

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MODERNÍ POHONNÉ JEDNOTKY OSOBNÍHO AUTOMOBILU A JEJICH SOUČASNÉ VÝVOJOVÉ TRENDY

PASSENGER VEHICLES DRIVE UNIT RECENT DEVELOPEMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN SEDLÁŘ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. MARTIN BERAN

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Sedlář

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

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

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

Moderní pohonné jednotky osobního automobilu a jejich současné vývojové trendy

v anglickém jazyce:

Passenger Vehicles Drive Unit Recent Development

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Získání přehledu o zadané problematice. Stanovení základních vývojových trendů.

Cíle bakalářské práce:

Vypracujte přehled moderních motorů používaných v soudobých automobilech, porovnejte jejich charakteristické parametry, technické řešení a soudobé trendy vývoje.

Seznam odborné literatury:

- [1] Rauscher, J.: Vozidlové motory, studijní opory, FSI VUT Brno 2003
- [2] Vlk, F.: Vozidlové spalovací motory, Nakladatelství a vydavatelství Vlk, Brno 2003
- [3] International Engine of the Year Awards, web page [online], 2011, poslední revize 12.11.2011. Dostupné z: <http://www.ukipme.com/engineoftheyear/>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Beran

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 15. 11. 2011

L. S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Tato práce slouží jako přehled moderních trendů pohonných jednotek. První část práce nastiňuje rozdělení spalovacích motorů, následující hlavní část je přehledem několika pohonných jednotek charakteristických pro své kategorie. V poslední kapitole je srovnání dvou zástupců motorů nižších výkonnostních tříd a dvou zástupců vyšších výkonnostních tříd. Závěr práce pak shrnuje popsané téma a vyjadřuje vlastní názor.

KLÍČOVÁ SLOVA

Downsizing, kompresor, turbodmychadlo, přeplňování, Common-Rail, variabilní časování ventilů

ABSTRACT

This bachelor's thesis is an overview of modern drive units trends. The first part of this thesis demonstrates combusting engines sorting; the next main part is an overview of a few drive units which are characteristic for their categories. There is a comparison of two lower power class engine representatives and two higher power class representatives in final chapter. The conclusion summarizes described topic and expresses own opinion.

KEYWORDS

Downsizing, compressor, turbocharger, supercharging, Common-Rail, variable valve timing



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SEDLÁŘ, M. Moderní pohonné jednotky osobního automobilu a jejich současné vývojové trendy. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 60 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Beran.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Martina Berana a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 22. května 2012

.....

Martin Sedlář



PODĚKOVÁNÍ

Zde bych rád poděkoval panu Ing. Martinu Beranovi za cenné rady a připomínky při tvorbě této bakalářské práce. Dále rovněž děkuji mým rodičům, přítelkyni a kamarádům za podporu při studiu.



OBSAH

Úvod	10
1 Rozdělení spalovacích motorů.....	11
1.1 Rozdělení podle způsobu přenosu tepelné energie	11
1.2 Rozdělení podle procesu hoření.....	11
1.3 Rozdělení podle základního pohybu pístu	11
1.4 Rozdělení podle druhu paliva	12
1.5 Rozdělení podle tvoření směsi paliva se vzduchem	12
1.6 Rozdělení podle způsobu činnosti (podle způsobu výměny náplně válců)	12
1.7 Rozdělení podle způsobu zapálení hořlavé směsi.....	13
1.8 Rozdělení podle způsobu plnění válce.....	13
1.9 Rozdělení podle konstrukce.....	13
2 Základní popis spalovacích motorů.....	15
2.1 Čtyřdobý zážehový motor.....	15
2.1.1 Pracovní cyklus	15
2.2 Čtyřdobý vznětový motor	16
2.2.1 Pracovní cyklus	16
3 Přepřňování.....	18
3.1 Mechanické přepřňování.....	18
3.1.1 Rootsovo dmychadlo	19
3.1.2 G–dmychadlo	20
3.2 Turbodmychadlo	21
4 Moderní motory nižších výkonnostních tříd	24
4.1 Zážehové motory	25
4.1.1 Fiat 900cc TwinAir.....	25
4.1.2 Volkswagen 1.4 TSI Twincharger.....	29
4.2 Vznětové motory.....	35
4.2.1 Smart 799 cc CDi	35
4.2.2 Fiat-GM Diesel 1.3 Multijet/JTD	38
5 Moderní motory vyšších výkonnostních tříd.....	41
5.1 Zážehové motory	41
5.1.1 Subaru 2.5l Turbo	42
5.2 Vznětové motory.....	46
5.2.1 BMW M50d Tri turbo	46
6 Srovnání moderních pohonných jednotek.....	49
6.1 Srovnání motorů nižších výkonnostních tříd	49



6.2 Srovnání motorů vyšších výkonnostních tříd	50
Závěr	51
Seznam použitých zkratk a symbolů	59
Seznam použitých jednotek	60



ÚVOD

Již od počátku lidstva bylo zapotřebí přepravovat osoby nebo náklad z místa na místo, proto lidé neustále vynalézali a dále vynalézají nové způsoby transportu. V dnešní době se k přepravě nejčastěji používají automobily, které se tak staly vskutku nedílnou součástí každodenního života.

Za dobu své existence prodělaly automobily značný vývoj. Díky kombinaci nových technologií a nových požadavků se ty původní od dnešních velmi liší. Jeden z nejvíce rozvinutých prvků automobilu je motor.

Nejběžněji používaným typem motoru je spalovací motor. Ten se začal používat především díky možnostem rychle a pružně regulovat výkon, snadno uchovávat energii pro pohon ve formě silně hořlavého paliva nebo také díky relativně velkému dojezdu oproti jiným typům motoru.

Ačkoliv základní princip fungování spalovacího motoru zůstává stále stejný, prodělal motor za dobu své existence značný vývoj. Konstrukteři neustále pracují na zvyšování výkonu, snižování spotřeby paliva, snižování množství emisí, možnostech použití nových druhů paliva, snižování hmotnosti, snižování hlučnosti a dalších zlepšení motoru.

Konstrukteři k tomu vede mnoho důvodů. Jeden z nich je potřeba vyhovět požadavkům zákazníka a postavit automobil s přijatelnou spotřebou paliva, zajímavým designem nebo také s konstrukcí, která bude odrážet potřeby zákazníka (například terénní vozy, sportovní vozy atd.). Druhý důvod je snaha reagovat na současný ekonomický a politický vývoj. Světové zásoby ropy se ztenčují a podle některých odhadů bude kompletně vyčerpána zhruba za 20 až 30 let. To je velmi blízká budoucnost, a proto je nejvyšší čas pracovat na snížení spotřeby ropy nebo vývoji alternativních typů pohonů. Navíc je v dnešní době kladen velký důraz na snižování emisí vypouštěných do ovzduší. Právě emise, které vznikají ve spalovacím motoru, jsou jednou z největších nevýhod tohoto typu pohonu. A právě přísné požadavky na snižování emisí jsou jedním z hlavních důvodů, proč se pozornost ještě víc obrací k alternativním typům motorů a paliv stejně tak jako k neustálému zdokonalování dnes používaných spalovacích motorů. V mnoha státech jsou automobily s alternativními pohony podporovány například státními dotacemi.

V současné době je zde více vývojových trendů než kdykoliv dříve. Jednak se neustále zdokonalují spalovací motory, ale také zde vznikají úplně nové typy motorů (například elektromotory, motory spalující vodík apod.). Přesněji řečeno dochází ke zdokonalování a převádění do praxe u koncepcí, které zde existují už nějakou dobu, ale doposud se běžně nepoužívaly.

Škála moderních pohonných jednotek je tak velmi široká. Následující práce je zaměřena na spalovací motory.



1 ROZDĚLENÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ

Spalovací motor je nejběžnějším typem motoru. Energie je uskladněna v chemické podobě jako palivo. Při spalování je chemická energie přeměňována na tepelnou energii a následně na energii mechanickou. Tepelná energie plynu je převáděna na mechanickou energii potenciální (tlak) u pístových spalovacích motorů anebo na mechanickou energii kinetickou (rychlost proudu) u spalovacích turbín. [1]

Různé typy spalovacích motorů se v mnoha ohledech velmi liší a zároveň jsou si v jiných ohledech velmi podobné. Pro lepší orientaci mezi spalovacími motory je zapotřebí stanovit si několik kritérií, podle kterých lze tyto motory rozdělit.

1.1 ROZDĚLENÍ PODLE ZPŮSOBU PŘENOSU TEPELNÉ ENERGIE

- **motory s vnějším spalováním** – médiem pro přenos energie je např. vzduch, vodní pára nebo některé plyny.
Např.: pístový spalovací motor, spalovací turbína.
- **motory s vnitřním spalováním** – pracovní látkou v těchto motorech jsou přímo produkty spalování.
Např.: Stirlingův motor, parní stroj.
[1]

1.2 ROZDĚLENÍ PODLE PROCESU HOŘENÍ

- **motory pístové** – proces hoření probíhá přerušovaně (v cyklech). Píst vykonává vratný nebo rotační pohyb. Využívána je potenciální energie spalovaného plynu.
- **motory lopatkové** – proces hoření probíhá nepřerušovaně. Využívána je kinetická energie spalín.
[1]

1.3 ROZDĚLENÍ PODLE ZÁKLADNÍHO POHYBU PÍSTU

- **s přímočarým vratným pohybem pístu**
Např.: čtyřdobé a dvoudobé spalovací motory.
- **s rotačním pohybem pístu**
Např.: Wankelův motor.
[1]



1.4 ROZDĚLENÍ PODLE DRUHU PALIVA

- **motory na kapalná paliva**
 - a) ropná lehko odpařitelná paliva (benzin, petrolej)
 - b) ropná těžko odpařitelná paliva (nafta, mazut)
 - c) neropná kapalná paliva (líh – metanol, etanol; rostlinné oleje přepracované esterifikací – bionafta neboli metylester řepkového oleje, tzv. MEŘO)
 - d) směsná paliva (líh a benzín, nafta a MEŘO)
- **plynové motory**
 - a) motory na propan-butan (použití u vysokozdvizných vozíků, osobních automobilů a dopravních prostředků, které pracují v uzavřených prostorech)
 - b) motory na zemní plyn (použití u osobních a užitkových automobilů)
- **vícepalivové motory** – Zde se používají většinou motory na dva druhy paliva, kdy je možno přepínat většinou mezi plynným a kapalným palivem.
 - a) propan-butan/benzin, zemní plyn/benzin (zážehové motory s možností přepínání mezi dvěma druhy paliva)
 - b) zemní plyn/nafta, bioplyn/nafta (Pouze pro vznětové motory, které pracují s tzv. zapalovací dávkou nafty)

[1]

1.5 ROZDĚLENÍ PODLE TVOŘENÍ SMĚSI PALIVA SE VZDUCHEM

- **vnější tvorba směsi** – směšování paliva a vzduchu vně prostoru válce motoru:
 - a) plynové motory – ve směšovací ústrojí
 - b) motory na snadno odpařitelná paliva (líh, benzin)
 - v karburátoru (Malé kapičky padají do proudu nasávaného vzduchu, postupně se zde odpařují a vytvoří směs. [1])
 - vstřikováním (jednobodové vstřikování do sacího potrubí, vícebodové vstřikování do větví sacího potrubí u hlavy válce, většinou na sací ventil)
- **vnitřní tvorba směsi** – Směs je přímo vstřikována do spalovacího prostoru válce motoru.
 - a) obtížně odpařitelná paliva (nafta, mazut) – palivo vstřikováno do stlačeného a rozžhaveného vzduchu ve spalovacím prostoru v době konce kompresního zdvihu
 - b) snadno odpařitelná paliva (benzin, plyny, líh) – palivo vstřikováno do spalovacího prostoru na konci sacího, nebo v průběhu kompresního zdvihu

[1]

1.6 ROZDĚLENÍ PODLE ZPŮSOBU ČINNOSTI (PODLE ZPŮSOBU VÝMĚNY NÁPLNĚ VÁLCŮ)

- **dvoudobé motory** (dříve označovány jako dvoutaktní – 2T)
- **čtyřdobé motory** (dříve označovány jako čtyřtaktní – 4T)

[1]



1.7 ROZDĚLENÍ PODLE ZPŮSOBU ZAPÁLENÍ HOŘLAVÉ SMĚSI

- **zážehové motory (benzinové)** – Směs je ve válci zažehnuta elektrickou jiskrou.
- **vznětové motory (naftové)** – Palivo je vstříknuto do stlačeného rozžhaveného vzduchu ve válci a díky tomu se vznítí.

[1]

1.8 ROZDĚLENÍ PODLE ZPŮSOBU PLNĚNÍ VÁLCE

- **motory s přirozeným sáním** (tzv. atmosférické, nepřepřlňované motory) – Patří zde čtyřdobé motory. Motor nasává směs respektive čistý vzduch pouze díky podtlaku, který vznikl ve válci.
- **motory přepřlňované** – Patří zde čtyřdobé i dvoudobé motory. Směs je do válce dopravována pomocí dmyhadla, které vyvolává přetlak. Toto dmyhadlo je poháněno buď mechanicky anebo výfukovými plyny (turbodmyhadlo).
- **motory s vyplachováním** – Patří zde dvoudobé motory. Směs je dopravována buď dmyhadlem anebo stlačením v klikové skříni, kdy následuje její přesun přes kanálek do spalovacího prostoru, kde vyplachuje zbylé spaliny.

[1]

1.9 ROZDĚLENÍ PODLE KONSTRUKCE

- **podle způsobu přenosu síly od pístu:**
 - a) motory s klikovým ústrojím (s vratným posuvným pohybem pístu) – Síla od posouvajícího se pístu je převedena na ojnici a dále na klikový hřídel, který je tak roztáčen.
Jedná se prakticky o jediný běžně používaný typ motoru.
 - b) rotační motory (bez klikového mechanismu) – např. Wankelův motor
 - c) motory se šikmou deskou nebo vačkovým kotoučem – například Stirlingův motor
- **podle počtu pracovních ploch pístu:**
 - a) jednočinné motory – pracovní oběh pouze na jedné straně pístu
 - b) dvojčinné motory – pracovní oběh na obou stranách pístu
- **podle počtu a uspořádání válců motoru:**
 - a) jednoválcové motory
 - b) víceválcové motory – například jednořadové, dvouřadé, vidlicové,
- **podle rychloběžnosti:**
 - a) pomaloběžné motory – se střední pístovou rychlostí nižší než 6,5 m/s
 - b) rychloběžné motory – se střední pístovou rychlostí vyšší než 6,5 m/s
Vozidlové motory mají střední pístovou rychlost zhruba 10 až 17 m/s.
- **podle způsobu chlazení motoru:**
 - a) kapalinou chlazené
 - b) vzduchem chlazené
 - c) kombinace předchozích typů

[1]



- **podle konstrukce rozvodového ústrojí:**
 - a) ventilové motory – OHV (Over Head Valve), OHC (Over Head Camshaft), SOHC (Single Over Head Camshaft), 1 x OHC, 2 x OHC, DOHC (Double Over Head Camshaft), SV (Side Valve)
 - b) šoupátkové motory
 - c) motory s kanálovým rozvodem
 - d) motory se smíšeným typem rozvodu
 - **podle zdvihového poměru (zdvih Z / vrtání válce D):**
 - a) krátkozdvihové motory (podčtvercové) – $Z/D < 1$
 - b) čtvercové motory – $Z/D = 1$
 - c) dlouhozdvihové motory (nadčtvercové) – $Z/D > 1$
 - **podle počtu ventilů v hlavě jednoho válce:**
 - a) 2ventilové
 - b) 3ventilové
 - c) 4ventilové
 - d) 5ventilové
 - e) víceventilové
- [1]



2 ZÁKLADNÍ POPIS SPALOVACÍCH MOTORŮ

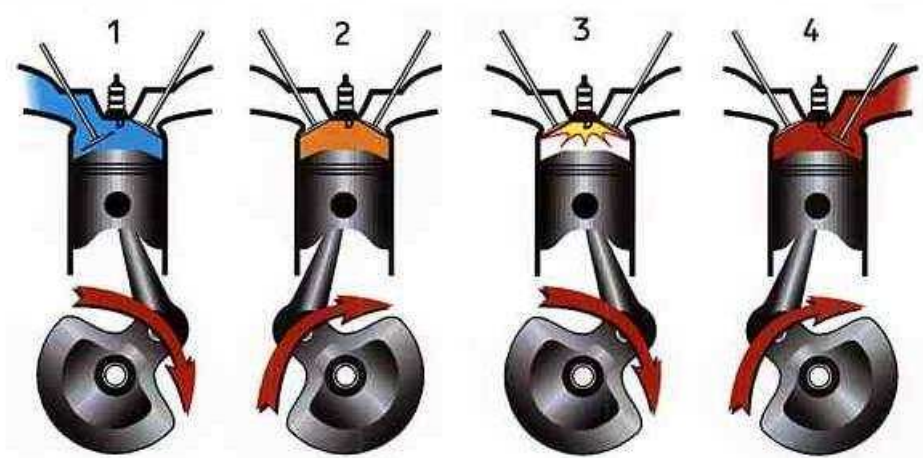
Jak je vidět v předchozí kapitole, různých druhů spalovacích motorů existuje vskutku široká škála. Nejčastěji se pro pohon osobních automobilů používají čtyřdobé spalovací motory. Lze se setkat také se zážehovými dvoudobými a Wankelovými motory, avšak v mnohem menší míře. Tato práce je však zaměřena pouze na moderní spalovací čtyřdobé motory, jelikož jde o nejběžnější trend.

2.1 ČTYŘDOBÝ ZÁŽEHOVÝ MOTOR

Zážehový motor, používající jako palivo benzin, byl vynalezen a sestrojen německým konstruktérem Nicolausem Augustem Ottem (Ottův motor) v roce 1876. [2]

U tohoto motoru se směs benzínu a vzduchu tvoří buď vně válce (vnější tvoření směsi) anebo uvnitř válce (vnitřní tvoření směsi) – přímé vstřikování. Existuje buď jednobodové anebo vícebodové vstřikování. V dnešních automobilech se používá většinou vícebodové vstřikování. [1]

2.1.1 PRACOVNÍ CYKLUS



Obr. 2.1 – Pracovní cyklus čtyřdobého zážehového motoru [53]:
1. sání, 2. komprese a zapálení, 3. hoření a expanze, 4. výfuk

- sání** – Sací ventil je otevřený, píst se pohybuje dolů, vytváří podtlak a směs je tak nasávána do válce. Pro dosažení optimálního účinku klesajícího pístu, je sací ventil otevřen o něco dříve, než se klikový hřídel dostane do polohy horní úvratě. Toto předčasné otevření se nazývá předstih a jeho hodnota je několik stupňů úhlu otočení kliky. Pro maximalizaci naplnění válce je sací ventil otevřen ještě chvíli poté, kdy klikový hřídel dosáhne až do polohy dolní úvratě.

[1]



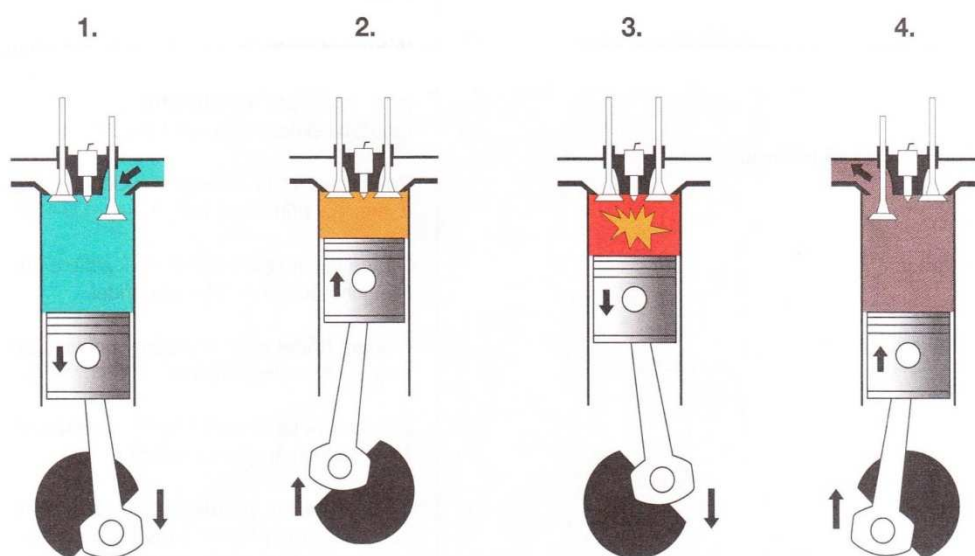
2. **komprese a zapálení** – Směs je stlačována a následně zažehnuta elektrickou jiskrou ze zapalovací svíčky. Stane se tak v poloze těsně před horní úvratě. Je zde tedy opět tzv. předstih, který činí několik stupňů úhlu otočení klikového hřídele.
3. **hoření a expanze** – Zažehnutá směs hoří, začíná stoupat teplota a tlak, stoupající tlak působí na píst a tlačí jej dolů. Posuvný pohyb pístu je převeden přes ojnici na rotační pohyb klikového hřídele.
4. **výfuk** – Těsně před dosažením dolní úvratě je otevřen výfukový ventil, díky tlaku ve válci se zplodiny rozproudí a začnou unikat z válce ven. Následný pohyb pístu nahoru vytlačí zbylé zplodiny. Výfukový ventil se zavírá krátce poté, kdy píst dosáhne horní úvratě.

[1]

2.2 ČTYŘDOBÝ VZNĚTOVÝ MOTOR

Motor je často nazýván podle svého vynálezce Rudolfa Diesela jako Dieselův motor. Zde je charakteristické stlačení vzduchu a vstříknutí paliva pod vysokým tlakem do válce. Směs se tedy tvoří až ve válci na rozdíl od zážehového motoru. K vznícení směsi dochází samočinně díky vysoké kompresní teplotě. [1]

2.2.1 PRACOVNÍ CYKLUS



Obr. 2.2 – Pracovní cyklus čtyřdobého vznětového motoru: 1 – sání, 2 – komprese a vstříknutí paliva, 3 – samovznícení a expanze, 4 - výfuk [54]:



1. **sání** – Sací ventil je otevřený, píst se pohybuje dolů, vytváří podtlak a vzduch je nasáván do válce. Pro dosažení optimálního účinku klesajícího pístu, je sací ventil otevřen o něco dříve, než se klikový hřídel dostane do polohy horní úvratě. Toto předčasné otevření se nazývá předstih a jeho hodnota je několik stupňů úhlu otočení kliky. Pro maximalizaci naplnění válce je sací ventil otevřen ještě chvíli poté, kdy klikový hřídel dosáhne dolní úvratě.
2. **komprese a vstříknutí paliva** – Vzduch je stlačován a následně je do něj vstříknuto palivo. Stane se tak v poloze těsně před horní úvratí. Je zde tedy opět tzv. předstih, který činí několik stupňů úhlu otočení klikového hřídele.
[1]
3. **samovznícení a expanze** – Palivo se díky vysokému tlaku vznítí a hoří. Roste teplota a tlak, stoupající tlak působí na píst a tlačí jej dolů. Posuvný pohyb pístu je převeden přes ojnici na rotační pohyb klikového hřídele.
4. **výfuk** – Těsně před dosažením dolní úvratě je otevřen výfukový ventil, díky tlaku ve válci se zplodiny rozproudí a začnou unikat z válce ven. Následný pohyb pístu nahoru vytlačí zbylé zplodiny. Výfukový ventil se zavírá krátce poté, kdy píst dosáhne horní úvratě.
[1]



3 PŘEPLŇOVÁNÍ

Jedním ze základních a neúčinnějších způsobů zvýšení výkonu motoru je přeplňování.

Pozn.: V následujícím textu je obecně popsáno přeplňování zážehových i vznětových motorů. Je zde však zásadní rozdíl vycházející z jedné z elementárních odlišností mezi zážehovým a vznětovým motorem. Zážehový motor je přeplňován směsí vzduchu a benzínu, zatímco vznětový motor je přeplňován pouze vzduchem a nafta je vstříknuta přímo do válce do tohoto stačeného vzduchu. V textu je pak použito pojmu „vzduch/směs“, aby bylo možné popsat tuto problematiku obecně pro oba typy motorů.

Smysl přeplňování spočívá v dopravě zvýšeného množství vzduchu/směsi do sání motoru a díky tomu i zvýšení jeho množství ve válci. U nepřeplňovaných (atmosférických) motorů tvoří množství nasávaného vzduchu/směsi pouze 20 až 40% objemu válce. Použitím dmyhadla, které vhání do válce větší množství vzduchu/směsi, lze dosáhnout výrazně vyššího výkonu respektive lepší účinnosti. [1], [3]

Existují dva způsoby přeplňování:

- mechanické (kompresorové)
- turbodmyhadlem (dmyhadlo na výfukové plyny)

[1]

3.1 MECHANICKÉ PŘEPLŇOVÁNÍ

Brzy poté, co se začaly používat spalovací motory, zjistili konstruktéři, že lze výkon stávajícího motoru znatelně zvýšit přeplňováním válce vzduchem/směsí. Vzduch/směs byl do válce vháněna mechanicky poháněným odstředivým dmyhadlem, se kterým jako první přišel Louis Renault v roce 1902. Technologie přeplňování zážehových motorů se následně rozšířila mezi závodní automobily. V roce 1907 bylo konstruktérem Chadwickem poprvé použito rotačního lopatkového dmyhadla pro přeplňování motoru v závodním automobilu. Mechanická dmyhadla se pak neustále zdokonalovala a i přesto, že pro svůj provoz spotřebovávala až 20% jmenovitého výkonu motoru, bylo jejich použití stále výhodné. Například v roce 1937 byl vyroben závodní Mercedes typ M 125, který měl výkon neuvěřitelných 475kW. Tento výkon dodával automobilu zážehový řadový osmiválec o objemu 5663 cm³ s čtyřventilovou hlavou, rozvodem DOHC a dvěma přeplňovanými sériově zařazenými Rootsovými dmyhadly. Výkonné motory tedy existovaly už před několika dekádami. Byl zde však problém s podvozkem a brzdami. Konstruktéři však tehdy nedisponovali takovými technickými možnostmi a znalostmi, aby byli schopni vyvinout podvozek a brzdy, které umožní řidiči bezpečně ovládat svůj vůz. Proto docházelo při závodech k častým nehodám, které ohrožovaly jezdce i diváky. Důsledkem této nepříjemné situace bylo stanovení maximálních objemů pro přeplňované i nepřeplňované závodní motory (v roce 1938). [4]

V poslední době se daří překonávat hlavní nevýhody mechanického přeplňování a to se tak začíná používat stále častěji. [5]

Mechanická dmyhadla jsou, jak už sám název napovídá, poháněna mechanicky. Děje se tak většinou prostřednictvím řemene poháněného od klikové hřídele. Odtud plynou hlavní výhody i nevýhody mechanických dmyhadel. [5]

Díky přímému spojení dmyhadla a klikové hřídele je reakce dmyhadla při akceleraci prakticky okamžitá (na rozdíl od turbodmyhadla), což způsobí rychlejší nárůst plnicího tlaku a tím pádem vysoký točivý moment už při nízkých otáčkách motoru. [5]

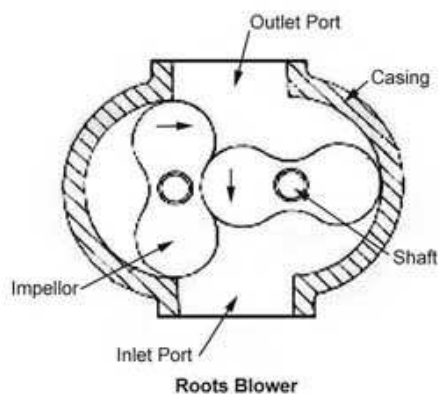


Další výhodou je fakt, že při instalaci mechanického dmyhadla není zapotřebí zasahovat do výukové soustavy, jak je tomu při použití turbodmyhadla. [5]

Nevýhodou je vysoké množství výkonu, které dmyhadlo odebírá motoru. U velkých výkonných motorů se může jednat až o několik desítek kilowattů, což zdatelně zvyšuje spotřebu paliva. Jednou z možností eliminace tohoto negativního vlivu, je použití elektromagnetické spojky. Ta dmyhadlo odpojí, pokud není zapotřebí k provozu motoru (např. při volnoběhu). [5]

3.1.1 ROOTSOVO DMYHADLO

Jde o nejčastěji používané mechanické dmyhadlo. Skládá se ze skříně (se vstupní a výstupním otvorem) a otočných pístů, které nasávají vzduch a ženou jej pod tlakem do motoru. Účinnost přeplňování je dále zvyšována pomocí mezichladiče stlačeného vzduchu. Zde je vzduch, který se stlačením zahřál, ochlazován a tím zmenšován jeho objem. Díky tomu se do válce může dostat více směsi. [1], [5]



Obr. 3.1 – Rootsovo dmyhadlo [55]

V dnešní době se na výrobu Rootsových dmyhadel pro přeplňování zážehových motorů soustředují především výrobci Eaton a Qgura. Dmyhadlo Eaton (obr. 3.2) lze najít například u motorů Mercedes-Benz (M111), Audi (3.0 TFSI) nebo Jaguar. [5], [6]

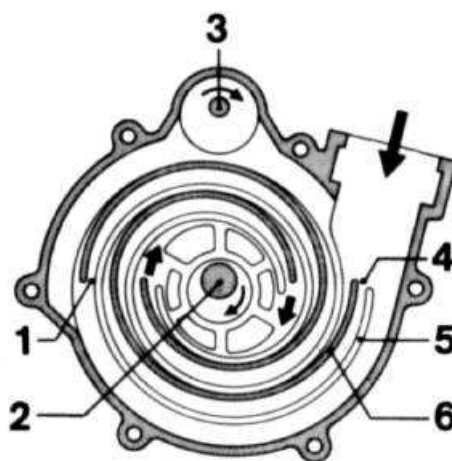


Obr. 3.2 – Dmyhadlo Eaton [56]



3.1.2 G-DMYCHADLO

Mezi další typy mechanický dmychadel patří také křídlové dmychadlo, dmychadlo s otočnými písty, šroubové dmychadlo nebo spirálové dmychadlo (tzv. G-dmychadlo vyvinuté automobilkou Volkswagen, Obr. 3.3). [1]



Obr. 3.3 – G-dmychadlo [V]: 1 – vstup vzduchu do druhého pracovního prostoru, 2 – hnací hřídel, 3 – vedení dmychadla, 4 – vstup vzduchu do prvního pracovního prostoru, 5 – skříň, 6 – stlačovač [57]

G-dmychadlo bylo poprvé použito automobilkou Volkswagen u zážehového motoru vozu VW Polo v 80. letech minulého století. Byl tak využit patent, který pocházel již z roku 1903. Dmychadlo se skládá z dvoudílné skříňe, kde jsou na každé straně dvě spirálovité přepážky. Uvnitř skříňe se nachází výtlačný díl dmychadla, který je na obou stranách opatřen spirálovitými přepážkami, které zapadají do mezer mezi přepážkami skříňe. Výtlačný díl vykonává krouživý pohyb, nedochází však k otáčení. Díky tomuto pohybu vznikají mezi pevnými a pohybujícími se přepážkami na obou stranách čtyři pracovní komory, které se plynule pohybují do středu dmychadla. Výtlačný díl je uložen na výstředný čep hřídele, který je poháněn klínovým řemenem od klikového hřídele. Výtlačný díl je uložen ještě na výstředníkový hřídel, který je spojen s klínovým řemenem s převodovým poměrem 1:1. Díky tomu nedochází k otáčení výtlačného dílu a jedná se tedy o paralelogram. Na vnější straně dmychadla je nasáván vzduch a následně vytlačován středem dmychadla pomocí jazýčkových ventilů. [7]

G-dmychadlo má ve srovnání s ostatními dmychadly řadu předností. Mezi nejdůležitější patří nižší hmotnost, schopnost rychle měnit plicí tlak, vysoká úroveň plnění již od nízkých otáček a v celém jejich rozsahu, menší namáhání vysokými teplotami ve srovnání s turbodmychadlem, méně náročné požadavky na opracování činných ploch ve srovnání s Rootsovým dmychadlem (postačují nemazaná těsnění z bronzu s teflonovým povlakem), relativně tichý chod. [1], [7]

Hlavní nevýhodou G-dmychadla je jeho poměrně náročná a nákladná výroba, proto se dmychadlo v praxi většinou nepoužívá. Nicméně jeho použitím lze zvýšit točivý moment v nízkých až středních otáčkách o 30 až 50 %, což odpovídá zvýšení zdvihového objemu atmosférického motoru z 1,8 na 2,5 litrů. [7]



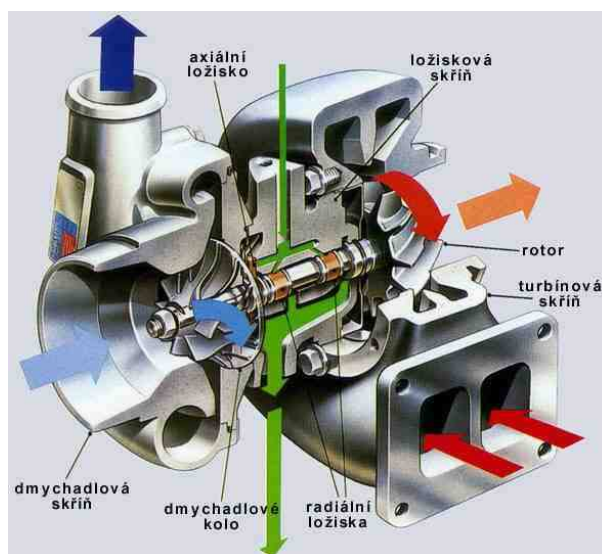
3.2 TURBODMYCHADLO

Nápad přeplňovat motor turbodmychadlem je jen o něco málo mladší než mechanické přeplňování. V roce 1905 navrhl švýcarský inženýr Alfred Büchi přeplňování motoru pomocí odstředivého dmyhadla, které bylo poháněno turbínou na výfukové plyny, což dnes označujeme jako turbodmychadlo. V následujících letech se turbodmychadlo v praxi téměř nevyužívalo. Až s příchodem druhé světové války se turbodmychadla opět začala používat a to především u leteckých pístových motorů. V nadmořský výškách, kde se letadla pohybují, je řídký vzduch, což znesnadňuje spalování paliva. Použití turbodmychadla tento problém minimalizuje. Během několika následujících dekád si našly turbodmychadla své místo především u závodních automobilů formule 1. Dosahované výkony však byly tak vysoké, že bylo použití turbodmychadel v těchto automobilech roku 1989 zakázáno. [4], [8]

V dnešní době se turbodmychadla používají stále častěji. Především v několika posledních letech, kdy rostou ceny pohonných hmot a zároveň se neustále zpřísňují emisní normy, hraje turbo významnou roli v trendu označovaném jako **downsizing**. Jedná se o snižování objemu motoru, kdy je zmenšována spotřeba paliva a tvorba emisí, za současného zachování výkonu. [3]

Častěji lze nalézt turbodmychadlo u vznětových motorů, nicméně i u zážehových agregátů se často vyskytuje.

Turbodmychadlo se skládá z dmyhadla a výfukové turbíny. Obě tyto komponenty jsou připevněny na stejné hřídeli. Výfukové plyny odcházející z motoru totiž obsahují ještě zhruba 30 % energie obsažené v palivu. U motorů bez turbodmychadla je tato energie nevyužita. Avšak zde pohání turbínu, která přes společný hřídel roztáčí dmychadlo a to nasává a stlačuje vzduch, jenž proudí dále potrubím do válce. Stlačený vzduch dosahuje tlaku od 40 do 300 kPa, otáčky dmyhadla dosahují až $200\,000\text{ min}^{-1}$. Je tedy zřejmé, že dmychadlo podléhá obrovskému namáhání. Nelze například použít klasická kuličková ložiska, protože by mohla explodovat. Používají se fluidní ložiska, kde jsou pohybující se části odděleny a chlazeny tenkou vrstvou oleje. Turbodmychadlo využívá stejný olej jako mazací soustava motoru, proto musí být po průchodu turbodmychadlem ochlazen pomocí olejového chladiče. Aby nedošlo při uzavření škrticí klapky, kdy stlačený vzduch nemůže proudit do motoru, k nadměrnému zvýšení tlaku a poškození, jsou přeplňované motory opatřeny obtokovým ventilem (tzv. **Waste-Gate**). Nadbytečný vzduch odchází do výfukového systému nebo zpět do sání. Tento děj je doprovázen charakteristickým zvukem. Obtokový ventil je obvykle zabudován přímo do turbodmychadla, výjimečně je použito talířového ventilu v odděleném tělese paralelně k turbíně. Klapka Waste-Gate je ovládána buď mechanicky anebo řídicí jednotkou. Lze tak snadno měnit plnicí tlak podle momentálního režimu motoru. Řídicí jednotka podle tohoto režimu vypočítává ideální tlak a porovnává jej s hodnotou naměřenou snímačem v sacím potrubí. V případě neshody dochází k úpravě plnicího tlaku právě ventilem Waste-Gate. [1], [3], [8]



Obr. 3.4 – Turbodmychadlo [58]

Oproti mechanickým dmychadlům mají turbodmychadla jednu velkou nevýhodu, tou je prodleva mezi sešlápnutím plynu a následnou prudkou akcelerací způsobenou dmychadlem. Tato prodleva se nazývá **turboefekt** a jde o nežádoucí chování, které se snaží konstruktéři eliminovat. Potlačit tento efekt lze například použitím lehčích materiálů pro rotující části anebo zmenšení jejich průměru se současným zvětšením délky pro zachování výkonu. Těmito úpravami dojde ke zdatnému snížení momentu setrvačnosti rotujících částí a ty pak mohou flexibilněji reagovat na chod motoru. Eliminace turboefektu se dosahuje rovněž použitím dvou menších dmychadel namísto jednoho velkého. První pracuje v celém rozsahu otáček motoru, zatímco druhé se spustí až ve vyšších otáčkách. V jiných případech dodává každé ze dvou dmychadel vzduch do poloviny válců (např. Maserati Biturbo nebo Volvo 2.8 T6). Podobný systém existoval například u vozu Renault Safrane Biturbo. Zde byla dvě turbodmychadla, přičemž každé bylo umístěno za jednu řadu válců vidlicového motoru. Stlačený vzduch ale putoval do společného vedení. [8]

Za zmínku rovněž stojí motory TSI od automobilky Volkswagen, které využívají výhody mechanického dmychadla a turbodmychadla zároveň. Malý kompresor (mechanické dmychadlo) pracuje v rozsahu nižších otáček, aby nedocházelo k turboefektu. Ve vyšších otáčkách převezme práci turbodmychadlo. Podrobněji se tomuto motoru věnuje jedna z následujících kapitol této práce. [8]

Každá ze zmíněných úprav však zvyšuje cenu motoru a celého automobilu.

U závodních vozů (se zážehovými motory), kde není spotřeba paliva tak důležitým kritériem, je turboefekt eliminován použitím Anti Lag Systému (ALS). Malé množství paliva je vstříkováno do výfukové soustavy před turbodmychadlo ve chvíli, kdy řidič sundá nohu z plynového pedálu. Vstříknuté palivo se zde díky vysoké teplotě vznítí a roztočí turbodmychadlo. Tento způsob je praktikován například při průjezdu automobilu zatáčkou. Řidič v tento moment přestane sešlapávat plynový pedál a zavře tak přívod paliva do motoru. Nemohou zde vznikat zplodiny, které by poháněly turbodmychadlo. Proto je zde ono vstříkování paliva do výfukové soustavy, které udrží turbodmychadlo v otáčkách. [8]



Při výjezdu ze zatáčky řidič opět sešlápne plyn, zplodiny začnou pohánět již rotující turbodmychadlo a akcelerace automobilu je okamžitá. Celý proces vstřikování paliva před turbodmychadlo je doprovázen charakteristickými výšlehy plamenů z výfuku se silným zvukovým projevem. [8]

Přeplňování zážehových motorů turbodmychadlem se stalo rozšířeným trendem poslední doby mimo jiné i proto, že dříve neexistovaly dostatečně odolné materiály, které by dokázaly zvládnout teploty výfukových plynů těchto motorů. U vznětových motorů se teplota výfukových plynů pohybuje okolo 700 až 800 °C, avšak u zážehových motorů se jedná o teploty dosahující až 1000 °C. Zlomovým okamžikem bylo vyvinutí nových materiálů firmou Borg Warner. Tyto materiály odolávají teplotám až 1050 °C a jsou tak vhodné pro výrobu turbodmychadel i pro zážehové motory. [3]

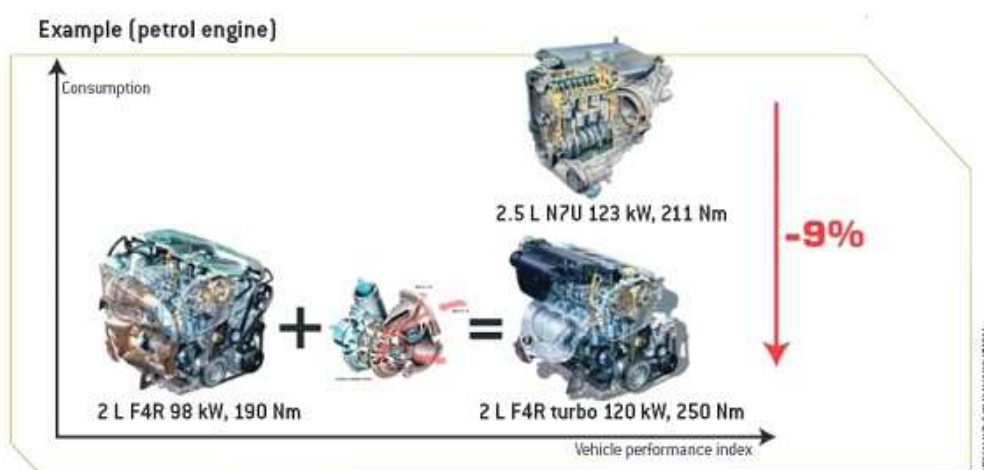
Vysoké teploty jsou společně s nízkou kvalitou mazacího oleje nejčastějšími důvody poruchy turbodmychadla. Jestliže nejsou výfukové plyny příliš horké a olej mazající turbodmychadlo je čistý, nehrozí turbodmychadlu žádné nebezpečí a dokáže fungovat velmi spolehlivě. Při běžném využívání osobního automobilu většinou nedochází k tak zásadnímu namáhání, aby docházelo k přehřátí. Avšak při svižné sportovní jízdě již značně narůstá teplota v turbodmychadle. V takovém případě je nutné po skončení jízdy nechat motor ještě zhruba 2 minuty nastartovaný. Běžící motor zajistí cirkulaci oleje a jeho ochlazení. V případě okamžitého vypnutí motoru může dojít k deformaci lopatek vlivem vysoké teploty anebo k přepálení oleje v turbodmychadle. [8]



4 MODERNÍ MOTORY NIŽŠÍCH VÝKONNOSTNÍCH TŘÍD

Trend malých úsporných motorů je v podstatě v automobilovém průmyslu trendem nejnovějším. Jak již bylo řečeno v úvodu, dnešní doba klade na motory čím dál větší nároky. Vedle požadavku na ekologický chod je zde především potřeba úsporného provozu. Pro většinu zájemců o nový automobil jsou nízké náklady na provoz a pořízení tím nejdůležitějším kritériem. Na to samozřejmě pružně reagují automobilky a díky tomu je dnes nabízeno široké spektrum malých automobilů s malými úspornými agregáty.

U dříve používaných atmosférických motorů se dosahovalo snížení spotřeby pouhým snížením zdvihového objemu. Dnes zde však existují možnosti, jak snížit zdvihový objem (kdy dojde ke snížení hmotnosti motoru, snížení tření v motoru, snížení potřebného materiálu k výrobě motoru) a zároveň zachovat výkon srovnatelný s motorem o vyšším zdvihovém objemu. Dosažení tohoto efektu je možné díky přeplňování turbodmychadlem, kompresorem nebo oběma součástmi dohromady. Tento trend se nazývá **downsizing** a v překladu jde o snižování velikosti. Na obr. 4.1 je jako příklad uveden motor Renault. Ačkoliv se nejedná o motor s vyloženě malým zdvihovým objemem, princip je stejný a obrázek názorně zobrazuje popisovanou myšlenku. Svislá osa zobrazuje spotřebu, vodorovná osa zobrazuje výkon motoru. Motor o zdvihovém objemu 2 litry tak dosahuje srovnatelného výkonu jako motor o zdvihovém objemu 2,5 litru. Spotřeba klesla cca o 9 %. [9]



Obr. 4.1 Downsizing motorů Renault [59]

Ačkoliv výrobci automobilů prorokují, že downsizing je cesta budoucnosti, existuje zde řada skeptiků, která tento trend neobdivuje. Odpůrci argumentují vcelku logickým názorem, že vyšší provozní otáčky přeplňovaného motoru vedou ke snižování jeho životnosti a větší množství použitých komponent zvyšuje pravděpodobnost poruchy. Mezi mnohými potenciálními zákazníky v tomto ohledu rovněž panuje určitá zdrženlivost, jelikož náhradní díly pro přeplňovaný motor většinou nejsou levnou záležitostí. Výrobci však zákazníky ubezpečují tím, že životnost je zaručena kvalitním zpracováním. Zkušenosti dosavadních uživatelů většinou rovněž potvrzují, že není důvod obávat se zásadních problémů.

Jelikož v dnešní době existuje díky intenzivnímu vývoji široká škála zážehových motorů, vydal by jejich popis na několik knih, proto jsou v následující kapitole uvedeni pouze nejvýraznější zástupci této kategorie. Výběr níže popsaných motorů byl inspirován dobrým umístěním těchto motorů v anketě International Engine of The Year Award v posledních letech.



4.1 ZÁŽEHOVÉ MOTORY

Je-li řeč o malých úsporných motorech, jedná se většinou o motory zážehové. Existuje několik důvodů, proč je většinou výhodnější napájet malý motor benzinem a nikoliv naftou. Zážehový agregát je totiž lehčí a levnější na výrobu oproti vznětovému. A právě požadavek na nízkou cenu je většinou zásadní v kategorii malých motorů pro malé vozy. Na druhou stranu není pravda, že by se v této kategorii nepoužívalo dieselových motorů. O tom však pojednává tato práce až později.

4.1.1 FIAT 900CC TWINAIR

Zatímco v roce 2010 ovládla automobilka Fiat kategorii „Nejlepší nový motor“ v anketě International Engine of the Year Award s motorem 1.4 MultiAir, na podzim loňského roku zabodovala s motorem 900cc TwinAir. Tento malý dvouválec ovládl hned tři kategorie – „Nejlepší nový motor roku“, „Ekologický motor roku“ a kategorii do 1 litru zdvihového objemu. Vzhledem k tomu, že anketa je vyhlašována na podzim každého roku, je tento motor od Fiatu stále aktuálním vítězem uvedených kategorií. [10]



Obr. 4.2 Fiat 900cc TwinAir [60]



TwinAir je označení nové generace dvouválcových motorů vyvinutých v divizi FPT (Fiat Powertrain Technologies). Fiat 900cc TwinAir je výjimečným motorem v několika směrech. Jednak je jediným dvouválcovým motorem pro osobní automobily na současném trhu, dále pak je opatřen ventilovým rozvodem MultiAir (s elektrohydraulicky ovládaným zdvihem a časováním) a také je nejúspěšnějším zážehovým motorem na trhu. [11], [12]

Dvouválcový motor není po automobilku Fiat ničím novým, výroba takových motorů má zde totiž svou dlouholetou tradici. [13]

TECHNICKÉ ÚDAJE A KONSTRUKCE

Jedná se o zážehový řadový dvouválec se zdvihovým uložením vepředu napříč před přední nápravou. Zdvihový objemem je 875 cm^3 . V nabídce jsou tři verze. Ta základní má atmosférické plnění výkon 48kW a krouticí moment 89 Nm, obě výkonnější disponují turbodmychadlem a výkony 63kW (krouticí moment 145 Nm) a 77kW (krouticí moment 155 Nm). Počet ventilů je 8. [12], [14], [15]

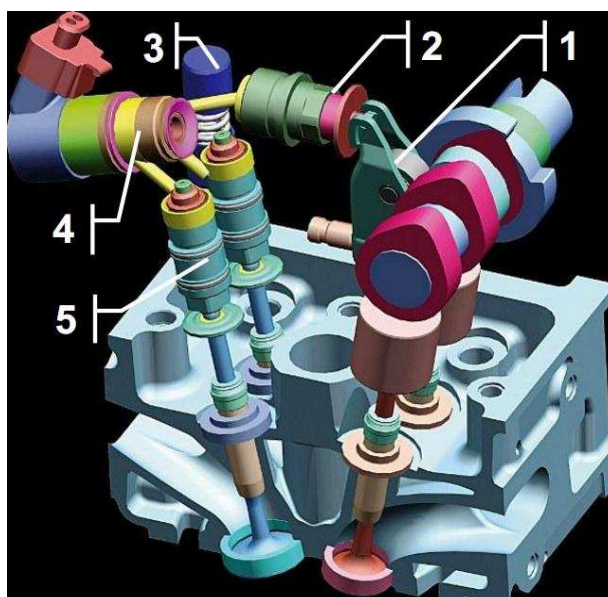
Vrtání válců je 80,5 mm, zdvih je 86 mm, jedná se tedy o nadčtvercovou koncepci. Pohyb obou pístů je zcela souběžný a síly od nich působí na klikový hřídel ve stejný okamžik. Tím však dochází k nerovnoměrnému chodu s výraznou acykličností. Tento problém je zde řešen použitím velkého vyvažovacího hřídele, který rotuje v opačném směru než klikový. Pohon je zajištěn přímo od něj převodem s čelním ozubením. Díky tomuto řešení jsou vibrace výrazně eliminovány, nicméně v otáčkách do 2000 min^{-1} je jejich projev stále znatelný. [13]

Blok motoru je vyroben z litiny, což sice neodpovídá současnému trendu, kdy se bloky vyrábějí často z hliníkové slitiny, nicméně použití litiny zaručuje delší životnost a menší náchylnost k závadám spojeným s případným přehřátím. [13]

Bezúdržbový rozvodový řetěz pohání pouze jediný vačkový hřídel. Ten přímo ovládá výfukové ventily. Sací ventily jsou ovládány elektrohydraulicky pomocí vysokotlaké komory naplněné olejem. Tento systém se nazývá MultiAir. [13]

MultiAir je nový systém ovládání sací ventilů vyvinutý automobilkou Fiat a poprvé použit v roce 2009 v Alfa Romeo MiTo. Použitím této technologie došlo k odstranění mechanické vazby mezi vačkovým hřídelem a sacími ventily. [16]

Systém zajišťuje řízení plnění motoru vzduchem bez pomoci škrticí klapky. Tím je dosaženo větší pružnosti v porovnání s mechanickým ovládaním ventilů. Princip tohoto systému je následující: Vačka na vačkovém hřídeli ovládá píst, který působí na sací ventil přes kapalinovou komoru, jejíž objem je možné měnit pomocí solenoidového ventilu na základě pokynů řídicí jednotky. Jestliže je komora naplněna olejem pod tlakem, tak plně přenáší pohyb z vačky na sací ventil a otevírá jej jako při klasickém spojení. Pokud však dojde k otevření solenoidového ventilu, tlak oleje klesá a tím se modifikuje otevírání sacího ventilu. K zavírání sacího ventilu jsou klasicky použity pružiny, nicméně je možné zavírání časově regulovat pomocí natlakování kapalinové komory, která tvoří mezičlánek systému. Pro získání maximálního výkonu je solenoidový ventil zavřen a dochází k úplnému otevření sacího ventilu. Vačka sání je navržena pro největší výkon při největších otáčkách (dlouhá doba otevření). Během nízkých otáček se solenoidový ventil otevře a sací ventil se zavírá dříve. Při částečné zátěži se solenoidový ventil otevírá dříve, vyvolává je částečné otevření sacího ventilu a tím je regulován průtok vzduchu pro požadovaný točivý moment. Rovněž lze částečně otevřít sací ventily zavřením solenoidového ventilu po zahájení zdvihu vačkou. V tomto případě vzduch proudí do válce rychleji a vytváří zde větší proudění. [17]



Obr. 4.3 Schéma MultiAir [61]

- „1. vahadlo
- 2. pístové hydraulické čerpadlo
- 3. zásobník tlaku
- 4. tlaková komora s ovládacím solenoidem
- 5. zdvihátko ventilu“ [18]

Způsobem popsaným na předchozí straně lze libovolně měnit profil zdvihu sacího ventilu. Systém MultiAir používá pět předem definovaných režimů. Zajímavý je například městský režim MultiLift, při kterém se otevřou ventily během jednoho zdvihu několikrát za kratší dobu. [19]



Obr. 4.4 Režimy MultiAir [62]



Motor ve verzi 85k využívá mimo jiné systému START/STOP, který dočasně vypne motor při delším stání. Dle výrobce je tím snížena městská spotřeba paliva o 12%. [14]

PLNĚNÍ EMISNÍCH NOREM

Pohonná jednotka 0,9 TwinAir splňuje normu Euro 6, která vstoupí v platnost v roce 2014. Množství vypouštěného CO₂ je 95g/km. [20]

PŘÍKLADY POUŽITÍ

Výše popsaným motorem jsou vybaveny například vozy Fiat 500, Fiat Panda, Fiat Punto Evo, Alfa Romeo MiTo nebo Lancia Y.



Obr. 4.5 Fiat 500 [63]



Obr. 4.6 Alfa Romeo MiTo [64]

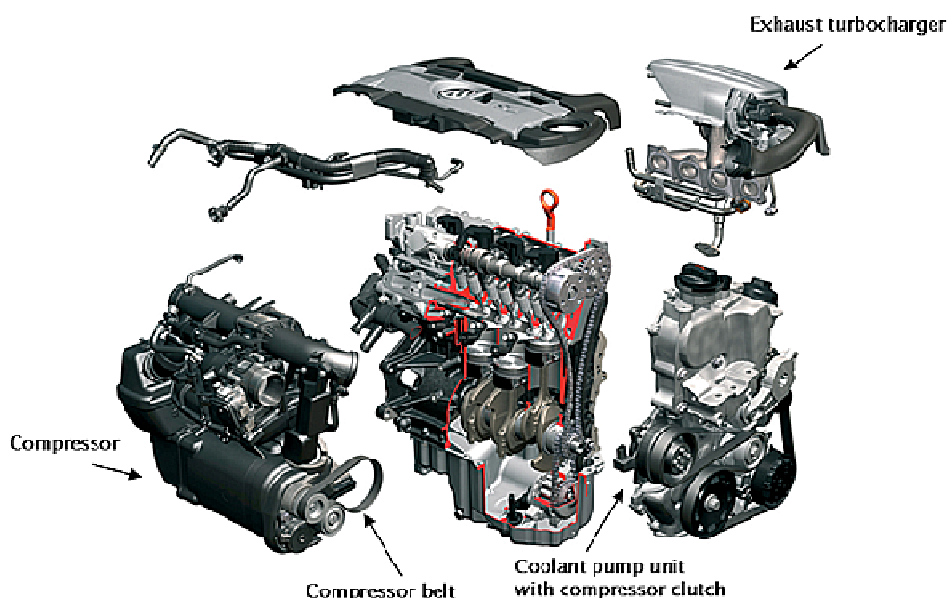


4.1.2 VOLKSWAGEN 1.4 TSI TWINCHARGER

V roce 2006 přišla automobilka Volkswagen s novým dvakrát přeplňovaným motorem 1.4 TSI Twincharger, který ihned zaujal výsadní postavení ve své třídě a drží si jej dodnes. Umístění na první příčce ankety International Engine of the Year Award v kategorii od 1.0 do 1.4 litru zdvihového objemu svědčí o kvalitách tohoto motoru. Nutno dodat že tohoto umístění dosahuje motor každý rok už od svého uvedení. V roce 2009 tento motor obsadil v dané anketě první příčku dokonce v kategorii „Green Engine of the Year“ (zelný/ekologický motor roku) a v letech 2009, 2010 se stal celkovým vítězem ankety. [21], [22]

Dnes existuje celá rodina motorů TSI, které se montují do mnoha automobilů koncernu Volkswagen. K dispozici jsou verze 1.4, 1.8 a 2.0; přičemž každá z nich existuje jednak v provedení pouze s turbodmychadlem, ale také v provedení s kompresorem i turbodmychadlem. V následujícím textu je popsána verze 1.4 Twincharger, která disponuje jak kompresorem, tak turbodmychadlem. [23]

Označení TSI je zkratkou slov Twincharged Stratified Injection.



Obr. 4.7 Volkswagen 1.4 TSI Twincharger [65]

TECHNICKÉ ÚDAJE A KONSTRUKCE

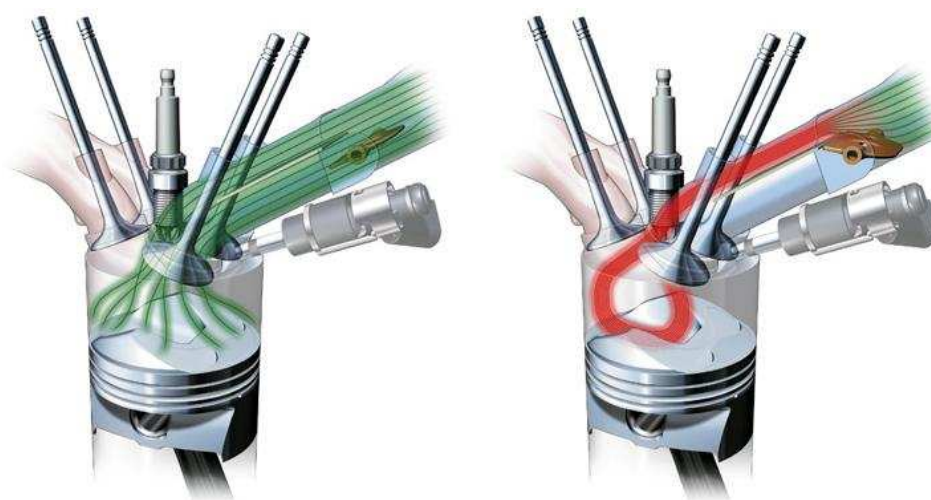
Jednotlivé části motoru v podstatě nejsou nijak revoluční, dohromady však tvoří ojedinělý celek. Jedná se o řadový čtyřválec s čtyřmi ventily na jeden válec uložený vpředu napříč. Zdvihový objem motoru je přesně 1390 cm³ (vrtání 76,5 mm, zdvih 75,6 mm). Rozvod je typu DOHC. Blok motoru je vyroben z šedé litiny. Díky tomu odolává vysokým tlakům. Motor využívá technologii přímého vstřikování paliva označovanou jako FSI. U motorů TSI bylo poprvé použito vysokotlakých vstřikovacích trysek se šesti otvory. Umístění vstřikovače je podobné jako u atmosféricky plněných motorů, a sice na vstupní straně mezi plnicí kanál a rovinu těsnění hlavy. Maximální plnicí tlak je 150 barů a kompresní poměr dosahuje hodnoty 10:1, což je u přeplňovaného motoru poměrně vysoké číslo. [24]



FSI (Fuel Stratified Injection) technologie se u motorů Volkswagen používá již řadu let. Poprvé byla použita v závodním voze Audi R8, který v letech 2001-2002 ovládl závody v Le Mans. Zkratka v překladu znamená „vrstvené vstřikování paliva“. Technologie se používá u benzinových motorů s přímým vstřikováním paliva. Dochází tedy k tzv. vnitřní tvorbě směsi. Pro optimální tvorbu směsi byl vyvinut speciálně tvarovaný spalovací prostor. Výhody plynoucí z použití motoru FSI jsou jednak lepší dynamika, vyšší výkon a točivý moment motoru, ale také úspora pohonných hmot. Všechny těchto výhod je dosaženo regulací bohatosti směsi a přímým vstřikem. [25]

System FSI funguje ve dvou základních režimech. Je to režim spalování vrstvené směsi a režim spalování homogenní směsi. Při částečném zatížení motoru, což je nejčastější situace provozu motoru, je v průběhu sání přiváděn vzduch speciálně tvarovaným potrubím a to tak, že vzniká točivý vír. Těsně před maximálním zdvihem pístu je pod vysokým tlakem vstříknuto minimální množství benzínu. Vír ve válci vytvoří několik vrstev směsi, přičemž každá má jiný poměr paliva a vzduchu. Takto vzniká vrstvené plnění. Do okolí zapalovací svíčky je vstřikována taková směs, která je velmi chudá avšak stále dostatečně bohatá na to, aby mohla být zažehnutá. Zbývající prostor válce je vyplněn mnohem chudší směsí, která neobsahuje skoro žádné palivo. Tato okolní směs navíc působí jako tepelný izolátor a snižuje tak ztráty tepla. V tomto pracovním režimu dochází zhruba k 15 % snížení spotřeby paliva. Při volnoběhu může úspora dosáhnout až 40 %. [25], [26]

V režimu plného zatížení, na který motor přejde například při prudkém sešlápnutí plynového pedálu, se tvoří ve spalovacím prostoru homogenní směs. Motor pracuje podobně jako běžný benzinový motor bez přímého vstřikování, nicméně účinnost je stále o něco vyšší díky zvýšenému kompresnímu poměru, kterého je dosaženo díky technologii FSI. [26]



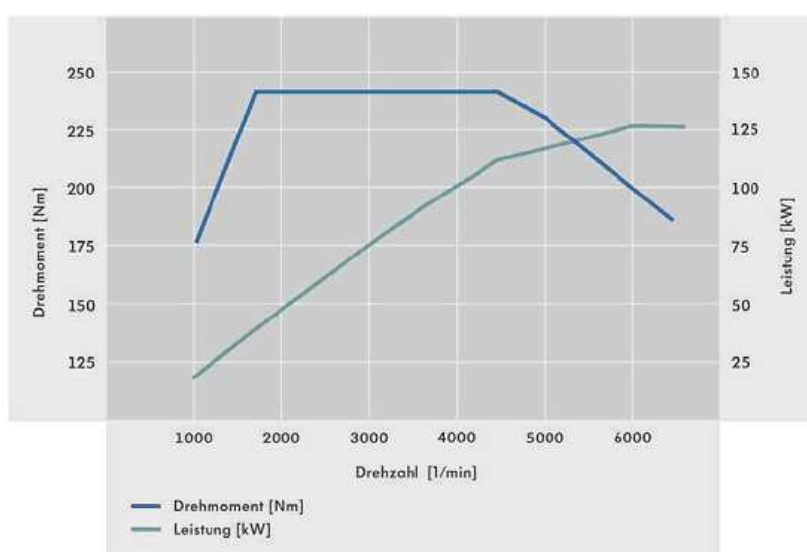
Obr. 4.8 FSI (vlevo – tvorba nehomogenní směsi; vpravo – tvorba homogenní směsi) [66]

Přímé vstřikování nepřináší pouze výhody. Jedna z jeho největších nevýhod je množství vznikajících oxidů dusíku (NO_x). Zde je problém řešen tzv. adsorpčním katalyzátorem se senzorem oxidů dusíku. Největší množství NO_x vzniká při spalování chudé směsi. Tyto oxidy jsou dočasně podrženy v adsorpčním katalyzátoru a posléze přeměněny na dusík v průběhu konvenčního spalování. [25]



Princip dvojitého přeplňování je konstruktérům známý už mnoho let a teoreticky je vcelku jednoduchý, nicméně v praxi se využívá jen výjimečně. Jak již bylo zmíněno výše, motor 1.4 TSI Twincharger disponuje jednak mechanickým kompresorem (Rootsovým), ale zároveň je vybaven turbodmychadlem. Tato lehce netypická konstrukce z něj dělá konkurenta pro mnohem větší atmosféricky plněné motory. Výkonové parametry tohoto 1.4 TSI jsou srovnatelné s nepřepřlňovaným motorem o objemu 2,3 litru, avšak spotřeba je o více než 10% nižší. V průměru jde o hodnotu 7,2 l/100 km. [23], [27]

Maximální hodnota výkonu je 125kW/170k a maximální točivý moment 240 Nm je k dispozici v rozmezí otáček 1750 min^{-1} až 4500 min^{-1} . V rozmezí otáček 1250 min^{-1} až 6000 min^{-1} dokonce neklesá pod hodnotu 200 Nm. Momentová charakteristika motoru je tedy velmi plochá, což je patrné na obr. 4.9. [23], [27]



Power/torque characteristic of 1.4 TSI 125 kW

Obr. 4.9 Momentová charakteristika 1.4 TSI Twincharger [67]

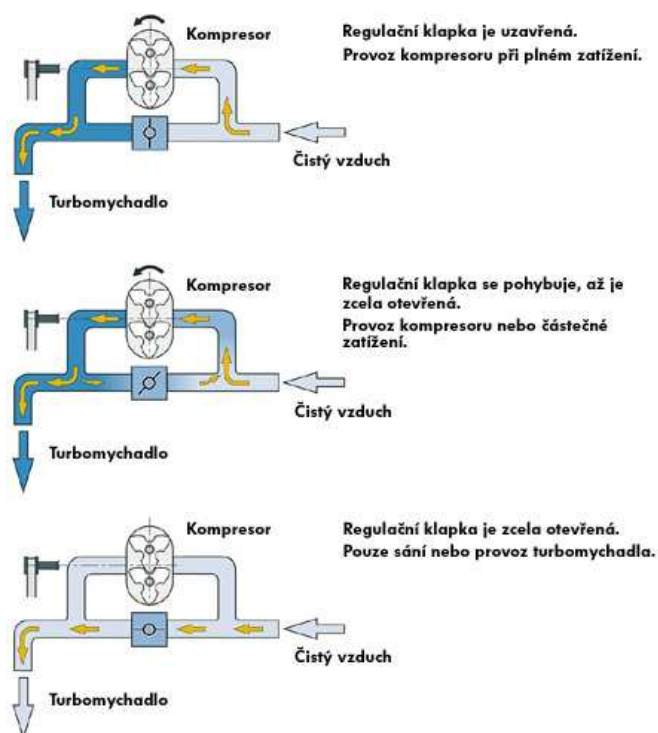
Rootsův kompresor, který je zde použit, má jednu speciální vlastnost a tou je vnitřní převod předřazený synchronizačnímu soukolí. Díky tomu je zajištěn jeho vysoký výkon i během nízkých otáček motoru. Uvedení kompresoru v činnost je zajištěno elektromagnetickou spojkou, která je integrována v pohonu chladicího čerpadla. Při práci dosahují kola kompresoru otáček $18\,000 \text{ min}^{-1}$. [24], [27]

Turbodmychadlo je poháněno výfukovými plyny a do provozu je zapojováno pomocí obtokového ventilu. Přepínáním regulační klapky je plnicí vzduch přiváděn buď do kompresoru, nebo do turbodmychadla (Obr. 4.10). Kolo turbodmychadla dosahuje při práci otáček až $205\,000 \text{ min}^{-1}$. [24], [27]

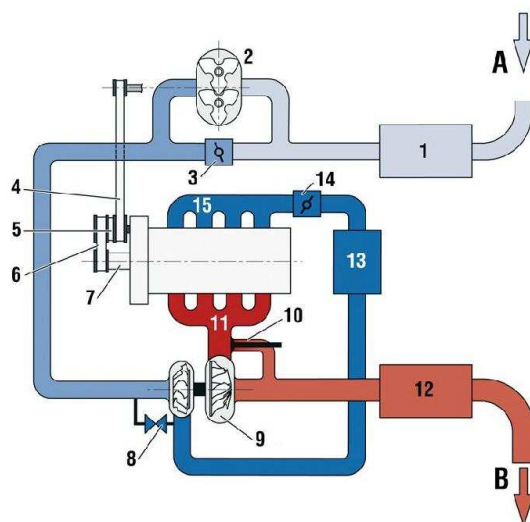
Motor má tři režimy plnění. V nízkých otáčkách (do 2400 min^{-1}) pracuje kompresor samostatně a trvale. Od otáček 2400 min^{-1} začíná pracovat turbodmychadlo a kompresor je odpojen. Nicméně v případě potřeby (prudká akcelerace) pracuje současně s turbodmychadlem. Od otáček 3500 min^{-1} už pracuje turbodmychadlo zcela samostatně a to i při rychlém přechodu z částečného zatížení na plné. [28]



Následující obrázek (Obr. 4.10) ilustruje princip činnosti regulační klapky, která zajišťuje plynulý přechod mezi plněním kompresorem a turbodmychadlem. Přebytečný tlak z kompresoru je přepouštěn do turbodmychadla. Obr. 4.11 znázorňuje celý systém TSI.



Obr. 4.10 Princip činnosti regulační klapky [68]



Obr. 4.11 Systém TSI Twincharger [69]

Popis obrázku 4.11: A – čerstvý vzduch, B – výfukové plyny, 1 – vzduchový filtr, 2 – kompresor, 3 – regulační klapka, 4 – řemenový pohon kompresoru, 5 – magnetická spojka, 6 – řemenový pohon přidavného agregátu, 7 – klikový hřídel, 8 – posuvný vzduchový ventil, 9 – turbodmychadlo, 10 – klapka rozvodu výfukových plynů, 11 – sběrné výfukové potrubí, 12 – katalyzátor, 13 – chladič plnicího vzduchu, 14 – škrticí klapka, 15 – nasávací potrubí [69]

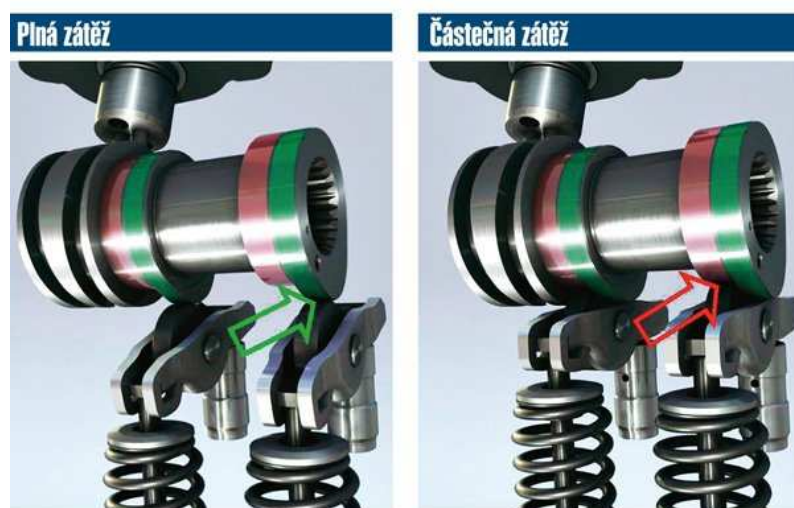


Další technologií použitou u tohoto motoru je **Aktivní odpojování válců (ACT)**. Přesněji řečeno – tento systém se začal používat u motorů TSI teprve v únoru tohoto roku (2012). Jako první byl tímto motorem vybaven vůz VW Polo BlueGT, který se na českém trhu objeví během letošního léta. [29]

Systém vypínání válců se u víceválcových velkoobjemových motorů běžně používá již od 80. let minulého století, nicméně aplikace této technologie u maloobjemového motoru je vskutku ojedinělý krok. Systém se rovněž využívá v monopostech F1. Běžně se tento systém využívá u několika automobilových koncernů, avšak pod jinými názvy. U koncernu GM se používá název *Displacement on Demand* a *Active Fuel Management*, Honda systém nazývá *Variable Cylinder Management*, Chrysler systém pojmenoval *Multi-Displacement System* a Daimler jej pojmenoval *Active Cylinder Control*. [30]

V případě motoru 1.4 TSI je systém ACT aplikován u výkonové verze 103 kW. Systém je aktivní v rozpětí otáček 1250 až 4000 min^{-1} a při požadavku na velikost točivého momentu v rozmezí 25 až 100 Nm. Což odpovídá 70 % jízdních stavů v normovaném cyklu EU. Sešlápne-li řidič plynový pedál o něco víc, oba doposud odpojené válce se jemně připojí. Celý proces připojení se odehraje během poloviny otáčky vačkového hřídele, což trvá pouhých 13 až 35 milisekund. Přejít je vyrovnáván zásahy řídicí jednotky do zapalování a polohy škrticí klapky. Plynový pedál je vybaven senzorem a sledovacím softwarem, který rozpoznává nerovnoměrnou jízdu. V takové situaci k odpojování válců nedochází. Řidič je o činnosti a případném odpojení válců informován na multifunkčním displeji. Celý tento systém váží necelé 3 kg a úspora paliva činí v kombinovaném režimu 0,4 litrů na 100 km. [31]

Princi systému je názorně zobrazen na Obr. 4.12. Vlevo je systém v plné zátěži, vpravo jsou odpojeny válce 2 a 3 posunutím vaček.



Obr. 4.12 Vypínání válců v motoru TSI [70]

K dalšímu snížení emisí a spotřeby paliva slouží **Systém natáčení vačkových hřídelů**. Vačkový hřídel se může natáčet v rozmezí 50° natočení klikového hřídele. Zde u motoru TSI se natáčí vačkový hřídel výfukových ventilů. Díky tomu je zajištěno požadované rozpětí časování a motor má tak velmi spontánní reakci na sešlápnutí plynového pedálu při nízkých otáčkách. Zároveň je zvýšena hnací síla ve vysokých otáčkách. [31]



PLNĚNÍ EMISNÍCH NOREM

Vyhovění neustále přísnějším emisním normám je jedním z hlavních důvodů, které vedou automobilku Volkswagen k neustálému vylepšování svých agregátů. Výše popsaný motor 1.4 TSI plní normu Euro 5 (145 g/km CO₂) v případě doposud používaných verzí bez systému vypínání válců. Nová verze motoru disponující systémem vypínání válců plní normu Euro 6 (105 g/km CO₂). [29]

PŘÍKLADY POUŽITÍ

Volkswagen: Polo, Golf, Scirocco, Eos, Jetta, Tiguan, Touran, EOS;

Audi: A1, A3;

Škoda: Fabia RS, Octavia, Superb, Yeti;

Seat: Leon, Ibiza Cupra, Altea.



Obr. 4.13 Volkswagen Golf 6. generace [71]



Obr. 4.14 Škoda Fabia RS 2. generace [72]

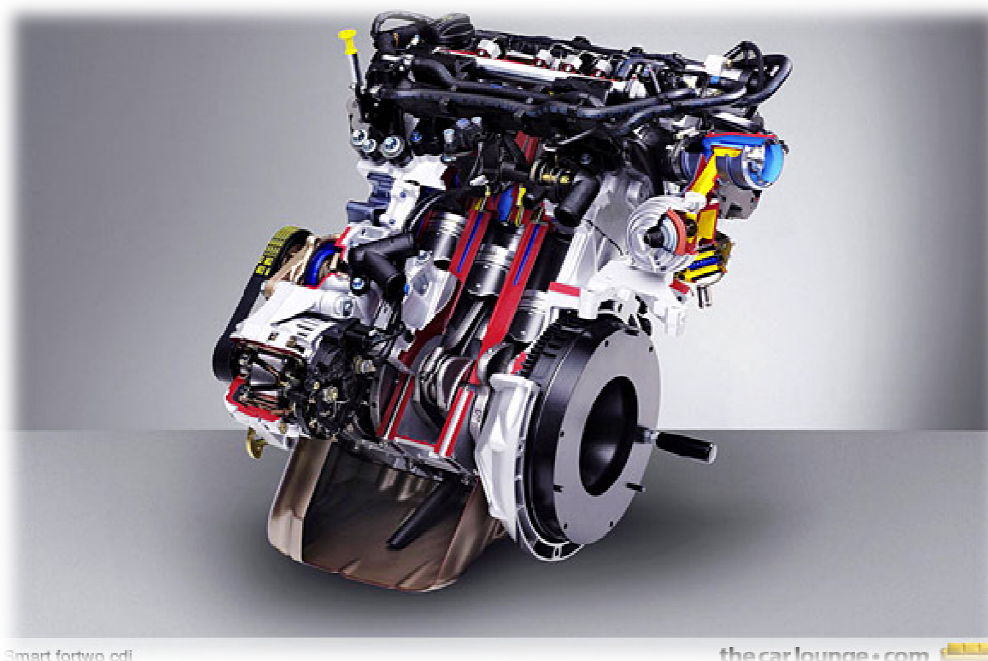


4.2 VZNĚTOVÉ MOTORY

Použití dieselového motoru pro malý automobil není tak běžnou záležitostí jako použití motoru benzinového. Malé automobily jsou totiž primárně určeny pro přepravu na krátké vzdálenosti a to s minimálními náklady na provoz i pořízení. Což je lehce v rozporu s filosofií dieselového motoru, který byl původně určen pro nákladní automobily, protože má delší životnost ale zároveň vyšší náklady na údržbu a pořízení. Velkou výhodou vznětového motoru je však vyšší účinnost a díky tomu nižší spotřeba oproti zážehové jednotce. Mnoho automobilek proto vyrábí malé velmi úsporné dieselové agregáty a neustále pracuje na jejich zlepšení. Příkladem jsou následující dva motory, které se v roce 2011 objevily na předních příčkách ankety The International Engine of the Year Award.

4.2.1 SMART 799 CC CDI

Ačkoliv v loňském roce ovládl kategorii malých motorů se zdvihovým objemem do 1 litru zážehový Fiat 900cc TwinAir, nezůstal zcela pozadu ani vznětový Smart diesel 799cc, který se umístil v dané kategorii na 4. příčce. Motor slouží jako pohon vozu Smart ForTwo a jeho výhoda tkví především v nízké spotřebě paliva, která činí v kombinovaném režimu 3,3 l/100km. Navíc drží světové prvenství, jelikož je nejmenším sériově montovaným dieselovým motorem s přímým vstřikováním na světě.



Obr. 4.15 Smart 799cc CDI [73]



TECHNICKÉ ÚDAJE A KONSTRUKCE

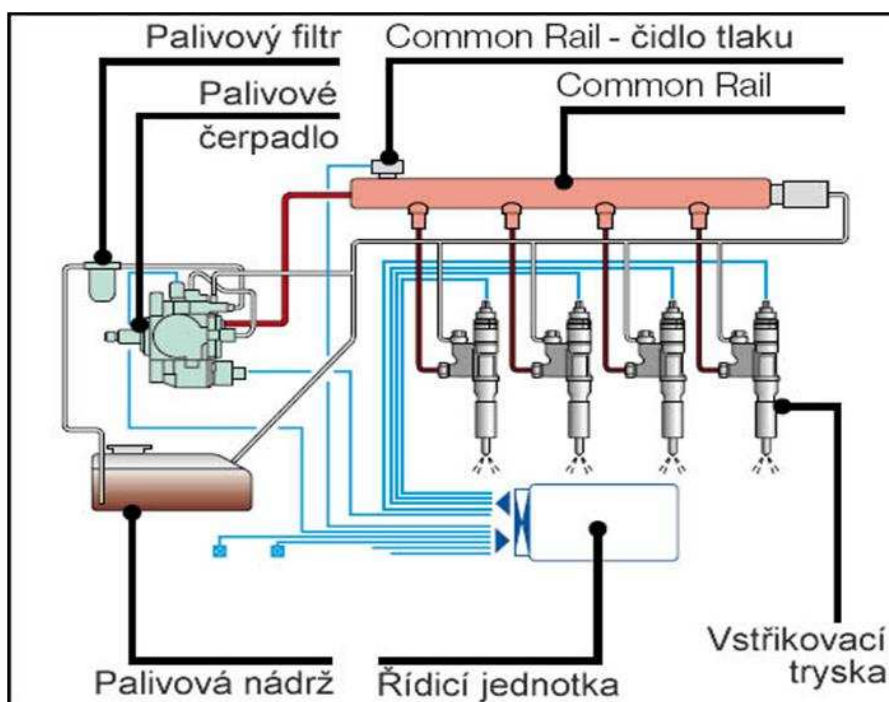
Jedná se o přeplňovaný vznětový tříválec s dvěma ventily na válec. Zdvihový objem činí 799 cm^3 a maximální výkon je 33 kW při 3800 otáčkách za minutu. Nejvyšší točivý moment je 110 Nm v rozmezí otáček $2000\text{-}2500 \text{ min}^{-1}$. Blok motoru je vyroben ze slitiny hliníku. [32]

Celý motor váží pouhých 86 kg a v automobilu je upevněn napříč. Motor využívá systém přímého vstřikování **Common-Rail** od společnosti Bosh. Jedná se o typ EDG15C, který vstřikuje palivo pod tlakem až 23 200 PSI (1 600 barů). [33]

Common-Rail je systém přímého vstřikování nafty pod vysokým tlakem. První prototyp takového systému vznikl na konci 60. let. Poté pokračoval jeho vývoj, v roce 1993 zakoupila patenty firma Robert Bosh GmbH, která systém dále vyvíjela a posléze použila v roce 1997 u automobilů Alfa Romeo 156 1.9 JTD a později Mercedes-Benz E 320 CDI. Což jsou tedy první sériově vyráběné automobily se systémem Common-Rail. [34]

Systém funguje tak, že palivo je stlačeno čerpadlem na velmi vysoký tlak (okolo 2000 barů). Dále pak palivo proudí do tlakového zásobníku (rail), ten udržuje tlak na požadované konstantní úrovni pomocí regulačního ventilu a je pro všechny válce společný (common). Palivo je pak z tohoto zásobníku rozváděno ke vstřikovačům, které se otevírají a vpouštějí tak určitou dávku paliva do válce. Přebytečné palivo se vrací zpět. Díky vysokému a konstantnímu tlaku v zásobníku je vstřikované palivo lépe rozptýleno ve válci a směs lépe hoří. [35]

Vstřikovačem je vybaven každý z válců motoru a lze prohlásit, že jde o podobný systém, jako je přímé vstřikování paliva u zážehových motorů. Ovládání vstřikovačů zajišťuje řídicí jednotka, která určuje parametry vstřikovaného paliva. [35]



Obr. 4.16 Schéma Common-Rail [74]



System Common-Rail prošel několika generacemi vývoje. V případě prvních dvou generací byl vstřikovač ovládán elektromagnetickým ventilem. U třetí generace byl však tento ventil nahrazen tzv. piezoelementem nebo piezo-inline technikou. Tato součástka je složena (v případě výrobku od firmy Siemens) z 300 křemíkových plátek a celkové výšce 3 cm. Je-li do těchto plátek přivedeno napětí 140 V, prodlouží se o 0,8 mm. Tato hodnota zdvihu je zdvojnásobena díky použité páce. Tímto vpouštěním elektrické energie do piezoelementu je otevírána a zavírána vstřikovací tryska a to během pouhé desetitisíciny sekundy. Během jednoho cyklu je možno vstříknout palivo více než pětkrát. Použitím tohoto systému došlo k výraznému snížení emisí. [35]

Rovněž je velmi důležité zmínit, že motor využívá tzv. **pilotních vstříků**. Palivo je několik milisekund před hlavním vstřikem vstříknuto do spalovacího prostoru, kde se vznítí a přehřívá válec. Výsledkem je značně hladší chod motoru. Načasování těchto pilotních vstříků je zajišťováno řídicí jednotkou. [36]

Další komponentou je **turbodmychadlo**. Jeho kolo má v průměru pouze 31 mm, nicméně pracuje v otáčkách dosahujících až $290\,000\text{ min}^{-1}$ a vytváří relativní tlak 1,2 baru. Díky tomu má motor už od otáček 1500 min^{-1} krouticí moment 85 Nm z maximálních 110 Nm. [36]

V závislosti na jízdním režimu a zatížení motoru je až 60 % vzniklých zplodin přivedeno zpět do spalovacího prostoru, kde ještě jednou projdou procesem hoření, což značně snižuje obsažené množství oxidů dusíku. Tato recirkulace je řízena elektropneumatickým pohonem, který umožňuje rychlou reakci na změny. Dále procházejí zplodiny katalyzátorem a filtrem pevných částic. [36]

PLNĚNÍ EMISNÍCH NOREM

Motor plní emisní normu Euro 5. Množství vypouštěného CO_2 je 88 g/km. [33]

PŘÍKLADY POUŽITÍ

Smart ForTwo



Obr. 4.17 Smart ForTwo [75]



4.2.2 FIAT-GM DIESEL 1.3 MULTIJET/JTD

Tento motor v podstatě není úplnou novinkou. Poprvé byl představen v roce 2003 a patří do velké rodiny motorů JTD (uni Jet Turbo Diesel). Neustále však prochází inovacemi a díky tomu po celou dobu patří mezi nejlepší motory segmentu malých dieselových agregátů. V roce 2005 byl zvolen motorem roku v kategorii 1 až 1.4 litru. Montuje se v Polsku v městě Bielsko-Biala. [37], [38]

Označení JTD zahrnuje skupinu dieselových motorů Fiat, které využívají systém Common-Rail. Druhá generace těchto motorů je označována jak MultiJet. Na vývoji motoru se podílel i koncern General Motors, který jej také používá pro některé své automobily. Odtud označení „Fiat-GM“ Existuje několik objemových verzí (1.3, 1.6, 1.9, 2.0 a 2.4). [38]



Obr. 4.18 Fiat-GM 1.3 Multijet [76]

TECHNICKÉ ÚDAJE A KONSTRUKCE

Pro motor se kromě označení Multijet někdy používá i označení SDE (Small Diesel Engine). Při jeho použití u jiných značek automobilů se používají označení CDTi (Opel), DDiS (Suzuki), Quatra-Jet (Tata) a Duratorq (Ford). Jedná se o vodou chlazený řadový čtyřválec s čtyřventilovým rozvodem DOHC, zdvihovým objemem 1248 cm³ (vrtání x zdvih – 69,6 x 82,0 mm) a turbodmychadlem. Motor je uložený vepředu napříč, blok motoru je z litiny, hlava je ze slitiny hliníku. Jeden vačkový hřídel je poháněn ozubeným řemenem, druhý je poháněn ozubeným soukolím. Motor dále disponuje elektronickou recirkulací s výměníkem tepla (chlazení výfukových plynů). Hmotnost motoru i s příslušenstvím je 130 kg. Existují zde čtyři výkonové verze motoru: 51 kW (170 Nm), 55 kW (190 Nm), 66kW (200 Nm) a 77 kW. [37], [38]



Multijet – Je název systému přímého vstřikování, při kterém řídicí jednotka volí jeden, dva nebo tři vstřiky během jednoho pracovního cyklu v závislosti na zatížení motoru a stylu jízdy. Zvyšuje se tak výkon, účinnost, kvalita průběhu točivého momentu a snižují se emise. Ve čtveřici ventilů se uprostřed každého z nich nachází vstřikovací tryska. Ta, jak bylo výše zmíněno, dodává jeden až tři vstřiky během cyklu. Při větším počtu vstřiků se celkové množství vstříknutého paliva nemění, je jen lépe rozděleno do jednotlivých vstřiků. Tím je dosaženo nižší hlučnosti a menšího množství vypouštěných emisí. [37]

Motor je rovněž vybaven nejnovějším systémem Common-Rail od firmy Bosh. Minimální množství vstřikovaného paliva je méně než 1 mm^3 . Při teplotě chladicí kapaliny do 60°C jsou využívány dva malé a jeden hlavní velký vstřik krátce po sobě, při dalším narůstání krouticího momentu je počet vstřiků snížen na dva (malý a velký), během jízdy ve vyšší rychlosti je to pak pouze jeden velký. Pokud vzroste teplota chladicí kapaliny nad 60°C , mění se opět způsob vstřikování. Vstřikuje se jeden malý, velký a opět malý vstřik. Existuje však i mnoho dalších možností, které volí řídicí jednotka na základě konkrétní situace. [37]

Některé verze motorů jsou vybaveny systémem **Start and Stop**. [37]

Dále je motor opatřen **turbodmychadlem s variabilní geometrií**. U motorů s pevnou geometrií turbodmychadla je ventil waste-gate ovládán stlačeným vzduchem, ale zde u turbodmychadla s variabilní geometrií je ovládán podtlakově přes modulační elektroventil podtlaku. Změnu si vyžádalo otevírání ventilu waste-gate při všech provozních situacích turbodmychadla, což v prvním případě nebylo možné. Díky podtlakovému ovládání je možné otevírat ventil waste-gate, a snižovat tak tlak přeplňování, během regenerace odlučovače pevných částic (DFP). Tím je usnadněno spuštění tohoto procesu. Tento variabilní systém přináší několik výhod, jako jsou například:

- „rychlejší reakce systému při ovládání lopatek turbodmychadla
- větší stabilita přeplňování při přechodových stavech
- rychlost při přechodových stavech, a tedy vyšší výkon při akceleraci
- z hlediska diagnostiky existuje možnost rozlišit mezi poruchou související se systémem dodávky vzduchu (případné netěsnosti) a poruchou turbodmychadla“ [39]

PLNĚNÍ EMISNÍCH NOREM

V dnešní době splňuje motor emisní normu Euro 5. Množství vypouštěného CO_2 je 110 g/km . [40], [41]

PŘÍKLADY POUŽITÍ

55 kW: Fiat: Punto, Panda, Palio / Albea, Idea; Opel: Corsa / Combo, Meriva; Suzuki: Swift;

66 kW: Fiat Grande Punto, Linea; Opel Corsa, Astra; Alfa Romeo MiTo

77 kW: Lancia Ypsilon



Obr. 4.19 Fiat Grande Punto 1.3 Multijet 16v [77]



Obr. 4.20 Suzuki Swift Diesel [78]



Obr. 4.21 Lancia Ypsilon [79]



5 MODERNÍ MOTORY VYŠŠÍCH VÝKONNOSTNÍCH TŘÍD

Přestože je v posledních letech nejvýraznějším trendem downsizing a snižování nákladů na výrobu i provoz motorů, je zde stále značné množství zákazníků, kteří požadují velké výkonné motory, jelikož pro tyto zákazníky neexistují zásadní finanční omezení. Vlastně je velmi dobře pozorovatelná diference těchto dvou trendů.

Do kapitoly výkonných moderních motorů osobních automobilů lze zařadit především pohonné jednotky vozů vyšší střední třídy. S motory spadající do kategorie malých úsporných jednotek mají tyto velké pohonné jednotky společné především použité moderní technologie (turbodmychadlo, kompresor, úprava tvorby směsi inteligentní řídicí jednotkou apod.). Liší se však svou filosofií. Zatímco u malých motorů je primárním cílem snížit náklady na výrobu a provoz, dále pak minimalizovat tvorbu emisí, zde u větších motorů je cílem vytvořit výkonný a kultivovaný agregát bez ohledu na jeho cenu. Přesněji řečeno náklady na výrobu jsou důležité, nejsou však tím hlavním hlediskem zákazníka při výběru automobilu vybaveného příslušným motorem.

5.1 ZÁŽEHOVÉ MOTORY

Používání těchto motorů je v dnešní době na ústupu. Od poloviny 20. století až do nedávna byl větší zážehový motor nejčastěji používaným pohonem osobních automobilů. Především v USA měly, a stále ještě mají, takové motory svou tradici. Vzhledem k rostoucím cenám ropy a zvyšujícím se požadavkům na ekologický chod motoru však tento trend ustupuje. Původní velké atmosférické motory jsou dnes nahrazovány buď menšími motory, které dosahují stejných výkonů jako jejich větší předchůdci anebo dieselovými motory, které podávají stejný výkon při nižší spotřebě paliva. I přesto však mají tyto motory své místo na trhu a jsou používány v dražších většinou sportovně laděných vozech. Majitelé takových vozů si na zážehových motorech cení především jejich postupného nástupu výkonu, pružného chodu, výrazného zvuku vycházejícího z výfuku a celkové zábavnosti při jízdě automobilem se zážehovým výkonným motorem.

Automobilky jako BMW, Audi nebo Ferrari využívají ve velké míře ke zvýšení výkonu motorů nejnovější technologie, avšak jiní výrobci jako např. americký Dodge nebo britský Aston Martin se drží tradičních metod a zvýšeného výkonu svých motorů dosahují jednoduše zvýšením zdvihového objemu.

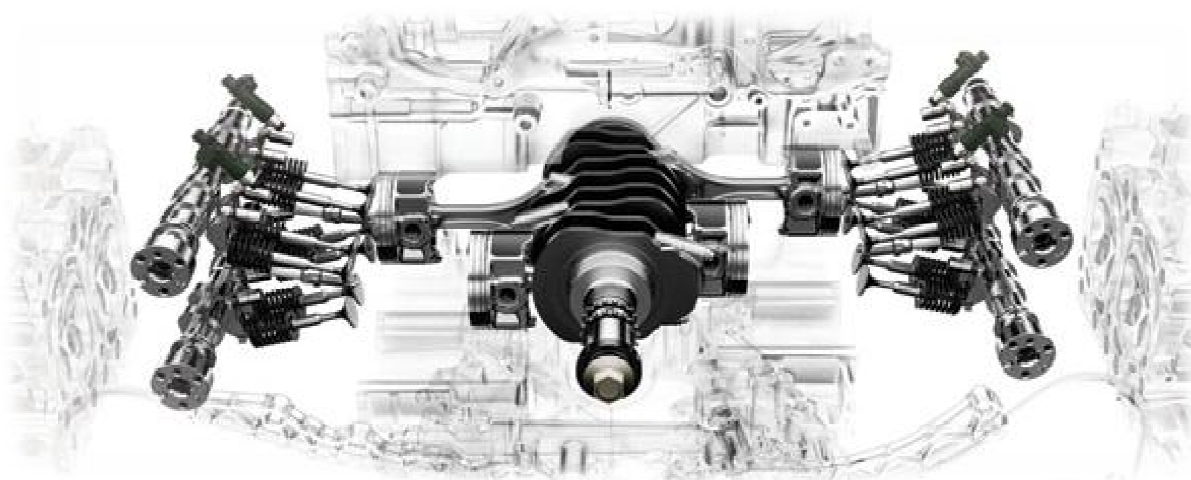
Výkonné benzinové motory se rovněž používají až na výjimky ve sportovních vozech. Hlavním důvodem pro využití tohoto motoru je jeho nízká hmotnost ve srovnání s jeho dieselovou obdobou.



5.1.1 SUBARU 2.5L TURBO

Ačkoliv je zdvihový objem 2,5 l blízko hranice mezi „velkými“ a „malými“ motory, lze tento agregát zařadit mezi ty „velké“. Především výkon přesahující 100 kW nepatří do kategorie malých úsporných motorů.

Agregát 2.5l Turbo patří do velké rodiny motorů EJ. Jde o sérii produkovanou automobilkou Subaru od roku 1989 a navazující na předchozí sérii EA. Motory EJ tvoří hlavní část produkce této automobilky. Jejich společným znakem je 16 ventilový plochý čtyřválec (boxer), s rozvodem DOHC/SOHC a atmosférickým plněním nebo přeplňováním. Zde popsaná verze disponuje rozvodem DOHC a turbodmychadlem. Je označována jako EJ255/EJ257 („EJ25 značí zdvihový objem 2,5 l, číslo 5 nebo 7 pak daný typ této řady.). Motor 2.5 l Turbo zvítězil v letech 2006 a 2008 v kategorii od 2 do 2,5 l zdvihového objemu; v roce 2011 se umístil na třetí příčce. [42]



Obr. 5.1 Schéma plochého čtyřválce Subaru [80]

TECHNICKÉ ÚDAJE A KONSTRUKCE

Jedná se o plochý čtyřválec (boxer) s protiběžnými písty, zdvihovým objemem 2 457 cm³ (vrtání x zdvih – 99,5 x 79,0 mm), čtyřmi ventily na válec, maximálním výkonem 221 kW (při 6 000 min⁻¹) a maximálním točivým momentem 407 Nm (při 4 000 min⁻¹). Motor je uložený vepředu horizontálně a je opatřen turbodmychadlem. Palivová soustava zajišťuje vícebodové sekvenční vstřikování. Blok motoru je vyroben ze slitiny hliníku. [43]

Dual Active Valve Control System – česky systém duálního aktivního řízení ventilů je systém variabilního časování ventilů používaný v motorech Subaru. Tento systém dokáže měnit časování sacích a výfukových ventilů pomocí ovládání natočení vačkového hřídele. Systém je ovládán pomocí hydraulického oleje, který pomocí tlaku **roztáčí** vačkový hřídel podle aktuální potřeby a zajišťuje optimální proudění směsi do motoru. Celý systém je vybaven senzory na klikovém hřídeli, vačkovém hřídeli, snímačem proudu vzduchu a bohatosti směsi, senzorem pro určení úhlu sešlápnutí plynového pedálu a senzorem ve výfukovém systému pro určení množství oxidů dusíku a uhlíku. Řídící jednotka shromažďuje informace ze všech těchto senzorů, uvažuje rovněž otáčky motoru a rychlost automobilu, a vypočítává optimální časování ventilů i bohatost směsi. [44]



Ve čtyřdobém cyklu motoru následuje po výfuku spalín nasátí čerstvé směsi. Překrytím těchto dob pomocí otevírání sacího ventilu ještě před uzavřením výfukového ventilu lze zvýšit výkon, je-li motor pod velkou zátěží. Systém aktivního řízení časování ventilů nepřetržitě reguluje toto překrytí. Rozsah překrytí je od nepatrného překrytí („retard position“ – „opožděná pozice“) až do 35° natočení vačkového hřídele a značného překrytí („advance position“ – „předstihující pozice“). [45]

Systém se skládá ze tří hlavních komponent:

- **řídící jednotka** – Vyhodnocuje údaje ze senzorů a ovládá celý systém. [45]
- **olejový ventil** – Reguluje tlak oleje. [45]
- **aktuátor (pohon)** – Je umístěn v dutém ozubeném kole (nebo řemenici) a spojen přímo s vačkovým hřídelem. Kanálky v aktuátoru je přiváděn hydraulický olej, který zaplňuje komory v dutém ozubeném kole. Přetlakováním jedné nebo druhé části komory se natáčí aktuátor a s ním i vačkový hřídel od polohy nepatrného překrytí otevírání ventilů až do 35° překrytí (Obr. 5.2). [45]



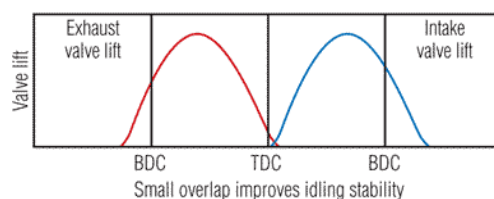
Obr. 5.2 Aktuátor [81]

Systém pracuje ve třech základních režimech:

- **volnoběh** – Sací ventily se otevírají hned poté, co dosáhne píst horní úvratě. Děje se tak v momentě, kdy už jsou výfukové ventily skoro uzavřené. Dochází tak jen k nepatrnému překrytí dob otevírání ventilů (viz Obr. 5.3). Díky nepatrnému nebo žádnému překrytí dob otevírání ventilů vznikne při výfuku zplodin ve válci podtlak, který následně pomůže nasát čerstvou směs při otevření sacího ventilu. Další výhodou variabilního časování ventilů je eliminace problému, který měly dříve výkonné motory při chodu na volnoběh. Při vysokých otáčkách podávaly tyto motory vysoký výkon právě díky velkému překrytí dob otevírání ventilů, avšak při volnoběhu měly velmi nepravidelný chod. Nejlepším příkladem jsou americké „muscle cars“ z 60. a 70. let. [45]

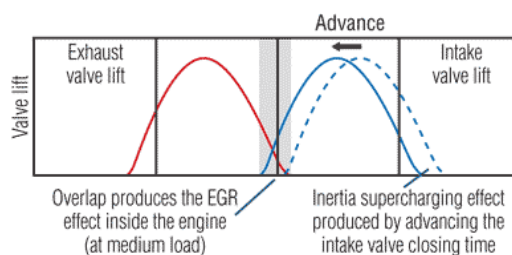


Režim volnoběhu popisuje Obr. 5.3. Červená křivka znázorňuje zdvih výfukového ventilu, modrá znázorňuje zdvih sacího ventilu.



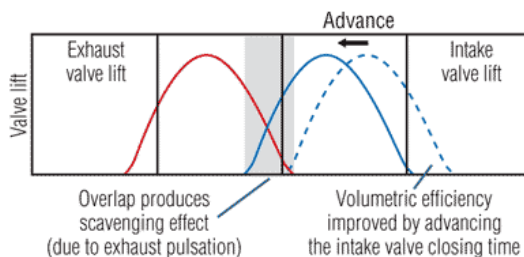
Obr. 5.3 Překrytí pracovních dob ventilů při volnoběhu [82]

- **nízká až střední zátěž** – V tomto režimu se už začínají doby otevření ventilů překrývat. Sací ventil se začíná zavírat o něco dříve. Část spalin vniká zpět do sání a dochází tak k jejich recirkulaci (anglicky zkráceně EGR), což snižuje výfukové emise a pomáhá tak motoru plnit náročné emisní normy. V tomto režimu pracuje s maximální možnou účinností. Režim nízké až střední zátěže popisuje Obr. 5.4 [45]

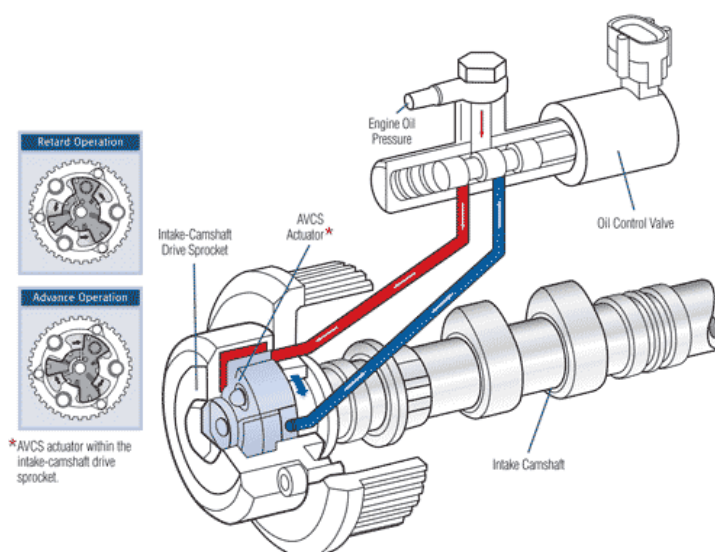


Obr. 5.4 Překrytí pracovních dob ventilů při nízké až střední zátěži [83]

- **vysoká zátěž** – Je-li zapotřebí vysokého výkonu bez ohledu na spotřebu paliva nebo tvorbu emisí (např. při předjížděcím manévru automobilu) a řidič vozidla sešlápne na maximum plynový pedál, začne motor pracovat v tomto režimu. Doby otevírání ventilů se maximálně překrývají a díky tomu dochází k plnění válce ještě v době výfuku. Sací se otevírá a následně zavírá opět o něco dříve (viz Obr. 5.5). [45]



Obr. 5.5 Překrytí pracovních dob ventilů při vysoké zátěži [84]



Obr. 5.6 Schéma systému aktivního řízení ventilů [85]

PLNĚNÍ EMISNÍCH NOREM

Produkce CO₂ je v průměru 243 g/km. Motor plní normu Euro 4. [43]

PŘÍKLADY POUŽITÍ

Vzhledem k ploché konstrukci motoru je automobil vybavený tímto agregátem mnohem stabilněji v zatáčkách, což je obrovská výhoda především při sportovní jízdě. Tímto motorem je vybaven vůz Subaru Impreza (od roku 2011 už jen Subaru WRX), který je jednou z ikon automobilových závodů rallye.

Slabší verze této pohonné jednotky, které nejsou přepřihované nebo používají rozvod SOHC, lze nalézt také ve vozech Subaru Forestr, Legacy nebo Baja. Motor je k dostání i v dieselové verzi. [42]



Obr. 5.7 Subaru WRX STI 2012 sedan [86]



5.2 VZNĚTOVÉ MOTORY

Vznětové motory byly odjakživa doménou větších automobilů. Původně byly určeny pouze pro velké průmyslové stroje a dopravní prostředky. Jejich konstrukce a údržba je oproti zážehovým motorům složitější a nákladnější, nicméně disponují jednou hlavní výhodou a tou je nižší spotřeba paliva ve srovnání se zážehovými motory. S příchodem moderních technologií a především s příchodem systému přímého vysokotlakého vstřikování paliva Common-Rail se však začaly vznětové motory naprosto běžně používat v osobních automobilech. Právě pro větší osobní automobily je dnes dieselový motor víceméně ideální volbou. Průměrná spotřeba paliva je až o několik litrů na sto kilometrů nižší než u srovnatelně výkonného benzinového motoru, navíc až do nedávna byla cena nafty nižší než cena benzínu. Pro zákazníky, kteří hledají výkonný automobil pro dlouhé klidné cesty, je právě volba tohoto motoru volbou velmi vhodnou. Na zvýšenou poptávku po větších vznětových motorech však reagují nejen automobilky rozšiřováním své nabídky, ale i rafinérské společnosti a čerpací stanice zvyšováním cen nafty. Výhodnost dieselem poháněného osobního automobilu oproti benzinovému se tak projeví až po najetí mnoha tisíc kilometrů.

5.2.1 BMW M50D TRI TURBO

Německá automobilka BMW patřila odjakživa k výrobcům do detailů propracovaných kvalitních automobilů, které byly a jsou osázeny těmi nejmodernějšími technologiemi. Výjimkou není ani nový motor M50d Tri turbo. Už před několika lety se objevily informace o tom, že BMW pracuje na vývoji nového motoru, který budou přepřítovat tři turbodmychadla. Již dnes jsou totiž běžně k dostání motory se dvěma turbodmychadly, a proto je přidání ještě jednoho turbodmychadla jen logickým krokem vpřed. Navrhnout a vyvinout takový motor je však velmi obtížný úkol.



Obr. 5.8 BMW M50d Tri turbo [87]



TECHNICKÉ ÚDAJE A KONSTRUKCE

Jde o řadový šestiválec se zdvihovým objemem 2993 cm³. Maximální výkon je 280 kW při 4000-4400 min⁻¹. Největší točivý moment je 740 Nm a to při 2000-3000 min⁻¹. Maximální otáčky jsou omezeny na 5400 min⁻¹. [46]

Motor je vybaven třemi turbodmychadly. První malé začíná pracovat hned nad volnoběhem. Díky malým rozměrům a variabilní geometrii lopatek má nízkou setrvačnost a tím pádem rychlou odezvu. Při 1500 min⁻¹ se připojuje velké turbo a pracuje společně s malým turbem. Zde dochází k maximalizaci točivého momentu. Třetí malé turbo pracuje jen při opravdu vysokých otáčkách. Nachází se na samostatném kanálu, který se otevírá podtlakově ovládanou klapkou. Tento kanál obchází první (malé) turbo a pohání přímo druhé (velké) turbo. Třetí turbodmychadlo stejně tak jako první disponuje variabilní geometrií lopatek. K otevření klapky dochází při výrazném sešlápnutí plynového pedálu v otáčkách přesahujících 2700 min⁻¹. Třetí turbo se tak hladce připojí. V tuto chvíli funguje celý systém paralelně. Třetí turbo rovněž pomáhá předcházet nežádoucímu jevu, který je u přeplňovaných motorů běžný, a to zpětným tlakům ve výfukovém potrubí. [47]

Výsledkem trojitého přeplňování je úctyhodný výkon 280 kW. Pro srovnání konkurenční Audi 4.2 V8 TDI má pouze 258 kW. Jako interní označení se používá pro systém Tri turbo kód N57 D30. [47]

Zajímavostí je rovněž systém Driving Experience Control, který v režimech Sport a Sport+ vylepšuje zvuk motoru pomocí audiosystému. [39]

Blok i hlava motoru jsou vyrobeny technologií HIPen, což je v podstatě vysokotlaké odlévání. [47]

Ve srovnání s předchozími generacemi motoru se na vysokém výkonu tohoto modelu podílí nejen přidání jednoho turbodmychadla (Původně měly tyto motory pouze dvě turba.), ale také zvýšení tlaku, který produkují. Tlak vzrostl z původních 185 barů na 200 barů. [47]

Zvýšený tlak vyžaduje změnu vstřikování. Systém Common-Rail pracuje s 2200 bary a palivo je do válců vstřikováno až na osmkrát (tři pilotní vstřiky, jeden hlavní a následné čtyři další). [47]

Dále pak motor disponuje filtrem pevných částic, oxidačním katalyzátorem a tzv. BMW BluePerformance (katalyzátor na odbourávání oxidů dusíku). Motor tak již dnes splňuje normu Euro 6, která vstupuje v platnost roku 2014. [47]

Valvetronic – Některé z motorů BMW jsou vybaveny tímto systémem. Jde o motory s proměnným (variabilním) zdvihem sacích ventilů. Použitím tohoto systému dochází k optimalizaci parametrů motoru. Systém Valvetronic je většinou kombinován se systémem **Double-vanos**, což je variabilní časování ventilů. Díky plně variabilnímu zdvihu ventilů není nutné použít v motoru škrticí klapku. Ta se zde nicméně nachází pro případ nouzového režimu. V běžném režimu je plně otevřena. Nahrazením škrticí klapky tak došlo k odstranění ztrát, které vznikají turbulentním prouděním vzduchu za škrticí klapkou. Podle BMW se tak uspoří až 14% paliva. [48]

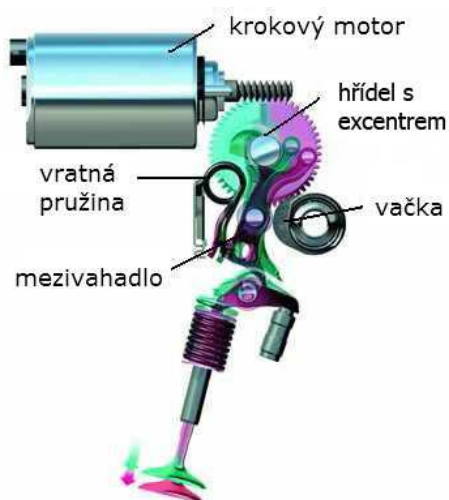
Systém Valvetronic je tedy spojením systému Double Vanos, který mění polohu vačkového hřídele vůči klikovému až o 60°, a elektromechanického systému měničeho plynule zdvih sacích ventilů v rozsahu 0,3 mm až po 9,7 mm. Změna trvá pouhých 300 milisekund. Za stejnou dobu se dokáže nastavit i Double Vanos. [48]

Princip celého systému je následující: Rozvodový mechanismus sacích ventilů je opatřen mezivahadlem, které tvoří spolu s běžným vahadlem spojení mezi vačkou a ventilem. Díky pohybu excentrického hřídele ovlivňuje mezivahadlo zdvih sacích ventilů. Excentrický hřídel je poháněn elektromotorem skrze šnekový převod. [48]

Aby byla zajištěna dokonalá funkce tohoto systému, je nezbytně nutné vyrábět komponenty s vysokou přesností. Je zde rovněž použito vysokojakostních materiálů. [48]



Vačkový a excentrický hřídel je uložen ve speciálním lůžku, na kterém je připevněn i elektromotor nastavující excentrický hřídel. Lůžko je párováno s hlavou motoru a nesmí tak být z důvodů přesnosti vyměňováno. [48]



Obr. 5.9 Mechanismus Valvetronic [88]

PLNĚNÍ EMISNÍCH NOREM

Vozy řady 5 splňují normu Euro 6, avšak crossovery „X“ splňují jen Euro 5. [49]

PŘÍKLADY POUŽITÍ

Tímto motorem jsou vybaveny pouze vozy třídy M, konkrétně se jedná o modely M550, X5 a X6. [47]



Obr. 5.10 BMW550d Tri turbo [89]



6 SROVNÁNÍ MODERNÍCH POHONNÝCH JEDNOTEK

Při srovnávání motorů lze k problematice přistupovat z několika úhlů pohledu. Je tedy nezbytné určit si kritérium a podle něj motory porovnávat. V následujících tabulkách jsou porovnávány motory se svými předchůdci. U srovnávaných motorů však nelze prohlásit, že by novější alternativa byla vyloženě lepším motorem. Účelem je především poukázat na rozdíly v technických parametrech. Jsou zde konkrétní modely automobilů proto, aby mohly být uvedeny parametry spotřeba a zrychlení.

6.1 SROVNÁNÍ MOTORŮ NIŽŠÍCH VÝKONNOSTNÍCH TŘÍD

Zde je patrné, jak dokáže například použití přeplňování razantně zvýšit výkon motoru a posunout jej svým výkonem mezi mnohem větší konkurenty. Pro názornost srovnání jsou zde dva motory koncernu Volkswagen o stejném zdvihovém objemu.

Tab. 1 Srovnání motorů nižších výkonnostních tříd [50], [51]

	Škoda Fabia 1.2 HTP	VW 1.2 Polo TSI
typ motoru	zážehový	zážehový
počet válců	3	4
počet ventilů na válec	4	2
zdvihový objem (cm³)	1198	1197
max. výkon (kW / min⁻¹)	47 / 5400	77 / 5000
max. točivý moment (Nm / min⁻¹)	112 / 3000	175 / 1550-4100
průměrná spotřeba paliva (l/100 km)	5,9	5,3
zrychlení z 0 na 100 km/h (s)	15,9	9,7
plnění	atmosféricky	turbodmychadlem
emisní norma Euro	4	5

Údaje v tabulce zřetelně demonstrují pokrok modernějších typů motorů.



6.2 SROVNÁNÍ MOTORŮ VYŠŠÍCH VÝKONNOSTNÍCH TŘÍD

V této tabulce jsou porovnávány motory vozů BMW.

Tab. 2 Srovnání motorů vyšších výkonnostních tříd [52], [47]

	BMW M550d xDrive TriTurbo	BMW M5 F10 BiTurbo
typ motoru	vznětový	vznětový
počet válců	6	8
počet ventilů na válec	4	4
zdvihový objem (cm³)	2993	4395
max. výkon (kW / min⁻¹)	280 / 4000-4400	412 / 6000-7000
max. točivý moment (Nm / min⁻¹)	740 / 2000-3000	680 / 1500-5750
průměrná spotřeba paliva (l/100 km)	6,3	9,9
zrychlení z 0 na 100 km/h	4,7	4,4
plnění	třemi turbodmychadly	dvěmi turbodmychadly
emisní norma Euro	6	5

Novější trojitě přeplňovaný motor plní náročnější emisní normu.



ZÁVĚR

Nejvýraznějším trendem dnešní doby je pravděpodobně downsizing. Jak motory nižších výkonnostních tříd, tak motory vyšších výkonnostních tříd jsou vyráběny s menšími zdvihovými objemy. Jejich výkony jsou však mnohdy i vyšší než u předchozích generací s většími zdvihovými objemy. Tohoto vylepšení je dosahováno pomocí mnoha technologií. Jednak jsou mnohé motory přeplňovány, což výrazně zvyšuje jejich výkon, ale také je zde řada dalších úprav (variabilní časování, vypínání válců, vícebodové vstřikování apod.), které společně dávají motoru znatelně vyšší výkon respektive vyšší účinnost. V otázce přeplňování se jako jedno z úspěšných řešení jeví použití kompresoru a turbodmychadla nebo použití dvou či tří různě velkých turbodmychadel. Každá z těchto komponent je totiž vhodná pro jiný rozsah otáček, nicméně při použití několika různých komponent lze využít jejich výhodné vlastnosti a zároveň eliminovat ty nevýhodné. Ideálním příkladem je použití kompresoru a turbodmychadla, kdy kompresor přeplňuje motor v nízkých otáčkách, zatímco turbodmychadlo jej přeplňuje ve vysokých otáčkách. Všechny tyto moderní způsoby zvyšování výkonu (resp. účinnosti) motory s sebou přinášejí kromě výhod i několik nevýhod. Jednou z nejčastěji zmiňovaných nevýhod je rostoucí složitost motoru a díky tomu i rostoucí náklady na výrobu a údržbu takového motoru. S postupem času a technické vyspělosti jsou však tato rizika postupně eliminována.

V blízké budoucnosti lze očekávat pokračování dnes nejrozšířenějšího trendu, a sice vylepšování spalovacích motorů. V delším časovém horizontu je však téměř jisté, že spalovací motory budou nahrazovány alternativními pohony. Již dnes je úspěšně realizována řada projektů a i mezi sériově vyráběnými automobily lze nalézt takové, které jsou poháněny například hybridními motory nebo výhradně elektromotory.

Dle mého osobního názoru jsou právě hybridní motory, elektromotory nebo vodíkové motory cestou budoucnosti. Je však nutné překonat ještě mnoho překážek než budou tyto agregáty schopny plně konkurovat nebo dokonce předčit dnešní spalovací motory. Překážky takového vývoje jsou nejen konstrukční a technologické, ale rovněž obchodní a politické. V dnešní době se silně projevují požadavky na ekologický provoz motor, což však mnohdy vede k neuváženým krokům. Příkladem může být například protěžování ekologicky vyhlížejících a alternativně poháněných automobilů, které však svým provozem zatěžují životní prostředí mnohdy naprosto stejně jako neekologicky vyhlížející automobily se spalovacími motory. Do budoucna je tedy nezbytné pracovat na zvyšování efektivity pohonných jednotek, vývoji alternativních způsobů pohonu a maximalizaci ekologického chodu takových agregátů. Ještě důležitější je však přistupovat k této problematice se zdravým rozumem a nepodléhat zkresleným názorům.

V budoucnu se dle mého názoru nepřestanou zcela používat spalovací motory, jelikož mají oproti jiným řadu výhodných vlastností, pravděpodobně však dojde k jejich používání v menším měřítku než dnes.



SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vydání. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2003. 580 s. ISBN 80-238-8756-4.
- [2] *Čtyřdobý spalovací motor* [online]. 2004, poslední revize 11. 1. 2012 [cit. 2012-01-27]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Čtyřdobý_spalovací_motor>
- [3] BISKUP, Pavel. *Motor, technika přeplňování – Lék na spotřebu?* | *Automobil Revue* [online]. 2010, [cit. 2012-01-27]. Dostupné z: <http://www.automobilrevue.cz/rubriky/technika/motor-technika-preplnovani-lek-na-spotrebu_39540.html/>
- [4] RAUSCHER, Jaroslav. *Vozidlové motory*. Studijní opory, FSI VUT Brno 2003.
- [5] OLIVÍK, P. *Mechanické dmychadlo: silné plíce* [online]. 2011, [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: <<http://www.autorevue.cz/mechanicke-dmychadlo-silne-plice/>>
- [6] ČAVOJ, Ondřej. *Přeplňování zážehových a vznětových motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.
- [7] ZELINKA, Petr. *Technika: G-dmychadlo* | *AutoRoad.cz* [online]. 2006, [cit. 2012-01-30]. Dostupné z: <<http://news.autoroad.cz/nezarazeno/12971-asdf/>>
- [8] *Turbodmychadlo – Wikipedie* [online]. 2005, poslední revize 20. 1. 2012 [cit. 2012-01-31]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Turbodmychadlo>>
- [9] *Downsizing motoru* | *autolexicon.net* [online]. 2011, [cit. 2012-02-1]. Dostupné z: <<http://cs.autolexicon.net/articles/downsizing-motoru/>>
- [10] VOKÁČ, Luděk. *Motorem roku 2011 se stal dvouválec od Fiatu – iDNES.cz* [online]. 2011, [cit. 2012-03-22]. Dostupné z: <http://auto.idnes.cz/motorem-roku-2011-se-stal-dvouvalec-od-fiatu-fi1-/automoto.aspx?c=A110522_164830_automoto_vok>
- [11] VAVERKA, Lukáš. *Fiat 500 0,9 TwinAir: Dvouválec za 365.900, Kč* | *auto.cz* [online]. 2010, [cit. 2012-03-23]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/fiat-500-twinair-dvouvalec-52166>>
- [12] OBORNÍK, Marek. *Revoluční dvouválec ve Fiatu 500: spotřeba 4 litry, maximálka 173 km/h!* [online]. 2010, [cit. 2012-03-23]. Dostupné z: <<http://www.autanet.cz/autonews-revolucni-dvouvalec-ve-fiatu-500-spotreba-4-litry-maximalka-173-km-h-999>>
- [13] *Fiat 500 0,9 Twinair Lounge* [online]. 2011, [cit. 2012-03-23]. Dostupné z: <<http://www.autohit.cz/testy/recenze/fiat-500-0-9-twinair-lounge>>
- [14] ŠPAČEK, Adam. *Fiat 500 TwinAir* [online]. 2010, [cit. 2012-03-22]., Dostupné z: <http://www.driversweb.cz/clanky/Novinky/Fiat_500_TwinAir>



- [15] MIHÁLIK, Miro. *Test Fiat 0,9 TwinAir: motor roku v praxi* | *Autoforum.cz* [online]. 2012, [cit. 2012-03-22]. Dostupné z: <<http://www.autoforum.cz/testy-aut/test-fiat-0-9-twinair-motor-roku-v-praxi/>>
- [16] *How does the multiair „MULTIAIR® Fiat“ works* [online]. 2011, [cit. 2012-03-23]. Dostupné z: <<http://vipracing.hubpages.com/hub/how-does-the-MULTIAIR-fiat-works>>
- [17] HYAN, Tom. *Fiat Multiair – Ventilová strategie* | *Automobil Revue* [online]. 2009, [cit. 2012-03-23]. Dostupné z: <http://www.automobilrevue.cz/rubriky/technika/fiat-multiair-ventilova-strategie_38510.html>
- [18] HROUZEK, J. *Alfa Romeo - Konstrukční řešení od historie po současnost*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 52 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.
- [19] WAN, Mark. *AutoZine Technical School – ENGINE* [online]. 2009, [cit. 2012-03-23]. Dostupné z: <http://www.autozine.org/technical_school/engine/vvt_6.html>
- [20] *Fiat People – Technologie* [online]. 2011, [cit. 2012-03-24]. Dostupné z: <<http://www.fiatpeople.cz/fiat/technologie/14/9/14/>>
- [21] *International Engine of the Year Awards – 1 litre to 1.4 litre* [online]. 2011, poslední revize 12. 11. 2011 [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: <http://www.ukipme.com/engineoftheyear/winners_11/1_14.html>
- [22] *International Engine of the Year Awards – Previous winners* [online]. 2011, poslední revize 12. 11. 2011 [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: <<http://www.ukipme.com/engineoftheyear/categories.html>>
- [23] *Volkswagen – Lexikon techniky* [online]. 2009, [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: <http://www.volkswagen.cz/lexikon/?letter=t&lexicon_id=70>
- [24] LASÍK, Jindřich. *TSI – kombinace kompresoru a turbodmyhadla* [online]. c2006, poslední revize 23. 5. 2006, [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <<http://www.autokaleidoskop.cz/Novinky/TSI-kombinace-kompresoru-a-turbodmyhadla/>>
- [25] SAJDL, Jan. *FSI (Fuel Stratified Injection)* | *autolexicon.net* [online]. c2011, [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <<http://cs.autolexicon.net/articles/fsi-fuel-stratified-injection/>>
- [26] KALNAŠI, R. *Spalovací motory automobilky Volkswagen*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 81 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
- [27] *Volkswagen – Volkswagen Magazín – Twincharger: Malý objem, velký záťah* [online]. 2005, [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <<http://www.volkswagen.cz/zajimavosti/magazin-9-6/>>



- [28] JANDA, Pavel. *Motor TSI od VW: 170 koní z jedna-čtyřky v akci (první dojmy)* – AutoRevue.cz [online]. 24. 5. 2006, [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/motor-tsi-od-vw-170-koni-z-jedna-ctyrky-v-akci-prvni-dojmy_3/ch-27040#articleStart>
- [29] Volkswagen – Novinky – Světová premiéra modelu Polo BlueGT [online]. 2012, [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: <<http://www.volkswagen.cz/zajimavosti/novinky-1-2/?id=567>>
- [30] OLIVÍK, Pavel. Vypínání válců – downsizing bez zmenšování [online]. 3. 12. 2011, [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: <<http://www.autorevue.cz/vypinani-valcu---downsizing-bez-zmensovani>>
- [31] LASÍK, Jindřich. VW Polo BlueGT 1.4 TSI s odpojováním válců – Novinky – Autokaleidoskop [online]. 21. 3. 2012, [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: <<http://www.autokaleidoskop.cz/Novinky/VW-Polo-BlueGT-1-4-TSI-s-odpojovanim-valcu/>>
- [32] JUNGMANN, Aleš. Smart ForTwo Cabrio CDI – Poznávejte město | auto.cz [online]. 6. 10. 2008, [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/smart-fortwo-cabrio-cdi-1878>>
- [33] THOMPSON, Jason. 799cc CDI Three-Cylinder Diesel Engine – Smart ForTwo Car – Diesel Power Magazine [online]. 2010, [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.dieselpowermag.com/news/1001dp_799cc_cdi_three_cylinder_diesel_engine/>
- [34] Common rail – Wikipedie [online]. 2007, poslední revize 6. 1. 2012 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Common_rail>
- [35] DITTRICH, Lukáš. Common Rail: systému čerpadlo-tryska odzvonilo | ZaVolantem.cz [online]. 9. 9. 2008, [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <<http://www.zavolantem.cz/clanky/common-rail-systemu-cerpadlo-tryska-odzvonilo>>
- [36] The 71.2mpg Smart Fortwo: Paris to Berlin on a Single Tank [online]. 6. 6. 2007, [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: <http://www.thecarlounge.com/news/publish/article_1286.shtml>
- [37] HYAN, Tom. Multijet | Automobil Revue [online]. 25. 9. 2003, [cit. 2012-04-13]. Dostupné z: <http://www.automobilrevue.cz/rubriky/technika/multijet_527.html>
- [38] JTD engine – Wikipedia, the free encyclopedia [online]. 2005, poslední revize 8. 1. 2012, [cit. 2012-04-13]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/JTD_engine>
- [39] Fiat 1.6 Multijet – revoluce mezi diesely – Novinky – Autokaleidoskop [online]. c2006, [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: <<http://www.autokaleidoskop.cz/Novinky/Fiat-1-6-Multijet-revoluce-mezi-diesely/>>
- [40] Europe's Energy Portal – Carbon Dioxide (CO₂) Emissions of Cars [online]. c2012, [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: <<http://www.energy.eu/car-co2-emissions/fiat.php>>



- [41] *Fiat Punto Evo 5dv. 1.3 Multijet (75 HP) :: Katalog Automobilů* [online]. c2012, [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: <<http://fiat.katalog-automobilu.cz/automobil/fiat-punto-evo-5dv-13-multijet-75-hp>>
- [42] *Subaru EJ engine - Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. 2010, poslední revize 13. 4. 2012, [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Subaru_EJ_engine>
- [43] *Modely Subaru Impreza WRX STI 2011-2012 | Subaru AUTWEC* [online]. 2012, [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <<http://www.subaruplzen.cz/subaru-impreza-wrx-sti-2011/modely-subaru-impreza-wrx-sti-2011/>>
- [44] *Active valve control system – Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. 2004, poslední revize 12. 1. 2012, [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Active_valve_control_system>
- [45] *What's Inside: Active Valve Control System* [online]. 2005, [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://drive2.subaru.com/Win05_WhatsInside.htm>
- [46] BUREŠ, David. *BMW M Performance: Diesel se třemi turby už známe, ale jak vypadá?* / *auto.cz* [online]. 24. 3. 2012, [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/bmw-m-diesel-65874>>
- [47] VAVERKA, Lukáš. *BMW M50d (280 kW, 740 Nm): Jak pracují tři turba?* / *auto.cz* [online]. 30. 1. 2012, [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/bmw-m50d-280-kw-740-nm-jak-pracuji-tri-turba-64627>>
- [48] SAJDL, Jan. *Valvetronic | autolexicon.net* [online]. 27. 1. 2012, [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <<http://cs.autolexicon.net/articles/valvetronic/>>
- [49] DUCHOŇ, Jiří. *BMW M550d a X5/X6: tři turbíny skutečností – AutoRevue.cz* [online]. c2011, [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <<http://www.autorevue.cz/bmw-m550d-a-x5x6-m50d-tri-turbiny-skutecnosti>>
- [50] LÁNÍK, Ondřej. *VW Polo 1,2 TSI (77 kW): S novým motorem z Mladé Boleslavi za 320.400,-Kč od prosince 2009* / *auto.cz* [online]. 9. 10. 2009, [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/400-polo-vw-1-2-tsi-77-kw-s-novym-motorem-z-mlade-boleslavi-320-kc-prosince-2009-3626>>
- [51] *Škoda Fabia 1.2 HTP (47 kW) Comfort – tříválec potřeť* / *auto.cz* [online]. 3. 9. 2003, [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/skoda-fabia-1-2-htp-47-kw-comfort-trivalec-potreti-336>>
- [52] BUREŠ, David. *BMW M5: Cena pro český trh* / *auto.cz* [online]. 27. 9. 2011, [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/bmw-m5-cena-cesky-trh-61985>>
- [53] Obr. 2.1 Pracovní cyklus čtyřdobého zážehového motoru, Dostupné z: <http://www.ustudy.in/sites/default/files/four_stroke_cycle.jpg>
- [54] Obr. 2.2 Pracovní cyklus čtyřdobého vznětového motoru, Dostupné z: <<http://files.auto-pc.webnode.cz/200000015-1aaea1b266/cyklus%20motoru.jpg>>



- [55] Obr. 3.1 – Rootsovo dmychadlo, Dostupné z: <<http://www.austinsevenfriends.com/Bruce/Roots.jpg>>
- [56] Obr. 3.2 – Dmychadlo Eaton, Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/obr_clanky/cs_eatonovo_turbodmychadlo_001.jpg>
- [57] Obr. 3.3 – G-dmychadlo, Dostupné z: <<http://autoroad.cz/pictures/photo/2006/06/21/1150843511.jpg/>>
- [58] Obr. 3.4 – Turbodmychadlo, Dostupné z: <<http://brickweb.wz.cz/pics/turbodmychadlo.jpg>>
- [59] Obr. 4.1 *Downsizing motorů Renault*, Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/obr_clanky/cs_downsizing_001-500x245.jpg>
- [60] Obr. 4.2 *Fiat 900cc TwinAir*, Dostupné z: <http://www.themotorreport.com.au/content/image/f/i/fiat_900cc_two_cylinder_twin_air_engines_08-4b85d472c7d71.jpg>
- [61] Obr. 4.3 *Schéma MultiAir*, Dostupné z: <http://www.autanet.cz/artphotos/nejlepsi-novy-motor-roku-2010-1-4-t-multi-air-odfiat-power-id991_07.jpg>
- [62] Obr. 4.4 *Režimy MultiAir*, Dostupné z: <<http://www.abarth.cz/img/mair2.jpg>>
- [63] Obr. 4.5 *Fiat 500*, Dostupné z: <http://www.thetorquereport.com/fiat_500c_press2.jpg>
- [64] Obr. 4.6 *Alfa Romeo MiTo*, Dostupné z: <http://www.centralcontracts.com/glass_images/p/p0504562.jpg>
- [65] Obr. 4.7 *Volkswagen 1.4 TSI Twincharger*, Dostupné z: <http://www.jalopnik.com.br/wp-content/uploads/2010/12/fotos_01/leo_fotos/2010_maio/vw%20twincharger%20tsi%2003.png>
- [66] Obr. 4.8 *FSI (vlevo – tvorba nehomogenní směsi; vpravo – tvorba homogenní směsi)*, Dostupné z: <<http://www.audiworld.com/news/01/iaa/fsi/at010030.jpg>>
- [67] Obr. 4.9 *Momentová charakteristika 1.4 TSI Twincharger*, Dostupné z: <<http://www.autonews.net.au/static/volkswagen/images/power.jpg>>
- [68] Obr. 4.10 *Princip činnosti regulační klapky*, Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/obr_clanky/cs_tsi_003.jpg>
- [69] Obr. 4.11 *Systém TSI Twincharger*, Dostupné z: <http://automobilrevue.cz/rubriky/technika/motor-technika-preplnovani-lek-na-spotrebu_39540.html#>
- [70] Obr. 4.12 *Vypínání válců v motoru TSI*, Dostupné z: <<http://autotip.auto.cz/page/1728.technika/#>>



- [71] Obr. 4.13 *Volkswagen Golf 6. generace*, Dostupné z: <<http://3.bp.blogspot.com/-SKcbBLEV-Oc/TxLhX1EHiuI/AAAAAAAAAHCE/Bhl3Yej-Pgo/s1600/Large%2BImage%2B%2528optional%2529.jpg>>
- [72] Obr. 4.14 *Škoda Fabia RS 2. generace*, Dostupné z: <<http://www.distrocars.com/wp-content/uploads/2011/06/2011-Skoda-Fabia-Combi-Front-Side-590x444.jpg>>
- [73] Obr. 4.15 *Smart 799cc CDI*, Dostupné z: <http://www.thecarlounge.net/gallery/generated//Marques/Smart/Fortwo/001__scaled_600.jpg>
- [74] Obr. 4.16 *Schéma Common-Rail*, Dostupné z: <<http://www.mechanicalengineeringblog.com/wp-content/uploads/2011/03/01-common-rail-type-fuel-injection-system-distribute-in-ultrahigh-pressure-optimum-combustion-r1.jpg>>
- [75] Obr. 4.17 *Smart ForTwo*, Dostupné z: <<http://www.hybrid.cz/obrazky/smart/fortwo-ed-1.jpg>>
- [76] Obr. 4.18 *Fiat-GM 1.3 Multijet*, Dostupné z: <<http://bharathautos.com/maruti-suzuki-india-to-extend-supply-of-fiat-1.3-multijet-diesel-engines.html>>
- [77] Obr. 4.19 *Fiat Grande Punto 1.3 Multijet 16v*, Dostupné z: <http://www.carfolio.com/images/dbimages/zgas/models/id/12085/2006_FIAT_grande_punto_2.jpg>
- [78] Obr. 4.20 *Suzuki Swift Diesel*, Dostupné z: <http://images01.olx.in/ui/2/71/37/33246437_1.jpg>
- [79] Obr. 4.21 *Lancia Ypsilon*, Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/ShowArticleImages.aspx?id_file=610391170&article=23153>
- [80] Obr. 5.1 Schéma plochého čtyřválce Subaru, Dostupné z: <http://www.roadandtrack.com/var/ezflow_site/storage_RT_NEW/storage/images/media/images/subaru-fb-flat-4-engine_full/2401375-1-eng-US/subaru-fb-flat-4-engine_full.jpg>
- [81] Obr. 5.2 Aktuátor, Dostupné z: <<http://www.tomei-p.co.jp/news/images-EJ25/AVCS-250.jpg>>
- [82] Obr. 5.3 *Překrytí pracovních dob ventilů při volnoběhu*, Dostupné z: <<http://drive2.subaru.com/Win05/AVCS/graph1.gif>>
- [83] Obr. 5.4 *Překrytí pracovních dob ventilů při nízké až střední zátěži*, Dostupné z: <<http://drive2.subaru.com/Win05/AVCS/graph2.gif>>
- [84] Obr. 5.5 *Překrytí pracovních dob ventilů při vysoké zátěži*, Dostupné z: <<http://drive2.subaru.com/Win05/AVCS/graph3.gif>>



- [85] Obr. 5.6 Schéma systému aktivního řízení ventilů, Dostupné z:
<<http://drive2.subaru.com/Win05/AVCS/illustration.gif>>
- [86] Obr. 5.7 *Subaru WRX STI 2012 sedan*, Dostupné z: <<http://www.autoihub.com/wp-content/uploads/2011/12/2012-subaru-impieza-wrx-sti-s206-review.jpg>>
- [87] Obr. 5.8 BMW50d Tri turbo, Dostupné z:
<http://img.auto.cz/news/img/galleries/2012-12/bm19_4f6c670c1a73b.jpg>
- [88] Obr. 5.9 Mechanismus Valvetronic, Dostupné z:
<http://cs.autolexicon.net/obr_clanky/cs_valvetronic_003.jpg>
- [89] Obr. 5.10 BMW550d Tri turbo, Dostupné z: <http://images-2.drive.com.au/2012/01/26/2917364/P90088915-highRes_1024-600x400.jpg>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

BMW	Bayerische Motoren Werke
DOHC	Double Over Head Camshaft
EU	Evropská unie
F1	Formule 1
GM	General Motors
MEŘO	metylester řepkového oleje
NO _x	oxidy dusíku
SOHC	Single Over Head Camshaft
USA	United States of America – Spojené státy americké
VW	Volkswagen



SEZNAM POUŽITÝCH JEDNOTEK

cm ³	centimetr krychlový
g/km	gram na kilometr
kPa	kilopascal
km	kilometr
km/h	kilometr za hodinu
kW	kilowatt
l	litr
l/100 km	litr na 100 kilometrů
min ⁻¹	otáčky za minutu
mm	milimetr
m/s	metr za sekundu
Nm	Newtonmetr
PSI	libra na čtvereční palec
s	sekunda
°	stupeň
°C	stupeň Celsia