



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

PŘÍMÝ VSTŘIK BENZÍNU

GASOLINE DIRECT INJECTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Smejkal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Jan Smejkal**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Radim Dundálek, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

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:

Přímý vstřík benzínu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Osvojení základních pojmů zadané problematiky. Zamyšlení nad perspektivou budoucího vývoje benzínových motorů spalující chudé směsi paliva se vzduchem s ohledem na obsah škodlivin ve výfukových plynech – použití filtrů pevných částic pro benzínové motory.

Cíle bakalářské práce:

Uvedení přehledu komponentů systému, popis jejich funkce. Výhody a nevýhody s ohledem na plnění emisních limitů. Specifické součásti výfukového systému. Přehled pohonných jednotek s přímým vstříkem benzínu a porovnání jejich provozně ekonomických parametrů.

Seznam doporučené literatury:

STONE, Richard. Introduction to Internal Combustion Engines. 3rd edition. Hampshire: Palgrave, 1999. ISBN 0-333-74013-01999.

HEISLER, Heinz. Advanced Engine Technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 1-56091-734-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou přímého vstřikování benzínu u spalovacích motorů. Úvodem je náhled do historie vývoje přímého vstřiku. Hlavní část práce je zaměřena na princip funkce celého procesu, popis součástí palivové soustavy a specifických součástí výfukového systému. Následuje souhrn přínosů a rozbor z hlediska obsahu škodlivin ve výfukových plynech. Další část práce obsahuje přehled pohonných jednotek s přímým vstřikem benzínu a jejich srovnání z hlediska výkonnostních parametrů. Závěrem je pak úvaha o budoucím vývoji přímého vstřiku benzínu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Přímý vstřik benzínu, zážehový motor, spalovací motor, palivový systém, palivová směs, výfukový systém, emise

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the problematics of gasoline direct injection in combustion engines. There is a view of the history of the development of gasoline direct injection in the introduction. The main part focuses on the principle of the process function, description of components of fuel system and specific components of exhaust system. There is also a description of benefits of using gasoline direct injection, especially considering the amount of pollutants in exhaust gas. The following part of the work contains an overview of gasoline direct injection engines and their comparison in terms of power. In the conclusion, there is a consideration of gasoline direct injection development in the future.

KEYWORDS

Gasoline direct injection, petrol engine, combustion engine, fuel system, fuel mixture, exhaust system, emissions

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SMEJKAL, Jan. *Přímý vstřík benzínu*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124079>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 52 s. Vedoucí práce Radim Dundálek.

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 18. června 2020

.....

Jan Smejkal

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce, Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D., za ochotu a užitečné rady, které mi napomáhaly při psaní této práce.

OBSAH

Úvod	9
1 Historie motorů využívající přímé vstřikování.....	10
2 Popis funkce systému	12
2.1 Typy procesu spalování	12
2.1.1 Proces spalování vedený paprskem	12
2.1.2 Proces spalování vedený stěnami	12
2.2 Složení směsi	12
2.3 Tvorba směsi.....	14
2.3.1 Tvorba směsi při homogenním provozu.....	14
2.3.2 Tvorba směsi při provozu s vrstveným plněním	14
2.4 Druhy provozu	15
3 Palivový systém.....	17
3.1 Nízkotlaký okruh	17
3.1.1 Elektrické palivové čerpadlo	17
3.1.2 Palivový filtr	18
3.2 Vysokotlaký okruh.....	19
3.2.1 Vysokotlaké čerpadlo	19
3.2.2 Tlakový zásobník.....	21
3.2.3 Ventil pro řízení tlaku.....	22
3.2.4 Snímač tlaku paliva	22
3.2.5 Vysokotlaký vstřikovací ventil.....	23
4 Emise	26
4.1 Složení a vznik škodlivých látek	26
4.2 Evropská legislativa	28
4.3 Opatření pro snížení emisí	28
4.3.1 Lambda regulace.....	28
4.3.2 Katalytické konvertory (katalyzátory).....	30
4.3.3 Filtry pevných částic.....	32
4.3.4 Koncepce spalování chudých směsí	32
4.3.5 Ostatní.....	33
5 Pohonné jednotky s přímým vstřikem benzínu	34
6 Budoucí vývoj	46
Závěr.....	47
Použité informační zdroje.....	48
Seznam použitých zkratk a symbolů	52

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá přímým vstřikováním benzínu u osobních automobilů. Jejím cílem je uvést a popsat komponenty palivového a výfukového systému, shrnout výhody a nevýhody plynoucí z užívání přímého vstřiku a následně vytvořit přehled a porovnání přímovstříkových zážehových pohonných jednotek vyráběných v současnosti napříč automobilkami.

Úvodní kapitola práce obsahuje náhled do historie přímého vstřiku, tedy jeho vývoj od vynálezu v roce 1906 až do podoby, v jaké ho známe dnes. Následují hlavní kapitoly, kde je uveden detailní rozbor procesu spalování, tvorby směsi a komponent palivové soustavy. Další částí bude kapitola zaměřená na emise, která obsahuje popis vzniku škodlivin, přehled evropské legislativy ošetřující emise a možná opatření pro snížení obsahu škodlivých látek ve výfukových plynech. Závěrečné kapitoly obsahují komplexní přehled zážehových motorů s přímým vstřikem a zamyšlení se nad jeho budoucím vývojem.

Na svém počátku bylo přímé vstřikování pouze nástrojem, jak účinně dostat palivo do válců. Od té doby urazilo velký kus cesty a dnes se jedná o systém, bez kterého si dnešní zážehové a hybridní motory téměř nedokážeme představit. Ve své podstatě skloubí 3 zdánlivě nemožné věci, a sice navýšení výkonu, snížení spotřeby a snížení obsahu emisí. Spojení přímého vstřiku a přeplňovaného motoru se stalo trendem, který je hojně využíván v dnešní éře „downsizingu“, tedy době, kdy automobilky snižují objemy vyráběných motorů, aby dosáhly nižší emisivity.

1 HISTORIE MOTORŮ VYUŽÍVAJÍCÍ PŘÍMÉ VSTŘIKOVÁNÍ

Přímé vstřikování paliva svojí historií sahá více než 100 let do minulosti. Zatímco u vznětových motorů se tento princip využíval už u prvních prototypů v roce 1894, u zážehových motorů se běžně začalo používat zhruba až na přelomu tisíciletí. Za vynálezce je považován Francouz Léon Levavasseur, který tento systém použil v roce 1906 ve svém letounu Antoinette. Další prototyp zážehového motoru s přímým vstřikem spatřil světlo světa již v roce 1916 v Německu. Tento motor vyvinutý pro letadla Junkers byl sice původně konstruován jako vznětový, ale byl předělán na zážehový. Důvodem tomu bylo nařízení tehdejšího ministra války, podle kterého směly letecké motory spalovat pouze benzín nebo benzen. Funkční prototyp byl německým hodnostářům představen krátce před zastavením vývoje kvůli konci první světové války. [1][2]

První sériově vyráběný motor využívající přímé vstřikování představil roku 1925 švédský inženýr Jonas Hesselman. Dokázal spalovat jak benzín, tak některé těžké topné oleje, které byly levnější, a tedy vhodnější pro vlastníka vozidla z hlediska ekonomiky provozu. Tyto motory ve svých nákladních vozech používaly automobilky jako Scania, Volvo atd. [2][3]

Významnými roky byly léta 1952 a 1955. V roce 1952 byly představeny automobily Goliath GP700 a Gutbrod Superior, které byly poháněny dvoudobým motorem se dvěma válci. Byly nabízeny jak ve verzi s karburátorem, tak s přímým vstřikem, který měl asi o 14 % větší výkon a až o 30 % menší spotřebu paliva. V roce 1955 to pak byl třilitrový motor se šesti válci, pohánějící závodní automobily Mercedes 300 SL, který se stal prvním čtyřdobým motorem využívajícím přímé vstřikování. [1][2]

Tehdejší technologická a finanční náročnost výroby takovýchto motorů zapříčinila stagnaci vývoje. V 70. letech byly automobilkami AMC a Ford vyvinuty systémy Straticharge a Programmed Combustion (PROCO), které se však neujaly. Zlomovým se stal rok 1996, kdy na japonský trh vstoupilo Mitsubishi Galant s motorem 4G93. Jednalo se o první osobní automobil se zážehovým motorem s přímým vstřikováním, který se vyráběl sériově. Na evropský trh se dostala o něco slabší verze motoru, zato s nižší produkcí emisí, v modelu Mitsubishi Carisma v roce 1997. [2]

Od té doby se do vývoje začalo více investovat a se svými vlastními řešeními přišly i jiné automobilky, jako např. Toyota se svým systémem D4-S, Volkswagen a jejich FSI nebo Alfa Romeo s JTS.



Obr. 1 Mitsubishi Galant 1996 [8]



2 POPIS FUNKCE SYSTÉMU

Vstřikovací systémy paliva dělíme na přímé a nepřímé, které se pak dále dělí na vícebodové a centrální. U systémů s nepřímým vstřikem se palivo vstřikuje do sacího potrubí, buď před sací ventil u každého z válců (MPI), nebo ještě před škrtkicí klapkou (CFI). U systémů s přímým vstřikem je pak palivo vstřikováno přímo do prostoru válce, kde probíhá tvorba směsi. Výhodou přímého vstřikování je snížení spotřeby paliva a navýšení výkonu při trvalém snížení emisí CO₂. Pro ideální funkci a úplné spalování je však třeba zajistit splnění velkého množství požadavků, mezi které patří např. správné složení a rozložení směsi při daných typech provozu nebo určení potřebného tlaku pro vstřik a jeho vyvinutí. [4]

2.1 TYPY PROCESU SPALOVÁNÍ

V závislosti na daném typu procesu spalování, čímž rozumíme způsob tvorby směsi a přeměny energie, je vyvíjeno specifické proudění vzduchu. To pak odnáší vstřikované palivo až k zapalovací svíčke. [7]

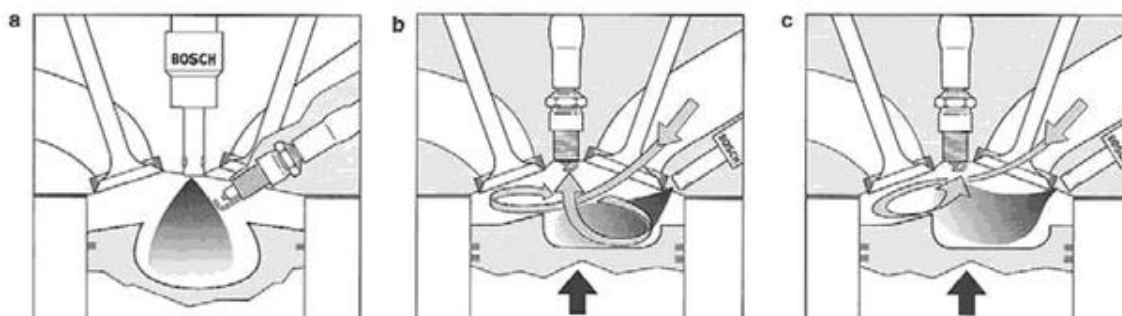
2.1.1 PROCES SPALOVÁNÍ VEDENÝ PAPSREM

Palivo je vstříknuto v těsné blízkosti svíčky a zde se také následně odpařuje. Pro zapálení směsi ve správný okamžik je třeba přesně nasměrovat paprsek vstřikovaného paliva. Z toho důvodu je nutné velmi přesně rozmístit vstřikovací trysku i zapalovací svíčku. [7]

2.1.2 PROCES SPALOVÁNÍ VEDENÝ STĚNAMI

Při tomto typu procesu je možné vyvinout 2 typy proudění vzduchu. Ty jsou závislé na rozmístění sacích kanálů a tvaru pístu. Vstříknuté palivo do proudu vzduchu se díky jeho specifické trajektorii dostane k zapalovací svíčke jako uzavřený oblak. [7]

- Vířivé proudění – vzniká rotační pohyb vzduchu díky nasměrování nasávaného proudu na stěny válce.
- Valivé proudění – pro takové proudění je třeba, aby v pístu byla správně vytvarovaná prohlubeň, ve které nasávaný vzduch mění směr a vrací se k zapalovací svíčke



Obr. 2 Typy proudění – a) proudění vedené paprskem; b) vířivé proudění; c) valivé proudění [7]

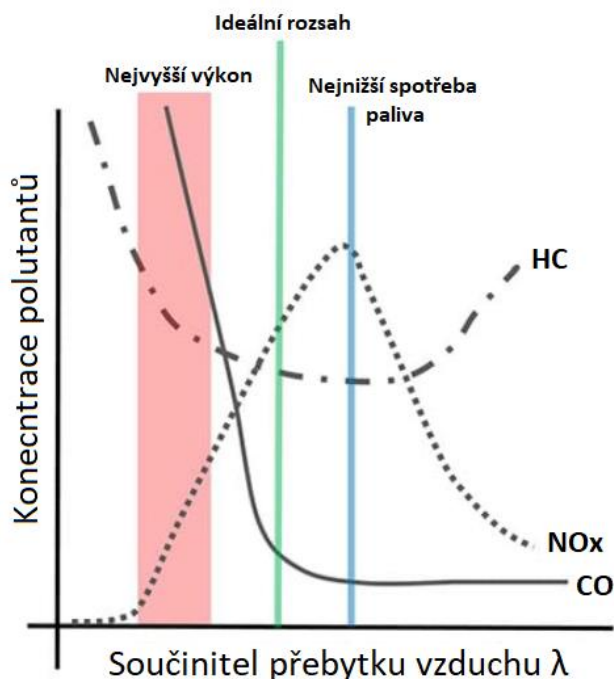
2.2 SLOŽENÍ SMĚSI

Pro ideální teoretické úplné spalování je u zážehového motoru třeba, aby složení směsi odpovídalo stechiometrickému poměru. Ten je definován jako 14,8 kg vzduchu na 1 kg paliva.

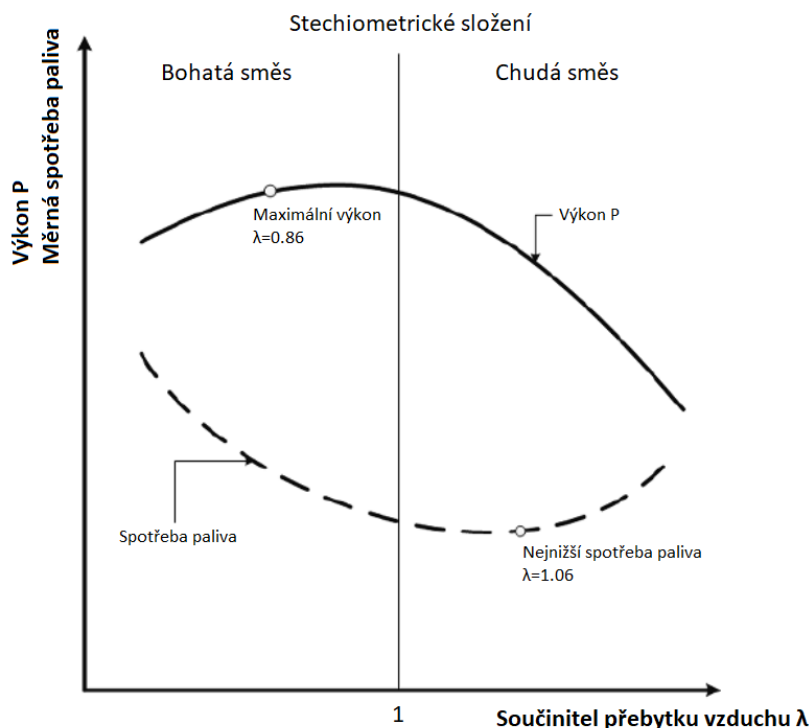
Reálně je však u některých typů provozu potřeba tento poměr upravovat. Pro reálné úplné spalování je nutné, aby byl ve směsi přebytek vzduchu, jehož množství je určeno především zápalností směsi a dobou hoření. Z důvodu odlišnosti složení směsi při ideálním a reálném provozu byl zaveden součinitel přebytku vzduchu λ , který je definován jako poměr množství přiváděného vzduchu ku teoretické potřebě vzduchu. Jeho význam je následující:

- $\lambda < 1$ – nedostatek přiváděného vzduchu, tzv. bohatá směs. Nejvyšší výkon je dosažen při $\lambda \in (0,85;0,95)$.
- $\lambda = 1$ – přivedená hmotnost vzduchu odpovídá teoreticky potřebné hodnotě.
- $\lambda > 1$ – přebytečné množství vzduchu, tzv. chudá směs. Při $\lambda \in (1,05;1,3)$ dochází ke snížení spotřeby paliva při snížení výkonu.
- $\lambda > 1,3$ – směs není schopna zapálení, dochází k neklidnému běhu motoru.

Z obr. 3 a 4 je patrné, že nelze směs složit tak, aby bylo dosaženo zároveň maximálního možného výkonu, při minimální spotřebě paliva a minimálním množství emisí. V praxi se nejvíce osvědčila hodnota $\lambda \in (0,9;1,1)$. [5]



Obr. 3 Vliv součinitele přebytku vzduchu λ na složení emisí CO; HC; NO_x [29]



Obr. 4 Vliv součinitele přebytku vzduchu λ na výkon P a měrnou spotřebu paliva b_e
 a) bohatá směs; b) chudá směs [25]

2.3 TVORBA SMĚSI

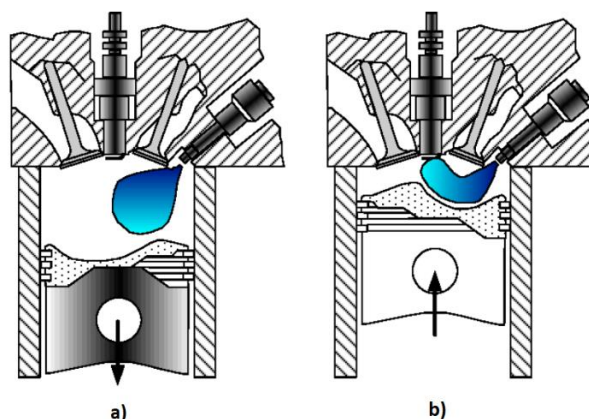
V závislosti na typu provozu je třeba vytvořit homogenní směs buď v celém spalovacím prostoru, nebo jen v určité prostorově vymezené oblasti, zatímco ve zbytku prostoru bude čistý vzduch nebo inertní plyny. Taková směs může být vytvořena pouze za předpokladu, že se všechno palivo odpařilo. Při vyšším vstřikovacím tlaku a tlaku ve spalovacím prostoru se tvoří menší, snadněji odpařitelné kapky paliva. Vstřikovací tlak má pak zejména vliv na tzv. hloubku pronikání, což je délka dráhy, kterou kapka urazí, než se zcela odpaří. Pokud se kapky nestihnou odpařit před dosažením stěny spalovacího prostoru, jsou stěny válce či píst smáčeny palivem. Nestihnou-li se ze stěn odpařit před zažehnutím směsi, dochází k nedokonalému spalování. [7]

2.3.1 TVORBA SMĚSI PŘI HOMOGENNÍM PROVOZU

Palivo je vstřikováno již v době sání, aby se získalo co nejvíce času pro vytvoření směsi. Nasávaný vzduch napomáhá k dobrému promíchání směsi a rychlejšímu odpaření. Tím se dosáhne vhodné homogenity směsi. [7]

2.3.2 TVORBA SMĚSI PŘI PROVOZU S VRSTVENÝM PLNĚNÍM

Při takovém typu provozu je třeba, aby se v době zážehu nacházel oblak homogenní směsi v blízkosti zapalovací svíčky. Toho je dosaženo vstřikem paliva v době komprese. Pohyb vzduchu ve válci a píst pohybující se směrem vzhůru nasměrují oblak paliva k zapalovací svíčke. Rozhodující pro okamžik vstřiku jsou pak otáčky a požadovaný točivý moment. [7]



Obr. 5 Tvorba směsi – a) homogenní provoz; b) provoz s vrstveným plněním [24]

2.4 DRUHY PROVOZU

Složení směsi dané poměrem paliva a nasátého vzduchu je při různých podmínkách odlišné. Aby při změně složení zůstala zachována účinnost spalovacího procesu, bylo vyvinuto 6 druhů provozu, které umožní co nejlepší přizpůsobení podmínkám provozu motoru. K jejich přepínání dochází plynule. Řidič vozidla tedy nepozoruje žádné změny. [9]

Provoz s vrstveným plněním

V tomto typu provozu motor pracuje při nižším točivém momentu za otáček do 3000 min^{-1} . Palivo je vstřikováno krátce před zažehnutím směsi při kompresním zdvihu. Díky krátkému časovému intervalu před zážehem nedojde k vytvoření homogenní směsi v oblasti celého spalovacího prostoru. Směs je díky proudu vzduchu homogenní pouze v blízkém okolí zapalovací svíčky. Tento provoz je omezen právě otáčkami a točivým momentem. Při příliš vysokých otáčkách dochází ke značnému turbulentnímu proudění vzduchu a směs nemůže být správně rozložena. Při vysokém točivém momentu pak vlivem nehomogenního rozložení směsi z pohledu celého spalovacího prostoru dochází ke tvorbě sazí. Z pohledu celého spalovacího prostoru se jedná o velmi chudou směs. Velký součinitel přebytku vzduchu znamená vysoké množství emisí NO_x . Je tedy nutné toto kompenzovat recirkulací spalin, které sníží teplotu spalování a tím i množství emisí NO_x , které jsou na ní závislé. [7][9]

Homogenní provoz

Pracuje-li motor při vysokém výkonu a vysokých otáčkách, funguje v homogenním provozu. Palivo je vstřikováno v době sání, aby byl dostatek času na rozložení směsi v celém spalovacím prostoru. Množství vstřikovaného paliva odpovídá stechiometrickému poměr, tedy $\lambda = 1$, ve výjimečných případech pak $\lambda < 1$. Díky tomuto složení směsi je množství emisí nízké. Tento provoz je nutný při požadavku vysokého točivého momentu, z důvodu využití celého spalovacího prostoru. [7]

Homogenní provoz s chudou směsí

Jedná se o provoz, který se může objevit v přechodové oblasti mezi provozem s vrstveným plněním a homogenním provozem. Složení směsi odpovídá $\lambda > 1$. Vůči homogennímu provozu je zde nižší spotřeba paliva. Díky otevřené škrtkové klapce jsou menší ztráty při výměně náplně. Kvůli přebytku vzduchu je tvořeno více emisí. Tomu se částečně zabraňuje recirkulací spalin. [7][9]

Homogenní provoz s vrstveným plněním

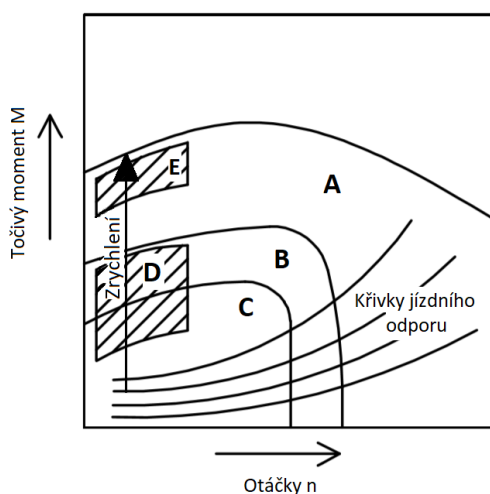
Během tohoto provozu je vstřikování paliva rozděleno do dvou fází. V první fázi je při vstřiku v době sání vytvořena homogenní chudá směs v celém spalovacím prostoru. Ve druhé fázi je vstřik proveden v době komprese, a tak se v oblasti svíčky vytvoří bohatší směs než ve zbytku prostoru. Tento provoz je používán při přepínání mezi homogenním provozem a provozem s vrstveným plněním. Dvojitý vstřik umožňuje získat více času pro tvorbu směsi. Zároveň tento provoz snižuje náchylnost k detonačnímu spalování, což umožňuje užití vyššího kompresního poměru a tím snížení emisí a spotřeby. [7][9]

Homogenní provoz chránící před klepáním

Protože tento provoz také využívá dvojího vstřiku, není nutno nastavovat předstih směrem k „později“, aby se zamezilo klepání. Díky výhodnějšímu předstihu se zvýší získaný točivý moment. [7]

Provoz s vrstveným plněním a zahříváním katalyzátoru

Při tomto typu provozu se rovněž využívá dvojího vstřikování. Postup je však opačný. První vstřik a spalování je provedeno při kompresním zdvihu. Po shoření směsi následuje druhý vstřik provedený v době expanze. Teplota spalovacího prostoru po prvním spalování způsobí druhé hoření, které silně zahřívá stranu výfuku, výfukové potrubí a katalyzátor. Tento provoz se využívá po studeném startu motoru, kdy z důvodu rychlejšího ohřevu katalyzátoru snižuje množství emisí. Díky tomuto provozu lze dosáhnout teploty katalyzátoru až 650 °C, která je nezbytná pro jeho odsíření. [7][9]

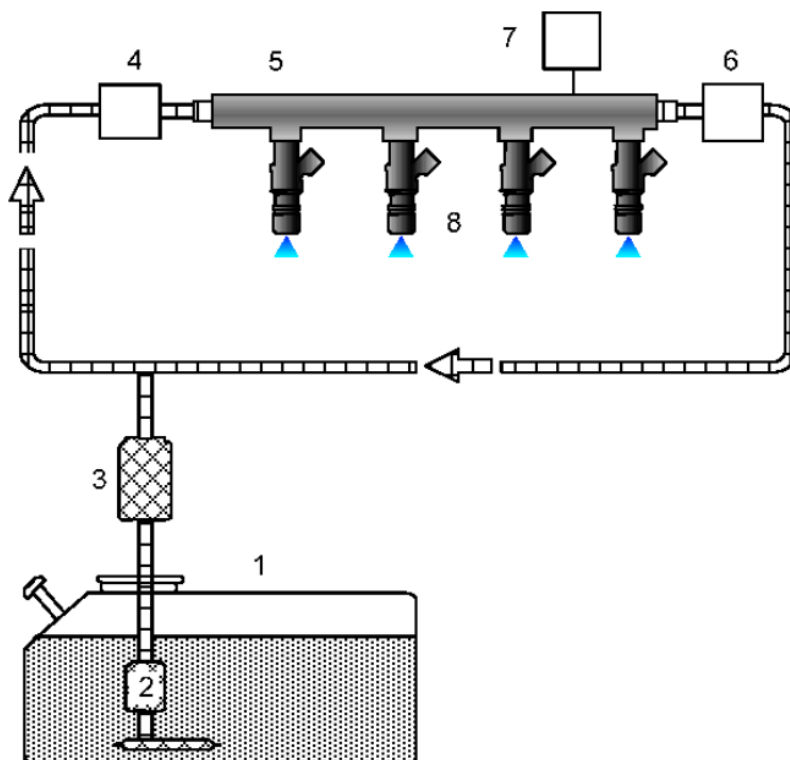


Obr. 6 Charakteristika druhů provozu [7]

- A) Homogenní provoz ($\lambda = 1$) – možný ve všech oblastech
- B) Provoz s chudou směsí nebo homogenní provoz s recirkulací spalin, možný i v oblastech C, D
- C) Provoz s vrstveným plněním a recirkulací spalin, při dvojitým vstřiku provoz s vrstveným plněním a zahříváním katalyzátoru
- D) Homogenní provoz s vrstveným plněním
- E) Homogenní provoz chránící před klepáním

3 PALIVOVÝ SYSTÉM

Jeden z požadavků optimálního chodu systému je vysoký a přesný vstříkovací tlak. Aby byl zajištěn, je systém dopravy paliva z nádrže až do vstříkovače rozdělen na nízkotlaký a vysokotlaký obvod. V nízkotlakém obvodu je palivo z nádrže (1) dopravováno elektrickým čerpadlem (2) přes palivový filtr (3) do vysokotlakého čerpadla (4). Zde dochází k navýšení na systémový tlak a palivo proudí do tlakového zásobníku (5), kde je tlak snímán (7) a regulován (6). Následně se pak palivo dostává do vstříkovacích ventilů (8) a je vstříknuto do spalovacího prostoru.



Obr. 7 Palivová soustava přímého vstříkovaní benzínu [24]

- | | |
|---------------------------------|------------------------------|
| 1) Palivová nádrž | 5) Tlakový zásobník (rail) |
| 2) Elektrické palivové čerpadlo | 6) Ventil pro regulaci tlaku |
| 3) Palivový filtr | 7) Snímač tlaku |
| 4) Vysokotlaké čerpadlo | 8) Vstříkovací ventily |

3.1 NÍZKOTLAKÝ OKRUH

3.1.1 ELEKTRICKÉ PALIVOVÉ ČERPADLO

Úkolem elektrického palivového čerpadla je dopravit palivo z nádrže do vysokotlakého čerpadla pod tlakem 0,3 – 0,8 MPa. Nejčastěji se používá možnost zapojení „in-tank“, kdy je čerpadlo celé ponořeno v nádrži. Čerpané palivo tak maže mechanické části a zároveň chladí elektromotor, který díky tomu může vyvíjet vyšší výkon. Pozitivním vedlejším účinkem je pak tlumení hluchosti okolním palivem. [11]

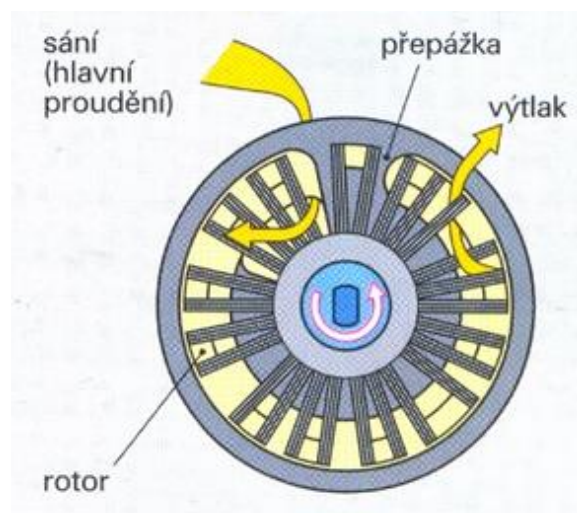
Elektrická palivová čerpadla se vyrábí ve více typech, a to jako šroubová, zubová, křídlová nebo odstředivá. Většina nových osobních automobilů je vybavena právě odstředivým

čerpádlem, které má plynulý a tichý chod, pracuje za vyšších otáček, pro svůj provoz potřebuje menší proud a jeho výroba je méně komplikovaná. [12]

Elektromotor se rozeběhne ve chvíli, kdy řidič otočí klíčem do polohy zapalování. V tu chvíli se začíná vytvářet tlak v palivovém systému. Čerpadlo běží stejně dlouho, jako motor vozidla. Může fungovat za stálých otáček, nebo je upravovat v závislosti na zátěži motoru. Dnešní vozy mají také bezpečnostní vypínač, který čerpadlo vypne při případné nehodě nebo poruše. Zamezí tak dalším poškozením palivového systému. [12]



Obr. 8 Zubové palivové čerpadlo [11]



Obr. 9 Odstředivé palivové čerpadlo [11]

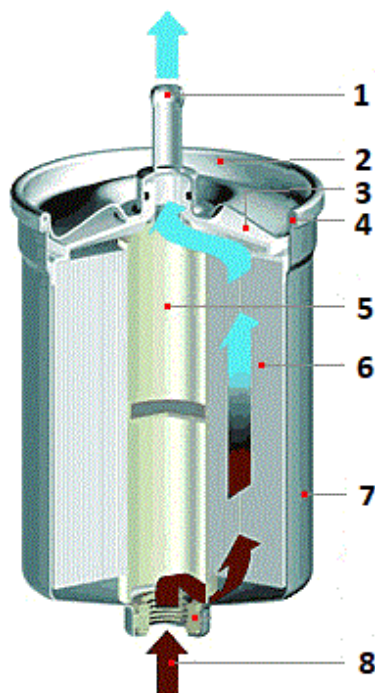
3.1.2 PALIVOVÝ FILTR

Palivový filtr slouží k zachycení nečistot a usazenin, které by jinak při volném průchodu poškodily další části palivového systému nebo i samotný motor. Nečistoty v palivu také zvyšují opotřebení vstřikovací soustavy, což by mohlo mít za následek nežádoucí pokles výkonu nebo zvýšenou spotřebu. [13][14]

Nejčastější aplikací jsou „in-line“ filtry. Jsou montované mezi elektrické palivové a vysokotlaké čerpadlo do palivového potrubí. Filtr se skládá z kovového, nebo plastového tělesa a filtrační vložky. Při údržbě se pak vyměňuje buď filtrační vložka, nebo celá jednotka filtru. [14]

V závislosti na požadované účinnosti procesu filtrace se používají různé materiály. Pro splnění požadavků moderních motorů, kde filtry mají za úkol zachytit nečistoty o velikosti 3 – 5 μm s účinností přes 90 %, jsou vyvíjeny syntetické vícevrstvé materiály. [13][14]

Palivový filtr je pro správnou funkci třeba udržovat průchodný. Z toho důvodu je nutno jej čistit, případně měnit. U vznětových motorů je výrobcem často předepsovaná hranice pro výměnu 60 000 km. U zážehových motorů se jedná o mnohem delší interval, která často nebývá výrobcem předepsána. V některých případech se může jednat až o trojnásobek životnosti palivového filtru vznětového motoru. Je vhodné však filtr měnit, pokud majitel např. začal aditivovat palivo nebo vozidlo dlouhou dobu stálo. [15]



Obr. 10 Řez palivovým filtrem [16]

- | | |
|------------------|-----------------------|
| 1) Výstup paliva | 5) Potrubí |
| 2) Víko filtru | 6) Filtrační materiál |
| 3) Podpurný disk | 7) Tělo filtru |
| 4) Svařená hrana | 8) Vstup paliva |

3.2 VYSOKOTLAKÝ OKRUH

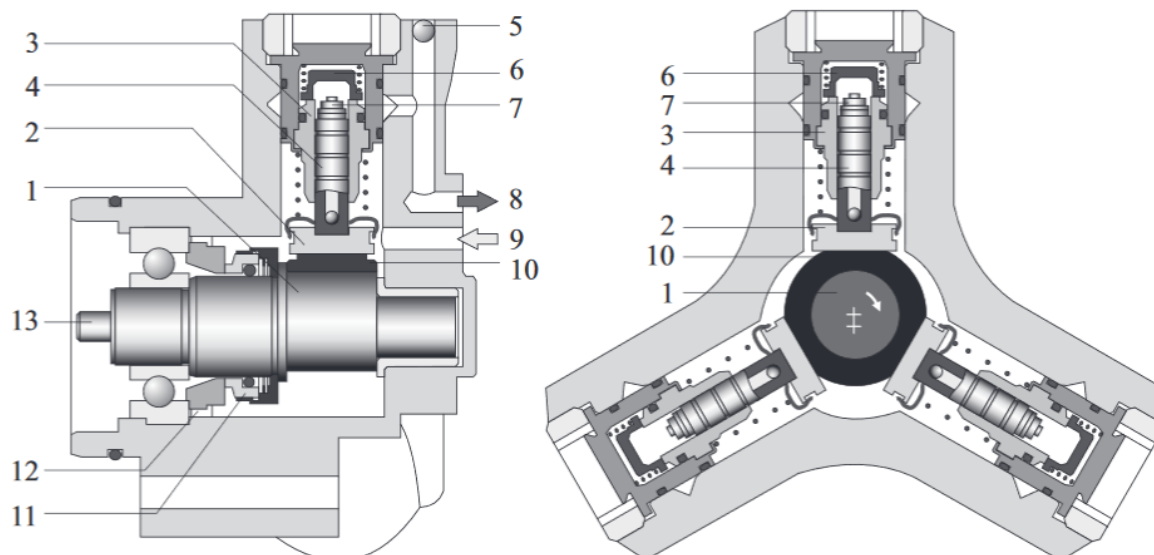
3.2.1 VYSOKOTLAKÉ ČERPADLO

Vysokotlaké čerpadlo stlačuje palivo, které je přiváděno z nádrže, na tlak až 35 MPa, což je tlak potřebný pro vstříkávání. Pulsy paliva na výstupu musí být co nejmenší, aby je bylo možné lehce eliminovat v tlakovém zásobníku. Aby se zabránilo mísení paliva s mazivem, musí být čerpadlo mazáno a chlazeno čerpaným médiem. [7]

VYSOKOTLAKÉ ČERPADLO BOSCH HDP1

Prvním z vysokotlakých čerpadel řady HDP firmy Bosch bylo toto radiální pístové čerpadlo se třemi válci, které jsou vzájemně pootočené o 120°. Pootočení zajišťuje malou pulsaci na výstupu. Ve středu čerpadla se nachází excentr (1), který je poháněn vačkovým hřídelem motoru (13). Rotace excentru je pomocí zdvihového kroužku (10) a kluzného segmentu (2) převáděna na translační pohyb pístu (4) ve válci. Při pohybu pístu směrem dolů se palivo pod podávacím tlakem 0,4 – 0,6 MPa dostává dutým pístem přes vstupní ventil (7) do válce. Při pohybu nahoru je stlačováno, až dosáhne požadovaného tlaku. V tomto momentě se otevře výstupní ventil (6) a palivo proudí do přípojky k tlakovému zásobníku (8). Tento typ čerpadla dokázal krátkodobě vyvinout tlak 20 MPa, dlouhodobě pak 12 MPa. Množství paliva, které je schopno vysokotlaké čerpadlo dodávat, je o něco vyšší než maximální možná spotřeba, a je úměrné otáčkám. Prebytečné palivo je odpouštěno přes ventil pro řízení tlaku a odváděno do zpětného vedení. U tohoto typu čerpadla je ventil pro řízení tlaku zastoupen ventilem pro

regulaci množství, který se nachází mezi prostorem čerpadla a přítokem paliva. Pomocí něj je možné regulovat dodávané množství paliva čerpadlem a zastavit další nárůst tlaku v tlakovém zásobníku. [7][20]

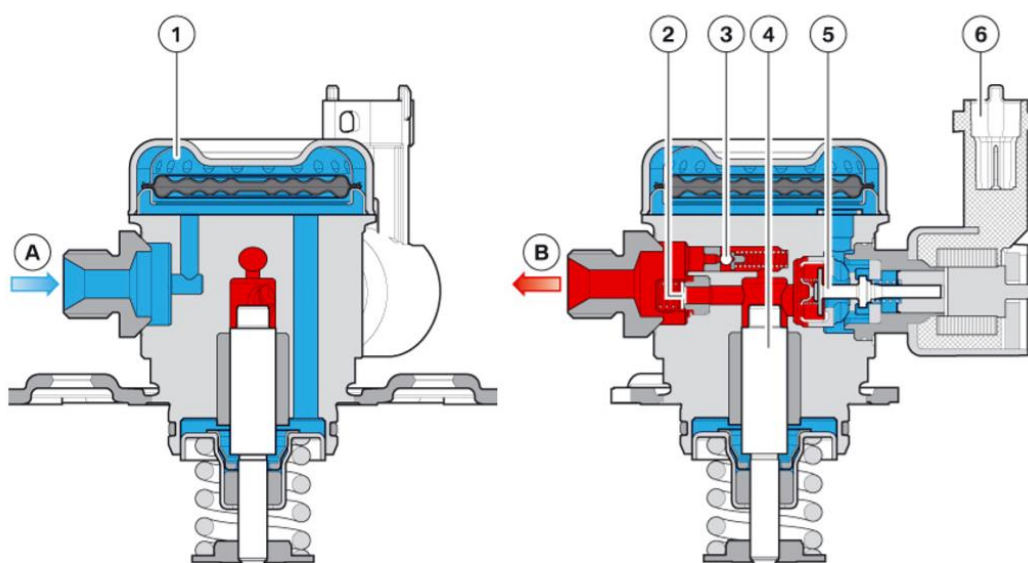


Obr. 11 Řezy vysokotlakým čerpadlem Bosch HDP1 [27]

- | | |
|----------------------|-----------------------------------|
| 1) Excentr | 8) Přípojka k tlakovému zásobníku |
| 2) Kluzný segment | 9) Přívod paliva (nízký tlak) |
| 3) Válec čerpadla | 10) Zdvihový kroužek |
| 4) Dutý píst | 11) Axiálně působící těsnění |
| 5) Uzavírací kulička | 12) Statické těsnění |
| 6) Výstupní ventil | 13) Hnací hřídel |
| 7) Vstupní ventil | |

VYSOKOTLAKÉ ČERPADLO BOSCH HDP6

Společně se zdokonalováním celého vstřikovacího procesu se vyvíjí všechny komponenty palivové soustavy. Nejmodernějším čerpadlem firmy Bosch je nyní model HDP6, které dokáže vyvinout tlak až 35 MPa. Jedná se o radiální jednopístové čerpadlo, které je poháněno vačkovým hřídelem motoru. Je vybaveno vyrovnávací komorou pro tlumení pulsů (1), pojistným ventilem (3), ventilem pro řízení tlaku paliva (5) a vysokotlakým zpětným ventilem (2). [21]

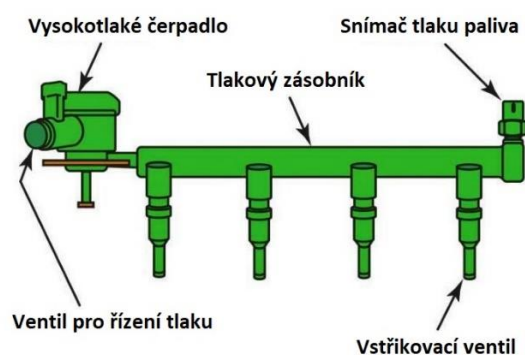


Obr. 12 Řezy čerpadlem Bosch HDP6 [21]

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| A) Prívod paliva (nízký tlak) | 3) Pojistný ventil |
| B) Přípojka k tlakovému zásobníku | 4) Píst |
| 1) Vyrovnávací komora | 5) Ventil pro řízení tlaku paliva |
| 2) Vysokotlaký zpětný ventil | 6) Elektrická přípojka (konektor) |

3.2.2 TLAKOVÝ ZÁSObNÍK

Tlakový zásobník (rail) slouží k ukládání paliva dodaného vysokotlakým čerpadlem a jeho rozdělení mezi jednotlivé vstřikovací ventily. Provedení zásobníku závisí především na typu motoru a použitém systému. Všechny typy zásobníků pak mají přípojky pro sousední komponenty, jako vysokotlaké čerpadlo, ventil pro řízení tlaku, snímač vysokého tlaku a vstřikovací ventily. Pro jeho výrobu se používají hliníkové slitiny, které vyhovují požadovaným hodnotám pro potřebnou pružnost a tuhost. Zásobník musí být dostatečně pružný, aby utlumil tlakové pulsy způsobené palivem dodávaným z vysokotlakého čerpadla a pulsy způsobené periodickým odběrem paliva vstřikovacími ventily. Pružnost zásobníku je ovlivněna zejména jeho objemem a stlačitelností proudícího média. Požadavek tuhosti pak vyplývá z nutnosti rychlého přizpůsobení tlaku provozním podmínkám. [5][7]

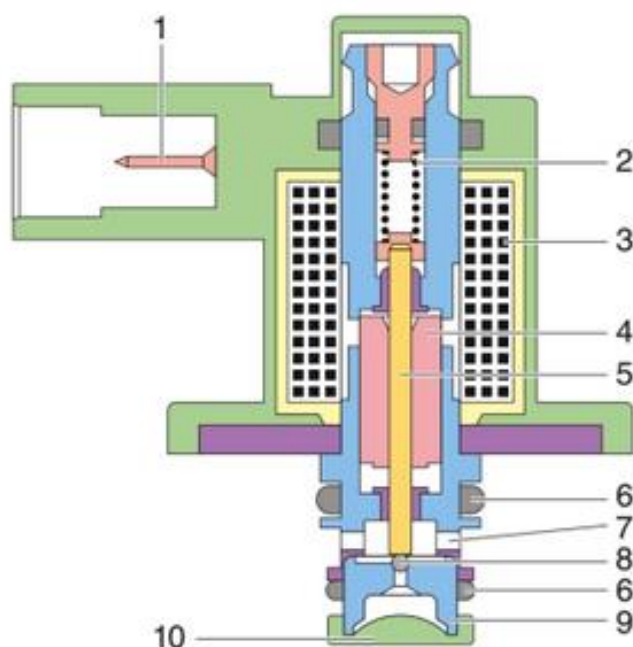


Obr. 13 Tlakový zásobník (rail) [39]

3.2.3 VENTIL PRO ŘÍZENÍ TLAKU

Ventil pro řízení tlaku se nachází mezi tlakovým zásobníkem a nízkotlakou částí vysokotlakého čerpadla. Jeho úkolem je nastavit systémový tlak tak, aby odpovídal požadované hodnotě, která se mění se změnou druhu provozu. Systémový tlak není závislý na vstřikovaném množství paliva, ani na množství paliva dodávaném vysokotlakým čerpadlem. [5][7]

Ventil je ovládán signálem přicházejícím z řídicí jednotky motoru. Přicházející proud, který se mění na základě požadovaného tlaku, vytváří uprostřed cívky (3) magnetické pole, které vtahuje kotvu (4) brzděnou tlačnou pružinou (2). Vtažení kotvy (4) způsobí uvolnění průtoku paliva, jelikož kulička ventilu (8) připevněná na kotvu (4) se zvedne s ní. Palivo následně přes sítko (10) protéká do odtokového otvoru (7). V případě poruchy, tedy výpadku proudu, není kotva (4) vtahována a tlačná pružina (2) zajistí utěsnění vtokového otvoru (10), aby nedošlo k poškození komponent navýšením tlaku. [7]



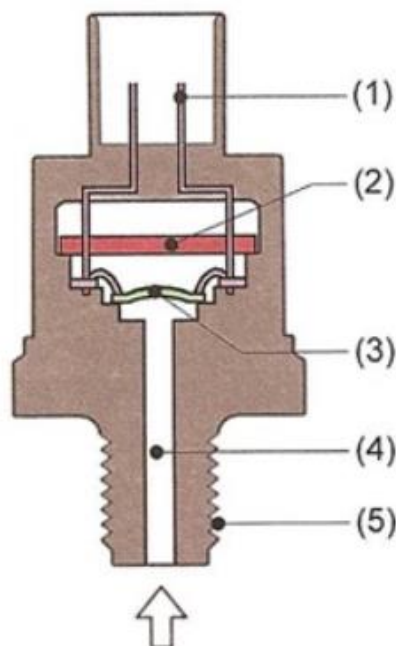
Obr. 14 Řez ventilem pro řízení tlaku [26]

- | | |
|-----------------------------------|----------------------|
| 1) Elektrická přípojka (konektor) | 6) Těsnící O-kroužek |
| 2) Tlačná pružina | 7) Odtokový otvor |
| 3) Cívka | 8) Kulička ventilu |
| 4) Kotva | 9) Sedlo ventilu |
| 5) Jehla ventilu | 10) Přítok se sítkem |

3.2.4 SNÍMAČ TLAKU PALIVA

Snímač tlaku paliva je pomocí upevňovacího závitu (5) připojen na tlakový zásobník, kde měří tlak paliva. Měření tlaku a jeho úprava je důležitou záležitostí. Nesprávný tlak by totiž mohl znamenat vyšší emise škodlivých látek, vyšší hlučnost a nižší výkon motoru. Odchylky od požadovaného tlaku vyrovnává ventil pro řízení tlaku. Měření musí probíhat s chybou menší než 2 % měřicího rozsahu. [7]

Tlakovou přípojkou (4) se palivo dostává k ocelové membráně (3) a působí na ni daným tlakem. Membrána je osazena tenzometrickými rezistory v můstkovém zapojení. Deformace membrány způsobená tlakem paliva zapříčiní změnu odporu rezistorů. Vzniklé napětí (0 – 80 mV) je vedeno do vyhodnocovacího obvodu (2), kde je zesíleno (0 – 5 V) a vedeno přes konektor (1) do řídicí jednotky. Ta signál vyhodnotí a vypočte tlak v zásobníku, který případně upraví pomocí ventilu pro řízení tlaku. [7]



Obr. 15 Řez snímačem tlaku [28]

- | | |
|---|---------------------|
| 1) Elektrická přípojka (konektor) | 4) Tlaková přípojka |
| 2) Vyhodnocovací obvod | 5) Upevňovací závit |
| 3) Ocelová membrána s tenzometrickými rezistory | |

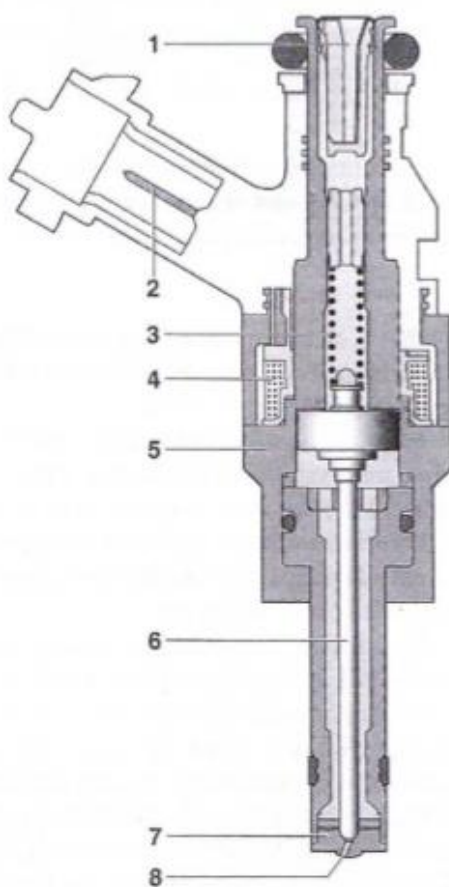
3.2.5 VYSOKOTLAKÝ VSTŘIKOVACÍ VENTIL

Vstřikovací ventil je součástí palivové soustavy, přes kterou se palivo dostává do spalovacího prostoru. Jeho úkolem je vytvářet vstřiky o přesném množství paliva, které se ve spalovacím prostoru rozpráší, dokonale vypaří, smísí se vzduchem a vytvoří tak směs o daném složení. V závislosti na požadovaném druhu provozu je pak směs v okolí svíčky koncentrovanější než ve zbytku prostoru, nebo homogenní v celém spalovacím prostoru.

Z hlediska konstrukce a principu funkce existují 2 typy ventilů pro přímé vstřikování benzínu. Elektromagnetický ventil je starším typem a v současnosti ho již v některých aplikacích nahrazuje ventil piezoelektrický. Nové typy ventilů s sebou přinesly několikanásobný nárůst vstřikovacího tlaku, zkrácení odezvy na signál z řídicí jednotky a doby vstřiku, což umožnilo použití několika vstřiků v krátkých intervalech za sebou, menší rozměry a nižší hmotnost. Veškeré tyto výhody napomáhají k dokonalejšímu ovládnutí vstřikovacího procesu, což v praxi znamená snížení spotřeby paliva a navýšení výkonu pohonných jednotek. [7]

ELEKTROMAGNETICKÝ VSTŘIKOVACÍ VENTIL

Přes jemné sítko (1) je palivo z tlakového zásobníku přiváděno do vstřikovače. Konektorem (2) připojená řídicí jednotka motoru přivede proud do cívky (4), která vytvoří magnetické pole. To způsobí vytažení jehly (6) směrem nahoru a tím uvolnění výstupního otvoru ventilu (8), kudy je palivo vstříknuto do spalovacího prostoru. Vhodně tvarovaným výstupním ventilem je dosaženo dobrého rozprášení paliva. Při ukončení vstřiku poklesne proud v cívce (4), zeslábné magnetické pole a pružina zatlačí jehlu s kotvou (6) na svoji původní pozici, což způsobí ucpání výstupního otvoru ventilu (8). Otvírání a zavírání ventilu musí probíhat co nejrychleji, aby měl proud paliva konstantní průřez. Tyto ventily využívají tlak vytvořený vysokotlakým čerpadlem, tzn. nejmodernější z nich (např. Bosch HDEV6) vykazují vstřikovací tlak 35 MPa. [7][23]



Obr. 16 Řez elektromagnetickým vstřikovacím ventilem [7]

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| 1) Přítok s jemným sítkem | 5) Pouzdro |
| 2) Elektrická přípojka (konektor) | 6) Jehla trysky s kotvou |
| 3) Pružina | 7) Sedlo ventilu |
| 4) Cívka | 8) Výstupní otvor ventilu |

PIEZOELEKTRICKÝ VSTŘIKOVACÍ VENTIL

Princip funkce piezoelektrických vstřikovačů je založen na prodlužování a smršťování piezoelementu složeného z velkého množství plátek křemene. Dilatace je způsobena přivedeným napětím. Změna rozměrů piezoelementu nezpůsobuje pohyb jehly přímo, ale přes řídicí ventil, díky kterému dojde ke změně tlaků paliva ve vstřikovači a tím zvednutí jehly.

Vstřikovače jsou vybaveny také zpětným vedením paliva, kudy se přebytečné palivo vrací do palivového systému. [10]



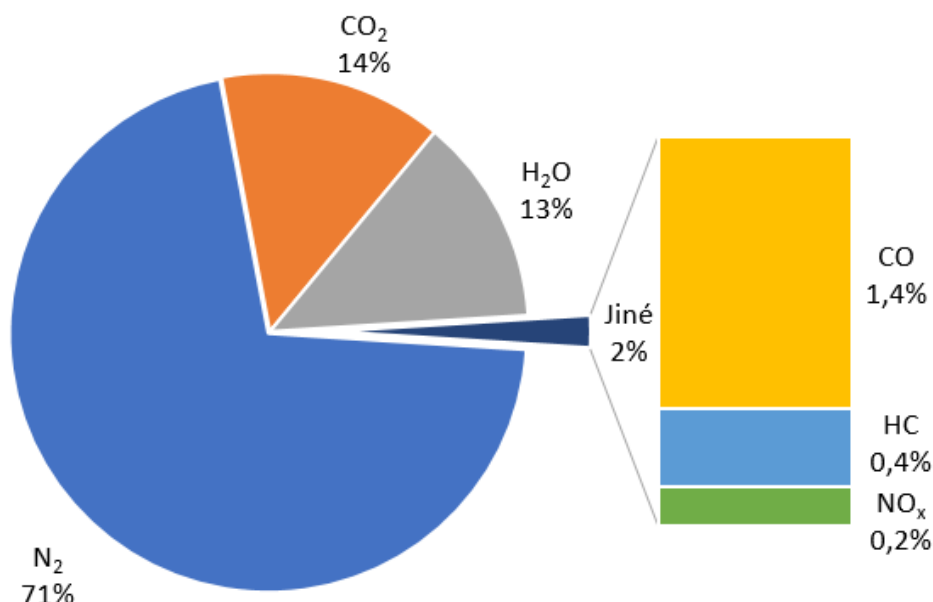
Obr. 17 Řez piezoelektrickým ventilem firmy Bosch [10]

4 EMISE

Užívání spalovacích motorů v novodobé historii lidstva s sebou přineslo také negativní vlivy na životní prostředí. Zejména v posledních dekádách dosáhlo znečištění naší planety takové míry, kdy jej bylo výrazně nutné začít řešit. Nejrazantnějšími omezeními na vzniklou situaci dlouhodobě reaguje Evropská unie pomocí předepsaných emisních norem. I z tohoto důvodu jsou emisní limity automobilu stále diskutovanější záležitostí a schopnost je plnit výrazně přispívá k ceně nových vozů. Možnými cestami jsou např. zdokonalení přímého vstřikování benzínu a s tím související pokles spotřeby paliva, či vývoj dokonalejších komponent pro výfukový systém.

4.1 SLOŽENÍ A VZNIK ŠKODLIVÝCH LÁTEK

Spalování v motoru nikdy nebude probíhat dokonale, a to ani při spalování chudých směsí, kdy je ve směsi přebytek vzdušného kyslíku. Čím více se však reálný proces přiblíží tomu dokonalému, tím je množství škodlivých látek ve výfukových plynech nižší. Přibližné procentuální složení výfukových plynů ukazuje Obr. 18. Látky výfukových plynů můžeme pomyslně rozdělit na nejedovaté (H_2O , CO_2 , N_2) a jedovaté (HC , NO_x , CO , pevné částice). [6]



Obr. 18 Přibližné složení výfukových plynů [7]

Dusík (N_2)

Je zastoupen v nejvyšším podílu v nasávaném vzduchu a neúčastní se hoření. Rovněž pak tvoří hlavní složku výfukových plynů. Jeho stopové množství reaguje s kyslíkem za vzniku jedovatých oxidů dusíku. [7]

Oxid uhličitý (CO_2)

Vzniká při dokonalé oxidaci díky uhlíku obsaženému v palivu. Lidskému organismu do jisté míry neškodí, avšak patří mezi činitele způsobující skleníkový efekt, který přispívá ke změně klimatu planety. Vzniklé množství CO_2 lze regulovat pouze snížením spotřeby paliva. Společně s oxidem uhelnatým a uhlovodíky se jedná o indikátory správné funkčnosti výfukového systému. Při naměření neočekávaných hodnot je pravděpodobné, že některá z komponent je

poškozena. V roce 2009 Evropská unie představila svoji novou emisní politiku, která zahrnovala i omezení týkající se množství CO_2 . Normy se postupem času zpřísnily a v současnosti jsou zacíleny na hodnotu 95 g/km, kterou musí splňovat 95 % nových prodaných osobních automobilů. Jedná se o přechodové období, které bylo zavedeno kvůli náročnosti plnění tohoto limitu. Od roku 2021 už bude povinné, aby všechny prodané osobní automobily tuto hodnotu splňovaly. V návaznosti na spotřebu paliva, současný emisní limit odpovídá průměrné spotřebě zhruba 4,1 l/100 km pro osobní automobily se zážehovým motorem. V roce 2030 bude limitní hodnota nastavena již na 59,4 g/km, což znamená její snížení zhruba o 37,5 %. Momentálně stále spousta automobilek daný limit nespĺňuje a k jeho splnění je daleko. Je tedy otázkou, jak se situace bude od příštího roku vyvíjet. [7][19]

Voda (H_2O)

Při hoření vodík vázaný v palivu reaguje za vzniku vodní páry. Její část pak při ochlazení kondenzuje. [7]

Oxid uhelnatý (CO)

Jedná se o pro člověka jedovatý plyn, který v krvi reaguje a tvoří látku, která brání přenosu kyslíku do krevního oběhu. Již malé koncentrace mohou při trvalém vdechování být smrtelné. Vzniká především při spalování bohatých směsí (viz Obr. 3), což je způsobeno nedostatkem kyslíku pro vytvoření oxidu uhličitého. [6][7]

Uhlovodíky (HC)

Ať už se jedná o uhlovodíky, které vstupují do spalovacího procesu nebo vzniknou v jeho průběhu, bezesporu se jedná o jedovaté látky, které mohou dráždit pokožku a být karcinogenní. Způsobují také charakteristický zápach výfukových plynů. Vznikají při předčasně zastavené oxidaci (nejčastěji při chladnějších stěnách válce) nebo při vynechávání zapalování. Na jejich finální množství má vliv zejména teplotní režim motoru, konstrukce spalovacího prostoru a pístu a složení směsi. Optimální směs pro minimum produkovaných uhlovodíků je chudá s poměrem $\lambda \in (1,1;1,2)$. Při nižším i vyšším součiniteli přebytku vzduchu λ se tvoří vyšší množství HC (viz Obr. 3). [6][7]

Oxidy dusíku (NO_x)

Jedná se především o oxid dusnatý (NO) a v menších koncentracích pak oxid dusičitý (NO_2) a oxid dusný (N_2O). Oxid dusnatý nemá výrazné dopady na lidské zdraví, avšak v atmosféře oxiduje na oxid dusičitý, jehož škodlivost je vyšší. Při jeho vdechování se v těle tvoří kyselina dusičná (HNO_3), na kterou organismus reaguje přivřením přístupu vzduchu do plic, což se projevuje dušením a kašlem. Spolupodílí se také na tvorbě smogu a kyselých dešťů. Oxidy dusíku vznikají oxidací nasátého vzduchu vlivem vysokých teplot a tlaků. Nejvyšších teplot při spalovacím procesu se dosahuje při spalování směsi o součiniteli přebytku vzduchu $\lambda \in (1,05;1,1)$. Proto je v této oblasti nejvyšší koncentrace oxidů dusíku ve výfukových plynech (viz Obr. 3). [6][7]

Pevné částice (PM)

Pevné částice u zážehových motorů vznikají ve výrazně větším množství u motorů s přímým vstřikováním než u motorů se vstřikem do sacího potrubí. Vznikají spalováním neodpařených kapek paliva, spalováním velmi bohatých směsí nebo spalováním mazacího oleje. V září 2018 vstoupila v platnost norma Euro 6c, jejíž limity byly nastaveny tak nízko, že filtry pevných částic musely být zavedeny i do automobilů se zážehovými motory. [7]

Kyslík (O₂)

Jeho výskyt ve výfukových plynech je podmíněn spalováním chudé směsi s přebytkem vzduchu. Jeho množství se však měří a zpětně se z něj vypočítává hodnota λ . Ta se kontroluje při zkoušce vozidel s řízeným katalyzátorem.

4.2 EVROPSKÁ LEGISLATIVA

Tab. 1 uvádí přehled vývoje evropských norem určujících maximální možné limity škodlivých látek ve výfukových plynech. Uvedením norem Euro 6c a Euro 6d nedošlo ke zpřísnění limitních hodnot, avšak bylo zavedeno nové měření emisí WLTP, které odráží dynamiku současného provozu. Součástí měření se stává i RDE, tedy měření v reálném provozu na silnici.

Tab. 1 Přehled evropských emisních norem pro osobní automobily se zážehovým motorem [22]

Norma	Datum platnosti	CO	THC	NMHC	NO _x	HC+NO _x	PM	PN
		[g/km]						
Euro 1	Leden 1993	2.72	-	-	-	0.97	-	-
Euro 2	Leden 1997	2.2	-	-	-	0.5	-	-
Euro 3	Leden 2001	2.3	0.20	-	0.15	-	-	-
Euro 4	Leden 2006	1.0	0.10	-	0.08	-	-	-
Euro 5a	Leden 2011	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.005	-
Euro 5b	Leden 2013	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045	-
Euro 6b	Září 2015	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045	6*10 ¹¹
Euro 6c	Září 2018	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045	6*10 ¹¹
Euro 6d- Temp	Září 2019	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045	6*10 ¹¹
Euro 6d	Leden 2021	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045	6*10 ¹¹

Předepsané limitní hodnoty pevných částic (PM) platí pouze pro motory s přímým vstříkáním. Je to právě z důvodu, že motory s přímým vstříkem jich produkují mnohonásobně vyšší množství než ostatní typy. [22]

4.3 OPATŘENÍ PRO SNÍŽENÍ EMISÍ

Stále přísnější evropské normy nutí výrobce automobilů zavádět různá opatření a zdokonalovat spalovací proces. Cílem pak je právě nižší množství vyprodukovaných emisí a rozklad jedovatých látek na nejedovaté.

4.3.1 LAMBDA REGULACE

Volbou hodnoty směšovacího poměru nelze snížit množství všech škodlivých látek současně (viz Obr. 3). Ze závislosti koncentrací škodlivých látek na poměru λ a mechanismu jejich tvorby vyplývá, že je z hlediska minimalizace množství škodlivých látek vhodné volit směs o poměru $\lambda > 1$. Směs však nesmí být ochuzena natolik, aby nedocházelo k vynechávání zapalování a tím k tvorbě uhlovodíků. Aby bylo možné co nejdokonalejší řízení složení směsi, je třeba, aby řídicí jednotka dostávala zpětnou vazbu v podobě hodnoty množství zbytkového kyslíku ve výfukových plynech. K tomu se využívá tzv. lambda sond. Informace získané z těchto sond neslouží pouze k úpravě poměru λ , ale díky jejich rozmístění např. také jako kontrola funkčnosti katalyzátorů. [7][9]

DVOUSTAVOVÁ LAMBDA SONDA

Jak vyplývá z názvu sondy, tento typ dokáže určovat pouze 2 stavy. Rozezná tak chudou směs, kdy dodává nízké napětí, a bohatou směs, kdy dodává vyšší napětí. Snímače tohoto typu sondy bývají zhotoveny z aktivních oxidů různých kovů, nejčastěji pak oxid zirkoničitý (ZrO_2) a oxid titaničitý (TiO_2). [9]

Napěťová lambda sonda

U tohoto typu sondy je použit keramický materiál tvořený oxidem zirkoničitým. Pomocí platinových elektrod na povrchu keramického tělíska je vytvořen galvanický článek, tzv. Nernstův článek. Vnitřní prostor tělíska přichází do kontaktu s okolním vzduchem, což slouží jako referenční plyn. Takto konstruované tělísko je zavedeno do výfukového potrubí. Při dosažení pracovní teploty se keramický materiál stane vodivým pro ionty kyslíku. Různé koncentrace kyslíku uvnitř a vně tělíska způsobí vznik elektrického napětí mezi platinovými elektrodami. Velikost napětí je závislá na rozdílnosti koncentrací kyslíku a na teplotě. Na teplotě je však závislá i rychlost změny napětí. Při nízkých teplotách sonda reaguje na změny v koncentraci směsi příliš pomalu, naopak při vysokých teplotách se výrazně zkracuje životnost sondy. Nejčastěji se tedy sonda umísťuje dále od motoru a je vybavena elektrickým topným článkem. K dosažení optimální teploty dojde za 20 až 30 sekund. Během dalšího chodu si pak optimální teplotu udržuje. [9]



Obr. 19 Řez napěťovou lambda sondou [30]

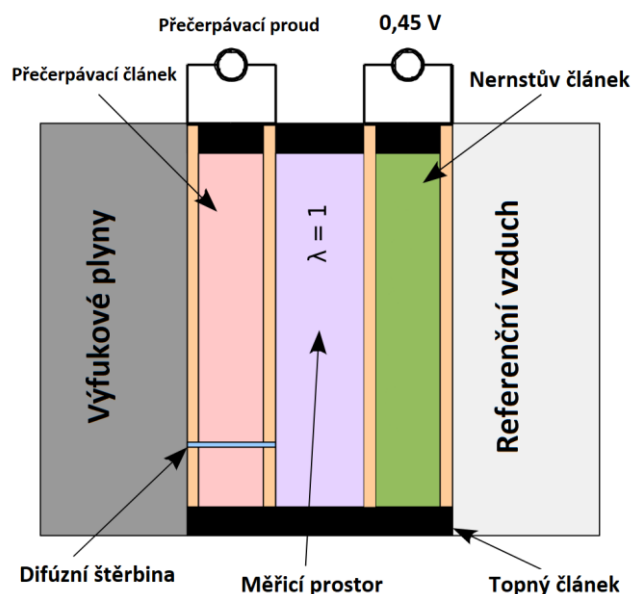
Odporová lambda sonda

Princip tohoto méně rozšířeného typu sondy je založen na změně vodivosti způsobené změnou koncentrace kyslíku. Změna vodivosti znamená i změnu velikosti odporu, jelikož je její převrácenou hodnotou. Vyšší množství O_2 znamená větší odpor, a tedy menší napětí. Při nižší koncentraci O_2 je tomu přesně naopak. Vedlejším úkolem sondy je měření teploty výfukových plynů. Pracovní teplota sondy začíná na 500 °C. Jakmile naměřená teplota plynů překročí hranici 700 °C, řídicí jednotka upraví předstih zážehu. [9]

ŠIROKOPÁSMOVÁ LAMBDA SONDA

Pro motory, které spalují jiné než stechiometricky složené směsi, je třeba stanovit přesné složení směsi. K tomu se využívá širokopásmových lambda sond. Vznikly rozšířením dvoustavové sondy o další elektrochemický článek. Oba jsou potaženy platinovými elektrodami. Mezi

články je vytvořen měřicí prostor. Do tohoto prostoru malým difúzním otvorem procházejí výfukové plyny. Pomocí napětí přiváděného na přečerpávací článek se přiváděním, popř. odebíráním, kyslíku udržuje stechiometrické složení směsi. Při přečerpávání iontů O_2 protéká článkem elektrický proud, z jehož směru a velikosti lze zjistit koncentraci O_2 . Proud protékající přečerpávacím článkem se mění zcela plynule a není závislý na dvoustepňové napěťové charakteristice Nernstova článku. Tento typ sondy je tak optimálním nástrojem pro přesné určení hodnoty směšovacího poměru. [9]



Obr. 20 Širokopásmová lambda sonda [31]

4.3.2 KATALYTICKÉ KONVERTORY (KATALYZÁTORY)

Dalšími komponentami zajišťujícími snížení emisí jsou katalytické konvertory. Jedná se o zařízení, které nefiltruje výfukové plyny, ale chemicky na ně působí. Účinnost katalyzátoru závisí na hodnotě směšovacího poměru. U bohatých směsí dochází k účinné redukci emisí NO_x , zatímco přeměna emisí CO a HC neprobíhá efektivně. U chudých směsí je tomu přesně naopak. Emise CO_2 nelze pomocí katalyzátorů ovlivňovat. Katalytický konvertor se skládá z nosného tělesa obsahujícího aktivní katalytickou vrstvu a nerezového plechového obalu. Aktivní katalytická vrstva je nejčastěji v podobě vrstvy ušlechtilých kovů (např. platiny, paladia, rhodia). Tyto kovy působí na procházející výfukové plyny a urychlují jejich rozklad na neškodlivé látky. Optimální provozní teplota leží v intervalu $250 - 800\text{ }^\circ\text{C}$. Než se dosáhne teploty $250\text{ }^\circ\text{C}$, katalyzátor je neúčinný. Při nižších teplotách dochází k zanášení katalyzátoru, při teplotách vyšší naopak k termickému stárnutí. Z toho důvodu bylo třeba najít kompromis pro umístění katalyzátoru ve výfukovém potrubí. V současnosti se katalyzátory umísťují dále od motoru, aby nedocházelo k jejich termickému stárnutí. Do doby, než dosáhnou pracovní teploty, jsou vyhřívány externím zdrojem (např. elektricky). [6][7][9]

Oxidační katalyzátor

Jedná se o nejstarší typ katalyzátoru používaný už od roku 1975. Jeho princip je založen na oxidaci oxidu uhelnatého a uhlovodíků na oxid uhličitý a vodní páru. U motorů využívajících princip vstřikování paliva se kyslík potřebný k oxidaci získává většinou navýšením

směšovacího poměru a tím ochuzení směsi. U motorů s karburátory je před katalyzátor dodáván sekundární vzduch prostřednictvím čerpadla nebo samonasávacího ventilu. [6]

Dvoulůžkový katalyzátor

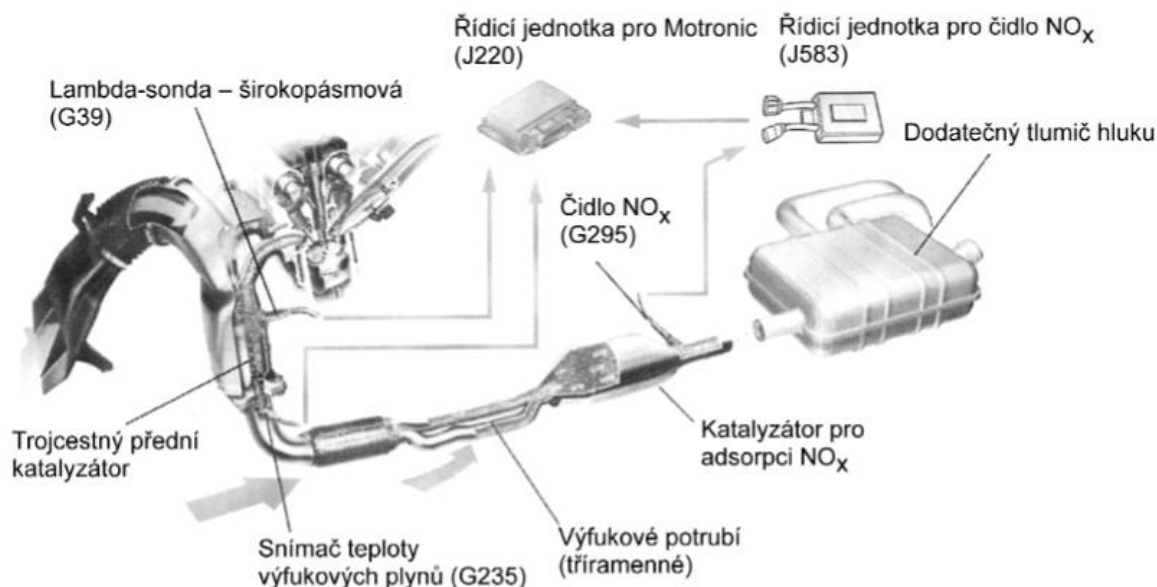
Tohoto typu se využívá u motorů spalujících bohaté nebo stechiometrické směsi. Jedná se o složení dvou katalyzátorů řazených za sebou. V prvním katalyzátoru dochází k redukci emisí NO_x na dusík a vodní páry, v druhém pak k oxidaci CO a HC (viz Oxidační katalyzátor). Při spalování mírně bohatých směsí se dosahuje zvýšené účinnosti redukce NO_x . Aby byla zajištěna i správná funkčnost oxidačního katalyzátoru, je před něj z důvodu nedostatku kyslíku přiváděn sekundární vzduch. [9]

Třícestný katalyzátor

Dnes nejpoužívanějším typem je třícestný katalyzátor. Jedná se o konstrukční řešení, které spojuje redukční i oxidační katalyzátoru do jediného pouzdra. Před katalyzátorem se v potrubí nachází lambda sonda, pomocí které je přesně určována hodnota poměru λ . Velmi přesná regulace směšovacího poměru je při použití tohoto katalyzátoru klíčovým bodem pro správnou funkci. Při hodnotě $\lambda = 1,0 \pm 3 \%$ jsou totiž zneškodňovány všechny 3 hlavní škodlivé složky emisí. [6][9]

Sběrný (zásobníkový) katalyzátor

U motorů s přímým vstřikováním paliva se využívá tohoto druhu katalyzátoru. Při spalování chudých směsí vzniká takové složení emisí, které není běžný katalyzátor schopný odstranit. V režimu provozu s chudou směsí ukládá pomocí oxidů baria oxidy dusíku za vzniku bariumnitrátů. Z důvodu omezené kapacity je třeba katalyzátor každých 30 – 60 sekund regenerovat. To proběhne změnou provozu do režimu s bohatou směsí po dobu 1 – 2 sekund. Nastane okamžité navýšení emisí CO, které reagují s bariumnitráty za vzniku dusíku a oxidu uhličitého. Maximální ukládací schopnost sběrný katalyzátor vykazuje za teplot 300 – 400 °C, čehož je dosaženo umístěním dále od motoru, za třícestný katalyzátor. [6][7]



Obr. 21 Výfukový systém VW Lupo FSI [32]

4.3.3 FILTRY PEVNÝCH ČÁSTIC

Tato zařízení používaná u automobilů poháněných zážehovými motory fungují na stejném principu jako filtry pevných částic pro automobily se vznětovým motorem. Jedná se o keramickou vložku instalovanou do výfukového potrubí. Tato vložka má velmi jemnou strukturu, která kombinuje množství průchozích a neprůchozích kanálků. Díky těmto kanálkům jsou ve filtru zachytávány pevné částice (PM). Pokud senzor diferenčních tlaků, měřící proud výfukových plynů před a za filtrem, zjistí, že je filtr do jisté míry zanesen a může být ovlivněna jeho funkčnost, musí se filtr regenerovat. K tomu dochází vypalováním. U vznětových motorů toto bývá častým problémem, který by se dle výrobců u filtru pro zážehový motor neměl objevit. Zážehový motor totiž pracuje s vyšší teplotou a produkuje více zahřáté spaliny. Pokud k zanesení filtru přesto dojde, zejména díky krátkým jízdám bez zahřátého motoru, princip vypalování je opačný, než je tomu u filtrů pro vznětové motory. Pro regeneraci DPF je třeba zvýšit dávku paliva, abychom zvýšili teplotu spalin, což může mít za následek ředění nafty olejem. Pro regeneraci GPF naopak dojde k ochuzení směsi, čímž se zvýší pracovní teplota motoru. Umístění filtru pevných částic pro zážehové motory pak může být provedeno ve dvou variantách. Jedna z nich je jeho umístění na začátek horizontální části výfukového potrubí pod autem. Toto uspořádání využívají např. nové generace Fordu Focus a Kia Ceed. Častější variantou je pak umístění co nejblíže motoru, tedy do svislé polohy za výfukové svody a turbodmychadlo. Takto umístěný filtr je ve společném obalu s katalyzátorem a nahrazuje tak oxidační katalyzátor. Tato varianta se pak označuje cGPF. Její výhodou je rychlý ohřev na provozní teplotu. Toto provedení najdeme např. u vozů Škoda Fabia 1,0 TSI. [33]



Obr. 22 Filtr pevných částic [34]

4.3.4 KONCEPCE SPALOVÁNÍ CHUDÝCH SMĚSÍ

Používání katalyzátorů a filtrů pevných částic se považuje za opatření externí neboli regulaci emisí „za motorem“. Protikladem jsou opatření interní, z nichž je u GDI motorů nejvýznamnější řízení složení směsi pomocí směšovacího poměru. Do 70. let 20. století se v motorech spalovala převážně bohatá směs, čímž se dosahovalo vysokého výkonu a dobrých jízdních vlastností. Stále přísnější emisní limity však donutily výrobce automobilů začít používat systémy spalující

chudší směsi paliva. Došlo tak k poklesu spotřeby paliva a emisí HC a CO. Negativem byl však nárůst emisí NO_x. Postupná optimalizace spalovacího procesu vedla ke koncepci spalování chudých směsí, kdy se za současného použití katalyzátoru dosahuje nízkých koncentrací všech jedovatých složek výfukových plynů a nízké spotřeby paliva. [6]



4.3.5 OSTATNÍ


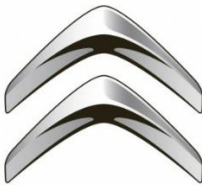
Jedním z parametrů ovlivňující zejména emise HC je tvar spalovacího prostoru, kdy je z tohoto hlediska výhodné využívat spalovací prostory s malým povrchem. Díky vznikuvší intenzivní turbulenci je snižován nárok na oktanové číslo. Při současném užití vyššího kompresního poměru je pak dosaženo snazší realizace koncepce motoru spalující chudé směsi. Dalšími opatřeními ke snížení hodnoty emisí jsou např. poloha zapalovací svíčky nebo optimální časování ventilů při daných otáčkách. Nepřímé ovlivnění koncentrace škodlivých látek lze dosáhnout při snížené potřebě výkonu motoru a snížené spotřebě paliva, což lze dosáhnout snížením tření válců nebo snížením výkonu potřebného pro pohon vedlejších zařízení, jako alternátor nebo ventilátor. [6]




5 POHONNÉ JEDNOTKY S PŘÍMÝM VSTŘÍKEM BENZÍNU




Následující tabulka obsahuje porovnání přímovstříkových zážehových motorů z hlediska maximálního dosažitelného výkonu a točivého momentu při daných otáčkách. Porovnání motorů z hlediska průměrné spotřeby paliva a tím ovlivněného množství emisí CO₂ je komplikované, jelikož tyto hodnoty jsou ovlivněny i typem vozu, do kterého je motor aplikován, např. z důvodu rozdílných hmotností vozů. U motorů nabízených s automatickou i manuální převodovkou byly do tabulky zapisovány pouze varianty s manuální převodovkou. Automatické převodovky napomáhají k nižší spotřebě a tím i nižším emisím, nicméně nijak neovlivní výkonnostní parametry motoru udávané výrobcem.





Tab. 2 Porovnání pohonných jednotek s přímým vstřikem benzínu [35]




Název motoru	Zdvihový objem [cm ³]	Výkon/otáčky [kW]/[min ⁻¹]	Točivý moment/otáčky [Nm]/[min ⁻¹]	Počet válců
AUDI				
				
30 TFSI	999	85/5000	200/3500	3
35 TFSI	1395	110/5000	250/3500	4
35 TFSI	1984	110/3900	270/1350	4
35 TFSI CoD	1498	110/5000	250/3500	4
40 TFSI	1984	140/4200	320/1500	4
45 TFSI	1984	180/5000	370/1600	4
55 TFSI	2995	250/5000	500/1370	6
60 TFSI	3996	338/5500	660/1850	8
2.0 TFSI	1984	221/5300	400/2000	4
2.5 TFSI	2480	294/5850	480/1700	5
2.9 TFSI	2894	331/5700	600/1900	6
4.0 TFSI	3996	441/6000	800/2050	8
5.2 FSI	5204	456/8000	580/6600	10
BENTLEY				
				
V8	3996	404/6000	770/1960	8


W12	5980	467/5000	900/1500	12
BMW 				
16i	1499	80/4300	190/1380	3
18i	1499	103/4600	220/1480	3
20i	1998	141/5000	280/1350	4
25i	1998	170/5000	350/1450	4
30i	1998	185/5200	350/1450	4
35i	1998	225/5000	450/1750	4
40i	2998	275/5500	500/1850	6
50i	4395	390/5500	750/1800	8
M	2993	353/6250	600/2600	6
M Competition	2993	375/6250	600/2600	6
M2	2979	331/6250	550/2350	6
M2 Competition	2979	302/5230	550/2350	6
M4	2979	318/6250	550/2350	6
M4 Competition	2979	331/5550	550/2350	6
M5	4395	441/5600	750/1800	8
M5 Competition	4395	460/6000	750/1800	8
CITROËN 				
1.2 PureTech 100k	1198	75/5500	205/1750	3
1.2 PureTech 110	1198	81/5500	205/1500	3
1.2 PureTech 130	1198	96/5500	230/1750	3
1.2 PureTech 155k	1198	115/5500	240/1750	3
1.6 PureTech 180	1598	133/5500	300/1900	4
1.6 PureTech 225	1598	165/5500	300/2750	4





DACIA				
				
TCe 66 kW/90 k	875	66/5000	140/2250	3
TCe 74 kW/100 k	999	74/5000	160/2750	3
TCe 96 kW/130 k	1248	96/5000	240/1600	4
TCe 110 kW/150 k	1248	110/5250	250/1700	4
FERRARI				
				
3.9	3902	530/8000	770/3250	8
3.9	3855	441/7500	760/3000	8
6.3	6262	507/8000	697/5750	12
6.5	6496	588/8500	718/8500	12
FORD				
				
1.0 EcoBoost	998	73/6000	170/1400	3
1.0 EcoBoost	998	92/6000	170/1400	3
1.5 EcoBoost	1499	88/4000	240/1600	4
1.5 EcoBoost	1497	110/6000	240/1600	4
1.5 EcoBoost	1497	134/6000	240/1600	4
1.5 EcoBoost	1497	147/6000	290/1600	3
2.3 EcoBoost	2261	206/5500	420/3000	4
5.0 Ti-VCT V8 GT	4951	330/7000	529/4600	8
5.0 Ti-VCT V8	5038	338/7000	529/7000	8
3.5	3497	475/6250	746/5900	6



HONDA				
				
1.0 VTEC TURBO	998	95/5500	200/2250	3
1.5 i-VTEC	1498	96/6600	155/4600	4
1.5 VTEC TURBO	1498	127/5600	220/1900	4
1.5 VTEC TURBO	1498	134/5500	240/1900	4
1.5 VTEC TURBO	1498	142/5600	243/2000	4
2.0 VTEC TURBO	1996	235/6500	400/2500	4
3.5	3493	427/6500	646/2000	6
HYUNDAI				
				
T-GDI 100	998	74/4500	172/1500	3
T-GDI 120	998	88/6000	172/1500	3
T-GDI 140	1353	103/6000	242/1500	4
T-GDI 250	1998	184/6000	353/1750	4
T-GDI 275	1998	202/6000	353/1750	4
1.6 T-GDI 4x2	1591	130/5500	265/1500	4
1.6 GDI 4x2	1591	97/6300	161/4850	4
2.4 GDI	2359	136/6000	241/4000	4
INFINITI				
				
1.6t	1595	90/5000	200/1250	4
2.0t	1991	155/5500	350/1200	4
3.0t	2997	298/6400	475/1600	6




JAGUAR				
				
P200	1997	147/5500	320/1200	4
P250	1998	183/5500	365/1200	4
P300	1998	221/5500	400/1200	4
P450	5000	331/6000	580/2500	8
25t	1997	184/5500	165/1200	4
30t	1997	221/5500	400/1500	4
SVR	5000	405/6500	680/4500	8
R	5000	423/6500	700/3500	8
JEEP				
				
1.4L MULTIAIR	1368	103/5000	230/1750	4
2.0 T-GDI	1991	200/5250	400/3000	4
KIA				
				
1.6 T-GDI GPF	1591	150/5500	265/1500	4
2.0 T-GDI GPF	1998	175/6000	353/1400	4
2.0 T-GDI	1998	188/6200	353/1400	4
3.3 T-GDI V6	3342	272/6000	510/1300	6
LAND ROVER				
				
P400	2996	294/5500	550/2000	6
2.0 l R4 Turbo	1998	184/5500	365/1200	4
2.0 l R4 Twin Turbo	1998	221/5500	400/1500	4


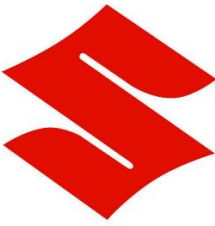


3.0l I6 Turbo	2996	294/5500	550/2000	6
5.0 l V8 Kompresor	5000	386/6000	625/2500	8
5.0 l V8 Komp. SVR	5000	432/6000	700/3500	8
LEXUS				
				
5	4969	341/7100	520/4800	8
500	4969	351/7100	540/4800	8
MASERATI				
				
3	2979	257/5750	500/4500	6
3	2979	316/5750	580/4500	6
4	3799	390/6500	650/2000	8
MAZDA				
				
Skyactiv-G121	1998	89/6000	207/2800	4
Skyactiv-G122	1998	90/6000	213/4000	4
Skyactiv-G132	1496	97/7000	152/4500	4
Skyactiv-G145	1998	107/6000	213/4000	4
Skyactiv-G150	1998	110/6000	207/2800	4
Skyactiv-G150 Plus	1998	110/6000	213/4000	4
Skyactiv-G165	1998	121/6000	213/4000	4
Skyactiv-G184	1998	135/7000	205/4000	4
Skyactiv-G194	2488	143/6000	258/4000	4



Skyactiv-X180 GT	1998	132/6000	224/3000	4
MERCEDES-BENZ				
				
160	1332	80/5500	180/1375	4
180	1332	100/5500	200/1460	4
200	1332	120/5500	250/1620	4
220	1991	140/5500	300/1800	4
250	1991	165/5500	350/1800	4
300	1991	190/5800	370/1800	4
350	1991	220/5500	400/3000	4
400	2996	245/5250	480/1600	6
450	2996	270/5500	500/1800	6
500	2987	320/5900	520/1800	6
560	3982	345/5250	700/2000	8
580	3982	360/5500	700/1200	8
600	5980	390/4900	830/1900	12
650	5980	463/4800	1000/2300	12
35	1991	225/5800	400/3000	4
43	2999	270/5500	500/1800	6
45	1991	285/5800	480/4745	4
45 S	1991	310/5800	500/5000	4
53	2999	320/5500	520/1800	6
63	3982	430/5500	800/2350	8
63 S	3982	470/5500	900/2500	8
S	3982	384/6250	670/1900	8
C	3982	410/5750	680/2100	8
R	3982	430/6250	700/2100	8
4.0 350kW	3892	350/6000	630/1900	8

MINI				
				
MINI ONE	1499	75/3900	190/1350	3
MINI COOPER	1499	100/4500	220/1250	3
MINI COOPER S	1998	141/4700	280/1250	4
MINI J. C. WORKS	1998	170/5200	320/1250	4
MITSUBISHI				
				
1.5 TURBO MIVEC	1499	120/5500	250/1800	4
NISSAN				
				
IG-T 100 MT	999	74/5000	160/2750	3
IG-T 100 XTRONIC	999	74/5000	144/2000	3
DIG-T 117	999	86/5250	180/1750	3
DIG-T 140	1332	103/5000	240/1600	4
DIG-T 160	1332	117/5500	260/1600	4
OPEL				
				
1.2 TURBO	1199	74/5500	205/1750	3
1.2 TURBO	1199	81/5500	205/1500	3

1.2 TURBO	1199	96/5500	230/1750	3
1.4 TURBO	1342	107/5000	236/1500	3
1.5 TURBO	1490	103/5600	250/2000	4
1.5 TURBO	1490	122/5600	250/2000	4
1.6 TURBO	1598	133/5500	250/1750	4
PEUGEOT				
				
1.2 PureTech 75	1199	55/5750	118/2750	3
1.6 PureTech 260	1598	193/6000	340/2100	4
PORSCHE				
				
2.0 220 kW	1988	220/6500	380/2150	4
3.0 243 kW	2995	243/5400	450/1340	6
4.0 309 kW	3995	309/7600	420/5000	6
2	1984	180/5000	370/1600	4
3	2995	250/5300	450/1340	6
4	2981	283/5300	450/1950	6
S	2497	257/6500	420/2100	4
S	2995	260/5400	480/1360	6
S	2981	331/6500	530/2300	6
GTS	2497	269/6500	420/1900	4
GTS	2894	280/5200	520/1750	6
GTS	3996	338/6000	620/1750	8
Turbo	2894	324/5700	550/1800	6
Turbo	3996	404/5750	770/1960	8
GT3 RS	3996	383/8250	470/6000	6

RENAULT				
				
TCe 115 GPF	1330	85/4500	220/1500	4
TCe 140 GPF	1330	103/5000	240/1600	4
TCe 155 EDC GPF	1333	113/5500	270/1800	4
TCe 160 GPF	1332	117/5500	260/1750	4
TCe 225 EDC GPF	1798	165/5200	300/1750	4
TCe 280	1798	205/6000	390/240	4
Trophy 300	1798	221/6000	400/3200	4
ROLLS-ROYCE				
				
6.6 V12	6592	420/5600	780/1400	12
6.6 V12	6592	420/5250	820/1500	12
6.6 V12	6592	442/5250	840/1650	12
6.6 V12	6592	450/5250	840/1650	12
6.6 V12	6592	465/5600	800/1500	12
6.8 V12	6749	420/5000	850/1600	12
6.8 V12	6749	420/5000	900/1700	12
SEAT				
				
2.0 TSI	1984	140/4200	320/1450	4

SSANGYONG				
				
1.5 GDI-T	1498	120/5000	280/1500	4
SUZUKI				
				
1.4 BoosterJet	1373	103/5500	230/2500	4
ŠKODA				
				
1.0 TSI	999	70/5000	16/1800	3
1.0 TSI	999	81/4600	200/2000	3
TOYOTA				
				
1.2T 110	1197	81/5500	205/1750	3
1.2T 130	1197	96/5500	230/1750	3
1.2 Turbo	1197	85/5200	185/1500	4
2.0 D-4S Boxer	1998	147/7000	205/6400	4
2.0 Twin Scroll Turbo	1998	190/6500	400/1550	4
3.0 Twin Scroll Turbo	2998	250/6500	500/1600	6

VOLKSWAGEN				
				
1.0 TSI	999	70/5000	175/2000	3
1.0 TSI	999	85/5000	200/2000	3
1.4 TSI	1395	96/5000	220/1500	4
1.5 TSI	1498	95/5000	200/1400	4
1.5 TSI	1498	110/5000	250/1500	4
2.0 TSI	1984	140/5000	320/1500	4
2.0 TSI	1984	147/4400	320/1500	4
2.0 TSI	1984	180/5000	370/1600	4
2.0 TSI	1984	200/5600	350/2000	4
2.0 TSI	1984	213/5000	380/1950	4
2.0 TSI	1984	221/4200	400/2000	4
3.0 TSI	2995	250/5000	450/1340	6
VOLVO				
				
T2	1477	95/5000	245/1600	3
T3	1477	120/5000	265/1850	3
T4	1969	140/4700	300/1400	4
T5	1969	182/5500	350/1800	4
T6	1969	228/5700	400/2200	4

6 BUDOUCÍ VÝVOJ

Jedním z nových systémů, které hrají významnou roli v současném automobilním průmyslu je systém, se kterým jako první přišla Toyota, a sice D-4S, který kombinuje přímé a nepřímé vstřikování. Podobné technologie začala už používat i skupina Volkswagen (motory 1.8 TFSI a 2.0 TFSI), či automobilky Mitsubishi (motor 1.5 MIVEC) a Ford. Každá společnost pak volí trochu jiné fungování této technologie. U systému Toyoty běží zároveň přímé i nepřímé vstřikování při nízkých a středních otáčkách a zatíženích a až při vyšších zatíženích se nepřímý vstřík vypíná a motor běží pouze s přímým vstřikováním. Naopak Ford zvolil jiný přístup, kdy nepřímé vstřikování funguje nepřetržitě napříč všemi provozu, při volnoběžných a nízkých otáčkách dokonce samo. To má mimo jiné přispět k tichému chodu motoru. Mitsubishi a Volkswagen pak volí opět trochu jinou cestu. Všechny tyto systémy však mají společný cíl, a sice naplnit emisní limity a zvýšit spolehlivost motoru. [36]

Zajímavým konceptem je pak staronový systém představený německou společností Mahle, který nese název Mahle Jet Ignition (MJI). Jejich motor se vyznačuje vstřikováním do předkomůrek, podobně jako tomu bylo u systému Compound Vortex Controlled Combustion, který v 70. letech minulého století vyvinula Honda. Systém společnosti Mahle je však o mnoho jednodušší, již dnes se využívá např. u Formule 1 a má potenciál se prosadit u nových hybridních motorů. U tohoto systému se asi 95 % paliva vstříkuje do sacího potrubí ústícího do spalovací komory, kde je směs následně běžně stlačena pístem. Zbylý podíl paliva je vstříknut do předkomůrky, kde je zapálen jiskrou svíčky. Jakmile směs hoří, je vedena pod tlakem malými otvory ve spodní části předkomůrky do spalovací komory, kde zapaluje hlavní část palivové směsi. Díky tomu je dosaženo rychlejšího, rovnoměrnějšího hoření s vyšším nárůstem tlaku. Využití tohoto systému dovoluje použít vyšší kompresní poměr, díky čemuž dosáhneme nižší spotřeby paliva a tím nižšího obsahu škodlivých látek. [37]

Neposledním důkazem, že přímé vstřikování je výrazně skloňovaným heslem a proniká do zařízení napříč celým spektrem průmyslů, je skutečnost, že se jej využívá i u tak běžných věcí jako jsou motorové pily. Firma Stihl představila novinku MS 500i, která využívá přímého elektronicky řízeného vstřikování. Díky tomu se jedná o pilu s nejlepším poměrem výkon/hmotnost v současnosti. [38]

ZÁVĚR

Evropská unie a jí vydávané emisí normy se v posledních letech staly kamenem úrazu pro spalovací motory obecně. Přestože spalovací motory jsou nedílnou součástí každodenního života mnohých z nás, ať už ve formě pohonné jednotky osobního automobilu, hromadné dopravy nebo jiného dopravního prostředku, zachování čistoty životního prostředí je naprostou prioritou pro budoucnost lidstva. Momentálně se nacházíme ve fázi, kdy je třeba postupně snižovat úroveň obsahu škodlivých látek ve výfukových plynech až do doby, než bude dopravní infrastruktura připravena na plynulý přechod na jiný typ pohonu. Jestli to budou čistě elektrické pohony, o které se v současnosti některé automobilky snaží, nebo bude vyvinuta jiná forma, je otázkou budoucnosti. Jisté je však to, že pro současnou situaci, ve které se spalovací motory nachází, je přímé vstřikování skvělým nástrojem.

Velmi přesné řízení vstřiku umožňuje citelné snížení spotřeby paliva, a tak nižší emise CO₂. Kromě tohoto značného benefitu má však přímý vstřik i množství negativ. Prvním z negativ je bezesporu cena palivového systému. Dalším bodem jsou specifické součásti nacházející se ve výfukovém systému, ať už se jedná o katalyzátory odbourávající zvýšený obsah oxidů dusíku, nebo o dnes již povinné filtry pevných částic. Všechny takovéto součásti znamenají navýšení ceny automobilu, ceny údržby, a stávají se případnými problematickými poruchovými místy. Pevné částice vznikají v motoru při nedokonalém rozprášení paliva a jsou karcinogenní. Při dnes velmi používané recirkulaci spalin pak zanášejí sací potrubí a sedla ventilů. Tento problém řeší právě nové systémy kombinující přímý a nepřímý vstřik, kdy palivo vstřikované do sacího potrubí má zároveň i čistící funkci.

Jednou z cest, jak v budoucnu snížit emise způsobené provozem automobilu na nulu, jsou elektromobily. To, že jsou elektromobily stále oblíbenější, dokazuje fakt, že se automobil Tesla Model 3 stal nejprodávanějším automobilem v Kalifornii v prvním kvartále roku 2020 a v současnosti je nejprodávanějším vozem Spojeného království. I přesto mým názorem je, že přechod na plnou elektrifikaci bude mnohem více plynulý. Současná infrastruktura není na plnou elektrifikaci připravena a tento přerod bude ještě několik let trvat. Dočasnou alternativou mohou být hybridní pohony, které spousta automobilek vyvíjí. Právě hybridní pohony budou dle mého názoru využívat přímého vstřikování ještě dlouhou dobu. [17][18]

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ČERMÁK, Ladislav. Vstřikování benzínu: Historie stará 112 let. In: *Auto.cz* [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2014 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/vstrikovani-benzinu-historie-stara-112-let-82693>
- [2] Gasoline direct injection. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Gasoline_direct_injection
- [3] Hesselman engine. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Hesselman_engine
- [4] VLK, František. Přímé vstřikování benzínu. *Soudní inženýrství* [online]. 2004, **15**(1), 1-5 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-01-67-71.pdf>
- [5] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2003. ISBN 80-238-8756-4.
- [6] VLK, František. *Příslušenství vozidlových motorů*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2002. ISBN 80-238-8755-6.
- [7] HROMÁDKO, Jan, Jiří HROMÁDKO, Vladimír HÖNIG a Petr MILER. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických škol*. Praha: Grada Publishing, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [8] Mitsubishi Galant. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Mitsubishi_Galant
- [9] FERENC, Bohumil. *Spalovací motory: karburátory a vstřikování paliva*. Brno: Computer Press, 2006. ISBN 80-251-0207-6.
- [10] Petrol Piezo Injector. *Autoditex.com* [online]. Varna, Bulgaria: Auto DITEX BG, 2016 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://autoditex.com/page/petrol-piezo-injector-52-1.html>
- [11] PEKÁREK, Stanislav. *Technologie oprav 1* [online]. Nový Jičín: Střední škola technická a zemědělská, Nový Jičín, 2015 [cit. 2020-06-09]. ISBN 978-80-88058-23-6. Dostupné z: http://www.tznj.cz/uploads/ucebnice_top1/files/15.html
- [12] Electric Fuel Pump. *Aa1car.com* [online]. Westmont, Illinois: aa1car, 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://www.aa1car.com/library/fuel_pump.htm
- [13] *Provision trade, s.r.o.* [online]. Jihlava: PROVISIONTRADE, 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <http://www.provisiontrade.cz/37-palivove-filtry.html>
- [14] *C-Filter* [online]. Brno: C-FILTER FILTRY, [2019] [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.filtr-filtr.cz/palivove-filtry>

- [15] Výměna palivového filtru. In: *No limit racing* [online]. Hluboká nad Vltavou: NLR, 2017 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <http://nlracing.cz/blog/2017/01/24/vymena-palivoveho-filtru/>
- [16] Palivový filtr. In: *Solaris Baltic* [online]. Vilnius: Solaris Baltic, [2020] [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <http://www.solarisbaltic.lt/spare-parts-shop/filters/?lang=en>
- [17] SCHMIDT, Bridie. Tesla beats Toyota and Honda as Model 3 becomes top selling car in California. In: *The Driven* [online]. Melbourne: The Driven, 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://thedriven.io/2020/06/04/tesla-beats-toyota-and-honda-as-model-3-becomes-top-selling-car-in-california/>
- [18] PAGE, Felix. Tesla Model 3 is April's best-selling new car in UK. In: *Autocar* [online]. Twickenham: Haymarket media group, 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.autocar.co.uk/car-news/industry/tesla-model-3-aprils-best-selling-new-car-uk>
- [19] EU CO2 emission standards for passenger cars and light commercial vehicles. In: *The international council on clean transportation* [online]. Washington DC: International council on clean transportation, 2014 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate_EU-95gram_jan2014.pdf
- [20] Motorsport components: Fuel pumps. In: *T.I. Performance* [online]. Australia: T.I. Performance, 2006 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.tiperformance.com.au/wp-content/uploads/2017/08/Bosch-Fuel-Pumps.pdf>
- [21] Technical training: Product information. In: *Bimmerpost.com* [online]. Unterschleißheim: Bayerische Motorenwerke Aktiengesellschaft, 2018 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKUwIhr6mf1TpAhWKM-wKHSVuBMMQFjANegQIARAB&url=https%3A%2F%2F30.bimmerpost.com%2Fforums%2Fattachment.php%3Fattachmentid%3D2019409%26d%3D1553708460&usg=AOvVaw0HyyJgaj-Q7eRMedZkZP_q
- [22] European emission standards. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards#Obligatory_vehicle_CO2_emission_limits
- [23] *High-pressure injector – solenoid valve* [online]. Gerlingen-Schillerhöhe: Robert Bosch, 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/gasoline-direct-injection/high-pressure-injector/>
- [24] ÇELİK, Mustafa Bahattin a Bülent ÖZDALYAN. Gasoline direct injection. In: *Semantic Scholar* [online]. Karabük: Karabük University, 2010 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/X-Gasoline-direct-injection-%C3%87elik-%C3%96zdalyan/9a9a9842a121fbc03996cfa38e95bd23260f1822>

- [25] FALLAH, Saber. *Electric and Hybrid Vehicles – Technologies, Modeling and Control: A Mechatronic Approach* [online]. Hoboken, New Jersey: Wiley-Blackwell, 2014 [cit. 2020-06-09]. ISBN 978-1-118-34151-3. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/260878177_Electric_and_Hybrid_Vehicles_-_Technologies_Modeling_and_Control_A_Mechatronic_Approach
- [26] PARDIÑAS, José a Raimón FEIJÓ. *Systemas auxiliares del motor*. Madrid: Editex, 2018. ISBN 978-84-9161-068-7.
- [27] PFISTER, Christophe. *Increasing the delivery pressure of high-pressure gasoline pumps for direct injection engines by the use of ceramic components* [online]. Karlsruhe, 2013 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://d-nb.info/1038729807/34>. Dizertační práce. Karlsruher Institut für Technologie. Vedoucí práce Ulrich Spicher.
- [28] JANCO, Marcel. Tlakový zásobník – rail, regulátor tlaku, snímač tlaku a teploty klukového a vačkového hriadela. *Autorubik* [online]. Považská Bystrica: Autorubik, 2012 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/clanky/tlakovy-zasobnik-rail-regulator-tlaku-snimac-tlaku-a-teploty-klukoveho-a-vackoveho-hriadela/>
- [29] Emission curves. In: *Teach engineering* [online]. Colorado: Regents of the University of Colorado, 2013 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://www.teachengineering.org/activities/view/cub_airquality_lesson01_activity2
- [30] SAJDL, Jan. Lambda sonda řez. In: *Autolexicon* [online]. autolexicon.net, 2011 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/lambda-sonda/>
- [31] Oxygen sensor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Oxygen_sensor
- [32] Výfukový systém VW Lupo FSI. In: *SŠ automobilní, Ústí nad Orlicí* [online]. Ústí nad Orlicí: AutoEXPERT, 2006 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2017/09/Spalovaci_motory_9.pdf
- [33] VAVERKA, Lukáš. Filtr pevných částic mají už skoro všechna benzínová auta. Bát se ho ale nemusíte. In: *Autobible.cz* [online]. Praha: Mladá fronta, 2019 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/filtr-pevnych-castic-maji-uz-skoro-vsechna-benzinova-auta-bat-se-nemusite/>
- [34] DUSIL, Tomáš. Filtr pevných částic. In: *Auto.cz* [online]. CZECH NEWS CENTER, 2018 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/vsechno-co-potrebujete-vedet-o-casticovych-filtrech-pro-zazehove-motory-cim-se-lisi-od-filtru-pro-diesely-124295>
- [35] *Autohled* [online]. Praha: Autohled group, 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.autohled.cz/vyrobcu>
- [36] DUSIL, Tomáš. Přímé vs. nepřímé vstřikování benzínu: Modernější technologie nemusí být vždy lepší. In: *Auto.cz* [online]. CZECH NEWS CENTER: Praha, 2018 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/prime-vs-nepriime-vstrikovani-benzinu-modernejši-technologie-nemusi-byt-vzdy-lepsi-121703>

- [37] Návrat předkomůrek: Inovativní motor Mahle se hodí pro F1 i pro hybridy. In: *Autobible.cz* [online]. Praha: Mladá fronta, 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/navrat-predkomurek-inovativni-motor-mahle-se-hodi-pro-f1-i-pro-hybridy/>
- [38] *První pila budoucnosti: Technologie přímého elektronického vstříkávání je u motorových pil realitou.* [online]. Modřice: Andreas STIHL, 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.mujsihl.cz/blog/prvni-pila-budoucnosti-technologie-primeho-elektronickeho-vstrikovani-je-u-motorovych-pil-realitou/>
- [39] HALDERMAN, James. Fuel rail. In: *Slideplayer* [online]. London: Pearson automotive, 2011 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://slideplayer.com/slide/8596711/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AMC		American Motors Company
CFI		Central Fuel Injection
cGPF		Coated Gasoline Particulate Filter
CO		Oxid uhelnatý
CO ₂		Oxid uhličitý
DIG-T		Direct Injection Gasoline Turbo-charged
DPF		Diesel Particulate Filter
FSI		Fuel Stratified Injection
GDI		Gasoline Direct Injection
GPF		Gasoline Particulate Filter
GTS		Gran Turismo Sport
H ₂ O		Voda
HC		Uhlovodíky
HDEV		Hochdruckeinspritzventil
HDP		Hochdruckpumpe
HNO ₃		Kyselina dusičná
JTS		Jet-Thrust Stoichiometric
MIVEC		Mitsubishi Innovative Valve Timing Electronic Control
MJI		Mahle Jet Injection
MPI		Mult Point Injection
N ₂		Dusík
N ₂ O		Oxid dusný
NMHC		Těkavé látky
NO		Oxid dusnatý
NO ₂		Oxid dusičitý
NO _x		Oxidy dusíku
O ₂		Kyslík
PM		Pevné částice
PN		Počet pevných částic
PROCO		Programmed Combustion
RDE		Real driving emissions
SVR		Special Vehicle Racing
TCe		Turbo Control Efficiency
TFSI		Turbo Fuel Stratified Injection
T-GDI		Turbocharged Gasoline Direct Injection
THC		Celkový obsah uhlovodíků
TiO ₂		Oxid titaničitý
Ti-VCT		Twin Independent Variable Cam Timing
TSI		Twincharged stratified injection
VTEC		Variable Valve Timing and Lift Electronic Control
WLTP		Worldwide harmonized light-duty vehicle test procedure
ZrO ₂		Oxid zirkoničitý
M	[Nm]	Točivý moment
n	[min ⁻¹]	Otáčky
P	[W]	Výkon
λ	[-]	Součinitel přebytku vzduchu