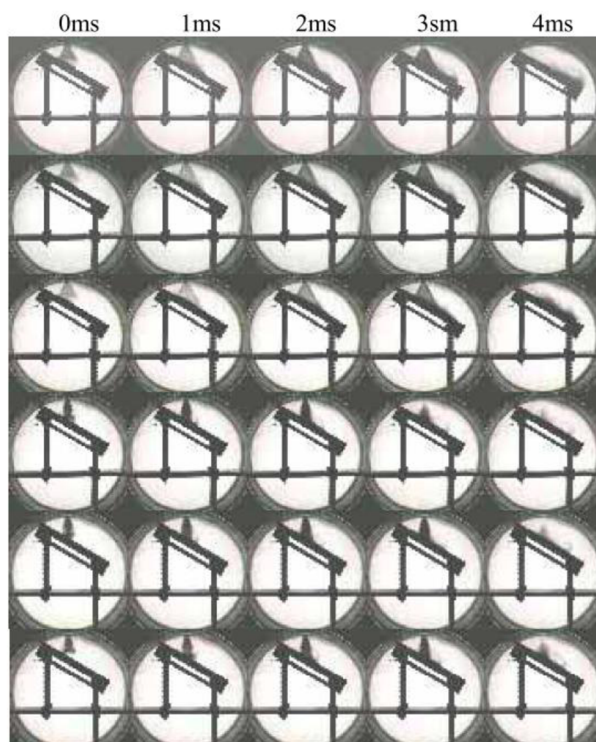
Tvar paprsku vstřikovaného paliva

Tvar paprsku je velmi důležitý pro správné rozložení paliva ve spalovacím prostoru během různých režimů chodu motoru, při kterých je palivo vstřikováno do prostoru o různých protitlacích. Aby se vykompenzoval vliv proměnlivého protitlaku na tvar paprsku je palivo vstřikováno do prostoru různými rychlostmi během různých režimů plnění. Jak je vidět z obrázku č.11 a 12, kde bylo palivo vstřikováno za různých podmínek nejprve kolmo a poté pod úhlem 30° , tak se s rostoucím protitlakem zmenšuje vrcholový úhel kužele vstřikovaného paliva, který je jeho charakteristickou vlastností, což vede k růstu střední velikosti kapiček paliva a to způsobuje delší dobu vypařování paliva z dopadové stěny. Při zvyšování vstřikovacího tlaku dochází k většímu pronikání paliva do prostoru a také se zmenšuje střední velikost kapiček paliva, což je lepší pro rozprašování paliva do prostoru a tak dochází k lepšímu mísení vzduchu s palivem. [3] [4]



Řádek 1: $P_{inj}=6.0\text{MPa}$, $P_{back}=0.1\text{MPa}$
 Řádek 2: $P_{inj}=5.0\text{MPa}$, $P_{back}=0.1\text{MPa}$
 Řádek 3: $P_{inj}=4.0\text{MPa}$, $P_{back}=0.1\text{MPa}$
 Řádek 4: $P_{inj}=6.0\text{MPa}$, $P_{back}=1.0\text{MPa}$
 Řádek 5: $P_{inj}=5.0\text{MPa}$, $P_{back}=1.0\text{MPa}$
 Řádek 6: $P_{inj}=4.0\text{MPa}$, $P_{back}=1.0\text{MPa}$

Obrázek 11 Průběh vstřikování paliva kolmo na plochu za různých podmínek [3]

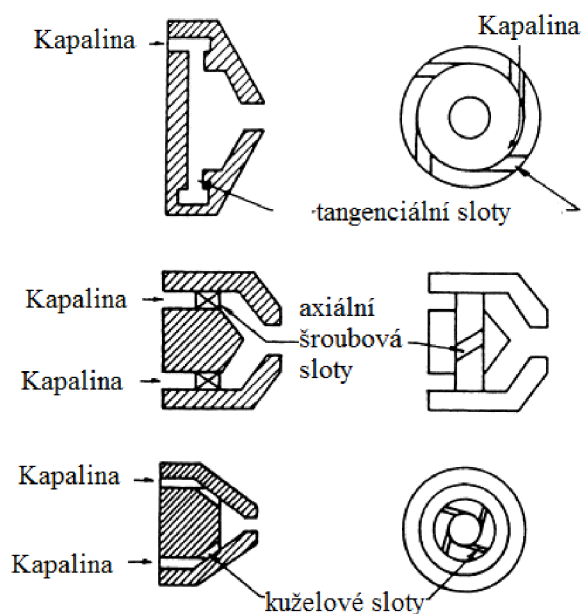


Řádek 1: $P_{inj}=6.0\text{MPa}$, $P_{back}=0.1\text{MPa}$
 Řádek 2: $P_{inj}=5.0\text{MPa}$, $P_{back}=0.1\text{MPa}$
 Řádek 3: $P_{inj}=4.0\text{MPa}$, $P_{back}=0.1\text{MPa}$
 Řádek 4: $P_{inj}=6.0\text{MPa}$, $P_{back}=1.0\text{MPa}$
 Řádek 5: $P_{inj}=5.0\text{MPa}$, $P_{back}=1.0\text{MPa}$
 Řádek 6: $P_{inj}=4.0\text{MPa}$, $P_{back}=1.0\text{MPa}$

Obrázek 12 Průběh vstřikování na plochu pod úhlem za různých podmínek [3]



Dalším faktorem, který ovlivňuje tvar kužele, je i provedení trysky na konci vstřikovače. Použity mohou být buď trysky s válcovou dírou, nebo trysky vířivé, kterých tři základní provedení jsou zobrazeny na obrázku č. 13. Vířivé trysky poskytují lepší rozprašování a větší vrcholový úhel kužele při vyšších tlacích. [4]



Obrázek 13 Tři základní provedení vířivých trysek [4]

Mimoto je mnoho dalších faktorů, které ovlivňují tvar kužele, jako je například tvar spalovacího prostoru, poloha vstřikovače a hlavně proudění nasávaného vzduchu ve spalovacím prostoru. Z těchto důvodů je velmi složité optimalizovat parametry vstřikování tak, aby bylo za každých podmínek provozu motoru dosaženo ideálního rozložení paliva ve spalovacím prostoru. [4]

2.1.8 ELEKTRONICKÁ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA

Elektronická jednotka neslouží pouze k řízení palivového systému, ale také v podstatě všech elektronicky řízených komponent automobilu. Řízení palivového systému je založeno na dvou hlavních vstupech, kterými jsou zatížení motoru a otáčky motoru. Výstup je také korigován na základě dalších vstupních údajů, jako jsou teplota nasávaného vzduchu, teplota motoru, rychlost jízdy a vstupy z lambda sond. Na základě zatížení motoru je motor udržován řídicí jednotkou v homogenním režimu nebo v režimu vrstveného plnění, a to prostřednictvím času vstřiku paliva do spalovacího prostoru. Dalším parametrem řízeným jednotkou je tlak vstřikovaného paliva, a to prostřednictvím tlakového řídicího ventilu. Toto platí pro systémy, ve kterých je palivo vstřikováno do spalovacího prostoru jedním impulsem. V případě použití systému s vícebodovým přímým vstřikováním se do optimalizace zahrnuje i poměr mezi jednotlivými vstřiky během jednoho cyklu plnění. [7] [13]

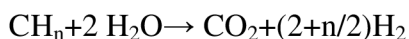
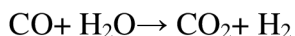
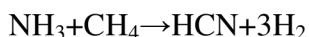
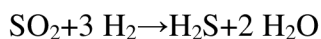
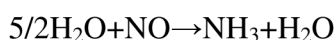
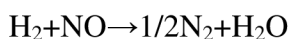
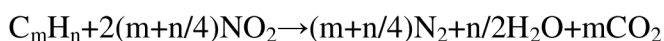
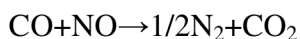
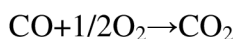
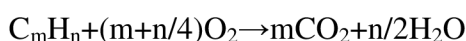
Řídicí jednotka je také vybavena diagnostickým připojením, pomocí kterého se po připojení dají jednoduše odhalit závady v systému. Je možné také upravovat parametry vstřikování. Tohoto se využívá hlavně tzv. Chiptuning, což je další optimalizace softwaru řídicí jednotky. Tato operace vede ke zvyšování výkonu a točivého momentu motoru při zachování spotřeby paliva a emisí. Rizikem je však snížení životnosti motoru a připojených komponentů, jako je spojka, převodovka nebo poloosy. [7] [18]



2.1.9 TŘÍCESTNÝ KATALYZÁTOR

Jeho název je odvozen z anglického označení Three Way Catalyst, který odpovídá skutečnosti, že tento typ katalyzátoru je určen pro likvidaci všech tří skupin emisí-úhlovodíků, oxidu uhelnatého a oxidů dusíku. V současné době poskytuje nejefektivnější a nejbezpečnější cestu pro úpravu výfukových plynů pro benzínové motory. Katalyzátor je naplněn kovovým nebo keramickým nosičem, který je pokrytý tenkou vrstvou vzácného kovu, nejčastěji se jedná o platinu nebo iridium, tento kov se sám reakcí neúčastní, pouze svojí přítomností umožňuje jejich průběh. Katalyzátor je schopen přeměnit až 90% splodin hoření na dusík, vodu a oxid uhličitý. Pro správnou funkci katalyzátoru je důležitá správná teplota, která se pohybuje mezi 350-600°C, teploty vyšší by mohly způsobit jeho poškození. Toto je problém především při studeném startu motoru, ale používají se různé metody k jeho odstranění. Jednou možností je například použití předřazeného katalyzátoru v těsné blízkosti motoru, který snižuje obsah splodin při zahřívání katalyzátoru. Další možností je také krátkodobý ohřev výfukového potrubí a použití ohřivatelných lambda sond, které poskytují řídicí jednoce zpětnou vazbu o složení plynů, která upravuje složení směsi pro lepší přeměnu plynů v tomto okamžiku. [9]

Chemické reakce v katalyzátoru [19]



2.1.10 NO_x KATALYZÁTOR

V režimu vrstveného plnění vzniká velké množství různých oxidů dusíku, a proto je u některých vozů za třicestným katalyzátorem umístěn tento katalyzátor, který slouží spíše jako zásobník těchto oxidů. Po přechodu na homogenní plnění se tyto oxidy redukují na čistý dusík. Po naplnění zásobníku vyše snímač oxidů dusíku signál řídicí jednotce, která přejde na



homogenní režim a proběhne regenerace, která trvá asi dvě sekundy. Tento cyklus se provádí každých 60-90 sekund. [7]

2.1.11 LAMBDA SONDA

Jedná se v podstatě o senzor koncentrace kyslíku obsaženého ve výfukových plynech. U moderních automobilů s třícestným katalyzátorem se používají dvě, z nichž jedna je umístěna za a druhá před katalyzátorem. Aby byla lambda sonda plně funkční musí mít teplotu alespoň 350°C, z tohoto důvodu se dnes používají vyhřívané sondy. Nejčastějším typem je sonda s keramikou z oxidu zirkonia. Ve špičce jsou umístěny elektrody, z nichž jedna je spojena s okolním a druhá s výfukovým plynem. Vlivem rozdílné koncentrace kyslíku vzniká napětí mezi elektrodami. Tento údaj je odeslán do řídicí jednotky, která z něho určuje hodnotu součinitele λ . Tento součinitel udává poměr mezi množstvím vzduchu spotřebovaného a množstvím vzduchu potřebného pro dokonalé spalování. Motor produkuje nejméně splodin při režimu chodu, kdy se součinitel λ pohybuje v rozmezí 0,99-1, kdy se spotřebovává okolo 14,7kg vzduchu na 1kg benzínu. Při chodu motoru na bohatou směs se λ může dostat až na hodnotu 0,7, na chudou směs na hodnotu 1,5 až 3,0. Tyto mezní hodnoty udávají tzv. hranice chodu, za těmito hodnotami motor není schopen provozu. Moderní motory pracují většinu času v režimu chudé směsi, kdy je hodnota λ okolo 1,15. [5] [7] [13]

2.2 REŽIMY PLNĚNÍ SPALOVACÍHO PROSTORU

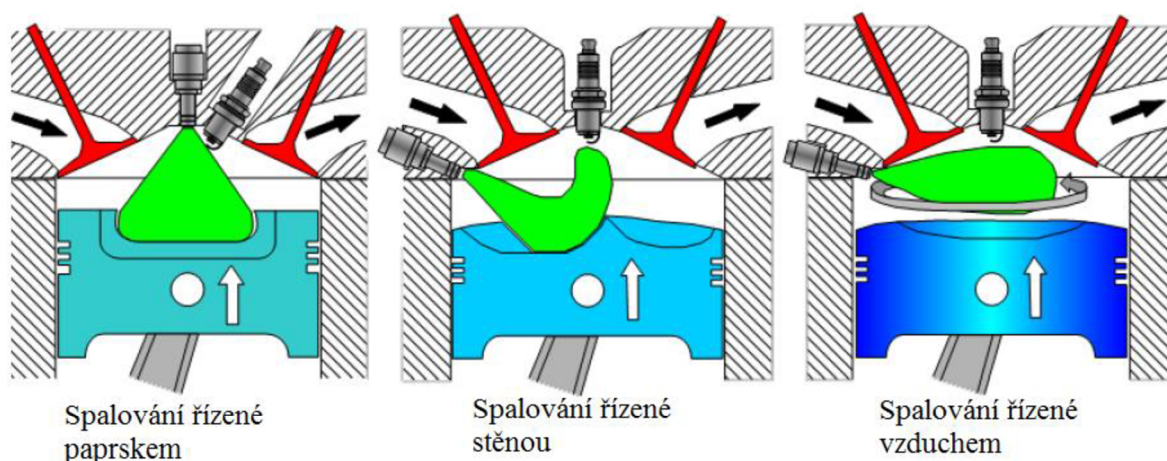
Moderní palivové systémy pracují ve dvou základních režimech, které se od sebe liší časem vstřikování paliva do spalovacího prostoru a také množstvím vstřikovaného paliva. Tento způsob řízení spalování vede hlavně ke snižování spotřebě paliva a při použití katalyzátoru i ke snížení emisí, což je z hlediska dnešní legislativy i cen pohonných hmot jeden z rozhodujících faktorů pro konstrukci motoru. [5] [13]

2.2.1 VRSTVENÉ PLNĚNÍ

Při tomto způsobu plnění spalovacího prostoru je palivo vstřikováno do prostoru až během komprese a je dosaženo toho, že v okolí zapalovací svíčky je směs velmi bohatá, zatímco ve směru k okrajům spalovacího prostoru se její bohatost snižuje až za hranici její zapalitelnosti. Součinitel λ se při tomto režimu pohybuje okolo hodnoty 1,5, tedy směs je celkově chudá, to vede k velké úspoře paliva. Negativem tohoto režimu je produkce většího množství emisí. Motor se v tomto režimu provozuje při malém zatížení. Při zvyšujícím se zatížení se začne koeficient λ snižovat, až je plynule dosaženo homogenního plnění spalovacího prostoru. Pro dosažení vrstveného plnění jsou tři základní konstrukce spalovacího prostoru, které umožňují formování požadovaného vrstvení:

- Spalování řízené vstřikovacím paprskem
- Spalování řízené stěnou
- Spalování řízené vzduchem

Jejich konstrukce je znázorněna na obrázku č.14. [1] [5]



Obrázek 14 Formování směsi při vrstveném plnění [1]

Spalování řízené paprskem

Vstříkovač je umístěn v horní části spalovacího prostoru vedle zapalovací svíčky a vstříkované palivo je tedy v prostoru svíčky hned od začátku vstříku. Pro tento způsob vrstvení je nejvhodnější použít piezoelektrické vstříkovače. Tento způsob má nejvyšší teoretickou účinnost a není tak citlivý na proudění vzduchu ve válci. Nevýhodou je velká citlivost na rozdíly v zapalování a časování vstříku. Tohoto využívá společnost Mercedes Benz ve svých motorech CGI. [1]

Spalování řízené stěnou

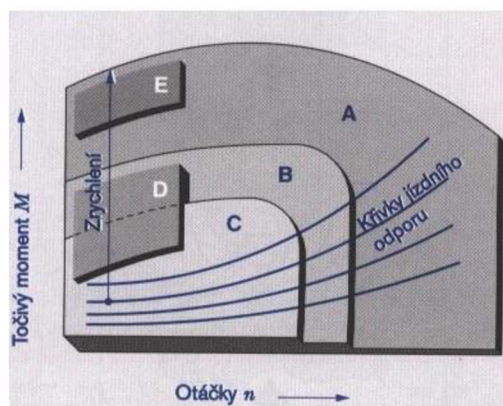
Palivo se dostává do prostoru zapalovací svíčky prostřednictvím speciálního tvaru pístu. Nevýhodou této konstrukce je, že se nestihne odpařit všechno palivo z povrchu pístu a dochází ke zvyšování spotřeby. [1]

Spalování řízené vzduchem

Při použití této konstrukce je palivo vstříkováno do proudu vzduchu, který přemístí palivo do blízkosti zapalovací svíčky. Směr a rychlost tohoto proudu vzduchu je ovlivňována speciálním tvarem sacího kanálu a klapkami v sacím potrubí. Výhodou tohoto je, že palivo nesmáčí povrch pístu ani válce, proto se většině motorů toto proudění vzduchu využívá i v kombinaci se spalováním řízeným stěnou. Toto spojení je například použito u FSI motorů od koncernu Volkswagen. [1] [7]

2.2.2 HOMOGENNÍ PLNĚNÍ

Do tohoto režimu přechází motor při vysokém zatížení. Palivo je vstříkováno do spalovacího prostoru v průběhu sání vzduchu. Při kompresi již píst stlačuje v ideálním případě homogenní směs. Koeficient λ se pohybuje od 1 do 0,8. Pro plynulý přechod mezi těmito dvěma režimy se ve spojení s přímým vstříkáváním paliva používá také elektronicky řízené zapalování. [1] [5]



- A. Homogenní plnění $\lambda=1$ nebo $\lambda < 1$
 - B... Homogenní nebo vrstvené plnění $\lambda=1$, recirkulace spalin
 - C... Vrstvené plnění $\lambda > 1$, recirkulace spalin
- Druhy provozu s dvojitým vstřikováním:
- D... Homogenní provoz s vrstveným plněním
 - E... Homogenní provoz chránící před klepáním

Obrázek 15 Způsob plnění v závislosti na otáčkách a zatížení motoru [13]



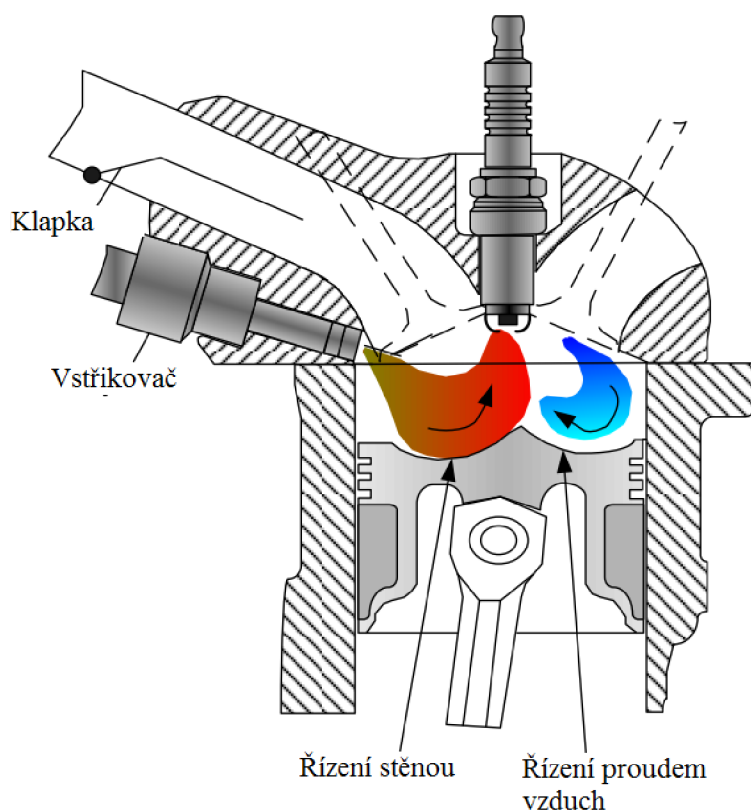
3 VYBRANÉ PŘÍKLADY MODERNÍCH PALIVOVÝCH SYSTÉMŮ

3.1 FSI, TFSI A TSI MOTORY KONCERNU VOLKSWAGEN

Koncern Volkswagen pro své vozy s benzínovými motory s přímým vstřikování paliva používá systémy od firmy BOSCH, zejména pak systém Motronic MED v různých verzích. [7]

FSI motory

Jedná se o atmosferické motory s přímým vstřikováním. Palivový systém Motroni MED 9.1 nebo 17.5 a jejich různé varianty. Tyto motory v sobě kombinují spalování řízené stěnou a řízené vzduchem. Vstřikovač je umístěn na straně sání. Palivo je vstřikováno pod určitým úhlem. Píst je opatřen dvěma drážkami, z nichž jedna formuje palivový paprsek a druhá formuje vzduchový vír, kterým je palivo spoludopravováno do prostoru zapalovací svíčky. Pohyb vzduchu je také ovlivňován klapkou umístěnou v sacím kanálu. Pro vstřikování paliva je použit konvenční elektromagnetický vstřikovač s vířivou tryskou. [1] [18]



Obrázek 16 Spalovací prostor FSI motoru [1]

Tento systém byl použit například u motoru 2.0FSI, který oplýval výkonem 110kW a kombinovanou spotřebou paliva 7,4-7,6l/100km.



2,0 Liter-Vierzylinder-FSI-Motor

mit FSI®- Benzindirekteinspritzung

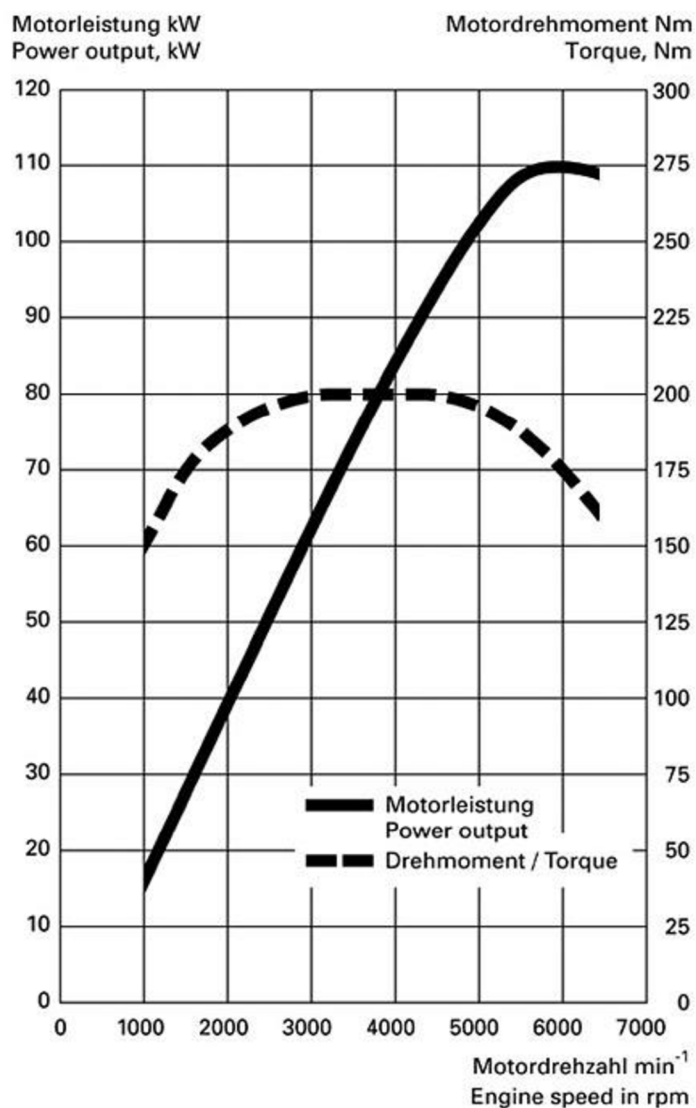


2.0 litre FSI engine
with FSI®- Fuel direct injection

1.984 cm³
110 kW (150 PS) bei 6.000 min⁻¹
200 Nm bei 3.500 min⁻¹

1.984 cc
110kW (150 bhp) at 6,000 rpm
200 Nm at 3,500 rpm

03/03

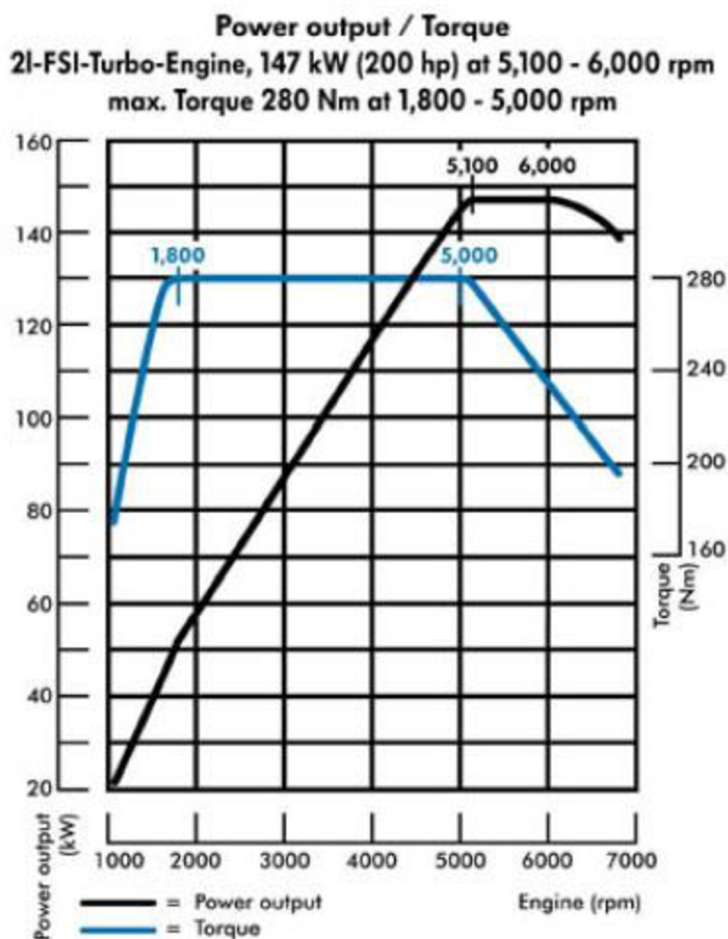


Obrázek 17 Výkonová charakteristika motoru 2,0FSI [18]



TFSI motory

Jedná se o benzínové přeplňované motory s přímým vstřikováním. Palivový systém je v podstatě stejný jako u předešlého typu. Příkladem je motor 2.0TFSI o výkonu 147kW a kombinované spotřebě 7,4l/100km. [16]

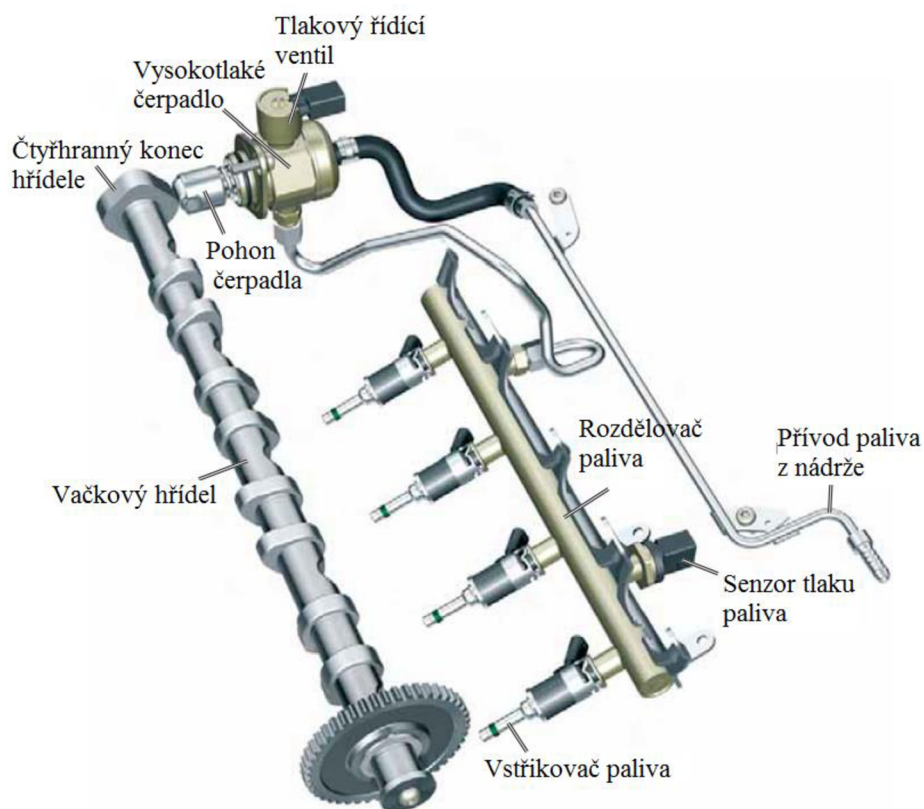


Obrázek 18 Výkonová charakteristika motoru 2,0TFSI [18]

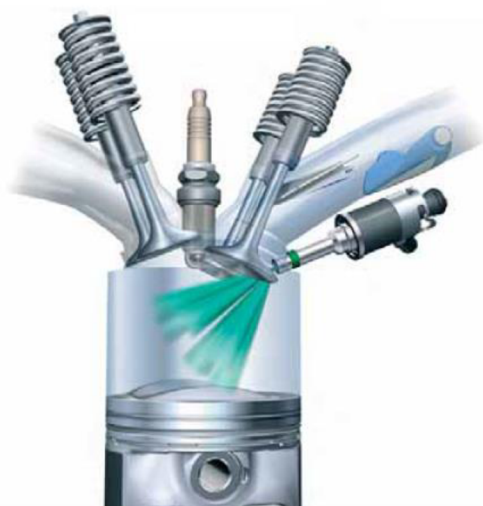
V porovnání s předchozím typem disponuje větším točivým momentem ve větším rozsahu otáček a také výkon je vyšší při zachování spotřeby paliva.

TSI motory

Tyto dvojitě přeplňované agregáty s přímým vstřikováním jsou vybaveny systémem Motronic Med 9.1 nebo 17.5. Verze 17.5 se od verze 9.1 liší především modernizovanou řídicí jednotkou a víceportovými vstřikovači paliva. Nový IFX Tricore procesor, kterým je vybavena řídicí jednotka, poskytuje dostatečnou rezervu pro budoucí vylepšení podle požadavků trhu. Víceportové vstřikovače mají na rozdíl od jednoportových šest vstřikovacích otvorů, které umožňují lepší rozptýlení paliva do prostoru, také je tímto výrazně omezeno smáčení stěn spalovacího prostoru palivem. Úhel jednotlivých kuželů trysky je okolo 50°. Výhodou je také snížení obsahu uhlovodíků v emisích a zamezení tvorby pevných částic. Další odlišností je tlakový řídicí ventil, který je v tomto případě integrován přímo ve vysokotlakém čerpadle. Tlak v tomto systému je regulován mezi 5 až 15 Mpa. [6] [8]



Obrázek 19 Vysokotlaký obvod TSI motoru [18]



Obrázek 20 Spalovací prostor motoru TSI [6]

Tyto motory se vyrábějí již od roku 2004 a vyskytují se již v mnoha různých modifikacích, počínaje motory o objemu 1l pro vozy určené do městského provozu až po motory o objemu 5l, které byly použity do řady vozů RS6 od firmy AUDI. Koncern Volkswagen konstruoval

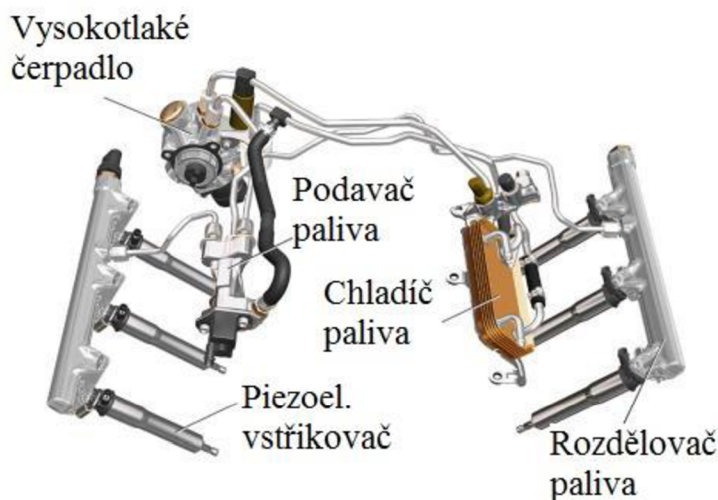


tyto motory podle moderního trendu downsizingu, což znamená snižování objemu motoru při zachování nebo dokonce nárůstu výkonu, což jde ruku v ruce se snižováním spotřeby a snižováním emisí. Příkladem může být motor o objemu 2.0l. [18]

3.2 CGI MOTORY MERCEDES BENZ

Tato technologie byla poprvé představena v roce 2002 u modelu CLK 200CGI, dnes se již používá její třetí generace. Základem jsou sofistikované piezoelektrické vstřikovače, které umožňují několikanásobné vstřikování paliva do spalovacího prostoru během jednoho cyklu. Palivo je jejich prostřednictvím vstřikováno do těsné blízkosti zapalovací svíčky (jedná se o spalování řízené paprskem paliva). Palivo vstřikované do válce má tvar dutého kuželu. Flexibilní a efektivní řízení spalovacího procesu mají významný podíl na snížení spotřeby paliva. Protože motor je schopen pracovat v režimu vrstveného plnění i ve vysokých otáčkách a při vysokém zatížení, musí být také zajištěna dostatečná úprava splodin nedokonalého spalování, proto jsou tyto vozy vybaveny dvěma třicestnými katalyzátory a dvěma zásobníky NO_x. [14]

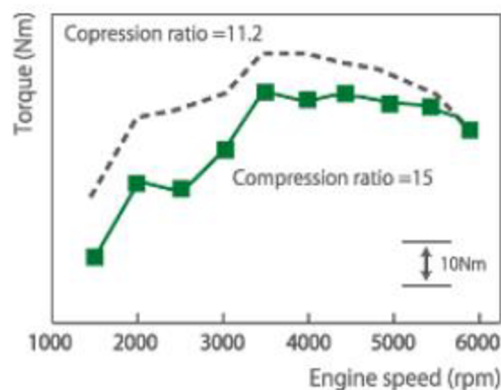
Ve spojení s dalšími technologiemi, jako je vícebodové zapalování nebo proměnlivé časování ventilů, se toto používá v úsporných motorech řady BlueEFFICIENCY, které se používají v běžných osobních vozech. Dále je najdeme v motorech řady BlueDIRECT, což jsou motory AMG V6 a V8, které disponují o 24% menší spotřebou oproti jejich předchůdcům. [15]



Obrázek 21 Vysokotlaký obvod CGI motoru [12]

3.3 MAZDA, BENZÍNOVÉ MOTORY ŘADY SKYACTIV

Skyactiv je záměr firmy Mazda o snížení spotřeby paliva o 30% do roku 2015. Tyto motory poslední generace vynikají hlavně vysokým kompresním poměrem, který má hodnotu 14,0:1 oproti běžnému 10 až 12:1 u atmosferických motorů. Zvýšení kompresního poměru vede ke zvýšení tepelné účinnosti motoru a tím i ke snížení spotřeby paliva. Teoreicky při zvýšení kompresního poměru z 10:1 na 15:1 by došlo ke zvýšení tepelní účinnosti o 9%. Zvýšení kompresního poměru na takto vysokou hodnotu však brání snížení točivého momentu v důsledku klepání motoru, což je jev, kdy se směs paliva a vzduchu vlivem vysoké teploty a tlaku ve válci samovolně vznítí ještě před zapálením zapalovací svíčkou. [11]



Obrázek 22 Pokles točivého momentu vlivem klepání [11]

Bylo zjištěno, že při kompresním poměru 10:1 a teplotě nasávaného vzduchu 25°C, tak přítomnost 10% obsahu zbytkových splodin o teplotě 750°C ve válci zvýší teplotu směsi před kompresí asi o 70°C oproti nasávanému vzduchu a teplota při nejvyšší kompresy se zvýší o 160°C. Z tohoto tedy plyne, že snížení zbytkových plynů po hoření ve válci před kompresí je významný faktor jak lze ovlivnit maximální teplotu při kompresy a tedy snížit riziko klepání motoru. Velmi účinným se ukázalo být prodloužení výfukových svodů. Při použití krátkých svodů je možné, že při velkém rozsahu otáček dochází k pronikání tlakových vln splodin z jednoho válce do prostoru jiného válce, který však již vstupuje do sání, ale výfukový ventil má ještě otevřen, tímto se zvyšuje obsah splodin v tomto válci. Prodloužením svodů se tomuto zabrání. Právě tohoto je využito v benzínových motorech řady Skyactive. Nevýhodou však je prostorová náročnost, ale toto bylo vyřešeno vytvořením smyčky na potrubí. [11]



Obrázek 23 Výfukové potrubí motoru 2,0Skyactiv G[10]



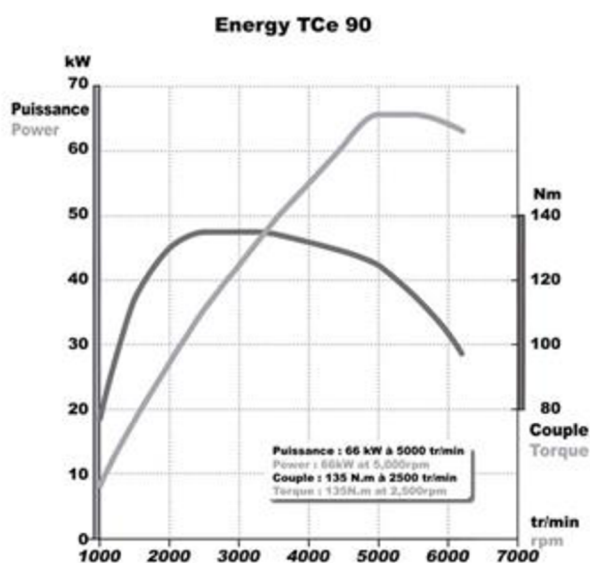
Dalším problémem je větší pokles teploty výfukových plynů před dosažením katalyzátoru a tím se prodlužuje doba jeho aktivace. Teplotu spalin lze ale zvyšovat zpožděným zapalováním, však jen do určité míry, aby nedošlo k destabilizaci spalování. Toto bylo vyřešeno pomocí dutin umístěných v horní části pístu, které napomáhají stabilizaci spalování. Vyšší provozní tlak ve válci klade vyšší nároky na palivový systém. Ke vstřikování paliva byly použity vstřikovací trysky se šesti otvory. Tlak vstřikování paliva v tomto systému dosahuje hodnoty až 20Mpa, což vede ke zrychlení vstřikování, a proto musí být vstřikování rozděleno do několika vstřiků. Tímto uspořádáním systému bylo dosaženo dokonalejší homogenity směsi a zlepšení vlastností odpařování paliva, což vede také k vyššímu ochlazení této směsi. Příkladem může být motor o objemu 2,0 Skyactiv G dostupný u nového modelu Mazda 6. Tento atmosferický řadový čtyřválec disponuje výkonem 121kW při 6000ot/min a točivým momentem 210Nm při 4000ot/min. Kombinovaná spotřeba se pohybuje v okolí 5,9l/100km a produkce CO₂ splňuje limit EURO5. [10]

3.4 ENERGY TCE MOTORY

Tyto motory byly vyvinuty automobilkou Renault ve spolupráci s týmem Renault Sport F1. Jedná se o benzínové přeplňované motory s přímým vstřikováním paliva. Cílem konstrukce této řady byla snaha snížit produkci CO₂ a spotřeby paliva. Kromě nové generace přímého vstřikování paliva, spočívající v použití piezoelektrických vstřikovačů a vstřikovacího tlaku o hodnotě až 15 Mpa, byly použity další moderní technologie jako například povrchy s nízkým koeficientem tření pro snížení tření (Diamond-Like Carbon povlak na zdvihátkách ventilů, Physical Vapor Deposition povlak pístních kroužků), optimalizace délky a průřezu sacích kanálů, plynule proměnlivé časování ventilů a Stop & Start systém s ultra rychlým startem díky senzoru polohy pístů. Kompresní poměr v těchto agregátech má hodnotu 11,5:1 [9]

Energy TCE 90

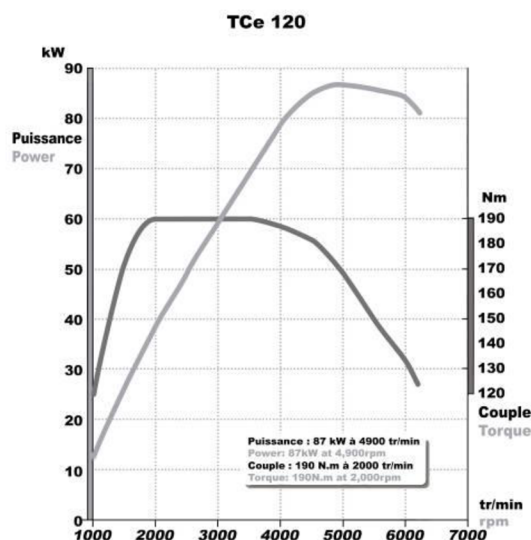
Tento motor se osazuje do modelu Renault Clio a nahrazuje předešlý agregát TCE 100. Jedná se o celohliníkový řadový tříválec. Tato konstrukce byla zvolena z důvodu snížení tření v motoru o 20% oproti čtyřválcové koncepci. Toto provedení vykazuje snížení produkce CO₂ a kombinované spotřeby o 25% oproti předešlému motoru. Při obsahu pouhých 0,899l disponuje výkonem 67kW a točivým momentem 135Nm, tyto hodnoty jsou srovnatelné s atmosférickým motorem o objemu 1,4l. [9]



Obrázek 24 Výkonová charakteristika motoru TCE 90 [9]

Energy TCE 120

Tento čtyřválcový celohliníový motor o objemu 1,2l nahrazuje předešlý agregát o objemu 1,6l a je dostupný v modelu Clio pouze ve spojení s automatickou převodovkou EDC. Maximální výkon má hodnotu 90kW a maximální točivý moment 190Nm je dostupný mezi 2000-4000ot/min. Hodnota produkce CO₂ byla snížena o 33% oproti předešlému motoru. [9]

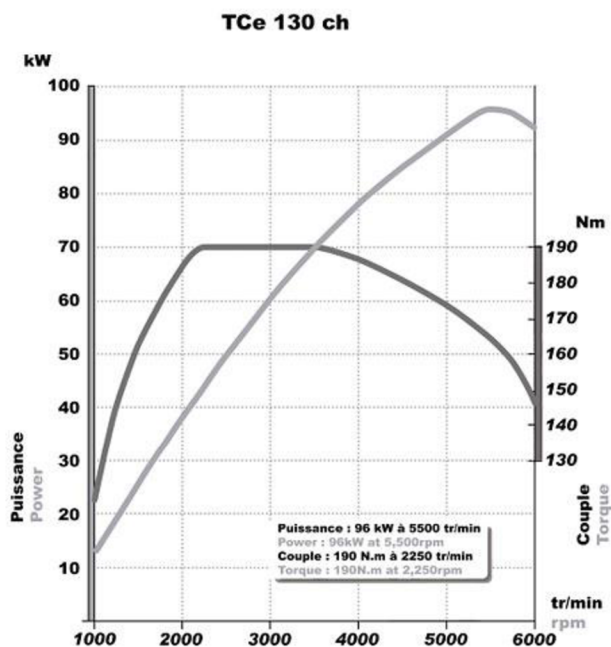


Obrázek 25 Výkonová charakteristika motoru TCE 120 [9]



Energy TCE 130

Výkon 97kW a maximální točivý moment 205Nm při 2000-4000ot/min to jsou charakteristiky tohoto motoru, které jsou srovnatelné s charakteristikami atmosférického motoru o objemu 2l. Tento motor je určen pro řady Scénic, Mégan a Grand Scénic. [9]



Obrázek 26 Výkonová charakteristika motoru TCE 130 [9]



ZÁVĚR

V současné době je velké většina zážehových motorů vybavena právě systémem přímého vstřikování paliva, které poskytuje v rámci současných možností nejpřesnější dávkování paliva při různých režimech jízdy. Je zřejmé, že optimalizace řídicí elektroniky motorů s přímým vstřikováním tak, aby spalování bylo ideální za každých podmínek chodu motoru je velmi složité a musí probíhat s ohledem na předpokládané podmínky provozu motoru a s ohledem na preferované vlastnosti motoru. Hlavní je určit optimální množství a okamžik vstřikování paliva do spalovacího prostoru, protože na tvorbu požadované směsi ve válci má vliv velké množství parametrů, které je složité simulovat. Asi největší vliv má proudění plynů ve válci, jak už nasávaných tak i těch výfukových, které ovlivňuje homogenitu směsi při homogenním plnění ale také rozložení vrstev směsi s různým obsahem paliva při vrstveném plnění. Vlastnosti tohoto pohybu plynů jsou hlavně ovlivňovány časováním ventilů, otáčkami motoru a rozdílem teplot a tlaku mezi nasávaným a výfukovým plynem. Tomuto je také nutno přizpůsobovat tlak vstřikování v průběhu chodu motoru s ohledem na druh použitého vstřikovače, kdy použití vyššího tlaku při homogenním plnění přispívá k lepšímu rozptýlení paliva do prostoru, zatímco vyšší vstřikovací tlak při vrstveném plnění způsobí tvorbu kompaktního kužele paliva a umožňuje lepší usměrňování paprsku do oblasti zapalovací svíčky.

Z jistého úhlu pohledu je složitost optimalizace systému přímého vstřikování také výhodou, protože široký rozsah nastavení poskytuje široké spektrum využití. Z konstrukčního hlediska jsou však systémy přímého vstřikování paliva používané jednotlivými výrobci velmi podobné, ale liší se právě konkrétním přístupem k optimalizaci, kdy bude zjevně rozdíl v nastavení systému pro sportovní vozy nebo pro malé vozy určené pro městský provoz. U sportovně orientovaných vozů je na prvním místě docílit vysokých výkonových charakteristik v co možná nejširším rozsahu otáček, hodnota spotřeby a emisí bude až na druhém místě, zatímco u vozů pro běžný provoz se klade důraz na nízkou spotřebu paliva a hodnoty emisí, protože tyto hodnoty jsou ve většině případů jedním z rozhodujících faktorů pro zákazníky při výběru vozu.

Podle mého názoru tato technologie úplně vytlačí všechny ostatní, protože jejím dalším zdokonalováním a použitím s dalšími moderními trendy, jako je například používání lehčích materiálů a využití v hybridních pohonech, lze dosáhnout dalšího snižování spotřeby a plnění přísnějších ekologických limitů, které jsou v současné době zaváděny všude v moderním světě.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] SIANO. *Fuel Injection*. India: Sciyo, 2010. ISBN 978-953-307-116-9.
- [2] BO, LI, LI YUNQING a WANG DEFU. *SPRAY IMPINGEMENT CHARACTERIZATION OF A SWIRL TYPE INJECTOR FOR GASOLINE DIRECT INJECTION ENGINES*. School of Transportation Science and Engineering BUAA, Beijing, 100083, Peoples R China.
- [3] KAWASUMI, I., Y. YASUI, K. HIGASHITANI a H. ITO. *Cooperated Control of Multi Stage Injection System for Direct Injection Gasoline Engine*. Minneapolis.
- [4] ZHAO, M.-C LAI a D.L HARRINGTON. Automotive spark-ignited direct-injection gasoline engines. *Progress in Energy and Combustion Science*. 1999, roč. 25, č. 5.
- [5] VLK, František. Přímé vstřikování benzínu. *Soudní inženýrství*. Brno: CERM, 2004, roč. 15, č. 1.
- [6] VOLKSWAGEN AG. *TSI Turbocharged Engine: Volkswagen Self-Study Program 824803*. U.S.A., 2008.
- [7] VOLKSWAGEN AG. *Bosch Motronic MED7 Gasoline Direct Injection: Volkswagen Self-Study Program 253*. Wolfsburg, 2002.
- [8] VOLKSWAGEN AG. *Twin Turbo Charger TSI Engine: Volkswagen Self-Study Program 359*. Wolfsburg, 2006.
- [9] Renault. RENAULT. [online]. 10.05.2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.renault.com/en/pages/home.aspx>
- [10] Mazda USA. MAZDA NORTH AMERICAN OPERATIONS. [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.mazdausa.com/MusaWeb/displayHomepage.action>
- [11] Mazda. MAZDA MOTOR CORPORATION. [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.mazda.com/>
- [12] Auto TOTAAL. AUTO TOTAAL 2013. [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.autototaal.org/Joomla/index.php>
- [13] Vstřikování benzínu u zážehových motorů. MOTEJL, Vladimír. STŘEDNÍ ODBORNÁ ŠKOLA SLUŽEB A STŘEDNÍ ODBORNÉ UČILIŠTĚ, Kadaň, 5. května 580. [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://auto.amoskadan.cz/>
- [14] TAN, Paul. Mercedes Benz Charged Gasoline Injection (CGI). *Driven magazine* [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://paultan.org/2006/02/25/mercedes-benz-charged-gasoline-injection-cgi/>
- [15] HEMMES, Henny. 2011 Mercedes-Benz C 180 CGI BlueEfficiency Review. *The auto channel* [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.theautochannel.com/news/2010/08/15/492011.html>



- [16] DIGI ADS. DIGIADS AUSTRALIA. [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://digiads.com.au/car-news/latest-MERCEDES-news/2008_Mercedes_E_350_CGI_Improved_Efficiency_200711.html
- [17] Bosch Automotive Technology. ROBERT BOSCH GMBH5. [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://www.boschautomotivetechology.co.in/en_in/in/homepage_2/homepage_1.html/
- [18] *Autolexikon.net* [online]. Mladá Boleslav [cit. 2013-05-12]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <http://cs.autolexikon.net/>
- [19] VACH, Marek. WebArchiv. [online]. [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: http://knc.czu.cz/~vachm/ovzdusi/o_em_katal.html



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

α	[°]	Úhel natočení škrťící klapky
λ	[-]	Lambda součinitel