



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**ČTYŘVÁLCOVÉ A ŠESTIVÁLCOVÉ TRAKTOROVÉ
MOTORY**

FOUR CYLINDER AND SIX CYLINDER ENGINES FOR AGRICULTURAL TRACTORS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Šimon Potůček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

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

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

Čtyřválcové a šestiválcové traktorové motory

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Osvojení základních pojmů zadané problematiky. Porovnání výkonových parametrů čtyř a šestiválcových motorů. Zamyšlení nad perspektivou budoucího vývoje přeplňovaných vznětových motorů s ohledem na snižování škodlivin ve výfukových plynech.

Cíle bakalářské práce:

Uvedení přehledu pohonných jednotek, porovnání jejich výkonových parametrů, popis jejich konstrukčního řešení. Příklady řešení u konkrétních pohonných jednotek.

Seznam doporučené literatury:

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

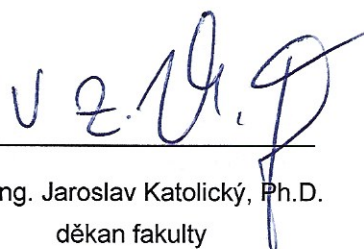
HEISLER, Heinz. Advanced Engine Technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 1-56091-734-2.

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

V Brně, dne 2. 10. 2019



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



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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce shrnuje současné technologie a trendy u traktorových motorů a uvádí souhrn sortimentu nejdůležitějších výrobců traktorových motorů, používaných v České republice.

KLÍČOVÁ SLOVA

Traktor, motor, DPF, DOC, SCR

ABSTRACT

This bachelor's thesis summarizes actual technologies and trends by tractor engines and mention product portfolio of the most important tractor engine's manufacturers used in the Czech Republic.

KEYWORDS

Tractor, engine, DPF, DOC, SCR

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POTŮČEK, Š. *Čtyřválcové a šestiválcové traktorové motory*. Brno, 2020. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 39 s. Vedoucí diplomové práce Radim Dundálek.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Radima Dundálka, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 17. června 2020



.....
Šimon Potůček

PODĚKOVÁNÍ

Velice rád bych poděkoval Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D. za jeho rady a připomínky. Dále bych velmi rád poděkoval Ing. Milanu Tůmovi ze Zetoru za poskytnuté konzultace. Samozřejmě nesmím opomenout na poděkování svým rodičům a blízkým, díky kterým jsem mohl uskutečnit své studium.

OBSAH

Úvod	10
1 Motor	11
2 Přehled trhu	12
3 Palivová soustava traktorového motoru.....	13
3.1 Palivová soustava s řadovým vstřikovacím čerpadlem	13
3.2 Palivová soustava s rotačním vstřikovacím čerpadlem	14
3.2.1 Axiální vstřikovací čerpadlo.....	14
3.2.2 Radiální vstřikovací čerpadlo	15
3.3 Palivová soustava se sdruženou vstřikovací jednotkou	15
3.4 Palivová soustava s tlakovým zásobníkem	16
3.5 Použití palivových soustav	17
4 Přepřňování	18
4.1 Princip fungování turbodmychadla.....	18
4.2 Použití přepřňování	20
5 Emise.....	21
5.1 Legislativa.....	21
5.2 SCR.....	22
5.3 DPF	23
5.4 DOC	24
5.5 EGR	25
6 Modely motorů.....	26
6.1 Zetor.....	26
6.2 FPT Industrial	27
6.3 AGCO Power	28
6.4 John Deere	30
6.5 Deutz.....	30
6.6 Kubota.....	32
6.7 MAN	33
7 Alternativní pohony.....	35
Závěr	36

ÚVOD

V následující práci je řešeno použití čtyřválcových a šestiválcových čtyřdobých vznětových motorů pro účely traktoru. Motory traktorů často neslouží pouze pro pohon zemědělské techniky, ale lze je díky dobré momentové charakteristice využít také například v důlním nebo železničním průmyslu.

Na motoru a s ním svázaném průmyslu je zejména v Evropě a Severní Americe postavená velká část ekonomiky a pro některé země je automobilový průmysl základem celého hospodářství. Ve vyspělých zemích jsou zaváděny přísné emisní limity hlavně pro osobní a nákladní automobily. Zemědělské stroje jsou však také svázány legislativou, vztahující se ke spalínám vycházejícím z výfuku do atmosféry, tato legislativa však není tak přísná, jako tomu je v automotive. Díky tomu je vývoj traktorových, potažmo zemědělských, motorů jistější oblastí, vzhledem k mnohonásobně menšímu trhu jsou však také omezeny vývojové prostředky. V mnoha systémech se výrobci traktorů inspirovali u aut, kdy musela být opatření týkající se škodlivin zavedena dříve.

1 MOTOR

Pístový spalovací motor lze definovat následovně „Pístový spalovací motor je tepelný stroj, u něhož se získává mechanická energie termochemickým uvolňováním energie z přivedeného paliva, což se projeví zvýšením teploty a tlaku plynu ve spalovacím prostoru. Zvýšený tlak ve válci působící na píst při expanzi koná užitečnou práci. Proto lze spalování v motorech považovat za přeměnu tepelné energie na mechanickou práci.“ [1]

Tato definice je obecná a spadají pod ni i traktorové motory, které však slouží jinému účelu a pracují v jiných podmínkách než motory automobilů. Točivý moment motoru se využívá také pro pohon připojených zařízení přes vývodový hřídel, například balíkovače. Pro traktory je typické, že motor tvoří součást těla, což vyžaduje vysokou tuhost. Liší se i prostředí ve kterém traktory pracují. Nejnáročnější podmínky panují při žních, kdy je na poli velmi prašné prostředí, což klade velký nápor na filtrování vzduchu i zanášení chladícího ústrojí traktoru. Během tohoto období jsou navíc traktory v provozu desítky hodin v kuse, což vyžaduje vysokou spolehlivost a dostatečně velkou palivovou nádrž (např. Zetor Crystal 170 HD má nádrž o objemu 300 litrů).

Kvůli výše zmíněnému musí být motor traktoru robustní a vzhledem k tomu, že u traktoru není žádoucí snižovat hmotnost, je typickým materiálem pro výrobu litina, na rozdíl od hliníkových bloků používaných u současných automobilů.



Obrázek 1 Traktorový motor [2]

2 PŘEHLED TRHU

Globální traktorový trh je velmi rozmanitý a projevují se na něm geografické, politické i historické faktory jednotlivých zemí. Tímto se od sebe většiny zemí poměrně výrazně liší. Zemědělci často preferují tradice, proto má u nás, na Slovensku a v Polsku velmi silné postavení Zetor, přičemž v sousedním Rakousku roli domácího lídra vede značka Steyer a v Německu Fendt, Claas a Deutz Fahr. Nad těmito značkami vyčnívají globálně američtí výrobci traktorů New Holland a zejména suverén trhu John Deere. Poslední dobou se začínají stále více prosazovat také asijské značky jako Kubota nebo Solis, které získávají zákazníky hlavně díky své cenové politice. Pro tuto práci byl zvolen vzorek nejprodávanějších traktorů v České republice v roce 2019, což znamená zejména využití na středních a větších farmách, zaměřených na rostlinnou a živočišnou výrobu. V roce 2019 byla v Česku kůrovcová kalamita, takže větší vliv na prodeje traktorů mělo i odvětví lesnictví.

Nejúspěšnějším výrobcem traktorů v ČR je John Deere, který zaznamenal 539 nových registrací. Druhou nejlépe prodávající firmou je New Holland s 296 novými registracemi a třetí nejprodávanější značkou je Zetor s 288 prodanými traktory. John Deere je tedy na trhu značně dominantní a celkem zabírá osminu celého trhu v Česku. [3]

Tabulka 1 Nejprodávanější značky traktorů v ČR za rok 2019 [3]

Značka	John Deere	New Holland	Zetor	Case	Kubota	Fendt	JCB	Claas	Solis
Počet kusů	539	296	288	279	161	159	112	111	104

U konkrétních typů je prodejnost v sestupném pořadí Zetor Proxima (3 alternativy, všechny s čtyřválcovým motorem), John Deere 6M, viz obr. 1 (8 alternativ, 5 z nich čtyřválcových, 3 šestiválcové) a New Holland T7 (4 alternativy, všechny s šestiválcovým motorem). [4] Je tedy zřejmé, že nejprodávanějšími traktory jsou u nás právě modely s čtyřválcovými a šestiválcovými motory.



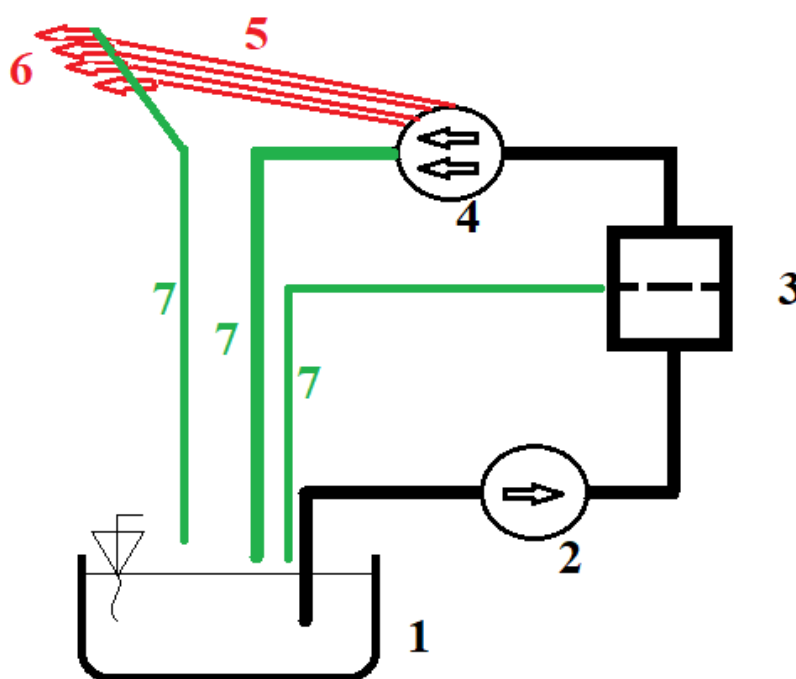
Obrázek 2 John Deere řady 6M [5]

3 PALIVOVÁ SOUSTAVA TRAKTOROVÉHO MOTORU

Účelem palivové soustavy je dopravit nezávadné palivo z nádrže do spalovacího prostoru. Standartně se skládá ze dvou částí, a to části nízkotlaké a vysokotlaké. V nízkotlaké části je palivo nasáváno z nádrže, filtrováno a převedeno k vysokotlaké části. Úkolem vysokotlaké části je poté dopravení paliva přes trysku do spalovacího prostoru ve správný čas a ve správném množství.

Podle typu čerpadla se rozdělují na palivové soustavy s řadovým vstřikovacím čerpadlem, rotačním vstřikovacím čerpadlem (radiálním/axiálním), sdruženou vstřikovací jednotkou a s tlakovým zásobníkem (common rail). [1]

3.1 PALIVOVÁ SOUSTAVA S ŘADOVÝM VSTŘIKOVACÍM ČERPADLEM



Obrázek 3 Schéma palivové soustavy s řadovým vstřikovacím čerpadlem

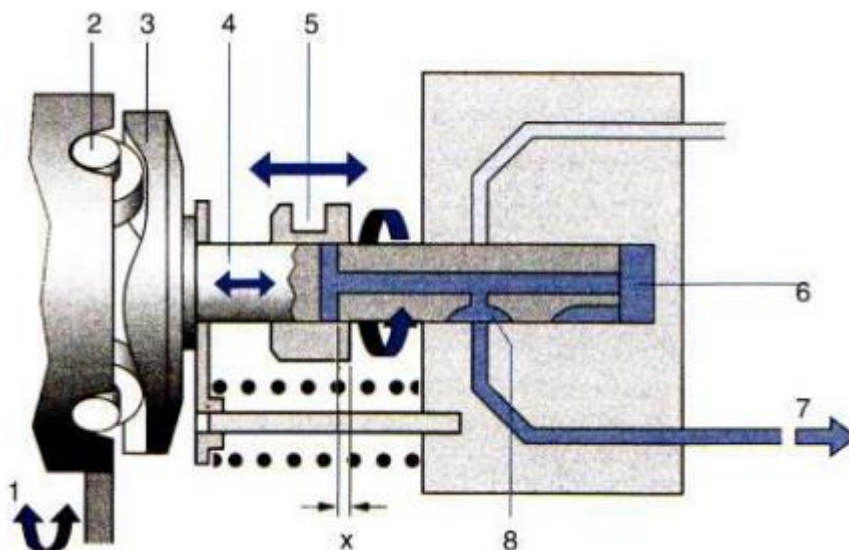
Palivo je z nádrže (1) dopraveno podávacím čerpadlem (2) přes filtrační zařízení (3) do vysokotlaké části soustavy. Řadové vstřikovací čerpadlo (4) má pro každý válec jeden vstřikovací element. Ze vstřikovacích elementů je palivo vedeno vysokotlakým potrubím (5) na vstřikovače (6), které vstřikují palivo do spalovacího prostoru. Přepadové potrubí (7) je důležité zejména u vysokotlakého čerpadla (4), kde plní zároveň roli chladiwa. Součástí podávacího čerpadla bývá hrubý čistič paliva, který zachytává hrubé nečistoty a vodu, která by mohla způsobovat korozi a tím poškodit palivový systém.

Element řadového vstřikovacího čerpadla může být buď soustava vačky s pístem, což je běžný způsob (ta se reguluje pomocí hřebenové tyče) nebo může být použito řešení se zdvihovým šoupátkem.

3.2 PALIVOVÁ SOUSTAVA S ROTAČNÍM VSTŘIKOVACÍM ČERPADLEM

Tato soustava používá pro dopravu paliva do spalovacího prostoru čerpadlo s rotačním pohybem. Palivová soustava s rotačním čerpadlem se od palivové soustavy s řadovým čerpadlem liší zejména v tom, že nepoužívá jeden element pro každý válec, ale má pouze jeden element vytvářející vysoký tlak, který je následně přes rozdělovač dopraven do vstřikovacích trysek. Dalším rozdílem je, že často používá dvě podávací čerpadla. Jedno podávací čerpadlo je nejčastěji elektrické zubové a je na stejné pozici, jako u palivové soustavy s řadovým čerpadlem a druhé bývá lopatkové a je přímo součástí vysokotlakého čerpadla. Celkové schéma je však stejné, jako u soustavy s řadovým čerpadlem. U současných motorů se používají dvě konstrukční řešení rotačních vstřikovacích čerpadel, a to čerpadla s axiálním anebo s radiálním pístem. [1]

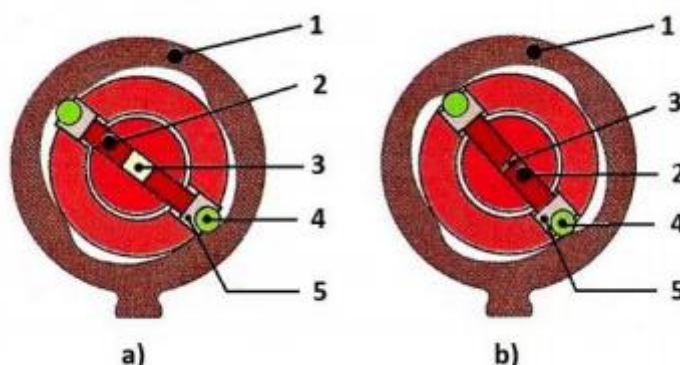
3.2.1 AXIÁLNÍ VSTŘIKOVACÍ ČERPADLO



Obrázek 4 Princip vstřikovacího čerpadla s axiálním pístem [1]

Píst axiálního čerpadla vykonává pohyb v ose rotace čerpadla a odtud název axiální čerpadlo. Přesuvník vstřiku (1) rotuje kolem své osy. Po roztočení se začne odvalovat prstenec s kladkami (2) po vačkovém kotouči (3). Výstupky na vačkovém kotouči vyvolávají lineární pohyb pístu (4) a zároveň jejich velikost určuje dobu vstřikování a velikost vstřikovacího tlaku. Vačkový kotouč do původní polohy vracejí pružiny. Počet výstupků na vačkovém kotouči musí odpovídat počtu válců, aby bylo dosaženo vstřiku pro každý válec. Píst stlačuje vysokotlaký prostor (6) a přes kanálek v pístu (8) odvádí palivo do ke vstřikovači (7). Regulace dodávky paliva se provádí pomocí šoupátka (5), které nastavuje užitečný zdvih pístu (x). [1]

3.2.2 RADIÁLNÍ VSTŘIKOVACÍ ČERPADLO

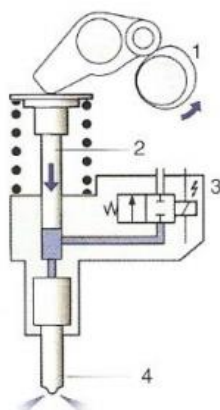


Obrázek 5 Princip vstřikovacího čerpadla s radiálním pístem [9]

Píst radiálního čerpadla koná pohyb v rovině rotace čerpadla, směrem k jeho ose, odtud název radiální čerpadlo. Těleso čerpadla rotuje ve staticky uloženém prstenci s vačkami (1) a po něm se odvalují kladky (4), které přes zdvihátko (5) stlačují píst (2), který stlačuje palivo ve vysokotlakém prostoru (3). V tělese čerpadla jsou otvory a když se setkají s otvory vedoucími z vysokotlakého prostoru (tzv. řídicí drážka), tak se palivo pod tlakem posune k vstřikovači.

3.3 PALIVOVÁ SOUSTAVA SE SDRUŽENOU VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKOU

U této palivové soustavy má každý válec vlastní vstřikovací jednotku. Pracují obdobně jako řadová vstřikovací čerpadla, ale nemají vlastní vačkový hřídel, nýbrž jsou napojeny přímo na vačkový hřídel ventilového rozvodu. To znamená, že pro každý válec je v hlavě motoru zabudována vstřikovací jednotka. [1]

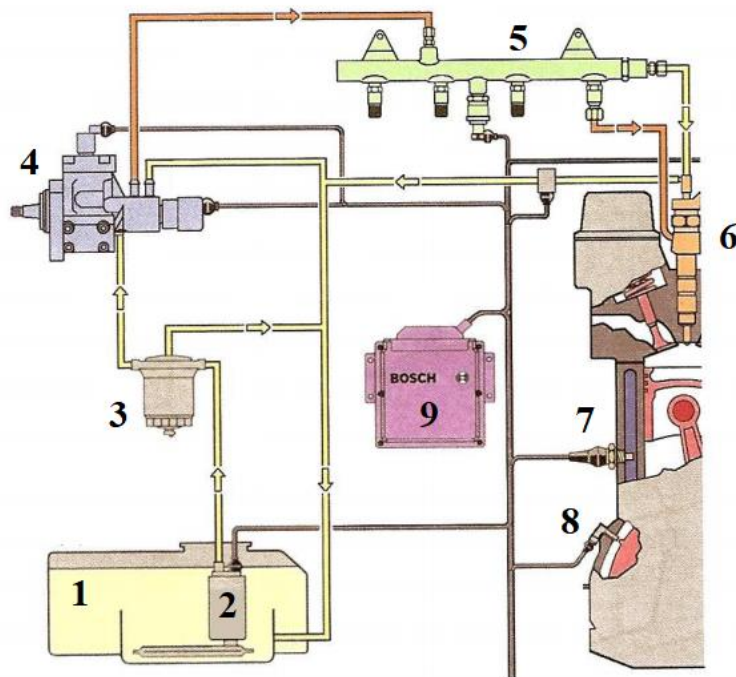


Obrázek 6 Princip činnosti sdružené vstřikovací jednotky [1]

Vačka (1) na vačkovém hřídeli tlačí na vahadlo, to tlačí na píst (2) a při uzavřeném elektromagnetickém ventilu (3) dochází k nárustu tlaku a vstříknutí paliva do válce. Při sání paliva do čerpadla je ventil otevřen, pružina tlačí píst vzhůru a palivo proudí do vysokotlakého prostoru. Výhodou tohoto systému je, že díky absenci vysokotlakého potrubí je možno dosáhnout vysokých vstřikovacích tlaků. Vzhledem ke konstrukci se tato soustava využívá u OHC rozvodů. Pro OHV rozvody existuje podobný systém, kdy je však mezi čerpadlem a vstřikovačem vloženo ještě krátké vysokotlaké potrubí.

3.4 PALIVOVÁ SOUSTAVA S TLAKOVÝM ZÁSOBNÍKEM

Palivová soustava s tlakovým zásobníkem je často známá spíše pod anglickým označením Common Rail (CR). Tento systém je mezi moderními traktory nejrozšířenější. Jeho výhody jsou jednoduchá konstrukce pouze s jedním vysokotlakým čerpadlem a zároveň možnost dosažení vysokých vstřikovacích tlaků, čímž lze dosáhnout nižších hodnot emisí. Nejčastěji používaným vysokotlakým čerpadlem bývá radiální rotační čerpadlo. [1]



Obrázek 7 Schéma vstřikovacího systému common rail [9]

Palivo je nasáváno z nádrže (1) podávacím čerpadlem (2) přes čistič (3) do vysokotlaké části systému. Vysokotlaké čerpadlo (4) pracuje na rozdíl od ostatních systémů neustále a dodává do vysokotlakého zásobníku (5) palivo pod tlakem. Odtud je palivo dopraveno přes vstřikovač (6) do spalovacího prostoru. Elektronická řídicí jednotka (9) neustále vyhodnocuje údaje ze snímače otáček motoru (8) a snímače teploty chladicí kapaliny (7) a upravuje nastavení elektromagnetického ventilu na vstřikovači.

3.5 POUŽITÍ PALIVOVÝCH SOUSTAV

Jak bylo již zmíněno výše, nejpoužívanější palivovou soustavou mezi moderními traktory je common rail. V tomto ohledu mají navrch značky spadající pod korporát CNH, tedy značky New Holland, Case IH a Steyer, které těží ze zkušeností firmy FPT, která je průkopníkem v oblasti motorů a která také představila systém common rail na traktoru jako úplně první. [6]

V tabulce níže jsou vybrané nejprodávanější traktory v ČR (viz kapitola 2) a volba použití palivové soustavy.

Tabulka 2 Použití palivových soustav [8][7][22]

Značka + model	Zetor Proxima CL 100	John Deere 6145M	John Deere 6155M	New Holland T7 190
Počet válců / objem [l]	4 / 4,156	4 / 4,5	6 / 6,8	6 / 6,728
Točivý moment [Nm]	428,4	610	700	700
Palivová soustava	Řadové čerpadlo	Common rail	Common rail	Common Rail

4 PŘEPLŇOVÁNÍ

Pro chod motoru je nezbytné mít dostatek vzduchu. Motory bez přeplňování využívají vzduch o atmosférickém tlaku. Dosažením vyššího tlaku lze zmenšit objem nasávaného vzduchu a díky zákonu zachování hmotnosti je možné do spalovacího prostoru dopravit i více paliva, díky čemuž se zvýší výkon i krouticí moment.

Ve vyspělých zemích jsou prakticky všechny nejprodávanější zemědělské traktory přeplňovány turbodmychadlem. Tento typ přeplňování je nejpoužívanější z mnoha důvodů. Neubírá výkon motoru pro stlačení vzduchu tak jako kompresor, a vzhledem k nízkým provozním otáčkám traktorových motorů lze přizpůsobit geometrii turbodmychadla tak, aby nedocházelo k tzv. „turbolagu“, což znamená časový interval, kdy nápor spalin ve výfukovém potrubí není dostatečně silný pro získání energie na roztočení turbínové části dmychadla. Turbodmychadlo také chladí výfukové plyny a díky tomu dosahují přeplňované motory lepších emisních hodnot. Další výhodou turbodmychadla je snížení hluku na straně sání až o 4 dB [1].

Stlačený vzduch za turbínovou částí turbodmychadla má vysoký tlak a také teplotu, která není ideální pro plnění motoru, kdy by hrozil příliš brzký začátek spalování nafty, a proto je třeba tento vzduch chladit v mezichladiči. Tento chladič musí být odolný proti vysokému tlaku vzduchu. Zanášení mezichladiče a tím zhoršení výkonových vlastností je jedinou nevýhodou přeplňování turbodmychadlem. Prašné prostředí, ve kterém traktory pracují, jsou potenciálním problémem všech chladičových elementů (např. motorový chladič, chladič převodovky, kondenzátor klimatizace), proto se výrobci snaží nabízet možnosti jednoduché údržby. Některé značky používají systém vysouvání chladičů, jiné vyklápění chladičů s kapotou nebo je možnost mít reverzní chod vrtule pro vyfoukání chladičů.

4.1 PRINCIP FUNGOVÁNÍ TURBODMYCHADLA

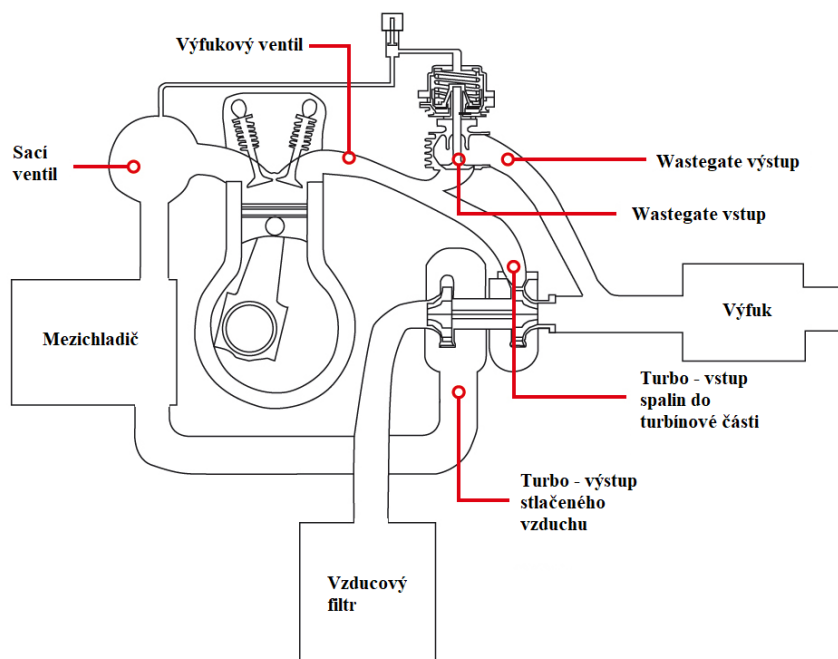
Turbodmychadlo je součást motoru, která se skládá ze dvou částí. První část je turbínová. Zde se nachází lopátkové kolo, které je poháněno výfukovými plyny odcházející z motoru. Roztočené turbínové kolo je spojeno hřídelí s kompresorovým kolem, které se nachází v kompresní části turbodmychadla. Do této části je přiváděn nasávaný vzduch, který se zde stlačí a putuje do spalovací komory buď přímo, nebo většinou přes mezichladič.

U vyspělých motorů se však často používá turbodmychadlo s variabilní geometrií, což umožňuje využít účinnostní potenciál dmychadla na větším intervalu otáček. Tato variabilita je dosažena regulací na vstupu do turbínové části podobně, jako tomu je u Francisovy turbíny (pevné lopatky na přívodu jsou schopné se natáčet).



Obrázek 8 Princip VGT [10]

Další možností regulace turbodmychadla se provádí pomocí obtokového kanálu, který je řízen ventilem a umí pohltit přebytečné výfukové plyny. Tento systém se nazývá Wastegate a jeho princip popisuje obrázek číslo 9.



Obrázek 9 Wastegate princip [12]

Pro zvýšení výkonu lze použít i více turbodmychadel, a to buď sériově pro získání vyššího tlaku vzduchu, nebo paralelně, kdy se používají turbodmychadla různých velikostí, kdy menší turbo funguje při nižších otáčkách motoru a větší turbo při vyšších.

Jak již bylo zmíněno výše, většina přeplňovaných motorů musí používat mezichladič k dosažení správné teploty vzduchu na přívodu do spalovacího prostoru. Bývá to zpravidla masivní chladič, protože je v něm potřeba výrazně schladit velké množství vzduchu pod vysokým tlakem. U traktoru hraje rozložení chladičů méně výraznou roli než u automobilů, kde se většina vzduchu nasává z čela, zatímco u traktorů jsou nosnými chladičmi plochami zejména bočnice. Moderním trendem na karoserii je úplně otevřená přední část kapoty, kde jsou v mřížce zasazeny pouze světla (viz obrázek 10), což poskytuje největší prostor pro sání a chlazení.



Obrázek 10 Case Optum [11]

4.2 POUŽITÍ PŘEPLŇOVÁNÍ

Jak již bylo zmíněno výše, drtivá většina zemědělských traktorů u nás používá přeplňování turbodmychadlem, přesto se konkrétní řešení liší. V následující tabulce je John Deere s řadou 6M opět zastoupen 2x a to proto, že v této řadě má čtyřválec i šestiválec.

Tabulka 3 Použití přeplňování [7][8][22]

Značka + model	Zetor Proxima CL 100	John Deere 6145M	John Deere 6155M	New Holland T7 190
Počet válců / objem [l]	4 / 4,156	4 / 4,5	6 / 6,8	6 / 6,728
Točivý moment [Nm]	428,4	610	700	700
Přeplňování	1x Turbo	1x Turbo + 1x VGT (série)	1x VGT	1x VGT

5 EMISE

V současné době jsou zejména v Evropě zaváděny přísné emisní normy nejen pro automobily, ale i pro nesilniční stroje. Výrobci musí splňovat emisní limity dané legislativou Evropské unie. Pro splnění těchto limitů se používají zejména 4 následující typy technologií: SCR, DPF, DOC a EGR. Tyto technologie lze vzájemně kombinovat a konkrétně budou popsány níže.

5.1 LEGISLATIVA

Emisní limity pro stupně I až IV jsou řízeny směrnicí Evropského parlamentu a Rady 97/68/ES. Tato směrnice upravuje nástup jednotlivých etap a množství vypouštěných škodlivin. V současnosti nastupující stupeň V však již podléhá nařízení Evropského parlamentu a rady 2016/1628. Toto nařízení zároveň ruší směrnici 97/68/ES. V roce 2020 a 2021 bude postupně nabíhat emisní norma stupně V. V současnosti však je v Evropě možné kromě traktorů nastupující normy stage V a dosluhující stage IV i traktory s motory splňujícími úroveň stage IIIB. Toto je kvůli tomu, že úzkorozchodé traktory kategorie T1 navazují na úroveň IIIB přímo úrovní V. Emisní limity pro úroveň IIIB jsou shrnuty v tabulce 4 a limity pro úroveň IV v tabulce 5.

Tabulka 4 Emisní limity úrovně IIIB [15]

Kategorie: netto výkon (P) [kW]	Oxid uhelnatý (CO) [g/kWh]	Uhlovodíky (HC) [g/kWh]	Oxidy dusíku (NO _x) [g/kWh]	Částice (PT) [g/kWh]
$37 \leq P \leq 56$	5,0	4,7 (součet HC + NO _x)		0,025
$56 \leq P \leq 75$	5,0	0,19	3,3	0,025
$75 \leq P \leq 130$	5,0	0,19	3,3	0,025
$130 \leq P \leq 560$	3,5	0,19	2,0	0,025

Tabulka 5 Emisní limity úrovně IV [15]

Kategorie: netto výkon (P) [kW]	Oxid uhelnatý (CO) [g/kWh]	Součet uhlovodíků (HC) [g/kWh]	Oxidy dusíku (NO _x) [g/kWh]	Částice (PT) [g/kWh]
$56 \leq P \leq 130$	5,0	0,19	0,4	0,025
$130 \leq P \leq 560$	3,5	0,19	0,4	0,025

Je evidentní, že ani úroveň IIIB a ani úroveň IV nebere v potaz motory s výkony pod 37 (resp. 56) kW ani nad 560 kW. Z tabulek je vidět, proč mohli obě normy běžet paralelně, protože jediný zásadní rozdíl zaznamenal sloupec s oxidy dusíku, kde se tyto hodnoty zmenšili až osmkrát. V úrovni V je již zahrnuto kompletní výkonové spektrum. V tabulce 6 byly vybrány pouze výkonová rozmezí typická pro čtyřválcové a šestiválcové traktorové motory.

Tabulka 6 Emisní limity úrovně V [16]

Rozsah výkonu [kW]	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO _x [g/kWh]	PM [g/kWh]	PN [1/kWh]
$37 \leq P \leq 56$	5,0	(HC + NO _x ≤ 4,70)		0,015	1×10^{12}
$56 \leq P \leq 130$	5,0	0,19	0,4	0,015	1×10^{12}
$130 \leq P \leq 560$	3,5	0,19	0,4	0,015	1×10^{12}
$P > 560$	3,5	0,19	3,5	0,045	-

Na úrovni V se změnil zejména podíl pevných složek ve výfuku a to o 0,01 g/kWh, a navíc je zaveden limit pro znečišťující látky, jejichž průměr přesahuje 23 nm (PN), kterých nesmí být vyprodukováno více než 1×10^{12} částic během jedné kilowatthodiny, s výjimkou nejsilnějších motorů.

5.2 SCR

Systém SCR je dnes základním prvkem aftertreatmentu. Zkratka SCR znamená selective catalytic reduction (česky selektivní katalytická redukce). Dispozice touto technologií je na traktorech zřejmá na první pohled, díky modrému víčku nádrže, případně celé modré nádrži, na syntetickou močovinu, která nese obchodní označení AdBlue.

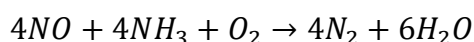


Obrázek 11 Deutz-Fahr Agrotion 9 TTV s modrou nádrží na AdBlue [18]

System SCR je primárně určen ke snižování podílu NO_x a nikoliv ke snižování podílu pevných částic ve výfukových plynech. Tyto dva podíly jsou závislé na teplotě spalování a jdou proti sobě, protože nižší teplota spalování zaručuje nižší produkci NO_x a vyšší produkci HC a pevných částic a opačně, přičemž všechny tyto hodnoty podléhají legislativě. [1]

Selektivní katalytická redukce funguje tak, že do spalin je vstřikována močovina. Močovina se přes termolýzu nebo hydrolyzu přemění na amoniak NH_3 a HNCO resp. CO_2 . V SCR katalyzátoru dojde k chemické reakci, jejíž výsledkem je molekula dusíku N_2 a voda H_2O . Tyto reakce popisují následující rovnice. [1]

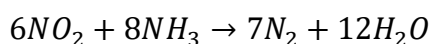
Rovnice 1 [1]



Rovnice 2 [1]



Rovnice 3 [1]



System SCR je náchylný na teplotu, protože při -11°C začne AdBlue krystalizovat a musí proto být ohříván např. topnými spirálami. [1] Tato technologie je zároveň náročná na prostor, kvůli nutnosti nádrže na AdBlue.

5.3 DPF

Zkratka DPF vychází ze slov Diesel Particular Filter, neboli filtr dieselových částic. V běžném hovoru je nejčastěji označován jako filtr pevných částic, což zároveň vystihuje podstatu účelu tohoto zařízení. Zejména s příchodem normy Stage IV, která výrazně omezuje jednak hmotnost a druhák počet pevných částic ve výfuku, museli konstruktéři ve velkém zapracovat systém DPF. Zjednodušeně se dá říct, že to je filtr vložený do výfukového potrubí. System DPF lze rozdělit na typ uzavřený a typ otevřený. Uzavřený systém pracuje tak, že se výfukové plyny rozdělí ve filtru do mnoha komor s porézními stěnami, kterými musí kvůli ucpávkám v komorách procházet. Během tohoto průchodu se pevné částice usazují právě na těchto stěnách. Otevřený systém naopak neobsahuje žádné překážky pro proudící spaliny. Výfukové plyny jsou přes výstupky nasměrovány na povrch ze spékaných materiálů, na němž se budou usazovat pevné částice. [1]

Je zřejmé, že oba typy filtru mají omezený počet pevných částic, který mohou pojmout. Tento problém lze řešit buď výměnou filtru nebo jeho regenerací. Regenerace funguje tak, že se zachycené saze vznítí a rozloží se na plynné částice. Problémem je vysoká teplota vznícení sazí, která se pohybuje okolo 600°C . Buďto se zvyšuje teplota výfukových plynů pomocí hořáku, případně topné spirály, nebo jsou použita aditiva, která snižují teplotu hoření sazí na hodnotu $300\text{--}500^\circ\text{C}$. [1]

Účinnost filtrů pevných částic se pohybuje nad 99 %. [1]

Vzhledem k době mezi regeneracemi 8 až 30 hodin [1] jsou traktory používané v komunálních službách nebo pro transportní služby náchylnější k jeho ucpání. Za to může kratší doba provozu,

během níž se motor nestihne dostatečně zahřát pro kontinuální regeneraci filtru a musí se spoléhat na aktivní regeneraci v tomto intervalu.

Často se tento systém v jednom těle doplňuje se systémem DOC, který eliminuje hlavně HC a CO složky, viz následující kapitola.

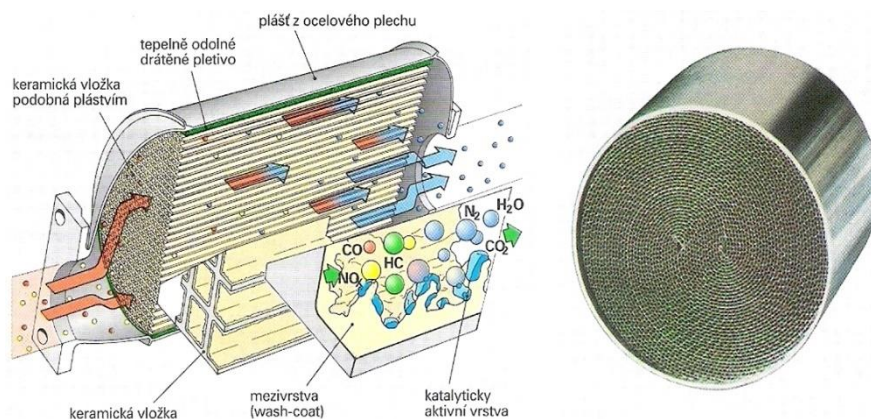
Kvůli vysoké teplotě nutné k regeneraci se DPF filtr často umísťuje do horní části motorové zástavby, aby co nejméně teplotně ovlivňoval ostatní komponenty motoru.



Obrázek 12 Zástavba DPF systému u traktoru John Deere 4066R [19]

5.4 DOC

Systém DOC (Diesel Oxidation Catalyst) se česky označuje jako oxidační katalyzátor. Je v něm vytvářeno vhodné prostředí pro reakci kyslíku s limitovanými složkami CO, C_xH_y a NO, jejíž výsledkem jsou méně škodlivé molekuly CO_2 , H_2O a NO_2 . Systém DOC snižuje plynné emisní složky CO a HC až o 90 %, při dostatku kyslíku, tedy když $\lambda > 1$. Tato hodnota je měřena pomocí lambda sondy, která porovnává okolní vzduch s výfukovými plyny. Uvnitř filtru se nacházejí kanálky z keramiky nebo ze železa a na těchto stěnách je povlak účinné katalytické vrstvy ze vzácných kovů platiny a palladia. Kolem těchto kanálků je tepelně odolné chráněné pletivo, které je obepnuto kovovým obalem. [1]



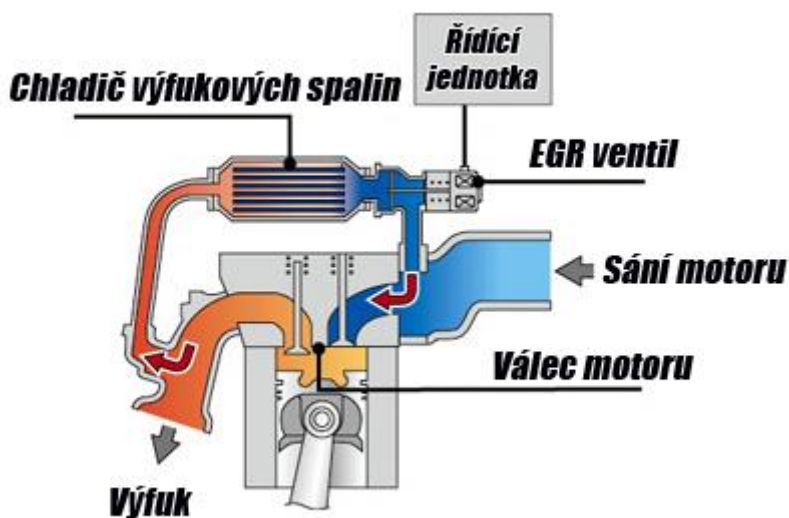
Obrázek 13 Schéma DOC [20]Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.

5.5 EGR

Recirkulace výfukových plynů, anglicky Exhaust Gas Recirculation (EGR) je systém, který přivádí část výfukových plynů zpět do spalovacího prostoru a mísí se spolu s nasávaným čerstvým vzduchem. Díky tomu mohou shořet zbylé uhlovodíky. Systém EGR se dělí na systémy vnější a vnitřní. [1]

Vnitřní recirkulace výfukových plynů souvisí s časováním ventilů, kdy se sací ventil otevírá již v průběhu výfuku, případně je otevřen výfukový ventil v sací fázi. Výhodou systému s vnitřní recirkulací je minimální zásah do zástavby a nízká finanční náročnost, na druhou stranu je toto řešení fixní a během jízdy nelze aktivně měnit poměr recirkulovaných výfukových plynů a čerstvého vzduchu. [1]

Systém s vnější recirkulací používá k vrácení výfukových plynů do pracovního prostoru válce vedlejší větev, ve které je umístěn EGR ventil a ten v závislosti na parametrech zatížení a výstupů od obsluhy dynamicky mění poměr recirkulovaných výparů vstupujících do spalovacího prostoru. V této vedlejší větvi se před EGR ventilem může ještě nacházet chladič spalin, který díky snížení teploty výfukových plynů sníží i celkovou teplotu na straně sání. Výrazné ochlazení by však vedlo ke kondenzaci vody a jejímu přívodu do válce, proto je často chlazena pouze část spalin, aby se teplota udržela nad teplotou kondenzace. Tento systém je sofistikovanější a nabízí větší variabilitu nasávaného vzduchu a následně ovlivnění spotřeby a emisí. Nevýhodou je nutnost zastavění další větve do motorového prostoru a také relativní nespolehlivost EGR ventilů, způsobená jejich zanášením. [1]



Obrázek 14 Vnější EGR s plyným ochlazením [21]

6 MODELÝ MOTORŮ

V této kapitole je uveden souhrn předních výrobců motorů a příklady konkrétních motorů, které jsou na trhu v Česku. Důraz je kladen na motory splňující emisní stupeň V, pokud takové daná společnost nabízí.

6.1 ZETOR

Firma Zetor aktuálně používá jediný motor, a to ve dvou svých modelech, konkrétně Proxima a Forterra, zatímco nejmenší Major a největší Crystal se spoléhají na motory značky Deutz. Pod logem Zetoru se také v licenci prodávají korejské traktory TYM, které jsou rovněž osazeny motory Deutz.

Motor Zetor je čtyřválcový s šestnácti ventily a je osazen jedním fixním turbodmychadlem. Umí pracovat ve výkonovém rozmezí od 80 do 150 koní. Krouticí moment dosahuje od 334,8 do 607,1 Nm. Zetor se spoléhá na palivovou soustavu s řadovým čerpadlem, což neumožňuje tak vysoké plnicí tlaky jako systém s tlakovým zásobníkem, nicméně čeští menší farmáři to oceňují z důvodu menšího množství elektroniky.

V roce 2019 se u nás tento motor prodával v modelu Forterra v emisním stupni IV a v modelu Proxima v emisním stupni IIIB. Proxima využila možnosti v legislativě, kdy bylo možno traktory určitých rozměrů homologovat s úzkým rozchodem v kategorii T1 s použitím motoru stage IIIB.

Pro snížení emisí používá Zetor DPF, EGR, DOC a ve stupni IV i SCR s AdBlue, ale již ne EGR.

Zetor nabízí své motory i samostatně k prodeji a lze je použít např. jako pohon lanovky v dole.

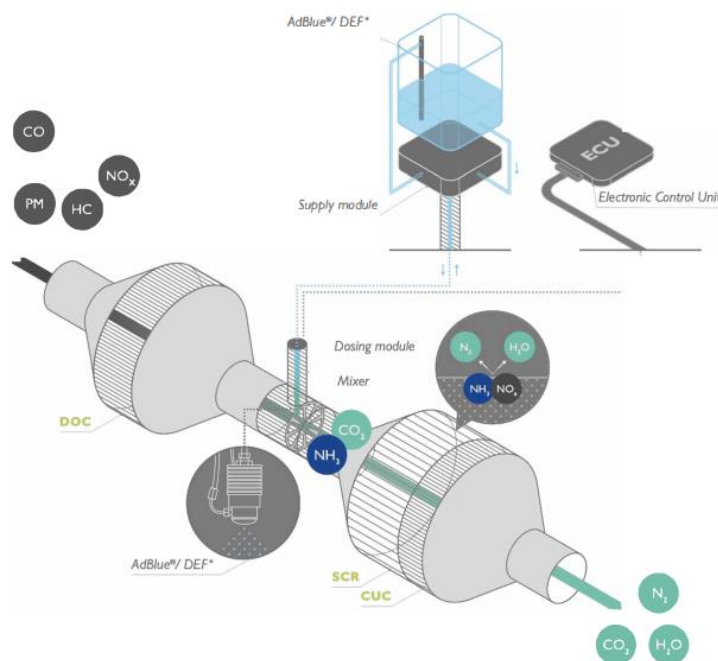


Obrázek 15 Motor Zetor [2]

6.2 FPT INDUSTRIAL

Společnost FPT Industrial je firma specializující se na vývoj motorů a je součástí korporátu CNH Industrial, který vlastní známé značky traktorů Case, Steyer a New Holland. Tito výrobci těží z výhod korporátu a sdílí svou techniku, včetně motorů vyvinutých u FPT. Firma FPT byla první, která představila systém Common rail v osobních automobilech. [13]

Tato společnost vyvinula systém, který dokáže dosáhnout požadovaných hodnot emisí bez použití EGR a DPF, čímž zjednodušuje celý aftertreatment systém a tím i jeho údržbu. Používá tedy pouze SCR a DOC a je pojmenovaný HI-eSCR2.



Obrázek 16 HI-eSCR2 [7]

V nabídce jsou aktuálně 4 řady zemědělských motorů splňujících emisní stupeň V ve výkonovém rozsahu od 53 kW do 670 kW, takže zvládne uspokojit všechny požadavky svých koncernových společností. [14]

Nejslabší motor nese označení F5 a dělí se na 8 konkrétních, čtyřválcových motorů, z nichž 2 splňují úroveň V a jsou to F34 s výkonem 55 kW (při 2200 otáčkách za minutu) a F36 s výkonem 63 kW. F34 má 8 ventilů, F36 16 ventilů. F34 je dostupný buď s fixním turbodmychadlem nebo s Wastegate, F36 pouze s fixním. Tyto motory používá například New Holland T4 nebo Steyer Kompakt Ecotech. [14]

Druhá řada se jmenuje NEF a dělí se na 15 čtyřválcových a 8 šestiválcových motorů. Jeden čtyřválcový motor splňuje normu stage V a to NEF 45, který dosahuje výkonu 89 kW při 2200 otáčkách za minutu. Tento motor má objem 4,5 litru a 16 ventilů. Nabízí se jak s fixním, tak s Wastegate turbodmychadlem. Vstřikování paliva obstarává vysokotlaký Common rail a snižování emisí zajišťuje systém HI-eSCR2. Šestiválcový motor z řady NEF splňující stupeň V je NEF 67. Objem 6,7 litru a VGT turbo dávají výkon 129 kW. Aftertreatment je opět řešen systémem HI-eSCR2 a vstřikovací soustava je opět Common rail. Tento motor pohání New Holland T7. [14]

Další řada má název CURSOR. Společnost FPT označuje tuto řadu jako svou vlajkovou loď mezi nesilničními motory. Jsou to šestiválcové modely dosahující výkonů od 200 do 570 kW. První podskupina nese označení CURSOR 9 (200 kW – 305 kW). Motor má objem 8,7 litrů a palivo je vstřikováno pomocí systému Common rail o tlaku 1800 barů. Jsou osazeny VGT turbodmychadlem. Druhou podskupinou je CURSOR 13 (325 kW – 407 kW) s objemem 12,9 litru. Přepínání zajišťuje buď VGT nebo 2 sériová turbodmychadla. Plnění naftou zajišťuje opět Common rail s tlakem 2200 barů. Největším modelem je CURSOR 16 (480 kW – 570 kW), který byl představen v roce 2014. Motor má objem 15,9 litrů a Wastegate turbodmychadlo. Common rail dosahuje tlaku opět 2200 barů. Všechny CURSOR motory disponují systémem HI-eSCR2. Tuto řadu motorů používají velké traktory jako New Holland T9. [14]



Obrázek 17 FPT CURSOR 16 [14]

Největší motorová řada se jmenuje V20 o výkonu 670 kW. Tento motor je osmiválcový a vymyká se tedy rámci této práce.

Za zmínku stojí, že jejich nový tříválcový motor F28 o objemu 2,8 litrů vyhrál prestižní ocenění Diesel of the Year 2020. [35]

6.3 AGCO POWER

Konkurentem korporátu CNH je společnost AGCO, která sdružuje výrobce traktorů Challenger, Fendt, Massey Ferguson a Valtra. Pro vývoj pohonných jednotek do traktorů dceřiných společností má korporát AGCO svou odnož nazvanou AGCO Power. Tato společnost staví na zkušenostech firmy SISU. Výrobci traktorů spadajících pod AGCO mají rozdílnou strategii. Zatímco Valtra používá AGCO Power motory prakticky ve všech svých modelech, Fendt používá i konkurenční motory MAN (Fendt 1000 Vario) nebo Deutz (Fendt 800 Vario).

Motory společnosti AGCO se spoléhají na „SCR only“ řešení aftertreatmentu. S technologií SCR mají velké zkušenosti a AGCO motor ve Valtře S byl v roce 2008 první v traktoru s SCR. [31] AGCO Power nabízí pro nesilniční vozidla a stroje 9 řad motorů. Dvě nejmenší řady jsou tříválcové (MD33 a HD33) a největší řada je sedmiválcová (HD98). Uprostřed škály AGCO nabízí 3 čtyřválcové a 3 šestiválcové motory. [17]

Následující tabulka shrnuje čtyřválcové a šestiválcové pohonné jednotky AGCO Power.

Tabulka 7 Motory AGCO Power [17]

Název motoru	Počet válců	Objem [l]	Výkon [kW]	Toč. moment [Nm]
MD44	4	4,4	75-96	375-540
HD44	4	4,4	75-110	375-650
HD49	4	4,9	95-148	500-830
HD66	6	6,6	120-185	650-1000
HD74	6	7,4	135-225	750-1200
HD84	6	8,4	200-298	1300-1600

Samozřejmostí je přeplňování turbodmychadlem. Motory MD44 až HD74 jsou přeplňovány jedním turbodmychadlem s elektronicky řízeným obtokovým ventilem a motor HD84 používá dvě sériově zapojená turbodmychadla. Jak již bylo zmíněno, AGCO používá systém SCR only, což znamená, že škodlivé látky ve výfukových plynech redukuje pouze pomocí systému SCR a DOC, tzn. bez EGR a DPF. Palivo je vstřikováno 2000 bary v systému common rail. [31][32][33][34]



Obrázek 18 AGCO Power HD84 [17]

6.4 JOHN DEERE

John Deere těží ze svého dominantního postavení na trhu a zvládá vyvíjet vlastní motory bez sdružení s jinými značkami. Navíc tato firma nevyrábí pouze traktory, ale i například kombajny nebo harvestory, což znamená další uplatnění pro vlastní motory a ve výsledku nižší vývojové náklady na jeden kus. Přesto u největších modelů, kde by měli malé kvantify výroby motorů, používají pohonné jednotky od firmy Cummins, například John Deere 9570R o výkonu 570 koní.

Motory značky John Deere se jmenují PowerTech a nabízí 10 modelů motorů o výkonovém rozsahu 36 kW – 410 kW. Nejmenší je tříválcový motor o objemu 2,9 litru, větší čtyřválec o objemu 4,5 litru existuje ve třech variantách a šestiválcové motory mají objem 6,8 litru až 13,6 litru. S výjimkou tříválce používají všechny traktory systém EGR s chlazením a s výjimkou tříválce a nejslabšího čtyřválce se všechny John Deere spoléhají navíc na DOC + DPF + SCR. Tříválec a nejslabší čtyřválec se obejdou bez močoviny. Všechny motory jsou přeplňované, a to buď wastegate turbodmychadlem, nebo VGT turbodmychadlem anebo sériovým zapojením VGT turbodmychadla s turbodmychadlem s fixní geometrií. Všechny čtyřválcové a šestiválcové jsou plněny vysokotlakým common railem.[22]

Tabulka 8 Motory John Deere [22]

Název motoru	Počet válců	Objem [l]	Výkon [kW]	Přeplňování
PowerTech EWX 2.9L	3	2,9	36–55	WG
PowerTech EWX 4.5L	4	4,5	55	WG
PowerTech PWS 4.5L	4	4,5	74-104	WG
PowerTech PSS 4.5L	4	4,5	93-129	Série
PowerTech PVS 6.8L	6	6,8	104-187	VGT
PowerTech PSS 6.8L	6	6,8	168-224	Série
PowerTech PSS 9.0L	6	9,0	187-317	Série
PowerTech PSS 13.5L	6	13,5	309-448	Série
PowerTech PSS 13.6L	6	13,6	391-510	Série
PowerTech PWS 13.6L	6	13,6	300-410	WG

6.5 DEUTZ

Společnost Deutz AG je nejstarší společností na světě, která se specializuje na výrobu motorů. Byla založena v roce 1864 jako N.A. Otto & Cie. a založil ji tedy průkopník v oblasti motorů s vnitřním spalováním Nicolaus August Otto.

V dnešní době má tato firma v zemědělství silné spojení zejména s korporátem SDF, a tedy dodává motory pro traktory značek Same, Deutz-Fahr, Lamborghini a Hürlimann. Motory této tradiční společnosti ale využívá i mnoho dalších značek, jako například český Zetor (modely Major a Crystal), německý Fendt (Fendt 800) nebo korejská společnost TYM.



Obrázek 19 Deutz TCD 6.1 L6 [23]

Aktuálně má Deutz 10 motorů určených pro zemědělské stroje, z toho jeden tříválec a jeden 8 válec. Ze zbylých 8 motorů jsou 4 čtyřválcové a 4 šestiválcové. Zajímavé je, že nejsilnější šestiválec má uspořádání válců do V, což pro traktory není typické. Všechny motory jsou přeplňované a plní je systém common rail. U některých motorů nabízí možnost použití 2 turbodmychadel místo jednoho (TTCD). Deutz motory používají vnější EGR s chlazením a u motorů splňujících stupeň V navíc přichází systém DPF a u větších motorů i SCR.

Tabulka 9 Motory Deutz [23]

Název motoru	Počet válců	Objem [l]	Výkon [kW]	Emise
TCD 2.2 L3	3	2,2	55,4	DPF, DOC
TCD 2.9 L4	4	2,9	54,4	DOC, EGR *
TCD 2.9 L4 HP	4	2,9	77	DOC, EGR *
TCD 3.6 L4	4	3,6	105	DOC, EGR, SCR
TCD 4.1 L4	4	4,1	120	DPF, DOC, EGR, SCR
TCD 6.1 L6	6	6,1	174	DPF, DOC, EGR, SCR
TTCD 6.1 L6	6	6,1	211	DPF, DOC, EGR, SCR
TTCD 7.8 L6	6	7,8	291	DPF, EGR, SCR
TCD 12.0 V6	V6	12,0	390	DOC, SCR **
TCD 16.0 V8	V8	16,0	520	DOC, SCR **

* motory splňují pouze emisní stupeň IIIB

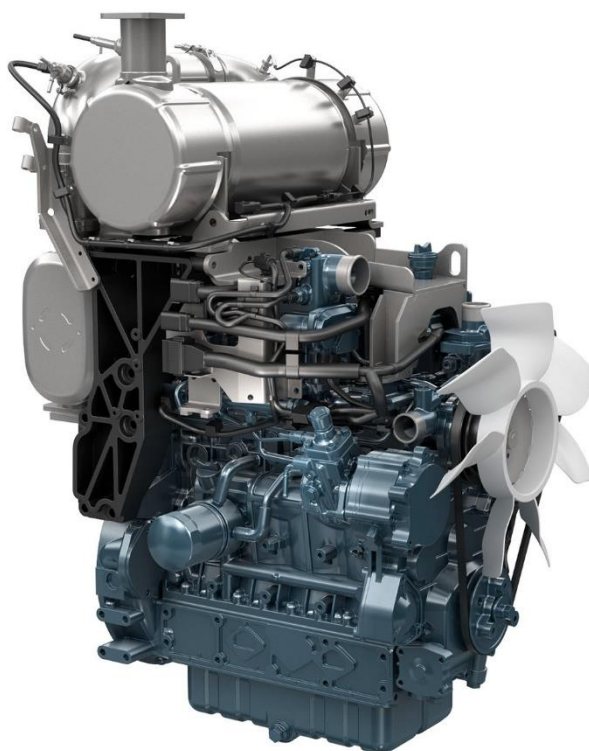
** motory splňují pouze emisní stupeň IV

6.6 KUBOTA

Japonský výrobce traktorů Kubota v Česku v posledních letech výrazně roste a je již pátým nejúspěšnějším výrobcem, viz kapitola 2. K tomuto úspěchu jim dopomohli i jejich motory, které si vyrábí sami a v roce 2016 vyrobili 850 000 motorů a stali se největším výrobcem diesellových motorů do 100 koní na světě. [24]

V jejich nabídce je nyní 19 zemědělských traktorů, které používají 3 různé motory. Tři nejslabší traktory používají motor Kubota V3307-CR-T, se kterým pokrývají výkonové spektrum od 48,4 kW do 54,6 kW. Tento motor má objem 3,3 litru na čtyři válce a je plněn systémem common rail. Snižování škodlivin zajišťuje filtr pevných částic a recirkulace výfukových plynů. Motor je přepínán turbodmychadlem. Tento motor splňuje emisní předpis IIIb. [25][26]

Uprostřed výkonové stupnice je 10 modelů traktorů, které používají motor Kubota V3800-CR-TIEF4, které mají výkon od 54,1 kW v traktoru M5071N do 81,8 kW v traktoru M105GX-IV. Slabší traktory používají dosluhující motor emisní třídy IIIb, ale Kubota už má tento motor i v emisním stupni V. Ten má objem 3,8 litru a maximální výkon až 96,4 kW. Motor je přepínán turbodmychadlem a o emise se starají systémy DOC, DPF a SCR. [24][27]



Obrázek 20 Kubota V3800-CR-TIEF4H [27]

Nejsilnější Kuboty jsou poháněny motory V6108-CR-TIEF4. Tyto traktory se pohybují v rozmezí od 90,8 kW do 129 kW. Jedná se o čtyřválec o objemu 6,1 litrů. Palivo do spalovacího prostoru je přiváděno vysokotlakým systémem common rail a vzduch je stlačován pomocí turbodmychadla. Škodliviny ve výfuku snižují systémy EGR, SCR a DPF. [28]

6.7 MAN

Německá společnost MAN je známá především díky výrobě tahačů, ale motorová divize se zaměřuje i na motory pro zemědělské stroje. V nabídce mají 6 motorových řad.

První řadou je D08. V této řadě je jeden čtyřválcový motor o objemu 4,6 litru a výkonu od 118-162 kW (D0834) a jeden šestiválcový motor o objemu 6,9 litrů a výkonu 184-235 kW (D0836). Oba motory jsou přepínány jedním wastegate turbodmychadlem a využívají systém common rail. Motory v této řadě splňují emisní normu stage V díky systémům DOC, DPF a SCR. [29]

Druhá je řada D15, ve které je pouze motor s označením D1556. Má šest válců, které dávají objem 9 litrů a 205-324 kW. Plnění vzduchem obstarává jedno turbo s variabilní geometrií. Vstřikování paliva a snižování škodlivin je prováděno stejně jako u předchozí řady, tedy common rail resp. DOC, DPF a SCR. [29]

Řada D26 obsahuje opět pouze jeden motor (D2676) a je opět šestiválcový s jedním VGT turbodmychadlem. Objem má 12,4 litrů a výkon 294 kW až 404 kW. Pro splnění emisních limitů na úrovni V je potřeba přidat k oxidačnímu katalyzátoru, filtru pevných částic a selektivní katalytické redukci ještě systém recirkulace výfukových plynů. Tento motor pohání například Fendt 1000 Vario. [29]

Jediný motor řady D38 nese označení D3876. Je to šestiválec o objemu 15,3 litrů s výkonem dosahujícím 415 kW až 485 kW. Přepínání zařizuje jedno VGT turbo a dopravu paliva do spalovacího prostoru obstarává vysokotlaký systém common rail. Omezování škodlivin mají na starost systémy EGR, DOC, DPF a SCR, díky nimž motor splňuje normu stage V. [29] Tento motor získal prestižní ocenění Diesel of the Year v roce 2016.



Obrázek 21 MAN D3876 [29]

V řadě D42 jsou dva prakticky stejné modely mající i stejné označení a to D4276. Je to šestiválcový motor s objemem 16,2 litrů, používající systém common rail. Rozdělují se podle výkonu na model s 450 až 515 kW a model s 581 kW. Silnější model již spadá do málo emisně omezené výkonové kategorie nad 560 kW, a proto si vystačí pouze se systémy EGR a SCR, zatímco slabší motor musí použít ještě i DOC a DPF. Motor D4276 s 581 kW používá k přepínání kompresor s fixní geometrií, slabší model naproti tomu VGT turbodmychadlo. [29]

Nejsilnější řadou je řada D28, ve které jsou motory s uspořádáním válců V8 (D2868) a V12 (D2862). Dvanáctiválec s objemem 24,2 litrů dává výkon až 816 kW, což jsou obrovská čísla i u zemědělských strojů a používá jej například sklízecí řezačka Claas Jaguar 990. Oba tyto motory se již vymykají rámci této práce. [29]



Obrázek 22 Zástavba motoru MAN D2862 v Claasu Jaguar 990 [30][30]

7 ALTERNATIVNÍ POHONY

Výrobci traktorových motorů se v poslední době začínají zaměřovat na hledání alternativ k naftě. Již delší dobu nabízí většina výrobců možnost používat určité procento bionafty, což je výhoda zejména pro zemědělce, kteří jsou si schopni bionaftu vyrábět sami. Nabízí se i další zdroje energie, ať už CNG, LPG nebo samozřejmě elektřina. Všechny paliva mají svá pro a proti. Výhodou motorů na zemní plyn je, že lze vyjít z naftových motorů a pouze je upravit na jiné palivo. V tomto oboru je poměrně daleko společnost FPT, která nabízí motory v řadách F1, NEF a CURSOR, které mohou být poháněny právě CNG, LNG nebo i bio-methanem. Důvodem použití zemního plynu jsou emisní limity a jejich případné budoucí snižování v kombinaci s totožnými momentovými charakteristikami motorů na naftu a na plyn. [36]

Jako protiklad proti plyným palivům stojí elektřina. Zřejmou nevýhodou je výdrž baterií, kterých by muselo být mnoho, což by rapidně navýšilo hmotnost, navíc během nejnáročnějších období roku, kdy jsou traktory v provozu prakticky neustále, by dlouhé čekání na nabíjení mohlo mít zásadní vliv. Na druhou stranu výhodou elektřiny je maximální kroutící moment od nulových otáček. Dalším faktorem je možnost velmi vysoké autonomie, která v zemědělství bude možná mnohem dříve než v silničním provozu. Traktor by pracoval sám na poli a až by to bylo nutné, tak by se zajel sám dobít. Navíc elektrický motor je mnohem jednodušší než motor s vnitřním spalováním, z čehož by vyplývala nižší poruchovost. S konceptem, jak vyřešit problém s nedostatečnou kapacitou baterií přišel John Deere, kdy by traktor byl po celou dobu připojen k externímu zdroji kabelem, viz obrázek.



Obrázek 23 Elektrický autonomní John Deere [37]

ZÁVĚR

Traktorové motory se v dnešní době vyvíjejí zejména v oblasti snižování emisí, kdy v ostatních faktorech jsou si často podobny.

Téměř všichni přední výrobci traktorů nebo jejich motorů používají palivovou soustavu common rail, která má mnoho předností. Jediný, kdo nemá na svých motorech common rail je Zetor, který stále spoléhá na řadové čerpadlo a co nejmenší podíl elektroniky celkově.

Všechny zemědělské motory nad 100 koní jsou přeplňované, a to i pomocí hi-tech turbodmychadel s variabilní geometrií nebo sériového zapojení dvou turbodmychadel.

Jak již bylo zmíněno, největší rozdíl je u řešení emisních limitů. V tomto ohledu jsou nabízeny dva hlavní směry s odlišnou strategií. První variantou je používání systémů, založených pouze na SCR a DOC, kdy výrobci argumentují nižším počtem komponent a poukazují na poruchovost EGR ventilu a DPF filtru s nutnými regeneracemi. Absence DPF filtru však nutí výrobce spalovat za vyšších teplot, což zvyšuje produkci NO_x a je nutná vyšší spotřeba AdBlue. Typicky tento směr prosazují AGCO Power a FPT Industrial. Druhá strana používá i filtr pevných částic, případně EGR a zejména firma Deutz argumentuje, že díky filtru pevných částic mohou dosahovat nižší spotřeby a lepších momentových křivek (mohou nastavovat vstřiky a teplotu dle aktuální potřeby) ve srovnání s SCR only systémy. [38] Dalším typickým zástupcem této varianty je John Deere.

S vyšší úrovní autonomie a kvůli omezeným zásobám ropy na světě bude do budoucna nejsilnějším proudem pravděpodobně elektrifikace traktorů a jejich následné ovládání na dálku z kanceláře.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] BAUER, František a kolektiv. *Traktory a jejich využití*. 2. vydání. Praha: Profi Press s.r.o, 2013. 224 s. ISBN 978-80-86726-52-6.
- [2] Zetor Proxima – Zetor Tractors a.s. [online] [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.zetor.cz/assets/frontend/img/pages/proxima/zetor-proxima-motor-2.1.jpg>
- [3] Registrace nových T v ČR za rok 1-12/2019 – SDA [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <http://portal.sda-cia.cz/stat.php?n#rok=2019&mesic=12&kat=T&vyb=trakt&upr=&obd=r&jine=false&lang=CZ&str=nova>
- [4] Statistika II. pol./2019 (k 1.1.2020) – Ministerstvo dopravy ČR [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel/Statistika>
- [5] Traktor John Deere 6195M – John Deere [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: https://www.deere.cz/assets/images/region-2/products/tractors/mid/6m-series/6195M_r2d004445_large_631e2097fa11cf43ce6850ef99fca4670a54d060.png
- [6] History – FPT Industrial [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.fptindustrial.com/global/en/media/company/history>
- [7] Prospekt traktoru New Holland T7 – eagrotec.cz [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.eagrotec.cz/getattachment/c2b4b7d9-1a67-4d59-b62f-d91510e4d00f/Prospekt-traktoru-T7-SWB.aspx>
- [8] Zetor Proxima – Zetor Tractors a.s. [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.zetor.cz/zetor-proxima-technicke-parametry#obsah>
- [9] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily: Příslušenství*. 2., aktualiz. vyd. Brno: Avid, 2008. ISBN 978-80-87143-08-7.
- [10] STANĚK, L. *Regulace turbodmychadel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 68 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Vančura.
- [11] OPTUM CVX HI-eSCR (250 - 313 koní) – agrics.cz [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: https://www.agrics.cz/obrazky-soubory/case_optum_300_cvx_studio_wels_austria_1506_000111_2500_1916-a39b1.jpghttps://lh3.googleusercontent.com/proxy/KaGtf4wSfzm2lOPy49tQhkApcFRjrETcsfhgZt7oeMFwYjByROT1roou5WGujkhFtEDuBxQgVjzI9rxzJnsqt0cxoFVXs17k44_3sy4jJaP4LbkBbBfc
- [12] Wastegate turbocharger – Fast car [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.fastcar.co.uk/wp-content/uploads/2018/05/fast-car-external-wastegate-guides-tips-advice-00.jpg>
- [13] Target Zero: Fiat's engine innovation explored – WIRED [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.wired.co.uk/article/target-zero-fiats-engine-innovation-explored>

- [14] Motor CURSOR 16 – FPT Industrial [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.fptindustrial.com/global/en/engines/agriculture/cursor16>
- [15] Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 97/68/ES ze dne 16. prosince 1997 o sbližování právních předpisů členských států týkajících se opatření proti emisím plyných znečišťujících látek a znečišťujících částic ze spalovacích motorů určených pro nesilniční pojízdné stroje [online]. 2016 [cit. 2020-06-17]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:01997L0068-20161006&qid=1478707127115&from=CS>
- [16] Úřední věstník Evropské unie L 252/53 [online] 2016 [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R1628&from=cs>
- [17] Engines for off-road applications – AGCO Power [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.agcopower.com/products/engines/off-road-applications/>
- [18] Traktor Agrottron 9 TTV – deutzfahr.cz [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.deutzfahr.cz/traktory/rada-9-ttv/agrotron-9-ttv/>
- [19] John Deere – Be green...in more ways than one – pitchcare.com [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://d2j31icv6dlhz6.cloudfront.net/G/ToB5RKphM7ya9dFrLGHa/4066R-compact-tractor-DPF-engine.jpg>
- [20] Gscheidle, R. a kol. (2001): Příručka pro automechanika. SOBOTÁLES, Praha, 629 str., ISBN: 80-85920-76-X.
- [21] EGR ventil – jeho funkce a působení na motor – autodilyhulin.cz [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://blog.autodilyhulin.cz/egr-ventil/>
- [22] Motory John Deere Stage V – Deere.com [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.deere.com/en/engines-and-drivetrain/stage-v/>
- [23] Motory Deutz – deutz.com [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.deutz.com/en/products/engines/>
- [24] Kubota – Kubota.cz [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.kubota.cz/>
- [25] Traktor Kubota M4072 – Kubota.cz [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.kubota.cz/zemedelsky-traktor-Kubota-M4072Cab>
- [26] Motor V3307-CR-T-E4B – Kubota Engine Division [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://global.engine.kubota.co.jp/en/products/detail/71/>
- [27] Motor V3800-CR-TIEF4H – Kubota Engine Division [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://global.engine.kubota.co.jp/en/products/detail/223/>
- [28] Traktor Kubota M7172 – Kubota.cz [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.kubota.cz/zemedelsky-traktor-Kubota-M7172>

- [29] OFF-ROAD Diesel engines for agricultural machinery – MAN.eu [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: https://www.engines.man.eu/man/media/content_medien/doc/global_engines/off_road/Off_Road_Agrar_EN_191009_web.pdf
- [30] Řezačka Claas Jaguar 990 – Claas.cz [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.claas.cz/cl-pw-en/products/forage-harvesters/jaguar990-930/motor-fahrwerk#>
- [31] Prospekt traktoru Valtra S – Valtra.cz [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.valtra.cz/content/dam/Brands/Valtra/en/Products/Brochures/valtra-s-series-ENG-2017-brochure.pdf>
- [32] Prospekt traktoru Valtra A – Valtra.cz [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.valtra.cz/content/dam/Brands/Valtra/en/Products/Brochures/valtra-a-series-ENG-2017-low-brochure.pdf>
- [33] Prospekt traktoru Valtra N – Valtra.cz [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.valtra.cz/content/dam/Brands/Valtra/en/Products/Brochures/valtra-n-series-ENG-2017-low-brochure.pdf>
- [34] Prospekt traktoru Valtra T – Valtra.cz [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.valtra.cz/content/dam/Brands/Valtra/en/Products/Brochures/valtra-t-series-ENG-2017-brochure.pdf>
- [35] FPT F28 awarded Diesel of the year 2020 – Diesel-international.com [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.diesel-international.com/alternatives/fpt-f28-awarded-diesel-of-the-year-2020/>
- [36] Alternative fuels – fptindustrial.com [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.fptindustrial.com/global/en/technologies/alternative-fuels>
- [37] Traktor na elektřinu, který místo baterie za sebou táhne napájecí kabel. Vážně existuje a funguje – agroportal24h.cz [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.agroportal24h.cz/clanky/traktor-na-elektrinu-ktery-misto-baterie-za-sebou-tahne-napajeci-kabel-vazne-existuje-a-funguje>
- [38] Diesel particulate filter (DPF) – deutz.com [online] [cit 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.deutz.com/en/service/emission-management/eat-technology/dpf/>