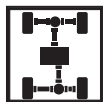




**Automobil
od A do Z**



Servis



Podvozek



**Organizace
práce**



Motor



**Systémy
a příslušenství**



**Bezpečnost
a hygiena práce**



Geometrie



**Nářadí
a vybavení dílen**



**Paliva
a maziva**



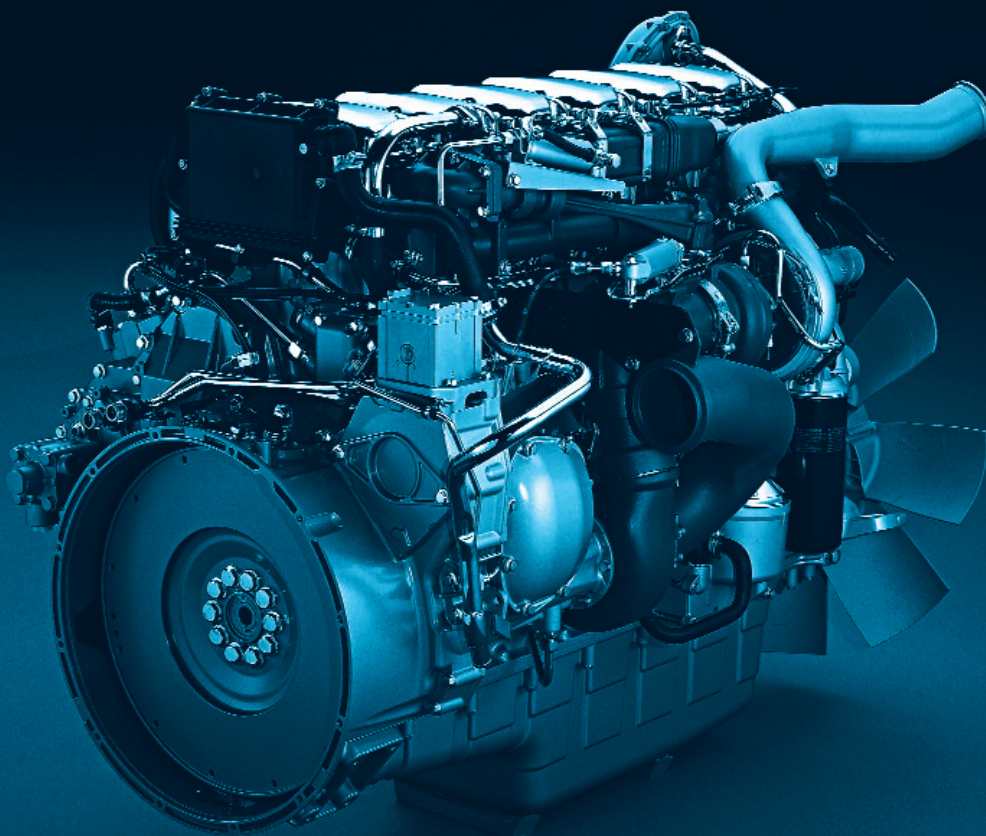
**Diagnostika
a měření**



**Elektr. zařízení,
elektronika**

Praktická dílna

Tvorba směsi a spalování ve vznětových motorech



Tvorba směsi a spalování ve vznětových motorech

U vznětových motorů se palivo vstřikuje teprve na konci komprese pomocí vysokotlakého vstřikovacího systému pod vysokým tlakem (až 205 MPa = 2050 barů) jemně rozptýlené vstřikovací tryskou ve dvou až třech stupních do spalovacího prostoru, ve kterém je vzduch ohřátý na teplotu 500 až 900 °C. Okamžik vstřiku přitom závisí na otáčkách a zatížení. Při plném zatížení a vysokých otáčkách leží asi 20 až 35° otáčky klikové hřídele před horní úvratí a při volnoběhu téměř u horní úvratí. Po odpaření menších dávek paliva (1,5 až 2 mm³) vstříknutých v prvním, resp. druhém stupni a jejich smícháním s nasávaným vzduchem (během prodlevy vznícení) dojde k samozápalu (vzplanutí). Následující větší dávka paliva se pak ve druhém, resp. třetím stupni vstřikuje už do vznícené směsi a vzplane bez zpoždění.

Posunutím doby vstřiku paliva (při plném zatížení o více než 20° otáčky klikové hřídele) a s pomocí rovnoměrnějšího přívodu paliva je spalování regulováno tak, aby se spalovací (vznětový) tlak nezvyšoval nárazově (obr. 1) a nejvyšší tlak těsně za horní úvratí se krátkodobě udržel na téměř stejné hodnotě (spalování s přibližně stejným tlakem). Tento vysoký spalovací, resp. vznětový tlak (8 až 16 MPa = 80

až 160 barů) působí na píst a pohání směrem do dolní úvratí.

Prodleva vznícení

Prodleva vznícení při normálním spalování

Doba mezi začátkem vstřiku (začátek přpravy směsi) a začátkem spalování (začátek vznícení) se nazývá prodleva vznícení (obr. 1). K této prodlevě dochází,

když vznícení malého množství paliva vstříknutého v prvním stupni nenastává okamžitě. Než se vytvoří zápalná směs, musí dojít k jeho ohřátí, odpaření a nakonec k jeho smíchání se vzduchem ve spalovacím prostoru. Tato prodleva vznícení při normálních podmínkách, tzn. u motoru zahřátého na pracovní teplotu, je asi 1 ms. Její hodnota závisí hlavně na:

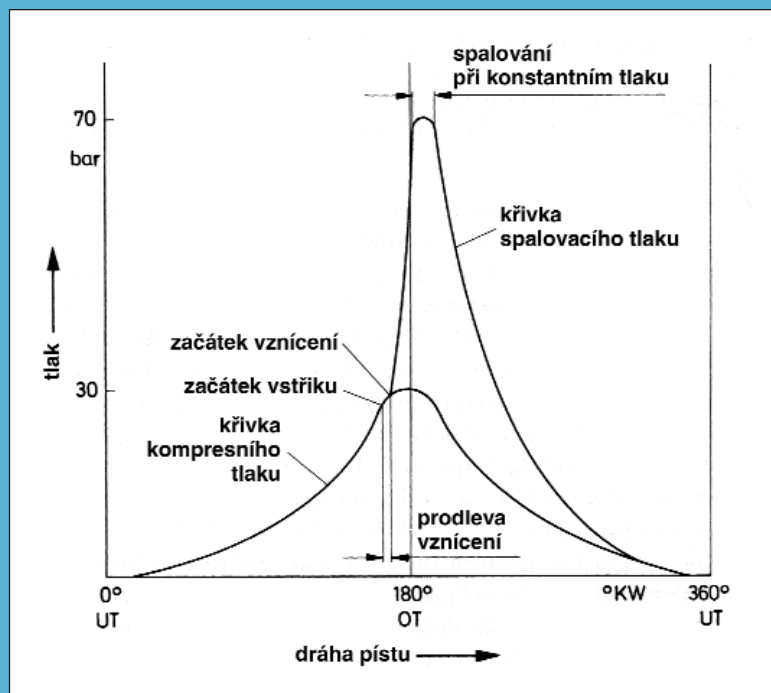
- reaktivitě (vznětlivosti) paliva (cetanové číslo);
- teplotě na konci komprese;
- okamžiku vstřiku;
- aktuálním stavu zatížení motoru.

Prodleva vznícení při detonačním, resp. klepajícím spalování

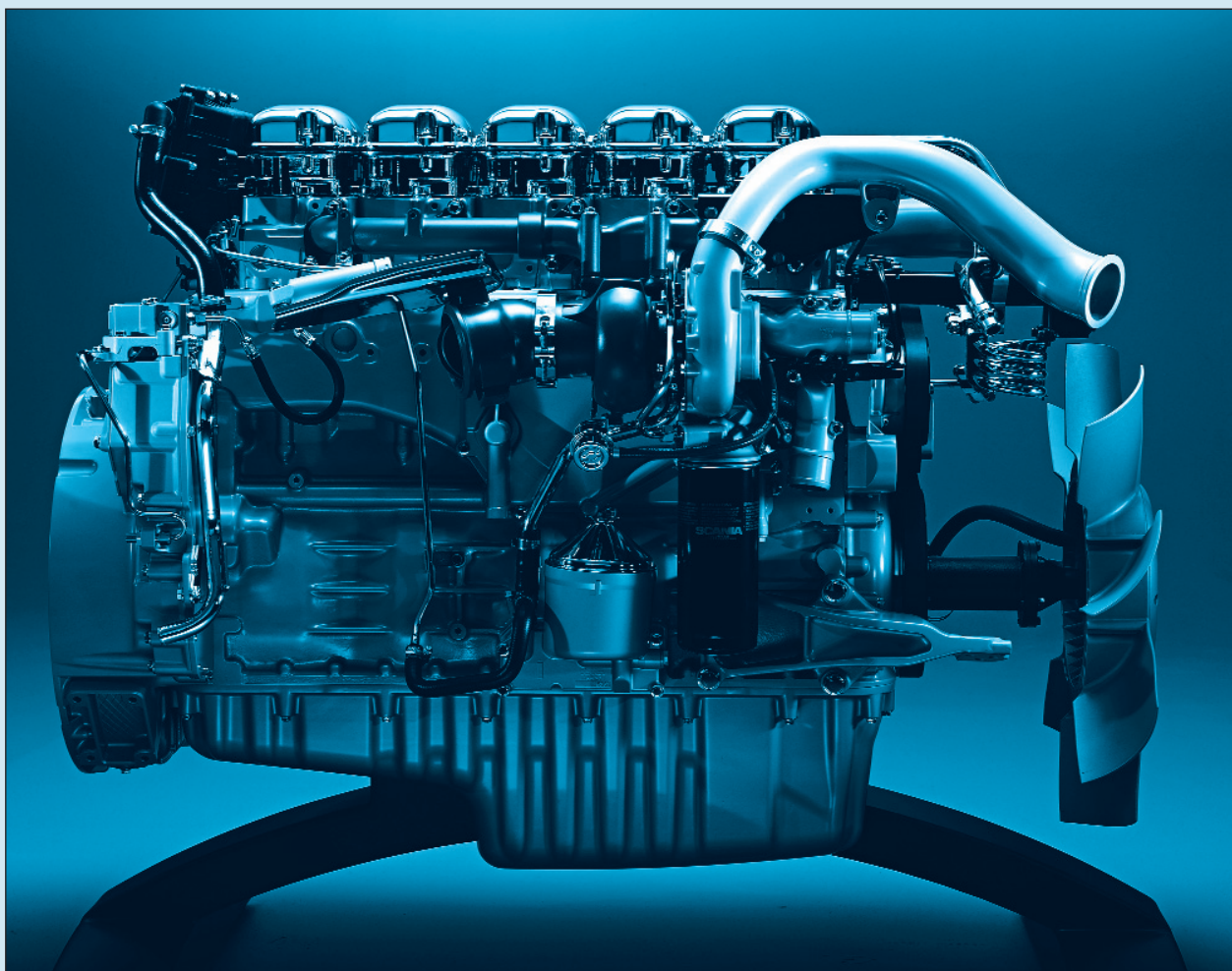
Ke spalování spojenému s detonacemi, resp. klepáním dochází vždy, když se prodleva vznícení zvětší více než na 2 ms v důsledku:

- nízké teploty motoru;
- příliš časného vstřiku paliva;
- nedostatečného rozptýlení paliva vstřikovacími tryskami (jehly trysek, resp. injektorů zůstávají viset);
- nízké komprese (kvůli zadírání pístů nebo prohnutí ojnice);
- použití paliva s nízkým cetanovým číslem s malou reaktivitou (např. nafty bez dostatečného množství zvyšovače cetanového čísla (aditiva) nebo příliš dlouho skladovaná).

Při delší prodlevě vznícení a pokračujícím vstřikování se ve spalovacím prostoru před dosažením podmínek pro



Obr. 1. Pracovní diagram P – V pro kompresi a spalování ve vznětovém motoru



vznícení nahromadí větší množství paliva. Až do tohoto okamžiku nahromaděné palivo se pak náhle spálí s prudkým zvýšením spalovacího tlaku. Čím delší je prodleva vznícení, tzn. čím větší je množství paliva nahromaděného ve spalovacím prostoru, tím je toto zvýšení tlaku větší a spalování tak probíhá 10- až 12krát rychleji než normálně (normální střední rychlost spalování je 25 až 30 ms).

Nejvyšší spalovací tlak (tlak při vznícení) se přitom může zvýšit výrazně nad normální hodnotu (8 až 16 MPa) a píst i klikový mechanismus jsou tak vystaveny velmi vysokému namáhání. Hluk, který se tímto spalováním vyvolává, se nazývá klepání vznětového motoru.

K tvrdému klepání dochází vždy, když se velké tlakové vlny vyvolávané nesprávným spalováním nadměrnou rychlostí srážejí navzájem nebo tyto tla-

kové vlny narážejí na stěny spalovacího prostoru.

Naproti tomu se tlumené klepání vyskytuje tehdy, když tlakové kmity rozkmitají celý klikový pohon.

Následkem detonačního spalování může dojít:

- k vylomení části pístu mezi dvěma drážkami pístních kroužků;
- k poškození těsnění hlavy válců;
- ke zničení ložisek klikového pohonu.

Výfukové plyny vznětových motorů a snížení obsahu škodlivin ve výfukových plynech

Složení výfukových plynů

Výfukové plyny vznětových motorů obsahují neškodné a škodlivé látky.

K těm neškodným patří: dusík (N_2), oxid uhličitý (CO_2), kyslík (O_2), vodní pára (H_2O) a inertní plyny.

Ke škodlivým se řadí: oxid uhelnatý (CO), uhlovodíky (HC), oxidy dusíku

(NO_x), oxid siřičitý (SO_2) a saze ve formě malých pevných částic.

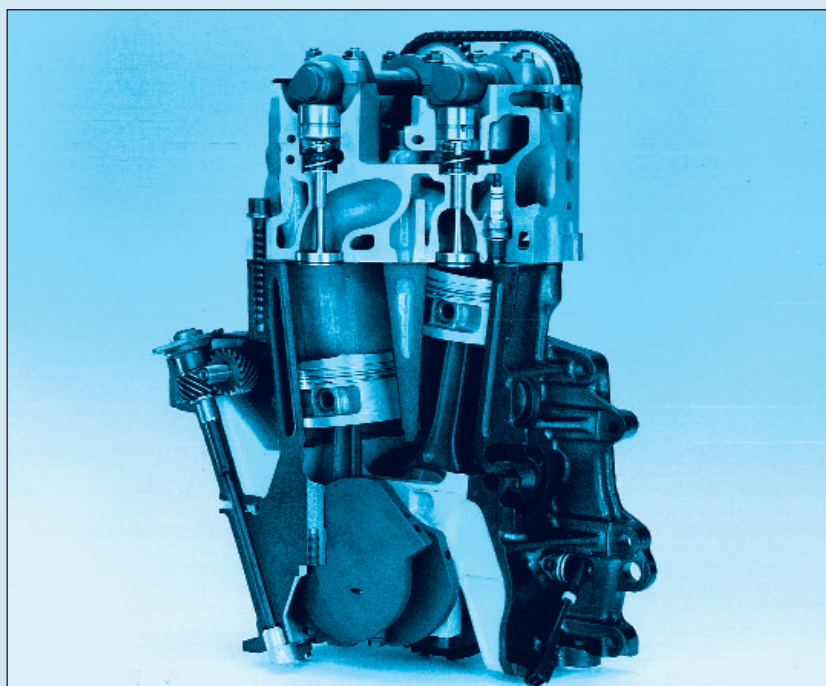
Neškodný oxid uhličitý (CO_2) vzniká v motoru při spalování uhlíku (C) obsaženého ve fosilních palivech a kyslíku z nasávaného vzduchu (O_2). Množství oxidu uhličitého slouží jako měřítko kvality spalování motoru. Je-li ve výfukových plynech podíl oxidu uhličitého

vysoký, pak musí být nutně nízký podíl škodlivého oxidu uhelnatého.

Vznik škodlivých látek

Vznětový motor v zásadě pracuje s přebytkem vzduchu, při volnoběhu je to přibližně 400 až 500 % (což odpovídá $\lambda = 5$ až 6) a při plném zatížení stále ještě 20

až 50 % ($\lambda = 1,2$ až $1,5$). I přes vysoký přebytek vzduchu může vznikat dost škodlivých látek, neboť u konvenčních motorů bez vysokotlakého vstřikování se ve spalovacím prostoru v důsledku tvoření směsi vytvářejí během fáze vstřikování, resp. v průběhu spalování rozdílné koncentrace paliva, resp. různé poměry palivo – vzduch. To znamená, že ve fázi vstřikování může být v některých místech spalovacího prostoru přebytek vzduchu, v jiných pak naopak jeho nedostatek. V oblastech s větším přebytkem vzduchu, např. na vnějších okrajích paprsku paliva, se malé kapičky paliva úplně vypaří a téměř úplně spálí, takže vznikají jen malá množství oxidu uhelnatého a uhlovodíků. Naproti tomu ve středu vstřikovaného paprsku je vzduchu nedostatek. To znamená, že se kapičky paliva neodpařují ani nespálují úplně. V důsledku vysoké teploty, vysokého tlaku a nedostatku kyslíku se normální molekuly paliva s dlouhými řetězci štěpí (trhají) na molekuly s krátkými řetězci. Protože ty pak reagují, tzn. rozpadají se na uhlík a vodík mnohem pomaleji než normální molekuly paliva, zpomaluje se výrazně i rychlost spalování. To jde až tak daleko, že na konci spalování zůstává už jen málo reaktivní uhlík. Pokud se k němu ve zbývajícím krátkém čase nepodaří dodat dostatek kyslíku, nedojde už k jeho



spálení a tento uhlík pak opouští spalovací prostor ve formě částic sazí. U dnešního tzv. vysokotlakého vstřikování se snahou o vytváření homogenní směsi se těmito nežádoucím procesům ve spalovacím prostoru zabráňuje.

Filtry pevných částic

Pevné částice (saze) ve výfukových plynech jsou v jádru tvořeny čistým uhlí-

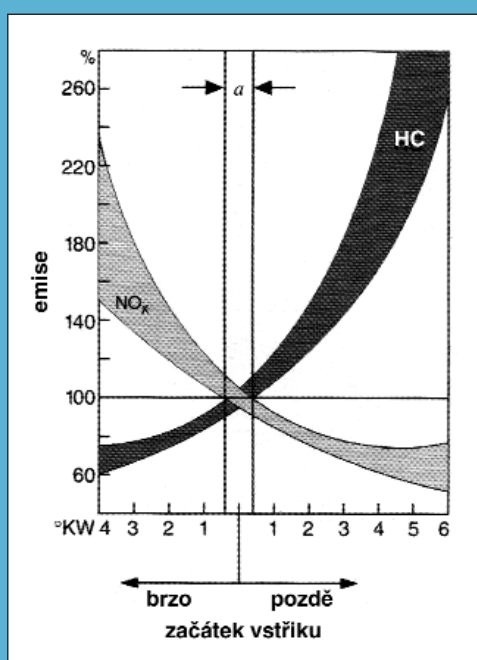
kem (C). Na těchto jádrech sazí se usazují sloučeniny aromatických uhlovodíků, oxidy kovů, voda ze spalování a malé množství síry ve formě síranů (solí kyseliny sírové). Z hlediska zdraví se saze z čistého uhlíku považují za nezávadné, zatímco na nich usazené aromatické uhlovodíky mají rakovinotvorné účinky.

Snižování obsahu škodlivin

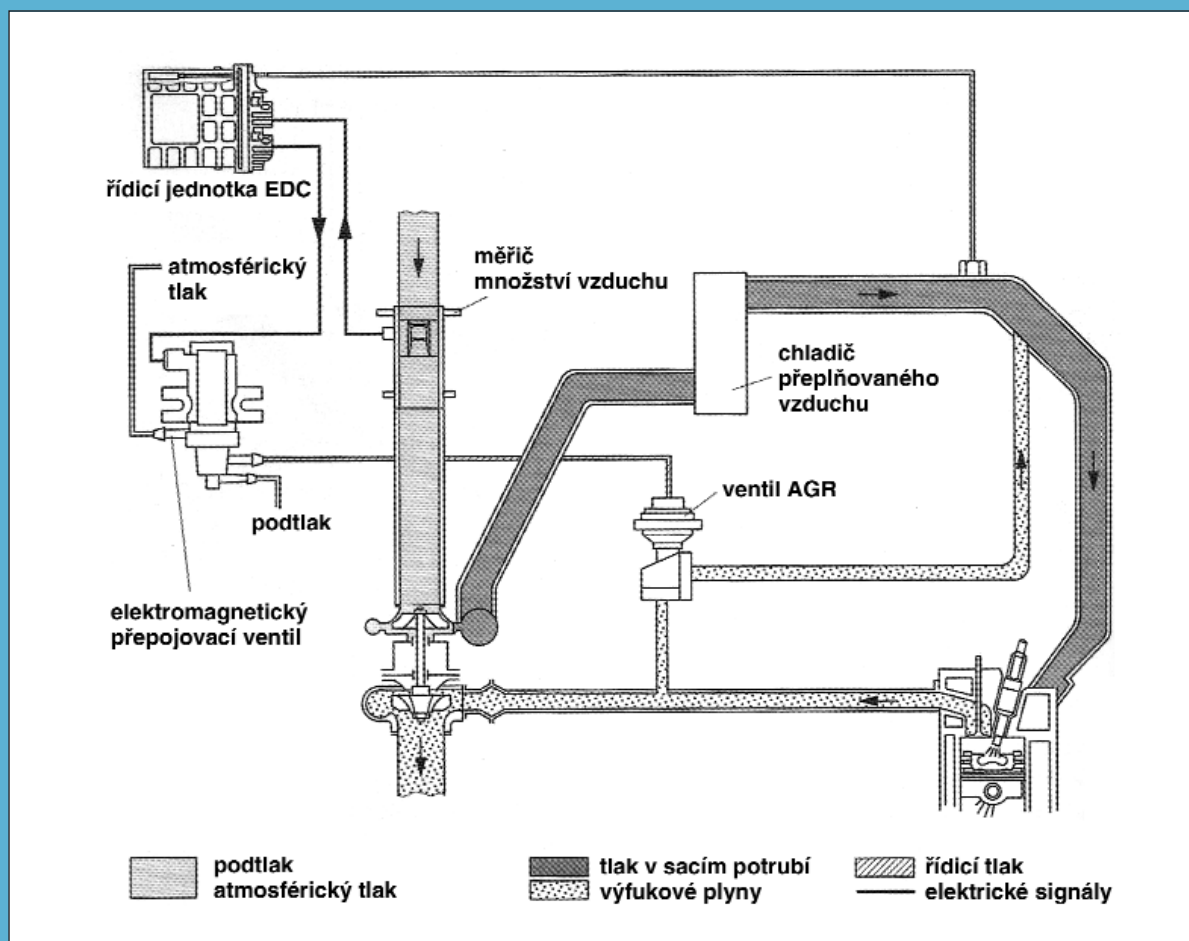
Podíl škodlivin a složení výfukových plynů vznětových motorů je možné ovlivnit několika způsoby:

- tvarováním spalovacího prostoru;
- pečlivým nastavením průběhu proudění vzduchu (vřivý pohyb) ve spalovacím prostoru, jehož cílem je tvoření homogenní směsi a využitím turbodmychadel;
- použitím vysokotlakých vstřikovacích systémů se vstřikovacími tlaky až 205 MPa (2050 barů);
- recirkulací výfukových plynů;
- používáním paliva neobsahujícího síru.

Velký vliv na tvorbu škodlivin a jejich množství má nastavení počátku vstřiku, doba jeho trvání a rozprášení (atomizace) paliva. Počátek vstřiku určuje – v závislosti na prodlevě vznícení – začátek spalování. Pozdější počátek vstřiku například ve výfukových plynech snižuje podíl NO_x .



Obr. 2.
Vliv počátku vstřiku
na emise oxidů dusíku
a uhlovodíků (Bosch)



Obr. 3. Řídící jednotka EDC s recirkulací (zpětným přiváděním) výfukových plynů (Audi)

Avšak příliš pozděný počátek vstřiku zase zvyšuje podíl HC a spotřebu paliva (obr. 2). Doba vstřiku se tak musí upravit podle poměrů ve spalovacím prostoru tak, aby se na stupeň úhlu otočení klikové hřídele vstříkovalo jenom takové množství paliva, které odpovídá plnému zatížení, a které se také v takto krátké době může smísit se vzduchem. To vyžaduje ještě přebytek vzduchu minimálně 20 až 50 % ($\lambda = 1,2$ až $1,5$), protože jinak se příliš zvýší podíl pevných částic. Snížení podílu pevných částic se u nové generace vznětových motorů dosahuje pomocí vysokotlakého vstřikování. Vysoký vstřikovací tlak umožňuje velmi dobré rozptýlení paliva v nasávaném vzduchu a jeho jemné rozprašení ve spalovacím prostoru, takže se kapičky paliva okamžitě odpařují a vznikají jen těžko zaznamatelné drobné pevné částice.

Na podíl škodlivin ve výfukových plynech má rozhodující vliv i kvalita pali-

va. Podíl škodlivin je možné snížit přidáním přísad (aditiv) do nafty. Přísada přidávaná pro zrychlení vznícení upravuje cetanové číslo a tím i chemické zpoždění vznícení, které má zase vliv na vytváření NO_x . Snížením obsahu síry z dřívějších 0,15 na 0,05 hmotnostních procent se snížilo vylučování oxidu siřičitého. Protože se síra jako sírany usazuje na pevných částicích (sazích), snížilo se tím i vylučování těchto částic asi o 15 hmotnostních procent.

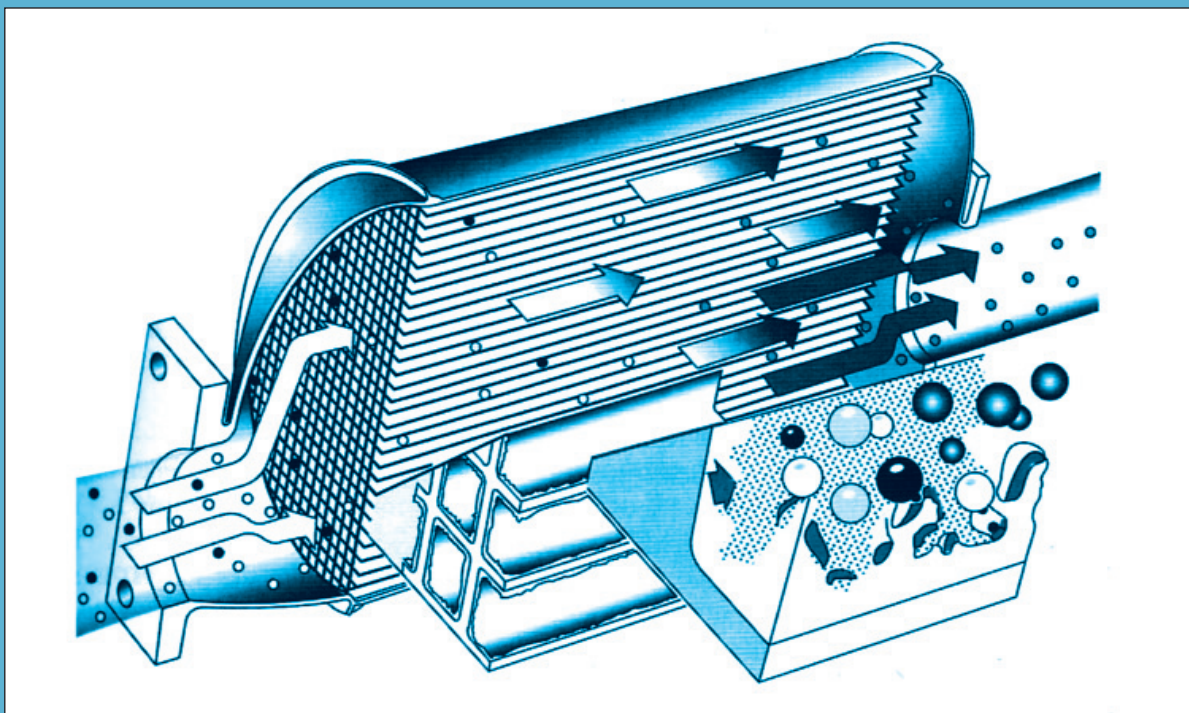
Recirkulace výfukových plynů u vznětových motorů

Recirkulace (zpětné přivádění) výfukových plynů (obr. 3) je opatření, kterým se někdy při volnoběhu a vždy v oblasti částečného zatížení motoru zmenšuje tvorba oxidů dusíku (NO_x) a tím i přízemního ozónu (O_3). K tvorbě oxidu dusíku ve větším množství dochází, pokud

spalování probíhá s přebytkem vzduchu a dále i v různých místech spalovacího prostoru s příliš vysokou teplotou až 2500°C . Přitom se kyslík váže s dusíkem ze vzduchu pro spalování na oxid dusný, resp. oxid dusičitý (souhrnně nazývané jako NO_x).

Recirkulace výfukových plynů je u vznětových motorů pro osobní automobily žádoucí, protože ty při neúplném zatížení pracují s obzvláště velkým přebytkem vzduchu. Využitím zpětně přiváděných výfukových plynů, které se chovají jako netečný (inertní) plyn a připojují se k čerstvému vzduchu, se dosahuje:

- snížení podílu kyslíku a dusíku ve válci o cca 20 až 60 %;
- snížení nejvyšší teploty spalování z asi 2500°C na cca 2000°C . Tento účinek se ještě zvýší, když se zpětně přiváděné plyny před přivedením do systému čerstvého vzduchu ještě ochladí.



Obr. 4. Konstrukce katalyzátoru (VW, Audi)

Snížení obsahu škodlivin ve výfukových plynech

Katalyzátor pro úpravu výfukových plynů vznětových motorů: U vznětových motorů se mohou používat jenom jed-

nocestné oxidační katalyzátory (obr. 4). Redukce, která probíhá u katalyzátorů pro úpravu spalín zážehových motorů, není při neustálém přebytku vzduchu možná. Přebytek vzduchu činí při volnoběhu přibližně 400 až 500 % (odpo-

vídá $\lambda = 5$ až 6) a při plném zatížení je to stále ještě 50 % (odpovídá $\lambda = 1,5$). V důsledku takového přebytku vzduchu může vznikat jenom škodlivý oxid uhelnatý (CO) a nespálené uhlovodíky (HC) budou oxidovat.



Konstrukce oxidačního katalyzátoru

Katalyzátor je uložen v pouzdře z nere-zové oceli a skládá se z nosného tělesa (keramický nosič), mezivrstvy, katalyticky aktivní vrstvy a tlumicí vložky.

Nosné těleso (keramický nosič)

Nosné těleso (keramický nosič) je tvořeno kruhovým nebo oválným keramickým tělesem (monolitem) s voštinovou strukturou. Těleso je zhotoveno ze silikátu hořečnatohlinitého s malou tepelnou roztažností a vysokou žáruvzdorností. Jeho teplota tavení je vyšší než 1400 °C.

Mezivrstva

Mezivrstva slouží ke zvětšení plochy a tvoří ji oxid hlinitý s takzvanými promotory



(transportéry). Tyto promotory zesilují katalytický účinek ušlechtilého kovu.

Katalyticky aktivní vrstva

Tato vrstva je mikroskopicky jemně nanášená na mezivrstvu a u vznětového katalyzátoru je složena pouze z platiny.

Funkce a chemické reakce

Vznětový katalyzátor musí zoxidovat škodlivý oxid uhelnatý (CO) a nespálené uhlovodíky (HC), hlavně však jejich rozpustné sloučeniny, které se usazují na pevných částicích (sazích), na oxid uhličitý (CO₂) a vodní páru (H₂O). Přeměna oxidu uhelnatého na oxid uhličitý začíná už při teplotě katalyzátoru asi 175 °C. O něco později – asi při 235 °C – následuje i přeměna nespálených uhlovodíků (HC) na oxid uhelnatý (CO) a vodní páru (H₂O). Při teplotě 235 °C dosahuje účinnost katalyzátoru vznětového motoru téměř 80 %.

Porucha katalyzátoru (zanesení)

U starších automobilů se porucha katalyzátoru (zanesení) projevuje snížením výkonu. Příčinou je silné zanesení monolitu sazemi. K tomuto usazování pevných částic (sazí) dochází, když je automobil provozován pouze na krátké vzdálenosti bez občasného plného zatížení nebo při používání méně kvalitního paliva (nafty), které je náchylné k tvorbě sazí. V důsled-

ku vysokého průtokového odporu monolitu se pak nepřipustně zvyšuje tlak působící proti proudu výfukových plynů, takže jejich velká část zbývá ve válci motoru. Zkoušení katalyzátoru se provádí měřením tlaku působícího proti proudu výfukových plynů mezi kolenem výfukového potrubí a katalyzátorem. Ten by při volnoběhu neměl být vyšší než 30 kPa (300 mbar) a při plném zatížení by se neměl zvýšit nad 45 kPa (450 mbar).

Filtr pevných částic

Pevné částice sazí ve výfukových plynech vznětových motorů lze zachycovat pouze pomocí filtru pevných částic. Ve vývoji je nyní několik systémů – např. vinuté keramické filtry nebo monolitické keramické filtry. Vinuté keramické filtry se zatím používají jen ojediněle u vozidel veřejné dopravy a vysokozdvížných vozíků, zatímco monolitické keramické filtry jsou vzhledem ke svým menším rozměrům vhodné spíše pro osobní automobily.

Konstrukce a funkce filtru pevných částic

Jako příklad zde poslouží vinutý keramický filtr. Ten se skládá z ocelových trubek s provrtanými stěnami, na jedné straně uzavřenými (obr. 5). Tyto ocelové trubky jsou obousměrně ovíny keramickými vlákny. Výfukové plyny proudí touto keramickou vložkou a do-

stávají se vyvrtanými otvory v ocelových trubkách na druhý konec filtru. Částice se zachycují na hrubých keramických vláknech. Nový filtr dosahuje účinnosti asi 90 %, regenerovaný (nezanesený) ještě 60 %.

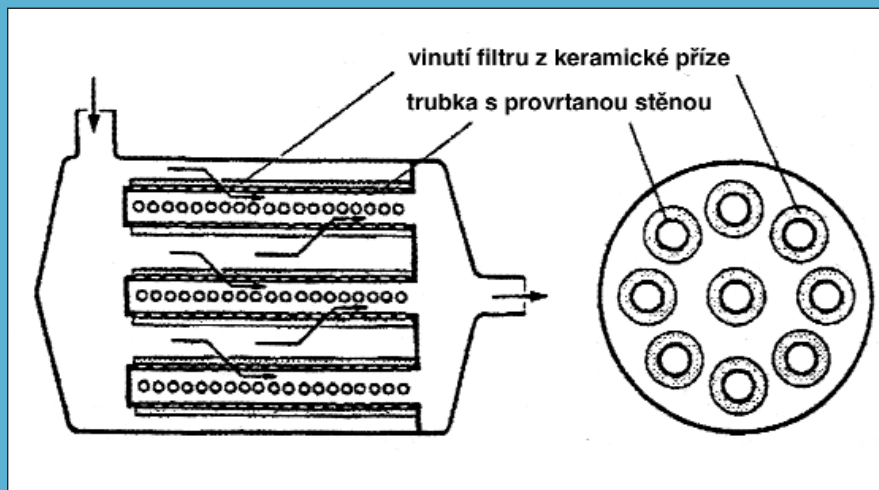
Regenerace filtrů pevných částic

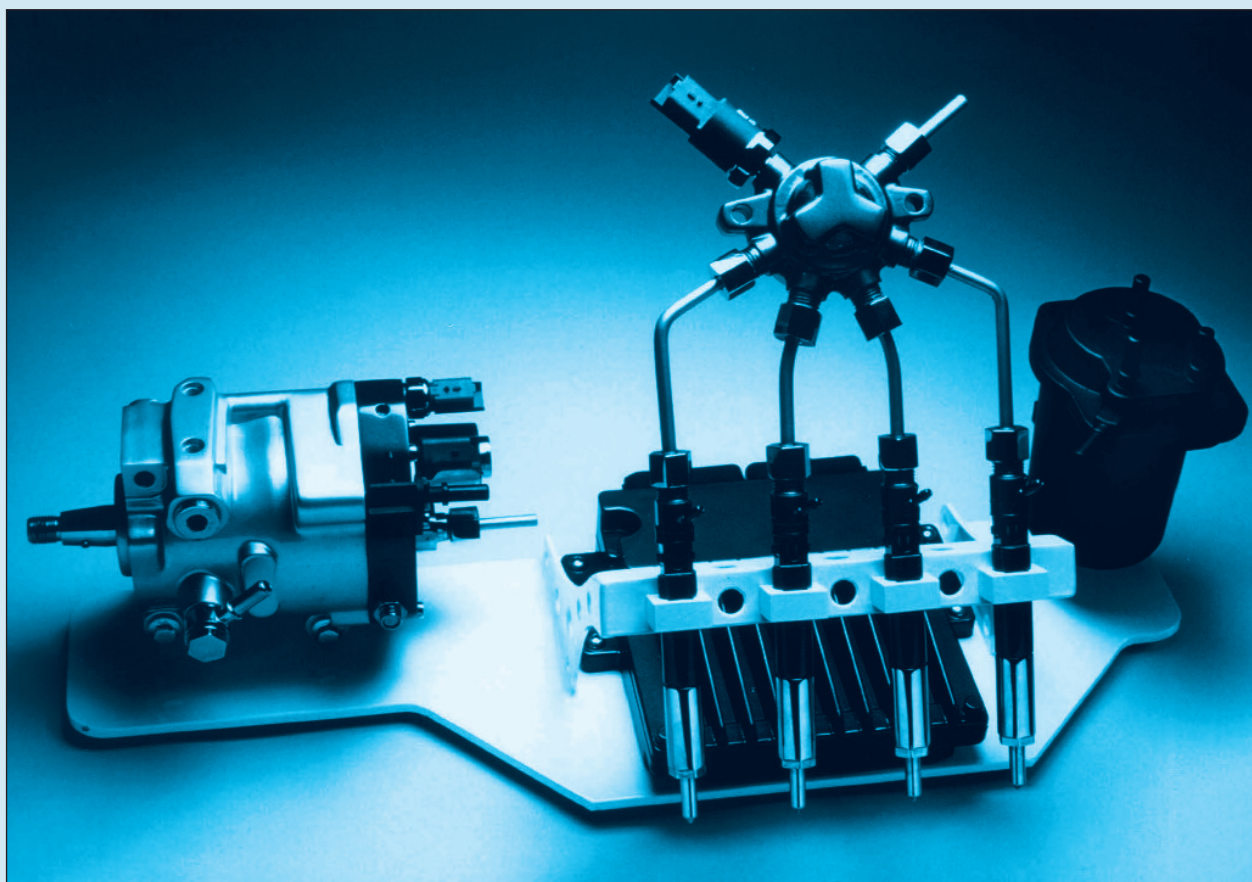
Aby si tyto filtry neustále uchovávaly plnou funkčnost, musí se v určitých časových intervalech regenerovat. S přibývajícím zanášením filtru totiž stoupá odpor proti proudění výfukových plynů ve výfuku. Pokud se tento protitlak zvýší příliš, zůstává ve válci velké množství výfukových plynů. Motor tak nasává méně čerstvého vzduchu a jeho výkon se snižuje. Proto se musí po překročení určité hodnoty protitlaku ve výfukovém potrubí sazné částice usazené ve filtru spálit. Protože saze se spálí až při teplotě vyšší než 550 °C, jíž však výfukové plyny dosahují jen při plném výkonu, musí se pro regeneraci filtrů využívat chemických nebo termických procesů.

Chemický proces regenerace

U tohoto postupu se v průběhu fáze regenerace, která se při běžném provozu spouští přibližně každých 400 až 500 km, do výfukového zařízení před filtr pevných částic vstříkne např. oxidační činidlo obsahující železo. Tato pří-

Obr. 5.
Konstrukce vinutého
keramického částicového
filtru (Mercedes-Benz)





sada se naváže na částice sazí jako obal. K jejímu zapálení pak stačí teplota asi 450 °C až 550 °C (v závislosti na přebytku kyslíku) a částice sazí se přitom spálí. Protože teplota výfukových plynů při neúplném zatížení činí jen něco nad 250 °C, musí se zvýšit záměrným dodatečným vstříknutím paliva.

Toto dodatečné vstříknutí malého množství paliva probíhá při výfuku spalín z válce motoru. Protože se toto malá přesně odměřená dávka paliva dostává do výfukového potrubí, zapálí se v oxidačním katalyzátoru. Dodatečné vstříkování paliva je momentálně možné jen u motorů se vstřikovacím systémem

Common Rail. Zbytky po tomto spálení zůstávají ve filtru, než se v intervalech od 50 000 do 80 000 km v rámci pravidelné prohlídky odstraní ve speciální pračce.

Termický proces regenerace

U termického postupu regenerace se zapálí hořák připojený k filtru pevných částic, který ohřeje výfukové plyny na teplotu vyšší než 600 °C. Aby bylo možné toto spalování uskutečnit, je přidán ještě stlačený vzduch. V závislosti na konstrukci dochází k tomuto spalování v pří-

padě, že motor je v klidu nebo v chodu. U větších motorů, pro použití na delší vzdálenosti, bývají namontovány dva filtry pevných částic, které se termicky regenerují střídavě.

Mezní hodnoty obsahu škodlivin ve výfukových plynech vznětových motorů

Pro automobily vybavené vznětovými motory s až šesti místy a maximálním celkovým zatížením do 2,5 t platí ve všech členských státech EU tyto normy pro mezní hodnoty výfukových plynů:

Stupně podle zákona	Předepsáno	Mezní hodnoty v g/km			
		CO	HC + NO _x	NO	částice
Euro III	od 1. 1. 2000	0,64	0,56	0,5	0,05
Euro IV	od 1. 1. 2005	0,5	0,3	0,25	0,025



Způsoby vstřikování nafty

Vstřikování nafty u vznětových motorů se rozlišuje na přímé vstřikování s neděleným spalovacím prostorem a přímé vstřikování s děleným spalovacím prostorem. Přímé vstřikování (DI) se používá u všech vznětových motorů pro užitkové a novější osobní automobily, zatímco motory starších osobních automobilů jsou ještě vybaveny nepřímým vstřikováním (IDI) s předkomůrkou nebo vířivou komůrkou.

Přímé vstřikování (DI)

Vznětové motory s přímým vstřikováním paliva mají v porovnání s motory s předkomůrkou velkou výhodu, kterou je ekonomičtější provoz. Jejich spotřeba paliva je asi o 15 až 20 % nižší, což je možné vysvětlit nižší tepelnou ztrátou v důsledku menšího celkového povrchu spalovacího prostoru. Jejich nevýhoda poněkud tvrdšího hluku spalování se kompenzuje menší dávkou předvstřiku (asi 1,5 až 2,0 mm³ se vstřikem ve stupních nebo pilotním vstřikem), čímž tyto motory dosahují nižší úrovně hlučnosti, jako u motorů s předkomůrkou, resp. s vířivou komůrkou.

Spalovací prostor je u těchto motorů nedělený a vytváří jej ploché nebo tvarované dno pístu. Pohyb vzduchu v tomto spalovacím prostoru se většinou vyvolává vířivým kanálem (uloženým tangenciálně kolem sacího ventilu a je často podporován turbodmychadlem (obr. 6). I při tomto víření vzduchu však hlavní díl přípravy směsi připadá vstřikovací trysce s větším počtem otvorů. Vysokotlaké vstřikovací zařízení dodává palivo tryskou s více (4 až 8) vstřikovacími otvory do spalovacího prostoru.

Princip funkce

Vstřikování paliva začíná při kompresním zdvihu krátce před horní úvratí. Přitom se palivo pod vysokým tlakem vstřikuje do nasávaného vzduchu, rozpráší se v něm a po prodlevě vznícení vzplane. Vstřikovací tlak při spouštění motoru a při volnoběhu zůstává na úrovni otevíracího tlaku trysek (19 až 35 MPa = 190 až 350 bar). Při plném zatížení a vysokých

otáčkách se – při naplno otevřené trysce a v důsledku odporu proti proudění ve vstřikovacích otvorech – nastaví vstřikovací tlak mezi 100 až 200 MPa (1000 a 2000 barů). Účinkem takto vysokého tlaku se v důsledku vysoké rychlosti vstříknutého paliva (až 1400 m.s⁻¹), palivo velmi jemně rozpráší a dobře se smísí s nasávaným vzduchem – výhodou je, že se palivo velmi rychle odpaří a výsledkem je nižší podíl pevných částic ve výfukových plynech, tzn. méně sazí, resp. černého kouře.

Pomocné spouštěcí systémy vznětového motoru s přímým vstřikováním

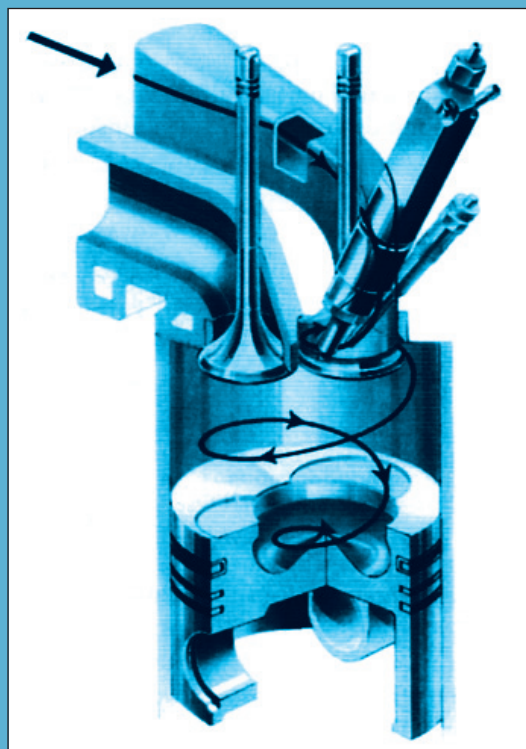
Podpora spouštění se v závislosti na tvaru spalovacího prostoru využívá nejdříve při +9 °C a nejpozději při -15 °C. Dobré spouštění se vysvětluje tak, že dochází k menší ztrátě tepla důsledkem malého celkového povrchu spalovacího prostoru, a vstřikovací tryska navíc vstřikuje do té části spalovacího prostoru, ve kterém vzduch zůstává dostatečně horký k tomu,

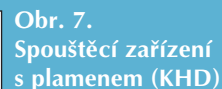
aby mohlo docházet k samovznícení. Jako podpora při spouštění se používají spouštěcí zařízení s plamenem, pilotní spouštěcí zařízení, topné příruby a u motorů s malým objemem i kolíkové žhavicí svíčky.

Spouštěcí zařízení s plamenem

Jeho konstrukce je jednoduchá, např. u motoru do V jsou to dvě kolíkové žhavicí svíčky s plamínkem (obr. 7). Tyto svíčky jsou elektricky propojeny se spínačem zapalování a na straně přívodu paliva s palivovým čerpadlem. Na začátku předžhakování se otevře magnetický ventil a během spouštění palivové čerpadlo – po otevření přetlakového ventilu (0,05 MPa – 0,5 baru) – čerpá naftu přes žhavené kolíky svíček. V hlavním sacím potrubí přitom dochází k hoření nafty, což ohřívá jak nasávaný vzduch, tak i písty motoru. U moderních, elektronicky řízených zařízení se vytváření tohoto plamene – v závislosti na teplotě motoru – zachovává po určitou dobu i na konci

Obr. 6.
Spalovací prostor se vstřikovací tryskou s pěti otvory a kolíkovou žhavicí svíčkou (Audi 1,9 TDI)

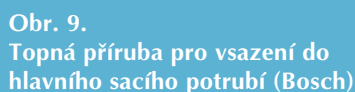




- 1 – klíček zapalování
- 2 – spínač žhavení
- 3 – kontrolka žhavení
- 4 – žhavicí odpor
- 5 – magnetický ventil
- 6 – přetlakový ventil
- 7 – palivové čerpadlo
- 8 – vstříkovací čerpadlo
- 9 – kolíkové žhavicí svíčky
- 10 – vstříkovací trysky
- 11 – předřazený palivový filtr
- 12 – stupňovitý palivový filtr
- 13 – palivová nádrž

 **Bílý, resp. modrý kouř ve výfukových plynech je nespálené palivo, které znovu zkondenzovalo na kapičky různé velikosti. Jsou-li tyto kapičky větší než $1\text{ }\mu\text{m}$, jeví se opticky jako bílý kouř, jsou-li menší než $1\text{ }\mu\text{m}$, je kouř modrý. Rozdíl mezi bílým kouřem a vodní parou se pozná podle toho, že bílý kouř zůstává při zemi, zatímco vodní pára stoupá.**

Toto zařízení (obr. 8) se skládá z palivové nádržky, ruční pumpičky a otevřené trysky. Během spouštění se touto tryskou vstřikuje malé odměřené množství paliva do hlavního sacího potrubí. Toto palivo pro



Topná příruba

vypíná a pak v závislosti na teplotě motoru znovu zapíná, aby se zmenšilo vytváření bílého, resp. modrého kouře.

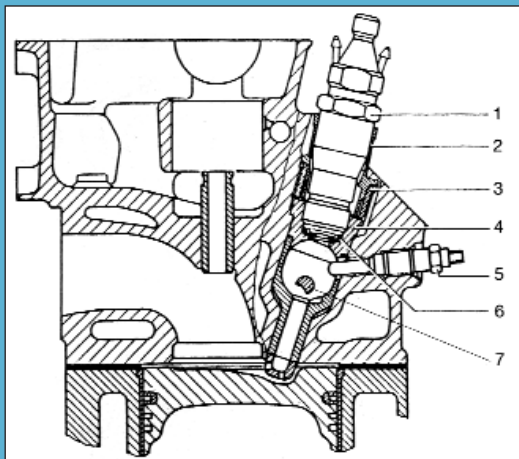
Kolíkové žhavicí svíčky

Žhavicí hroty kolíkových žhavicích svíček jsou umístěny do spalovacího prostoru (viz obr. 6) a během sání a komprese ohřívají nasávaný vzduch natolik, aby na začátku vstřikování mohlo dojít ke snadnějšímu vznícení směsi. Také v tomto případě na konci spouštění, nezávisle na teplotě motoru, znovu následuje žhavení, aby se zmenšilo vytváření bílého nebo modrého kouře a zabránilo tvrdému klepání.



Obr. 10.
Předkomůrka
se šikmým
vstřikováním
(Mercedes-Benz)

- 1 – držák trysky
- 2 – těsnicí objímka
- 3 – závitový kroužek
- 4 – předkomůrka
- 5 – žhavicí svíčka
- 6 – tepelná destička
- 7 – vložka s kuličkou



Nepřímé vstřikování (IDI)

Sem patří postupy spalování využívající předkomůrku nebo vířivou komůrku. Oba postupy se dříve používaly u motorů, u kterých se kladl důraz na malou hlučnost spalování a nízké emise oxidů dusíku (např. u motorů pro osobní automobily a u stacionárních motorů pro pohon generátorů). Spalovací prostor je rozdělený a skládá se z hlavního a vedlejšího spalovacího prostoru. Palivo se vstřikuje (nepřímo) do vedlejšího spalovacího prostoru.

Postup spalování u vznětových motorů s předkomůrkou

Předkomůrka konstrukce Mercedes-Benz (obr. 10) je štíhlý, podlouhlý spalovací prostor, který je umístěn ze strany na horní části hlavy válců a s hlavním spalovacím prostorem je propojen několika poměrně malými otvory (kanálky). Škrticí tryska (tryska s plochým kolíkem) je skloněna o 5° a kulová plocha vložky zploštěna a poněkud pootočená. Kolíková žhavicí svíčka je umístěna z boku a vyčnívá do vedlejšího spalovacího prostoru (předkomůrky).

Princip funkce

V průběhu komprese se asi 25 až 30 % nasávaného vzduchu natlačuje kanálky do předkomůrky a prouděním kolem vložky s kuličkou se uvádí do vířivého pohybu.

Na konci komprese se tryskou s plochým kolíkem vstřikuje do předkomůr-

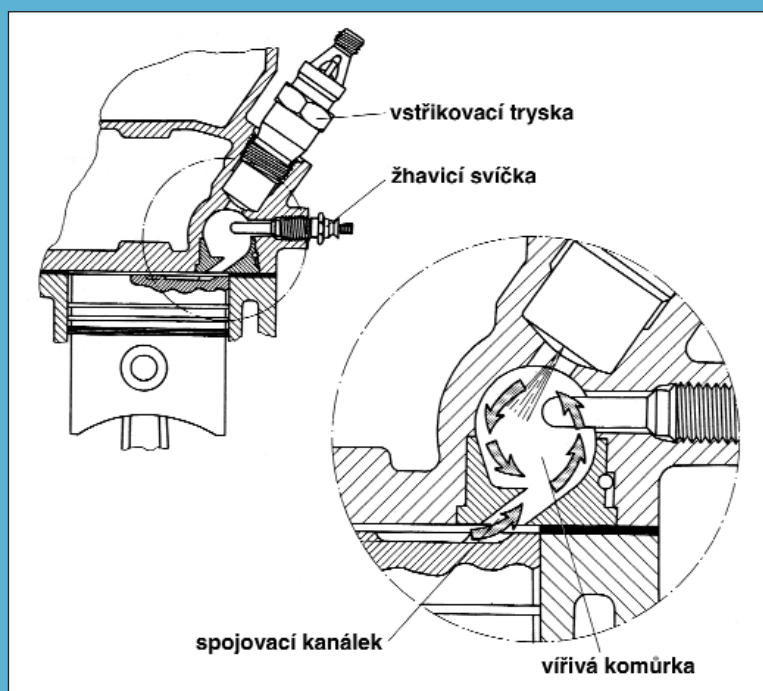
ky palivo – při volnoběhu s otevíracím tlakem trysky mezi 11,5 až 12,5 MPa (115 až 125 barů) a při plném zatížení a vysokých otáčkách asi 50 MPa (500 barů). Šikmo postavená tryska s plochým kolíkem nejprve vstříkne malý tenký první paprsek na vnější okraj kuličky vložky, čímž se urychluje odpaření a zmenšuje se podíl tuhých částic ve výfukových plynech. Toto malé odpařené množství paliva se velmi rychle smísí se vzduchem, takže ke vznícení dojde asi po 1 ms. Následně se vstříkne až dosud zaškrcená hlavní dávka paliva.

Protože množství vzduchu v předkomůrce nedostačuje k úplnému shoření směsi, dochází jenom k částečnému, resp. přípravnému spalování. To však zvýší teplotu a tlak v předkomůrce, čímž se spalování rozšíří do hlavního spalovacího prostoru. Větší nespálená část v plynném stavu se vysokou rychlostí (asi 600 m.s⁻¹) vhání kanálkem do hlavního spalovacího prostoru, rozpráší se a tím udržuje spalování.

Jako podpora při startu se zde používají kolíkové žhavicí svíčky. Ty musí žhavit před a během procesu spouštění – jednak aby se ohříval vzduch v předkomůrce, jednak aby se mohla směs palivo-vzduch na žhaveném kolíku vznítit. U motorů s elektronickým řízením doby žhavení následuje fáze ožhakování. Na konci spouštění se v závislosti na teplotě motoru ještě nějakou dobu žhaví, aby se snížilo tvrdé klepání nezahřátého motoru a vytváření bílého, resp. modrého kouře.

Postup s vířivou komůrkou

Tvar vířivé komory (obr. 11) je kulovitý s větším, tečně umístěným kanálkem do hlavního spalovacího prostoru. Tímto uspořádáním kanálku se při stlačování vyvolává silné víření vzduchu. Kolíková



Obr. 11. Vířivá komůrka Ricardo (V.A.G.)



žhavicí svíčka je umístěna z boku a vyčnívá do vířivé komůrky.

Princip funkce

Na konci komprese dochází ke vstřiku paliva škrticí tryskou do vířivé komůr-

ky, při volnoběhu s otvíracím tlakem trysky mezi 12,5 až 14 MPa (125 až 140 bar) a při plném zatížení a vysokých otáčkách asi 50 MPa (500 barů). Nejprve se vždy vstříkne předběžný paprsek, který rychle spustí spalování a prodlení

vznícení udržuje v obvyklých hodnotách (1 ms). Následně se vstříkne hlavní dávka paliva, která byla až dosud škrcena. Další průběh a poměry při spouštění jsou stejné jako u postupu s předkomůrkou.

Vstřikovací systémy vznětových motorů s elektronickou regulací (EDC)

Běžná vstřikovací zařízení se skládala z řadových vstřikovacích čerpadel (PE.), resp. individuálních vstřikovacích jednotek (PF.) nebo rozdělovacích vstřikovacích čerpadel (VE.) s mechanickou regulací podle počtu otáček a mechanickým, resp. hydraulickým řízením začátku vstřiku. Pro dodržení mezních hodnot zplodin ve výfukových plynech při současném zvyšování výkonu, resp. zvýšení točivého momentu a snížení spotřeby paliva musely být vyvinuty nové vstřikovací systémy s elektronickým řízením. Tradiční mechanickou regulaci podle otáček vystřídala EDC (Electronic Diesel Control – elektronické řízení vstřiku). Třebaže mechanická regulace s řadou adaptérů zaručovala vysokou kvalitu přípravy směsi, nebyla schopná dostatečně rychle zachytit některé důležité veličiny, které tuto kvalitu ovlivňují.

Pomocí vstřikovacích systémů EDC lze naproti tomu vyhovět dnešním požadavkům:

- vysoké vstřikovací tlaky až 205 MPa 2050 barů;
- pilotní a popř. i dodatečný vstřik;
- přizpůsobovaný průběh vstřiku;
- proměnlivý začátek vstřiku;
- přizpůsobování vstřikovaného množství, přeplňovacího tlaku a začátku vstřiku danému pracovnímu režimu;
- regulace otáček při volnoběhu;
- regulace tichosti chodu pomocí korigování vstřikovaného množství a časování vstřiku;
- tlumení škubání motoru (tlumení podélných kmitů vozidla);
- regulace rychlosti jízdy (tempomat);
- regulované zpětné přivádění výfukových plynů (AGR).

K těmto nově vyvinutým vstřikovacím systémům patří:

- systém s jednotkou čerpadlo-tryska (Pumpe-Düse-Einheit, PDE), (Unit Injektor System, UIS);
- systém čerpadlo-vedení-tryska (Pumpe-Leitung-Düse, PDL), (Unit Pump System, UPS);
- systém Common-Rail (CR);
- rozdělovací vstřikovací čerpadlo s radiálními písty (VR..., známé také jako VP44).

Všechny tyto čtyři systémy s příslušným zařízením pro přívod paliva mají rychle reagující vysokotlaké magnetické ventily, které jsou řízeny jednotkou řízení motoru. Toto řízení magnetických ventilů zahrnuje regulaci podle otáček (dávkování vstřikovaného paliva) i regulaci začátku vstřiku.

Vstřikovací systém Bosch s jednotkou čerpadlo-tryska (PDE)

Vstřikovací systém PDE (obr. 12), označovaný také jako Unit Injektor System (UIS), je vybaven časově řízenými individuálními vstřikovacími jednotkami a používá se v osobních a užitkových automobilech s přímým vstřikováním. V tomto odstavci bude popsána pouze konstrukce, princip funkce a možnosti zkoušení systému PDE pro motory osobních automobilů. Systém PDE se skládá ze:

- systému přívodu paliva (nizkotlaká část);
- vysokotlaké části jednotkami čerpadlo-tryska (PD);
- elektronického řízení vstřiku (EDC) pomocí řídicí jednotky motoru, příslušných snímačů a vysílače požadovaných hodnot a nastavovacími členy (akční členy);
- periferních zařízení, např. zpětné přivádění výfukových plynů, klapka v sacím potrubí a turbodmychadlo.

Přívod paliva (nizkotlaká část)

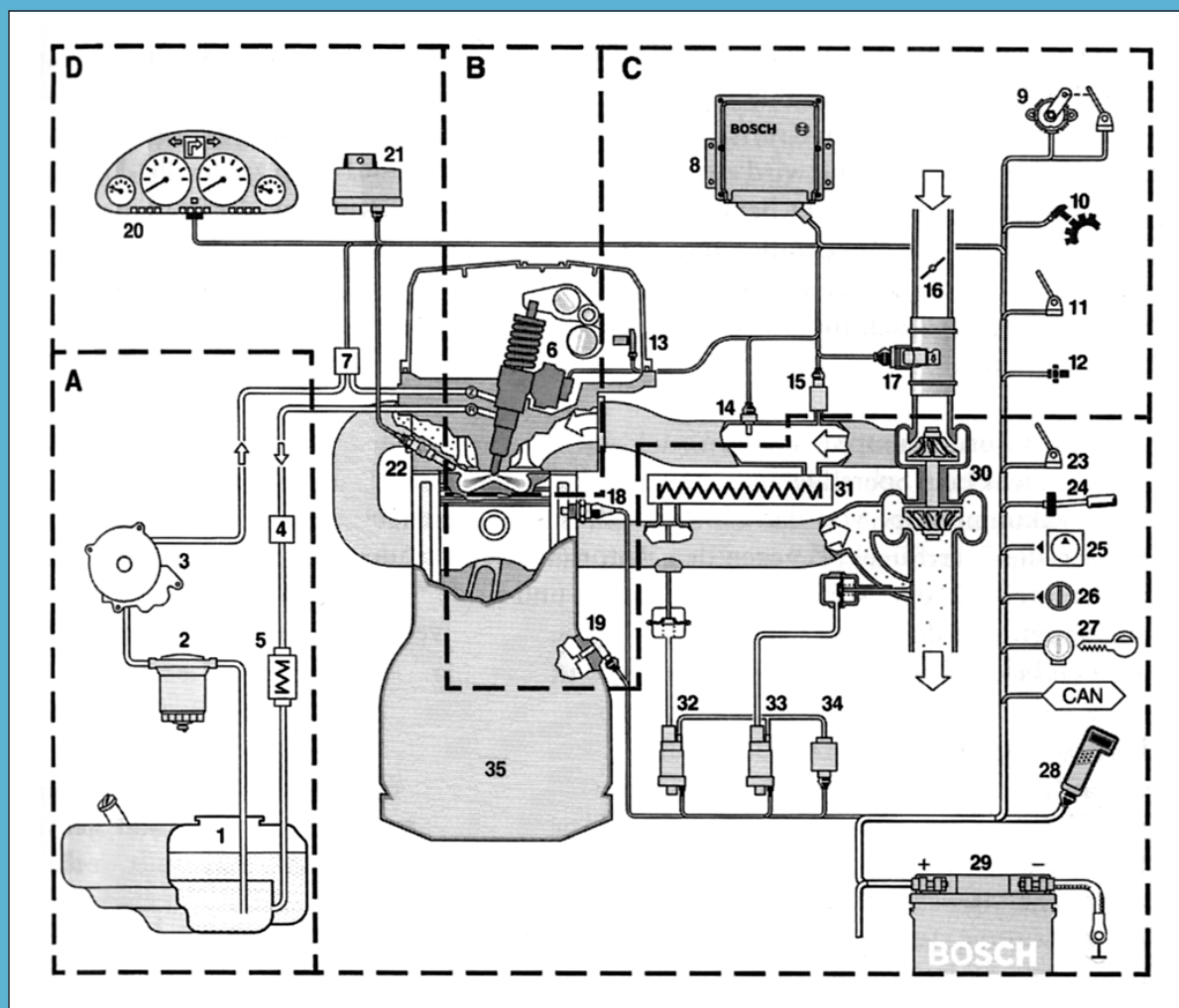
Palivo (obr. 12) se mechanicky poháněným palivovým čerpadlem (3) nasává z palivové nádrže (1) přes palivový filtr (2). Aby se proud paliva zklidnil, čerpá se nejprve do rozdělovacího potrubí, teprve pak k jednotlivým jednotkám čerpadlo-tryska (PD) (6). Nespotebované palivo slouží k ochlazení jednotek PD a odtéká vedením zpětného přívodu, ventil omezování tlaku (4) a chladič paliva (5) zpět do palivové nádrže. Ventil omezování tlaku obstarává v nizkotlaké části potřebný vstupní tlak, aby se vstřikovače mohly dobře a rovnoměrně plnit.

Palivové čerpadlo

Jako palivové čerpadlo se často používá jeho křídlové provedení (obr. 13), které se spolu s podtlakovým čerpadlem pohání od vačkové hřídele motoru. Dvě pružiny (3) tlačí hradící křídla (4) proti rotoru (1). Při otáčení rotoru dochází na straně sání (2) ke zvětšení objemu a palivo se nasává do dvou komor. Na straně výtlačku (5) se objem zmenší a palivo z obou komor se čerpá do systému.

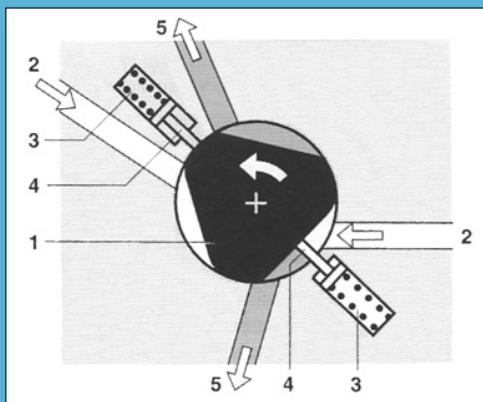
Zkoušení čerpadla

Přezkoušení čerpacího tlaku se může provést manometrem po vyšroubování uzavíracího šroubu M12 (imbus). Během spouštění by měl tento tlak činit přibližně 0,1 MPa (1 bar), při volnoběžných otáčkách minimálně 0,15 MPa (1,5 baru), při otáčkách 1500 min⁻¹ 0,4 MPa (4 bary) a při 4000 min⁻¹ 0,75 MPa (7,5 baru). Pokud jsou naměřené tlaky nižší, je třeba před výměnou čerpadla zkontrolovat palivový filtr, ventil redukce tlaku a veškerá vedení.



Obr. 12. Přehledné schéma systému s jednotkou čerpadlo-tryska (Pumpe-Düse-Einheit, PDE), (Unit Injektor System, UIS) pro osobní automobily (Bosch)

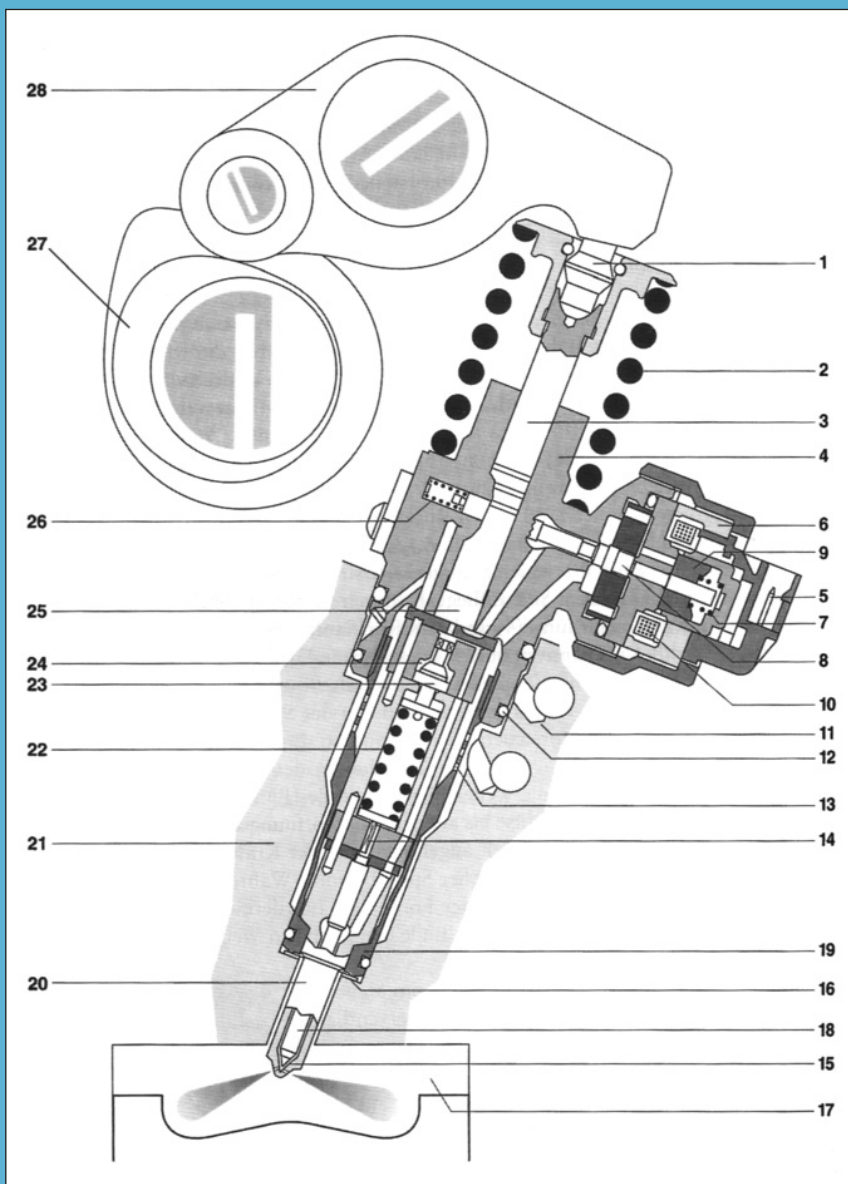
- | | | |
|--|--|--|
| A – přívod paliva (nízkotlaká část) | 14 – snímač teploty nasávaného vzduchu | 27 – řídicí spínač (spínač žhavení při spouštění) |
| 1 – palivová nádrž | 15 – snímač přeplňovacího tlaku | 28 – diagnostické rozhraní |
| 2 – palivový filtr | 16 – klapka v sacím potrubí | 29 – akumulátor |
| 3 – palivové čerpadlo s ventilem zpětného vzduť | 17 – měřič hmotnosti vzduchu s topným filmem | 30 – turbodmychadlo |
| 4 – ventil omezování tlaku | 18 – snímač teploty motoru (chladič kapaliny) | 31 – chladič zpětně přiváděných výfukových plynů |
| 5 – chladič paliva | 19 – snímač otáček klikové hřídele a referenční značky (indukční) | 32 – nastavovací člen zpětného přivádění výfukových plynů |
| B – vysokotlaká část | D – periferie | 33 – nastavovací člen přeplňovacího tlaku |
| 6 – vstřikovací jednotka | 20 – kombinovaný panel se signalizací spotřeby paliva, otáček atd. | 34 – podtlakové čerpadlo |
| C – elektronická regulace vstřikování nafty (EDC) | 21 – řídicí jednotka doby žhavení | 35 – motor |
| 7 – snímač teploty paliva | 22 – plášťová žhavicí svíčka | CAN – Controller Area Network (sériová datová sběrnice v osobním automobilu) |
| 8 – řídicí jednotka | 23 – vypínač spojky | |
| 9 – snímač polohy pedálu akceleraace | 24 – panel obsluhy regulátoru rychlosti jízdy (FGR) | |
| 10 – snímač rychlosti jízdy (indukční) | 25 – kompresor klimatizace | |
| 11 – kontakty brzdy | 26 – panel obsluhy kompresoru klimatizace | |
| 12 – snímač teploty vzduchu | | |
| 13 – snímač polohy vačkové hřídele a snímač otáček (Hallův snímač) | | |



Obr. 13.
Schéma křídlového čerpáda (Bosch)
1 – rotor
2 – strana sání (přftok)
3 – pružina
4 – hradic křídélko
5 – strana výtaku

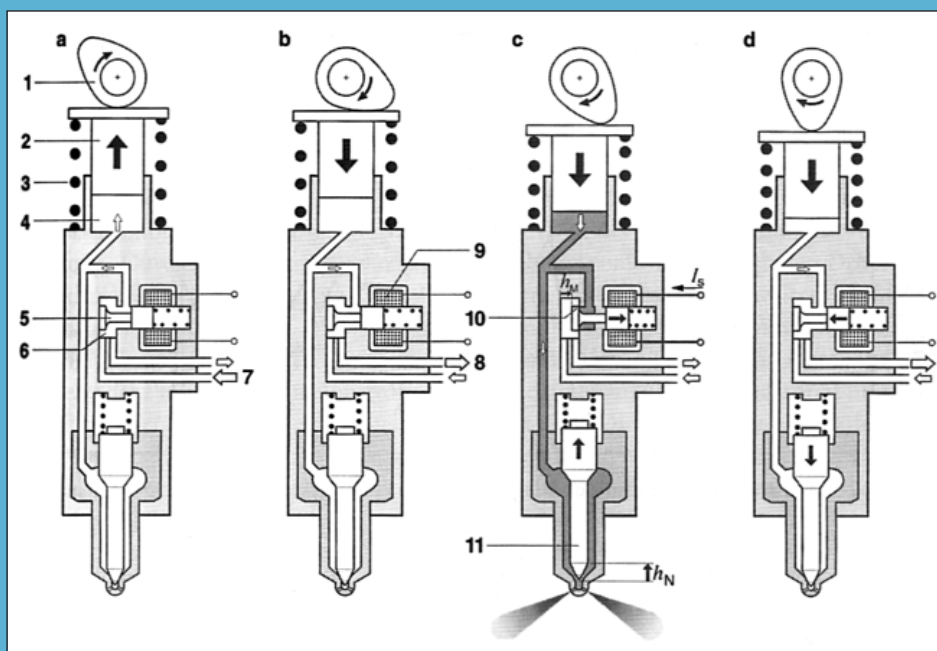
Jednotka PD (vysokotlaká část)

Jednotky čerpadlo-tryska (PD) se skládají z vysokotlakých vstřikovacích jednotek se zabudovanými vstřikovacími tryskami s větším počtem otvorů. Každý válec motoru má svou vlastní jednotku PD, která je umístěna v hlavě válců (obr. 14). Jejich pohon obstarává váčková hřídel motoru prostřednictvím vlastních váček (27). Pohyb váček se pomocí vahadel (28) přenáší na písty čerpadla (3). Ty se přitom stlačí dolů a následně je vratné pružiny (2) opět nadzvednou.



- 1 – kulový čep
- 2 – vratná pružina
- 3 – píst čerpadla
- 4 – těleso čerpadla
- 5 – konektor
- 6 – jádro magnetu
- 7 – vyrovnávací pružina
- 8 – jehla magnetického ventilu
- 9 – kotva
- 10 – cívka elektromagnetu
- 11 – zpětný přívod paliva (nízkotlaká část)
- 12 – těsnění
- 13 – přívodní otvor (asi 350 laserově vyvrtaných otvorů jako filtr)
- 14 – hydraulický doraz (tlumení pístu)
- 15 – sedlo jehly
- 16 – těsnící kroužek
- 17 – spalovací prostor motoru
- 18 – jehla trysky
- 19 – upínací matice
- 20 – zabudovaná vstřikovací tryska
- 21 – hlava válců motoru
- 22 – pružina trysky
- 23 – vyrovnávací píst
- 24 – vyrovnávací komora
- 25 – vysokotlaká část (prvek)
- 26 – pružina magnetického ventilu
- 27 – hnací vačková hřídel
- 28 – vahadlo

Obr. 14. Konstrukce jednotky čerpadlo-tryska (PD) (Unit Injektor System, UIS) pro osobní automobily, bez mechanicko-hydraulicky řízeného pomocného vstříku (Bosch)



Obr. 15. Princip funkce jednotky čerpadlo-tryska (PD), (Unit Injector System, UIS) pro osobní automobily, bez mechanicko-hydraulicky řízeného pomocného vstříku (Bosch)

Pracovní činnosti:

- a – sací zdvih
- b – přípravný zdvih
- c – čerpací zdvih
- d – dokončující zdvih
- 1 – hnací vačka
- 2 – píst čerpadla
- 3 – vratná pružina
- 4 – vysokotlaký prostor (základní prostor)
- 5 – jehla magnet. ventilu
- 6 – komora magnet. ventilu
- 7 – přívodní kanálek
- 8 – kanálek zpětného přívodu
- 9 – cívka magnetu
- 10 – sedlo magnet. ventilu
- 11 – jehla trysky
- I_s – proud v cívce
- h_m – zdvih jehly magnet. ventilu
- p_e – vstřikovací tlak
- h_N – zdvih jehly trysky

V boku tělesa injektoru je umístěn vysokotlaký magnetický ventil, který je spojen s řídicí jednotkou motoru. V tělese jednotky PD jsou kanálky, které magnetickým ventilem spojují prostor s vysokým tlakem (25) (základní prostor) se zpětným přívodem paliva (11) (nizkotlaká část), resp. se vstřikovacími tryskami.

Princip funkce jednotky PD bez mechanicko-hydraulicky řízeného pomocného vstříku

Plnění (obr. 15a): Píst čerpadla (2) se pomocí vratné pružiny (3) pohybuje nahoru. Palivo proudí pod vstupním tlakem (v závislosti na otáčkách mezi 0,15 a 0,17 MPa [1,5 a 1,7 baru]) elektricky nenapájeným a tedy otevřeným magnetickým ventilem do vysokotlakového prostoru (4).

Přípravný zdvih (přepouštění) (obr. 15b): Píst čerpadla (2) se při otáčení hnací vačky pohybuje dolů. Přitom stále ještě otevřeným magnetickým ventilem vytlačuje palivo do kanálku zpětného přívodu (8) do palivové nádrže.

Čerpací zdvih a vlastní vstřík (obr. 15c): Čerpací zdvih začíná vždy v okamžiku, kdy řídicí jednotka zahájí napájení magnetického ventilu (9) proudem, a tím ho

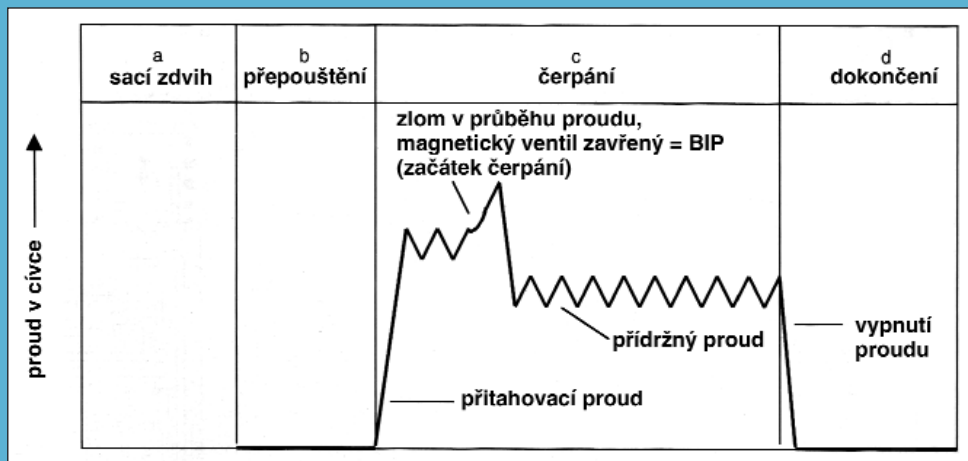
zavře, tzn. že jehla ventilu dosedne do svého sedla. Tím se přeruší spojení mezi vysokotlakým (základním) prostorem (4) a kanálkem zpětného přívodu (8). Tento okamžik zavření se nazývá „elektrický začátek čerpání“ (Begin of Injection Period = BIP). Zavření magnetického ventilu vede ke změně proudu v cívce (obr. 16). Toto mírné snížení proudu protékajícího cívkou (zlom v úbočí zvyšování proudu) je zaznamenáno řídicí jednotkou, již se tím sdělí okamžik zahájení čerpání, který pak může vzít v úvahu při výpočtu dalšího průběhu čerpání. Pokračujícím pohybem pístu čerpadla dolů se zvyšuje

tlak ve vstřikovací trysce až na hodnotu otevíracího tlaku, např. 30 MPa (300 barů). Jehla trysky se hydraulicky zvedne a jemně rozprášené palivo se vstříkne do spalovacího prostoru (skutečný začátek vstříku). V průběhu celého procesu vstříku se – v závislosti na průtočném množství (průtok/úhel otočení klikové hřídele) – vstřikovací tlak dále zvyšuje a na konci dosahuje nejvyšší hodnoty mezi 180 a 205 MPa (1800 a 2050 barů).

Dokončující zdvih (nepracovní zdvih)

(obr. 15d): Přestane-li řídicí jednotka elektromagnetu dodávat proud, magnetický ventil se otevře a určit okamžik ukončení





Obr. 16.
Průběh proudu
na vysokotlakém
magnetickém
ventilu injektoru
PDE (schematicky)

vstřiku, při kterém se obnoví spojení mezi vysokotlakým (základním) prostorem (4) a nízkotlakou částí. Zbývající palivo, vytlačené pístem čerpadla, odtéká kanálkem zpětného přívodu (8) do palivové nádrže.

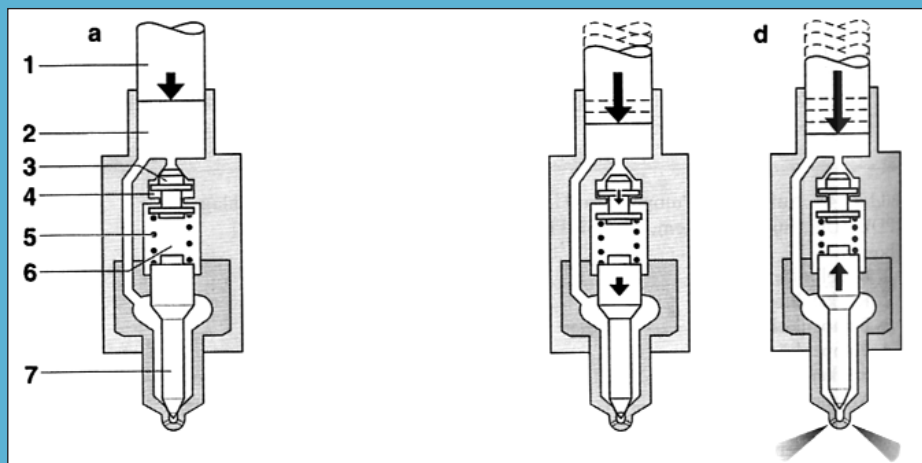
Princip funkce jednotky PD s mechanicko-hydraulicky řízeným pomocným vstřikem

Pro snížení hlučnosti spalování musí u vznětových motorů pro osobní automobily při volnoběhu a ve spodní oblasti zatížení z trysky vystříknout nejprve malé přípravné množství paliva (asi 1,5 mm³), a teprve po něm následuje hlavní dávka. Toho se dosahuje pomocí hydraulického dorazu jehly trysky (obr. 14, pol. 14) ve spojení s funkcí vyrovnávacího pístu (obr. 17a, pol. 3). V klidové poloze vy-

rovnávací píst odděluje prostor vysokého tlaku (2) od vyrovnávacího prostoru (4). Po zahájení čerpání a po dosažení tlaku asi 18 MPa (180 barů) se jehla trysky bez tlumení zvedá ze svého sedla a zahájí se přípravný vstřik (obr. 17b). Během této fáze se zdvih jehly trysky omezuje pomocí hydraulického dorazu. K tomu omezování dochází tím, že se tlumicí píst (obr. 14, pol. 14) s podélnými drážkami zanořuje do vrtání tělesa trysky. V důsledku neustále se zvyšujícího tlaku ve vysokotlakém prostoru (2) se vyrovnávací píst pohybuje proti síle pružiny trysky (5) dolů a spojuje prostor vysokého tlaku s vyrovnávací komorou (4). Následkem zvedání vyrovnávacího pístu se pružina trysky dále napíná a zároveň se zvětšuje prostor s vysokým tlakem. Toto zvětšení objemu vyvolává krátkodobé snížení tlaku v trysce. Tryska se zavře (obr. 17c) a ukončí po-

mocný vstřik. Píst čerpadla se dále pohybuje dolů a tím dále zvyšuje tlak ve vysokotlakém prostoru. Při tlaku přibližně 30 MPa (300 barů) se tryska otevře podruhé. Jehla trysky se posouvá nahoru bez omezení svého zdvihu. Dochází už jenom k hlavnímu vstřiku. Pomocný vstřik se už nenastaví, protože nyní píst čerpadla rychleji vytlačí větší množství paliva a vyrovnávací píst se okamžitě stlačuje dolů (obr. 17d). Pružina trysky se okamžitě napne na otvírací tlak 30 MPa (300 barů) a zahájí se hlavní vstřik. Dávka paliva vytlačená jehlou trysky se může malou štěrbinou v tlumicím pístu odklonit do prostoru pružiny trysky. V průběhu vstřiku se tlak v důsledku vysokého odporu v malých vstřikovacích otvorech zvyšuje až na 205 MPa (2050 barů).

ZPRACOVÁNO
PODLE ZAHRANIČNÍCH MATERIÁLŮ



Obr. 17. Funkce vyrovnávacího pístu (pomocný vstřik, PDE) (Bosch)

- 1 – píst čerpadla
- 2 – prostor vysokého tlaku
- 3 – vyrovnávací píst
- 4 – vyrovnávací komora
- 5 – pružina trysky
- 6 – prostor pružiny
- 7 – jehla trysky