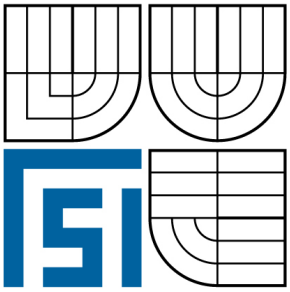


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

PŘEHLED VSTŘIKOVACÍCH SYSTÉMŮ TRAKTOROVÝCH MOTORŮ

TRACTORS` INJECTION SYSTEMS OVERWIEV

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — MILAN POLÁČEK

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. RADIM DUNDÁLEK, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Milan Poláček

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Přehled vstřikovacích systémů traktorových motorů

v anglickém jazyce:

Tractors` Injection Systems Overwiev

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Osvojení základních pojmů zadaného tématu. Zamyšlení nad perspektivou budoucího vývoje.

Cíle bakalářské práce:

Uvedení přehledu vstřikovacích systémů osazených na současně vyráběných traktorech.

Seznam odborné literatury:

[1] VLK, František. Příslušenství vozidlových motorů 1. vyd. Brno : Vlk, 2002. 338 s.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 24.10.2008

L.S.

_____	_____
prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.	doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Ředitel ústavu	Děkan fakulty

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je vytvoření přehledu vstřikovacích systémů osazených na současně vyráběných traktorech. První část přehledu se zabývá jednotlivými koncepcemi vstřikování paliva u traktorových motorů a popisem částí těchto systémů. Zmíněny jsou také technologie zvyšování výkonu motoru s nimi úzce související. Druhá část pak zmiňuje konkrétní značky traktorů a vstřikovací systémy používané u jejich modelových řad.

Klíčová slova:

vstřikovací systém, traktory, řadové vstřikovací čerpadlo, čerpadlo-potrubí-tryska, Common Rail, vstřikovače, přeplňování, recirkulace spalin

Abstract

The object of the bachelor's thesis is to create an overview of injection systems at currently produced tractors. The first part of the overview is concerned with conceptions of diesel injection by tractors' engines and with a description of its parts. There are also referred related technologies for power boosting. The second part is devoted to particular marks of tractors and used injection systems.

Key words:

injection system, tractors, in-line fuel injection pump, pump-line-nozzle, Common Rail, injectors, turbo charging, exhaust gas recirculation

Bibliografická citace:

POLÁČEK, M. *Přehled vstřikovacích systémů traktorových motorů.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 34 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci *Přehled vstřikovacích systémů traktorových motorů* jsem vypracoval a napsal samostatně, za použití uvedené literatury a pod odborným vedením pana Ing. Radima Dundálka, Ph.D.

V Brně: ……..

…….
Milan Poláček

Obsah

Úvod 10
1 Funkce vstřikovacího systému 11
2 Vstřikovací systémy traktorových motorů 14
2.1 Nepřímé vstřikování 14
2.2 Přímé vstřikování 15
2.3 Srovnání přímého a nepřímého vstřikování 16
2.4 Konstrukční řešení vstřikovacích systémů 16
2.4.1 Systém s řadovým vstřikovacím čerpadlem 17
2.4.2 Systém čerpadlo-potrubí-tryska 18
2.4.3 Common Rail systém 19
2.5 Vstřikovače 22
2.5.1 Rozdělení dle konstrukce 22
2.5.2 Rozdělení dle způsobu ovládání 22
3 Doplňkové technologie u traktorových motorů 24
3.1 Turbocharging 24
3.2 Turbocompouding 24
3.3 Intercooler 25
3.4 EGR 25
4 Přehled traktorů 26
4.1 Belarus 26
4.2 Case IH 26
4.3 Claas 27
4.4 Deutz-Fahr 27
4.5 Fendt 28
4.6 John Deere 28
4.7 Massey Ferguson 29
4.8 New Holland 30
4.9 Same 30
4.10 Steyr 31
4.11 Zetor 31
Závěr 32
Seznam použitých zdrojů 33
Seznam obrázků 34

Úvod

Traktor je stroj sloužící k tažení nebo nesení přídavných zařízení, nářadí. Jeho hlavní využití je v mechanizovaném zemědělství, dále pak v lesnictví a při pozemních pracích, ale také i v armádě.

Zdrojem síly traktoru je motor přeměňující chemickou energii vázanou ve fosilních palivech na energii kinetickou. Nejčastěji se používají čtyřdobé vznětové motory spalující naftu (diesel), případně směs nafty s rostlinnými oleji. Jejich konstrukce vychází z automobilových motorů, avšak nutno dodat, že rozhodně není stejná. Například blok motoru u traktoru je součástí i nosné konstrukce, musí být tedy dostatečně robustní a tuhý, na rozdíl od automobilů, kde je uložen v karoserii na pružných silentblocích a kde je otázka jeho váhy velmi podstatná vzhledem k dynamickým jízdním vlastnostem vozidla. Pracovní nasazení traktorů také vyžaduje jiné výkonnostní charakteristiky motoru. Užitečný je vysoký kroutící moment při nízkých otáčkách. V něčem jsou však požadavky na oba naprosto shodné, a to v otázce spotřeby a produkce emisí. A právě na spotřebu paliva a emise má podstatný vliv vstřikovací systém a jeho řízení.

Cílem této bakalářské práce je vytvoření přehledu vstřikovacích systémů používaných u současně vyráběných traktorů. V práci jsou také jednotlivé systémy a jejich součásti popsány. Uvedeny jsou také technologie nejčastěji používané s danými vstřikovacími systémy za účelem zvýšení výkonu či snížení spotřeby a škodlivých emisí.

1 Funkce vstřikovacího systému

Vzhledem k druhu pracovního nasazení musí být traktory osazeny motory, které splňují požadavky jako:

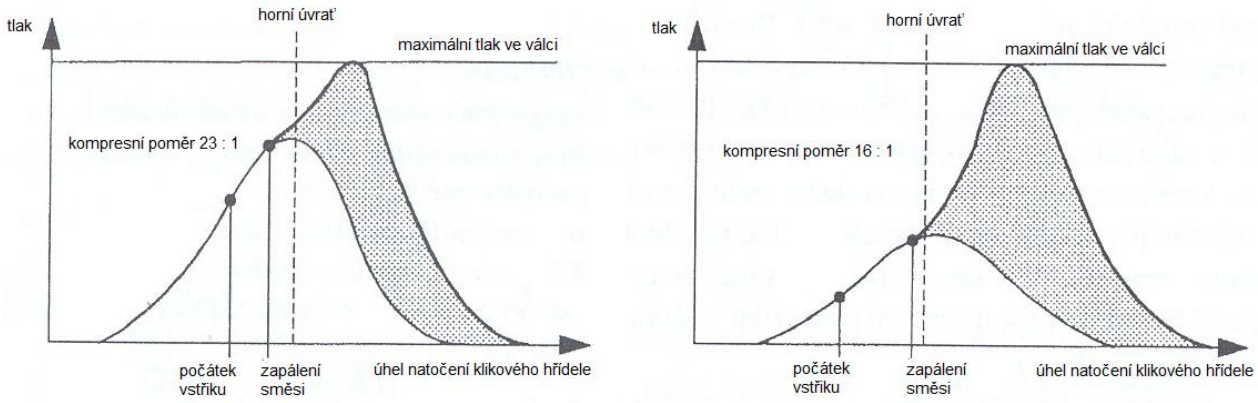
- vysoká spolehlivost (až 1 000 000 km nebo 15 000 provozních hodin do generální opravy motoru)
- vysoký objemový (litrový) výkon
- nízká spotřeba paliva a oleje ve všech provozních stavech
- plnění přísných emisních limitů
- tuhá robustní konstrukce umožňující začlenit motor do nosného systému podvozku traktoru, tzv. monobloková konstrukce traktoru

Nejčastěji se proto používají čtyřdobé vznětové motory s přímým vstřikem paliva doplněné o systémy jako jsou přeplňování turbodmychadlem, přichlazování nasátého vzduchu mezichladičem či recirkulace výfukových plynů (EGR – exhaust gas recirculation). Ty nabízejí nižší spotřebu paliva, níže položený rozsah otáček a vyšší kroutící moment něž motory zážehové. Taktéž umožňují použití ekologicky přijatelnějších paliv jako je třeba směs nafty a řepkového oleje. Mimochodem v této problematice je nejdál firma Deutz, která již nabízí čtyři typy traktorů s označením NaturalPower a možností spalovat pouze čistý řepkový olej.[1]

Vznětové motory mají také nejvyšší celkovou účinnost z motorů s vnitřním spalováním, běžně dosahují 38 – 50% (např. zážehové motory pouze 25 – 35%). Oproti zážehovým motorům, řízeným kvantitativně pomocí škrtící klapky, jsou vznětové motory řízeny odlišně.

Výkon je dán poměrem paliva a vzduchu ve směsi. Více paliva, větší výkon. Protože k zapálení zde nedochází zážehem zapalovací svíčky, ale samovznícením stlačené směsi, je nezbytné dosahovat vysokých kompresních tlaků (kompresní poměr $\varepsilon = 15 \div 25$). To však vede k velkému dynamickému zatěžování celé pístní skupiny, která musí být masivnější či lépe technologicky zpracována. Náhlý nárůst tlaků také způsobuje vyšší hlučnost a vibrace motorové jednotky. A právě vhodnou volbou kompresního poměru lze hluk a vibrace omezit.

Použití vyššího kompresního poměru (23 : 1) při stejném maximálním spalovacím tlaku dovoluje vstříknout méně paliva, výkon se tedy o něco sníží, ale nárůst tlaku je pozvolnější. Při nižším kompresním poměru (16 : 1) je do spalovacího prostoru dopraveno větší množství paliva, výkon je vyšší. Prudký nárůst tlaku však způsobuje ono tzv. „tvrdé spalování“. Dále se kvůli vysokým spalovacím teplotám zvyšuje produkce emisí NO_x, kvůli náhlému spalování se palivo zcela nespálí a vzniká více sazí a dále motory hůře startují za nízkých teplot. Grafické znázornění na obrázku níže.



***Obr. 1.1** Porovnání průběhu tlaku u různých kompresních poměrů, [2]*

Na výkon motoru, příznivé složení výfukových plynů a nízkou spotřebu má velký vliv především doba počátku spalování ve vztahu k poloze pístu ve válci. Počátek umístěný příliš před dosažení horní úvratě pístem znamená přibrzdění pístu prudkým nárůstem tlaku, účinnost klesá a zvyšující se teplota spalování opět znamená více emisí oxidů dusíku NO_x. Naopak pozdní počátek vede k nedokonalému spalování a zvýšené produkci emisí uhlovodíků HC.

Doba, která uplyne od počátku vstřikování po začátek spalování, je ovlivněna jak kompresním poměrem, tak vznětlivostí paliva a teplotou nasávaného vzduchu. Žádný z těchto faktorů však nezávisí na otáčkách motoru, tedy je tato prodleva konstantní. Při vyšších otáčkách se tak klikový hřídel pootočí o větší úhel. Proto je účelné se zvyšujícími se otáčkami přesunovat počátek vstřiku více před dosažení horní úvratě.

Kvůli dobrému utváření směsi ve spalovacím prostoru je důležité hlavně u systémů s přímým vstřikováním dosahovat vysokých vstřikovacích tlaků. Ty napomáhají dobré atomizaci paliva a rozvíření vzduchu. U motorů spalujících směsi nafty a rostlinných olejů jsou však velmi vysoké vstřikovací tlaky naprosto nezbytné. Při normální teplotě desetkrát viskóznější rostlinné oleje (v zimním období i stokrát viskóznější než nafta) by se z důvodu vysokého povrchového napětí nerozptýlily na dostatečně jemné mikrokapičky. Výsledkem by bylo velmi zhoršené spalování směsi.

Jak již bylo uvedeno tak výkon vznětového motoru je určován množstvím paliva dodaného do válce. Při plném zatížení motoru je směs obohacována až na mez kouření, která se u vznětových motorů udává přibližně při poměru vzduch-palivo 1,4 : 1 (stechiometrický směšovací koeficient $\lambda = 1,4$). Důvodem je nehomogenní tvoření zápalné směsi (tvoří se až ve válci). Lokálně tak vzniká nedostatek či přebytek paliva. Motory tedy převážně pracují s přebytkem vzduchu. Při volnoběhu může být až $\lambda = 3,4$, což je označováno jako mimořádně chudá směs.

Z důvodu poruchy bývají hlavně moderní traktorové motory vybaveny prvky, umožňující diagnostiku závad. Ta pomůže jak při samé opravě motoru, ale také

může sloužit k odstavení motoru před větší destrukcí mechanických částí nebo pro načtení náhradního programu při poruše jedné z částí vstřikovacího systému.

Jak je vidět kvalitní vstřikovací systém je nezbytností každého moderního traktorového motoru, neboť na něm závisí spotřeba, emise a výkon, v současné době nejsledovanější aspekty. Hlavní požadavky na něj kladené jsou:

- vysoké vstřikovací tlaky
- nastavitelné množství a okamžik vstřiku
- předvstřik, fázované vstřikování
- diagnostický výstup
- dlouhá životnost
- možnost spojení s dalšími prvky zvyšujícími výkon či snižujícími spotřebu
- možnost spalování směsí nafty a rostlinných olejů, biopaliv

Výběr koncepce vstřikování je dnes, více jak kdy dříve, ovlivněn ekologickými požadavky. Proto se uplatňují především vysokotlaké systémy přímého vstřikování podporované použitím přeplňování s mezichladičem a recirkulace spalin.



Obr. 1.2 *Traktor AgroTron TTV 610 Deutz-Fahr s motorem z řady NaturalPower, [3]*

2 Vstřikovací systémy traktorových motorů

Základní rozdělení vstřikovacích systémů traktorových motorů a obecně vznětových motorů je na systémy využívající:

- **přímé vstřikování** (DI - ‘direct injection’)
- **nepřímé vstřikování** (IDI - ‘indirect injection’)

Přičemž oba systémy umožňují použití jak plnění válce atmosférickým tlakem, tak přeplňování turbodmychadlem. V současné době se u traktorových motorů používá téměř výhradně systém přímého vstřikování. Ovšem systém nepřímého vstřikování se také hojně používal. Proto považuji za účelné jej zmínit podrobněji.

2.1 Nepřímé vstřikování

U nepřímého vstřikování se palivo dodává do komůrky mimo spalovací prostor válce, se kterým je spojena úzkým otvorem. Je navržena tak, aby se zde atomizované palivo ideálně mísilo se vzduchem. Při kompresi zde vzniká vysoký tlak, tím se zvyšuje teplota a dochází k zapálení směsi. K počátku spalování tedy dochází v komůrce, ovšem jeho hlavní část však už probíhá v hlavním spalovacím prostoru válce. Výsledkem je snížení rychlosti spalování, jsou eliminovány prudké nárůsty tlaku.

Dle typu komůrky můžeme vznětové motory rozdělit na motory:

a) **s předkomůrkou** (prechamber)
   - malá energie víření neumožňuje dobré promísení paliva se vzduchem, proto se používá nárazová ploška uvnitř předkomůrky, která proud paliva rozdělí
   - zaujímá přibližně 40% z celkového spalovacího prostoru

b) **s vířivou komůrkou** (swirl chamber)
   - spojovací otvor je zde umístěn tečně na kulový prostor komůrky, tím se rapidně zvyšuje energie víření a dochází tak k dobrému promísení směsi
   - přibližně 50%z celkového spalovacího prostoru

2.2 Přímé vstřikování

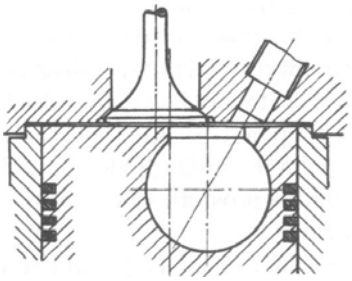
Na rozdíl od nepřímého vstřikování tady vstřikovací tryska ústí přímo do spalovacího prostoru válce a počáteční spalování začíná v tvarovaném vybrání pístu. Účelné je použití více-otvorových vstřikovacích trysek, které musí palivo co nejlépe rozprášit po celém kompresním prostoru. Hlavní pohyb tak při mísení nevykonává stlačovaný vzduch, ale atomizované palivo. Avšak použitím spirálového sacího potrubí lze dosáhnout krouživého proudění vzduchu, tím i lepšího promísení směsi.

Tvar vybrání v pístu se většinou liší od výrobce k výrobci a některé jsou chráněny patenty. Nejčastěji používané tvary jsou například:

- **válcový spalovací prostor**
  - z ekonomického hlediska nejvýhodnější tvar (dobrý poměr mezi výrobními náklady a účelností)

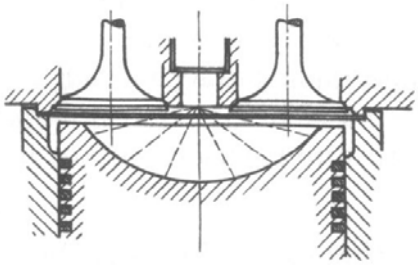
- **Hesselmanův kompresní prostor**
  - prostor přizpůsobený rozprašovanému palivu
  - víření vzduchu minimální

- **kulovitý spalovací prostor (MAN-metoda)**
  - vzhledem k objemu má malý povrch → menší přestup tepla
  - používá se u rychloběžných motorů
  - objem vybrání v pístu je až 80% kompresního objemu



Obr. 2.1 *Vybrání pístu vznětového motoru u metody MAN, [4]*

- **miskovitý spalovací prostor**
  - vhodný především pro motory s velkým průměrem válce
  - používá např. Deutz



Obr. 2.2 *Vybrání pístu vznětového motoru u metody Deutz, [4]*

2.3 Srovnání přímého a nepřímého vstřikování

Jak již bylo uvedeno výše, důležitý rozdíl mezi přímým a nepřímým vstřikováním je ten, jakým mechanismem se mísí palivo se vzduchem. U nepřímého je to převážně díky vířivému pohybu vzduchu, což s členitým povrchem kompresního prostoru a prodlouženým intervalem hoření vede k velkému přestupu tepla do chladicí kapaliny. Motor tak vyžaduje žhavící zařízení, kvůli obtížnějšímu spouštění studeného motoru. Nižší je také teplota na konci kompresního zdvihu. Nevýhodou může být složitější konstrukce hlavy motoru kvůli komůrce. Nároky na samotný vstřikovací aparát ovšem nejsou vysoké. Postačují trysky s jedním otvorem, nižší vstřikovací tlaky i kvalita paliva. Vyšší je střední efektivní tlak, ale maximální tlak ve válci nižší, proto má motor tišší chod a pístní skupina není zatěžována velkými dynamickými rázy. Lze použít i pro motory pracující s vysokými otáčkami.

Naopak u přímého vstřikování hlavní pohyb vykonává rozprášené palivo, stlačovaný vzduch nevíří s takovou intenzitou a díky kompaktnímu kompresnímu prostoru s malou plochou a rychlému spalování je přestup tepla minimální. Tyto motory proto nejsou vybaveny žhavením. Dalším a to nejdůležitějším důsledkem je pak snížená měrná spotřeba paliva. Vzhledem k vysokým nárokům na vstřikovací zařízení, jako jsou vysoké vstřikovací tlaky či nutnost dobré atomizace paliva, musí být jeho provedení velmi precizní. Rychlý nárůst a vysoké hodnoty tlaku ve válci způsobují zvýšené dynamické zatěžování částí motoru, tvrdší chod a vibrace motoru. Střední efektivní tlak je však nižší. Ovšem prokazatelně lépe snášejí používání paliv s příměsí rostlinných olejů.

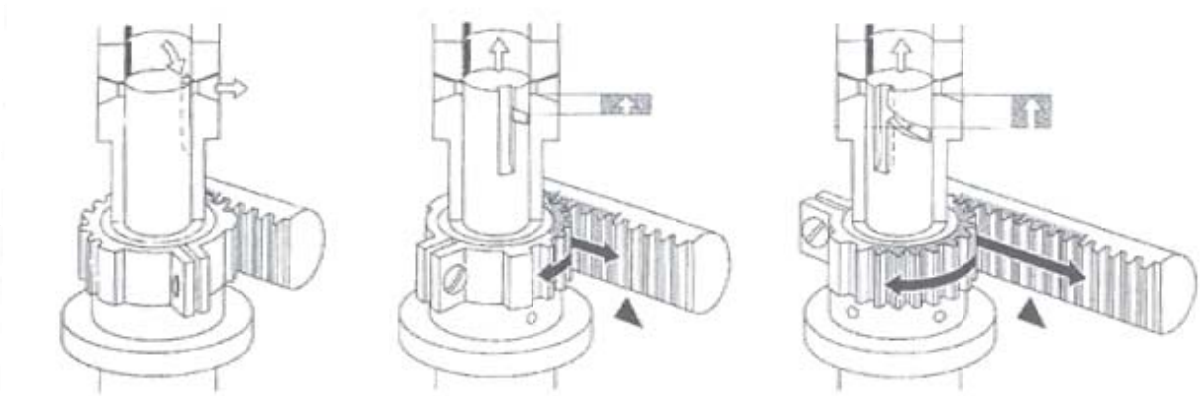
2.4 Konstrukční řešení vstřikovacích systémů

Palivové systémy vznětových motorů sestávají ze dvou okruhů. Nízkotlaký okruh, jenž zahrnuje palivovou nádrž, podávací čerpadlo a palivové čističe, má za úkol dopravit palivo do prostoru vysokotlakého čerpadla. Ve vedení je omezovacím tlakovým ventilem udržován mírný přetlak (do 2,5 bar). Do nízkotlaké části patří také zpětné vedení, které odvádí palivo přepuštěné omezovacími ventily a prosáklé od vstřikovačů zpět do palivové nádrže. Takto je celý systém zároveň chlazen a mazán. Tento okruh má většina vstřikovacích systémů podobný.

Druhá část se označuje jako vysokotlaký okruh. Obsahuje vysokotlaké čerpadlo, od kterého je palivo vedeno zesíleným potrubím ke vstřikovačům. V provedení této části se jednotlivé systémy liší.

2.4.1 Systém s řadovým vstřikovacím čerpadlem

Pro každý válec motoru má toto čerpadlo samostatný vstřikovací element poháněný vačkový hřídelem, který je spojen s klikovou hřídelí. Vstřikovací jednotky, schopné vyvolat vstřikovací tlak až 180 MPa, jsou umístěny v řadě vedle sebe a uloženy ve společné skříni. Konstrukce jednotek sice neumožňuje měnit zdvih pístku, přesto je potřeba regulovat vstřikované množství paliva. To se provádí pomocnou regulační tyčí, která může s pístky pootáčet. Mění se tím postavení šikmé řídící hrany vůči přepouštěcímu otvoru ve válci čerpadlové jednotky. Upravuje se tak buď počátek, nebo konec výtlaku. Vhodnou konstrukční úpravou lze také dosáhnout proměnného počátku i konce výtlaku. Pro nulovou dodávku paliva je v pístku vytvořena svislá regulační hrana. Pokud je tato hrana v postavení proti přepouštěcímu otvoru, odchází veškeré vytlačované palivo přímo do zpětného vedení, ve vstřikovači se nevytvoří potřebný otvírací tlak a do válce v tuto chvíli není dodáváno žádné palivo.



Obr. 2.3 *Regulace vstřiku pomocí regulační tyče u řadového čerpadla, [2]*

Upravení počátku vstřiku v závislosti na otáčkách se provádí buď mechanicky, nebo nově již elektronicky. V prvním případě je do pohonu čerpadla vložen tzv. **přesuvník vstřiku**, který k regulaci využívá odstředivou sílu závaží uložených na otočných excentrech.

K upravení vstřikovaného množství paliva se u traktorových motorů využívá **otáčkové regulace**. Systému, kde mechanický nebo elektronický regulátor při změně zatížení udržuje nastavené otáčky. Mechanický regulátor opět využívá odstředivé síly závaží a přes pákový mechanismus upravuje postavení pomocné regulační tyče. U elektronického regulátoru je postavení regulační tyče ovládáno lineárním magnetem. Právě nahrazením mechanického regulátoru elektronickým lze dosáhnout pružného a velmi přesného nastavování množství dodávaného paliva.

U plně elektronicky řízeného řadového čerpadla je každý element čerpadla osazen elektromagnetickým ventilem ovládaným elektronickou řídící jednotkou (ECU), která na základě dat ze snímačů polohy vačkového hřídele vstřikovacího čerpadla, polohy klikového hřídele motoru, teploty motoru, teploty paliva, teploty

okolního vzduchu, teploty plnícího vzduchu, tlaku plnícího vzduchu a snímače polohy akceleračního pedálu, určí optimální okamžik dodávky paliva a jeho množství. Čerpadlo tedy nepotřebuje pomocnou regulační tyč ani přesuvník vstřiku. Navíc řídící jednotka může vykonávat i funkci bezpečnostní a diagnostickou. Od elektromagnetického ventilu je palivo vedeno vysokotlakým potrubím k mechanickým vstřikovačům umístěným v hlavě motoru. Díky různým stupňům elektronického řízení je možno plnit emisní normy EURO III i EURO IV.

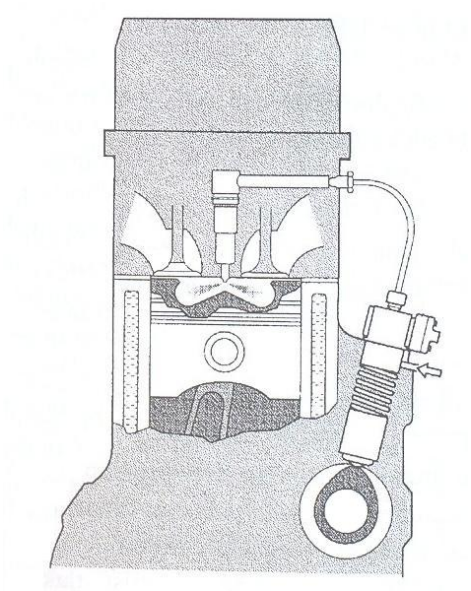


Obr. 2.4 *Plně elektronicky řízené řadové vstřikovací čerpadlo EPP.M firmy Motorpal schopné plnit emisní normy EURO IV / TIER IV, [5]*

2.4.2 Systém čerpadlo-potrubí-tryska (Pumpe-Leitung-Düse)

Tento způsob byl odvozen od systému sdružených vstřikovacích jednotek (Pumpe-Düse). Tady je však od elektromagnetického ventilu palivo vedeno ke vstřikovači krátkým vysokotlakým potrubím. Každému válci je opět určen jeden vstřikovací element poháněný přes společnou vačku umístěnou v bloku motoru. Velmi to připomíná elektronicky řízené řadové vstřikovací čerpadlo s tím rozdílem, že vstřikovací jednotky nejsou umístěny ve společné skříni.

Vstřikovací jednotka pístkové konstrukce dokáže vyvinout vstřikovací tlak až ke 200 MPa, o správné časování a dávkování vstřiku se stará elektromagnetický či piezoelektrický ventil ovládaný řídící jednotkou. Součástí je i zpětný ventil.



Obr. 2.5 *Schéma systému PLD, [2]*



Obr. 2.6 *Řez jednotkou systému PLD, [6]*

2.4.3 Common Rail systém

První prototyp systému Common Rail byl sestaven koncem 60. let švýcarským technikem Robertem Huberem. Na začátku devadesátých let na tomto konceptu spolupracovaly firmy okolo koncernu Fiat a pod názvem Unijet jej použily u několika modelů osobních automobilů. Poté již patenty převzala firma Robert Bosch GmbH, která pokračovala ve vývoji a nakonec uvedla systém do sériové výroby. Pro jeho vynikající technické parametry se dnes používá nejen u osobních a nákladních aut, ale převzali jej i výrobci traktorových motorů.

Jak již název napovídá, systém pracuje na principu vysokotlakého vstřikování paliva ze společného (common) zásobníku (rail). Palivo je vysokotlakým čerpadlem stlačeno a poté uschováno v zásobníku, ze kterého je vysokotlakým potrubím rozvedeno k jednotlivým vstřikovačům v hlavě motoru. Řídící jednotka určí kdy, a kolik paliva má být do válce dodáno, dle toho pak elektrickým signálem vstřikovače otevírá.

Základ systému tvoří vysokotlaké čerpadlo poháněné rozvodem od klikového hřídele. Obsahuje i křídlové podávací čerpadlo, které palivo přivádí k vysokotlakému prostoru. Množství, které se do vysokotlakého prostoru nakonec dostane, určuje dávkovací ventil ovládaný řídící jednotkou vstřikovačů (IDM). Přes výtlačný ventil stlačené palivo odchází do zásobníku. Mazání a chlazení čerpadla je zajištěno skrze zpětné vedení, kterým odchází palivo prosáklé od pístků a přepuštěné od regulačních ventilů, zpět do nádrže.

Na rozdíl od ostatních systémů, nedochází k neustálým nárůstům tlaku při každém vstřiku, ale tlak je vytvářen kontinuálně nezávisle na otáčkách. Vysokotlaký zásobník bývá vyroben z kované oceli a má trubkovitý tvar. Jeho objem musí být dostatečně velký, aby bylo zamezeno přílišnému poklesu tlaku při otevření vstřikovače. Na druhou stranu by neměl být zbytečně velký, aby natlakování zásobníku při startu netrvalo nepřiměřeně dlouho (dosažení provozního tlaku trvá většinou okolo 30 s). Také je vybaven přetlakovým ventilem, který v zásobníku udržuje požadovaný tlak.



Obr. 2.7 *Řez motoru se systémem Common Rail, [7]*

Použité vstřikovače jsou vždy elektronicky ovládané, buď elektromagneticky nebo nově piezoelektricky či piezohydraulicky. Velmi rychlá odezva na signál u těchto vstřikovačů umožňuje rozdělit dávku do několika částí. O řízení celého systému se stará modul vstřikovacích ventilů (IDM). Data o dávce a okamžiku vstřiku získává od řídící jednotky (PCM), která je vybírá z pole hodnot dle údajů ze snímače otáček klikového hřídele, snímače otáček vačkového hřídele, snímače polohy pedálu, snímače plnícího tlaku, snímače tlaku v zásobníku, snímače hmotnosti nasávaného vzduchu a snímače teploty chladicí kapaliny.

Během doby vývoje systém prošel několika stupni vývoje, mluvíme o tzv. generacích. V první generaci pracoval systém s maximálními tlaky až 1400 bar a rozdělením dávky do předvstřiku a hlavního vstřiku. Druhá generace již operovala s tlaky až 1600 bar, ale kromě přidání ještě jednoho vstřiku během cyklu, tzv. dovstřiku, nepřinesla žádnou novou technologii. Nejrozšířenější je generace 3.

uvedená na trh roku 2003, kde se hodnota vstřikovacího tlaku vyšplhala až na 2000 bar. Nejdůležitější novinkou však u 3. generace bylo nahrazení solenoidových vstřikovačů, piezoelektrickými (Piezo-Inline technika). Počet vstřiků během cyklu se tak zvýšil na 5 a více. Připravovaná 4. generace pak nabídne hydraulicky posilované vstřikovače (HADI – Hydraulically Amplified Diesel Injector) a tlaky až 2500 bar.



Obr. 2.8 *Vysokotlaký Common Rail zásobník na traktoru Fendt 933 Vario*

Hlavní předností systému Common Rail je použití velmi vysokých vstřikovacích tlaků. To vede k jemnému rozprášení paliva při vstřiku, okamžitému odpaření a vzniku dokonalé směsi. Velmi rychlé a přesné řízení vstřikovačů umožňující rozdělení dávky do několika vstřiků pomáhá rovnoměrnějšímu chodu motoru. Např. předvstřik prohřívá spalovací prostor a hlavní část vstřikovaného množství přichází již do hořícího vzduchu. Anebo tzv. dovstřik, po hlavním vstřiku se do válce dodá ještě velmi malé množství paliva, které už se nevznítí, ale pouze obohatí výfukové plyny. To pak poslouží jako reduktor pro katalyzátor typu DeNO$_X$. Výsledkem je vyšší krouticí moment v nízkých otáčkách, snížení spotřeby a díky dokonalému prohoření i znatelné snížení emisí ve výfukových plynech (až o 70% nižší emise pevných částic).

2.5 Vstřikovače

Vstřikovací jednotky (vstřikovače, injectors) jsou posledním článkem každého vstřikovacího systému. Mají zajistit optimální rozprášení paliva ve spalovacím prostoru, rychlou odezvu na otevírací signál, přesné dávkování a dlouhou životnost. Skládají se z držáku (nozzle holder) a vstřikovací trysky (nozzle).

Vstřikovací trysku tvoří tělo a jehla. Protože jsou tyto části vyráběny s tisícinovými tolerancemi, tvoří spolu individuální a uzavřený celek. V nabídce firem se objevují v různých velikostech, s různými počty otvorů i postavením přívodu paliva k trysce. Volba typu vstřikovací trysky je přímo závislá na použitém systému vstřikování. Pro nepřímé vstřikování pomocí řadového čerpadla tedy použijeme úplně jinou než pro přímé vstřikování pomocí systému Common Rail. Obecně můžeme vstřikovací trysky rozdělit např. dle konstrukce nebo dle způsobu ovládání trysky.

2.5.1 Rozdělení dle konstrukce

a) čepové trysky

- označují se DC, používají se u motorů s nepřímým vstřikováním
- jehla je zakončena čepem ve tvaru obráceného kužele s vrcholovým úhlem až 60°, který prochází výstupním otvorem
- palivo rozprašováno ve tvaru mezikruží
- samočistící schopnost

b) otvorové trysky

- označují se DO, používají se u motorů s přímým vstřikováním
- jehla zapadnutím do kuželového sedla v tělese trysky uzavírá přívod paliva k otvorům na špičce trysky
- různé počty otvorů (1 - 12) průměry od 0,2 – 0,05 mm
- vrcholové úhly od 15° do 180°

2.5.2 Rozdělení dle způsobu ovládání

a) řízené tlakem paliva

Stoupající tlak ve spodní části tělesa vyvolaný vstřikovacím čerpadlem nadzvedne jehlu, která kryje výstupní otvor. Palivo může vnikat do spalovacího otvoru. Při poklesu tlaku síla pružiny jehlu přitlačí zpět do kuželového sedla tělesa a utěsní tak výstupní otvor.

Seřízení jehly je realizováno nastavením dorazu jehly, což ovlivní maximální výšku zdvihu a předepnutím vratné pružiny, čímž se zvýší otevírací tlak. Předepnutí zvýšíme vložením vymezovací podložky pod vratnou pružinu. Pomocí dvoupružinových vstřikovačů můžeme dosáhnout rozdělení dávky do dvou vstřiků, tedy předvstřiku. Kvůli kontrole zdvihu jehly mohou být vstřikovače vybaveny elektromagnetickým snímačem, diagnostickým výstupem pak je elektrický signál.

Mechanické vstřikovače řízené tlakem paliva se používají především u traktorových motorů s řadovým vstřikovacím čerpadlem nebo se systémem čerpadlo-potrubí-tryska.

b) řízené elektronicky

Zdvih jehly je zde nastaven elektroprvkem (elektromagnetem či nověji piezokrystalem). Při přivedením otvíracího proudu či napětí na řídící elektroprvek se nadzvedne jehla v trysce a začíná vstřikování. Po přerušení řídícího signálu vratná pružina tlačí jehlu zpět do sedla a uzavírá výstupní otvor. Předvstřiku u elektromagnetických ventilů je dosaženo mechanicky, kdy vrůstající tlak přizvedne jehlu, ale hlavní vstřik či dovstřik jsou již řízeny elektronicky.

Použití piezoelektrických a speciálně piezohydraulických ventilů umožňuje díky velmi rychlé odezvě na řídící signál fázovat hlavní střik až do 8 částí. Palivo navíc není vstřikováno rázem, ale zvyšujícím se tlakem. Tím vznikne příznivý průběh vstřikování a zlepšení tvorby zápalné směsi. Výsledkem jsou pak výrazně nižší emise sazí.

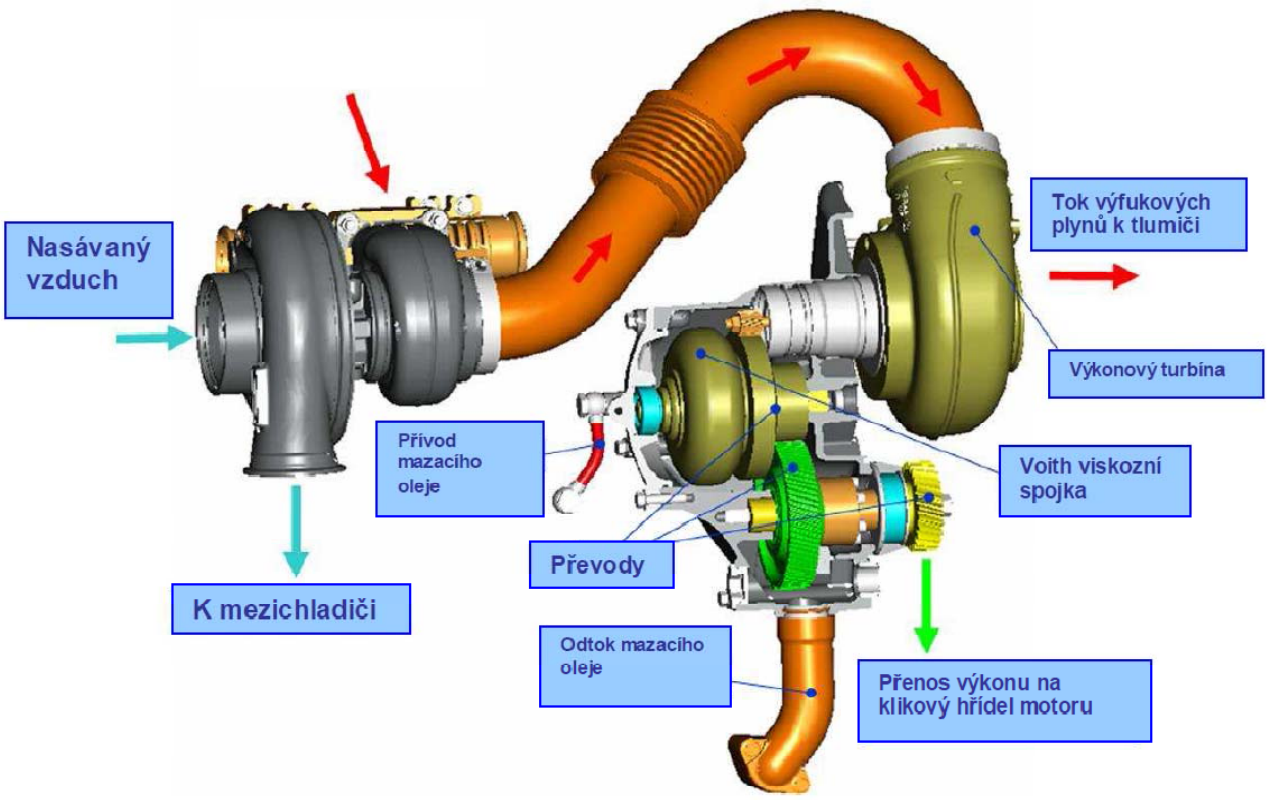
3 Doplňkové technologie u traktorových motorů

3.1 Turbocharging

Neboli přeplňování pomocí turbodmychadla. Tímto zařízením lze dosáhnout významného zvýšení výkonu motoru. Princip činnosti turbodmychadla spočívá v tom, že, pomocí kinetické energie spalin odcházejících výfukovým potrubím, je plnící vzduch stlačován na vyšší tlak než atmosférický. Do válce se tak vejde více vzduchu a je tedy možno přidat více paliva.

3.2 Turbocompounding

Tento systém opět využívá kinetické energie spalin, která je i po průchodu klasickým turbodmychadlem stále vysoká. Točivý moment tohoto „druhého turbodmychadla“ je pomocí hydrodynamické spojky a redukčních převodů přiváděn přímo na klikový hřídel motoru. Udává se až 8% zvýšení výkonu, lepší průběh křivky točivého momentu a lepší odezva na proměnné zatížení v širším rozsahu otáček. Poprvé u zemědělského traktoru byl tento systém použit u stroje Case IH Steiger 485 QuadTrac.



Obr. 3.1 *Schéma turbokompaudního motoru, [8]*

3.3 Intercooler

Tzv. mezichladič má za úkol ochladit nasávaný vzduch a zvýšit tak jeho hustotu. Během cyklu je pak do válce nasáno více vzduchu a opět je možné přidat do směsi více paliva. Mezichladič bývá často používán ve spojení právě s přeplňováním pomocí turbodmychadla.

3.4 EGR

Tato technologie recirkulace spalin (EGR – exhaust gas recirculation), jako jedna ze dvou (další možností je technologie SCR), dokáže snížit emise NO_x u vznětových motorů. Část výfukových plynů se vede přes chladič zpět do sacího potrubí. Nasávaný vzduchu pak obsahuje méně kyslíku, sníží se spalovací teplota a tím i produkce nežádoucích oxidů dusíku. Nevýhodou může být mírné snížení výkonu a potřeba použití propracovaného elektronického řízení. Ke splnění emisních norem Euro 4 a vyšších je však použití tohoto systému nutností.

4 Přehled traktorů

4.1 Belarus

Traktory od běloruského výrobce jsou vybaveny motory vlastní výroby s přímým vstřikováním paliva pomocí **řadového vstřikovacího čerpadla**. To však není řízeno elektronicky, ale nastavováno pouze mechanickými regulátory. U motorů s výkonem více jak 85 hp je pak použito přeplňování turbodmychadlem.

V poslední době nabízí Belarus i modely s přejatými motory od firmy Deutz používající Common Rail systém vstřikování.

4.2 Case IH

U střední řady traktorů (do 141 hp – modely Quatum, JX, CS a Maxxum) zůstává Case u systému s **rotačním vstřikovacím čerpadlem**. U těžké řady (až 335 hp – modely CVX, Puma, Magnum) je ale výhradně použit systém vysokotlakého vstřikování **Common Rail** s plným elektronickým řízením. Téměř všechny modely pak využívají přeplňování motoru pomocí turbodmychadla, mezichladič a systém recirkulace spalin (EGR). Nejsilnější model Steiger 485 navíc, jako jediný zemědělský traktor, i technologii turbocompounding.[10] U některých modelů je možno použít B100 bionaftu, přičemž u všech je zaručena možnost použití B20 bionafty.



Obr. 4.1 *Traktor Case IH Magnum 310, [9]*

4.3 Claas

Všechny modely této značky jsou vybaveny motory DPS z rodiny John Deere se systémem vstřikování **Common Rail** a elektronickým řízením doplněné o systémy přeplňování pomocí turbodmychadla s nastavitelnou geometrií lopatek (VGT), přichlazováním nasávaného vzduchu a externím variantou recirkulace spalin.



Obr. 4.2 *Traktor Claas Axion 820, [10]*

4.4 Deutz-Fahr

U traktorů s motory o výkonu do 113 hp používá Deutz-Fahr technologii vstřikování **čerpadlo-potrubí-tryska** (P-L-D), tedy systém, kdy je každému válci přidělen jeden samostatný vstřikovací element poháněný společným vačkovým hřídelem motoru. Vstřikovací tlaky dosahují hodnot až 1400 bar a samotná regulace je řízena elektronickou jednotkou (EMC).

Modely Agrotron M, TTV a X s výkony motoru až 262 hp jsou pak vybaveny vysokotlakým vstřikovacím systémem **Common Rail**, tvořeným 2 vstřikovacími jednotkami poháněnými přímo od vačkového hřídele motoru. Tato čerpadla jsou mazána tlakovým olejem od motoru, a tudíž nejsou náchylná na kvalitu použitého paliva. Motory tak mohou používat jako palivo i bionaftu B100 a při objednávce u prodejce dokonce i stolní olej lisovaný za studena (označení NaturalPower).[3] Skrze krátké potrubí je palivo pod tlakem až 1600 bar dopravováno k solenoidním vstřikovačům, jejichž rychlá odezva na řídící signál umožňuje rozdělit vstřikovanou dávku do tří částí.

4.5 Fendt

Prakticky všechny své modely osazuje Fendt motory Deutz se systémem vysokotlakého (1600 bar) vstřikování **Common Rail** se dvěma čerpadly a plnou elektronickou regulací motoru EDC 7. Samozřejmostí je použití přeplňování a mezichladiče. Navíc jsou všechny modely vybaveny externím systémem recirkulace spalin AGRex, který oproti interním variantám ušetří o 10% více paliva.



Obr. 4.3 *Traktor Fendt 936 Vario, [11]*

4.6 John Deere

Nové traktory John Deere jsou poháněny výkonnými motory PowerTech, které splňují emisní normu IIIA. Použitý vstřikovací systém **Common Rail** jim dodává vysoký užitečný výkon a nízkou spotřebou paliva. Ovládání elektromagnetických ventilů má na starosti elektronická řídící jednotka (ECU). K vyššímu výkonu a nižší spotřebě paliva pomáhají systémy recirkulace spalin a přeplňování s nastavitelnou geometrií lopatek (VGT).

U nejsilnějších traktorů řady 9030, které jsou vybaveny motory PowerTech o obsahu 13.5 L je však použit systém vstřikování **sdruženými vstřikovači**. Jedná se o technologii, kde jsou vysokotlaká pumpa i tryska integrovány v jednom zařízení. Používá se zvláště u motorů velkých výkonů. Absence jakéhokoli vysokotlakého potrubí umožňuje lépe kontrolovat počátek vstřiku, navíc lze dosahovat vstřikovacích tlaků až 2000 bar.

4.7 Massey Ferguson

U modelů střední třídy s výkony od 70 do max. 100 hp volí Massey Ferguson motory Agco Sisu Power mechanickým vstřikováním paliva **rotačním vstřikovacím čerpadlem**. Ostatních modelů modely jsou již vybaveny úspornými **Common Rail** motory od firmy Agco Sisu Power či Perkins s elektronickým řízením (např. SisuTronic). Standardně motory doplňují technologie přeplňování a chlazení nasávaného vzduchu, všechny samozřejmě splňují emisní normu TIER 3A.

Snížení emisí u nejvýkonnějších typů (MF 8600) s motory od 270 do 370 hp probíhá pomocí **technologie SCR** neboli pomocí selektivní katalitické redukce (Selective Catalic Reduction). Tento postup dokáže snížit emise NO_x téměř k nule. Funguje na principu vstřikování dodatečné kapaliny (adBlue) do výfukových plynů. Výsledkem je rozložení škodlivých emisí na dusík a vodu. Nevýhodou může být nutnost další nádrže právě na dodatečnou kapalinu. Na druhou stranu i v případě spotřebování veškerého aditiva může systém při zvýšené produkci emisí dále fungovat.



Obr. 4.4 *Traktor MF 8600, [12]*

4.8 New Holland

New Holland bez vyjímky vybavuje své traktory motory vlastní výroby se systémem vstřikování **Common Rail**. Standardní doplněk představuje přeplňování turbodmychadlem a mezichladič. Systém recirkulace spalin však chybí. Díky vysokotlakému vstřikování jsou všechny modely pracovat i na 100% biodiesel.



Obr. 4.5 *Traktor New Holland T7040, [13]*

4.9 Same

Díky spojení s firmou Deutz-Fahr do koncernu SDF (Same Deutz-Fahr) má Same přístup k výborným moderním traktorovým motorům. Modelové řady Iron a nejvyšší řada Diamond s výkony od 100 do 270 hp tak používají motory DCR (**Deutz Common Rail**) s elektronickým řízením vstřikování a regulace, se dvěma vysokotlakými čerpadly, která vyvolávají v zásobníku kontinuální tlak 1600 bar. Se systémy přeplňování, mezichladiče a interní recirkulace spalin plní motory normu Euro 3. Jediný typ z nabídky, a to Explorer 3 (85 - 110 hp), je osazen motorem se systémem vstřikování **čerpadlo-potrubí-tryska,** taktéž od Deutzu.

Nižší modelové řady s výkonem od 60 do 95 hp vybavuje vlastními motory se systémem vstřikování **čerpadlo-potrubí-tryska,** a to jak mechanicky řízené (Tiger), tak elektronicky (Dorado, Explorer). Tyto však plní pouze emisní normu Euro II.

4.10 Steyr

Rakouský výrobce osazuje traktory svými vlastními motory. Modely Kompakt a 9000MT s výkonem do 100 hp jsou vybaveny motory se systémem přímého vstřikování s dodávkou paliva **rotačním vstřikovacím čerpadlem** Bosch. U výkonnějších traktorů Profi a CVT (112 – 224 hp) přešel Steyr na systém vysokotlakého vstřikování **Common Rail** s tlakem 1400 bar. O ideální rozprášení paliva se starají 5 – 6 otvorové elektronicky ovládané vstřikovače. Motory jsou přeplňované turbodmychadlem a je použit mezichladič. Typ CVT má navíc i systém EGR.

4.11 Zetor

Poslední značkou v přehledu je jediný český výrobce Zetor. Ten momentálně nabízí dvě modelové řady traktorů, které dle specifikací spadají do střední výkonové řady. Slabší Proxima (další modifikace Proxima Plus a Power), nabízející výkonový rozsah motorů od 82 do 110 hp, pro vstřikování paliva používá elektronicky řízená **řadová vstřikovací čerpadla** tuzemské firmy Motorpal s maximálními vstřikovacími tlaky 1800 bar.

U Forterry (90 – 120 hp) je však použit systém, kdy každému válci přísluší jedna samostatná vstřikovací jednotka, tedy technologie **čerpadlo-potrubí-tryska** převzatá od firmy Same. Motory obou dvou modelových řad přeplňují turbodmychadla a také splňují emisní normu TIER III.



Obr. 4.6 *Traktor Zetor Proxima Plus, [14]*

Závěr

Volba vstřikovacího systému u traktorových motorů přímo ovlivňuje jeho vlastnosti, co se týče spotřeby paliva, výkonu, hlučnosti, vibrací a produkce škodlivých emisí. Z tohoto důvodu se zdají být nejvhodnější varianty přímého vysokotlakého vstřikování s plným elektronickým řízením a regulace vstřiku. Vysoký vstřikovací tlak pomáhá ideálnímu rozprášení paliva ve spalovacím prostoru a elektronické řízení umožňuje velmi variabilní nastavení systému v závislosti na momentálním zatížení, jeho kontrolu a díky rychlé odezvě i možnost rozdělení vstřikované dávky do několika fází.

Z přehledu vyplývá, že u traktorů s výkonem nad 120 hp všichni výrobci přešli na systém Common Rail a to v jeho první či druhé generaci. Spolu se systémem recirkulace spalin lze docílit nízké spotřeby a plnění požadovaných emisních norem. Zřejmě nejpovedenější a také i nejpoužívanější motory v této kategorii jsou od firmy Deutz-Fahr. S velkou pravděpodobností i proto, že nejlépe zvládají používání ekologicky přijatelnějších paliv jako je bionafta či rostlinné oleje. Další vývoj dle mého úsudku bude směřovat právě zlepšováním této technologie. Na příklad zavedením nové generace hydraulicky posilovaných vstřikovačů, tedy zvyšováním vstřikovacích tlaků a větším počtem vstřiků během jednoho cyklu.

V kategorii traktorů s výkony přibližně do 100 – 120 hp se použité vstřikovací systémy liší. Používána jsou řadová nebo rotační vstřikovací čerpadla či systém čerpadlo-potrubí-tryska s různými stupni elektronického řízení. Další vývoj bude patrně představovat zavedení úsporného Common Rail systému a plného elektronického řízení.

Seznam použitých zdrojů

[1] MATĚJOVSKÝ, Vladimír: *Obejde se zemědělství bez nafty?.* Biom.cz [online]. 2009-01-19 [cit. 2009-04-08]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/obejde-se-zemedelstvi-bez-nafty>. ISSN: 1801-2655.

[2] VLK, F. *Příslušenství vozidlových motorů.* Vyd. 1. Brno: Prof.Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavetelství, 2002. 338 s. ISBN 80-238-8755-6.

[3] *Deutz-Fahr* [online]. [cit. 2009-04-20]. Dostupné z: <http://www.deutz-ahr.cz/traktory.php>.

[4] RAUSCHER, J. *Vozidlové motory* [online studijní opory]. [cit. 2009-04-18]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/elearning>.

[5] *Motorpal* [online]. [cit. 2009-04-18]. Dostupné z: <http://www.motorpal.cz/media/pdf/epp_cz.pdf>.

[6] *H-Diag* [online]. [cit. 2009-04-18]. Dostupné z: <http://www.h-diag.cz/news/priprava-smesy>

[7] *Za volantem* [online]. [cit. 2009-04-18]. Dostupné z: <http://www.zavolantem.cz/clanky/common-rail-systemu-cerpadlo-tryska-odzvonilo >.

[8] *Agrics* [online]. [cit. 2009-04-19]. Dostupné z: <http://www.agrics.cz/soubory/popis-novinky-steiger-485-quadtrac-db74ba.pdf>.

[9] *Case IH* [online]. [cit. 2009-04-25]. Dostupné z: <http://www.caseih.com>.

[10] *Claas* [online]. [cit. 2009-04-25]. Dostupné z: <http://www.claas.com>.

[11] *Fendt* [online]. [cit. 2009-04-26]. Dostupné z: <http://www.fendt.com>.

[12] *Massey Ferguson* [online]. [cit. 2009-04-26]. Dostupné z: <http://www.masseyferguson.com>.

[13] *New Holland* [online]. [cit.2009-4-26].Dostupné z:<http://www.newholland.cz>.

[14] *Zetor* [online]. [cit. 2009-04-26]. Dostupné z: <http:// www.zetor.cz>.

Seznam použitých obrázků

1.1 Porovnání průběhu tlaku u různých kompresních poměrů, [2] 12

1.2 Traktor Agrotron TTV 610 Deutz-Fahr s motorem z řady NaturalPower, [3] 13

2.1 Vybrání pístu vznětového motoru u metody MAN, [4] 15

2.2 Vybrání pístu vznětového motoru u metody Deutz, [4] 15

2.3 Regulace vstřiku pomocí regulační tyče u řadového čerpadla, [2] 17

2.4 Plně elektronicky řízené řadové vstřikovací čerpadlo EPP.M firmy Motorpal schopné plnit emisní normy EURO IV / TIER IV, [5] 18

2.5 Schéma systému PLD, [2] 19

2.6 Řez jednotkou systému PLD, [6] 19

2.7 Řez motoru se systémem Common Rail, [7] 20

3.1 Schéma turbokompaudního motoru, [8] 24

4.1 Traktor Case IH Magnum 310, [9] 26

4.2 Traktor Claas Axion 820, [10] 27

4.3 Traktor Fendt 936 Vario, [11] 28

4.4 Traktor MF 8600, [12] 29

4.5 Traktor New Holland T7040, [13] 30

4.6 Traktor Zetor Proxima Plus, [14] 31