



Trendy vývoje parametrů a provedení spalovacích motorů pro osobní automobily

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství

Autor práce: **Matěj Filip**
Vedoucí práce: doc. Ing. Josef Laurin, CSc.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechanical Engineering ■

Development trends of parameters and performance of internal combustion engines for passenger cars

Bachelor thesis

Study programme: B2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301R000 – Mechanical Engineering

Author: **Matěj Filip**
Supervisor: doc. Ing. Josef Laurin, CSc.



Tento list nahradte
originálem zadání.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Anotace

Tato bakalářská práce s názvem „Trendy vývoje parametrů a provedení spalovacích motorů pro osobní automobily“ obsahuje konstrukční vývoj vznětových motorů osobních vozidel v období 2000 až 2015. Cílem této práce je vytvořit katalog vznětových motorů osobních vozidel v již zmíněném období využitelný pro studijní a vědecké účely. Dalším cílem je parametry vyhodnotit v závislosti na čase, neboli vytvořit trendy vývoje parametrů a provedení motorů.

Klíčová slova

vznětový motor, konstrukce motoru, katalog, databáze, vývojové trendy, příslušenství motoru, downsizing

Annotation

This bachelor thesis with name „Development trends of parameters and performance of internal combustion engines for passenger cars“ is about structural emergence of diesel engines for passenger car since 15 years. The objective this thesis is creating the catalog about diesel engines for passenger car for this period. This thesis will be exploitable for study and science function. Next objective is evaluate this parameters according the time or creating trends of parametres and performance of engines.

Key words

diesel engine, engine design, catalog, database, development trends, engine accessories, downsizing

Poděkování

Velice rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Josefovi Laurinovi CSc., za odborné konzultace a rady. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Jaroslavě Chlupáčové Filipové za jazykovou korekci. V neposlední řadě bych poděkoval mým rodičům a přítelkyni za podporu.

Obsah

Úvod.....	11
1 Historie a vývoj vznětových spalovacích motorů	12
2 Downsizing	14
2.1 Definice	14
2.2 Konstrukční úpravy	15
2.3 Vliv na životní prostředí.....	16
3 Vznětový motor.....	17
3.1 Popis vznětového motoru	17
3.2 Systémy vstřikování nafty	19
3.2.1 Řadové čerpadlo	20
3.2.2 Rotační vstřikovací čerpadlo s rozdělovačem paliva	21
3.2.4 Sdružené vstřikovací jednotky	23
3.2.5 Systém s tlakovým zásobníkem Common Rail	25
3.3. Přepřehování	28
3.3.1 Kompresor	29
3.3.2 Turbodmychadlo	30
3.4 Výfukový systém.....	33
3.4.1 EGR ventil.....	33
3.4.2 Katalyzátor	34
3.4.3 Filtr pevných částic	35
3.4.4 Selektivní katalytická redukce.....	36
3.4.5 Výfukový systém současnosti/budoucnosti u vznětového motoru.....	36
4 Pojmy	37
4.1 Zdvihový objem	37
4.2 Točivý moment	38
4.3 Efektivní výkon.....	38
4.4 Střední efektivní tlak	38
4.5 Emisní norma Euro.....	39

4.6	Spotřeba paliva	39
4.7	Emise CO ₂	40
4.8	Měrný efektivní výkon	40
4.8	Měrný točivý moment	40
5	Databáze vznětových motorů osobních vozidel	40
5.1	Parametry použité v databázi	40
5.2	Zadávací formulář nového motoru	44
5.3	Databáze	45
6	Výkonové trendy	45
6.1	Měrný výkon	47
6.2	Měrný točivý moment	48
6.3	Měrná spotřeba paliva na tunu vozidla	49
6.4	Zdvihový objem motoru	50
6.5	Kompresní poměr	51
6.6	Filtr pevných částic	52
6.7	Selektivní katalytická redukce	53
6.8	Přepřehování	54
6.9	Konstrukce vstřikování	55
	Závěr	56
	Zdroje	57
	Seznam grafů	60
	Seznam tabulek	60
	Seznam obrázků	61
	Seznam příloh	62

Seznam zkratek

OHC	Overhead Camshaft, ventilový rozvod s jedním vačkovým hřídelem v hlavě válců
DOHC	Double Overhead Camshaft, ventilový rozvod 2xOHC se dvěma vačkovými hřídeli v hlavě válců
PDE	Pumpe Düse Einheit, sdružený vstřikovač, typ vstřikovacího systému
UIS	unit injector system, sdružený vstřikovač, typ vstřikovacího systému
Common Rail	vstřikovací systém s tlakovým zásobníkem
HADI	hydraulically amplified diesel injector, speciální typ vstřikovače systému s tlakovým zásobníkem
EGR	zařízení pro recirkulaci výfukových plynů
DPF	diesel particular filter, filtr pevných částic
FAP	filtr pevných částic
SCR	selektivní katalytická redukce
BiTurbo	speciální druh přeplňování, dvě turbodmychadla řazená sériově
TriTurbo	speciální druh přeplňování, tři turbodmychadla v sériově-paralelním zapojení

Seznam symbolů a jednotek

V	(m^3)	zdvihový objem
d	(m)	průměr válce
Z	(m)	zdvih pístu (vzdálenost mezi horní a dolní úvratí)
n_v	$(-)$	počet válců
V_{vt}	$\left(\frac{dm^3}{100km \cdot 1000kg}\right)$	měrná tunová spotřeba
V_v	$\left(\frac{dm^3}{100km}\right)$	spotřeba vozidla
m_v	(kg)	hmotnost vozidla
ω	$(rad \cdot s^{-1})$	úhlová rychlost
P	(W)	výkon
M	(Nm)	točivý moment
W	(J)	práce
t	(s)	čas
p_e	(Pa)	střední efektivní tlak
n_j	(s^{-1})	jmenovité otáčky
P_m	$\left(\frac{kW}{dm^3}\right)$	měrný efektivní výkon
M_m	$\left(\frac{Nm}{dm^3}\right)$	měrný točivý moment

Úvod

Vznětové motory mají vyšší účinnost, a tedy nižší měrnou spotřebu paliva než motory zážehové. Z tohoto důvodu jsou používány k pohonu automobilů stále častěji. Dochází k rozšíření použití vznětových motorů jako pohonných jednotek i pro osobní automobily.

Od konce osmdesátých let minulého století byl vývoj motorů ovlivňován zejména zpřísněním předpisů na ochranu životního prostředí a požadavky zákazníků na výkon a spotřebu paliva. Konstrukční začali používat výrobně jednodušší prvky, zdokonalily se konstrukční materiály a zvýšila se přesnost výroby. Uplatňovat se začal takzvaný „downsizing“ charakterizovaný snižováním rozměrů a počtu válců motoru při zachování výkonových parametrů a uživatelského komfortu.

Cílem této práce je vytvořit katalog vznětových motorů osobních vozidel vyvinutých za posledních 15 let nejvýznamnějšími automobilkami. Katalog bude obsahovat vybrané konstrukční a provozní parametry motorů. Dalším cílem je parametry vyhodnotit v závislosti na čase, neboli stanovit trendy vývoje parametrů a provedení motorů. Výsledkem by měla být soustava grafů ukazujících uplatnění „downsizingu“ u vznětových automobilových motorů a odhad trendu vývoje parametrů budoucích motorů.

V bakalářské práci seznámím čtenáře s konstrukčním řešením automobilových vznětových motorů a jejich příslušenství v období posledních 15 let. Vysvětlím možnosti použití katalogu včetně vyhodnocení dat a zápisu parametrů dalších motorů.

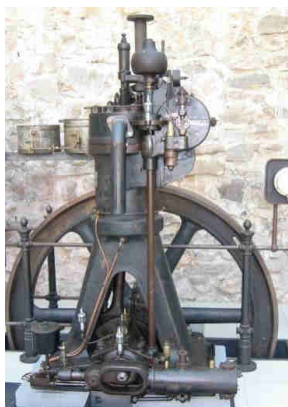
Hlavními zdroji informací pro bakalářskou práci jsou katalogy vozidel na webových stránkách, další internetové stránky, odborné knihy a časopisy.

1 Historie a vývoj vznětových spalovacích motorů

Nejprve bych se v přehledu zmínil o historii a vývoji vznětových spalovacích motorů.

Prvním méně známým vynálezcem byl Angličan Herber Akroyd Stuart (1864 - 1927), který v roce 1885 nedopatřením vylil petrolej do rozžhaveného cínového hrnce, kde se petrolej vznítil. Tímto nedopatřením se mu vnučila myšlenka používat oleje jako palivo v pístových spalovacích motorech. Vyrobil prototyp, který nešel nastartovat za studena, v důsledku nízkému kompresnímu poměru. V roce 1891 Richard Hornsby a synové vylepšili tento motor o vstřikovací systém, kde se petrolej pod tlakem nastříkával na rozžhavanou destičku, která byla umístěna v hlavě válce. Těmto strojům se říkalo „semi-diesel“. Dalším nejvýznamnějším průkopníkem vznětových motorů byl Rudolf Diesel (1858 - 1913), který v roce 1892 získal patent, kde fyzikálně popisuje termodynamické oběhy vznětového motoru. Později sestrojil motor, který pracoval pouze s pomocí jiného stroje, jeho konstrukce se vstřikováním paliva do válce pomocí stlačeného vzduchu byla příliš komplikovaná. Rudolf Diesel stále zkoušel zvyšovat kompresní poměr a měnit dávku a tlak vstřikovaného paliva. Na pokraji ekonomického bankrotu se mu v roce 1893 podařilo motor dát do chodu bez pomoci jiného stroje. Byl to jednoválcový čtyřdobý vznětový spalovací motor o výkonu 17,7 kW, zdvihovém objemu 19,6 l a měrné spotřebě 317 g/kWh. Další tři roky strávil úpravami motoru a v roce 1896 sestrojil další stroj s vysokou teoretickou účinností, na rozdíl od parního stroje, který má teoretickou účinnost 10%. V roce 1898 se stal milionářem a získal mnoho zakázek od lodních a průmyslových společností. V roce 1905 byl společností Creux vyroben motor, který byl přeplňován a měl chladič stlačeného vzduchu. V roce 1910 Angličan James Kechnie vynalezl přímý vstřik paliva do válce pomocí vstřikovacího čerpadla. Vznětové motory se začaly používat i v nákladních vozidlech, bohužel v osobních nikoliv, protože zážehové motory měly lepší dynamiku, téměř žádnou kouřivost, byly lehčí a tišší. Prvním, kdo v roce 1933 použil vznětový motor v osobním vozidle, byl Citroen model Rosalie a tři roky poté Mercedes - Benz 260D. V Německu byl v letech 1934 – 1935 dvoudobý vznětový motor Jumo 205 od Junkers Motorenwerke nainstalován do vojenských vozidel, zejména do tanků a letadel. Jeho výhodou byla nafta, která při zásahu nádrže neexplodovala a bezpečně se převážela, dále vysoký točivý moment a nízká měrná spotřeba. V Sovětském svazu roku 1937 se začal vyrábět vznětový motor Kharkiv model V - 2, který byl později použit v tancích T-34. Roku 1942 Tatra vyrobila vznětový dvanáctiválcový vzduchem chlazený motor. V roce 1943 - 1946 Cliesie Cummins vynalezl a patentoval common - rail vstřikování, bohužel praktické zkoušky měly špatné výsledky. V 50. letech Mercedes - Benz, Volvo, Scania a Cumins začali osazovat motory turbodmychadly. Společnost Daimler Benz poprvé použila rozvod OHC u vznětového motoru. V 60. letech francouzská automobilka Peugeot začala se sériovou výrobou osobních automobilů se zkrácenou přední koncepcí i vznětovým motorem. V roce 1976 byl vyroben Volkswagen Golf se vznětovým motorem. Dva roky poté Mercedes - Benz začíná prodávat model 300 SD s přeplňovaným vznětovým motorem. V roce 1986 automobilka BMW použila první elektronicky řízené vstřikovací čerpadlo firmy BOSCH u modelu 524td. Ve stejném roce automobilka Fiat použila

přímý vstřík do válce s přeplňováním pomocí turbodmychadla u modelu Croma. Automobilka Audi v roce 1989 skloubila elektronicky řízené čerpadlo, turbodmychadlo a přímý vstřík do válce u modelu 100. Sdružené vstříkovací jednotky (čerpadlo-tryska) byly vyvíjeny v 80. letech, ale prvně byly použity roku 1993 u nákladních vozidel značky Volvo, později hojně používány v koncernu VW. V následujícím roce byl ve vznětovém motoru použit rozvod DOHC se čtyřmi ventily na válec od automobilky Mercedes - Benz. První common rail systém v sériové výrobě nákladních vozidel byl roku 1995 od japonské firmy Denso. První common rail systém v osobních vozidlech byl použit v roce 1997 ve vozidle Alfa Romeo 156. V roce 1998 Mercedes - Benz vyvinul 3 válcový vznětový motor o nízkém zdvihovém objemu a hmotnosti se vstříkovacím systémem common rail. Byl použit ve vozidle Smart City Coupé. Kolem roku 2000 se do vozidel instalují ventily zpětného vedení spalin. V roce 2004 je v Evropě více než 50% osobních vozidel se vznětovým motorem. Mercedes - Benz instaluje do vozů pro snížení emisí katalytický reaktor. Do ostatních vozidel se začínají instalovat filtry pevných částic. Firma BOSCH vyvinula piezoelektrický vstříkovač do systémů common rail. O dva roky později automobilka AUDI vyrobila závodní speciál R10 TDI, který porazil všechna konkurenční vozidla v dané třídě, dokonce i v závodě 24 hodinový LeMans, kde vynikal díky nízké spotřebě paliva a vysokému výkonu. V této době začínají být přísnější nároky na snížení emisí ve výfukových plynech. Common rail se začíná prosazovat ve všech vznětových motorech, díky své jednoduchosti. Další předností je vícestupňová dávka paliva při vstříkování, nezanedbatelná je i nízká měrná spotřeba paliva a dobré řízení škodlivin ve výfukových plynech. Bohužel je náchylný na kvalitu nafty. Okolo roku 2010 jsou všechna vozidla se vznětovým motorem osazena systémem common rail. Začínají se snižovat zdvihové objemy a zvyšovat přeplňovací tlaky. Vzniká nový trend - „downsizing“. Mitsubishi vyvinula čtyřválcový motor 4N13 o zdvihovém objemu 1,8 l s variabilním časováním ventilů. Další rok firma Piaggio spustila výrobu dvouválcových přeplňovaných motorů s velmi nízkým zdvihovým objemem se systémem common rail. Tyto motory se používají v malých užitkových vozidlech. V posledních letech se optimalizuje vstříkování common rail, zejména vstříkovací tlak nafty. Snižuje se zdvihový objem a hmotnost motoru. Dále se zvyšují přeplňovací tlaky vzduchu do válce, což má za následek vývoj přeplňovacích systémů. Vše je s ohledem na stále větší nároky na ochranu životního prostředí.



Obrázek 1: Dieselův motor [27]



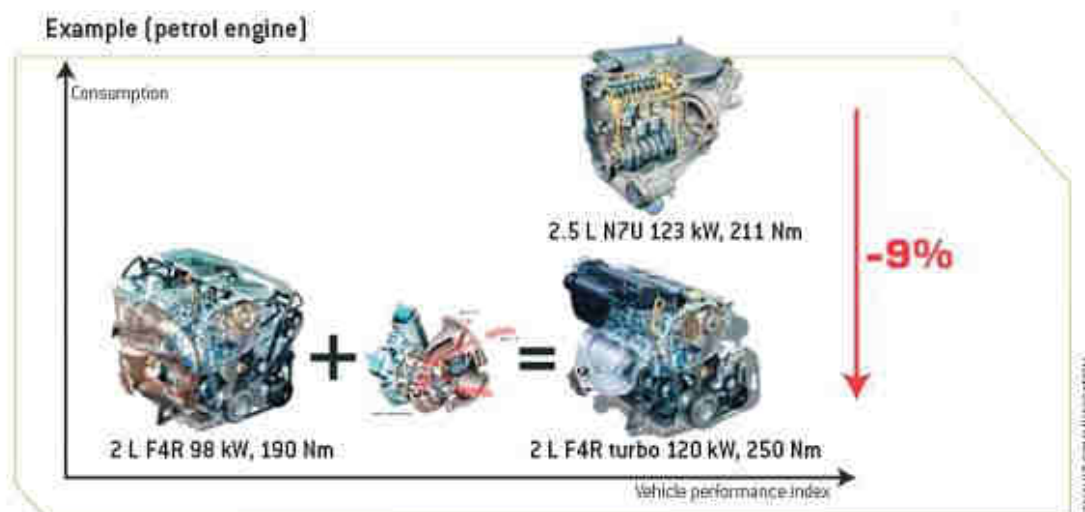
Obrázek 2: Rudolf Diesel [27]

2 Downsizing

Toto téma má osvětlit současnou situaci konstrukce pístových spalovacích motorů a dopad ekologizace. V počátcích vozidlových motorů začátkem 20. století byla prioritou zejména spolehlivost a přiměřený výkon motoru. V dnešní době je tento výkon velice podprůměrný. Provozovatelův požadavek byl jednoduchý, aby například vozidlo zdolalo stoupání, či uvezlo náklad. Koncem 40. let 20. století začal být výžadován výkon a komfort, kterým rostl zdvihový objem a počet válců. Zvětšování zdvihového objemu se objevovalo zejména na americkém kontinentu a v Austrálii. V Evropě a Asii byl zdvihový objem přiměřený, ale také se mírně zvětšoval, zvyšování výkonu nebylo tak výrazné. Zaměřovalo se zejména na hospodárnost vozidla a později i na ekologii. Tím vznikaly různé konstrukční změny motoru, zejména v Evropě. V 60. letech na americkém kontinentu stále rostl zdvihový objem, tím i spotřeba paliva. Později se v Evropě růst zdvihového objemu pozastavil, nebo se začal dokonce snižovat. Hlavní prioritou se stala ekologie, s čím souvisí energie na výrobu a likvidaci vozidla, spotřeba pohonných hmot, složení výfukových plynů a v neposlední řadě výkon motoru. V posledních letech jsou stále přísnější emisní normy výfukových spalin, zejména v Evropě. Cílem dnešní doby je spotřebovat co nejméně paliva a exhalovat čisté výfukové spaliny. Downsizing se dotkl hlavně Evropy a to díky ekologickým normám.

2.1 Definice

Downsizing je moderní trend u vozidlových motorů, kde se zejména snižuje zdvihový objem, počet válců a další konstrukční změny při zachování, či zvýšení výkonu motoru. Cílem tohoto trendu je zefektivnění spalovacího procesu, snížení hmotnosti vozidla, zmenšení rotujících a odporových sil motoru, což vede ke snížení spotřeby paliva a emisí.



Obrázek 3: Vývoj downsizingu [20]

2.2 Konstrukční úpravy

Abychom vůbec mohli snižovat důležité parametry motoru, jako je zdvihový objem, či počet válců, při zachování výkonu, musíme si říci, jaké jsou možnosti řešení.

A. Přepřňování

Nejčastějším moderním řešením je přepřňování. Na motor se většinou instaluje turbodmychadlo a mezichladič stlačeného vzduchu. Do válce se dostane více vzduchu, tím se může zvýšit dávka paliva na cyklus a motor vykoná více práce. Vznětový motor nemá škrticí klapku a pracuje s přebytkem vzduchu, množství dopraveného vzduchu je teoreticky neomezené. Z pohledu spalování se snažíme tlak mít co nejvyšší. Před deseti lety byly přepřňovací tlaky v průměru kolem 150 kPa, dnes dosahují i 350 kPa. Omezení přepřňovacího tlaku je pouze v únosnosti materiálů součástí motoru a konstrukčním řešením turbodmychadla. Nyní se využívají moderní materiály a technologie. Musí se skloubit nízká hmotnost, vysoká tuhost a pevnost součástí motoru.

B. Dokonalé vyhoření paliva

Dalším oblíbeným konstrukčním řešením je zlepšování účinnosti hoření paliva ve válci. Jsou odlišné konstrukce, ale nejznámější je elektronicky řízené vstřikování. Nejvíce rozšířený je systém common rail, který vstřikuje naftu ve více dávkách v jednom cyklu. Tím se zajistí téměř dokonalé spálení paliva a nedochází ke kouřivosti motoru. Důležitý je tlak vstřikovaného paliva. Opět se snažíme, aby tlak byl co nejvyšší. Důvodem je dokonalé rozprášení paliva. Před 20 lety byly vstřikovací tlaky kolem 140 až 180 MPa. Dnešní motory se systémem common rail vstřikují palivo pod tlakem až 270MPa.

C. Změna otáček

U této varianty je to velmi proměnlivé, někteří výrobci vznětových motorů volí cestu zvyšování maximálních otáček až k 5000 ot/min. Musí se počítat s tím, že pohyblivé části motoru, zejména píst, musí mít nižší hmotnost. Výhodou této varianty je efektivní výkon, při relativně malém přepřňovacím tlaku a kultivovaný průběh výkonu. Nevýhodou je vyšší měrná spotřeba, nižší točivý moment a hlučnost. Druhou variantou je zvolení rozsahu efektivních otáček od 3500 do 4100 ot/min. V závislosti na nižších otáčkách se musí zvýšit přepřňovací tlak, tím se musí nadimenzovat pohyblivé součásti motoru na větší namáhání. Výhodou je nižší spotřeba a vysoký točivý moment. V dnešní době se výrobci snaží skloubit obě dvě varianty. Vysoký přepřňovací tlak, nízká hmotnost pístu a vysoké otáčky.

V současnosti se již vyrábějí motory, které splňují všechny tři parametry, které se ještě dále vylepšují.

2.3 Vliv na životní prostředí

Důležitým tématem dnešní doby je životní prostředí. U vozidel musíme počítat s jeho výrobou, provozem, údržbou a likvidací, které zasahují relativně značně do negativního vlivu na životní prostředí. U moderních vozidel je důležité, aby vliv byl co nejnižší. Výrobce musí už při konstruování vzít v úvahu, zda použité materiály ve vozidle jsou recyklovatelné nebo při výrobě nezávadné. Dále se musí zajistit, aby vozidlo během provozu neprodukovalo zdravotně závadné látky. V Evropské unii jsou ekologické normy pro silniční motorová vozidla, podle kterých se výrobci musí řídit.

Škodlivé látky, které emituje vznětový motor.

- **Oxid uhličitý CO₂**

Nemá vliv na lidské zdraví. Spálením jednoho litru nafty vznikne 2,7kg CO₂. Je hlavním skleníkovým plynem. 11% CO₂ z celkové produkce způsobené lidmi je emitováno ze silniční dopravy.

- **Oxidy dusíku NO, NO₂**

Reakcí s oxidy síry vznikají kyselá deště. Mají negativní vliv na odolnost člověka vůči virovým onemocněním, bronchitidě a zápalu plic.

- **Oxid uhelnatý CO**

Má vliv na živé organismy. Váže se na hemoglobin, při vyšší koncentraci způsobuje smrt, za nízké koncentrace zpomalování reflexů, odkysličování krve a bolesti hlavy. Vzniká nedokonalým spálením paliva, zejména při startu motoru.

- **Uhlovodíky**

U vznětových motorů vznikají zejména těžké uhlovodíky. Většina z nich je karcinogenní, způsobují ospalost, podráždění očí a kašel.

- **Oxid siřičitý SO₂**

Emitované množství závisí na obsahu síry v palivu. Dnes jsou velmi přísné normy na obsah síry v palivu.

- **Pevné částice**

Největší problém vznětových motorů. Jejich velikost je cca $0,2 - 0,5 \cdot 10^{-3}$ mm. Jde o různorodou směs organických a anorganických látek, jako je například uhlík, nespálený olej, sírany, uhlovodíky, nespálené palivo a ostatní. Jsou potenciálně karcinogenní.

3 Vznětový motor

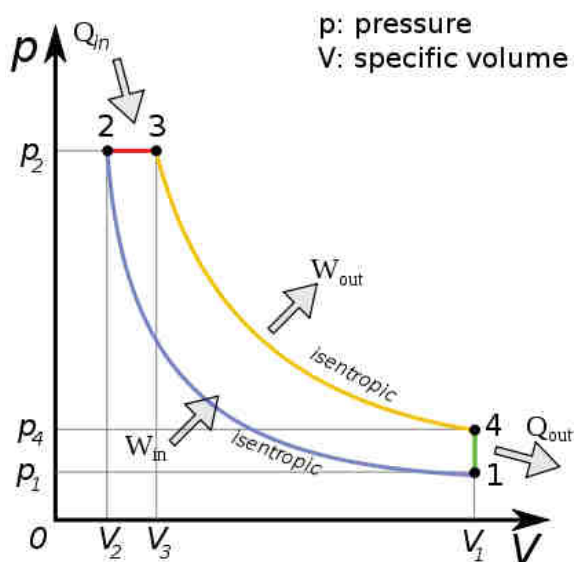
3.1 Popis vznětového motoru

Vznětový motor je stroj, kde se chemická energie paliva mění v mechanickou ve formě otáčivého pohybu klikové hřídele.

Vznětový motor u silničních vozidel pracuje se čtyřdobým cyklem. U velkých lodních a stacionárních motorů se využívá dvoudobý cyklus. Palivo se většinou dopravuje vysokotlakým potrubím. Vzduch a palivo jsou oddělené. Směs se tvoří přímo ve válci.

Čtyřdobý cyklus pracuje následujícím způsobem. Do spalovacího prostoru se nasává vzduch, píst se pohybuje z horní úvrati do dolní, poté se uzavře sací ventil. V objemu válce je čerstvý vzduch, který se začne stlačovat. Píst se pohybuje z dolní do horní úvrati. Stlačený vzduch se ohřeje na teplotu 550 až 800 stupňů Celsia. Těsně před horní úvrati se do zahřátého vzduchu vstříkne přesně odměřená dávka paliva, která se ihned vznítí. Palivo je vstříknuto tryskou, která má za úkol ho dokonale rozpráší. Čím lépe se rozpráší, tím je spalování efektivnější. Píst se pohybuje z horní do dolní úvrati. Ve válci hoří palivo a vzniká tlaková energie, která je převedena na mechanickou práci. Píst se dostane do dolní úvrati a otevře se výfukový ventil. Dále se pohybuje do horní úvrati a vytlačí spaliny ze spalovacího prostoru. Výfukový ventil se uzavírá a otevírá se sací ventil. Konec cyklu.

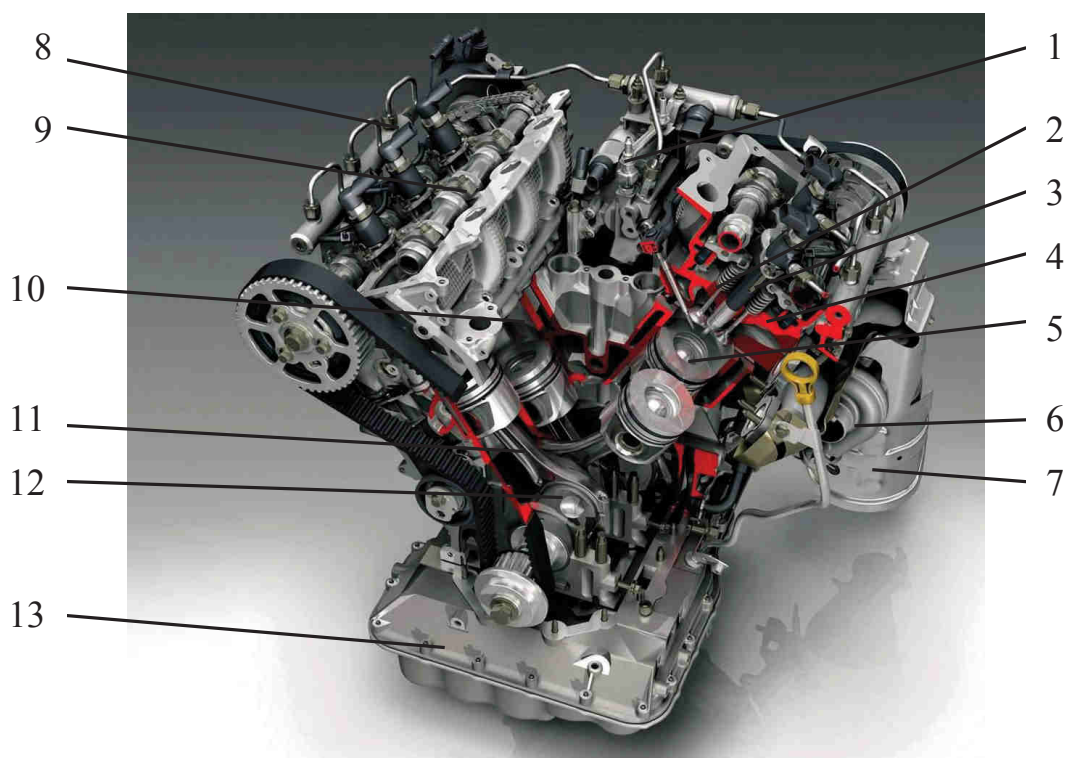
Z termodynamického pohledu můžeme tento cyklus idealizovat na Dieselův cyklus (Graf 1). Platí pouze pro atmosférické motory.



1 - 2	Adiabatická komprese - stlačování vzduchu
2 - 3	Izobarická expanze - vznícení paliva, vzniká teplo Q_{in}
3 - 4	Adiabatická expanze - hoření paliva
4 - 1	Izochorická expanze - výměna spalin za čerstvý vzduch

Graf 1: Dieselův cyklus [8]

Z konstrukčního hlediska lze vznětový motor rozdělit na základní součásti.



Obrázek 4: Motor s pozicemi [13]

1 – vstřikovací čerpadlo, 2 – ventil, 3 – vstřikovač, 4 – blok motoru, 5 – píst, 6 – turbodmychadlo, 7 – výfukový systém, 8 – vysokotlaký zásobník vstřikovacího systému, 9 – vačková hřídel, 10 – válec, 11 – ojnice, 12 – kliková hřídel, 13 – olejová vana

Vznětový motor je pístový stroj, který se skládá z bloku motoru, ve kterém jsou válce. Ve válci se pohybuje píst, který v něm koná axiální pohyb. Píst je pomocí pístního čepu připojen k ojnici. Ta je smontována s klikovou hřídelí a jako celek převádí z posuvného pohybu pohyb rotační.

Na spodní stranu bloku motoru je namontována olejová vana, která slouží jako zásobník mazacího oleje a slouží zároveň jako chladič oleje.

Na horní stranu bloku motoru je umístěna hlava motoru, ve které je umístěna v případě rozvodu DOHC či OHC vačková hřídel. Vačková hřídel je většinou poháněna řemenem. V hlavě motoru jsou umístěny sací a výfukové ventily. Ventily jsou otevírány vačkovou hřídelí a zavírány pružinou. Dále je zde umístěn vstřikovač paliva. Na hlavě motoru je v případě common rail systému vysokotlaký zásobník a vysokotlaké potrubí, které vede k vysokotlakému čerpadlu. Vysokotlaké čerpadlo je umístěno co nejbližší ke vstřikovacímu zásobníku. V hlavě motoru jsou sací a výfukové kanály. K hlavě motoru je přišroubované výfukové potrubí, které je většinou opatřeno turbodmychadlem, filtrem pevných částic a katalyzátorem. Sací kanály jsou taktéž součástí hlavy motoru.

3.2 Systémy vstřikování nafty

Systém vstřikování nafty je součástí palivového systému. Má za úkol dopravit palivo k motoru z nádrže. Dále ho stlačit a v přesném okamžiku a v přesné dávce ho vstříknout do válce pomocí vstřikovací trysky. Vstřikovací tryska rozprašuje palivo na mikroskopické kapičky, které se ve válci se stlačeným a zahřátým vzduchem vypaří a následně vznítí. Systémy vstřikování nafty umožňují nastartování motoru, jeho chod a regulaci otáček. Musí umožnit nastartování i ve velmi nízkých teplotách.

Požadavky na vstřikovací systém:

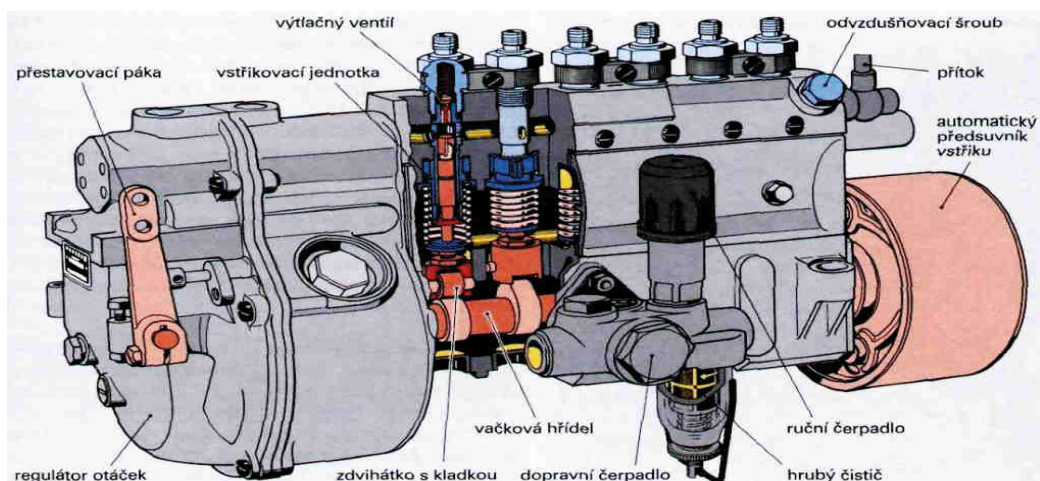
- Vysoký vstřikovací tlak
- Přesně odměřená dávka paliva
- Přesný čas kdy je palivo vstříknuto do válce
- Dokonalé rozprášení paliva do válce

Rozdělení vstřikovacích systémů nafty

- a) Řadové čerpadlo
- b) Rotační čerpadlo s rozdělovačem
- c) Sdružené systémy
- d) Systém s tlakovým zásobníkem (common rail)
- e) Speciální

3.2.1 Řadové čerpadlo

Řadové vstříkovací čerpadlo je pístové čerpadlo, kde k jednomu válci motoru přísluší jedna vstříkovací jednotka. Vstříkovací jednotka se skládá z válce, v němž se pohybuje píst, který je permanentně odtlačován pružinou. Zdvih pístu koná vačka. Píst do válce je zalícován tak přesně, že ani při velmi nízkých otáčkách nedojde k netěsnosti. Vůle mezi pístem a válcem je 2 – 3 μm , což zapříčiňuje náročnost výroby a vysokou cenu.



Obrázek 5: Řadové vstříkovací čerpadlo [3]

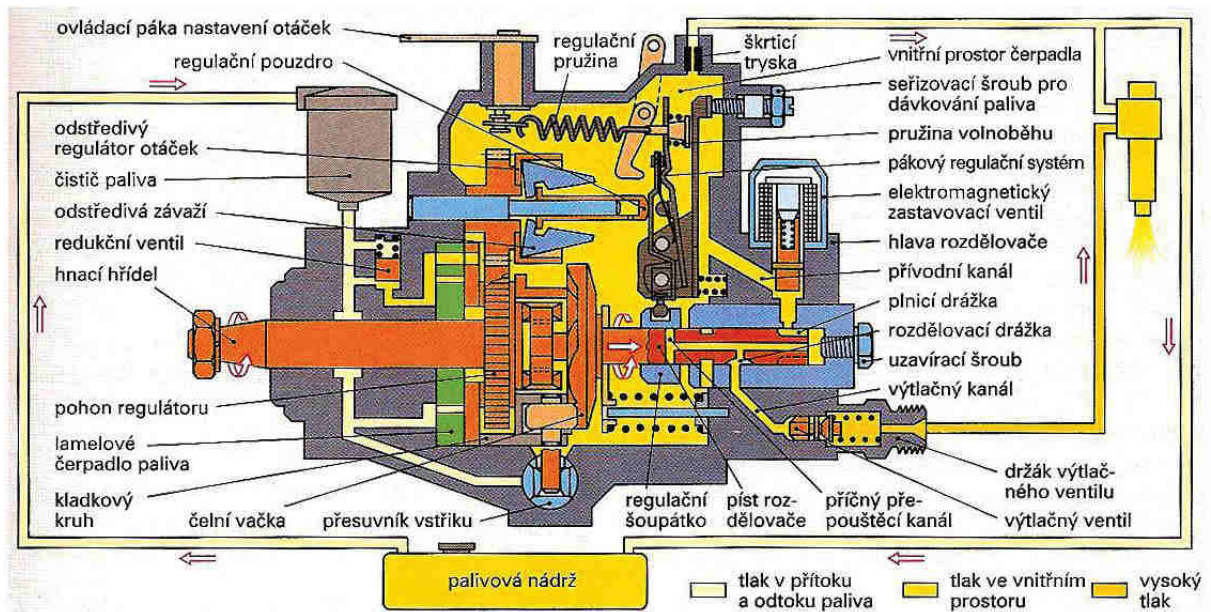
První řadová čerpadla byla bez regulace. Později bylo potřeba měnit velikost dávky paliva. Vzniklo mnoho konstrukčních řešení, ale nejvíce používaná regulace je natáčení speciálně vyfrézovaného pístu. Píst má podélnou drážku, prstencovou drážku a šroubovitě vyfrézování, tímto je definovaná regulační hrana. Pomocí této hrany se reguluje množství vstříknutého paliva. Plnicím otvorem vstupuje palivo o tlaku 0,1 – 0,15 MPa do vysokotlakého prostoru jednotky. Píst je v dolní úvrti, dochází k naplnění objemu nad pístem palivem. Při pohybu pístu nahoru se uzavře plnicí otvor a tlak se začíná zvyšovat. Po překonání definovaného tlaku se otevře výtláčny ventil a palivo pokračuje vysokotlakým potrubím do vstříkovací trysky, kde je rozprášeno do válce motoru. Vstříkovací tlak řadových čerpadel je do 120 MPa. Když píst překročí regulační hranu, dojde k poklesu tlaku, což znamená konec vstříku. Toto čerpadlo bylo zpočátku pouze mechanické, ale později bylo osazeno elektronickými řídicími systémy.



Obrázek 6: Pístek řadového vstříkovacího čerpadla

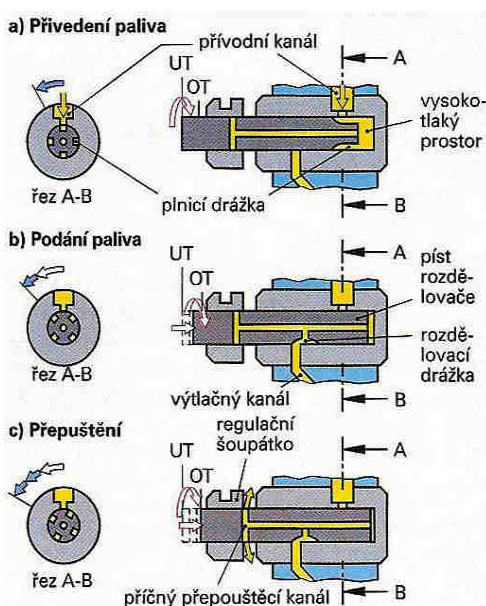
3.2.2 Rotační vstřikovací čerpadlo s rozdělovačem paliva

Jednopístové čerpadlo se vyvinulo z řadového čerpadla. Jeho velkou výhodou je pouze jedna vstřikovací jednotka. Píst zde vytváří pracovní tlak, zároveň slouží jako rozdělovač paliva.



Obrázek 7: Rotační vstřikovací čerpadlo s rozdělovačem paliva [3]

Na hnací hřídel je postupně nasazen rotor lamelového podávacího čerpadla, ozubené kolo, které pohání odstredivý regulátor. Dále je zde křížový kotouč, který unáší v rotačním pohybu čelní vačku. Vačka je opatřena hranoly, které zapadají do obvodových zářezů křížového kotouče. Čelní vačka je součástí pístu s rozdělovačem, kterým nejenom otáčí, ale i axiálně posunuje. Axiálním posuvem se určuje velikost dávky paliva. Rotačním pohybem se rozděluje palivo do válců.



Obrázek 8: Funkce pístu [3]

Přivedení paliva (obr. 8 a)

Přívodním kanálem se přivede palivo do vysokotlakového prostoru. Píst je v dolní úvratí.

Podání paliva (obr. 8 b)

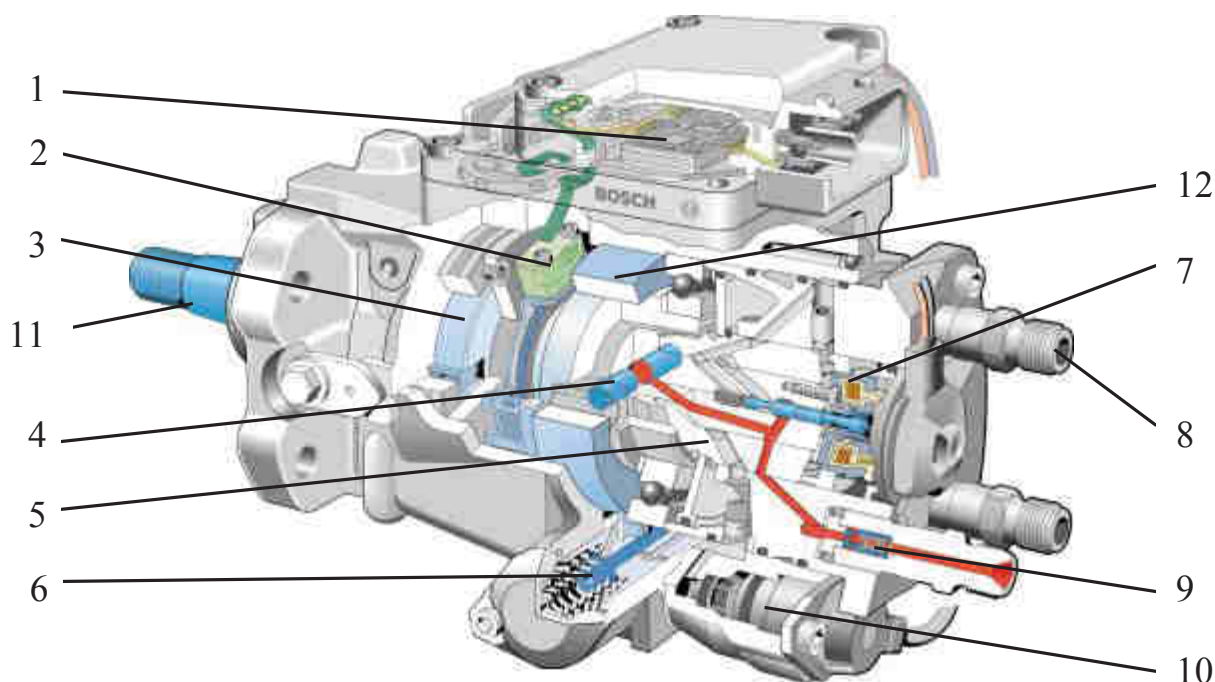
Píst se začne pohybovat směrem k horní úvratí, tím vytváří tlak v palivu. Rotací pístu se rozdělovací drážka potká s výtlačným kanálem, kterým se palivo dostane do vysokotlakového potrubí.

Přepuštění, konec vstřiku (obr. 8 c)

Vysunutí pístu až k horní úvratí odkryje příčný přepouštěcí kanál, kterým zbylé palivo odteče.

3.2.3 Rotační vstřikovací čerpadlo s radiálními písty

Toto je jedno z nejoblíbenějších vstřikovacích čerpadel, díky své spolehlivosti a jednoduchosti. Je plně elektronicky řízené a dokáže vyvinout tlak až 190MPa. Může pracovat v jakékoliv poloze.



Obrázek 9: Rotační vstřikovací čerpadlo s radiálními písty [3]

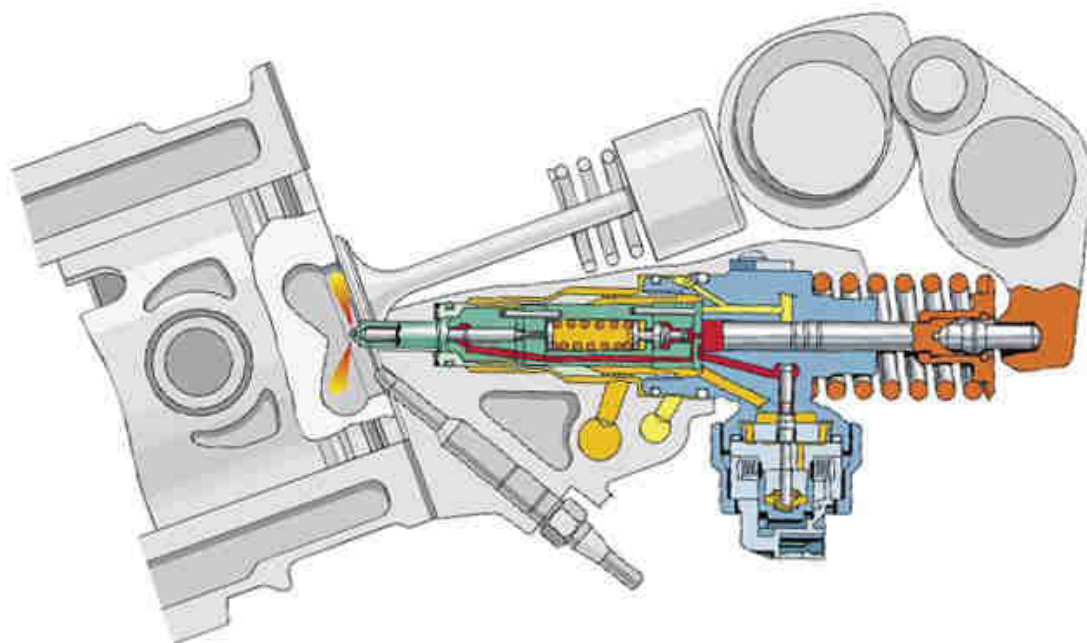
1 – řídicí jednotka, 2 – snímač úhlu natočení hřídele, 3 – křídlové dopravní čerpadlo, 4 – radiální rotační čerpadlo, 5 – rozdělovací hlava s rozdělovacím hřídelem, 6 – přesuvník vstřiku, 7 – vysokotlaký elektromagnetický ventil, 8 – výstup z čerpadla, 9 – výstupní ventil, 10 – elektromagnetický ventil přesuvníku vstřiku, 11 – vstupní hřídel, 12 – prstenec s radiálními vačkami

Hnací hřídel má stejné otáčky jako vačková hřídel a pohání rozdělovací hřídel s radiálními písty. Kladky na zdvihátkách se odvalují po vnitřní straně prstence s radiálními vačkami a stlačují radiální písty. V tělese rozdělovací hřídele jsou kanálky, které se potkávají s kanálky rozdělovací hlavy. V hřídeli je umístěn elektromagnetický ventil. Dále je zde přesuvník vstřiku a elektromagnetický ventil přesuvníku vstřiku, jenž řídí natočení prstence s radiálními vačkami. Všechny elektronické součástky jsou řízeny pomocí elektronické jednotky.

Křídlové dopravní čerpadlo dopravuje palivo do systému čerpadla, kde vytváří mírný přetlak. Palivo se dostane k vysokotlakému elektromagnetickému ventilu, kde se přesně propustí odměřená dávka. Palivo pokračuje k radiálním pístům, kde se stlačí. Při tom se zavře elektromagnetický ventil a palivo pokračuje do výstupního ventilu a dále do vysokotlakého potrubí a ke vstřikovači.

3.2.4 Sdružené vstřikovací jednotky

Sdružené vstřikovací jednotky – PDE (Pumpe Düse Einheit) anglicky UIS (unit injector system). Tento systém vstřikování nemá žádné vysokotlaké potrubí ani vysokotlaké čerpadlo. V hlavě motoru je umístěná vstřikovací jednotka, která je poháněna vačkovou hřídelí.



Obrázek 10: Sdružená vstřikovací jednotka [3]

Pohon vstřikovací jednotky

U vačkové hřídele motoru jsou přidány vstřikovací vačky. Síla se přenáší z vačky pomocí vahadla s kladkou. Vstřikovací vačka má speciální tvar, který způsobuje, že při malém pootočení vačky se vahadlo posune o značnou vzdálenost. Tímto se dosáhne vysokého vstřikovacího tlaku. Druhá strana vačky je velmi plochá, aby se vahadlo vrátilo plynule a pomalu zpět.

Příklad funkce vstřikovací jednotky

- **Fáze plnění (obr. 11 a)**
Píst čerpadla se pohybuje směrem vzhůru pomocí tlačné pružiny. Elektromagnetický ventil je v klidové poloze. Jehla ventilu je vlevo, neboli ventil je otevřen a palivo se čerpá do vysokotlakého prostoru.
- **Počátek předvstřiku (obr. 11 b)**
Vahadlo tlačí na píst, přitom se zavře elektromagnetický ventil (jehla se posune vpravo). Tím se uzavře vysokotlaký prostor a začne narůstat tlak. Tlak nabude

hodnotu 18MPa a překoná sílu pružiny vstříkovací trysky. Jehla se zvedne a začíná počátek vstříku.

- **Konec předvstříku (obr. 11 c)**

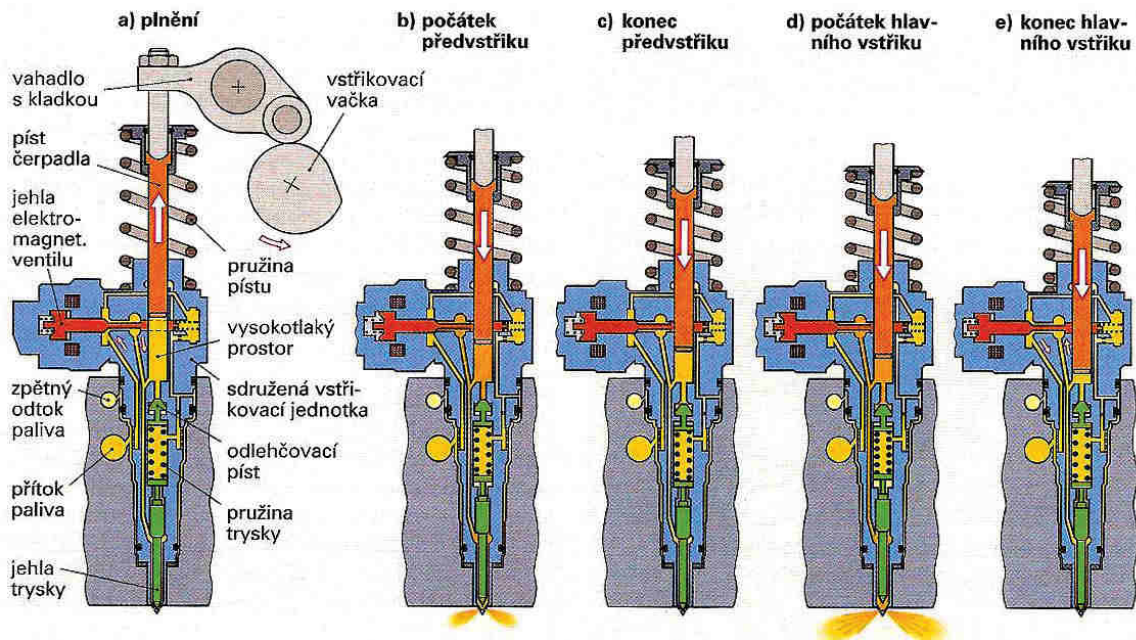
Předvstřík je velmi krátký, vstříkne se pouze $1,5 \text{ mm}^3$ paliva. Tlak se stále zvyšuje a zatlačí horní odlehčovací píst. Tím se posune jehla a uzavře se tryska.

- **Počátek hlavního vstříku (obr. 11 d)**

Tlak stále narůstá, při tlaku 30MPa se přetlačí pružina trysky, jehla se posune vzhůru a tryska se otevře. Začíná vstříkování paliva do válce. Tlak stále stoupá až na hodnotu 220MPa, protože tryska nestihne odvézt takové množství paliva.

- **Konec hlavního vstříku (obr. 11 e)**

Do elektromagnetického ventilu se přestane dodávat elektrický proud. Tím otevře kanál, kterým zbylé palivo odečte. Tlak ve vysokotlakém prostoru poklesne a uzavře se tryska. Tímto končí hlavní vstřík a celý cyklus.



Obrázek 11: Funkce vstříkovací jednotky [3]

Výhodou tohoto systému je vícenásobná dávka paliva a relativně vysoký vstříkovací tlak. Téměř žádné ztráty vedením paliva jsou další výhodou, protože zde vysokotlaké potrubí není. Nevýhodou tohoto systému je hlučnost, tvrdý chod a velmi komplikovaná hlava motoru. Dále je zde speciální vačková hřídel, která je velmi namáhána od vstříkovače. Další nevýhodou je, že se do vysokotlakého prostoru dostane stejné množství paliva. Při velmi šetrné jízdě se velké množství paliva vrací zpět do nádrže, kde mezi nádrží a vstříkovačem musí být chladič. Palivo je zahřáto stlačením ve vstříkovací jednotce.

Tento systém byl velice oblíbený, protože byl relativně spolehlivý.

3.2.5 Systém s tlakovým zásobníkem Common Rail

Je nejmodernější a nejjednodušší systém vstřikování. Je velmi rozšířený, téměř každé nové vozidlo se vznětovým motorem má tento systém. Jedná se o systém, který má mnoho výhod. Jednou z největších výhod je libovolná doba vstřiku paliva a několika dávek jdoucích po sobě v jednom pracovním cyklu. Existuje několik vývojových generací. Hlavními atributy zlepšování je vstřikovací tlak a rychlost odezvy vstřikovače.

Název typu	Vstřikovací tlak	Typ vstřikovače
1. Generace	145MPa	Elektromagnetický
2. Generace	160MPa	Elektromagnetický
3. Generace	180MPa	Piezo-elektrický - jednostupňový
4. Generace	205MPa	Piezo-elektrický – dvoustupňový HADI
5. Generace	250 - 270MPa	Piezo-elektrický – dvoustupňový HADI

Tabulka 1: Typy Common Rail systémů

Konstrukční uspořádání systému common rail

- **Nízkotlaká část**

Palivová nádrž je propojena potrubím s vysokotlakým čerpadlem, ve kterém je integrováno podávací čerpadlo. Před čerpadlem je umístěn filtr. Podávací čerpadlo dodává palivo vysokotlakému čerpadlu.

- **Vysokotlaká část**

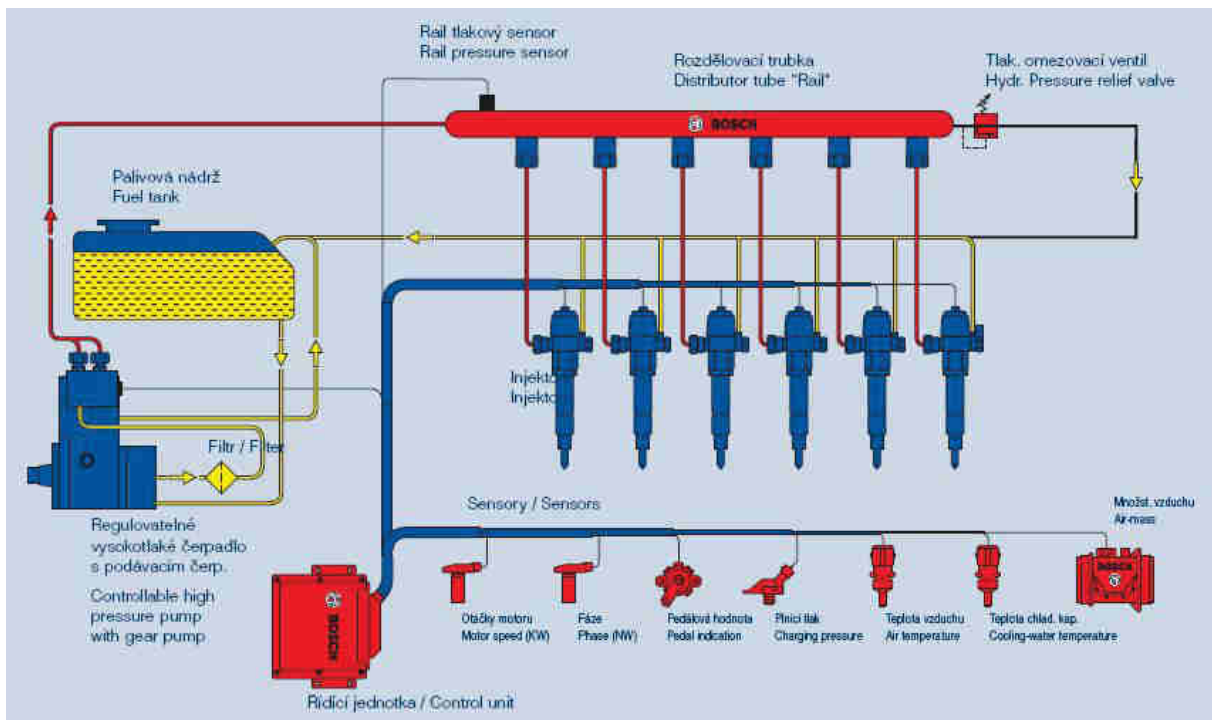
Vysokotlaké čerpadlo je propojeno vysokotlakým potrubím s vysokotlakým zásobníkem. Od zásobníku má každý vstřikovač svoje vysokotlaké potrubí.

- **Řídící jednotka**

Řídící jednotka řídí dobu vstřiku, dávku, tlak a další důležité hodnoty.

Funkce

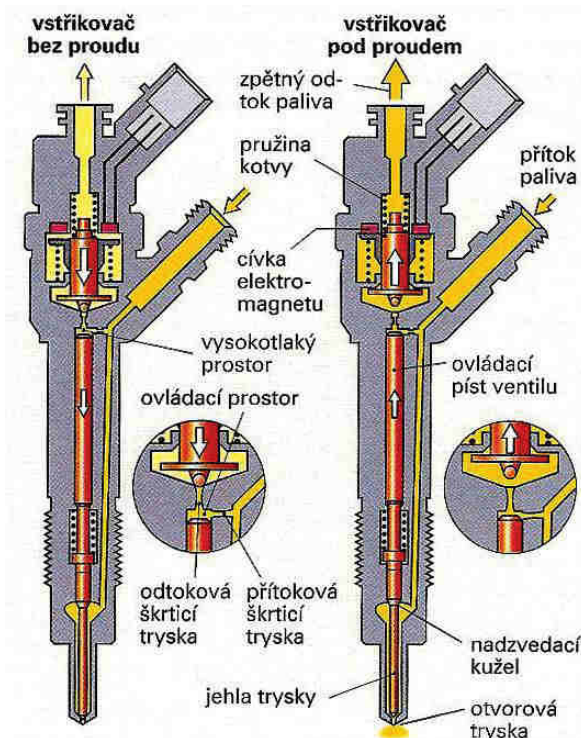
Z nádrže čerpá dopravní čerpadlo palivo do vysokotlakého čerpadla. Zde se palivo stlačí na provozní vstřikovací tlak a proudí vysokotlakým potrubím do vysokotlakého zásobníku. Odtud do vstřikovače, který palivo vstříkne do válce. Celý systém je velmi jednoduchý a dobře opravitelný.



Obrázek 12: Common Rail systém [6]

Vstříkovač

Vstříkovač je nejdůležitější a nejsložitější komponenta z celého systému. Vstříkovač se skládá z elektromagnetického ventilu, ovládacího pístu ventilu, vysokotlakého prostoru a vstříkovací trysky.



Obrázek 13: Vstříkovač a funkce Common Rail [3]

Klidová poloha

Elektromagnetický ventil není pod proudem. Palivo proudí přítokem skrz škrtkové trysky do vysokotlakého prostoru. Zároveň se palivo dostane do prostoru k jehle trysky. Tlačná pružina udržuje kotvu s kuličkou v pozici zavřeno. Tlaková síla, která působí na plochu ovládacího pístu společně se silou tlačné pružiny, převažuje nad tlakovou silou vyvolanou na nadzvedávací kužel. Těleso trysky zůstává v klidu. Vstříkování neprobíhá.

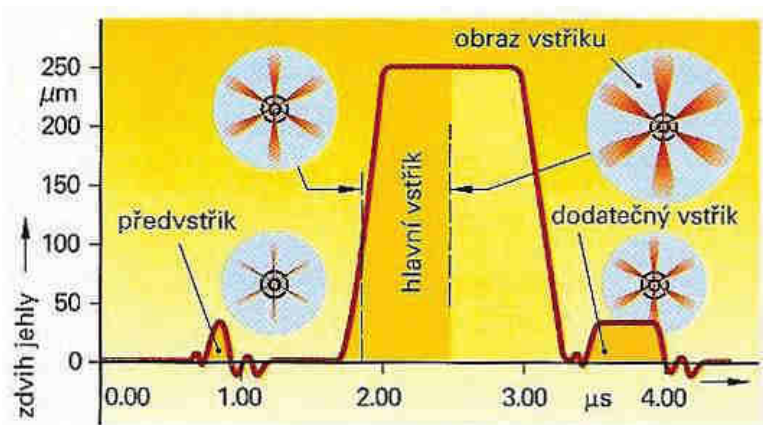
Počátek vstříku

Na elektromagnet se přivede proud. Cívka elektromagnetu nadzvedne kotvu s kuličkou. Ta otevře další prostor, kam palivo ihned proudí. V tu chvíli dojde k poklesu tlaku na plochu ovládacího pístu. Tlaková síla, která působí na nadzvedávací kužel, nyní překoná tlačnou pružinu a dojde k posunu tělesa trysky. Tím se otevře tryska a začíná se vstříkovat.

Konec vstříku

Přestane se přivádět proud do elektromagnetu. Pružina elektromagnetu vrátí zpět kotvu s kuličkou na pozici zavřeno. Ve vysokotlakém prostoru nad ovládacím pístem se začne zvyšovat tlak. Tím se začne uzavírat tryska.

Velkou výhodou tohoto systému je vícefázové vstříkování. To napomáhá ke zlepšení spalování paliva, lepšímu průběhu výkonu, hladšímu chodu motoru a ztišení.



Obrázek 14: Vícefázový vstřík [3]

Piezelektrický vstříkovač

V dnešní době se téměř vůbec nepoužívají elektromagnetické vstříkovače. Jejich nevýhodou je pomalá reakce. Společnost Siemens přišla s inovací zaměnit elektromagnet za piezo-ovladač. Je to piezelektrická součástka, která při přivedení napětí 140V zvětší svůj objem. Tento vstříkovač je čtyřikrát rychlejší než elektromagnetický vstříkovač.

HADI piezelektrický vstříkovač

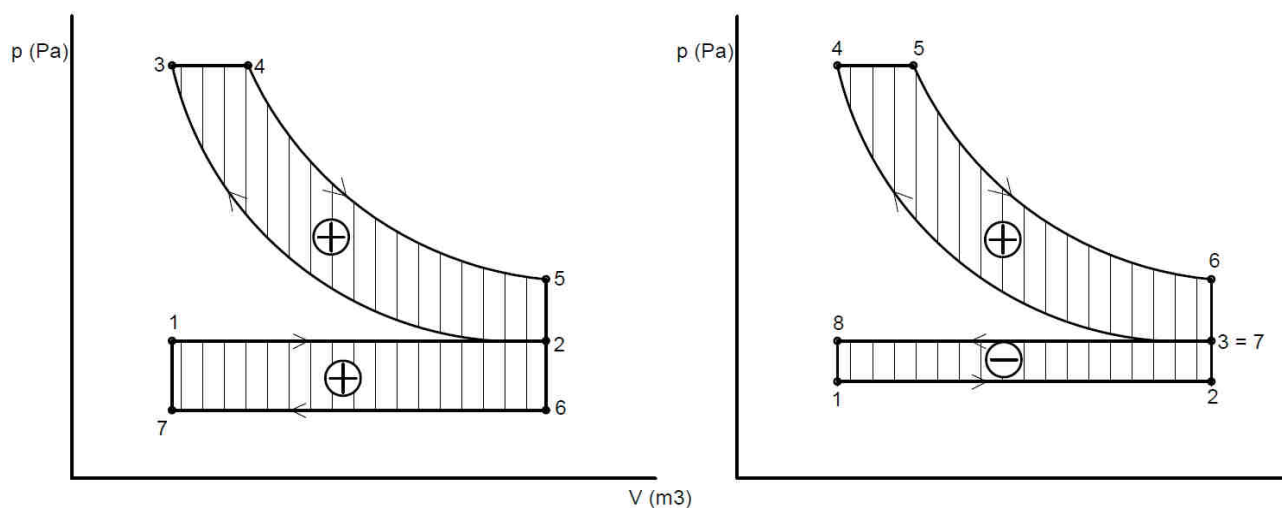
V poslední době se využívá tento druh vstříkovače. Uvnitř tohoto vstříkovače je hydraulický multiplikátor, který zvýší vstříkovací tlak dvojnásobně. Výhodou je relativně nízký tlak ve vysokotlakém zásobníku a vedení. Další výhodou je, že při vstříkování můžeme použít zvětšený nebo systémový tlak.

3.3. Přepřňování

Téměř všechny vznětové motory jsou dnes přepřňované. Hlavní výhodou přepřňování je větší měrný výkon, točivý moment v nízkých otáčkách a menší spotřeba.

Teorie

Z termodynamického pohledu lze předpokládat, že plocha v oběhu je práce. Pokud oběh jde po směru hodinových ručiček, práce je vykonána, pokud proti, práce je spotřebována. V $p - v$ diagramu je na levém obrázku zobrazen přepřňovaný vznětový motor. Na pravém obrázku je atmosférický. Součet ploch v oběhu vyjadřuje celkovou práci. Na diagramu atmosférického motoru je vidět, že spodní plocha je záporná, neboli práce spotřebována. Je to způsobeno výměnou náplně válce, zejména nasávání čerstvého vzduchu. Naopak u přepřňovaného motoru je plocha kladná. Válec nemusí čerstvý vzduch nasávat.



Graf 2: $p-v$ diagram přepřňovaný/nepřepřňovaný motor

V reálném vznětovém přepřňovaném motoru se snažíme, aby přepřňovací tlak byl co nejvyšší. Při stlačování vzduchu dochází k jeho zahřívání až na 180°C . Zahřívání je nežádoucí. Vzduch mění hustotu a do válce se ho dostane méně. Mezi přepřňovací prvek a válec se umísťuje mezichladič stlačeného vzduchu, který vzduch zchladí na okolní teplotu.

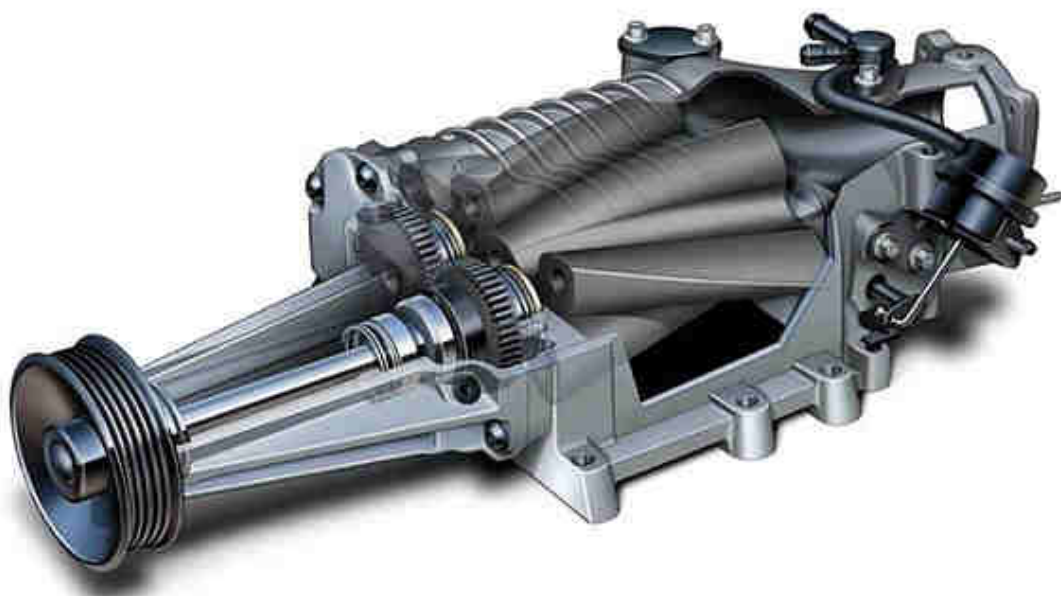
Rozdělení přepřňování

- A. Kompresor
- B. Turbodmychadlo

3.3.1 Kompresor

Přeplňovat lze mnoha způsoby. Většinou se jedná o rotační stroj, do kterého se přivádí mechanická práce. Přenos rotačního pohybu je většinou pomocí řemenu, či ozubenými koly, přímo z klikového hřídele. Otáčky rotoru kompresoru jsou přímo úměrné otáčkám klikového hřídele. Velkou nevýhodou tohoto systému je, že se odebírá výkon motoru na pohon kompresoru. V některých případech je to i 30% výkonu motoru. Tím se velmi zvyšuje spotřeba motoru. Výhodou je reakce přeplňování, díky přímému spojení s klikovou hřídelí. Další výhodou je relativně jednoduchá montáž. Na sání se pouze přidá kompresor a mezichladič stlačeného vzduchu. Kompresory jsou regulovatelné. Tlakový rozsah je někdy mezi 0,03 až 0,2 MPa.

U vznětových motorů se téměř nepoužívají. Nejčastěji používaným kompresorem je Rootsovo dmyhadlo.



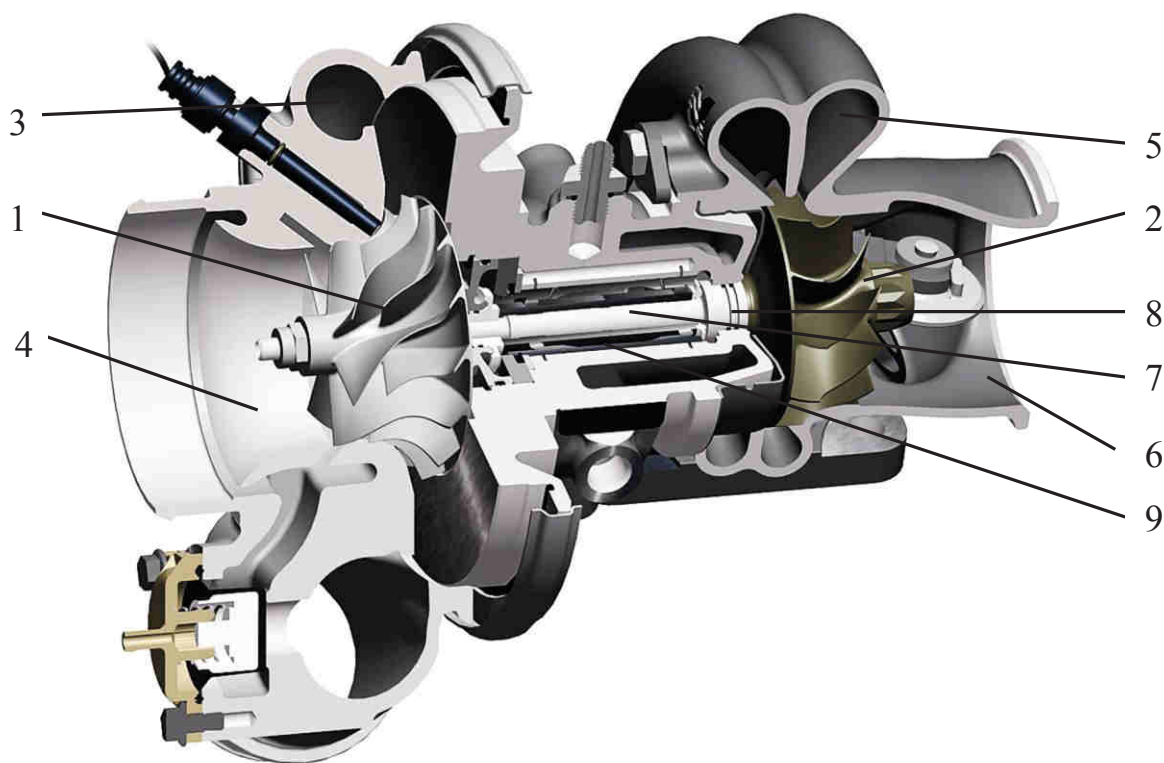
Obrázek 15: Rootsovo dmyhadlo [15]

Rozdělení:

- a) Rootsovo dmyhadlo
- b) Spirálové dmyhadlo
- c) Křídlové dmyhadlo
- d) Dmyhadlo s otočnými písty
- e) Šroubové dmyhadlo

3.3.2 Turbodmychadlo

Turbodmychadlo je nejčastějším způsobem přeplňování. Je to rotační stroj, který se skládá z rotoru dmychadla a rotoru turbíny. Turbínou proudí výfukové plyny, kde expandují a vytváří mechanickou energii. To je největší výhoda turbodmychadla. Využívají se výfukové plyny.



Obrázek 16: Řez turbodmychadlem [14]

1 – oběžné kolo dmychadla, 2 - oběžné kolo turbíny, 3 - výtláčný kanál dmychadla, 4 - sací kanál dmychadla, 5 - sací kanál turbíny, 6 - výfukový kanál turbíny, 7 - společná hřídel, 8 - uložení hřídele (kluzné ložisko), 9 - přívod oleje

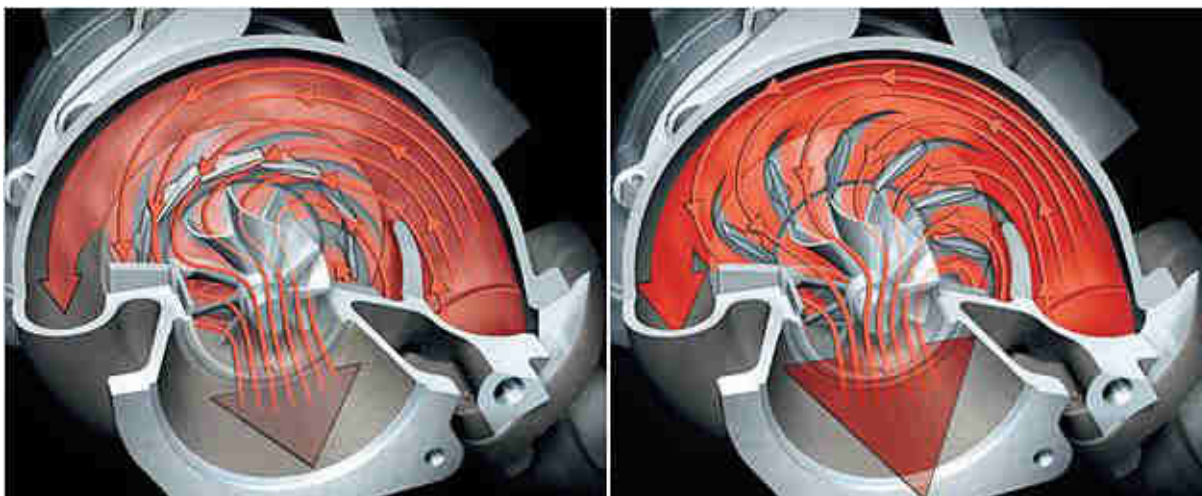
Oběžné kolo dmychadla je spojeno s hřídelí oběžného kola turbíny. Hřídel je uložena v kluzných ložiskách, která jsou neustále mazána čerstvým neohřátým olejem. Celá hřídel leží v olejové lázni, kde chladne. Olej kontinuálně protéká. Spaliny, které vychází z motoru vstupují do sacího kanálu turbíny, poté proudí do oběžného kola turbíny. Zde expandují a roztáčejí ji. Výfukovým kanálem opouští turbodmychadlo. Roztočená turbína přenese mechanickou energii pomocí hřídele na oběžné kolo dmychadla. Dmychadlo svým otáčením nasává vzduch a stlačuje ho.

U vznětových motorů nejsme limitováni přeplňovacím tlakem. Z termodynamického pohledu se snažíme, aby přeplňovací tlak byl co nejvyšší.

Nevýhodou klasického turbodmychadla je návrh velikosti rotoru turbíny a dmychadla. Pokud ho navrhne na maximální otáčky motoru, bude produkovat požadovaný tlak i objemový průtok.

V nízkých otáčkách motoru bude turbodmychadlo nepoužitelné. Důvodem je nízký tlak. Když jej navrhne na nízké otáčky motoru, bude mít ve vysokých otáčkách velmi vysoký tlak a tím může dojít k destrukci součástí motoru. Proto se turbodmychadla navrhovala na nízké otáčky motoru a při vyšších otáčkách motoru byl před turbodmychadlem obtokový ventil, který řídil objemový průtok. Nevýhodou byly velké hydraulické ztráty.

Další generací bylo turbodmychadlo s proměnlivou geometrií vstupujícího kanálu turbíny. Toto turbodmychadlo se používá v současnosti.



Obrázek 17: Řez turbodmychadlem - regulace pomocí natáčení lopatek [24]

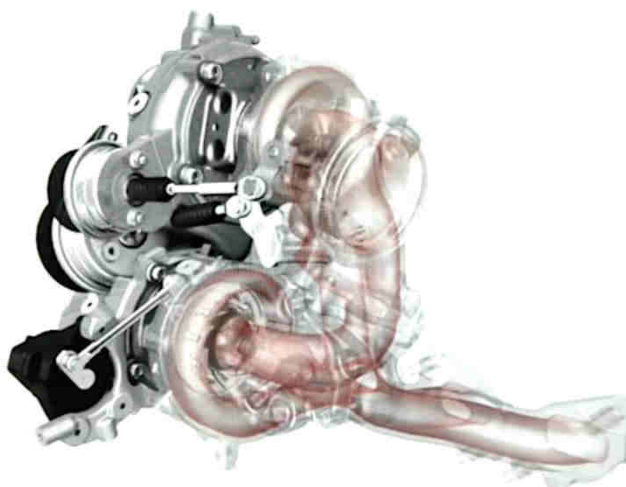
Regulace se provádí natáčením lopatek viz. obr. 17.

Nevýhodou turbodmychadel je pomalá reakce na pedál akcelérátoru. Turbodmychadlo nemá požadované otáčky, prodlevu tvoří roztáčení na požadovaný tlak a průtok. Částečné řešení tohoto problému tvoří zmíněná konstrukce s proměnlivou geometrií vstupujícího kanálu.

Turbodmychadlo dosahuje 30 000 až 250 000 otáček za minutu. Musí být intenzivně chlazeno. V současnosti moderní turbodmychadla dokáží přeplňovat relativně vysokými tlaky. Přeplňovací tlak se dostává i na hodnotu 0,4 MPa, běžné jsou 0,1 až 0,2 MPa.

Speciální druhy turbodmychadel

- **BiTurbo TDi VW**

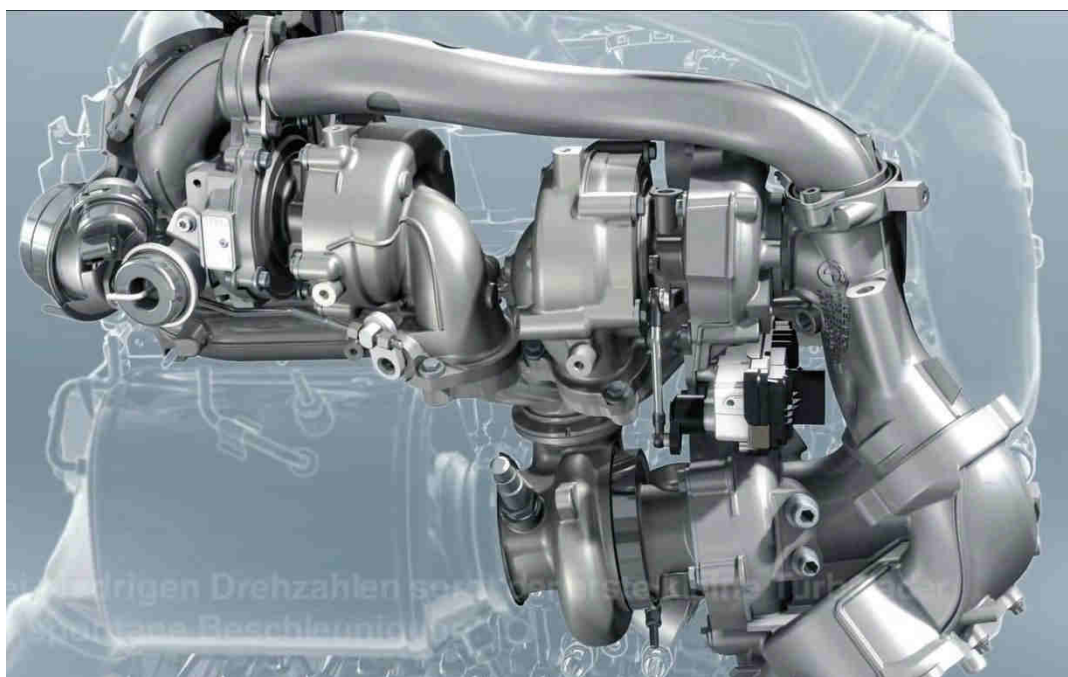


Obrázek 18: Biturbo TDi VW [5]

V roce 2014 VW GROUP začali osazovat motory tímto BiTurbem. Je to výsledek downsizingu. Motor má vysoký měrný výkon 89 kW/dm^3 a měrný točivý moment 254 Nm/dm^3 . BiTurbo tvoří dvě sériově řazená turbodmychadla, obtokové kanály a ventily. Vše je řízeno řídicí jednotkou. Výsledkem této konstrukce je zvýšená odezva a lepší expanze spalin.

- **TriTurbo BMW**

Úplnou špičkou přepřínování a downsizingu je TriTurbo od BMW, kde jsou dvě turbodmychadla řazena v sérii a jedno paralelně. Primárně fungují dvě jako BiTurbo, ale při maximálním výkonu motoru se přidává třetí. Celé je to velmi sofistikovaně řízené řídicí jednotkou. Tento motor má měrný výkon 94 kW/dm^3 a měrný točivý moment 247 Nm/dm^3 .



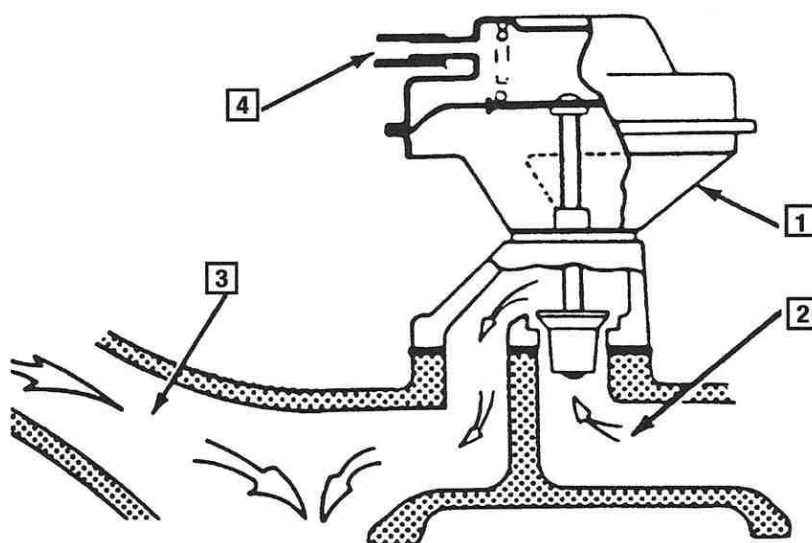
Obrázek 19: Triturbo BMW [25]

3.4 Výfukový systém

Výfukový systém sloužil zejména k odvodu výfukových spalin z prostoru motoru. Později se do výfuku instalovaly protihlukové vložky, které snižovali hluk vozidla. V současné době se na výfukový systém instalují různé druhy příslušenství. Zejména katalyzátor, EGR ventil, turbodmychadlo, filtr pevných částic, selektivní katalytická redukce a další. Jsou to zejména příslušenství, které snižují emise.

3.4.1 EGR ventil

Tato součástka slouží k recirkulaci výfukových plynů. Hlavním úkolem je snížení emisí. Výfuk je propojen se sacím potrubím vedením a ventilem. Část spalin se tímto vedením vrací zpět do sání o požadovaném objemovém průtoku, který řídí ventil. Výfukové plyny se snažíme ochladit ve vedení, aby neohřivaly čerstvý zchlazený vzduch. Obsah výfukových spalin v čerstvém vzduchu je v rozmezí 0 až 25%. Dá se říci, že část výfukových plynů projde spalovacím systémem vícekrát. Ventil je většinou ovládán podtlakovou membránou.



Obrázek 20: EGR ventil [10]

1 – podtlakový ventil, 2 - přívod výfukových plynů, 3 - přívod čerstvého vzduchu, 4 - přívod podtlaku

Když se do spalovacího prostoru dostanou výfukové plyny, sniží tím teplotu spalování. Spálením této směsi se redukuje koncentrace oxidů dusíku. Nevýhodou je, že se více tvoří částice, v některých případech se zvyšuje spotřeba a zanáší se sací potrubí částicemi.

3.4.2 Katalyzátor

Katalyzátor výfukových plynů snižuje obsah škodlivin ve výfukových plynech. U vznětových motorů se používají zejména oxidační katalyzátory, které mají za úkol oxidaci CO a nespálených uhlovodíků.



Obrázek 21: Řez oxidačním katalyzátorem [23]

Oxidační katalyzátor obsahuje směsi platiny a paládia, které jsou umístěny na nosič. Nosič má strukturu podobnou včelím plástvím a velmi velký povrch. Při pracovní teplotě 300 až 600°C začínají chemické reakce. Platina a paládium spojují přebytečný kyslík s oxidem uhelnatým a uhlovodíky. Výsledkem této reakce je oxid uhličitý a voda. Katalyzátor začíná být funkční až od teploty přibližně 300°C. Moderní katalyzátory jsou schopny odstranit až 97% uhlovodíků a 96% oxidu uhelnatého. Tříložkový katalyzátor, který se používá u zážehových motorů, nemůžeme použít, protože vznětový motor pracuje s přebytkem vzduchu. NO_x redukovat tímto způsobem nelze. V dnešní době jsou tři cesty, jak omezit koncentraci NO_x.

a) Oxidační katalyzátor + EGR ventil + filtr pevných částic

Pracuje s vysokou koncentrací pevných částic a CO₂, na úkor snížení NO_x

b) Oxidační katalyzátor + Selektivní katalytická redukce

Pracuje s vysokou koncentrací NO_x, motor musí být nastaven tak, aby neprodukoval pevné částice.

c) Oxidační katalyzátor + EGR ventil + filtr pevných částic + selektivní katalytická redukce

Nejlepší možnost z hlediska ekologie. Všechny škodlivé složky jsou odstraněny.

3.4.3 Filtr pevných částic

Filtr pevných částic, označovaný DPF (diesel particular filter) či FAP. Při spalování paliva ve vznětovém motoru dochází k tvorbě pevných částic. Tyto částice jsou zdravotně závadné a musí se zredukovat. Do výfukového systému se přidá filtr pevných částic, který je zachytává. Často je aplikován ve spojení s EGR ventilem. V současnosti bývá filtr integrován do jedné součásti s oxidačním katalyzátorem.



Obrázek 22: Filtr pevných částic [11]

Filtr se skládá z porézního materiálu, který je strukturován do poloprůchodných kanálků. Čištění probíhá zvýšením teploty uvnitř filtru, díky tomu pevné částice vyhoří. Čištění probíhá dvěma způsoby, pasivní a aktivní regenerací.

a) Pasivní regenerace

Tato regenerace probíhá samovolně. Hlavní hodnotou je dlouhodobě zvýšená teplota, která je způsobena větším zatížením motoru, vyššími otáčkami motoru, např. jízdou po dálnici. Tím samovolně vyhoří nahromaděné částice.

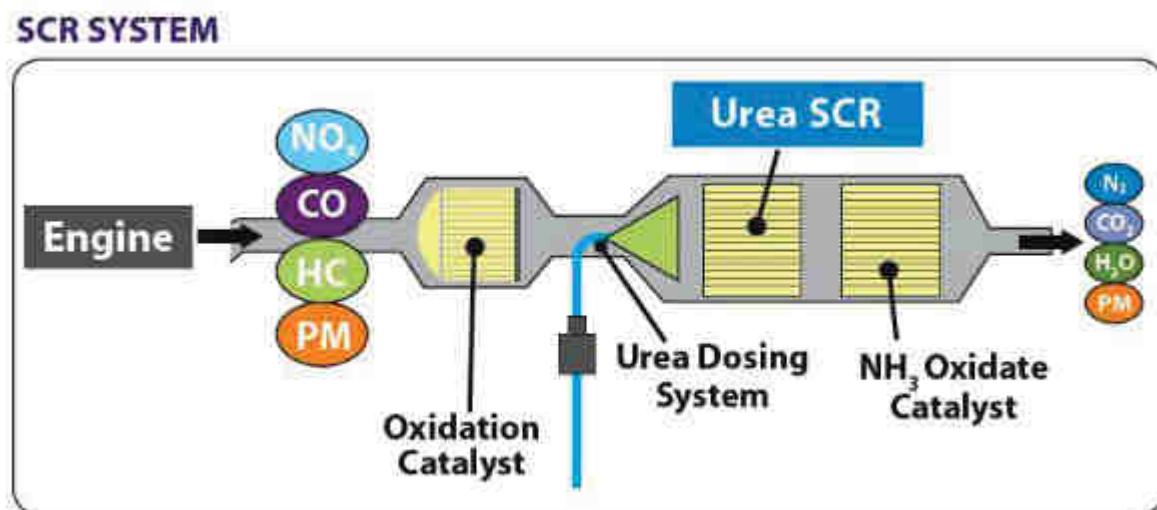
b) Aktivní regenerace

Pokud nenastane možnost pasivní regenerace, zejména v městském cyklu, či jízda na krátkou vzdálenost, aplikuje se aktivní regenerace, která uměle zvýší teplotu výfukových plynů na teplotu okolo 600°C, pomocí změny časování vstříků. Tímto způsobem se filtr vyčistí.

Nevýhodou tohoto systému je krátká životnost filtru (120 000 km), relativně vysoká cena, vyšší spotřeba, obtížná recyklace použitého filtru a postupné snižování výkonu motoru.

3.4.4 Selektivní katalytická redukce

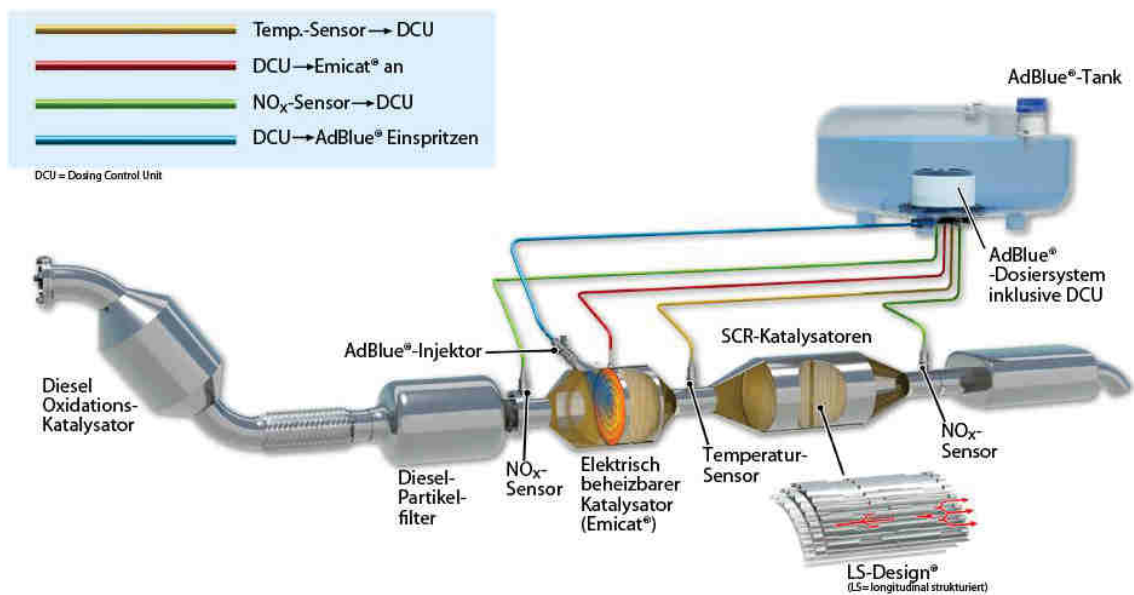
Tato redukce slouží zejména ke snížení oxidů dusíku (NO_x). Předpoklad je, že motor neprodukuje pevné částice na úkor zvýšení NO_x. V této situaci vysoká koncentrace NO_x nevadí. Do výfukového systému se vstříkuje vodní roztok syntetické močoviny (AdBlue) a za přítomnosti chemického katalyzátoru se NO_x redukuje na vodu a N₂. Výfukový systém musí být opatřen selektivní katalytickou redukcí, která v současnosti bývá stejně velká jako filtr pevných částic. Tato technologie se hlavně používá u nákladních vozidel. V posledních letech se začala využívat i v osobních vozidlech.



Obrázek 23: Selektivní katalytická redukce [18]

3.4.5 Výfukový systém současnosti/budoucnosti u vznětového motoru

Některé automobilky u osobních vozidel využívají všechno dostupné příslušenství pro výfukový systém. Výfukový systém začíná turbodmychadlem, kde výfukové plyny expandují a částečně se zchladí a pokračují do oxidačního katalyzátoru. V katalyzátoru se CO a uhlovodíky zreagují na CO₂ a vodní páru. Za katalyzátorem je filtr pevných částic, který je zachytává a při regeneraci spaluje. Dále je umístěn NO_x senzor, který rozpoznává jejich koncentraci. Za čidlem je umístěn Emicat a vstříkovací tryska syntetické močoviny. Emicat má za úkol přehřívat výfukové plyny, aby selektivní katalytická redukce byla co nejúčinnější. Na základě koncentrace NO_x se vstříkuje potřebné množství syntetické močoviny. Dále je umístěno čidlo teploty, které řídí Emicat. Za čidlem se nachází katalyzátor selektivní katalytické redukce, kde se přeměňují molekuly NO_x na N₂ a vodu. Dále je umístěn NO_x senzor a tlumič hluku. Na obr. 24 je graficky znázorněno uspořádání.



Obrázek 24: Výfukový systém [21]

4 Pojmy

V této kapitole vysvětlím pojmy, které jsou použity v mém katalogu motorů.

4.1 Zdvihový objem

Zdvihový objem je část geometrického objemu motoru. V pístovém motoru s přímočarým pohybem je vymezen horní a dolní úvratí. Do zdvihového objemu nepatří objem kompresního prostoru.

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot Z \cdot n_v \text{ (m}^3\text{)}$$

d (m) - průměr válce

Z (m) - zdvih pístu (vzdálenost mezi horní a dolní úvratí)

n_v (-) - počet válců

4.2 Točivý moment

Točivý moment definuje působení síly na bod vzdálený od osy hřídele. U vozidlových motorů je to důležitý parametr, který definuje výkon v závislosti na otáčkách. Při měření výkonu motoru se odečítá právě točivý moment.

$$M = \frac{P}{\omega} \text{ (Nm)}$$

ω ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$) - úhlová rychlost

P (W) - výkon

M (Nm) - točivý moment

4.3 Efektivní výkon

Efektivní výkon motoru je nejvyšší možná hodnota výkonu. Je to hodnota, kde motor produkuje nejvíce práce za jednotku času. Efektivní výkon dostaneme nejvyšším součinem točivého momentu a úhlovou rychlostí.

$$P = \omega \cdot M = \frac{W}{t} = F \cdot v \text{ (W)}$$

$$P = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p_e \cdot 2 \cdot Z \cdot n_j \cdot n_v \cdot \frac{1}{4} \text{ (W)}$$

W (J) - práce

t (s) - čas

p_e (Pa) - střední efektivní tlak

n_j (s^{-1}) - jmenovité otáčky

4.4 Střední efektivní tlak

Je pomyslný tlak, který je konstantní a po celou dobu působí na píst. Střední efektivní tlak na dráze jednoho zdvihu vykoná stejnou práci, jako skutečný proměnlivý tlak na dráze čtyř zdvihů pro čtyřdobý cyklus motoru.

$$p_e = \frac{4\pi}{V} \cdot M \text{ (Pa)}$$

4.5 Emisní norma Euro

Tato emisní Euro norma je závazná norma Evropské unie EHK83, která stanovuje koncentraci škodlivin ve výfukových plynech vycházejících z motoru. Škodliviny jsou určeny hmotností na ujetou vzdálenost.

- Euro I (1993)
- Euro II (1996)
- Euro III (2000)
- Euro IV (2005)
- Euro V (2009)
- Euro VI (2014)

4.6 Spotřeba paliva

Nejlépe definovatelná spotřeba motoru je měrná spotřeba (g/kWh), bohužel se mi tyto hodnoty nepodařilo nalézt. Spotřebu jsem chtěl nějakým způsobem vyjádřit. Výrobce udává spotřebu vozidla, která je definována objemem paliva vztaženého na sto kilometrů (l/100 km). Bohužel údaj nelze srovnávat. Tuto spotřebu ovlivňuje mnoho faktorů, nejvýznamnějším je hmotnost vozidla, dále aerodynamický odpor vzduchu, druh kol, světlá výška vozidla a další faktory.

Zavádím měrnou tunovou spotřebu, ve které využiji hmotnost vozidla, která je klíčová, zanedbávám aerodynamický odpor a další již zmíněné faktory. Je to spotřeba objemu paliva vztažená na sto kilometrů a to celé je vztaženo na hmotnost 1000kg vozidla. Tato měrná tunová spotřeba se již dá ve výstupu srovnávat.

Měrná tunová spotřeba:

$$V_{vt} = \frac{V_v}{m_v} \cdot 1000 \left(\frac{dm^3}{100km \cdot 1000kg} \right)$$

$V_v \left(\frac{dm^3}{100km} \right)$ - spotřeba vozidla

$m_v (kg)$ - hmotnost vozidla

4.7 Emise CO₂

Emise je údaj, který udává výrobce. Definuje hmotnost exhalovaného oxidu uhličitého vztaženého na ujetí sto kilometrů. Je to přepočítaná hodnota spotřeby paliva.

4.8 Měrný efektivní výkon

Měrný efektivní výkon je výkon motoru vztažený na zdvihový objem motoru. Je to výkon, který odpovídá motoru o zdvihovém objemu $V = 1 \text{ dm}^3$.

$$P_m = \frac{P}{V} \left(\frac{\text{kW}}{\text{dm}^3} \right)$$

4.8 Měrný točivý moment

Měrný točivý moment, je točivý moment motoru vztažený na zdvihový objem. Tento moment odpovídá motoru o zdvihovém objemu $V = 1 \text{ dm}^3$.

$$M_m = \frac{M}{V} \left(\frac{\text{Nm}}{\text{dm}^3} \right)$$

5 Databáze vznětových motorů osobních vozidel

Databáze vznikala postupným přidáváním motorů. Hlavním problémem bylo rozhodnutí, jaké parametry do databáze ještě přidat, aby výstupní data byla obsáhlá. Další závažnější problematika byla zjišťování hlavních konstrukčních a provozních parametrů. Automobilky neuveřejňují některá data, zejména pokud motor je vyroben jinou společností. Seznam motorů vyrobených v průběhu minulých let se mi nepodařilo vyhledat. Zvolil jsem cestu porovnávání motorů všech modelů vozidel vybraných automobilek v příslušném roce a následné vybrání správných dat.

5.1 Parametry použité v databázi

Po vlastním uvážení a odborné konzultaci jsem vybral tyto parametry, které zde definuji.

- **Výrobce**

Označuje výrobce motoru.

- **Označení**

Definuje typ, popřípadě název motoru.

- **Vstříkovací systém**

Tato hodnota musí mít systém zkratk, ze kterého se dají vyextrahovat data.

Zkratka	Popis zkratky
CR	System se společným tlakovým potrubím Common Rail
PD	Sdružené vstříkovací jednotky
RČ	Rotační čerpadlo - přímý vstřík
RČ+komůrka	Rotační čerpadlo - nepřímý vstřík - komůrkový systém
ŘČ	Řadové čerpadlo

Tabulka 2: Zkratky - Vstříkovací systém

- **Poznámka**

Poznámka slouží k dalšímu upřesnění daného motoru. Například typ řídicí jednotky, typ turbodmychadla, vstříkovací tlak atd...

- **Přepřívání**

Tato hodnota musí mít opět systém zkratk.

Zkratka	Popis zkratky
T	Turbodmychadlo (patří sem regulovatelné i neregulovatelné)
2xT	Dvě turbodmychadla
3xT	Tři turbodmychadla
BiT	Biturbo systém
TriT	Triturbo systém
K	Kompresor
NE	Atmosférický (nepřepřívávaný) motor

Tabulka 3: Zkratky - Přepřívání

- **Počet ventilů na válec**

Číselná hodnota definující počet ventilů na válec.

- **Filtr pevných částic**

Hodnota se řídí systémem zkratek.

Zkratka	Popis zkratky
DPF	Součástí výfukového systému je filtr pevných částic
DPF (doplňkově)	Na výfukový systém může být nainstalován na přání zákazníka jako doplňková výbava
NE	Není součástí motoru

Tabulka 4: Zkratky - Filtr pevných částic

- **Selektivní katalytická redukce**

Hodnota se řídí systémem zkratek.

Zkratka	Popis zkratky
ANO	Součástí výfukového systému je systém selektivní katalytické redukce
NE	Součástí výfukového systému není systém selektivní katalytické redukce

Tabulka 5: Zkratky - Selektivní katalytická redukce

- **EGR ventil**

Hodnota se řídí systémem zkratek.

Zkratka	Popis zkratky
ANO	Součástí motoru je EGR ventil
NE	Součástí motoru není EGR ventil

Tabulka 6: Zkratky - EGR ventil

- **Katalyzátor**

Hodnota se řídí systémem zkratek.

Zkratka	Popis zkratky
Oxidační	Oxidační katalyzátor
NE	Není součástí výfukového systému

Tabulka 7: Zkratky - Katalyzátor

- **Emisní norma**

Hodnota se řídí systémem značení „Euro X“. X definuje číslo normy.

- **Ventilový rozvod**

Hodnota se řídí systémem zkratek.

Zkratka	Popis zkratky
SOHC	Jedna vačková hřídel umístěna v hlavě motoru
DOHC	Dvě vačkové hřídele umístěné v hlavě motoru
OHV	Jedna vačková hřídel umístěna vedle klikové hřídele, ventily ovládány pomocí tyček

Tabulka 8: Zkratky - Ventilový rozvod

- **Uspořádání válců**

Hodnota se řídí systémem názvů.

Název
Řadový
Vidlicový
Dvouřadový
S protilehlými písty
S válci do H
Hvězdicový

Tabulka 9: Seznam - Uspořádání válců

- **Počet válců**

- **Zdvihový objem**

Jednotky (cm³)

- **Kompresní poměr**

V databázi je hodnota „X“ → „1 : X“.

- **Výkon**

Jednotky (kW)

- **Otáčky**

Jednotky (ot/min)

- **Točivý moment**

Jednotky (Nm)

- **Spotřeba**

Jednotky (dm³/100km)

- **Hmotnost vozidla**

Jednotky (kg)

- **Měrná spotřeba paliva na tunu**
Jednotky (dm³/100km.1000kg)
- **Emise**
Jednotky (mg/100km)
- **Rok**
Rok je myšlen tím, kdy se vozidlo s příslušným motorem prodávalo.
- **Měrný výkon**
Jednotky (kW/dm³)
- **Měrný točivý moment**
Jednotky (Nm/dm³)
- **Střední efektivní tlak**
Jednotky (MPa)

5.2 Zadávací formulář nového motoru

Aby zadávání nového motoru bylo pohodlnější a přehlednější, vytvořil jsem jednoduchý zadávací formulář. Formulář je umístěn v listu „Nový motor“. Některé kolonky mají rozevírací seznam s předdefinovanými hodnotami. Formulář se vyplní a klikne se na tlačítko „ULOŽIT“. Data se následně uloží do databáze v listu „KATALOG“.

NOVÝ MOTOR

Výrobce motoru	BMW	
Označení motoru	BMW N8	
Vstříkovací systém	CR	
Přepínování	BIT	
Počet ventilů na válec	4	
Ventilový rozvod	DOHC	
Emisní euro norma	Euro 6	
Filtr pevných částic	DPF	
Selektivní katalytická redukce	ANO	
Katalyzátor	Oxidační	
EGR ventil	ANO	
Uspořádání válců	Řadový	
Počet válců	6	
Zdvihový objem (cm ³)	2998	
Výkon (kW)	250 při otáčkách (ot/min)	4200
Točivý moment (Nm)	750	
Kompresní poměr 1:	15	
Rok	2015	
Spotřeba paliva [dm ³ /100km]	6,7 při hmotnosti vozidla (kg)	1720
Poznámka	Vstříkovací tlak 2400 barů	

ULOŽIT

Obrázek 25: Ukázka zadávacího formuláře pro nový motor

5.3 Databáze

Databáze je složena z velké tabulky, kde ve sloupcích jsou již zmíněné parametry a v řádcích přidané motory. Celá databáze je vyexportována v příloze.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	
1	Výrobce	Označení	Vstříkko	Poznámka	Přep	Počet	Filtr pevných část	Sele	Katalýz	Emisní	Ventil	Uspořá	Počet v	Zdvího	Kompr	Výkon	Otáčky	Trčivý	Spotřel	Hmotn	Měrná	Emise (x)	EGR	Rok	Měrný	Měrný
2	BMW	N47D20 2.0 150kw	CR		2xT	4 DPF	NE	oxidací	Euro 5	DOHC	řadový	4	1995	16	150	4400	400	5,5	1360	4,044118	143,715	ANO	2010	75,18797	200,5013	
3	BMW	BMW M57D30TU2 210kw	CR		2xT	4 DPF	NE	oxidací	Euro 4	DOHC	řadový	6	2993	17	210	4400	580	6,9	1610	4,285714	180,297	ANO	2010	70,16372	193,7855	
4	BMW	N47D20 2.0 130kw	CR		T	4 DPF	NE	oxidací	Euro 5	DOHC	řadový	4	1995	16	130	4000	350	5,3	1330	3,984962	138,489	ANO	2010	65,16291	175,4386	
5	BMW	N57D30 180kw	CR		T	4 DPF	NE	oxidací	Euro 5	DOHC	řadový	6	2993	16,5	180	4000	520	5,7	1535	3,713355	148,941	ANO	2010	60,14033	173,7387	
6	BMW	BMW M57D30TU2 173kw	CR		T	4 DPF	NE	oxidací	Euro 4	DOHC	řadový	6	2993	17	173	4000	500	7,2	1610	4,47205	188,136	ANO	2010	57,80154	160,0565	
7	BMW	N47D20 2.0 105kw	CR		T	4 DPF	NE	oxidací	Euro 5	DOHC	řadový	4	1995	16	105	4000	300	5,3	1330	3,984962	138,489	ANO	2010	52,63158	150,3759	
8	BMW	BMW M57D30TU2 145kw	CR		T	4 DPF	NE	oxidací	Euro 4	DOHC	řadový	6	2993	17	145	3750	400	6,3	1535	4,104235	164,619	ANO	2010	48,44637	133,6452	
9	BMW	N47D20 2.0 85kw	CR		T	4 DPF	NE	oxidací	Euro 5	DOHC	řadový	4	1995	16,5	85	4000	260	4,3	1295	3,20463	112,359	ANO	2010	42,60652	130,3258	
10	BMW	9 3.0 280kw	CR		3xT	4 DPF	NE	oxidací	Euro 6	DOHC	řadový	6	2993	16,5	280	4400	740	6,7	1880	3,56383	175,071	ANO	2015	93,55162	247,2436	
11	BMW	N47D20 2.0 160kw	CR		2xT	4 DPF	NE	oxidací	Euro 5	DOHC	řadový	4	1995	16,5	160	4400	450	4,9	1390	3,52518	128,037	ANO	2015	80,2005	225,5639	
12	BMW	N57D30 3.0 230kw	CR		2xT	4 DPF	NE	oxidací	Euro 6	DOHC	řadový	6	2993	16,5	230	4400	630	6	1560	3,846154	156,78	ANO	2015	76,84597	210,4911	
13	BMW	N47D20 2.0 140kw	CR		T	4 DPF	NE	oxidací	Euro 6	DOHC	řadový	4	1995	16,5	140	4000	400	4,4	1375	3,2	114,972	ANO	2015	70,17544	200,5013	
14	BMW	N47D20 2.0 135kw	CR		T	4 DPF	NE	oxidací	Euro 5	DOHC	řadový	4	1995	16,5	135	4000	380	4,5	1345	3,345725	117,585	ANO	2015	67,66917	190,4762	
15	BMW	N57D30 3.0 190kw	CR		T	4 DPF	NE	oxidací	Euro 5	DOHC	řadový	6	2993	16,5	190	4000	560	4,9	1540	3,181818	128,037	ANO	2015	63,48146	187,1032	
16	BMW	N47D20 2.0 105kw	CR		T	4 DPF	NE	oxidací	Euro 5	DOHC	řadový	4	1995	16,5	105	4000	320	4,4	1320	3,333333	114,972	ANO	2015	52,63158	160,401	
17	BMW	N47D20 1.6 70kw	CR		T	4 DPF	NE	oxidací	Euro 5	DOHC	řadový	4	1598	16,5	70	4000	235	4,1	1310	3,129771	107,133	ANO	2015	43,80476	147,0588	
18	BMW	N47D20 2.0 85kw	CR		T	4 DPF	NE	oxidací	Euro 5	DOHC	řadový	4	1995	16,5	85	4000	260	4,3	1310	3,282443	112,359	ANO	2015	42,60652	130,3258	
19	BMW	BMW M41D17	ŘČ	intercooler	T	2 NE	NE	oxidací	Euro 2	DOHC	řadový	4	1665	22	66	4400	190	6,2	1215	5,102881	162,006	NE	2000	39,63964	114,1141	
20	BMW	BMW M47D20	ŘČ	DDE 3.0 (VP44);	in	T	4 NE	NE	oxidací	Euro 2	DOHC	řadový	4	1951	19	100	4000	280	5,7	1375	4,145455	146,328	NE	2000	51,25577	143,5161
21	BMW	BMW M47D20	ŘČ	DDE 3.0; turbo;	in	T	4 NE	NE	oxidací	Euro 2	DOHC	řadový	4	1951	19	85	4000	265	5,6	1395	4,014337	146,328	NE	2000	43,5674	132,8278
22	BMW	BMW M47D20TU	ŘČ	DDE 4.0; turbo;	in	T	4 NE	NE	oxidací	Euro 2	DOHC	řadový	4	1995	17	110	4000	330	6,3	1377	4,575163	164,619	ANO	2005	55,13784	165,4135
23	BMW	BMW M47D20TU2	CR	variable turbo;	in	T	4 DPF (doplňková)	NE	oxidací	Euro 3	DOHC	řadový	4	1995	17	120	4000	340	5,7	1340	4,257311	148,941	ANO	2005	60,15088	170,4261
24	BMW	BMW M47D20TU2	CR	variable turbo;	in	T	4 DPF (doplňková)	NE	oxidací	Euro 3	DOHC	řadový	4	1995	17	95	4000	280	5,6	1340	4,179104	146,328	ANO	2005	47,61905	140,3509
25	BMW	BMW M47D20TU2	CR	DDE; turbo;	inter	T	4 DPF	NE	oxidací	Euro 3	DOHC	řadový	4	1995	17	90	4000	280	5,8	1340	4,328358	152,91	ANO	2005	45,11278	140,1682
26	BMW	BMW M57D25	CR	DDE 4.0; variable	T	4 NE	NE	oxidací	Euro 3	DOHC	řadový	6	2497	17,5	120	4000	350	7	1705	4,105572	182,91	ANO	2000	48,05767	160,1682	
27	BMW	BMW M57D25TU	CR	DDE 6.0; variable	T	4 NE	NE	oxidací	Euro 3	DOHC	řadový	6	2497	17	130	4000	400	6,7	1585	4,227129	175,071	ANO	2005	52,06247	160,1922	
28	BMW	BMW M57D30	CR	DDE 4.0; variable	T	4 NE	NE	oxidací	Euro 3	DOHC	řadový	6	2926	18	142	4000	410	7,3	1735	4,207493	190,748	ANO	2000	48,53042	140,123	
29	BMW	BMW M57D30	CR	DDE 4.0; variable	T	4 NE	NE	oxidací	Euro 3	DOHC	řadový	6	2926	18	135	4000	390	6,6	1520	4,342105	172,458	ANO	2000	46,13807	133,2878	
30	BMW	BMW M57D30TU	CR	DDE 6.0; 2x turbo;	2xT	4 NE	NE	oxidací	Euro 3	DOHC	řadový	6	2993	16,5	200	4000	560	8	1660	4,819277	209,04	ANO	2005	66,2259	187,1032	
31	BMW	BMW M57D30TU	CR	DDE 5.0; variable	T	4 NE	NE	oxidací	Euro 3	DOHC	řadový	6	2993	17	160	4000	500	6,9	1566	4,40613	180,297	ANO	2005	53,45807	167,0565	
32	BMW	BMW M57D30TU	CR	DDE 4.0; variable	T	4 NE	NE	oxidací	Euro 3	DOHC	řadový	6	2993	17	150	4000	410	6,6	1540	4,285714	172,458	ANO	2005	50,11694	136,9863	
33	BMW	BMW M57D30TU2	CR	DDE 6.0; variable	T	4 DPF	NE	oxidací	Euro 3	DOHC	řadový	6	2993	17	170	4000	500	6,5	1540	4,220779	169,845	ANO	2005	56,79952	167,0565	
34	BMW	BMW M67D40	CR	Bosch DDE 4.1; 2x	2xT	4 NE	NE	oxidací	Euro 3	DOHC	vidlicový	8	3901	18	180	4000	560	9,8	1960	5	256,074	ANO	2000	46,14201	143,5529	
35	BMW	BMW M67D40TU	CR	Bosch DDE 5; 2x v	2xT	4 NE	NE	oxidací	Euro 3	DOHC	vidlicový	8	3901	18	190	4000	600	9,8	2015	4,863528	256,074	ANO	2005	48,70546	153,8067	
36	BMW	BMW M67D44	CR	Bosch DDE 6; 2x v	2xT	4 NE	NE	oxidací	Euro 3	DOHC	vidlicový	8	4423	17	220	4000	700	9,5	2110	4,50237	248,235	ANO	2005	49,74	158,2636	
37	Daimler-Benz	Daimler-Benz OM 628 DE 4l	CR	Common-Rail díř	2xT	4 NE	NE	oxidací	Euro 3	DOHC	vidlicový	8	3996	18	184	4000	560	9,6	1920	5	250,840	ANO	2000	46,04605	140,1401	
38	Daimler-Benz	Daimler-Benz OM 628 DE 4l	CR	Common-Rail díř	2xT	4 NE	NE	oxidací	Euro 3	DOHC	vidlicový	8	3996	18	191	4000	560	9,4	1760	5,340909	245,622	ANO	2005	47,7978	140,1401	
39	Daimler-Benz	Daimler-Benz OM 628 DE 4l	CR	intercooler	2xT	4 NE	NE	oxidací	Euro 3	DOHC	vidlicový	8	3996	18	184	4000	560	12,8	2510	5,099602	234,464	ANO	2005	46,04605	140,1401	
40	Daimler-Benz	Daimler-Benz OM 629 DE 4l	CR	Common-Rail díř	2xT	4 DPF	NE	oxidací	Euro 4	DOHC	vidlicový	8	3996	17,5	231	3600	730	9,3	1815	5,123967	243,009	ANO	2005	57,80781	182,6827	
41	Daimler-Benz	Daimler-Benz OM 629 DE 4l	CR	Common-Rail díř	2xT	4 DPF	NE	oxidací	Euro 4	DOHC	vidlicový	8	3996	16,7	235	3600	730	9,1	2075	4,385542	237,783	ANO	2010	58,80881	182,6827	
42	Daimler-Benz	Daimler-Benz OM 629 DE 4l	CR	Common-Rail díř	2xT	4 DPF	NE	oxidací	Euro 4	DOHC	vidlicový	8	3996	17	225	3600	700	10,6	2240	4,732143	276,978	ANO	2010	56,30631	175,1752	
43	Daimler-Benz	Daimler-Benz OM 630 DE 4l	CR	Common-Rail díř	2xT	4 DPF (doplňková)	NE	oxidací	Euro 4	DOHC	řadový	4	1991	18	103	4200	300	5,4	1245	4,337348	141,102	ANO	2005	53,7328	150,6781	

Obrázek 26: Ukázka katalogu

6 Výkonové trendy

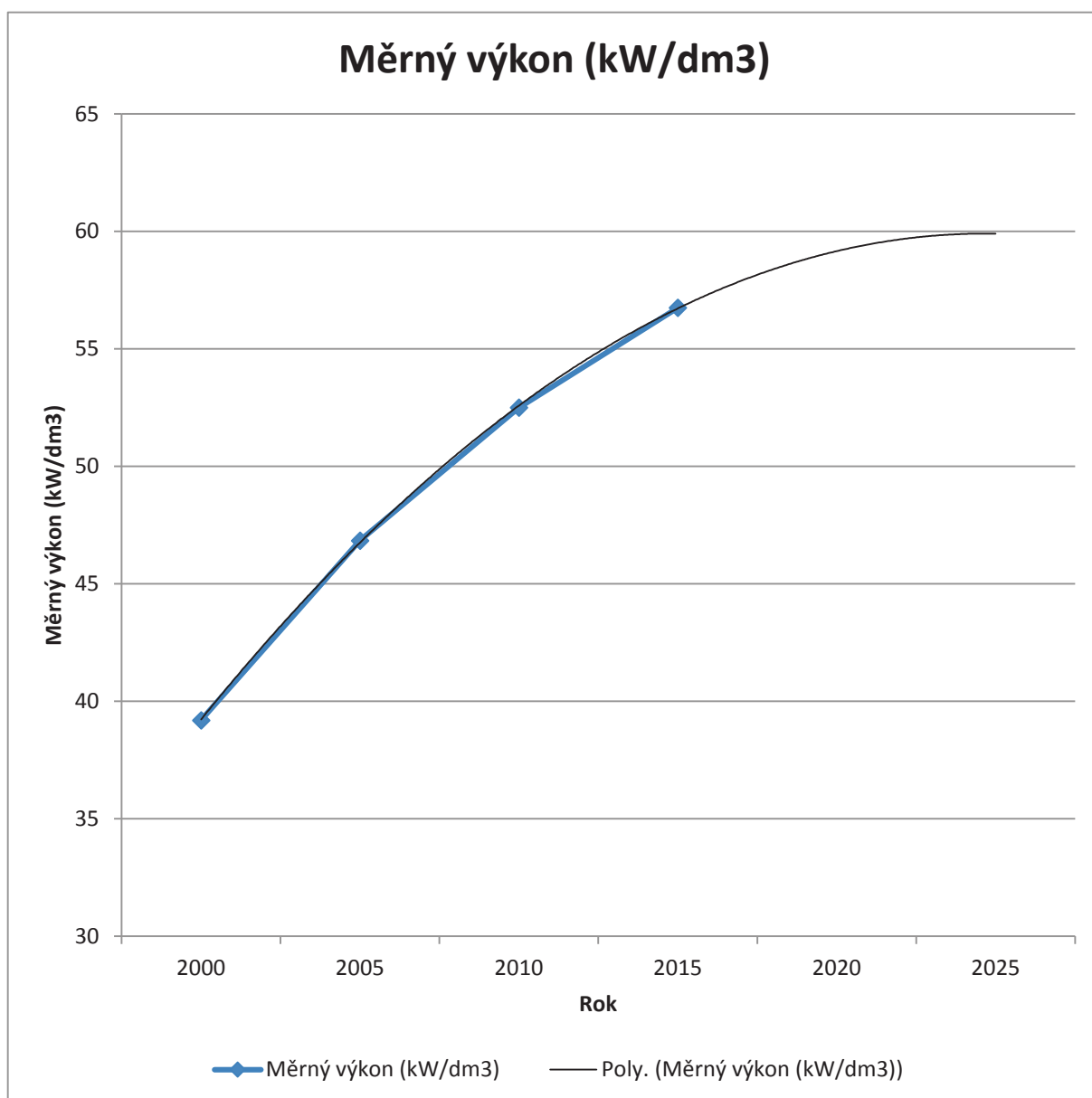
V této kapitole jsou vybrány hodnoty z databáze vyhodnoceny graficky. Většina grafů je vytvořena pomocí kontingenční tabulky, ze které se dá vybrat mnoho dat. Kontingenční tabulka je navázána na katalog a je umístěna v listě „Kontingenční tabulka“.

Data, která jsou vztažena na rok, jsou vytvořena pomocí průměru z daného roku, či počtu v daném roce.

V některých grafech jsem použil prognózu do budoucna pomocí polynomické spojnice trendu druhého, či třetího stupně. Prognóza má za úkol odhadnout hodnoty v následujících deseti letech.

Jako přílohu tvoří grafy, které se nevešly do bakalářské práce. Grafy nejsou vyhodnocovány dle průměrných hodnot, ale jsou vyhodnocovány dle jednotlivých motorů v katalogu.

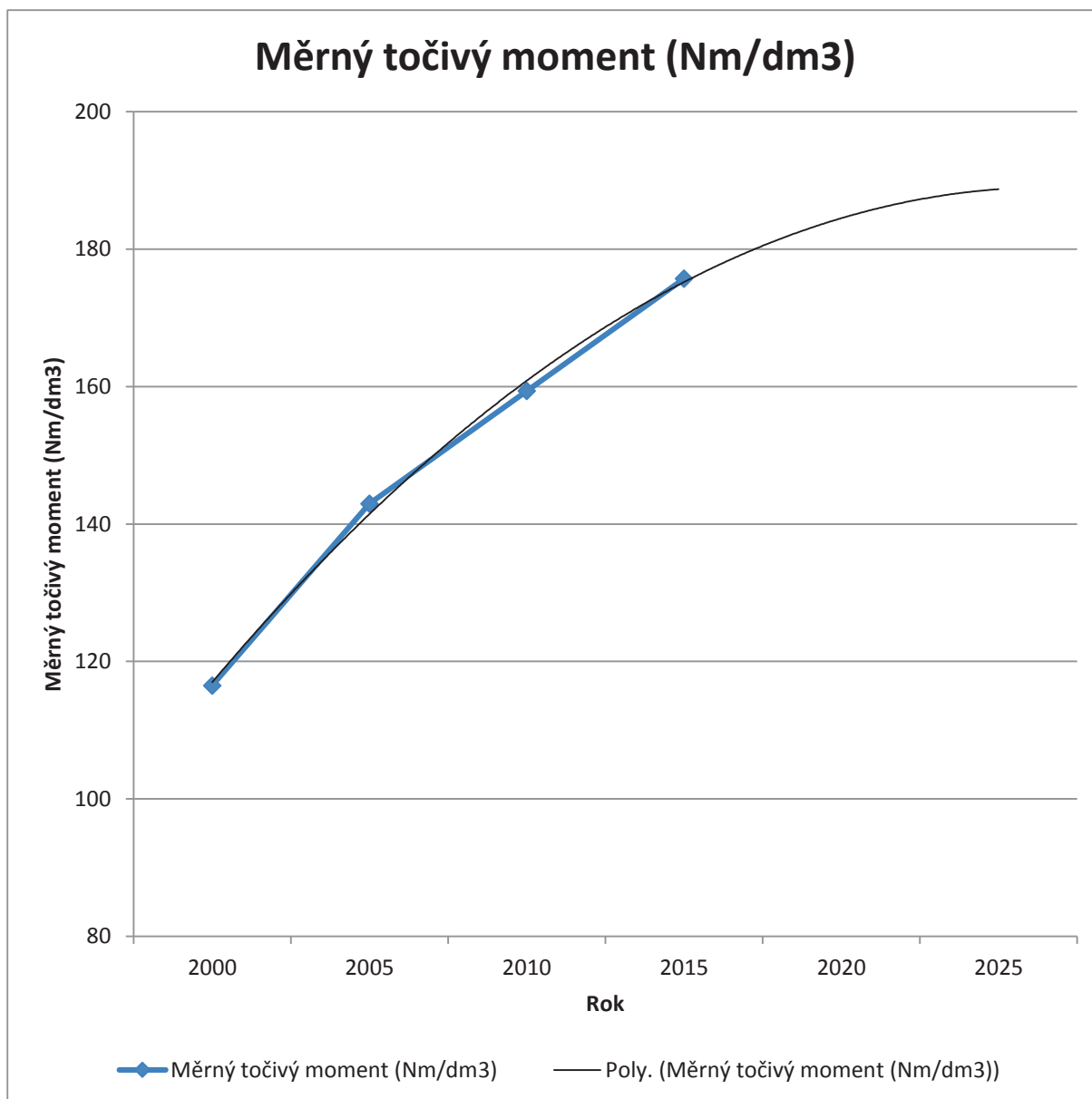
6.1 Měrný výkon



Graf 3: Měrný výkon

Z grafu lze usoudit, že nárůst měrného výkonu je za posledních 15 let znatelný. Měrný výkon je o 44,8% navýšen. Průběh není lineární, ale postupně klesající. V roce 2010 byl velmi mírný pokles růstu. Podle polynomicke spojnice lze odhadnout, že v roce 2025 by se hodnota měla relativně ustálit na 60 kW/dm³.

6.2 Měrný točivý moment

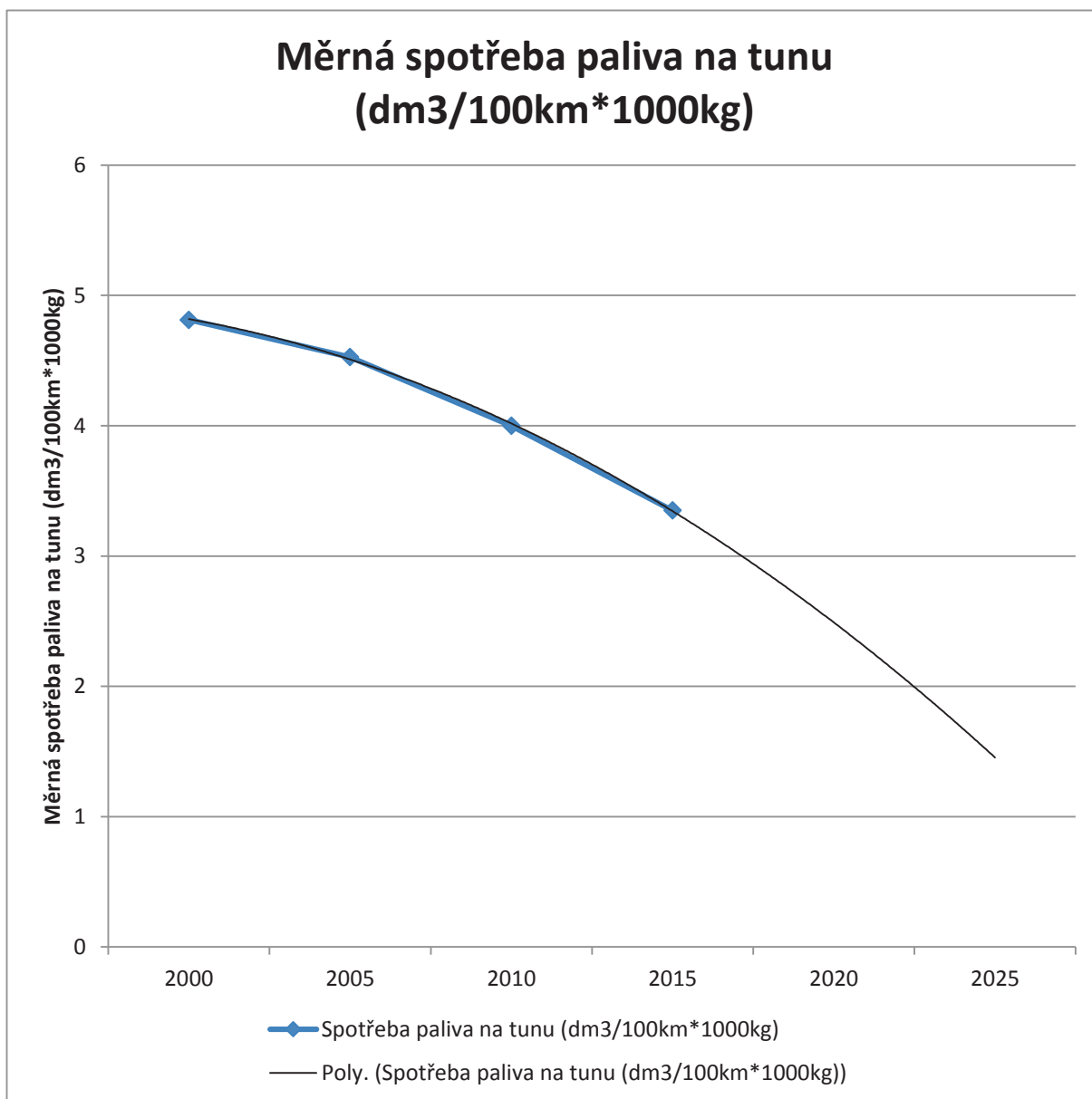


Graf 4: Měrný točivý moment

Grafický výstup měrného točivého momentu je identický se středním efektivním tlakem. Jedná se pouze o přenásobenou hodnotu konstantou. Je zde opět vidět znatelný nárůst téměř o 51%. Točivý moment se zvyšuje zejména s vyššími tlaky přepřehování. V roce 2005 byl nárůst nejvyšší.

Z polynomicke spojnice lze předvídat, že v roce 2025 by měl být měrný točivý moment přibližně 190Nm/dm³.

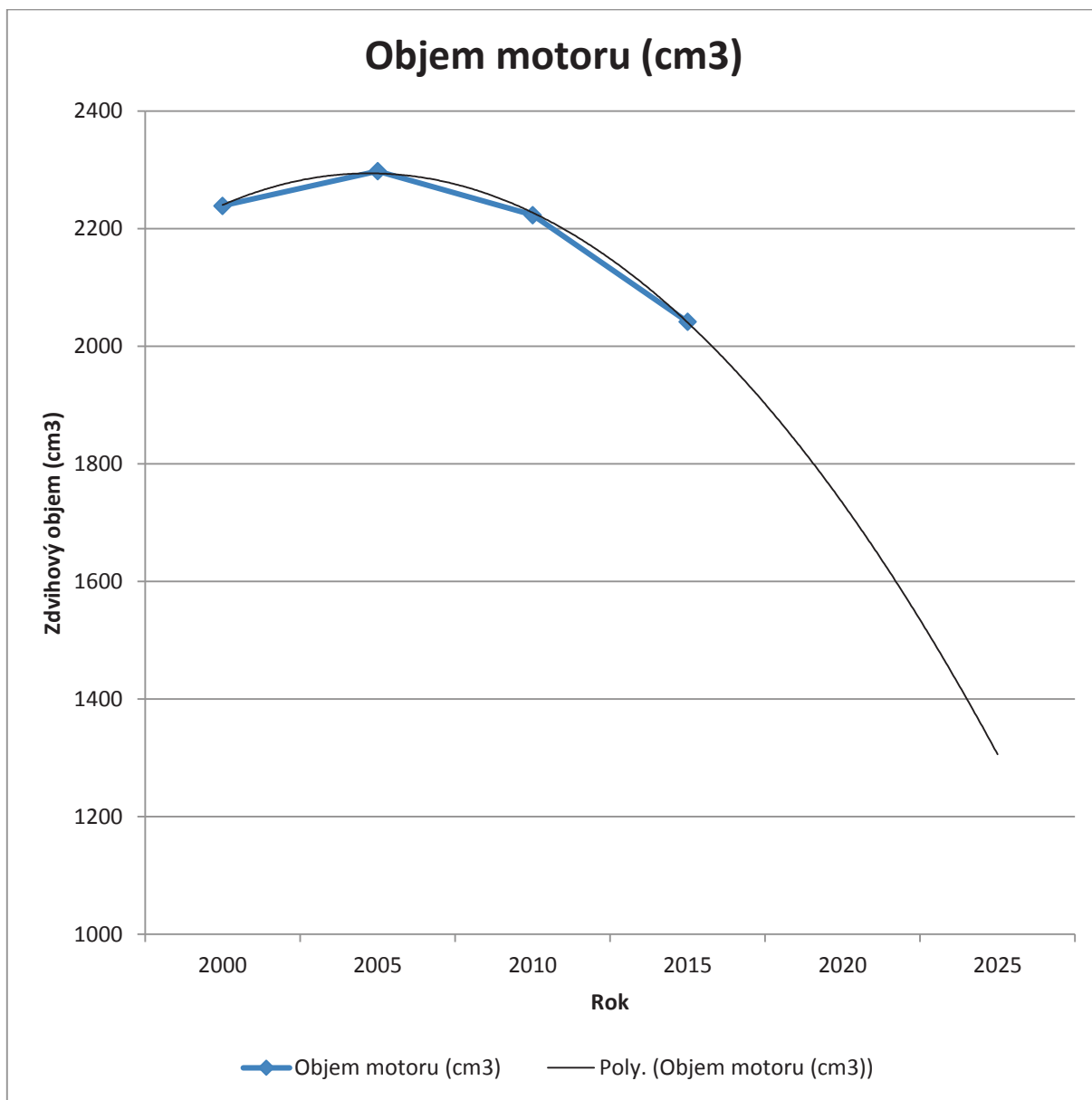
6.3 Měrná spotřeba paliva na tunu vozidla



Graf 5: Měrná spotřeba na tunu

Z grafu je patrná klesající spotřeba pohonných hmot. Ačkoliv zanedbávám některé odporové síly, tak výsledek je vyhovující. Trend se relativně rychle snižuje až na hodnotu $3,35 \text{ dm}^3/100\text{km} \cdot 1000\text{kg}$. Spotřeba se snížila o 30% za posledních 15 let, což je velmi dobrá hodnota. Otázkou je, zda polynomičtý odhad je správný, jelikož bychom se dostali na hodnotu okolo $1,5 \text{ dm}^3/100\text{km} \cdot 1000\text{kg}$. U této hodnoty nelze potvrdit, zda je fyzikálně možná.

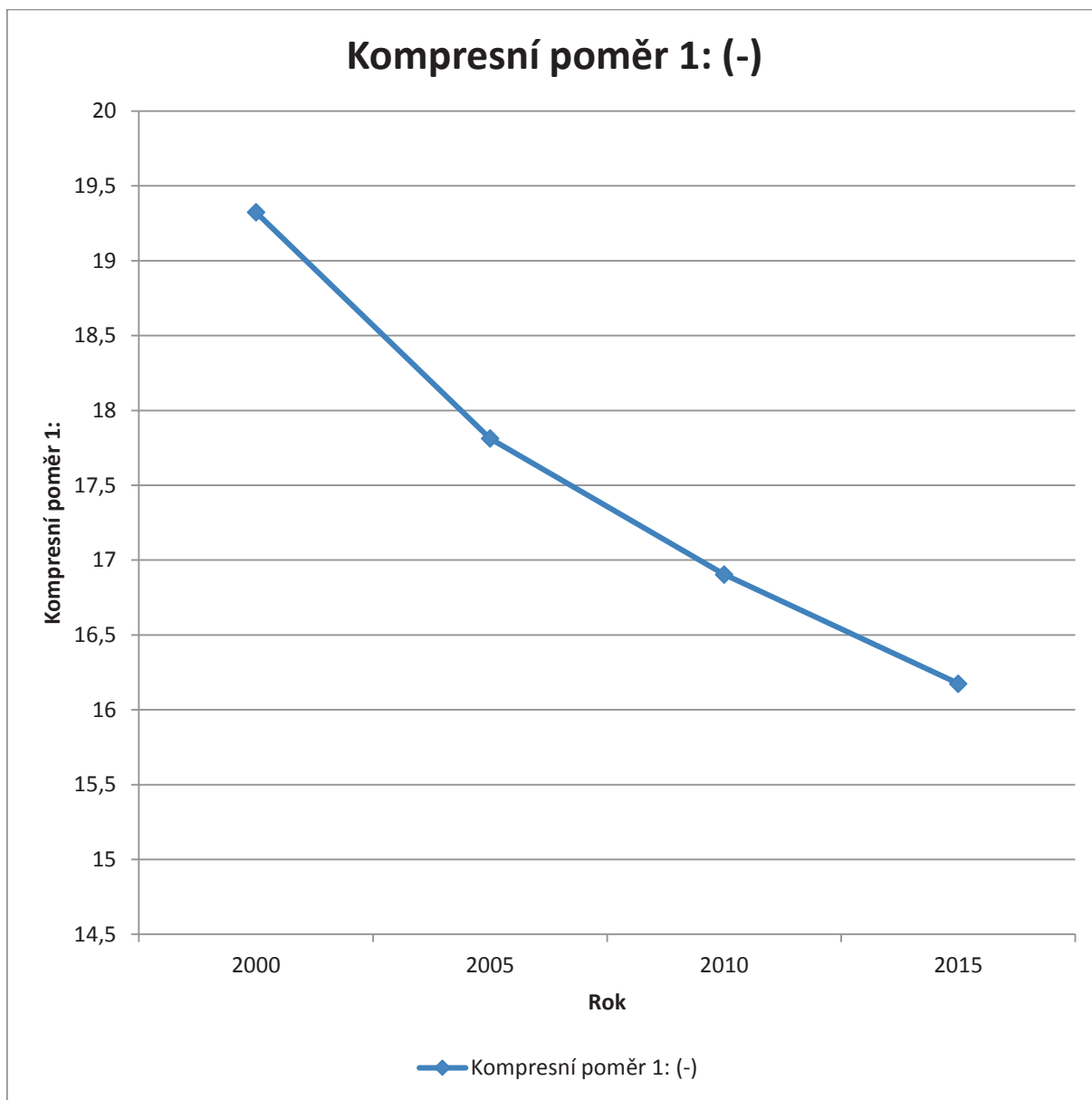
6.4 Zdvihový objem motoru



Graf 6: Objem motoru

Průměrný zdvihový objem má také zajímavý průběh. V roce 2005 byla hodnota nejvyšší. Následně poté průběh klesal. Domníval jsem se, že pokles bude znatelnější. Polynomická spojnice ukazuje strmý pokles. V roce 2025 by průměrný zdvihový objem měl být okolo 1250 cm³. Tímto se potvrdilo uplatnění „dowsizingu“ u vznětových motorů.

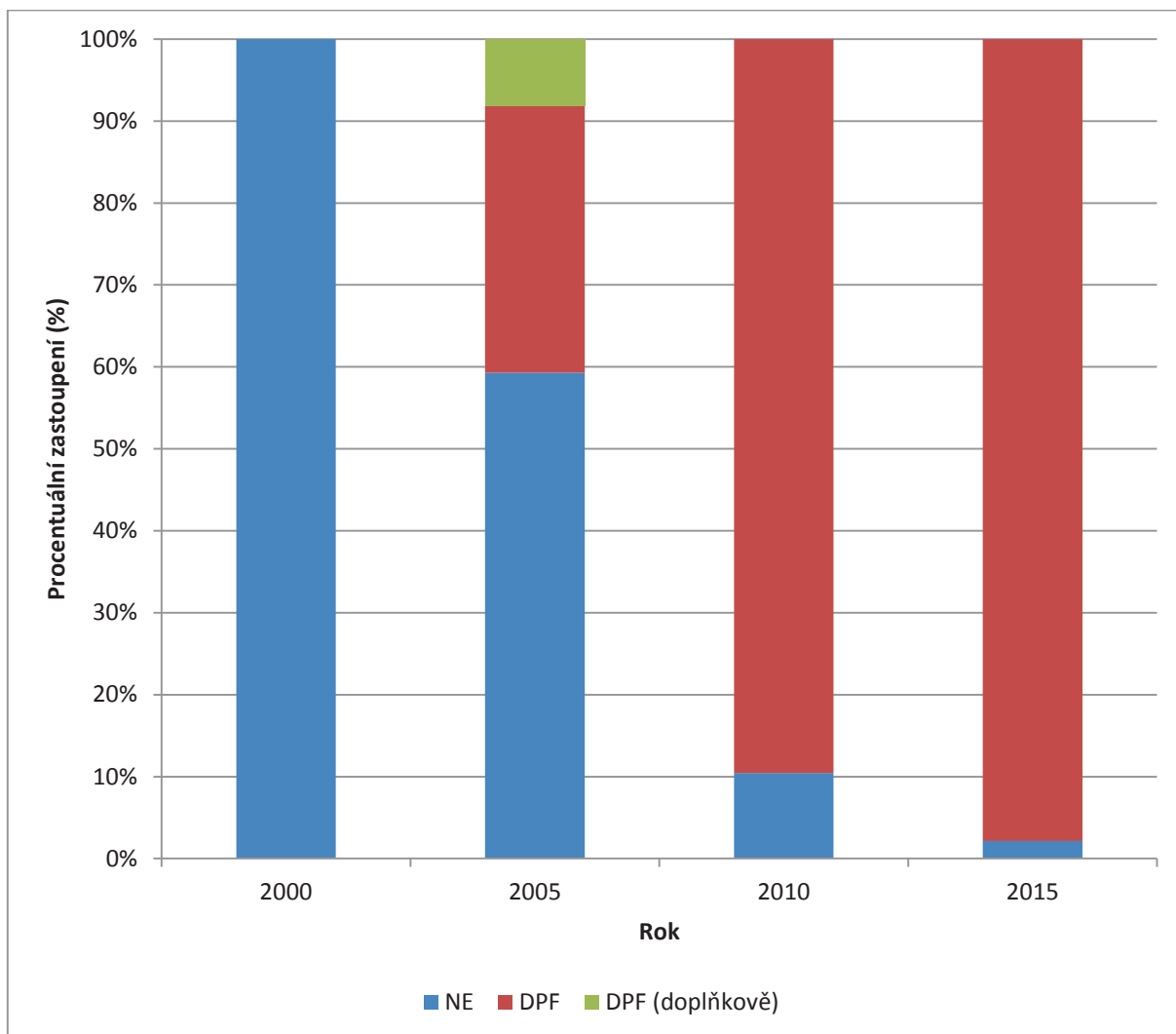
6.5 Kompresní poměr



Graf 7: Kompresní poměr

Grafický výstup s kompresním poměrem je očekávatelný. Každých pět let se zvyšoval přeplňovací tlak, v důsledku toho se musel snižovat kompresní poměr. Kompresní poměr ztelně klesá. Z hodnoty 1:19,3 až na hodnotu 1:16,2. Je zajímavé, že pokles v roce 2005 byl nejznatelnější.

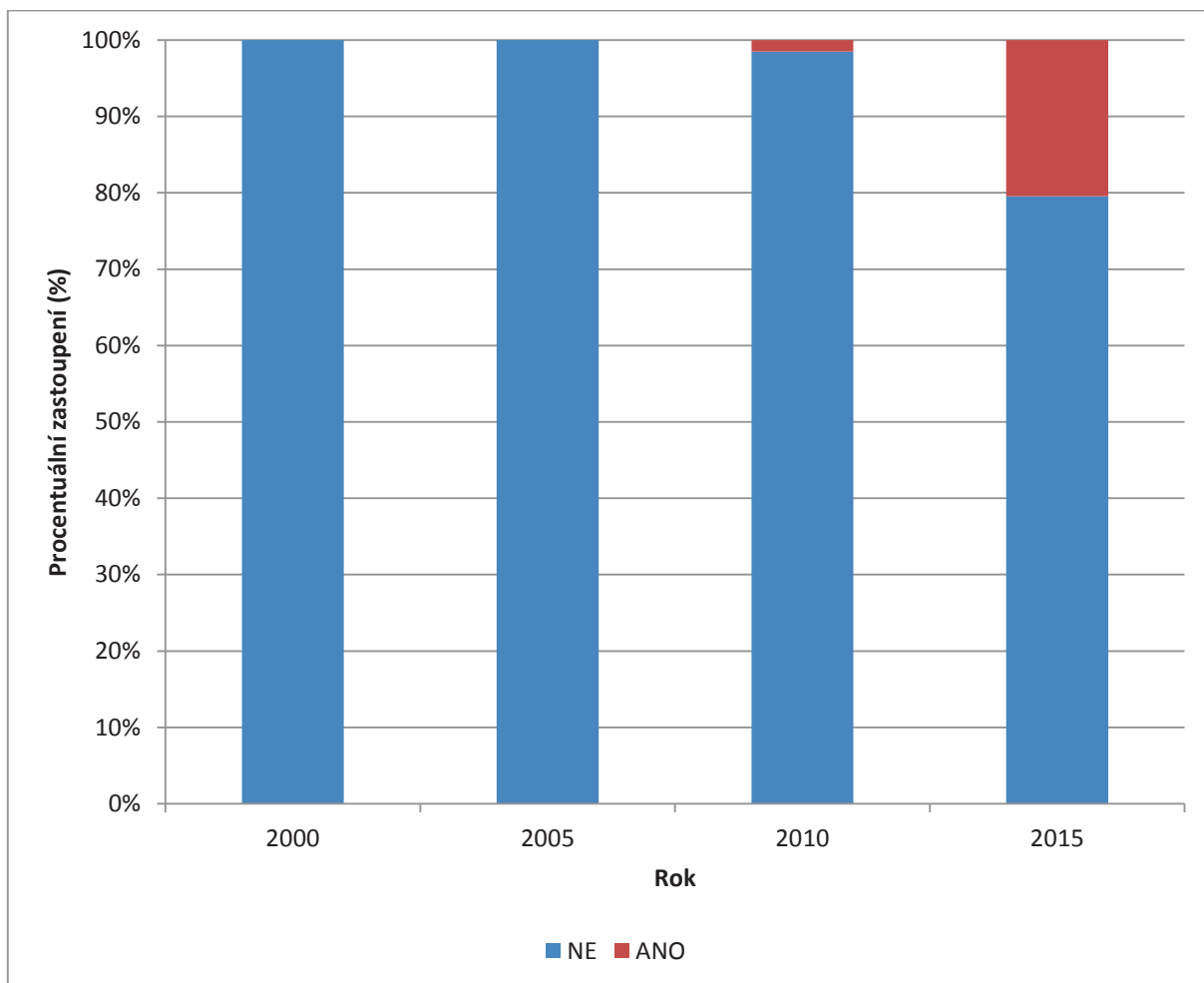
6.6 Filtr pevných částic



Graf 8: Filtr pevných částic

Ze skládaného sloupcového 100% grafu je vidět procentuální zastoupení jednotlivých hodnot. V roce 2000 žádné vozidlo nemělo filtr pevných částic. V následujících pěti letech se hodnota zvýšila na relativně vysoké číslo 41%. V roce 2010 filtr pevných částic převládá s 89% a v dalším pětiletí ho má téměř každý motor.

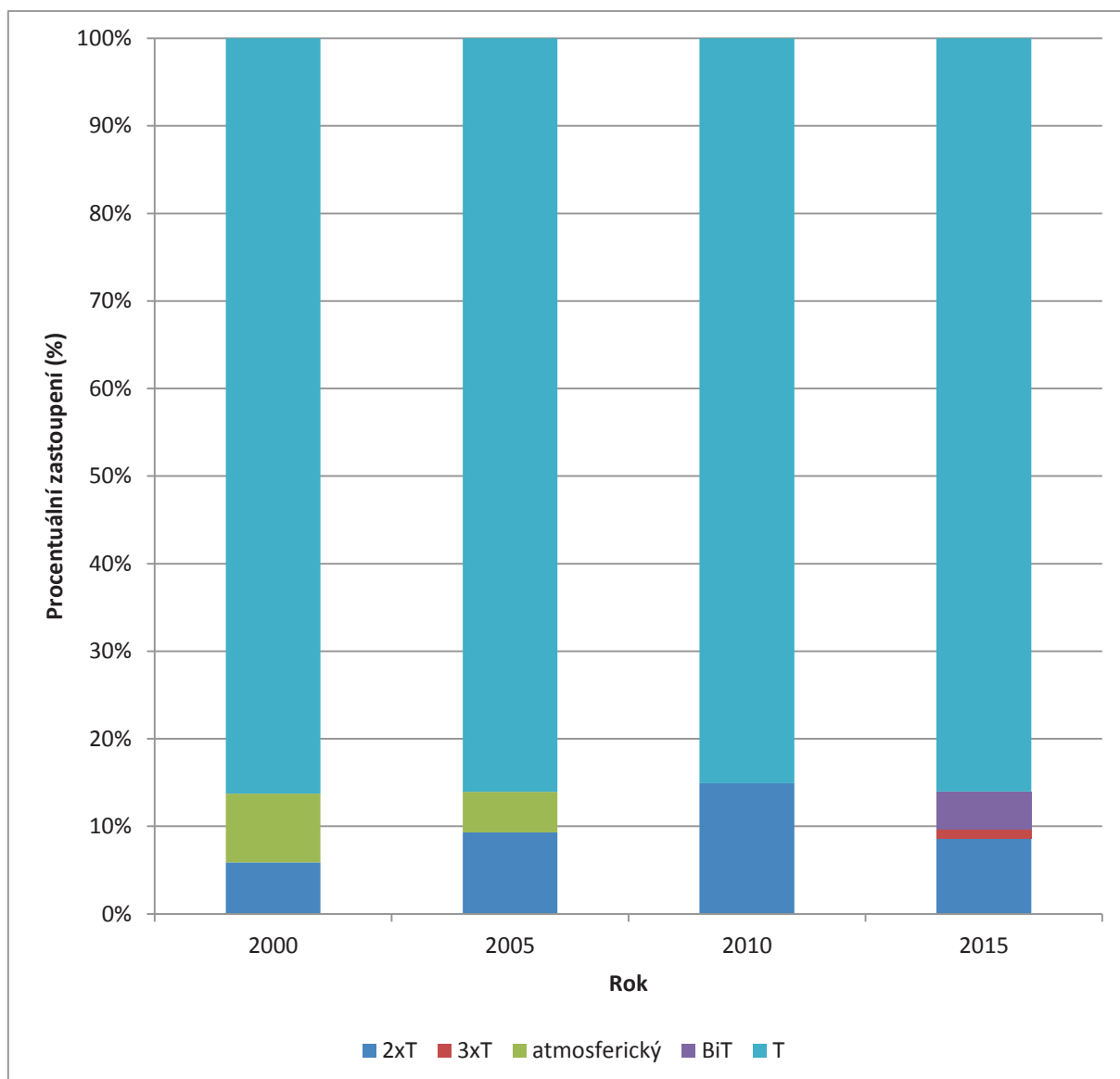
6.7 Selektivní katalytická redukce



Graf 9: Selektivní katalytická redukce

Z grafu lze předvídat, že v následujících letech bude narůstat četnost selektivní katalytické redukce. V prvních deseti letech žádný motor neměl systém SCR. V roce 2010 automobilka Daimler-Benz vybavila malým množstvím motorů selektivní katalytickou redukcí. Za posledních pět let se podíl vozidel s tímto systémem zvýšil na 20%. V budoucnu bude průběh zřejmě stejný jako u filtru pevných částic.

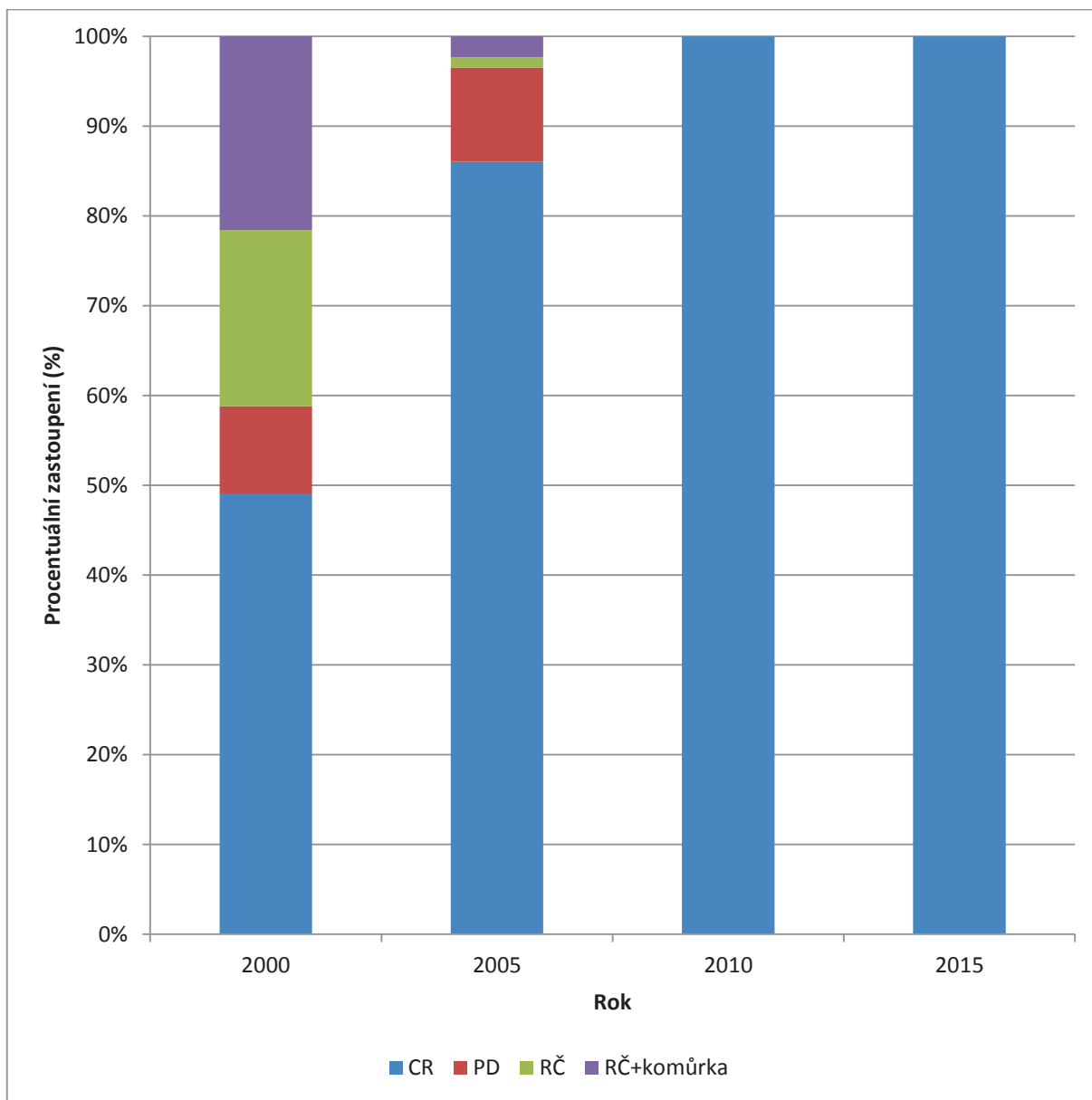
6.8 Přepřňování



Graf 10: Přepřňování

Z grafu lze jasně vidět převahu jednoho turbodmychadla. Je zajímavé, že v každém období je podíl ustálen okolo hodnoty 85%. Zatímco jedno turbodmychadlo je ustáleno v každém období, tak ve zbylých 15% se prodělaly značné změny. V roce 2000 se atmosférické motory objevovaly pouze s 8 % zastoupením. V dalších pěti letech se snížily na 4%. V následujících 10 letech již žádné nejsou. Četnost použití motorů se dvěma turbodmychadly roste až do roku 2010. V roce 2015 je patrný pokles a diferenci vyplnila tři turbodmychadla a biturbo. Je zřejmé, že šesti a více válcové motory mají místo dvou turbodmychadel tři nebo biturbo.

6.9 Konstrukce vstřikování



Graf 11: Konstrukce vstřikování

V roce 2000 bylo využíváno více druhů vstřikovacích systémů. Téměř 50 % je common rail, dále 21% rotační čerpadlo s nepřímým vstřikem. O procento méně má opět rotační čerpadlo, ale s přímým vstřikem. Zbytek s nejmenším zastoupením je sdružený vstřikovač. V roce 2005 došlo k úbytku podílu rotačních čerpadel a mírnému zvýšení v používání sdruženého vstřikovače. Většinový zbytek tvoří common rail s téměř 86%. V dalších 10 letech je 100 % common rail.

Závěr

Po seznámení s konstrukcí vznětových pístových spalovacích motorů mohu říci, že za posledních patnáct let se vstřikovací systémy vyvíjely zejména zvyšováním vstřikovacích tlaků. V posledních letech se vstřikovací systém ustálil na jednom typu, který je z hlediska konstrukce jednoduchý, z pohledu ekologie optimální. Ve vývoji přeplňování došlo v posledních letech k výraznému posunu. Zde je vidět zlepšení konstrukce turbodmychadel, vyvíjení vícenásobných turbodmychadel, zlepšení jejich účinnosti, spolehlivosti a zvyšování přeplňovacích tlaků. Dalším výrazným vývojem prošel výfukový systém, který v současné době umožňuje zredukovat téměř všechny nebezpečné látky ve výfukových plynech.

Součástí mé práce je katalog vznětových motorů osobních vozidel za posledních 15 let. Jedná se o vybrané motory světových výrobců. Katalog obsahuje vybrané konstrukční a provozní parametry. Tyto parametry jsem vyhodnotil v závislosti na čase, stanovil trendy vývoje parametrů a provedení motorů. Výsledkem je soustava grafů ukazující uplatnění „downsizingu“ u vznětových automobilových motorů. V grafech je znázorněn odhad budoucího vývoje výše zmíněných parametrů.

Zdroje

Monografie:

- [1] BEROUN, Stanislav a Celestýn SCHOLZ. *Základy automobilové techniky*. Mladá Boleslav: ŠkodaAuto Vysoká škola, 2003, 198 s. ISBN 80-239-0659-3.
- [2] Ralf Isenburg, Micha Münzrmay. *Systém vstřikování nafty s tlakovým zásobníkem Common Rail*. Praha : Robert Bosch GmbH, 1999. ISBN 80-902585-6-5
- [3] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. Praha: Sobotáles, 2001, 629 s. ISBN 80-859-2076-X.
- [4] Milan Apetaur. *Automobilismus v 21. století*. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2002. ISBN 978-80-86706-17-7.

www stránky:

- [5] BiTurbo in 176 kW VW 2.0 TDI . *youtube.com*. [online]. 22.9.2014 [cit. 2015-02-07]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=iL5IYWUSNPk>
- [6] Bosch Common Rail. *BOSCH* [online]. [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://www.bosch.com/en/com/home/index.php>
- [7] Co je EGR ventil?. *karlservice.cz*. [online]. 10.10.2013 [cit. 2015-02-08]. Dostupné z: <http://www.karlservice.cz/service/mdl/info/co-je-egr-ventil>
- [8] Diesel Cycle. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_cycle
- [9] Dittrich, Lukáš. Common Rail: systému čerpadlo-tryska odzvonilo. *ZaVolantem.cz*. [Online] 09. 09 2008. [cit. 20. 04 2015.] <http://www.zavolantem.cz/clanky/common-rail-systemu-čerpadlo-tryska-odzvonoilo>. ISSN 1803-0084.
- [10] EGR valve diagram. <http://mdhmotors.com>. [online]. ? [cit. 2015-02-08]. Dostupné z: <http://mdhmotors.com/emissions-system-diagnosis/egr-valve-diagram/>

- [11] Funkce DPF. *Dpf-ftg.cz* [online]. [2015]. [cit. 2015-04-03]. Dostupné z: <http://www.dpf-ftg.cz/funkce-dpf/>
- [12] Internal combustion engine with adaptive control of compression ratio . *google.com/patents*. [online]. 26.10.1993 [cit. 2015-02-06]. Dostupné z: <http://www.google.com/patents/US5255637>
- [13] Jaguar XJ 2.7 Diesel (2006). *Netcarshow.com* [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: http://www.netcarshow.com/jaguar/2006-xj_2.7_diesel/
- [14] Obrázek. *trucktrend.com*. [online]. [2014] [cit. 2015-02-07]. Dostupné z: http://image.trucktrend.com/f/tech/1108dp_borgwarners_new_efr_turbochargers/33594808/1108dp_01+forced_performance+turbo_cut_away.jpg
- [15] OLIVÍK, Pavel. *Mechanické dmyhadlo: silné plíce* [online]. 19.11.2011. [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/mechanicke-dmyhadlo-silne-plice>
- [16] PALIVOVÉ SOUSTAVY VZNĚTOVÝCH MOTORŮ. *ssamp-krnov.cz*. [online]. [2012] [cit. 2015-02-06]. Dostupné z: <http://www.ssamp-krnov.cz/download/pal.pdf>
- [17] Pawel Zal. Automobile Catalog. *Automobile Catalog*. [online]. © 2010-2015 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.automobile-catalog.com>
- [18] R. SCHAEFFER, Allen. What is SCR. *Dpf-ftg.cz* [online]. [2015]. [cit. 2015-04-06]. Dostupné z: <http://www.dieselforum.org/about-clean-diesel/what-is-scr->
- [19] SAJDL, Jan. Katalyzátor. *Autolexicon.net* [online]. 12.4.2011. [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/katalyzator/>
- [20] SEIDEL, Jan. Downsizing motoru. *Autolexicon.net* [online]. 4.4.2011. [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/downsizing-motoru/>
- [21] SEIDEL, Jan. *SCR (Selective Catalytic Reduction)* [online]. © 2015. [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/scr-selective-catalytic-reduction/>

- [22] SHOLZ Ceselstýn. Moderní systémy vstřikování paliva vhodné pro vznětové motory. *ČVÚT* [online]. [2008]. [cit. 2015-04-03]. Dostupné z: http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2008/2008_021_01.pdf
- [23] UMICORE © 2015. *Catalytic converter* [online]. © 2015. [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://www.preciousmetals.umicore.com/recyclables/SAC/catalyticconverter/>
- [24] VGT TECHNOLOGY. automotive technologies. [online]. 7.9.2010 [cit. 2015-02-07]. Dostupné z: <http://akhilrajadhanaraj.blogspot.cz/2010/09/vgt-technology.html>
- [25] Video: Jak funguje tri-turbo motor BMW. auto.cz. [online]. 28.2.2012 [cit. 2015-02-07]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/bmw-video-jak-funguje-tri-turbo-motor-65259>
- [26] Vliv automobilové dopravy na životní prostředí. *envi.upce.cz*. [online]. [2014] [cit. 2015-02-05]. Dostupné z: http://envi.upce.cz/pisprace/ks_pha/kovarikova.pdf
- [27] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_engine

Seznam grafů

Graf 1: Dieselův cyklus [8]	17
Graf 2: p-v diagram přeplňovaný/nepřeplňovaný motor.....	28
Graf 3: Měrný výkon.....	47
Graf 4: Měrný točivý moment.....	48
Graf 5: Měrná spotřeba na tunu.....	49
Graf 6: Objem motoru.....	50
Graf 7: Kompresní poměr	51
Graf 8: Filtr pevných částic.....	52
Graf 9: Selektivní katalytická redukce	53
Graf 10: Přeplňování.....	54
Graf 11: Konstrukce vstřikování	55

Seznam tabulek

Tabulka 1: Typy Common Rail systémů.....	25
Tabulka 2: Zkratky - Vstřikovací systém.....	41
Tabulka 3: Zkratky - Přeplňování	41
Tabulka 4: Zkratky - Filtr pevných částic	42
Tabulka 5: Zkratky - Selektivní katalytická redukce	42
Tabulka 6: Zkratky - EGR ventil.....	42
Tabulka 7: Zkratky - Katalyzátor.....	42
Tabulka 8: Zkratky - Ventilový rozvod.....	43
Tabulka 9: Seznam - Uspořádání válců.....	43

Seznam obrázků

Obrázek 1: Dieselův motor [27].....	13
Obrázek 2: Rudolf Diesel [27].....	13
Obrázek 3: Vývoj downsizingu [20].....	14
Obrázek 4: Motor s pozicemi [13].....	18
Obrázek 5: Řadové vstřikovací čerpadlo [3].....	20
Obrázek 6: Pístek řadového vstřikovacího čerpadla.....	20
Obrázek 7: Rotační vstřikovací čerpadlo s rozdělovačem paliva [3].....	21
Obrázek 8: Funkce pístu [3].....	21
Obrázek 9: Rotační vstřikovací čerpadlo s radiálními písty [3].....	22
Obrázek 10: Sdružená vstřikovací jednotka [3].....	23
Obrázek 11: Funkce vstřikovací jednotky [3].....	24
Obrázek 12: Common Rail systém [6].....	26
Obrázek 13: Vstřikovač a funkce Common Rail [3].....	26
Obrázek 14: Vícefázový vstřík [3].....	27
Obrázek 15: Rootsovo dmychadlo [15].....	29
Obrázek 16: Řez turbodmychadlem [14].....	30
Obrázek 17: Řez turbodmychadlem - regulace pomoci natáčení lopatek [24].....	31
Obrázek 18: Biturbo TDi VW [5].....	32
Obrázek 19: Triturbo BMW [25].....	32
Obrázek 20: EGR ventil [10].....	33
Obrázek 21: Řez oxidačním katalyzátorem [23].....	34
Obrázek 22: Filtr pevných částic [11].....	35
Obrázek 23: Selektivní katalytická redukce [18].....	36
Obrázek 24: Výfukový systém [21].....	37
Obrázek 25: Ukázka zadávacího formuláře pro nový motor.....	44
Obrázek 26: Ukázka katalogu.....	45

Seznam příloh

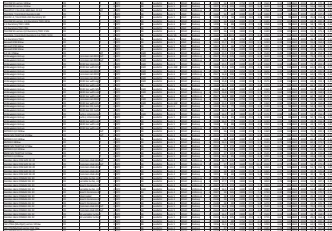
1. Katalog v tištěné formě
2. Souhrn grafů
3. DVD, kde se nachází bakalářská práce v PDF souboru, katalog v PDF souboru, excelový soubor s programem pro zadávání nových motorů, katalog, interaktivní kontingenční tabulka a grafy.

Bakalarska-prace_2015_Matej_Filip.pdf

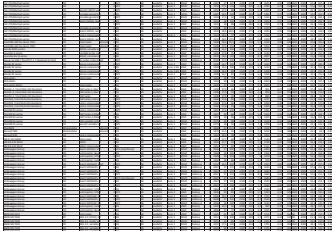
Katalog_2015_Matěj_Filip.pdf

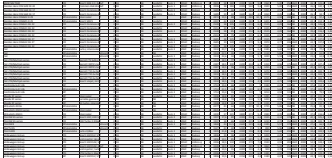
Katalog_2015_Matěj_Filip.xlsm

Označení	Vstříkovací systém	Poznámka	Přepřehování	Počet ventilů na válec	Filtr pevných částic	Selektivní katalytická redukce	Katalyzátor	Emisní norma	Ventilový rozvod	Uspořádání válců	Počet válců	Zdvihový objem motoru (cm3)	Kompresní poměr 1: (-)	Výkon (kW)	Otáčky při efektivním výkonu (ot/min)	Točivý moment (Nm)	Spotřeba (l/100km)	Hmotnost vozidla (kg)	Měrná spotřeba paliva na tunu (dm3/100km*1000kg)	Emise (mg/100km)	EGR ventil	Rok	Měrný výkon (kW/dm3)	Měrný točivý moment (Nm/dm3)	Střední efektivní tlak (MPa)
9 3,0 280kw	CR		3xT	4	DPF	NE	oxidační	Euro 6	DOHC	Řadový	6	2993	16,5	280	4400	740	6,7	1880	3,56	175	ANO	2015	93,6	247,2	3,11
N47D20 2,0 160kw	CR		2xT	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1995	16,5	160	4400	450	4,9	1390	3,53	128	ANO	2015	80,2	225,6	2,83
N57D30 3,0 230kw	CR		2xT	4	DPF	NE	oxidační	Euro 6	DOHC	Řadový	6	2993	16,5	230	4400	630	6	1560	3,85	157	ANO	2015	76,8	210,5	2,64
N47D20 2,0 140kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 6	DOHC	Řadový	4	1995	16,5	140	4000	400	4,4	1375	3,20	115	ANO	2015	70,2	200,5	2,52
N47D20 2,0 135kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1995	16,5	135	4000	380	4,5	1345	3,35	118	ANO	2015	67,7	190,5	2,39
N57D30 3,0 190kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	6	2993	16,5	190	4000	560	4,9	1540	3,18	128	ANO	2015	63,5	187,1	2,35
N47D20 2,0 105kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1995	16,5	105	4000	320	4,4	1320	3,33	115	ANO	2015	52,6	160,4	2,01
N47D20 1,6 70kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1598	16,5	70	4000	235	4,1	1310	3,13	107	ANO	2015	43,8	147,1	1,85
N47D20 2,0 85kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1995	16,5	85	4000	260	4,3	1310	3,28	112	ANO	2015	42,6	130,3	1,64
Daimler-Benz OM651 DE 22 Hybrid 170kw	CR		2xT	4	DPF	ANO	oxidační	Euro 6	DOHC	Řadový	4	2143	16,2	170	4200	540	3,8	1960	1,94	99	ANO	2015	79,3	252,0	3,16
Daimler-Benz OM651 DE 22 150kw	CR		T	4	DPF	ANO	oxidační	Euro 6	DOHC	Řadový	4	2143	16,2	150	3800	500	5	1630	3,07	131	ANO	2015	70,0	233,3	2,93
Daimler-Benz OM642 LS DE 30 190kw	CR		T	4	DPF	ANO	oxidační	Euro 6	DOHC	Vidlicový	6	2987	15,5	190	3400	620	6,1	1880	3,24	159	ANO	2015	63,6	207,6	2,61
Daimler-Benz OM651 DE 22 125kw	CR		T	4	DPF	ANO	oxidační	Euro 6	DOHC	Řadový	4	2143	16,2	125	4000	400	4,6	1540	2,99	120	ANO	2015	58,3	186,7	2,34
Daimler-Benz OM642 DE 30 155kw	CR		T	4	NE	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Vidlicový	6	2987	17,7	155	3400	540	11,2	2495	4,49	293	ANO	2015	51,9	180,8	2,27
Daimler-Benz OM 607 80kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1461	15,5	80	4000	260	3,6	1320	2,73	94	ANO	2015	54,8	178,0	2,24
Daimler-Benz OM 607 66kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1461	15,5	66	4000	240	3,8	1320	2,88	99	ANO	2015	45,2	164,3	2,06
Daimler-Benz OM651 DE 22 100kw	CR		T	4	DPF	ANO	oxidační	Euro 6	DOHC	Řadový	4	2143	16,2	100	4000	300	4,6	1520	3,03	120	ANO	2015	46,7	140,0	1,76
Fiat Multijet-series 88kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1598	16,5	88	4000	300	4,7	1432	3,28	123	ANO	2015	55,1	187,7	2,36
Fiat Multijet-series 77kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1598	16,5	77	4000	290	4,4	1389	3,17	115	ANO	2015	48,2	181,5	2,28
Fiat Multijet-series 66kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1598	16,5	66	4000	290	4,4	1389	3,17	115	ANO	2015	41,3	181,5	2,28
Fiat Multijet-series 125kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1956	16,5	125	4000	350	6,4	1865	3,43	167	ANO	2015	63,9	178,9	2,25
Fiat Multijet-series 103kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1956	16,5	103	4000	350	6,4	1865	3,43	167	ANO	2015	52,7	178,9	2,25
Fiat JTD/Multijet-series 70kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1248	16,8	70	3500	200	3,9	980	3,98	102	ANO	2015	56,1	160,3	2,01
Fiat JTD/Multijet-series 62,5kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1248	16,8	62,5	3500	200	4,2	1296	3,24	110	ANO	2015	50,1	160,3	2,01
Fiat JTD/Multijet-series 55kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1248	16,8	55	4000	190	4,2	1070	3,93	110	ANO	2015	44,1	152,2	1,91
Ford 1.5 TDCI	CR		T	2	DPF	NE	oxidační	Euro 6	SOHC	Řadový	4	1498	16	77	3600	270	3,4	1275	2,67	89	ANO	2015	51,4	180,2	2,26
Ford ZSD-422 Duratorq-TDCI	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	2198	15,6	90	3500	360	11,1	1987	5,59	290	ANO	2015	40,9	163,8	2,06
Ford 4,4 TD V8	CR		2xT	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Vidlicový	8	4367	16,1	250	3500	700	8,7	2285	3,81	227	ANO	2015	57,1	160,3	2,01
1,6 Duratorq TDCI	CR		T	2	DPF	NE	oxidační	Euro 5	SOHC	Řadový	4	1560	16	70	3800	200	4	1235	3,24	105	ANO	2015	44,9	128,2	1,61
Honda i-DTEC 88kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1597	16	88	4000	300	3,8	1346	2,82	99	ANO	2015	55,1	187,9	2,36
Honda N22B-series 132kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	2199	16,3	132	4000	380	5,7	1584	3,60	149	ANO	2015	60,0	172,8	2,17
Honda N22B-series 110kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	2199	16,3	110	4000	350	4,4	1423	3,09	115	ANO	2015	50,0	159,2	2,00
Hyundai R-series 145kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	2199	16	145	3800	436	6,8	1702	4,00	178	ANO	2015	65,9	198,3	2,49
Hyundai R-series 135kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1995	16	135	4000	392	6,1	1525	4,00	159	ANO	2015	67,7	196,5	2,47
Hyundai R-series 110kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1995	16,5	110	4000	383	6,1	1702	3,58	159	ANO	2015	55,1	192,0	2,41
Hyundai U2-series 100kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1685	17,3	100	4000	320	5,1	1535	3,32	133	ANO	2015	59,3	189,9	2,39
Hyundai R-series 100kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1995	16,5	100	4000	373	5,7	1480	3,85	149	ANO	2015	50,1	187,0	2,35
Hyundai U-series 66kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 6	DOHC	Řadový	4	1396	17	66	4000	240	4,1	1165	3,52	107	ANO	2015	47,3	171,9	2,16
Hyundai U-series 94kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1582	17,3	94	4000	260	4,1	1290	3,18	107	ANO	2015	59,4	164,3	2,06
Hyundai U-series 81kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1582	17,3	81	4000	260	4,4	1345	3,27	115	ANO	2015	51,2	164,3	2,06
Hyundai U-series 55kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 6	DOHC	Řadový	3	1120	16	55	4000	180	3,2	1160	2,76	84	ANO	2015	49,1	160,7	2,02
Hyundai U-series 57kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1396	17	57	4000	220	4,5	1270	3,54	118	ANO	2015	40,8	157,6	1,98
Hyundai U2-series 85kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1685	17	85	4000	260	4,3	1410	3,05	112	ANO	2015	50,4	154,3	1,94
Hyundai U-series	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 6	DOHC	Řadový	3	1120	17,8	55	4000	170	3,3	1090	3,03	86	ANO	2015	49,1	151,8	1,91
Hyundai U-series	CR	DOHC; CR 1600 b	T	4	NE	NE	oxidační	Euro 4	DOHC	Řadový	4	1582	17,3	94	4000	260	4,1	1920	2,14	107	ANO	2015	59,4	164,3	2,06
Jaguar AJ-V6D Gen III 215kw	CR		2xT	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Vidlicový	6	2993	16,1	215	4000	600	7,5	2115	3,55	196	ANO	2015	71,8	200,5	2,52
Jaguar AJ-V6D Gen III 190kw	CR		2xT	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Vidlicový	6	2993	16,1	190	4000	600	7,3	2115	3,45	191	ANO	2015	63,5	200,5	2,52
Mazda SH series (SkyActiv-D) 129kw	CR		BiT	4	DPF	NE	oxidační	Euro 6	DOHC	Řadový	4	2189	14	129	4500	420	4,9	1468	3,34	128	ANO	2015	58,9	191,9	2,41
Mazda SH series (SkyActiv-D) 110kw	CR		BiT	4	DPF	NE	oxidační	Euro 6	DOHC	Řadový	4	2189	14	110	4500	380	4,4	1395	3,15	115	ANO	2015	50,3	173,6	2,18
Mazda S5 series 77kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 6	DOHC	Řadový	4	1498	14,8	77	4000	220	3,4	1040	3,27	89	ANO	2015	51,4	146,9	1,84
Mitsubishi 4N13 110 kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	1798	14,9	110	4000	300	5,1	1485	3,43	133	ANO	2015	61,2	166,9	2,10
Mitsubishi 4N14 110kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	2268	14,9	110	3500	360	5,8	1520	3,82	152	ANO	2015	48,5	158,7	1,99
Mitsubishi 4M41 147kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	3200	16	147	3800	441	8,1	2310	3,51	212	ANO	2015	45,9	137,8	1,73
PSA DW12-series 150kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	2179	16,6	150	4000	440	5,9	1660	3,55	154	ANO	2015	68,8	201,9	2,54
PSA DW12-series 140kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	2179	15,8	140	3500	420	5,9	1765	3,34	154	ANO	2015	64,2	192,7	2,42
PSA DW12-series 110kw	CR		T	4	DPF	NE	oxidační	Euro 5	DOHC	Řadový	4	2179	15,8	110	4000	400	5,8	1765	3,29	152	ANO	2015	50,5	183,6	2,31
PSA DV6 / Ford DLD Duratorq 84	CR		T	2	DPF	NE	oxidační	Euro 5	SOHC	Řadový	4	1560	16	84	3600										

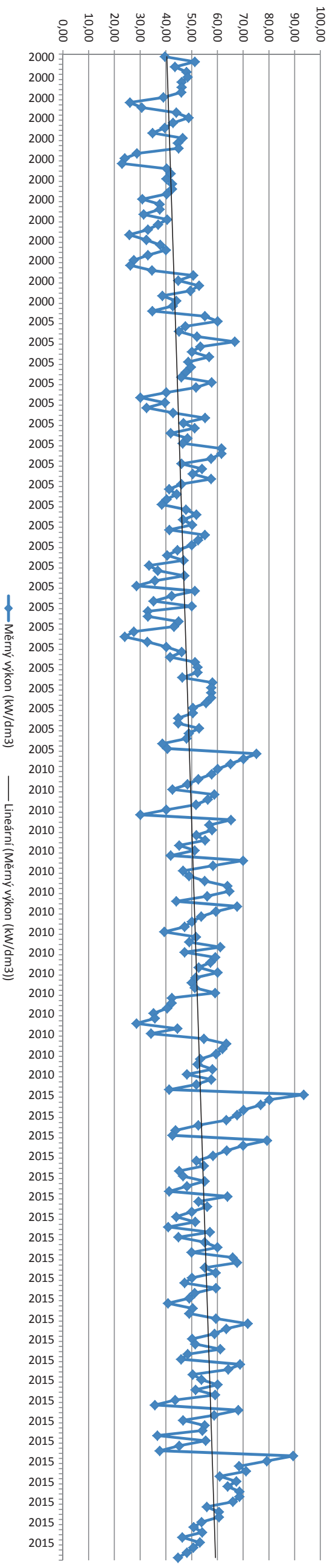




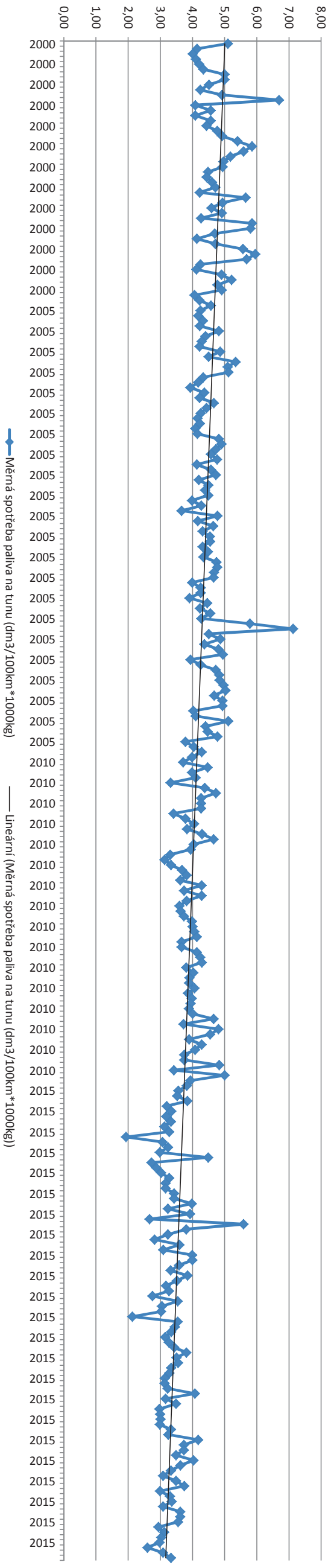




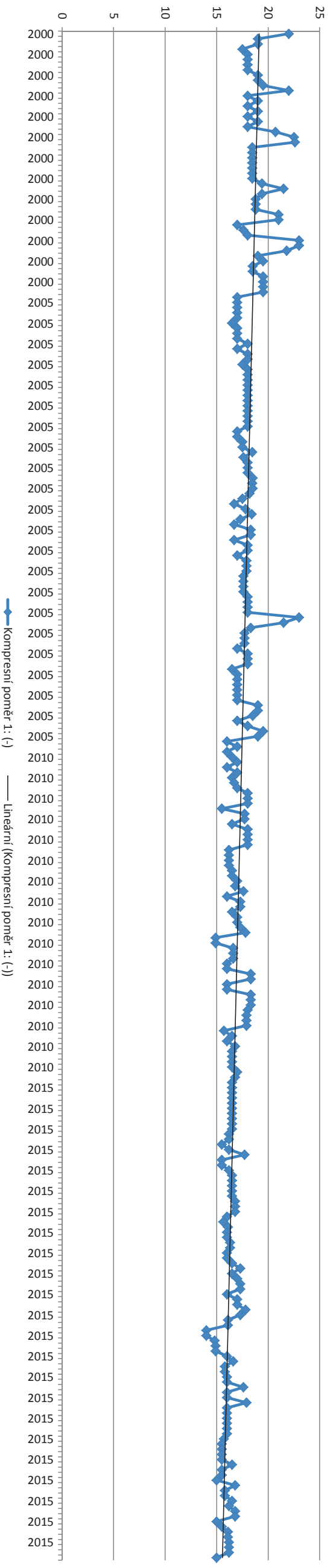
Měrný výkon (kW/dm³)



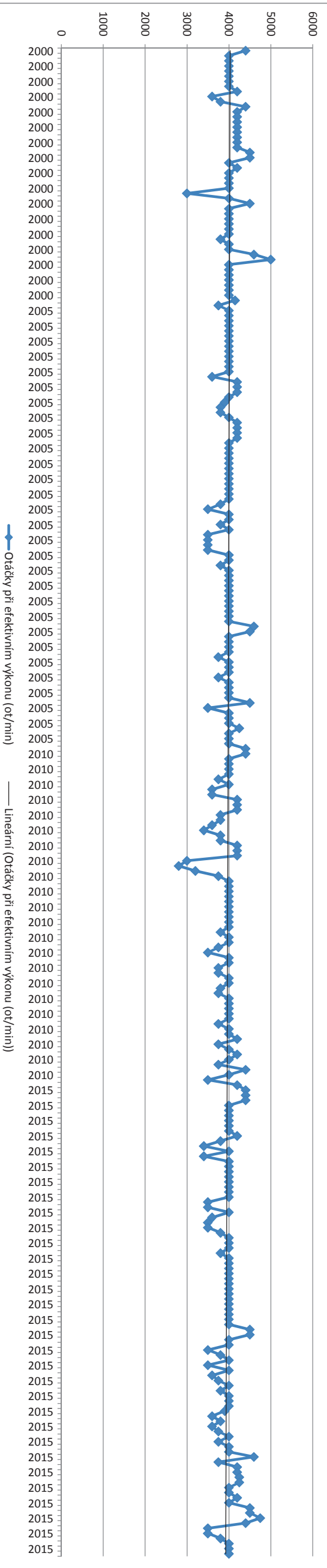
Měrná spotřeba paliva na tunu hmotnosti vozidla (dm³/100km * 1000kg)



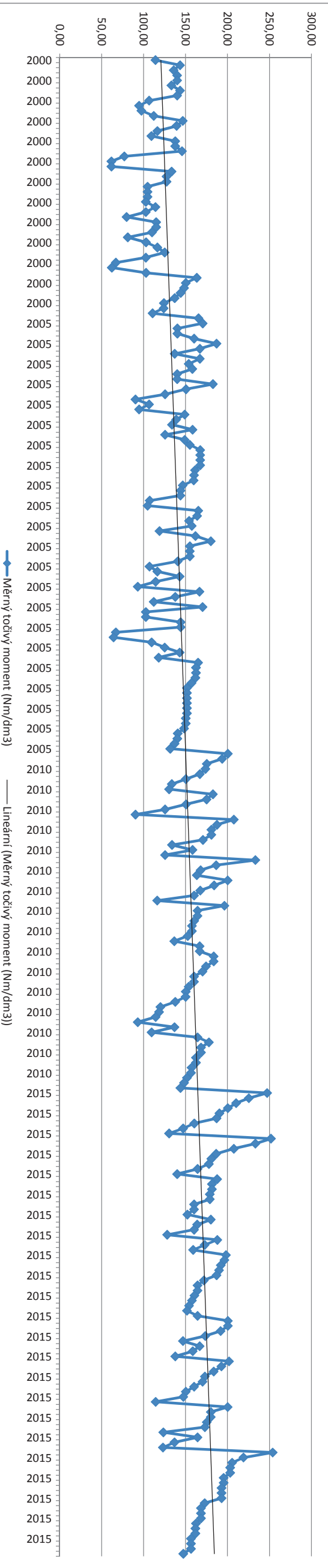
Kompresní poměr 1: (-)



Otáčky při efektivním výkonu (ot/min)



Měrný točivý moment (Nm/dm3)



Zdvihový objem motoru (cm3)

