

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRN
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

BAKALÁ SKÁ PRÁCE

BRNO 2016

JAKUB MALINA



**Systemy pro řízení vstřikování paliva vznětových
motorů a specifické způsoby hoření u spalovacích
motorů**
bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce:
doc. Ing. Jiří Čupera, Ph.D.

Vypracoval:
Jakub Malina

estné prohlá-ení

Prohlašuji, že jsem práci **Systémy p ímého vst íkování paliva vzn tových motor a specifické zp soby ho ení u spalovacích motor** vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a zdroje informací uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Sm rnicí o zve ej ování vysoko-kolských záv re ných prací*.

Jsem si vědom, že se na tuto bakalářskou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne

.....

podpis

POD KOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu **doc. Ing. Jiřímu Šperovi, Ph.D.** za jeho odborné vedení, užitečné rady, vstřícný přístup při zpracování této práce a za čas, který mi věnoval.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za podporu, která se mi dostala po celou dobu mého studia.

ABSTRAKT

Hlavní náplní bakalářské práce je shrnutí systémů vstřikování paliva u vznětových motorů - od řadových vstřikovacích čerpadel až po dnes velmi rozšířené vstřikování paliva s vysokotlakým zásobníkem CommonRail. V současnosti je po výrobcích vznětových motorů požadováno dosáhnout nízkých emisí výfukových spalin a nízké spotřeby paliva. Práce se dále zabývá způsobem přípravy směsi paliva vznětových motorů a způsobem hoření paliva u HCCI motorů.

Klí ová slova:

Vstřikování, vznětový motor, palivo, hoření, regulace.

ABSTRACT

The main topic of this bachelor thesis is to give a summary of fuel injection systems in diesel engines – from ordinary injection pumps to today's very prevailing fuel injection with high pressure tank CommonRail. In present time, the diesel engines' constructors are asked to achieve low emissions of exhaust flue gas and low fuel consumption. The thesis also focuses on the ways of preparation of fuel mixture of diesel engines and on the ways of fuel combustion in HCCI motors.

Key words:

Injection, diesel engine, fuel, combustion, regulation

OBSAH

1	Úvod.....	9
2	Cíl práce.....	10
3	Tvorba směsi a spalování vznětových motorů.....	11
3.1	Oxidační reakce uhlovodíkového paliva	11
3.2	Spalování nepřipravené (heterogenní) směsi.....	12
4	Přehled konstrukčních řešení vstřikovacích soustav pro vznětové motory.....	17
4.1	Řadová vstřikovací čerpadla.....	18
4.1.1	Popis řadového vstřikovacího čerpadla.....	18
4.1.2	Regulace velikosti dodávky paliva	19
4.1.3	Regulace	20
4.1.3.1	Mechanický regulátor.....	20
4.1.3.2	Přesuvník vstřiku	21
4.1.3.3	Elektronická regulace.....	21
4.2	Rotační vstřikovací čerpadlo s axiálním pístem	21
4.2.1	Regulace vstřikování paliva.....	23
4.2.1.1	Průběh zdvihu pístu rozdělovače	23
4.3	Rotační vstřikovací čerpadlo s radiálními písty.....	24
4.3.1	Elektronická regulace rotačního vstřikovacího čerpadla s radiálními písty.....	25
4.3.1.1	Aktivace elektromagnetického ventilu.....	26
4.4	Sdružené vstřikovací jednotky (PDE, UIS).....	27
4.4.1	Průběh pracovního cyklu sdružené vstřikovací jednotky.....	27
4.4.1.1	Plnění prostoru vysokého tlaku.....	27
4.4.1.2	Začátek pilotního vstřiku.....	28
4.4.1.3	Konec pilotního vstřiku	28
4.4.1.4	Začátek hlavního vstřiku	28

4.4.1.5	Konec hlavního vstřiku	29
4.4.2	Třetí generace sdružené vstřikovací jednotky	30
4.5	Samostatné vstřikovací jednotky (PLD, UPS).....	31
5	Vysokotlaký zásobníkový systém vstřikování CommonRail	32
5.1	Generace systémů vstřikování CommonRail.....	33
5.2	Čistota paliva	33
5.3	Vysokotlaké čerpadlo	34
5.3.1	Radiální pístové čerpadlo CP 1.....	35
5.3.2	Radiální pístové čerpadlo CP 3.....	36
5.3.3	Radiální pístové čerpadlo CP 2.....	37
5.3.4	Radiální pístové čerpadlo CP 4.....	37
5.3.5	Radiální pístové čerpadlo CPN 5.....	38
5.4	Vysokotlaký zásobník (Rail)	39
5.5	Vstřikovače	40
5.5.1	Vstřikovač s elektromagnetickým ventilem	40
5.5.2	Piezoelektrický vstřikovač.....	41
5.5.2.1	Funkce řídicího ventilu piezoelektrického vstřikovače.....	42
5.5.2.2	Funkce hydraulického převodníku.....	43
5.5.3	Hydraulický vstřikovač s násobičem (HADI)	44
5.6	Elektronická regulace vznětového motoru (EDC).....	45
5.6.1	Zpracování dat	46
5.6.2	Regulace vstřikování.....	46
5.6.3	Regulace a aktivace akčních členů.....	47
6	Způsoby hoření paliva u HCCI motorů.....	48
6.1	Přímé vstřikování nafty do upraveného spalovacího prostoru	49
6.1.1	Ovlivnění průběhu spalování	49
6.1.2	Regulace okamžiku zapálení homogenní směsi	51

6.1.3	Emise HCCI motoru.....	52
6.2	Současnost a budoucnost HCCI motorů.....	54
7	Závěr.....	55
	Použitá literatura	57
	Internetové zdroje.....	58
	Seznam obrázků	61

1 ÚVOD

Již od okamžiku vynálezu vznětového motoru Rudolfem Dieselem v roce 1897 se palivo vznětových motorů (nafta) musí vstříkovat do spalovacího prostoru motoru, aby došlo k jeho smísení se vzduchem, vznícení a následně i hoření. Od té chvíle uplynulo již mnoho let a vznětový motor zaznamenal velkou řadu změn a vylepšení. K velkým změnám došlo i u vstřikovacích systémů paliva. Složitost konstrukce celého systému rostla a s ní i požadavek na přesnost výroby komponentů vstřikování, zejména částí spojených s tvorbou vysokého tlaku. Dnešní vysokotlaká čerpadla dokážou vytvořit vysoký tlak paliva až 250 MPa. Velký konstrukční pokrok zaznamenaly i vstřikovače, které dnes dokážou vstříknout palivo do spalovacího prostoru až osmkrát za jeden cyklus vstřikování.

Vznětové motory vozidel jsou u řidičů čím dál tím více oblíbené. Mezi jeho silné stránky patří například hospodárnost, spolehlivost a průběh točivého momentu. Už před několika lety se tyto motory prosadily u užitkových vozidel a traktorů. Postupný vývoj vznětového motoru, především jeho vstřikování, přinášel další zvýšení výkonu a snížení spotřeby. U moderních vznětových motorů s vysokotlakým vstřikováním paliva se výrazně zlepšil komfort jízdy a snížila se produkce emisí. Na zvýšení komfortu jízdy mělo vliv především snížení hlučnosti motoru.

2 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je vytvoření přehledu systémů vstřikování paliva vznětových motorů. Od řadových vstřikovacích čerpadel, rotačních vstřikovacích čerpadel, sdružených a samostatných vstřikovacích jednotek až po vysokotlaké zásobníkové systémy vstřikování paliva CommonRail.

Práce dále analyzuje způsoby přípravy směsi paliva vznětových motorů, hoření paliva ve spalovacím prostoru a způsoby rozvoje hoření paliva u HCCI motorů.

3 TVORBA SMĚSI A SPALOVÁNÍ VZNETOVÝCH MOTORŮ

Příprava palivové směsi je velmi důležitá u všech spalovacích motorů. Přímou ovlivňuje průběh spalování a velikost parametrů, které charakterizují činnost motoru. Cílem je dosažení stavu, při kterém bude do spalovacího prostoru ve správný okamžik, v požadovaném stavu a množství přivedeno palivo společně se vzduchem, který umožňuje vznícení a uvolnění tepelné energie, jak je zobrazeno na obrázku 1. Tepelná energie je následně přeměněna na mechanickou práci prostřednictvím klikového mechanismu. Požadavkem je docílit nejvyšších hodnot energetické účinnosti. Na přípravě směsi se také podílí regulace motoru. U vznětových motorů je výkon regulován změnou množství vstříkovaného paliva do spalovacího prostoru. [1]



Obr. 1: Hoření paliva ve válci motoru [29]

3.1 Oxidační reakce uhlovodíkového paliva

K vysvětlení těchto reakcí u pístových spalovacích motorů se používají teorie tepelné iniciace spolu s teorií aktivovaných částic a řetězových reakcí. Po iniciaci spalovacího procesu následují reakce jednotlivých složek paliva a vzduchu, které probíhají s jednoduchými nebo s rozvětvenými řetězci chemických změn až do konečných produktů hoření. Z místa vzniku plamene se oxidační proces šíří

působením tepelných a chemických jevů. Probíhající oxidace zajišťuje v pohyblivém pásmu reakce vznik dalších aktivovaných částic, které pronikají do nespálené směsi. Celý oxidační proces se skládá z řady probíhajících elementárních reakcí. [2]

Teorie řetězových reakcí ukazuje postup a průběh spalovacího procesu. Spalovací proces se vyznačuje vznikem meziproductů, z kterých mají zásadní význam pro postup hoření aktivované částice. Vlivem teploty a tlaku vzduchu ve válci motoru se molekuly uhlovodíkového paliva, které přišly do styku s kyslíkem, mění na reaktivní sloučeniny s labilní peroxidovou vazbou, peroxidy a hydroperoxy. Chemická stránka iniciace hoření a průběh spalovacího procesu je velmi složitá. [2]

Ve vznětových motorech probíhá iniciace spalovacího procesu působením vysoké teploty stlačeného vzduchu na směs palivových par a vzduchu, která je tvořena kolem (nebo z) velmi malých kapek paliva. Použité palivo musí mít vhodné fyzikálně-chemické vlastnosti, aby vlivem kompresní teploty a tlaku vzduchu došlo k rozpadu paprsku vstřikovaného paliva na velmi malé kapky a po odpaření malého množství rozprášeného paliva k rozběhu předoxidačních reakcí. Výsledkem je vznik ohnisek vznícení rozložených v celém objemu spalovacího prostoru. Vznik ohnisek a následný rozvoj hoření z těchto ohnisek zajišťují relativně rychlé a účinné vyhoření vstříknuté dávky paliva. Na průběh spalování mají velký vliv tepelné, tvarové a vírové vlastnosti spalovacího prostoru a především způsob a kvalita vstřikování paliva. [2]

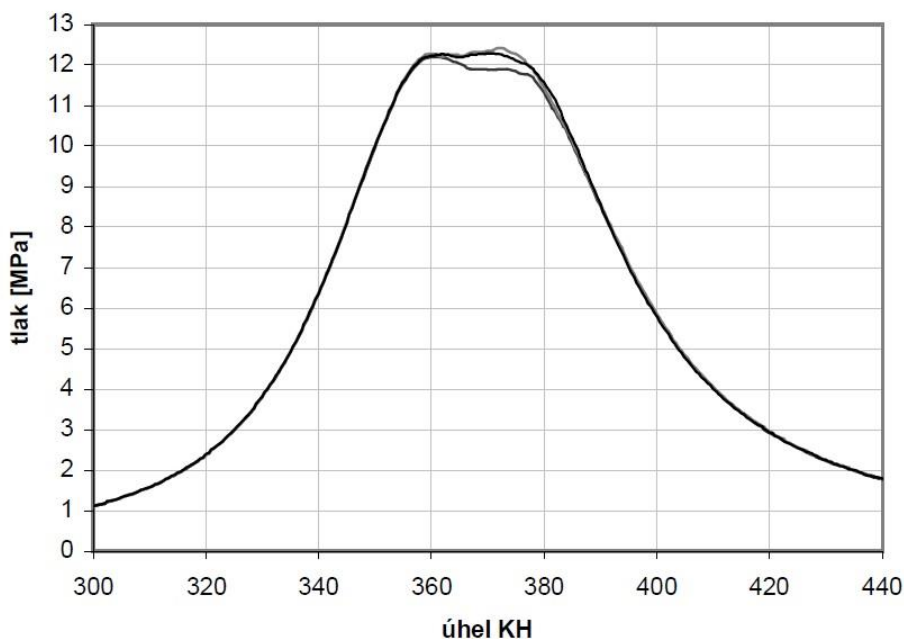
3.2 Spalování nep ipravené (heterogenní) sm si

U vznětových motorů začíná proces spalování nasátím vzduchu do válce. Během komprese dochází ke stlačení vzduchu na tlak 4 MPa až 6 MPa a na teplotu 700 °C až 900 °C. Kompresní poměr se pohybuje od 14 : 1 až do 22 : 1. Palivo je do spalovacího prostoru přiváděno vstřikováním pod tlakem až 250 MPa. Vlivem intenzivního víření vzduchu a vysokých kompresních teplot se kapičky paliva odpařují a přecházejí do plynného stavu. To umožňuje jeho vznícení a hoření rychlostí 20 m.s⁻¹ až 50 m.s⁻¹. V tomto případě se ve spalovacím prostoru nachází heterogenní směs (směs vzduchu, par, kapiček neodpařeného paliva a zbytek spalin z předešlého pracovního cyklu). Intenzivní víření, které se v pracovním prostoru vytvořilo, zabezpečuje, že se palivo rychle odpaří a páry paliva se dostanou do styku ještě s nespotřebovaným

kyslíkem. Tím je zaručeno kvalitní prohoření celé směsi ve spalovacím prostoru. Náplň pracovního prostoru (směs) se skládá ze tří složek, a to z paliva, čerstvého vzduchu a ze zbytku spalin z předešlého cyklu. [6, 11]

Ve vznětovém motoru se spalovací proces vysvětluje jako kombinace kinetického hoření směsi a difuzního hoření směsi. Kinetické hoření probíhá v místech, kde je směs připravená smísením odpařeného paliva z povrchu kapek vstříknutého paliva. Kinetické hoření směsi přechází do difuzního hoření tak, že zóna plamene se udržuje v místech, kde je vzájemnou difuzí palivových par a vzduchu vytvářena směs podobná stechiometrickému složení. Difuzní hoření probíhá při vysoké teplotě a relativně s velkou rychlostí. Spalovací proces vznětových motorů se vyznačuje vysokou mezioběhovou stabilitou, která je zajištěna velkým množstvím energie uvolněné kinetickým hořením v ohniscích vznícení na počátku spalovacího procesu. Odhaduje se, že počet ohnisek v celém průběhu vyhořívání náplně je přibližně 10^4 až 10^5 . [2]

Na obrázku 2 jsou záznamy měření s maximální, střední a minimální hodnotou spalovacího tlaku ve válci přeplňovaného motoru (ustálený provozní režim, $n = 1900 \text{ min}^{-1}$, předvstřík $\alpha_{\text{vstř}} = 0^\circ$, $\lambda = 1,98$, $p_e = 1,40 \text{ MPa}$). Záznamy ukazují velmi malou variabilitu pracovního cyklu (stejný charakter je i u nepřepřňovaného vznětového motoru). [2]



Obr. 2: Průběh tlaku ve vybraných pracovních cyklech [2]

Pokud není po shoření vnější vrstvy ve válci dostatek kyslíku pro pokračování hoření, dochází k nedokonalému spalování, tvorbě škodlivých emisí a snižování chemické účinnosti. Je to dáno nerovnoměrnou tvorbou směsi, která probíhá ve válci motoru (vnitřní tvorba směsi). Směs proto není homogenní, ale heterogenní. To znamená, že v části spalovacího prostoru existuje nedostatek vzduchu a v části nedostatek paliva. Teoreticky je pro dokonalé spálení 1 kg nafty potřeba 14,3 kg až 14,5 kg vzduchu (stechiometrický poměr). V závislosti na podmínkách před začátkem hoření se čas mezi vstříknutím a vznícením (prodleva vznícení) pohybuje od 0,002 s do 0,005 s. Cílem je, aby tento čas byl co nejkratší. V opačném případě roste dynamické namáhání klikového ústrojí vlivem velkého přírůstku tlaku na stupeň pootočení klikového hřídele. Přírůstek tlaku by se měl pohybovat v rozmezí 0,2–0,6 MPa. $^{\circ}\text{KH}^{-1}$ (megapascalu na stupeň pootočení klikové hřídele). Vyšší prodleva vznícení se projeví poklesem indikované práce a energetické účinnosti. [1]

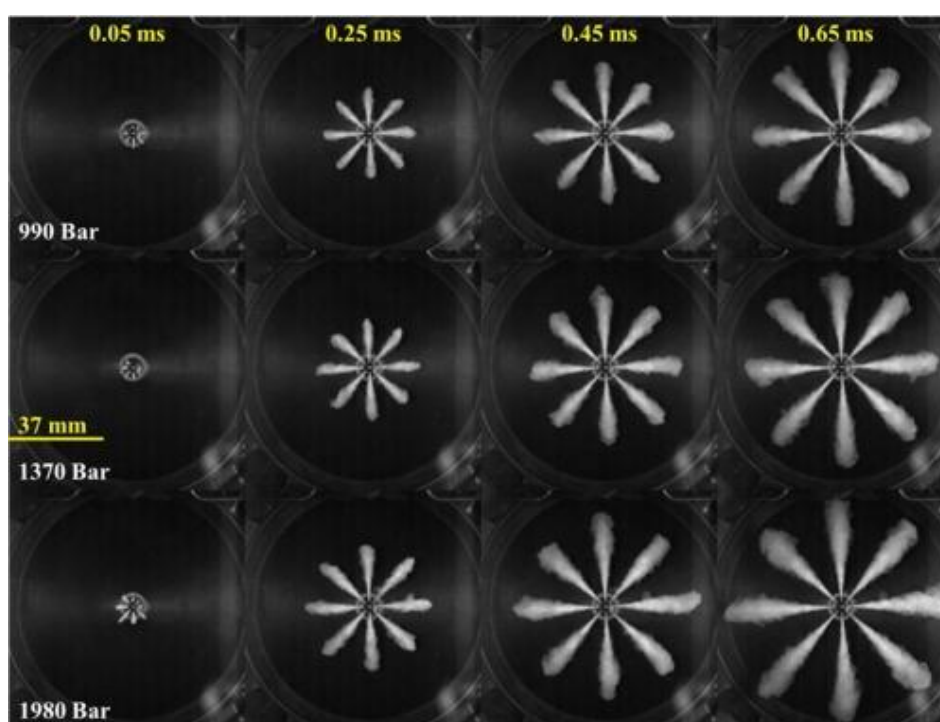
Požadavek na krátký průtah vznícení (indukční dobu rozběhu oxidačních reakcí) vznětových motorů vede k nutnosti použít vyššího kompresního poměru než optimálního z hlediska celkové účinnosti, a to převážně u malých motorů. Při stanovení kompresního poměru se musí brát v úvahu i start studeného motoru. U menších motorů se obvykle používá ohřev náplně spalovacího prostoru žhavicí svíčkou. Na druhé straně může vysoká teplota plamene za příliš vysokého kompresního poměru nepříznivě ovlivnit tvorbu oxidů dusíku. Průtah vznícení také závisí na struktuře molekul paliva, směšovacím poměru, celkové tepelné bilanci tvořící se v ohnisku vznícení a na dynamice iniciačního procesu. [2, 10]

Důležitý je také okamžik vstříknutí paliva k poloze pístu, který by měl být zvolen tak, aby ve válci nastal maximální tlak 6–10 $^{\circ}\text{KH}$ za horní úvrátí pístu. Pro splnění těchto požadavků bylo nutné přistoupit ke zvýšení vstřikovacích tlaků, chlazení paliva, zvýšení nároků na čistotu paliva a vzduchu, k ochlazování vzduchu a k využití elektroniky pro přesné řízení palivové soustavy. [1]

Příprava směsi paliva se vzduchem podstatně ovlivňuje výkon, spotřebu paliva, emise výfukových plynů a hluk spalování vznětového motoru. Významnou roli hraje

provedení vstřikovacího zařízení a řízení vstřikování. Tvorbu směsi a průběh vstřikování ovlivňuje: [1]

- začátek dodávky paliva a začátek vstřiku,
- doba vstřiku a průběh vstřiku,
- vstřikovací tlak (viz obr. 3),
- směr vstřikování a počet vstřikovacích paprsků,
- přebytek vzduchu,
- rozvíření vzduchu.

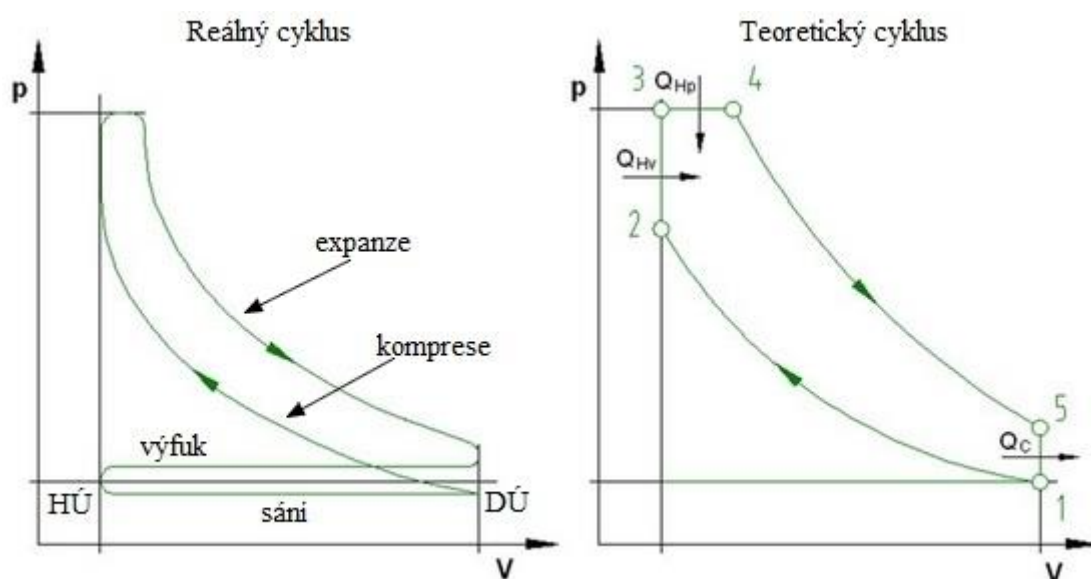


Obr. 3: Vliv vstřikovaného tlaku na velikost paprsku [30]

V praxi se složení směsi posuzuje podle důležitého parametru, kterým je součinitel přebytku vzduchu λ . Tento součinitel udává poměr skutečného množství přivedeného vzduchu k množství vzduchu teoreticky potřebného k dokonalému spálení paliva. Moderní vznětové motory pracují při chodu naprázdno s mimořádně chudou směsí. Součinitel přebytku vzduchu u přeplňovaných motorů při volnoběhu a nulovém zatížení roste až na hodnotu $\lambda > 10$. Při plném zatížení se hodnoty pohybují od $\lambda = 1,15$ až do $\lambda = 2,0$. [6, 12]

Způsob práce čtyřdobých vznětových motorů udává smíšený (Sabatův) cyklus (obr 4). Podle tohoto cyklu pracují dnešní motory, které jako palivo používají naftu. Smíšený cyklus, který vidíme na obrázku číslo 4, se skládá z těchto stavových změn: [6]

- 1 – 2 adiabatická komprese,
- 2 – 3 izochorický přívod tepla (spalování),
- 3 – 4 izobarický přívod tepla (spalování),
- 4 – 5 adiabatická expanze,
- 5 – 1 izochorický odvod tepla (výfuk).



Obr. 4: Smíšený (Sabatův) cyklus [27]

4 PŘEHLED KONSTRUKČNÍCH ŘEŠENÍ VSTŘIKOVACÍCH SOUSTAV PRO VZNETOVÉ MOTORY

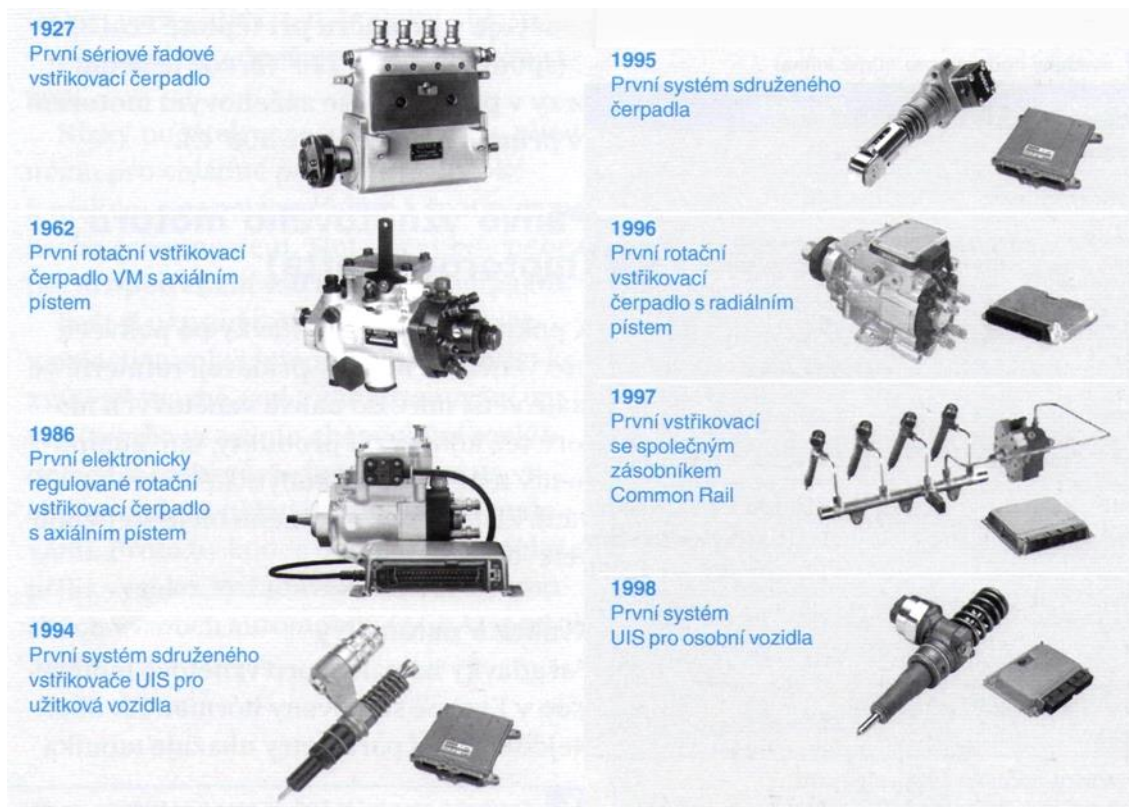
Palivová soustava vznětových motorů musí zajistit dodávku stejného množství paliva do všech válců ve stejném okamžiku a v požadovaném množství. Regulace paliva musí být plynulá a snadná. Dodávka paliva musí odpovídat požadovanému průběhu točivého momentu. Palivo musí být do válce vstřikované s velkou přesností, někdy i v několika samostatných vstřicích. Správná funkce palivové soustavy má vliv na průběh spalování ve válci a ekonomiku provozu motoru. [1]

Palivový systém motoru tvoří nízkotlaká a vysokotlaká část. Nízkotlaká část zajišťuje dopravu paliva z palivové nádrže přes hrubý a jemný čistič paliva k vysokotlaké části. Dalším úkolem nízkotlaké části je chlazení vstřikovacího čerpadla. V některých případech bývá v nízkotlaké části vřazen chladič paliva. [1]

Úkolem vysokotlakého vstřikovacího zařízení je dodat palivu potřebnou kinetickou energii v průběhu celého vstřiku. Dostřik nebo také dokapávání paliva je nepřijatelné. Podle požadovaného přebytku vzduchu je třeba palivo přesně odměřit a vstřik fázově sladit s průběhem pracovního procesu. Tyto procesy musí probíhat s velkou stabilitou v čase. Rozdíly mezi samotnými vstřiky do stejného válce i mezi jednotlivými válci musí být minimální. [10]

Vstřikovací systémy vznětových motorů se zásadně liší ve způsobu vytváření vysokého tlaku (viz obr. 5). Vstřikovací čerpadla vznětových motorů je možno podle konstrukce rozdělit na: [7]

- Čerpadla se samostatnou vstřikovací jednotkou pro každý válec motoru (řadová vstřikovací čerpadla, sdružené vstřikovací jednotky a samostatné vstřikovací jednotky).
- Čerpadla s jednou společnou vstřikovací jednotkou pro všechny válce motoru (rotační vstřikovací čerpadla s axiálním pístem a rotační vstřikovací čerpadla s radiálními písty).
- Čerpadla s vysokotlakým zásobníkem (CommonRail).



Obr. 5: Historie systém vstřikování nafty [12]

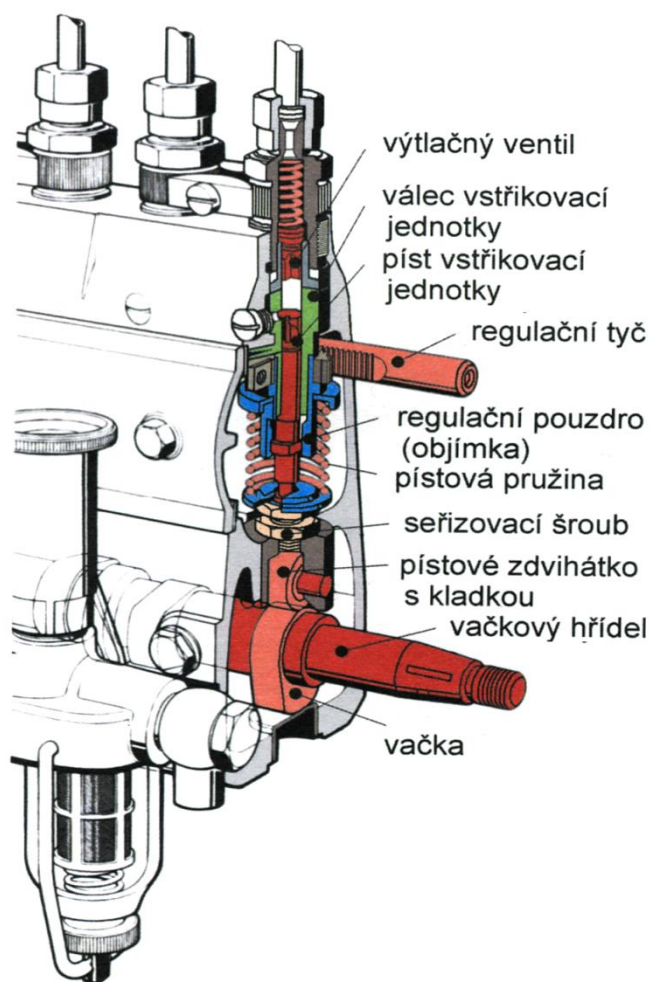
4.1 řadová vstřikovací čerpadla

Žádný jiný systém není tak rozšířený jako řadová vstřikovací čerpadla. Tento systém byl neustále vyvíjen a přizpůsobován různým oblastem použití. Proto i dnes jsou používány některé varianty těchto čerpadel. Jejich silnou stránkou byla odolnost a nenáročnost na údržbu. [12]

4.1.1 Popis řadového vstřikovacího čerpadla

Řadová vstřikovací čerpadla mají pro každý válec motoru jednu vstřikovací jednotku (obr. 6), která se skládá z válce vstřikovací jednotky a pístku. Pístek se pohybuje ve směru dodávky působením vačkového hřídele umístěného ve vstřikovacím čerpadle a poháněného motorem. Pístek se vrací zpět pomocí pístové pružiny. Jednotlivé jednotky čerpadla jsou umístěny v řadě, a proto se toto čerpadlo nazývá řadové vstřikovací čerpadlo. V okamžiku uzavření sacího otvoru horní hranou pístku začíná tvorba vysokého tlaku, který se pohybuje v rozmezí 100 MPa až 130 MPa.

V tomto okamžiku nastává geometrický počátek výtlačku paliva. Pístek se nadále pohybuje ve směru dodávky paliva a v okamžiku otevření výtlačného ventilu nastává skutečný výtlaček paliva. Palivo proudí přes výtlačný ventil vysokotlakým potrubím otevře vstříkovací trysku a nastává vstříknutí paliva do motoru. V okamžiku překrytí řídicí hrany pístku a přepouštěcího kanálku začne palivo odtékat a tlak poklesne. Jehla vstříkovací trysky se uzavře a vstřík je ukončen. Natačení pístu je možné pomocí ozubené regulační tyče, která zapadá do ozubeného segmentu. Regulační tyč je ovládána mechanickým odstředivým regulátorem nebo elektromagnetickým regulátorem. [4,10,14]

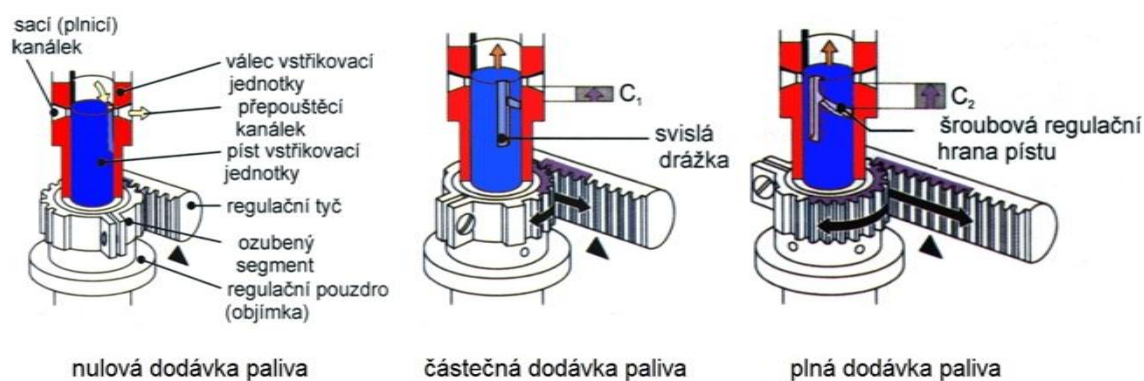


Obr. 6: *ez. vstříkovací jednotkou* [8]

4.1.2 Regulace velikosti dodávky paliva

Velikost dodávky paliva do válce motoru je regulována zasouváním a vysouváním regulační tyče. [14]

- Nulová dodávka paliva – píst vstříkovací jednotky je natočen v takové poloze, že svislá drážka v pístu trvale spojuje prostor nad pístem s přepouštěcím kanálem (viz obr. 7). Palivo není vytlačováno do spalovacího prostoru. [14]
- Částečná dodávka paliva – píst vstříkovací jednotky je natočen v takové poloze, že regulační hrana odkryje přepouštěcí kanálek v okamžiku, kdy je píst více vzdálen od horní úvratě. [14]
- Plná dodávka paliva – píst vstříkovací jednotky je natočen v takové poloze, že regulační hrana odkryje přepouštěcí kanálek, kdy je píst blíže k horní úvratě. [14]



Obr. 7: Regulace velikosti dodávky paliva [8]

4.1.3 Regulace

Řadová vstříkovací čerpadla bývají dále spojena s regulátorem. Regulátor pomáhá vstříkovacímu čerpadlu dodržet provozní podmínky motoru. Regulace může být jak mechanická, tak elektronická. [10]

4.1.3.1 Mechanický regulátor

Mechanický regulátor řadových vstříkovacích čerpadel je také nazýván jako odstředivý regulátor. Skříň regulátoru bývá pevně spojena se vstříkovacím čerpadlem. Regulátor je spojen táhly s regulační tyčí a ovládá ji. Na regulátor jsou, dle oblasti použití, rozdílné požadavky, např.: omezení maximálních otáček, omezení maximálních a volnoběžných otáček, výkonostní regulace. [12]

4.1.3.2 P řesuvník vst řiku

K řízení počátku vstřiku u standardního řadového vstřikovacího čerpadla slouží přesuvník vstřiku, který mění počátek vstřikovaného paliva s rostoucími otáčkami směrem k časnějšímu. [12]

4.1.3.3 Elektronická regulace

Při použití tohoto systému se na plynovém pedálu nachází snímač polohy spojený s elektronickou řídicí jednotkou. Řídicí jednotka přijme údaj o požadované poloze pedálu a vyšle signál do elektronického regulátoru na přestavění polohy regulační tyče. Elektronický regulátor splňuje více požadavků než regulátor mechanický. Díky přesnému dávkování paliva zlepšuje emisní chování vznětového motoru. [12]

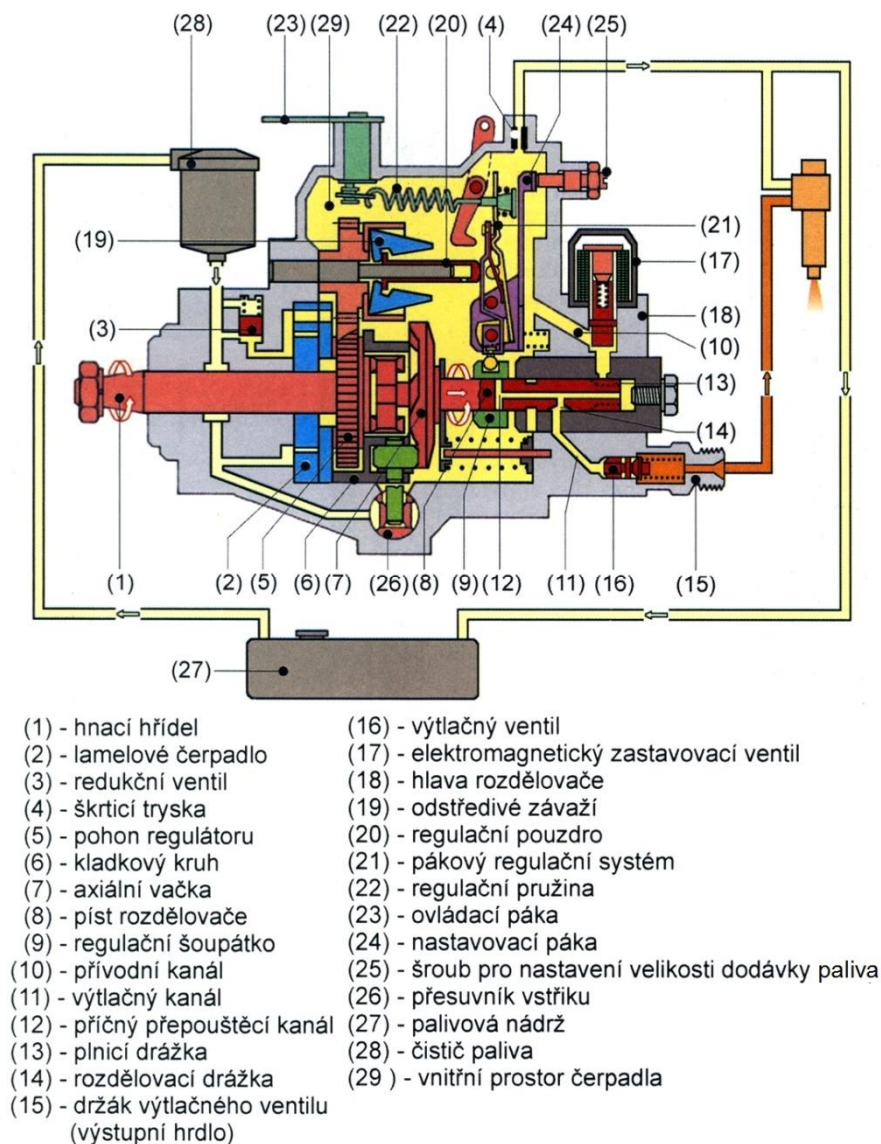
4.2 Rota ní vst řikovací čerpadlo s axiálním pístem

Rotační vstřikovací čerpadla s axiálním pístem se často používají pro vznětové motory s výkonem do 20 kW na válec. Dopravu paliva do vstřikovacího čerpadla zajišťuje integrované lamelové dopravní čerpadlo. Na rozdíl od řadových vstřikovacích čerpadel má tento typ čerpadla jen jeden vysokotlaký pístek pro všechny válce motoru. Na obrázku 8 jsou zobrazeny jednotlivé části čerpadla. [6]

Vysokotlaký pístek čerpadla uvádí do pohybu čelní vačka, která je s ním pevně spojena a společně s ním rotuje. Rotující pístek zajišťuje natáčení kanálů rozdělovače. Axiální pohyb pístku je zajištěn vačkou odvalující se po několika kladkách. Tento pohyb zajišťuje synchronizovanou dávku paliva. Počet vrcholů vačky, kladek i kanálů ve statoru čerpadla, výtlačných ventilů a šroubení pro vstřikovací trubky odpovídá počtu válců motoru. Celý vnitřek skříně vstřikovacího čerpadla je dopravním čerpadlem zaplňován tlakovou naftou, která čerpadlo zároveň chladí a maže. Palivo je nad pístek přiváděno kanálkem, ve kterém je zároveň elektromagneticky ovládaný ventil, který přeruší dodávku paliva a zastaví motor. Dávka vstřikovaného paliva je řízena regulačním šoupátkem, které překrývá v potřebném rozsahu zdvihu přepouštěcí kanály v pístku. Polohu šoupátka ovládá odstředivý přímočinný regulátor, který je poháněn

od hnací hřídele čerpadla. Konečná poloha šoupátka je výsledkem rovnováhy odstředivé síly a předepnutí regulační pružiny, která je ovládána polohou pedálu akceleratoru. [10]

Lamelové dopravní čerpadlo je natolik předimenzováno, že už při spouštěcích otáčkách je schopno palivový systém odvzdušnit. Tlak paliva ve skříní čerpadla je závislý na otáčkách motoru a udržuje ho jen škrťící tryska, která je umístěna na přepadu do palivové nádrže. Na výtlaku z lamelového čerpadla je umístěn redukční ventil, který sníží tlak ve skříní čerpadla v případě ucpání škrťící trysky. Tlak paliva je dále využíván na pootáčení kladkového kruhu přesuvníkem vstříku. Tím je nastavován předstih vstříku závislý na otáčkách. [10]



Obr. 8: ez rota ním vst ikovacím erpadlem s axiálním pístem [8]

4.2.1 Regulace vstřikování paliva

U rotačního čerpadla s mechanickým odstředivým a elektronickým regulátorem otáček je dávka paliva nastavována pomocí regulačního šoupátka na pístu, který je ovládán regulátorem otáček. [1]

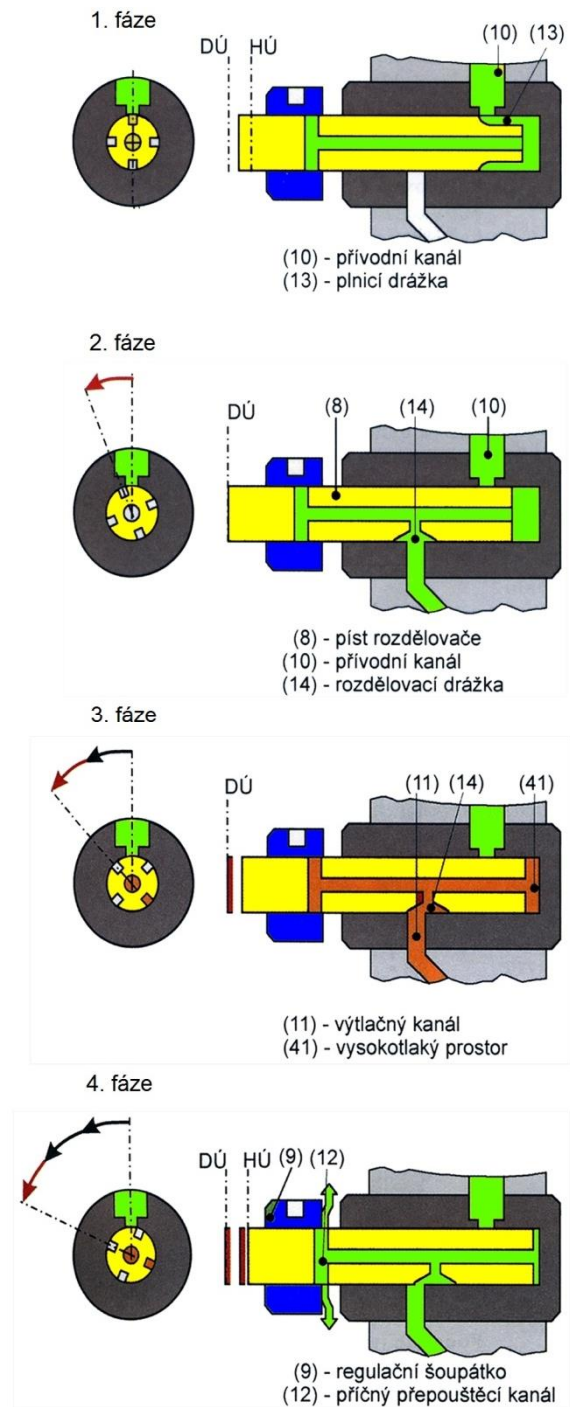
4.2.1.1 Průběh zdvihu pístu rozdělovací

Tento proces se skládá z několika fází (obr. 9). V první fázi se píst pohybuje do dolní úvratě. Sací kanál je otevřen a palivo proudí z vnitřního prostoru čerpadla přes přívodní kanál do vysokotlakého prostoru. [7]

Ve druhé fázi se píst posouvá směrem k horní úvratě. Natáčením pístu je přerušena dodávka paliva a zároveň se odkrývá rozdělovací drážka. Fáze plnění je ukončena a začíná výtlač. [7]

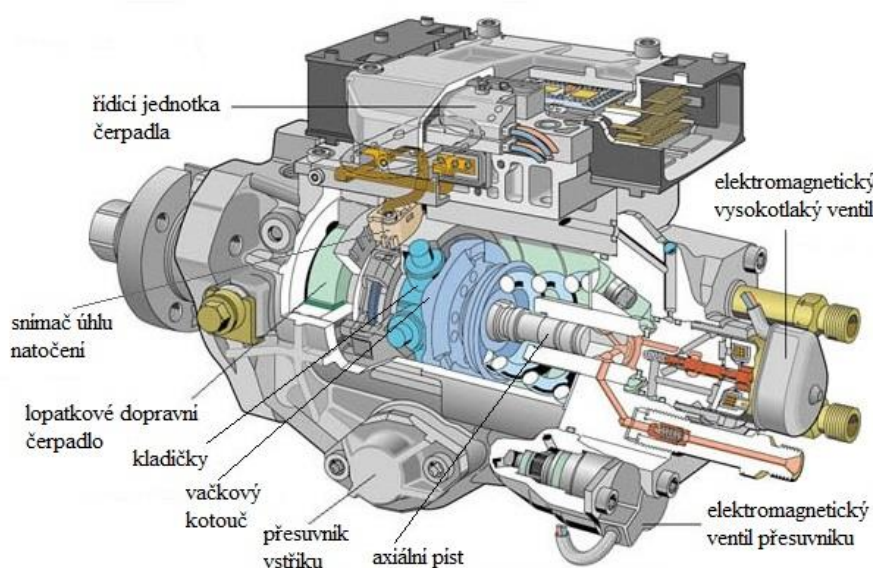
Ve třetí fázi se píst pohybuje z dolní úvratě do horní a stlačuje palivo na vysoký tlak až 90 MPa. Po překročení otevíracího tlaku výtlačného ventilu palivo proudí vstřikovacím potrubím ke vstřikovací trysce. [7]

Ve čtvrté fázi je výtlač paliva ukončen v okamžiku, kdy je příčný přepouštěcí kanál otevřen regulačním šoupátkem. Tlak paliva ve vysokotlakém prostoru klesá a proudí do vnitřního prostoru čerpadla. [7]



Obr. 9: Fáze zdvihu výtlačného pístu [8]

U novějších čerpadel s axiálním pístem, který je ovládaný elektromagnetickým ventilem (obr. 10), vstřikovanou dávku reguluje elektronicky řízený vysokotlaký elektromagnetický ventil místo regulačního šoupátka. Řídící a regulační signály se zpracovávají v řídicí jednotce čerpadla a motoru. [1]



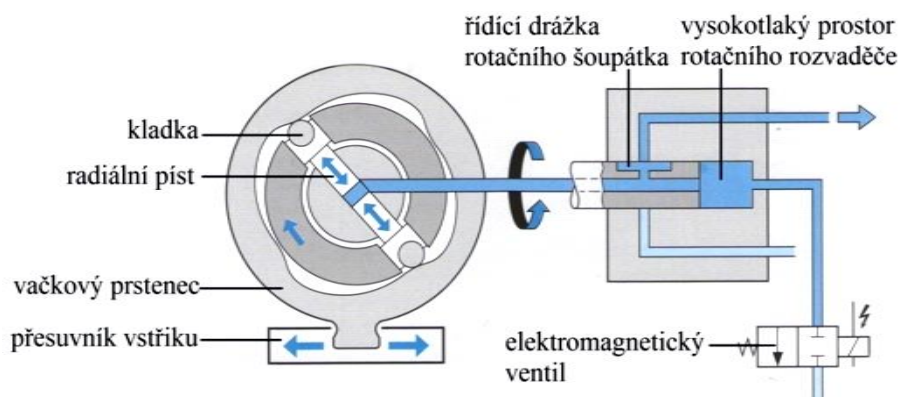
Obr. 10: Rota ní vstřikovací čerpadlo s axiálním pístem Bosch VP 30 [28]

4.3 Rota ní vstřikovací čerpadlo s radiálními písty

Na rozdíl od rotačního vstřikovacího čerpadla s axiálním pístem přebírá tvorbu vysokého tlaku čerpadlo s dvěma až čtyřmi radiálními písty a s vačkovým prstencem. Čerpadla s radiálními písty dosahují vyšších vstřikovacích tlaků (až 180 MPa) než čerpadla s axiálním pístem. Musí však dosahovat vyšší mechanické pevnosti. Působením přesuvníku vstřiku se může natáčet vačkový prsteneček. Počátek vstřiku a délka trvání vstřiku jsou řízeny výhradně elektromagnetickým ventilem. [7]

Dopravní lamelové čerpadlo, které je zabudované ve skříni čerpadla, dodává palivo z nádrže. Při otáčení rotoru (s písty ve vačkovém prstenci) vačky posouvají písty proti sobě (viz obr. 11). Z prostoru nad písty je palivo vytlačováno přes rotační rozvaděč s řídicí drážkou do vysokotlakého potrubí k jednotlivým vstřikovačům. Vysokotlaký elektromagnetický ventil, který je spojen s vysokotlakým prostorem, dávkuje množství vstřikovaného paliva. Počátek dodávky paliva je řízen pootáčením vačkového kroužku

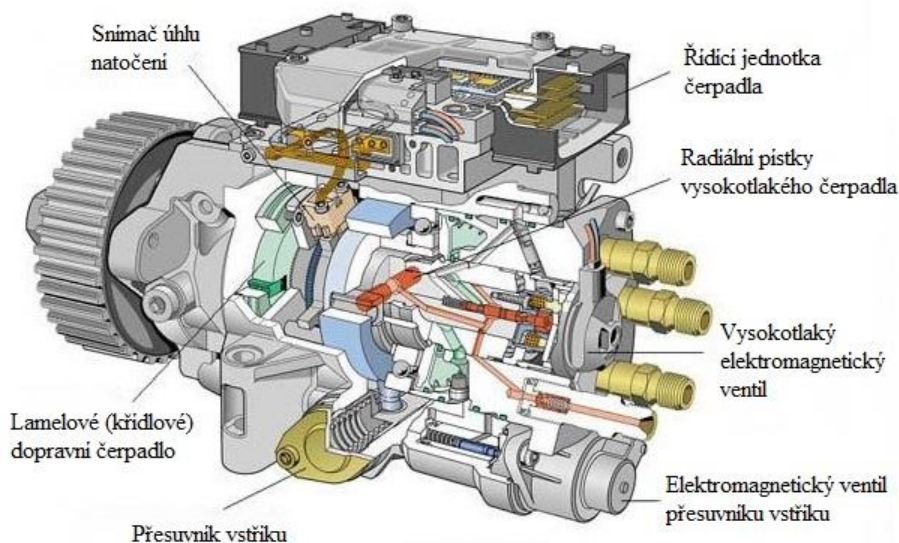
prostřednictvím přesuvníku vstříku. Řídící jednotka čerpadla a motoru vytváří řídicí a regulační signály pro nastavení vstřikovaného množství paliva. [1]



Obr. 11: Princip inosti rota ního vst ikovacího erpadla s radiálními písty [1]

4.3.1 Elektronická regulace rota ního vst ikovacího erpadla s radiálními písty

Velikost vstřikovaného množství paliva a změnu počátku vstřiku reguluje elektronicky řízený vysokotlaký elektromagnetický ventil (obr. 12). Při uzavřeném elektromagnetickém ventilu se tvoří ve vysokotlakém prostoru tlak. Je-li ventil otevřen, palivo odtéká, netvoří se žádný tlak a nedochází ke vstřiku. Řídící a regulační signály tvoří řídicí jednotka čerpadla a motoru. Řídící jednotka čerpadla ovládá vysokotlaký elektromagnetický ventil a řídí velikost vstřikované dávky paliva. Řídící jednotka čerpadla nastavuje parametry dle požadavků řídicí jednotky motoru. Komunikace mezi řídicími jednotkami je umožněna sběrnici CAN. [7]

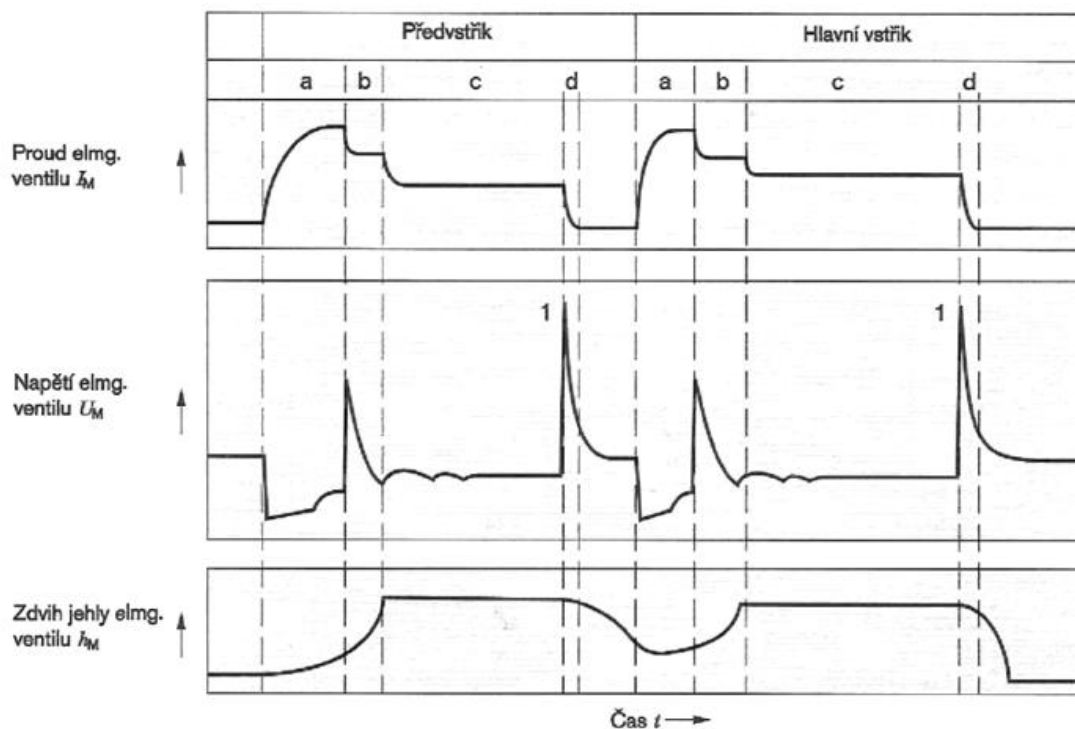


Obr. 12: Rota ní vst ikovací erpadlo s radiálními písty Bosch VP 44 [21]

4.3.1.1 Aktivace elektromagnetického ventilu

Vysokotlaký elektromagnetický ventil je aktivován regulací proudu (obr. 13). Aktivace je rozdělena na fázi přitahovacího proudu (a) a na fázi udržovacího proudu (c). Po začátku fáze udržovacího proudu dochází, pomocí vyhodnocovacího sepnutí BIP (Begin of Injection Period – počátek vstřikovací periody), k detekci dosednutí jehly elektromagnetického ventilu do jejího sedla. Nejnovější generace disponuje přídatnou úrovní proudu BIP (b) mezi fází přitahovací a udržovací. Veškerá aktivace a regulace proudu musí přesně pracovat. Ztrátové časy v řídicí jednotce a v elektromagnetickém ventilu musí být co nejnižší. Aby se na konci vstřiku dosáhlo k rychlému otevření elektromagnetického ventilu (d), přivede se do ventilu vysoké vypínací napětí (1). [7]

Dále je možno použít předvstřík pro zmírnění hluku spalování. Mezi předvstříkem a hlavní vstříkem se elektromagnetický ventil otevírá jen částečně. To umožňuje rychlé uzavření, i když je odstup mezi jednotlivými vstříky malý. [7]



a – proud ve fázi přitahování, b – rozpoznání BIP, c – proud ve fázi udržování, d – rychlé vypnutí,
1 – vypínací napětí

Obr. 13: Postup aktivace vysokotlakého elektromagnetického ventilu [7]

4.4 Sdružené vstřikovací jednotky (PDE, UIS)

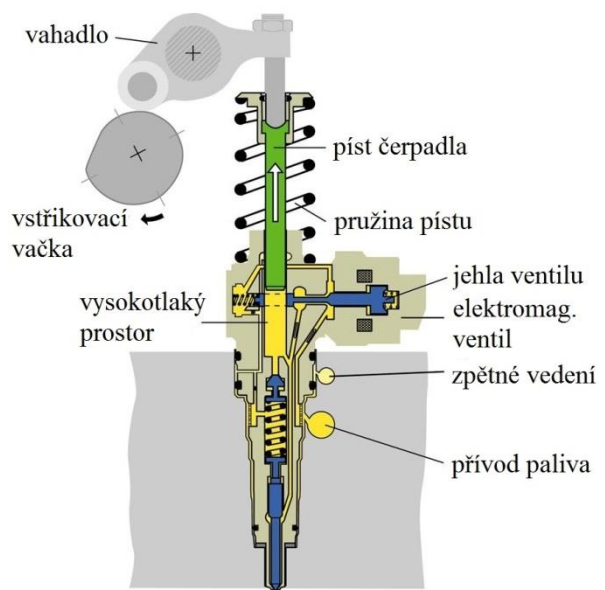
Sdružená vstřikovací jednotka – PDE (Pumpe Düse Einheit) nebo také UIS (Unit Injector System) v češtině nazývaná jednotka čerpadlo-tryska. U tohoto systému vstřikování odpadá vstřikovací čerpadlo a vysokotlaké potrubí, které často bývá choulostivým místem mezi vstřikovacím čerpadlem a vstřikovači. Každému válci motoru přísluší jedna sdružená vstřikovací jednotka. Tento systém vstřikování paliva dosahuje vysokých vstřikovacích tlaků (až 220 MPa). Sdružené vstřikovací jednotky umožňují přesné vstřikování, které lze přizpůsobit aktuálním provozním podmínkám motoru. Motory s tímto systémem vstřikování produkují nízký obsah škodlivin, pracují hospodárně a jsou tiché. Dosahují vysokého výkonu a vysokého točivého momentu. [12]

4.4.1 Průběh pracovního cyklu sdružené vstřikovací jednotky

Díky umístění sdružené vstřikovací jednotky přímo v hlavě motoru, musí se palivo přivádět vrtáním v hlavě. Palivo je z nádrže dopravováno pomocí mechanického podávacího čerpadla poháněného od vačkového hřídele. [5]

4.4.1.1 Plnění prostoru vysokého tlaku

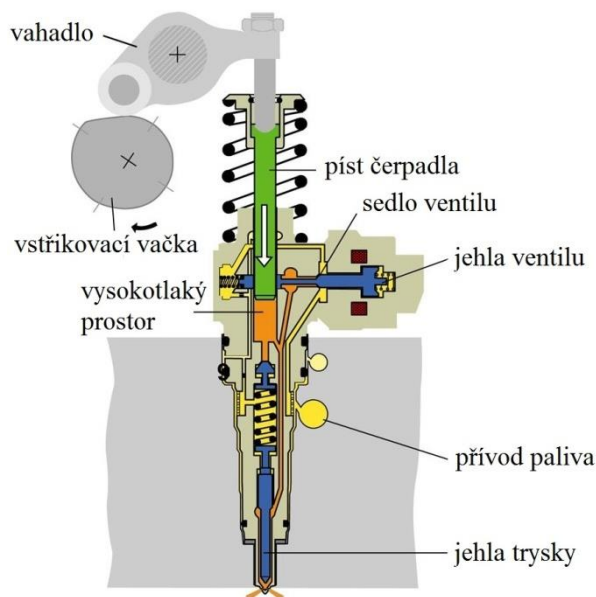
Vačka se otáčí tak, že pružina působí na píst čerpadla (obr. 14). Silou pružiny se pohybuje píst vzhůru a zvětšuje se objem vysokotlakého prostoru. Vinutí elektromagnetického ventilu je bez napětí. Jehla ventilu je v klidové poloze a přívod paliva s vysokotlakým prostorem je propojen. Tlakem, který vytvořilo dopravní čerpadlo, se prostor zaplňuje palivem. [5]



Obr. 14: Plnění prostoru vysokého tlaku [23]

4.4.1.2 Za átek pilotního vst íku

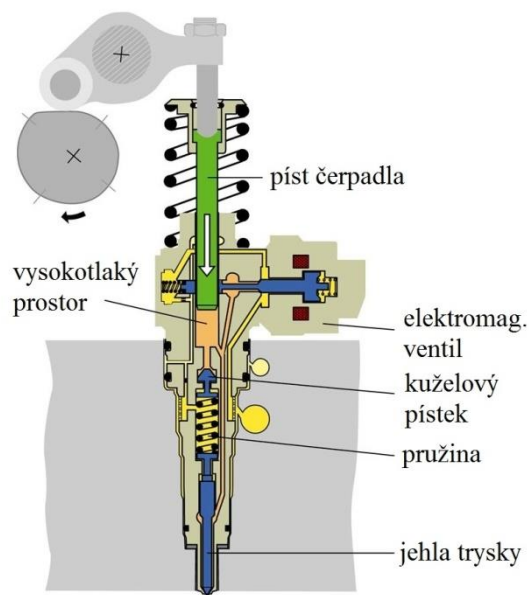
Působením vačky je píst čerpadla tlačěn dolů. V okamžiku uzavření elektromagnetického ventilu signálem z řídicí jednotky se uzavře propojení vysokotlakého prostoru s přívodem a odtokem paliva (obr. 15). Ve vysokotlakém prostoru vzrůstá tlak paliva a působí proti síle pružiny. Jakmile se tlak paliva zvýší natolik, že překoná sílu pružiny, jehla trysky se přizvedne a začíná pilotní vstřík (předvstřík). [5]



Obr. 15: Za átek pilotního vst íku [23]

4.4.1.3 Konec pilotního vst íku

Malá část paliva tlačí na kuželový pístek, síla pružiny se zvýší a uzavře jehlu trysky. Vstříkování paliva je přerušeno (obr. 16). [5]

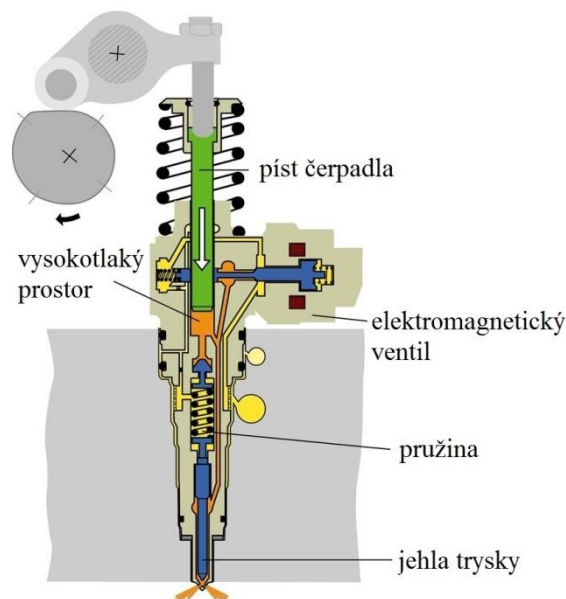


Obr. 16: Konec pilotního vst íku [23]

4.4.1.4 Za átek hlavního vst íku

Elektromagnetický ventil zůstává uzavřený a vlivem dalšího otáčení vačky pokračuje píst v pohybu dolů (obr. 17). Posuvem pístu se tlak paliva zvyšuje. Tlak

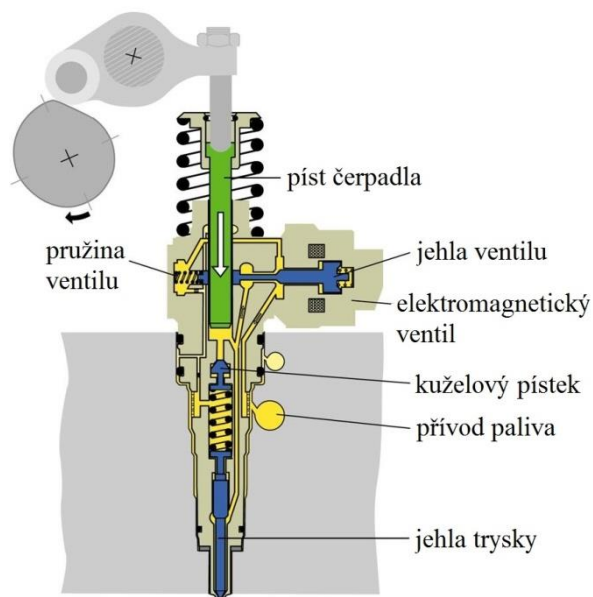
paliva působí na kuželový písteček, ten je ale na svém dolním dorazu a uzavírací síla pružiny trysky se již nezvyšuje. Jehla trysky se znovu nadzvedne a začíná hlavní vstřik paliva. Pohybem pístu směrem dolů je palivo z vysokotlakého prostoru vytlačováno a tlak paliva stoupá až do velmi vysokých hodnot, protože otvory trysky jsou malé, nemůže jimi protéci takové množství paliva, jaké je pístem z vysokotlakého prostoru vytlačováno. [5]



Obr. 17: Za átek hlavního vstřiku [23]

4.4.1.5 Konec hlavního vstřiku

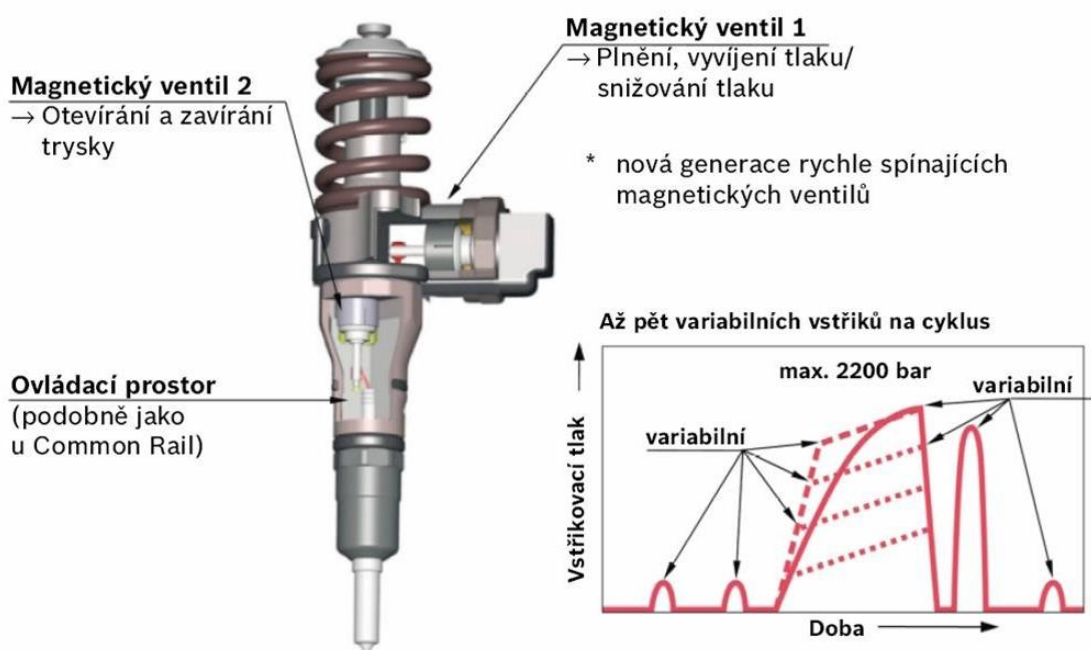
Konec vstřiku nastává v okamžiku otevření elektromagnetického ventilu (obr. 18). Řídící jednotky přeruší napětí k vinutí elektromagnetu. Jehla ventilu je silou své pružiny vrácena do klidové polohy a palivo vytlačované pístem čerpadla může odtékat do zpětného vedení. Otevřením zpětného vedení poklesne tlak paliva a pružina trysky zatlačí jehlu do výchozí polohy, kde uzavře vstřikovací otvory. Současně pružina posune kuželový písteček do základní polohy. Hlavní vstřik je ukončen. [5]



Obr. 18: Konec hlavního vstřiku [23]

4.4.2 Třetí generace srušené vstřikovací jednotky

Třetí generace srušených vstřikovacích jednotek umožňuje maximální vstřikovací tlak až 220 MPa. Použitím dvou ovladačů, namísto jednoho, lze průběh vstřikování variabilně upravovat, jak je patrné z obrázku 19. Pružnost při úpravě vstřikování je srovnatelná se systémem CommonRail třetí a čtvrté generace. K tomuto účelu jsou použity nové, velmi rychlé spínací magnetické ventily. Jeden ventil řídí nárůst a pokles tlaku, druhý ventil nezávisle řídí otevírání a uzavírání trysky, podobně jako ovládací ventil vstřikovače CommonRail. [7]

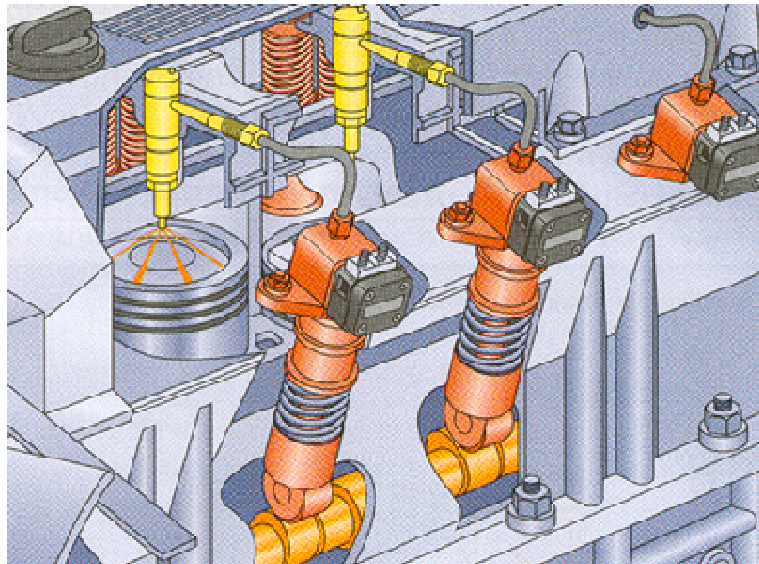


Obr. 19: Třetí generace srušené vstřikovací jednotky [17]

Při konstrukci motoru se srušenými vstřikovači se musí brát v úvahu potřebný prostor v horní části hlavy motoru a hlavně značné síly k pohonu čerpadla. U menších motorů se obvykle používá dostatečně dimenzovaný vačkový hřídel nad hlavou s masivními vahadly (rozvod OHC). Při použití rozvodu OHV je nutné počítat s deformací rozvodového mechanismu a předcházet jeho poruchám a kmitání. Na druhé straně zde nehrozí jevy spojené s uvolněním akumulované energie, jako je dodatečný vstřik špatně rozprášeného paliva, tvorba parních bublin a kavitace v systému. [10]

4.5 Samostatné vstřikovací jednotky (PLD, UPS)

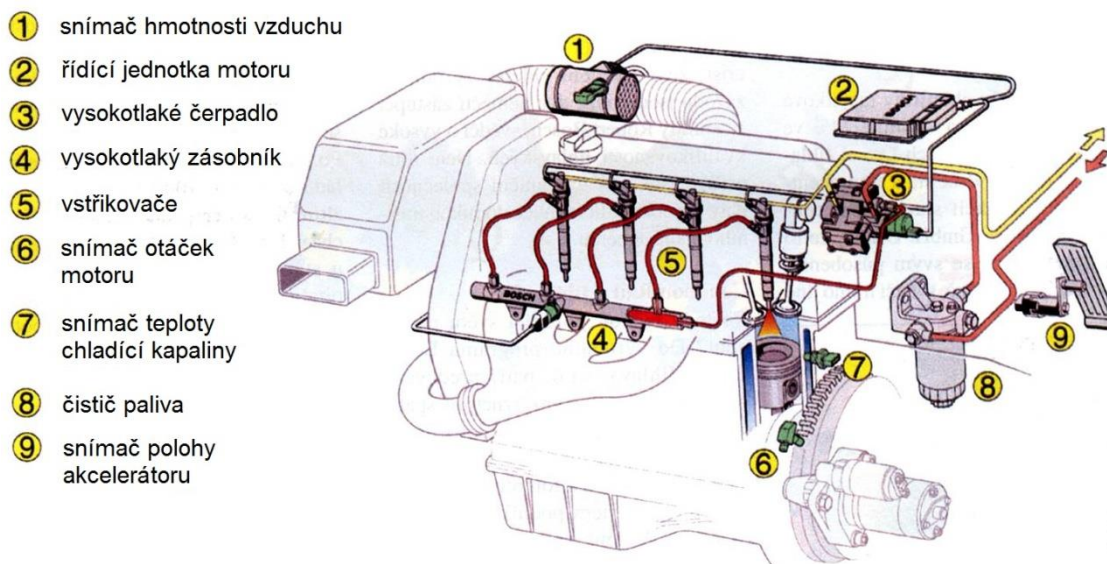
Sdružený vstřikovací systém – PLD (Pumpe Leitung Düse) nebo také UPS (Unit Pump System), v češtině nazývaný systém čerpadlo-vedení-tryska, pracuje na stejném principu jako systém sdružené vstřikovací jednotky – PDE. Rozdíl v těchto dvou systémech, jak je zobrazeno na obrázku 20, je takový, že vstřikovač a vstřikovací čerpadlo jsou spojeny krátkým vysokotlakým vedením. Toto oddělení umožňuje jednodušší zástavbu do motoru. Každému válci motoru přísluší jedna vstřikovací jednotka (vstřikovací čerpadlo, vysokotlaké potrubí a vstřikovač). Vstřikovací čerpadlo je poháněno vačkovým hřídelem motoru. Také u tohoto systému je doba vstřiku a počátek vstřiku regulován elektronickou řídicí jednotkou motoru prostřednictvím vysokotlakého elektromagnetického ventilu. [12]



Obr. 20: Samostatné vstřikovací jednotky [16]

5 VYSOKOTLAKÝ ZÁSOBNÍKOVÝ SYSTÉM VSTŘIKOVÁNÍ COMMONRAIL

Nároky na nízkou spotřebu paliva, malý obsah škodlivin ve výfukových plynech a tichý chod motoru kladou vysoké požadavky na motor a vstřikovací systém. Tyto nároky mohou být splněny jen vstřikovacím systémem, který je schopen zajistit velmi vysoký vstřikovací tlak důležitý pro jemné rozprášení paliva v trysce, přesné dávkování vstřikovaného množství paliva, přesný průběh vstřikování, pilotní vstřiky (předvstřiky) a následné vstřiky (dostřiky). Systém, který je schopen tyto požadavky splnit, je zásobníkový systém vstřikování CommonRail, který je znázorněn na obrázku 21. Tento systém se od ostatních systémů vstřikování liší v tom, že palivo je ve vysokotlakém zásobníku neustále připraveno ke vstřikování. [9]



Obr. 21: Schéma vstřikovacího systému s tlakovým zásobníkem CommonRail [32]

Mezi hlavní části palivového systému CommonRail patří podávací čerpadlo, čistič paliva (8), vysokotlaké čerpadlo (3), vysokotlaké potrubí, vysokotlaký zásobník (4), vstřikovače (5) a řídicí jednotka motoru (2). Podávací čerpadlo neustále nasává palivo z nádrže a přes čistič paliva ho dopravuje do vysokotlakého čerpadla. Vysokotlaké čerpadlo vytlačuje palivo do vysokotlakého zásobníku, kde je udržován konstantní tlak. Na zásobník jsou napojena vysokotlaká potrubí spojující zásobník se vstřikovači. Vstřikovače jsou elektronicky ovládány řídicí jednotkou, která rozhoduje o okamžiku vstřiku a množství vstříknutého paliva. [1]

5.1 Generace systém vstřikování CommonRail

První generace

V roce 1997 byla na trh uvedena první generace systémů vstřikování paliva CommonRail, která dosahovala vstřikovacích tlaků až 135 MPa. U tohoto systému byla použita regulace tlaku ve vysokotlakém zásobníku regulačním ventilem. Použito bylo vysokotlaké čerpadlo CP 1, které nezávisle na potřebě paliva dodávalo stále maximální množství paliva. Regulační ventil odváděl přebytečné palivo zpět do palivové nádrže. [12,17]

Druhá generace

Druhá generace byla představena v roce 2001 a dosahovala vstřikovacích tlaků až 160 MPa. Použita byla vysokotlaká čerpadla CP 3 a CP 1H, která dodávají jen tolik paliva, kolik motor skutečně potřebuje. Energie potřebná pro pohon čerpadla byla nižší, a tudíž i spotřeba paliva. [12,17]

Třetí generace

Na trh byla uvedena v roce 2003. Při nezměněném tlaku 160 MPa je hlavní inovací použití piezoelektrických vstřikovačů, u kterých lze jehlu ventilu vstřikovače otevírat a uzavírat během jedné desetitisíciny sekundy. Tím je možné pět i více vstříknutí během jednoho cyklu. Použita byla stejná vysokotlaká čerpadla jako ve druhé generaci. V roce 2006 dosahoval vstřikovací tlak až 180 MPa a v roce 2007 až 200 MPa. [12,17]

čtvrtá generace

Čtvrtá generace vznikla v roce 2008. Je zde poprvé použit hydraulicky posilovaný vstřikovač nafty. Tento vstřikovač pracuje s převodovým pístem, který zvyšuje systémový tlak, a umožňuje tak dosáhnout vstřikovacího tlaku až 250 MPa. Zde je použito vysokotlaké čerpadlo CP 4. [17]

5.2 čistota paliva

Moderní systémy vstřikování paliva vznětových motorů reagují citlivě i na nejmenší nečistoty v palivu. K poškození systému dochází především v důsledku eroze pevných částic a kondenzace vody. Životnost vstřikovacího systému je závislá na čistotě paliva.

Podle použití je pro nové systémy vstřikování stupeň účinnosti oddělení pevných částic mezi 65 % a 98,6 % (velikost odstraněných pevných částic je 3 μm až 5 μm). Dalším požadavkem je odstranění volné vody z paliva. Účinné oddělení vody z paliva musí být vyšší jak 93 %. Proto se pro nové systémy vstřikování používají filtrační média z mnoha vrstev syntetických a buničitých materiálů. [9]

5.3 Vysokotlaké erpadlo

Úkolem vysokotlakého čerpadla je dodat dostatek paliva pod tlakem do vysokotlakého zásobníku. Čerpadlo obsahuje rezervu paliva, která umožňuje rychlejší nastartování motoru a rychlý nárůst tlaku ve vysokotlakém zásobníku. Vysokotlaké čerpadlo vytváří trvalý systémový tlak, nezávislý na vstřikování, pro vysokotlaký zásobník. V tabulce 1 je zaznamenán typ čerpadla a maximální tlak, který je schopno vytvořit. Palivo je i v průběhu vstřikování neustále stlačováno. [7]

Tabulka 1: *Vysokotlaké erpadla BOSCH pro CommonRail* [8]

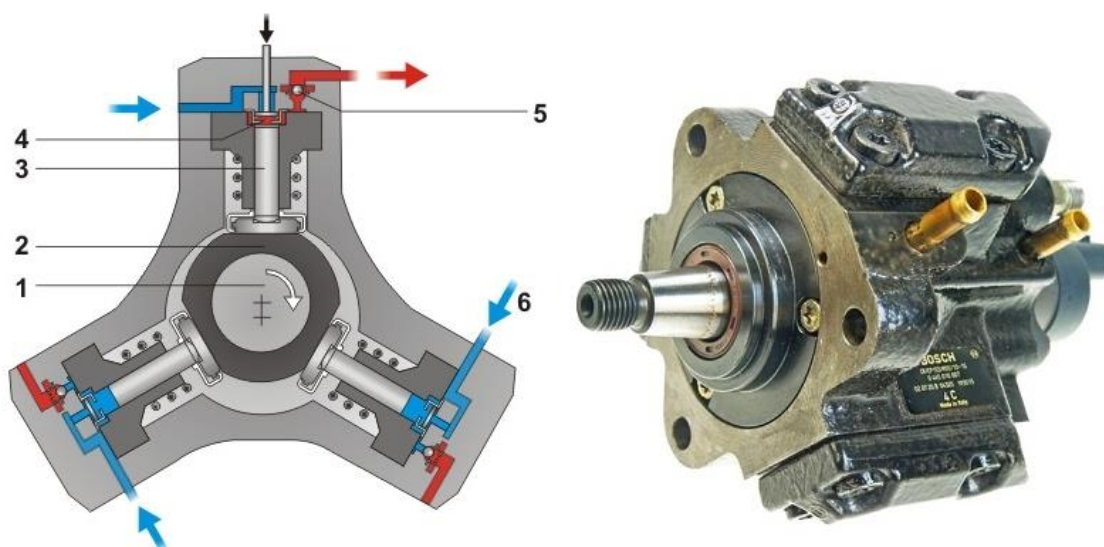
vysokotlaké čerpadlo	tlak [MPa]	mazání
CP 1	135	palivo
CP 1+	135	palivo
CP 1H	160/180	palivo
CP 1H+OHW	110	palivo
CP 3.2	160	palivo
CP 3.2+	160	palivo
CP 3.3	160	palivo
CP 3.4	160/180	olej
CP 3.4+	160	palivo
CP 2	140	olej
CPN 2.2	160	olej
CPN 2.2+	160	olej
CPN 2.4	160	olej
CP 4.1	180/200	palivo
CP 4.2	110/200	palivo

Otáčky čerpadla jsou pevně vázány převodovým poměrem k otáčkám motoru přes spojku, ozubené kolo, řetěz nebo řemen. Montována jsou obvykle na stejném místě

motoru jako běžná rotační vstřikovací čerpadla. Vysokotlaká čerpadla mohou být mazána palivem nebo olejem. Při použití mazání olejem mají čerpadla větší odolnost proti horší kvalitě paliva. [7]

5.3.1 Radiální pístové erpadlo CP 1

V tělese čerpadla je uložen centrální hnací hřídel. K hřídeli jsou radiálně v roztečích 120° umístěny jednotlivé elementy čerpadla (obr. 22). Na hřídeli je umístěný výstředník, který vyvolává vratný pohyb pístů čerpadla. [7]



1 – hnací hřídel, 2 – výstředník, 3 – element čerpadla s pístem, 4 – sací ventil, 5 – výtlačný ventil, 6 – přívod paliva

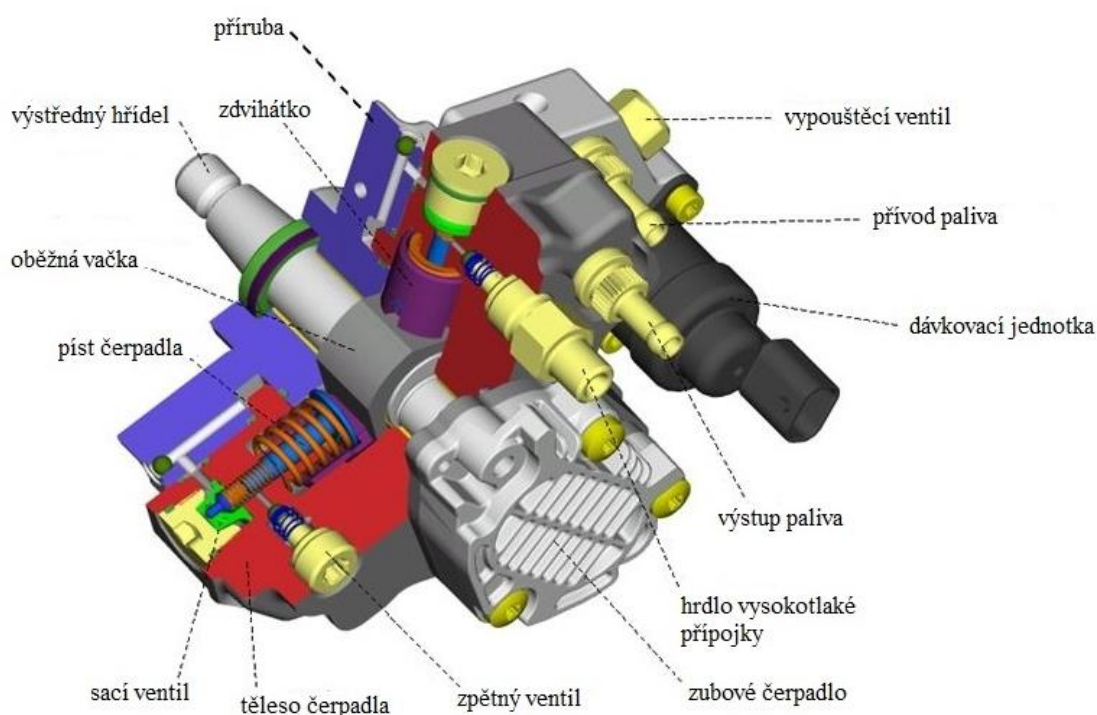
Obr. 22: Radiální pístové erpadlo CP 1 [22]

Podávací čerpadlo (elektrické nebo mechanické zubové) dodává palivo, přes filtr s odlučovačem vody, k přívodu do vysokotlakého čerpadla. Za přívodem je umístěn pojistný ventil. Když překročí pracovní tlak podávacího čerpadla otvírací tlak pojistného ventilu (0,05 MPa až 0,15 MPa), je palivo škrťacími otvory vytlačeno do chladicího a mazacího okruhu vysokotlakého čerpadla. Hnací hřídel s výstředníkem vyvolává vratný pohyb pístů čerpadla v souladu se zdvihem výstředníku. Když se píst čerpadla pohybuje dolů (sací zdvih), palivo proudí sacím ventilem vysokotlakého čerpadla do prostoru příslušného elementu. Jakmile píst čerpadla překročí dolní úvrať, sací ventil se uzavře a při dalším pohybu pístu k horní úvratí dochází ke stlačování

paliva na tlak vyšší, než je tlak podávacího čerpadla. Tlak paliva otevře výstupní ventil a píst čerpadla vytlačuje palivo do regulátoru tlaku a odtud do vysokotlakového zásobníku. Píst čerpadla dodává palivo do chvíle, až dosáhne horní úvratě (dopravní zdvih). Poté tlak paliva poklesne a výstupní ventil se uzavře. Přebytečné palivo se uvolní a píst čerpadla se pohybuje k dolní úvratí. Jakmile tlak paliva v elementu klesne pod tlak podávacího čerpadla, otevře se sací ventil a celý cyklus se opakuje. [7]

5.3.2 Radiální pístové čerpadlo CP 3

Jedná se o vysokotlaké čerpadlo s regulací na straně sání pomocí dávkovací jednotky. Tato regulace byla poprvé použita u CP 3 a později převzata do CP 1H. Konstrukce čerpadla je podobná jako u CP 1 až na malé rozdíly (viz obr. 23). Použitím talířového zdvihátka se docílilo vyšší zatížitelnosti čerpadla a možnosti použití vyšších tlaků (až 180 MPa). Čerpadla CP 3 se používají jak u osobních, tak i u nákladních vozidel. Podle potřebného dopravního výkonu se používají různá provedení těchto čerpadel. [9]



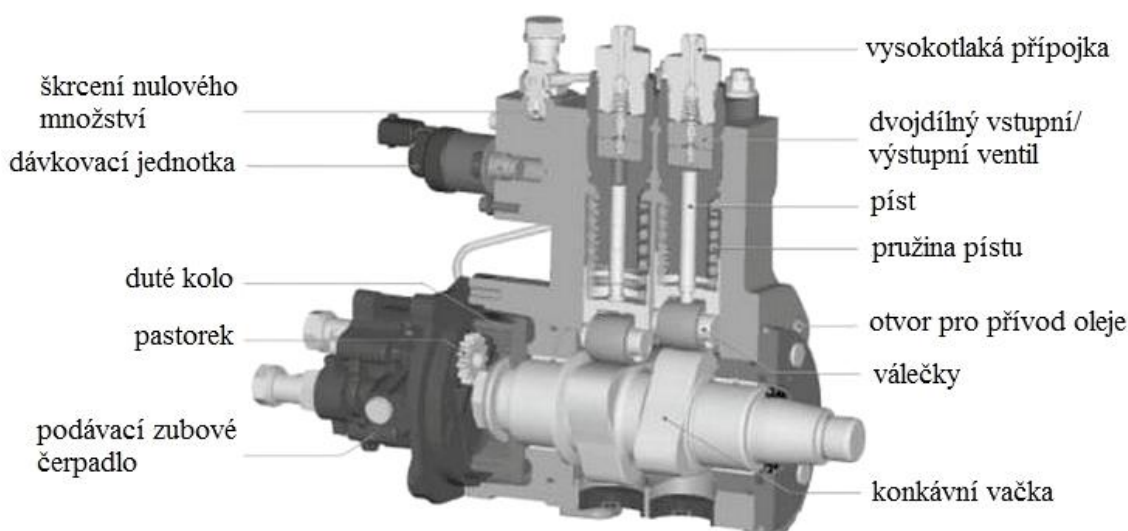
Obr. 23: Radiální pístové čerpadlo CP 3 [27]

Při nízkých otáčkách motoru není spotřeba paliva tak velká a je zbytečné, aby čerpadlo podávalo plný dopravní výkon. Proto se pro odpojení jednoho až dvou

elementů čerpadla používá dávkovací jednotka. Odpojení je zajištěno otevřením sacího ventilu pomocí elektromagnetu. I při výtlačku paliva zůstává ventil otevřený, což zajistí snížení příkonu pohonu čerpadla a současně snížení ohřevu paliva při průtoku do přeřadu. [1]

5.3.3 Radiální pístové erpadlo CP 2

Vysokotlaké čerpadlo CP 2, které je mazané olejem s možností regulace paliva, se používá jen u nákladních vozidel (obr. 24). Jedná se o dvoupístové provedení (oba písty čerpadla jsou vedle sebe). Na vačkovém hřídeli se nachází zubové čerpadlo, které nasává palivo z nádrže a přivádí jej k jemnému filtru. Odtud se potrubím dostává do dávkovací jednotky, která je umístěná v horní části vysokotlakého čerpadla. Přívod paliva do elementu čerpadla a další vedení do vysokotlakého zásobníku probíhá u CP 2 prostřednictvím kombinovaného vstupního/výstupního ventilu. [9]

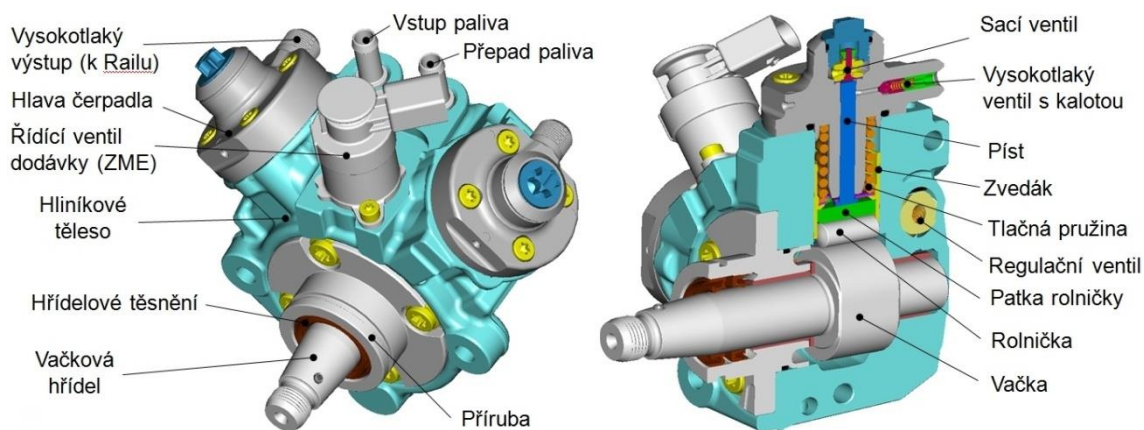


Obr. 24: Radiální pístové erpadlo CP 2 [19]

5.3.4 Radiální pístové erpadlo CP 4

Vysokotlaké čerpadlo CP 4 se používá jak u osobních, tak i u užitkových vozidel. Existují dvě varianty čerpadla (CP 4.1 s jednou vysokotlakou hlavou válce a CP 4.2 se dvěma vysokotlakými hlavami válce, které je zobrazeno na obrázku 25. Velká konstrukční změna nastala v tom, že otáčky vysokotlakého čerpadla CP 4 jsou shodné s otáčkami klikového hřídele. Dosud byl pohon čerpadla zajištěn v poměru 1 : 2

nebo 2 : 3. Pracovní tlak čerpadla je 180 MPa až 200 MPa. Ve vývoji však bylo plánováno dosáhnout tlaku až 250 MPa. Vysoký tlak v Railu nastává již při nízkých otáčkách 1000 min^{-1} . Toto čerpadlo je také vhodné pro systém Start-Stop. [3]



Obr. 25: Radiální pístové erpadlo CP 4.2 [3]

5.3.5 Radiální pístové erpadlo CPN 5

Tento typ vysokotlakového čerpadla (viz obr. 26) se používá u středních a těžkých užitkových vozidel. Dosahuje vstřikovacích tlaků až 250 MPa. [17]



Obr. 26: Radiální pístové erpadlo CPN 5 [18]

5.4 Vysokotlaký zásobník (Rail)

Úkolem vysokotlakého zásobníku je uchovat palivo pod vysokým tlakem a rozdělovat ho ke vstřikovačům (viz obr. 27). V zásobníku také musí být tlumeny kmity, které vznikají v důsledku pulzující dodávky čerpadla a vstřikování. Tím je zajištěn konstantní vstřikovací tlak. Objem zásobníku musí být takový, aby vyhověl těmto požadavkům, ale nesmí být zase příliš velký z důvodu rychlého vytvoření tlaku při startování. [9]

Tlak paliva ve vysokotlakém zásobníku je měřen snímačem tlaku a regulačním tlakovým ventilem regulován na požadovanou hodnotu. Jako alternativa regulačního tlakového ventilu je, v závislosti na požadavcích systému, použit omezovací tlakový ventil. Ten omezuje tlak ve vysokotlakém zásobníku na maximální povolený tlak. Během vstřikování je ze zásobníku odebíráno palivo a i při větším odběru zůstává tlak paliva v zásobníku téměř konstantní. [9]



1 – vstřikovač, 2 – přívod od vysokotlakého čerpadla, 3 – vedení ke vstřikovači,
4 – snímač tlaku, 5 – vysokotlaký zásobník, 6 – zpětné vedení, 7 – regulační tlakový ventil

Obr. 27: Vysokotlaký zásobník (Rail) [15]

5.5 Vstřikovače

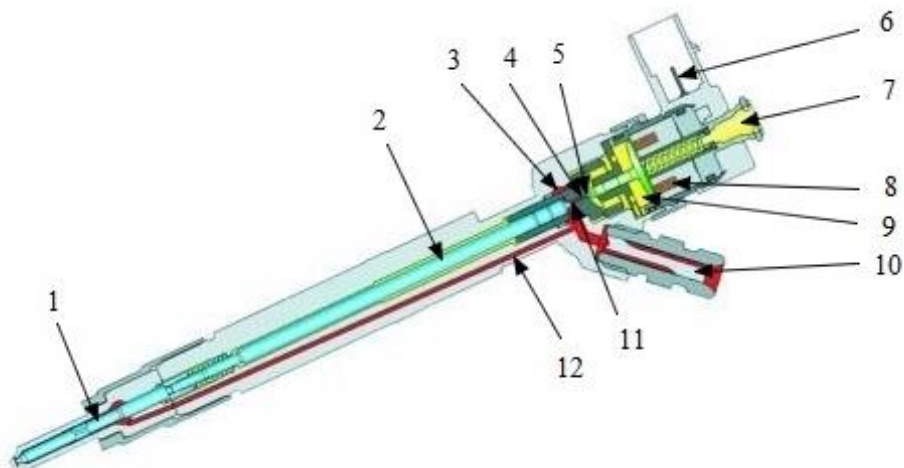
Vstřikovače jsou koncovou částí palivové soustavy vznětových motorů. U vstřikovacího systému CommonRail jsou vstřikovače s vysokotlakým zásobníkem propojeny krátkým vysokotlakým potrubím. Pomocí upínacích prvků jsou vstřikovače upevněny v hlavě motoru. Podle provedení vstřikovacích trysek jsou vstřikovače vhodné pro přímou nebo šikmou vestavbu do vznětového motoru s přímým vstřikem paliva. Systém je charakteristický tím, že tvorba vstřikovacího tlaku je nezávislá na otáčkách motoru a vstřikovaném množství. Počátek vstřiku a vstřikované množství jsou řízeny elektricky ovládaným vstřikovačem. Okamžik vstřiku je řízen systémem elektronické regulace vznětových motorů (EDC). K tomu jsou potřebné dva snímače otáček. Snímač otáček klikové hřídele a snímač otáček vačkové hřídele. Požadavky na snížení emisí a hlučnosti vznětových motorů vyžadují optimální přípravu směsi. Od vstřikovačů je vyžadován předvstřik s velmi malým množstvím paliva a následné několikanásobné vstřikování. [4, 7]

5.5.1 Vstřikovač s elektromagnetickým ventilem

Vstřikovač s elektromagnetickým ventilem, který je zobrazen na obrázku 28, se skládá z pružiny, pístu, tlakových kanálů, odpadu paliva a elektromagnetického ventilu. Z vysokotlakého zásobníku je palivo vedeno vysokotlakým potrubím do přívodu trysky. Pod vysokým tlakem palivo proudí přívodním kanálem (12) k trysce (1) a přes přívodní škrťací otvor (3) nad ovládací píst (2). Když je elektromagneticky ovládaný ventil (8) uzavřen, hydraulická síla na píst převládá nad hydraulickou silou působící na kuželovou plochu mezikruží jehly. Jehla je tlačena do sedla a přístup paliva do spalovacího prostoru je uzavřen. Při aktivaci elektromagnetického ventilu se otevře odtokový škrťací otvor (4). V prostoru nad ovládacím pístem klesá tlak paliva a s ním síla působící na píst. Hydraulická síla, která působí na kužel jehly, zvedne jehlu ze sedla a palivo je vstřikováno do spalovacího prostoru motoru. Hydraulické ovládání trysky je použito proto, že síly nutné pro rychlé otevření trysky jsou velké a nelze jich dosáhnout přímo elektromagnetickým ventilem. [1]

U vstřikovačů s elektromagnetickým ventilem se rozlišují dvě koncepce provedení elektromagnetického ventilu. Vstřikovač s jednodílnou kotvou (jednoprůžinový systém)

a vstřikovač s dvojdílnou kotvou (dvoupružinový systém). Koncepce s dvojitou kotvou umožňuje dosažení kratších intervalů mezi dvěma vstřiky. [9]



1 – jehla trysky, 2 – ovládací píst, 3 – přívodní škrťací kanál, 4 – odtokový škrťací otvor,
5 – jehla ventilu, 6 – konektor, 7 – odtok paliva, 8 – elektromagnet, 9 – odpad paliva,
10 – přívod paliva z tlakového zásobníku, 11 – prostor nad pístem, 12 – přívodní kanál k trysce

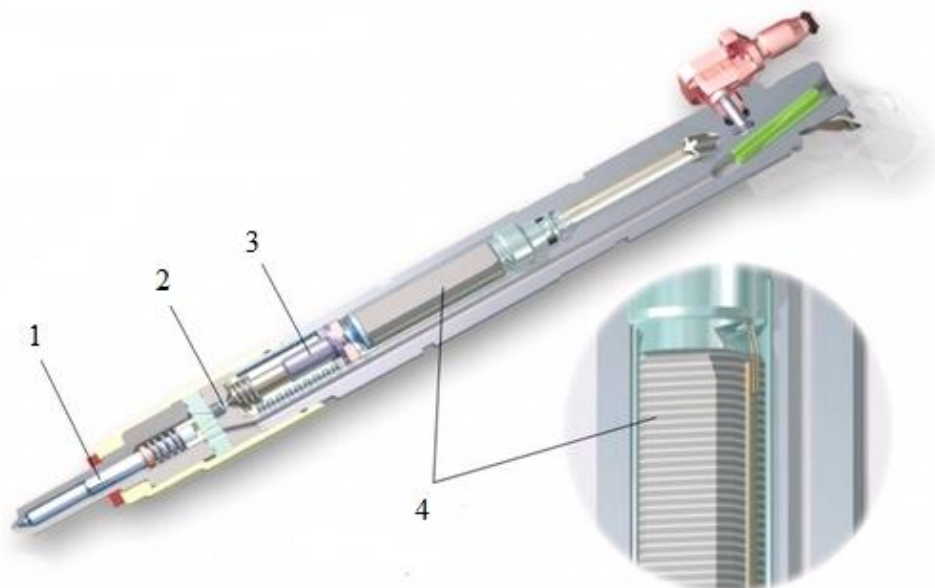
Obr. 28: Vstřikovač s elektromagnetickým ventilem [26]

5.5.2 Piezoelektrický vstřikovač

Podstatně rychlejší odezvu na přivedený elektrický signál má vstřikovač ovládaný piezoelektrickým členem (obr. 29). To umožňuje přesné ovládání děleného vstřiku. Piezoovladač (piezokrystal) se skládá přibližně z 300 plátek křemene o celkové výšce asi 30 mm. Po přivedení napětí 140 V se výška krystalu prodlouží o 0,08 mm. Pro zvětšení zdvihu piezokrystalu na velikost potřebnou k ovládání řídicího ventilu se používá hydraulický převodník. [1, 4]

Piezoelektrické vstřikovače jsou schopné realizovat až pět vstřiků na jeden vstřikovací cyklus. Doba prodlevy mezi počátkem elektrické aktivace a hydraulickou reakcí jehly trysky je přibližně 0,15 ms. Díky tomu mohou být splněny požadavky na vysokou rychlost jehly a co nejmenší množství vstřikovaného paliva. [9]

Výhodou piezoelektrického vstřikovače oproti elektromagnetickému vstřikovači je několikanásobný vstřik, velmi malé vstřikované množství při předvstřiku, malé konstrukční rozměry a nízká hmotnost vstřikovače (270 g oproti 490 g), nízké emise a zvýšení výkonu motoru. [7]



1 – vstřikovací tryska, 2 – řídící ventil, 3 – hydraulický převodník, 4 – piezoovladač

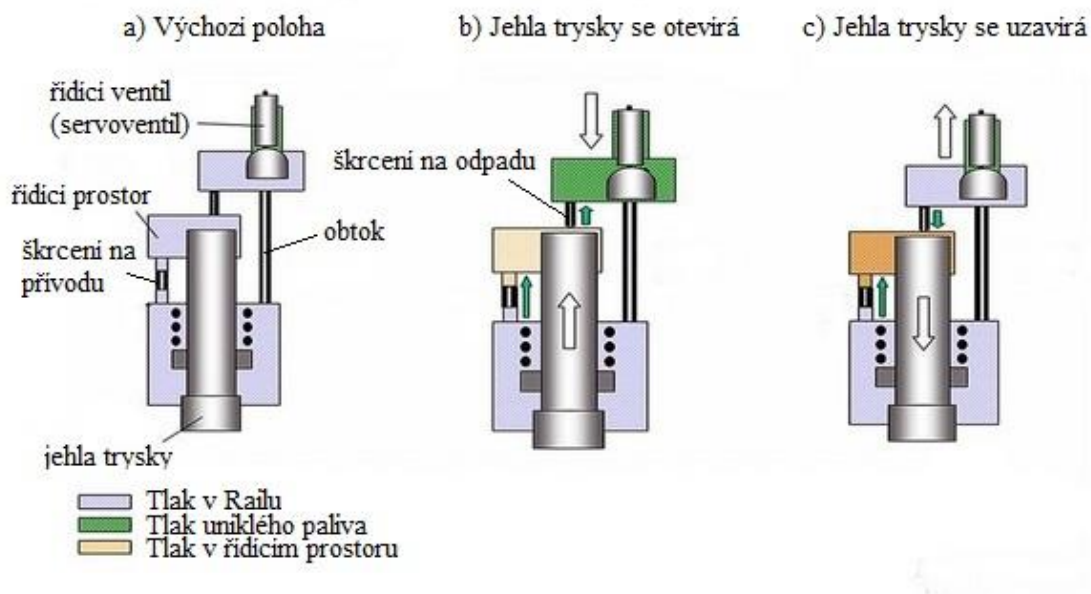
Obr. 29: Piezoelektrický vstřikovač [17]

5.5.2.1 Funkce řídicího ventilu piezoelektrického vstřikovače

Pokud není na piezoelektrický krystal přivedeno napětí, řídicí ventil uzavírá odtok paliva do přeplavu (obr. 30 a). V řídicím prostoru nad jehlou trysky je stejný tlak jako ve vysokotlakém zásobníku. Shora, na jehlu trysky, působí větší síla, než je síla otevírací. Jehla trysky je zatlačena do sedla a nedochází ke vstřiku paliva do spalovacího prostoru.

V okamžiku přivedení napětí na piezoelektrický krystal (obr. 30 b) se zvedne řídicí ventil (servoventil) ze sedla a uzavře obtok z prostoru trysky. Z řídicího prostoru začne unikat tlak přes škrcení a okolo otevřeného řídicího ventilu do přeplavu ze vstřikovače. Tlak v řídicím prostoru poklesne a jehla trysky je zvednutá ze sedla. Síla, která zvedne jehlu trysky ze sedla, je vyvolána tlakem paliva v prostoru trysky na kuželovou plochu mezikruží jehly. Palivo je vstřikováno do válce.

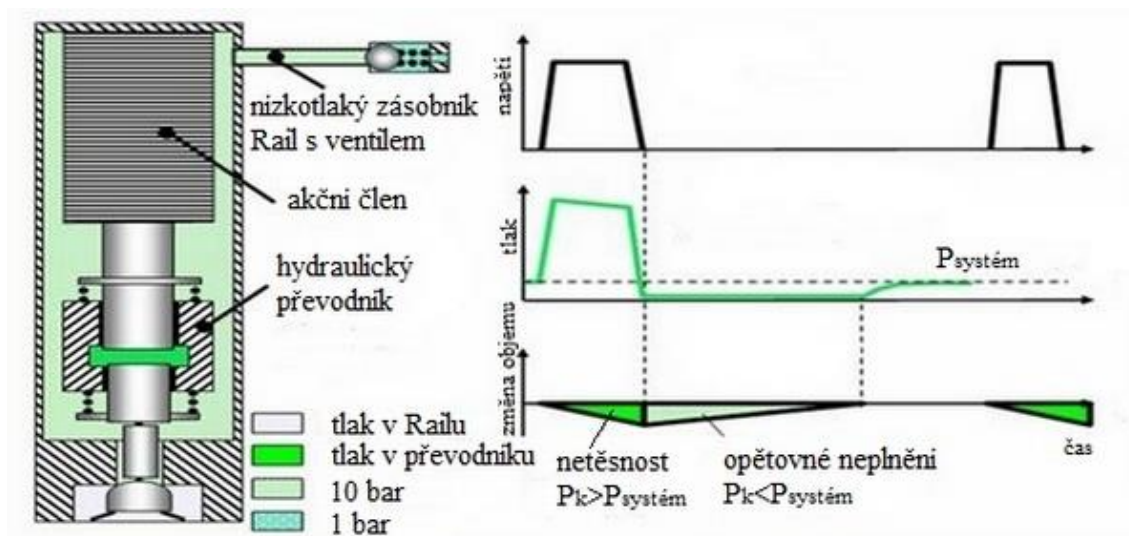
Jakmile je přerušeno napětí na piezoelektrický krystal (obr. 30 c), řídicí ventil otevře obtokový kanál a do řídicího prostoru proudí palivo přes škrceň. V řídicím prostoru stoupá tlak a dochází k zatažení jehly vstříkovací trysky do sedla a k ukončení vstřiku. [1]



Obr. 30: *Funkce řídicího ventilu piezoelektrického vstřikovače* [25]

5.5.2.2 *Funkce hydraulického převodníku*

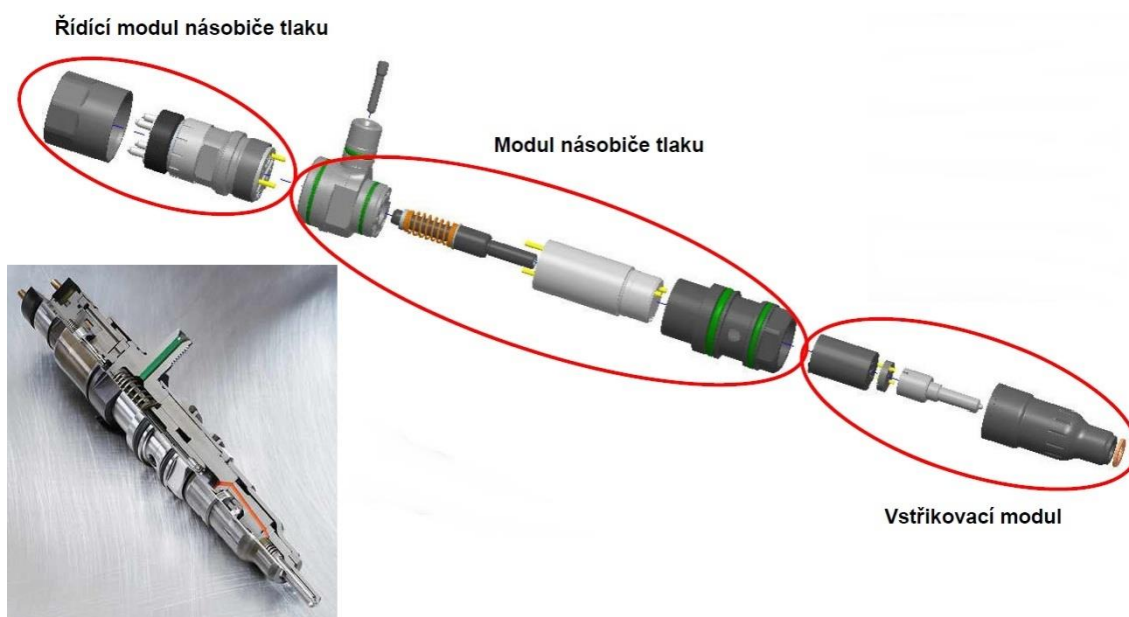
Modul akčního členu a hydraulický převodník (viz obr. 31) jsou obklopeny palivem, které je pod tlakem přibližně 1 MPa. Když je akční člen deaktivován, v hydraulickém převodníku je tlak v rovnováze s jeho okolím. Aby došlo ke vstřiku, je akční člen držen tak dlouho pod napětím (110 V až 150 V), až dojde k porušení rovnováhy sil mezi spínacím ventilem a akčním členem. Tlak v hydraulickém převodníku následně vzroste a dochází ke vstřiku. Malé množství tlaku unikne vůči pístu v hydraulickém převodníku. Po ukončení vstřiku se musí doplnit chybějící palivo v hydraulickém převodníku. K tomu dochází prostřednictvím vůle ve vedení pístu v důsledku rozdílu tlaku mezi hydraulickým převodníkem a nízkotlakým okruhem vstřikovače. Před následujícím vstříkovacím cyklem musí být hydraulický převodník zcela naplněn. [7]



Obr. 31: Funkce hydraulického převodníku [25]

5.5.3 Hydraulický vstřikovač s násobičem (HADI)

Tento vstřikovač „Hydraulically Amplified Diesel Injector“ (HADI), který je zobrazen na obrázku 32, pracuje s převodovým pístem, který zvyšuje tlak v systému (1 : 2) a umožňuje vstřikovací tlak 250 MPa (obr. 32). Tato technika umožňuje pracovat v systému s výrazně nižším tlakem a požadovaný maximální tlak vytvářet až ve vstřikovači. [17]



Obr. 32: Hydraulický vstřikovač s násobičem [3]

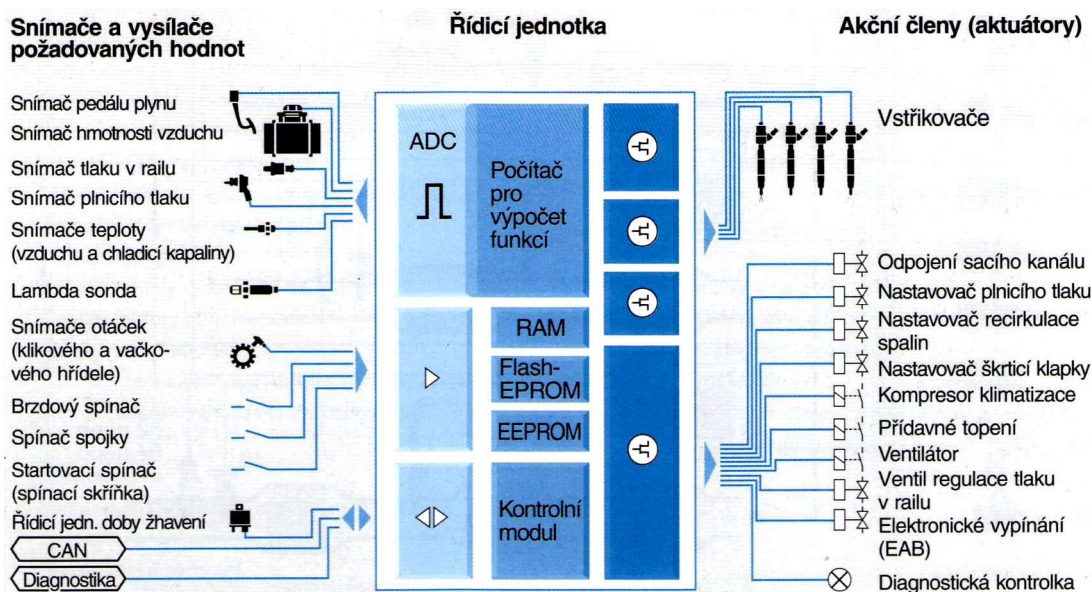
5.6 Elektronická regulace vznětového motoru (EDC)

Důležitým úkolem elektronické regulace (EDC) je řízení vstřikovaného množství, okamžiku vstřiku a vstřikovacího tlaku. Kromě toho řídicí jednotka ovládá různé akční členy. Funkce elektronické regulace musí být přesně přizpůsobena každému vozidlu a motoru. Jen za těchto podmínek mohou všechny komponenty optimálně spolupracovat. [12]

Při použití systému elektronické regulace vznětového motoru nemá řidič přímý vliv na vstřikované množství paliva. Vstřikované množství je určováno různými ovlivňujícími veličinami. Jsou to například: poloha plynového pedálu, provozní stav, teplota motoru, zásahy dalších systémů (ABS, ASR, ESP atd.), působení na emise škodlivých látek. Vstřikované množství paliva, okamžik vstřiku a vstřikovací tlak se vypočítá z těchto ovlivňujících veličin. Závisí to ovšem na koncepci rozsáhlého sledování, které rozpozná vzniklé odchylky a podle závažnosti uskuteční příslušná opatření (například omezení točivého momentu). Proto je v elektronické regulaci obsaženo mnoho regulačních obvodů. [9]

Elektronická regulace vznětového motoru (EDC) se člení do tří systémových bloků (Obr. 33): [12]

- **Snímače** zjišťují provozní podmínky (například otáčky motoru) a požadované hodnoty (například polohu snímače). Snímače převádějí fyzikální veličiny na elektrické signály.
- **Řídicí jednotka** zpracovává informace ze snímačů a vysílačů podle určitých matematických výpočetních postupů (řídicí a regulační algoritmy). Následně aktivuje akční členy prostřednictvím elektronických výstupních signálů. Další funkcí řídicí jednotky je vytvoření rozhraní k dalším systémům a k diagnostice vozidla.
- **Akční členy** převádějí elektrické výstupní signály řídicí jednotky na mechanické veličiny (například magnetický ventil pro vstřikování).



Obr. 33: Systémové bloky EDC pro systém CommonRail [12]

5.6.1 Zpracování dat

Řídicí jednotka vyhodnocuje signály snímačů a omezuje je na přípustné napěťové úrovni. Z vstupních dat a dat uložených v paměti mikroprocesor vypočítává okamžik a trvání vstřikování. Tyto hodnoty dále převádí na časové průběhy signálů, které jsou přizpůsobeny pohybům pístů motoru. Kvůli požadované přesnosti a vysoké dynamice vznětového motoru je potřebný vysoký výkon počítače. Výstupními signály se aktivují koncové stupně (například elektromagnetické ventily, ovládání recirkulace spalin, regulátor plnicího tlaku). Z důvodu bezpečnosti kontroluje řídicí jednotka celý vstřikovací systém. [12]

5.6.2 Regulace vstřikování

Aby motor pracoval v každém provozním stavu s optimálním spalováním, vypočítává se v řídicí jednotce vhodné vstřikované množství paliva. Algoritmus pro výpočet vstřikovaného množství je založen na požadavku točivého momentu, přitom musí být respektovány technické limity vstřikovače, nastavení točivého momentu a přípustné kouřivosti. Při nerespektování limitů přechází algoritmus do práce s náhradními hodnotami a často výrazně snižuje předvstřik. Synchronizace s otáčkami motoru je prováděna od polohy v horní úvratí a čas vstřikování je algoritmem počítán

pro každý cyklus vstřikování i pro každý vstřikovač individuálně. Pro každý bod je také modulován tlak ve vysokotlakém zásobníku. [24]

Elektronická řídicí jednotka systému CommonRail provádí také korekce dávky paliva, které probíhají ve čtyřech základních smyčkách: [24]

- Adaptace na parametry vstřikovače – řídicí jednotka eliminuje výrobní tolerance vstřikovače.
- Adaptace na množství paliva – řídicí jednotka provádí sofistikovaný výpočet na generování točivého momentu jednotlivými válci na základě derivování signálu z impulsního snímače otáček motoru.
- Kalibrace nulové dodávky paliva – tato kalibrace má za úkol kompenzovat časové posuvy každého vstřikovače. Jejich eliminace se hledá na základě měření doby mezi pulzem pro otevření a skutečným počátkem otevírání. Kalibrační funkce je prováděna při „brždění“ motorem, kdy není požadována dávka paliva.
- Korekce tlakových pulzací – algoritmus dynamicky počítá korekci pro eliminaci odchylek od požadované dávky vlivem tlakových pulzací. Tlakové pulzace vznikají opakovaným otevíráním vstřikovačů a rychlým poklesem tlaku vlivem vlastního vstřiku.

5.6.3 Regulace a aktivace akčních členů

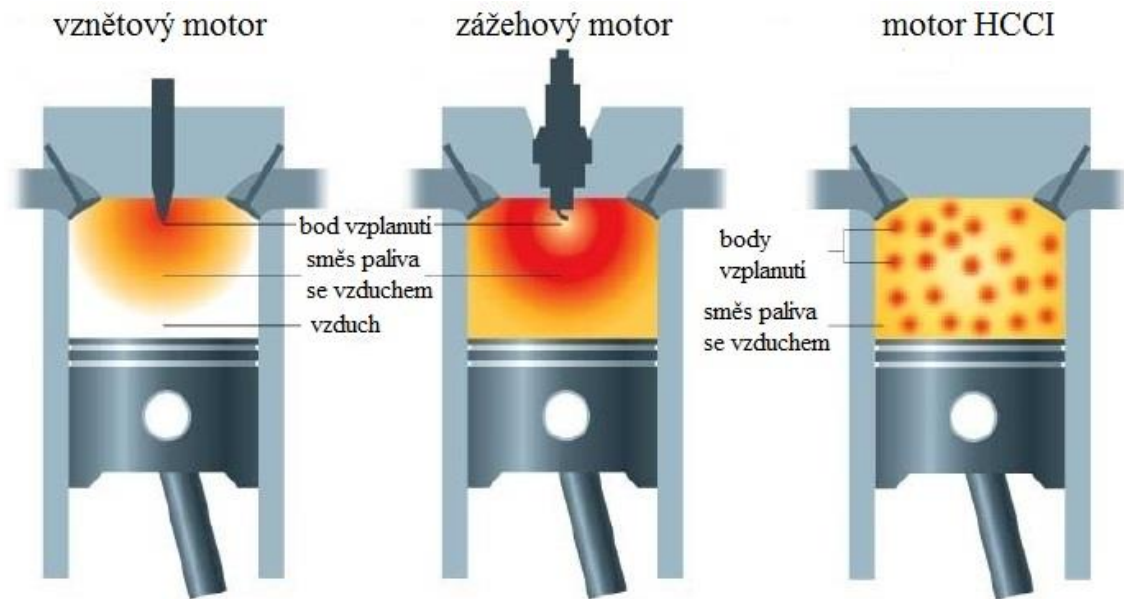
Kromě vstřikovacích komponentů je elektronickou regulací regulováno a aktivováno velké množství dalších akčních členů. Působí například na plnění válců, na chlazení motoru nebo jako podpora startování studeného motoru. Jako u vstřikování se i zde zohledňují požadavky ostatních systémů. Integrace všech funkcí motoru v řídicí jednotce EDC poskytuje tu výhodu, že v konceptu regulace motoru lze zohlednit kromě vstřikovaného množství a okamžiku vstřiku i všechny ostatní funkce motoru (například recirkulace spalin a regulace plnicího tlaku). To má za následek podstatné zlepšení regulace motoru. Kromě toho má řídicí jednotka už mnoho informací, které jsou potřebné pro další funkce (například teplota motoru a teplota nasávaného vzduchu pro řízení doby žhavení). [12]

6 ZP SOBY HO ENÍ PALIVA U HCCI MOTOR

Množství nežádoucích emisí produkovaných vznětovým motorem lze ovlivnit změnou teplotního režimu procesu hoření. Omezí se tak používání systémů, které následně upravují složení emisí ve výfukových plynech. V této oblasti výzkum probíhá už několik let, ale až nyní lze díky rozšíření senzorů, měřicí techniky a elektronického řízení motoru aplikovat nejnovější poznatky do reálného procesu spalování. V řízení spalování se hovoří o tzv. HCCI (Homogenous Charge Compression Ignition – kompresní vznícení homogenní směsi) nebo také o PCCI (Premixed Controlled Compression Ignition – kompresní vznícení vrstvené směsi), která je obdobou HCCI. [13]

První zmínky o HCCI spalování jsou uváděny v souvislosti se stabilizací dvoudobého motoru. HCCI se na vznětových motorech začalo aplikovat v polovině 90. let minulého století a zabývají se jím všichni významní výrobci spalovacích motorů. [13]

Úkolem HCCI je využití pozitivních stránek hoření jak vznětového motoru, který dosahuje vyšší účinnosti, tak zážehového motoru, který má nízkou produkci pevných částic a oxidu dusíku. HCCI spalování je založeno na hoření tzv. homogenní směsi, kterou používají zážehové motory, při nízkých teplotách. Při nízké teplotě se produkuje nízké množství oxidů dusíku a pevných částic. Tento proces spalování se testuje pro různá paliva, například automobilové benzíny, motorovou naftu, etanol, metylester řepkového oleje. Příprava palivové směsi u vznětového motoru je charakterizována tvorbou tzv. heterogenní směsi. V heterogenní směsi se nachází plynné a kapalné části s velkým přebytkem vzduchu. Toto je dáno vlastnostmi motorové nafty, která je tvořena řadou uhlovodíků s velkým počtem uhlíků v molekule. Tím je ztížen přechod do plynného stavu, a proto jsou vyžadovány vyšší teploty. Tím dochází k problematické tvorbě homogenní směsi, která vyžaduje dřívější vstřikování paliva. To znamená, že při vysokém cetanovém čísle následuje rychlý nástup hoření. Tvorba homogenní směsi u HCCI motorů je řešena vstřikováním paliva do sacího potrubí motoru. Nasávaný vzduch je ohříván, popřípadě je směřován s výfukovými plyny. Na obrázku 34 jsou zobrazeny způsoby spalování vznětového, zážehového a HCCI motoru. [13]



Obr. 34: Porovnání způsobů spalování [20]

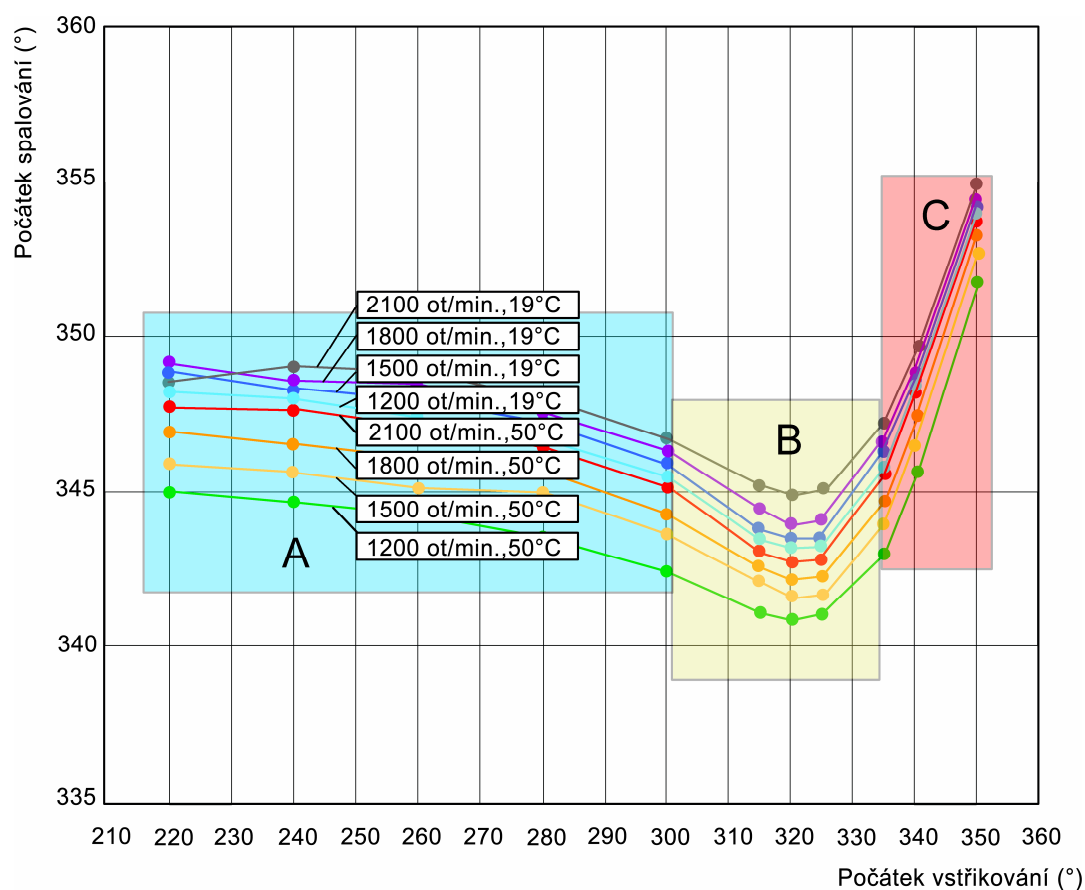
6.1 Přímé vs. nepřímé vstřikování nafty do upraveného spalovacího prostoru

Tato koncepce zajišťuje intenzivní víření vzduchu. Vlivem kompresní teploty je pak zapálena homogenní směs paliva se vzduchem. Úkolem je, aby zapálení probíhalo rovnoměrně v celém rozsahu spalovacího prostoru a nedocházelo k nárůstu teplot během hoření. Velkým problémem tohoto spalování je řízení okamžiku vznícení homogenní směsi v celém rozsahu spalovacího prostoru, při spouštění motoru a při vysokém zatížení. Spalování směsi probíhá ve dvou fázích. V první fázi (tzv. studenější spalování) se spotřebuje až 15 % energie paliva, ve druhé fázi se uvolní zbytek energie paliva. Okamžik spontánního vznícení a hoření směsi v celém spalovacím prostoru nastává za vysoké teploty a tlaku. Správný průběh vznícení směsi závisí na fyzikálně-chemických vlastnostech paliva, okamžiku vstříknutí paliva, homogenitě směsi, bohatosti směsi, otáčkách, zatížení, teplotě a tlaku. [13]

6.1.1 Ovlivnění průběhu spalování

Na univerzitě v Seville provedli pracovníci podrobnou studii o vlivu teploty nasávaného vzduchu, EGR, předvstříku a dalších na HCCI spalování. Studii provedli na upraveném motoru Deutz s přímým vstřikem paliva. Na obrázku číslo 35 je uveden vliv okamžiku vstříknutí paliva na počátek hoření při různých otáčkách motoru a teplotě

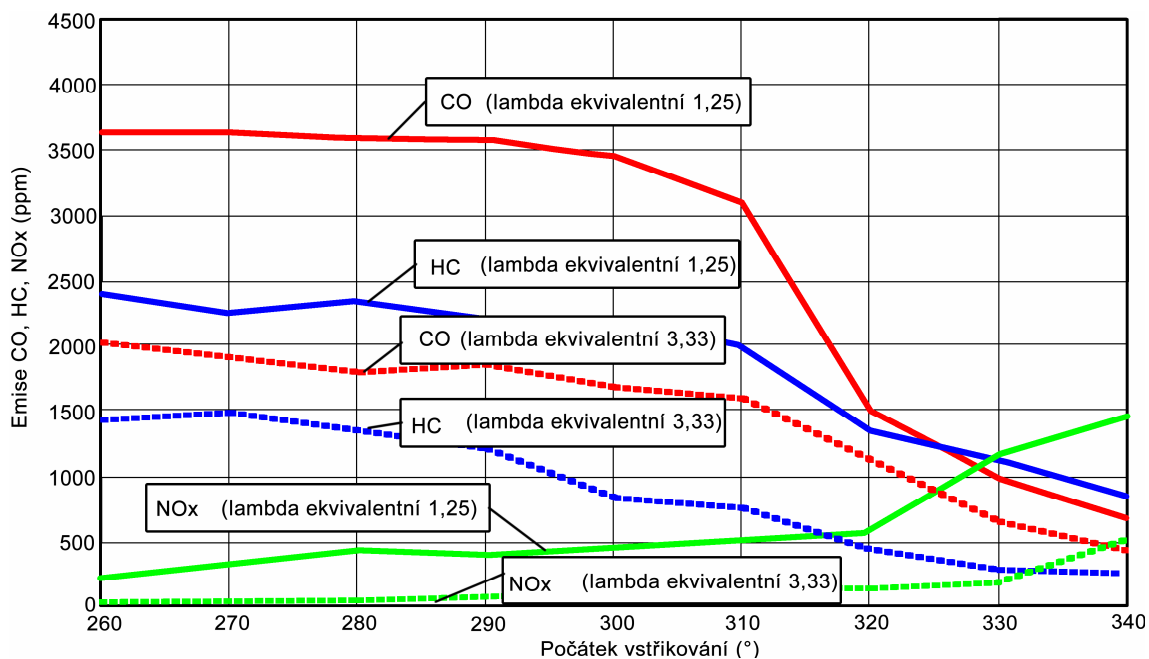
nasávaného vzduchu. Můžeme zde sledovat nízkou závislost mezi sledovanými parametry v oblasti A a v oblasti B. Nízká závislost je dána nízkou tvorbou volných radikálů, které jsou nutné pro vyvolání hoření. Volné radikály se tvoří pouze za určitého tlaku a teploty, které nejsou, při brzkém vstřikování, dosaženy. Proto dochází k velkému průtahu vznícení a ulpívání paliva na stěnách válce motoru. To má za následek zvýšení spotřeby paliva, ředění motorového oleje, tvorbu nespálených uhlovodíků a oxidu uhelnatého. K ulpívání paliva na stěnách docházelo hlavně při vstřikování paliva do proudu nasávaného vzduchu. U přímého vstřikování paliva se tento nedostatek dá odstranit úpravou vstřikovacího kužele. Ve vyznačené oblasti C dochází k podobnému chování jako u vznětového motoru s nízkým průtahem vznícení, což má za následek zvýšení oxidů dusíku (NO_x) a pevných částic (PM). [13]



Obr. 35: Vliv poátku vstřikování na počátek spalování při různých otáčkách, teplotě nasávaného vzduchu, poměru paliva a vzduchu ekvivalentní 3,33 [13]

Na obrázku 36 vidíme, že při vyšší teplotě nasávaného vzduchu dochází k menšímu zpoždění vznícení. Výsledky měření s HCCI spalováním také ukazují na příliš brzký

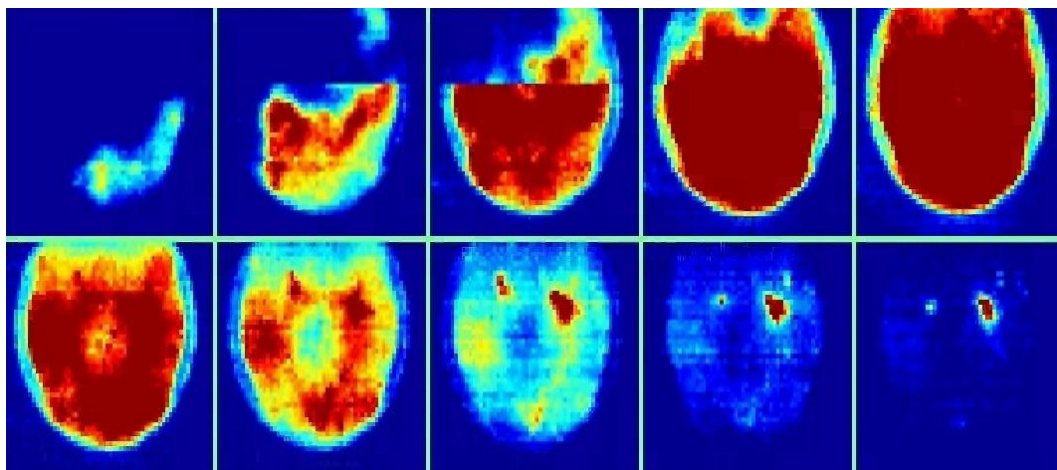
počátek spalování. To znamená, že se musí na kompresní práci vynaložit větší část energie paliva. To se ve výsledku projevuje na účinnosti práce spalovacího motoru a zvýšení měrné spotřeby paliva. [13]



Obr. 36: Vliv poátku vstřikování na množství produkovaných emisí při známé poměru palivo-vzduch, otáčky 1500 min^{-1} , teplota nasávaného vzduchu $19 \text{ }^\circ\text{C}$ [13]

6.1.2 Regulace okamžiku zapálení homogenní směsí

Cílem HCCI je dosáhnout stavu vznícení (viz obr. 37) jako u běžného vznětového motoru se vznícením blízko horní úvratí pístu, kde maximální tlaky ve spalovacím prostoru nastávají za horní úvratí. To vyžaduje zvětšování úhlu předvstříku, aby se odpařily i těžké podíly. V konečném důsledku to přináší zvýšení termické účinnosti, ale také zvýšení teploty hoření a tvorby NO_x . V závislosti na technologii následné úpravy výfukových plynů se snižuje úhel předvstříku i za cenu poklesu účinnosti spalovacího motoru, ale při nižší produkci NO_x . [13]



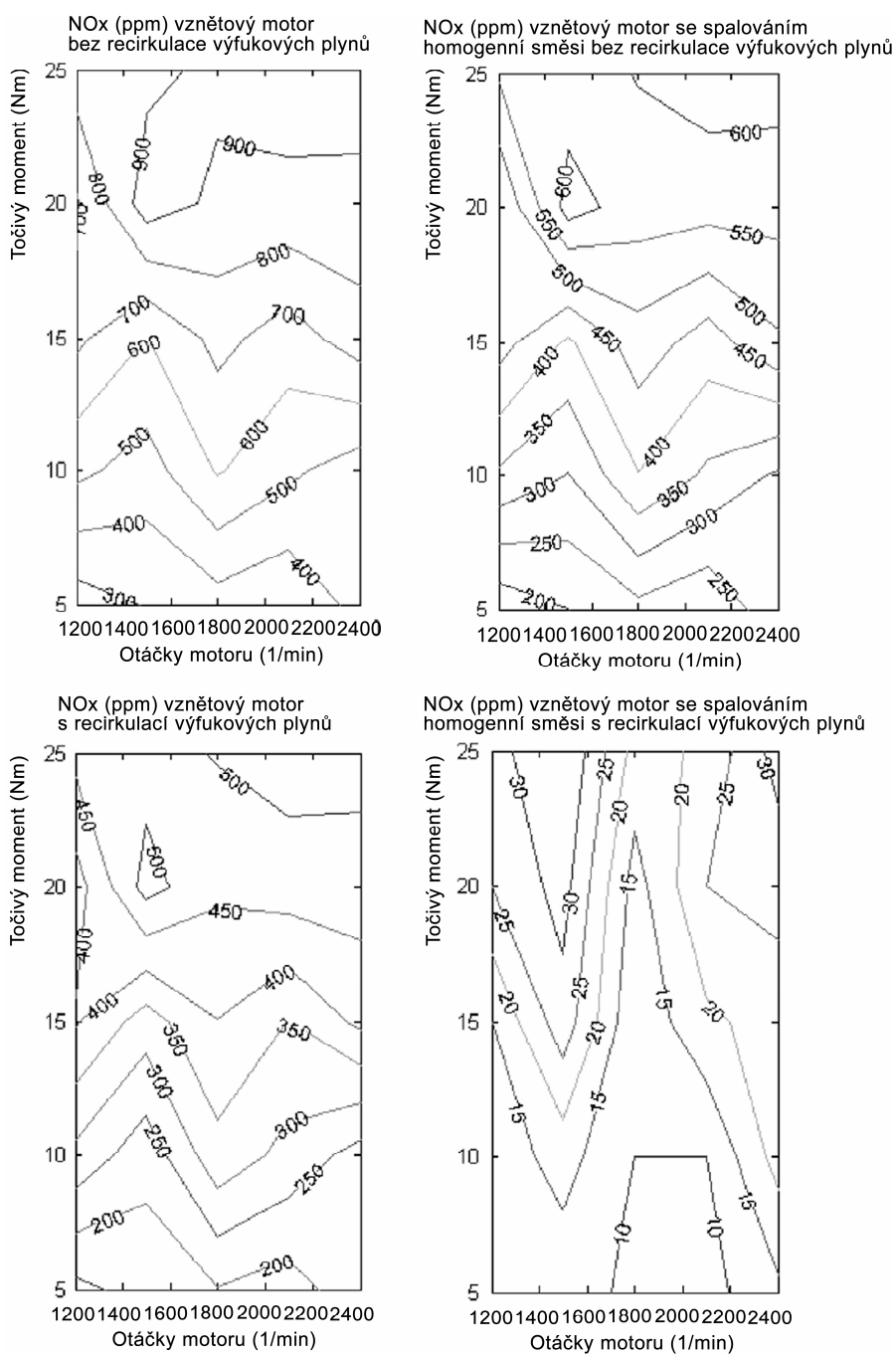
Obr. 37: *Pr b h ho ení HCCI motoru* [31]

Omezení příliš brzkého zapálení homogenní směsi se v laboratorních podmínkách dosáhlo pomocí změny kompresního poměru, bohatosti směsi, EGR atd. U snížení kompresního poměru dochází k posouvání počátku vznícení směrem k horní úvrati. Důsledkem je snížení kompresního tepla. Z provozního pohledu se snižuje točivý moment nutný pro nastartování, ale také tření mezi pístem a válcem. Pomocí systému EGR dochází ke směšování výfukových plynů s nasávaným vzduchem, čímž dochází ke zvýšení měrné tepelné kapacity náplně válce. Důsledkem je pomalejší nárůst teploty náplně a opoždění vznícení homogenní směsi. Cílem HCCI je snižování tvorby NO_x přímo ve spalovacím prostoru motoru. [13]

6.1.3 Emise HCCI motoru

Na obrázku 38 je uvedeno porovnání NO_x u standardního vznětového motoru a motoru pracujícího s HCCI spalováním. Je patrné, že u motoru s HCCI spalováním se snížilo NO_x při vyšším zatížení o 25 % a při středním zatížení o 50 %. Je zde také uvedené porovnání s motorem, který využívá EGR. Jeho vliv na NO_x u HCCI spalování je obrovský, a umožňuje tak radikální snížení emisí motoru. Další pozitivní přínos HCCI byl pozorován u pevných částic. Je to způsobeno nižšími teplotami, při kterých dochází k omezení PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) jako hlavních zdrojů sazí. Velkým problémem jsou emise oxidu uhelnatého (CO) a uhlovodíků (HC), které jsou vyšší než u standardního vznětového motoru. Vznik CO je důsledkem nedostatku kyslíku při užívání EGR a také vinou nízké teploty 1400 K – 1500 K, která neumožní

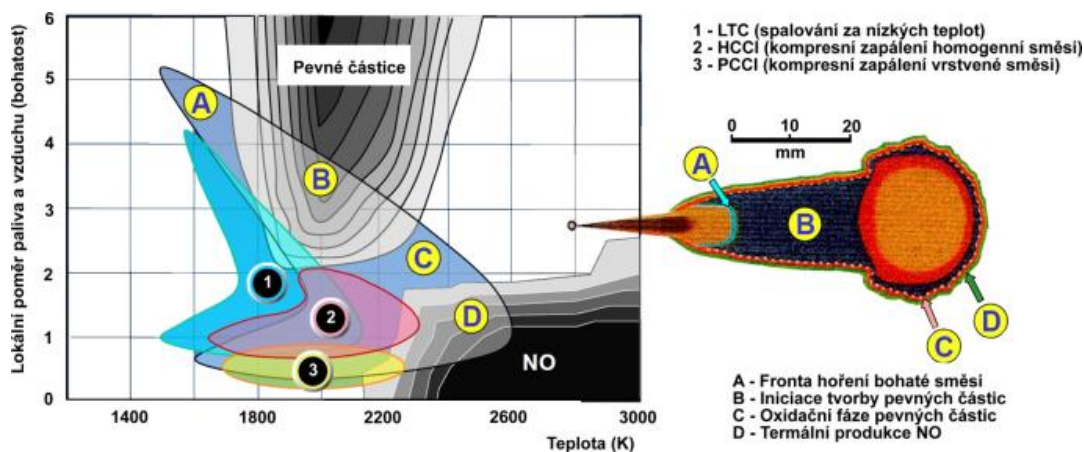
dosáhnout následné oxidaci na oxid uhličitý (CO_2). Aby se produkce CO snížila, snižuje se množství vstřikovaného paliva. Tím dochází k poklesu výkonu motoru ve srovnání se standardním vznětovým motorem. Další potíže mohou nastat při studeném startu, kdy se velká část tepla bude odvádět stěnami válce a do spalovacího prostoru. Tento problém lze vyřešit přepnutím motoru na práci běžného vznětového motoru. Zkoumal se také vliv cetanového čísla motorové nafty. Při jeho snižování docházelo ke zvětšení prodlevy zapálení paliva, což se pozitivně projevilo na kouřivosti a tvorbě homogenní směsi. [13]



Obr. 38: Porovnání emisí NO_x [13]

6.2 Současnost a budoucnost HCCI motor

V současné době firma General Motors prezentuje dva osobní automobily (Saturn Aura a Opel Vectra), které využívají systém HCCI spalování. Systém je ale využíván jen za určitých podmínek, a to do rychlosti jízdy $55 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a při částečném zatížení. Při studeném startu a při vyšším zatížení motor pracuje jako standardní vznětový motor. V praxi se lze také ještě setkat se systémem HCCI s odloženým vstřikováním paliva, který vyvinula firma Nissan Motor Company. Tento systém využívá tyto tři procesy: pozdní vstřikování paliva od 7° před horní úvratí až po 3° za horní úvratí pod vysokým tlakem, dále využívá vysoké zastoupením EGR s redukcí kyslíku na 15 % - 16 % a snížení kompresního poměrem na 16 : 1. Tímto řešením dochází ke snížení MO_x o 98 % při stejné hladině pevných částic jako u konvenčního vznětového motoru. Tento způsob HCCI spalování lze využít jen v omezeném rozsahu otáček a zatížení motoru. Kromě systému spalování HCCI existují také další systémy řízení, například LTC, který pracuje do teplot 1650 K s malým poměrem palivo-vzduch. Tento systém vyvíjí Toyota Motor Company. Systém PCCI má podobné cíle jako systém HCCI, ale pracuje v jiných nebo částečně se překrývajících oblastech, viz obrázek 39. Často jsou uvedené termíny řízení spalování souhrnně označovány jako HCCI. [13]



Obr. 39: Zobrazení oblastí práce různých systémů spalování [13]

Závislost mezi prostředím a ovládním zapálení homogenní směsi ovlivňuje řada činitelů, jejichž význam v HCCI se mění s otáčkami a zatížením motoru. Proto je tak obtížné řízení tohoto způsobu práce spalovacího motoru. Hledání závislostí mezi prostředím a ovládním zapálení homogenní směsi bude i nadále hlavním vývojovým směrem HCCI motorů. [13]

7 ZÁV R

Motivem této bakalářské práce je poskytnout čtenáři ucelený přehled o současných systémech vstřikování určených pro vznětové motory a částečně i informovat o inovacích v oblasti spalování. Tohoto tématu jsem se však dotkl okrajově, neboť ekonomická krize v roce 2008 doslova zmrazila vývoj v oblasti HCCI spalování. Obnovení vývojových prací v této oblasti je devalvován soustředěnou pozorností výrobců k rychlému návratu do „černých“ čísel, což s sebou nese nutné ekonomické škrtky ve strategických plánech, které mají ekonomický přínos v delším časovém výhledu. V práci uvádím dominantní systémy vstřikování, počínaje řadovými vstřikovacími čerpadly, která jsou již u nových modelů vozidel téměř unikátní, avšak například tuzemský výrobce traktorů – ZETOR TRACTORS a.s. je neustále instaluje. Důvod není pouze ekonomický, ano, jistě jsou levnější, ale souvisí i s technickými aspekty provozu traktorových motorů. Jak je výše zmíněno, kritickým požadavkem u systémů s vysokými vstřikovacími tlaky na 200 MPa je čistota paliva, a to zejména mechanická. V prašném prostředí a při současném způsobu skladování paliva v zemědělských podnicích je zásadním problémem, jakým způsobem požadavky dodržet. V této chvíli se systém vstřikování s řadovým čerpadlem stává z pohledu spolehlivosti a životnosti jasným benefitem. A jak je patrné i u dodavatele vstřikování pro společnost ZETOR TRACTORS kterým je Motorpal Jihlava, i zde se neustále nacházejí možná konstrukční řešení pro snížení emisí, například v podobě úpravy konstrukce o elektronicky ovládané regulační členy, které je u zmíněného výrobce označováno jako VERMI. Faktem je, že dominantní pozici si vydobyl systém CommonRail. Vysoké vstřikovací tlaky zmenšují parametr sauteru, kdy se zvětšuje celková povrchová plocha kapek pro odpařování paliva a tlak nasycených palivových par nad povrchem se zvyšuje se zmenšováním poloměru křivosti povrchu kapky - tím roste rychlost odpařování a rychlost tvoření směsi, respektive klesá indukční doba. V celé řadě parametrů spalování se jedná bez diskuse o velmi pozitivní přínos, ale nutně vyvstává otázka koncentrace NO_x. Již desetiletí jsou známy závěry Zeldoviče, který definoval zákonitosti tvorby NO_x ve vztahu s teplotou. Lze jimi dokázat, že zvyšováním efektivity tepelných strojů dochází ke zvyšování emisí NO_x. A v tomto kontextu se nabízí medializovaná kauza, která je označována pojmem „dieselgate“. Ponechám na čtenáři odpovědi na spekulativní otázky, které byly touto kauzou vyřčeny, ale ve smyslu této práce (avšak i jiných včetně vědeckých prací) se objevuje vážná

trhlina, a to v racionalismu vývoje. Technický vývoj lze definovat jako systematické tvůrčí využití poznatků výzkumu nebo jiných námětů k produkci nových nebo zlepšených materiálů, výrobků nebo zařízení anebo k zavedení nových či zlepšených technologií. Definice je racionální, etická a čistě logická. Kladu si ve vnitřním rozporu otázku, zdali můžeme hovořit o technickém vývoji v oblasti vstřikování, pokud nedávné závěry verifikující emisní měření prokázaly, že současná vozidla produkují ekvivalentní množství polutantů jako ta z 80. let 20. století.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BAUER František (ed), 2013: *Traktory a jejich využití*. 2. vyd. Praha: Profi Pres, 223 s. ISBN 978-80-86726-52-6
- [2] BEROUN Stanislav, SCHOLZ Celestýn a BLAŽEK Josef, 2002: *Parametry ho ení motorových paliv ve válci pístových spalovacích motor* . Liberec: Technická universita
- [3] BOSCH, 2013: *Tržobolící materiál*
- [4] DUFFY James E. 2014: *Modern Automotive Technology*. 8. vyd. Tinley Park: Goodheart-Willcox, 1885 s. ISBN 978-1-61960-370-7
- [5] FERENC Bohumil, 2004: *Spalovací motory ó Karburátory a vst íkování paliva*. Praha: Competer Press, 388 s. ISBN 80-251-0207-6
- [6] HLAVŇA Vladimír, 2000: *Dopravný prostriedok - jeho motor*. Žilina: Žilinská univerzita, 442 s. ISBN 80-7100-665-3
- [7] HROMÁDKO Jan (ed), 2011: *Spalovací motory*. Praha: Grada Publishing, 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0
- [8] JAN Zdeněk a ŽDÁNSKÝ Bronislav, 2010: *Automobily 4 ó P íslu-enství*. 3. vyd. Brno: AVID, 313 s. ISBN 978-80-87143-16-2
- [9] LANDHÄUBER Felix (ed), 2005: *Systém vst íkování s tlakovým zásobníkem CommonRail pro vzn tové motory*. Praha: Robert Bosch, 91 s. ISBN 80-903132-7-2
- [10] MACEK Jan, 2007: *Spalovací motory I*. Praha: ČVUT, 260 s. ISBN 978-80-01-03618-1

- [11] MARTYR A. J. & PLINT M. A. 2007: *Engine testing Theory and Practice*. 3. vyd. Oxford: Burlington, 442 s. ISBN 978-0-7680-1850-9
- [12] SCHUMACHER Herbert (ed), 2009: *Přehled systémů řízení vznětového motoru*. Praha: Robert Bosch, 135 s.
- [13] ŠMERDA Tomáš, ČUPERA Jiří a FAJMAN Martin, 2013: *Vznětové motory vozidel a Biopaliva, emise, traktory*. Brno: CPress, 136 s. ISBN 978-80-264-0160-5
- [14] VLK František, 2003: *Vozidlové spalovací motory*. Brno: Vutium, 580 s. ISBN 80-238-8756-4

Internetové zdroje

- [15] ALEX DIESEL [online], 2016 [cit. 2016-26-03], Dostupné z: <<http://www.alex-diesel.com/>>
- [16] AUTONET, *Palivová soustava vznětových motorů* [online], 2016 [cit. 2016-21-03], Dostupné z: <<http://www.net-auto.cz/>>
- [17] BOSCH, *Tiskové fórum* [online], 2016 [cit. 2016-25-03], Dostupné z: <<http://www.press.bosch.cz/>>
- [18] BOSCH AUTO PARTS, *CommonRail* [online], 2016 [cit. 2016-25-03], Dostupné z: <<http://www.es.bosch-automotive.com/>>
- [19] COMMONRAIL [online], 2016 [cit. 2016-25-03], Dostupné z: <<http://www.common-rail.ru/>>
- [20] DAILYTECH [online], 2016 [cit. 2016-03-04], Dostupné z: <<http://www.dailytech.com/>>

- [21] DIESELMASTERA [online], 2016 [cit. 2016-14-03], Dostupné z: <<http://www.dieselmastera.ru/>>
- [22] E-AUTOMOBILE [online], 2016 [cit. 2016-25-03], Dostupné z: <<http://www.e-automobile.ro/>>
- [23] ELEKTRONICKÁ UČEBNICE [online], 2016 [cit. 2016-20-03], Dostupné z: <<http://www.eluc.kr-olomoucky.cz/>>
- [24] MENDELU [online], 2016 [cit. 2016-25-03], Dostupné z: <<http://www.mendelu.cz/>>
- [25] MYSHARED [online], 2016 [cit. 2016-29-03], Dostupné z: <<http://www.mishared.ru/>>
- [26] PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM,[online], 2016 [cit. 2016-26-03], Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/>>
- [27] SLIDEPLAYER [online], 2016 [cit. 2016-30-03], Dostupné z: <<http://www.slideplayer.cz/>>
- [28] TALKFORD [online], 2016 [cit. 2016-14-03], Dostupné z: <<http://www.talkford.com/>>
- [29] TECHNISCHE UNIVERSITÄT DORTMUND [online], 2016 [cit. 2016-30-03], Dostupné z: <<http://www.rst.e-technik.tu-dortmund.de/>>
- [30] THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS [online], 2016 [cit. 2016-30-03], Dostupné z: <<http://www.gasturbinespower.asmedigitalcollection.asme.org/>>
- [31] UNIVERSITY OF BIRMINGHAM [online], 2016 [cit. 2016-04-04], Dostupné z: <<http://www.birmingham.ac.uk/>>

[32] ZAVOLANTEM.CZ [online], 2016 [cit. 2016-25-03], Dostupné z:
<<http://www.zavolantem.cz/>>

SEZNAM OBRÁZK

Obr. 1: <i>Ho ení paliva ve válci motoru</i> [29]	11
Obr. 2: <i>Pr b hy tlaku ve vybraných pracovních cyklech</i> [2].....	13
Obr. 3: <i>Vliv vst ikovaného tlaku na velikost paprsku</i> [30]	15
Obr. 4: <i>Smí-ený (Sabat v) cyklus</i> [27]	16
Obr. 5: <i>Historie systém vst ikování nafty</i> [12].....	18
Obr. 6: <i>ez vst ikovací jednotkou</i> [8].....	19
Obr. 7: <i>Regulace velikosti dodávky paliva</i> [8].....	20
Obr. 8: <i>ez rota ním vst ikovacím erpadlem s axiálním pístem</i> [8]	22
Obr. 9: <i>Fáze zdvihu výtla ného pístu</i> [8].....	23
Obr. 10: <i>Rota ní vst ikovací erpadlo s axiálním pístem Bosch VP 30</i> [28]	24
Obr. 11: <i>Princip innosti rota ního vst ikovacího erpadla s radiálními písty</i> [1].....	25
Obr. 12: <i>Rota ní vst ikovací erpadlo s radiálními písty Bosch VP 44</i> [21]	25
Obr. 13: <i>Postup aktivace vysokotlakého elektromagnetického ventilu</i> [7].....	26
Obr. 14: <i>Pln ní prostoru vysokého tlaku</i> [23].....	27
Obr. 15: <i>Za átek pilotního vst iku</i> [23].....	28
Obr. 16: <i>Konec pilotního vst iku</i> [23]	28
Obr. 17: <i>Za átek hlavního vst iku</i> [23].....	29
Obr. 18: <i>Konec hlavního vst iku</i> [23].....	29
Obr. 19: <i>T etí generace sdrufení vst ikovací jednotky</i> [17]	30
Obr. 20: <i>Samostatné vst ikovací jednotky</i> [16].....	31
Obr. 21: <i>Schéma vst ikovacího systému s tlakovým zásobníkem CommonRail</i> [32]	32
Obr. 22: <i>Radiální pístové erpadlo CP 1</i> [22].....	35
Obr. 23: <i>Radiální pístové erpadlo CP 3</i> [27].....	36
Obr. 24: <i>Radiální pístové erpadlo CP 2</i> [19].....	37
Obr. 25: <i>Radiální pístové erpadlo CP 4.2</i> [3].....	38
Obr. 26: <i>Radiální pístové erpadlo CPN 5</i> [18]	38
Obr. 27: <i>Vysokotlaký zásobník (Rail)</i> [15].....	39
Obr. 28: <i>Vst ikova s elektromagnetickým ventilem</i> [26].....	41
Obr. 29: <i>Piezoelektrický vst ikova</i> [17]	42
Obr. 30: <i>Funkce ídicího ventilu piezoelektrického vst ikova e</i> [25]	43
Obr. 31: <i>Funkce hydraulického p evodníku</i> [25]	44
Obr. 32: <i>Hydraulický vst ikova s násobi em</i> [3].....	44

Obr. 33: Systémové bloky EDC pro systém CommonRail [12].....	46
Obr. 34: Porovnání způsobů spalování [20].....	49
Obr. 35: Vliv podtlaku vstřikování na podtlak spalování při různých otáčkách, teplotě nasávaného vzduchu, poměru paliva a vzduchu ekvivalentní 3,33 [13].....	50
Obr. 36: Vliv podtlaku vstřikování na množství produkovaných emisí při známém poměru palivo-vzduch, otáčky 1500 min ⁻¹ , teplota nasávaného vzduchu 19 °C [13].....	51
Obr. 37: Probeh hoření HCCI motoru [31].....	52
Obr. 38: Porovnání emisí NO _x [13]	53
Obr. 39: Zobrazení oblastí práce různých systémů spalování [13].....	54