

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

PŘEPLŇOVÁNÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ

OVERCHARGING OF COMBUSTION ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ALEŠ VOJTĚŠEK

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

ING. LUBOR ZHÁŇAL

BRNO 2012



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá nastíněním historie přeplňování a rozebráním několika hlavních způsobů. Jde zejména o využívání mechanického přeplňování a turbodmychadel, zmínění jejich kladných a záporných stran. Dále uvedení několika provedení v kombinovaném přeplňování a předpokládaný vývoj v budoucnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Spalovací motor, přeplňování, mechanické dmychadlo, turbodmychadlo, kombinované přeplňování

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with outline the history of supercharging and dismantling of several major ways. In particular the use of mechanical supercharging and turbocharging, mentioning its positive and negative sides. Furhetmore, introducing of several versions of the combined supercharging and expected future developments.

KEYWORDS

Combustion engine, supercharging, mechanical supercharger, turbocharger, combined supercharging



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VOJTĚŠEK, A. Přepřínování spalovacích motorů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lubor Zháňal.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 22. května 2012

.....

Aleš Vojtěšek



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu Ing. Luborovi Zháňalovi za mnohé poznámky a ochotu pomoci při psaní této bakalářské práce. Dále také své rodině za neustálou podporu při studiu.



OBSAH

Úvod.....	8
1 Termomechanické oběhy motorů.....	9
1.1 Ottův cyklus.....	9
1.2 Sabate cyklus.....	10
2 Přepřňování spalovacích motorů	12
2.1 Princip přepřňování.....	13
3 Mechanické - Kompresory	15
3.1 Rozdělení mechanického přepřňování.....	15
3.2 Radiální odstředivé dmychadlo	15
3.3 Rootsovo dmychadlo.....	16
3.4 Lysholmovo dmychadlo	17
4 Turbodmychadlo	19
4.1 Konstrukce.....	19
4.2 Princip činnosti	20
4.3 Ložiska hřídele	20
4.4 Řízení a regulace plnicího tlaku.....	23
4.4.1 Přepouštěcí ventil.....	24
4.4.2 Obtokový ventil výfukových plynů	24
4.4.3 Změna geometrie turbíny natáčením lopatek.....	25
4.5 Chlazení turbodmychadla	27
5 Kombinované přepřňování	29
5.1 Mechanický kompresor a turbodmychadlo	29
5.2 Dvojice turbodmychadel	31
5.2.1 Sériové zapojení.....	31
5.2.2 Paralelní zapojení.....	33
5.3 Trojice turbodmychadel	34
6 Jiné druhy přepřňování	37
6.1 Zařízení Comprex	37
6.2 Přepřňování elektrickým dmychadlem.....	38
7 Chlazení stlačeného vzduchu.....	39
7.1 Chladič typu vzduch-vzduch	39



7.2	Chladič ostříkovaný vodní mlhou	39
8	Budoucí vývoj přeplňování.....	41
	Závěr	42
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	46



Úvod

Myšlenka samotného přeplňování jakožto zvyšování výkonu je známa již od rané doby využívání spalovacích motorů. Už na přelomu 19. a 20. století pánové Daimler a Diesel přemýšleli, jak zvýšit efektivní výkon motoru a snížit spotřebu, díky stlačení vzduchu před vstupem do spalovacích prostorů. O první úspěch se zasloužil v roce 1915 dr. Alfred Büchi, který navrhl prototyp naftového motoru osazený turbodmychadlem. Bohužel se v jeho době nesetkal s náležitým ohlasem.

Až za druhé světové války se začalo přeplňování hojně využívat díky jejich instalaci do motorů letadel či lodí. V případě letadel je vzduch ve vyšších nadmořských výškách řidší a do motoru se dostává méně kyslíku. Proto se začaly motory osazovat zvláště turbodmychadly, které dodávaly do motoru více kyslíku a posunuly tak hranici letové nadmořské výšky. Tyto inovace pro válečné stroje byly základem pro využívání přeplňování také v civilním životě a jeho zpřístupnění pro sériové motory do automobilů.

V padesátých letech začaly experimentovat výrobci nákladních automobilů Volvo, Cummings a Scania s využíváním přeplňování. Bohužel velké rozměry a nespolehlivost nepřivedlo žádaný úspěch. Také první sériové osobní automobily, které byly vybavené přeplňováním, dosáhly podobného úspěchu jako jejich větší předchůdci. Byly to automobily Chevrolet Corvair Monza a Oldsmobile Jetfire.

To se ale změnilo po první ropné krizi v roce 1973, kdy najednou turbodmychadla zažívala obrovský rozmach. Na trhu se objevily nové automobily s přeplňováním turbodmychadlem, jako byl například BMW 2002 Turbo nebo Porsche 911 Turbo. Slovo "Turbo" najednou začalo být čím dál více populárnější a dostávalo se mnohem více do automobilového prostředí.

Příkladem může být „turbo-éra“ ve formuli 1, která přišla na konci osmdesátých let, kdy se na startu velkých cen začaly objevovat monoposty vybavené motory s přeplňováním turbodmychadlem. Mezi první týmy patřily značky Renault, BMW, Honda a Ford. Díky přeplňování dostali z malého objemu 1500 cm³ až neuvěřitelných 1120 kW při kvalifikaci (v závodě omezeno na 670 kW). Toto hnaní se za vysokým výkonem zastavilo až rozhodnutí automobilové federace v roce 1989, kdy zakázala používání přeplňovaných motorů ve formuli 1.

To ale neznamenalo konec vývoje přeplňování. Naopak se začalo objevovat v jiných automobilových soutěžích, kde se používá dodnes a také s nástupem diesellových motorů je přeplňování stále více zdokonalováno a patří mezi jedno z nejdůležitějších řešení při současném snižování objemů a spotřeby motorů, tzv. downsizingu.



1 TERMOMECHANICKÉ OBĚHY MOTORŮ

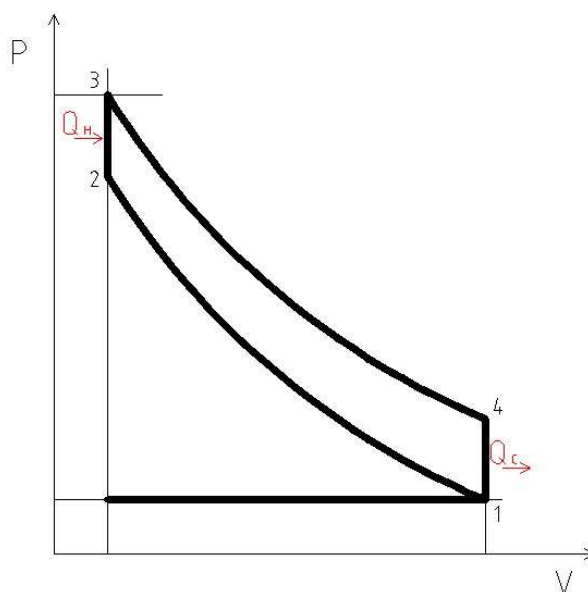
Běžné spalovací motory pracují podle upravených cyklických dějů, které mají ale dosti daleko k ideálnímu Carnotovu cyklu. Je důležité si uvědomit, že jednotlivé úseky činnosti spalovacího motoru na sebe pouze nenavazují, ale dokonce se částečně překrývají. Také nejsou ohraničeny polohou pístu v dolní nebo horní úvratí. Popis skutečného děje v plynu je velmi složitý, a proto je potřeba děj zjednodušit. Z tohoto důvodu se zavedly ideální oběhy spalovacích motorů, díky kterým se počítání usnadní. Zážehový motor se nejčastěji popisuje pomocí tzv. Ottova cyklu a k popisu vznětového motoru se zase využívá Sabate cyklus[5].

1.1 OTTŮV CYKLUS

Jedná se o ideální izochorický oběh, který popisuje fungování zážehového spalovacího motoru. Přívod a odvod tepla probíhá při konstantním objemu. Pro popis se využívá indikátorový a porovnávací diagram.

Indikátorový diagram je možno rozdělit do 4 fází:

1. Sání – sací ventily jsou otevřeny a směs vzduchu a benzínu se díky pohybu pístu do dolní úvratě nasává do válců.
2. Komprese – spalovací směs je stlačována pístem, který se vrací do horní úvratě. Stlačením vzroste tlak i teplota směsi a následně je zažehnuta zapalovací svíčkou.
3. Expanze – zapálená směs shoří a expanduje. Horký plyn koná mechanickou práci, tlačí na píst a vrací ho do dolní úvratě.
4. Výfuk – výfukový ventil se otevře a pohyb pístu do horní úvratě vytlačuje z válce spaliny do výfukového potrubí.



Obr. 1.1 Porovnávací diagram Ottova cyklu

Porovnávací diagram je pouze zjednodušený indikátorový diagram pro lepší termodynamické zkoumání. Jde o nahrazení skutečného pracovního cyklu vratnými termodynamickými ději:

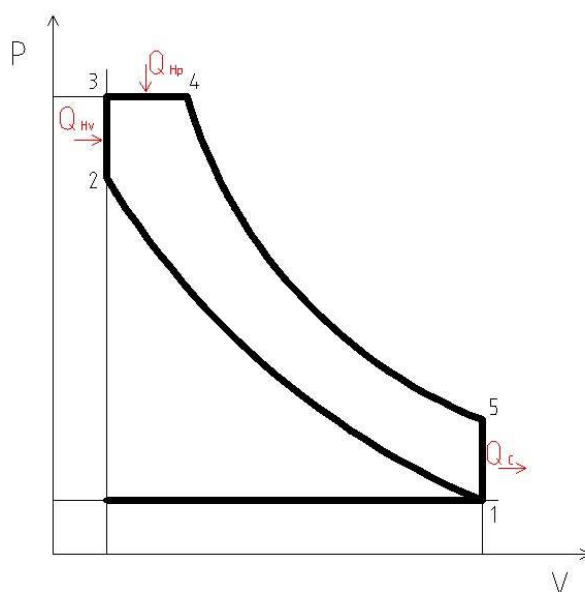
- | | |
|-------|--|
| 1 – 2 | adiabatická komprese |
| 2 – 3 | izochorický přívod tepla (hoření stlačené směsi) |
| 3 – 4 | adiabatická expanze zplodin od spálené směsi |
| 4 – 1 | izochorický odvod tepla (výfuk zplodin) |

Plocha ohraničená tímto kruhovým dějem odpovídá velikosti práce během jednoho cyklu vykonané plynem. Pro termickou účinnost potom platí vztah [3]:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_H} = 1 - \frac{m \cdot c_v \cdot (T_4 - T_1)}{m \cdot c_v \cdot (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad (1)$$

1.2 SABATE CYKLUS

Kombinaci Ottova a Dieselova cyklu využívají motory spalující naftu. Teplo je částečně přiváděno nejprve při konstantním objemu a poté při konstantním tlaku. Rozdíl oproti zážehovým motorům je nasávání čistého vzduchu do válců, který se poté díky pohybu pístu do horní úvratě stlačí a tak vrostou teplota i tlak stlačeného vzduchu. Následuje vstříknutí nafty do válců, kde se smísí se stlačeným vzduchem a díky jeho vysoké teplotě dojde k výbuchu a následné expanzi směsi a pohybu pístu do dolní úvratě.



Obr. 1.2 Porovnávací diagram Sabate cyklu

Porovnávací diagram Sabate cyklu se podobně skládá z termodynamických vratných dějů, pouze se liší složením z pěti bodů:

- | | |
|-------|---|
| 1 – 2 | adiabatická komprese |
| 2 – 3 | izochorický přívod tepla při konstantním objemu |
| 3 – 4 | izobarický přívod tepla při konstantním tlaku |
| 4 – 5 | adiabatická expanze |
| 5 – 1 | izochorický odvod tepla při konstantním objemu |

Vztah pro termickou účinnost [3]:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_c|}{Q_{Hv} + Q_{Hp}} = 1 - \frac{m \cdot c_v \cdot (T_5 - T_1)}{m \cdot c_v \cdot (T_3 - T_2) + m \cdot c_p \cdot (T_4 - T_3)} \quad (2)$$



2 PŘEPLŇOVÁNÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ

Jedná se o jednu z možností, jak zvyšovat výkon a krouticí moment motoru. Přechází se od atmosférického plnění motoru, k motorům přeplňovanými různými způsoby. Všeobecně platí, produkovaný výkon motoru závisí na tom, kolik paliva je spáleno ve válcích. V nepřeplňovaném motoru je směs vzduchu a paliva nasávána do motoru díky pohybu pístu dolů ve válci. Ideální je směs vzduchu a paliva 14,7:1. To se nazývá stechiometrický poměr. Pokud přidáme více vzduchu do motoru, je potřeba přidat i více paliva. Dostáváme z motoru vyšší točivý moment a výkon u objemově srovnatelných motorů, respektive podobných parametrů z menšího zdvihového objemu. To nám dovoluje postupně snižovat objemy motorů při stejných parametrech jako u podstatně většího motoru. Spalování je dokonalejší a tím vzrůstá účinnost motoru. Výkon a krouticí moment vzrostou při menší spotřebě paliva a menších emisí. Motor je tedy ekonomičtější a méně škodlivý pro životní prostředí.

Dále nám přeplňování pomáhá řešit nevýhodu nepřeplňovaných spalovacích motorů a to je nevyhovující křivka točivého momentu v nízkých otáčkách, prakticky nejvíce používané. Proto umisťujeme nejvyšší účinek přeplňování do rozmezí nízkých otáček a tím tuto nevýhodu alespoň částečně odstraňujeme. Bohužel tím nastávají problémy pro konstruktéry, kteří musí správně dimenzovat části motoru pro tyto vyšší tlaky ve spalovacím prostoru, např. klikový hřídel, ložiska či samotný píst. Hranicí těchto tlaků ve válci při stlačení směsi je kompresní poměr, při kterém může docházet k samozápalům. Tyto jevy jsou nežádoucí a mají vliv na životnost motoru, proto musí být konečný kompresní poměr vždy o něco menší, aby se jim předešlo.

Základní rozdělení přeplňování:

1. mechanické – z efektivního výkonu si odebírá pro vlastní funkci
2. turbodmychadlo - využívá energii výfukových plynů
3. kombinované (mechanické a turbodmychadla)
4. jiné druhy (COMPRESX, elektrické dmychadlo)

Podle poměru stlačení dodávaného plnicího tlaku rozdělujeme druhy přeplňování na:

- a) nízkotlaké – do 1,5. Zvýšení efektivního výkonu až o 30%.
- b) středotlaké – od 1,6 do 2,0. Zvýšení efektivního výkonu až o 50%.
- c) vysokotlaké – od 2,1 do 3,5. Zvýšení efektivního výkonu až o 100%.
- d) zvláště vysokotlaké – od 3,6 do 6,0. Zvýšení efektivního výkonu až o 400%.



2.1 PRINCIP PŘEPLŇOVÁNÍ

Základními závislými parametry pro výkon kteréhokoliv motoru jsou [1]:

- teplo dodané palivem do spalovacího prostoru
- účinnost přeměny tepla na mechanickou práci

Tyto parametry můžeme vyjádřit v rovnici pro užitečný výkon motoru [1]:

$$P_s = Q_p \cdot \eta_s = H_u \cdot m_p \cdot \eta_s \quad (3)$$

Ke spálení potřebné hmotnosti paliva je důležité mít odpovídající hmotnost vzduchu, kterou určuje vzájemný vztah těchto hmotnostních průtoků [1]:

$$m_p = \frac{m_s}{\lambda \cdot L_c} = V_s \cdot \frac{n_m}{60 \cdot t} \cdot \rho_s \cdot \eta_{pl} \cdot \frac{s + (\alpha - 1)}{s - 1} \cdot \frac{1}{\lambda \cdot L_c} \quad (4)$$

Určování součinitele α je velmi obtížné, a proto se pro zjednodušení uvažuje u motoru s proplachováním $\alpha=1$ a u motoru bez proplachování $\alpha=0$.

Dosazením rovnice (4) do rovnice (3) dostaneme výraz [1]:

$$P_s = V_s \cdot \frac{n_m}{60 \cdot t} \cdot \frac{s}{s - 1} \cdot \frac{H_u}{L_c} \cdot \frac{\rho_s \cdot \eta_{pl} \cdot \eta_s}{\lambda} \quad (5)$$

Při stejných rozměrech motoru a stejných otáčkách je zřejmé, že zvyšování výkonu závisí na parametrech v posledním zlomku rovnice. Jedná se o hustotu vzduchu nasávaného do motoru, plnicí a užitečnou účinnost a součinitel přebytku vzduchu.

Principem přeplňování je tedy plnění větší hmotnosti vzduchu do válců, tudíž zvyšování hustoty plnicího vzduchu. To nám dovoluje přidání více paliva, které nám zajistí úměrné zvýšení výkonu motoru při zachování přibližně stejných hodnot plnicí a užitečné účinnosti a součinitele přebytku vzduchu.

Hustotu nasávaného vzduchu můžeme vyjádřit ze stavové rovnice parametry [1]:

$$\rho_s = \frac{p_s}{r_s \cdot T_{s,c}} \quad (6)$$

Z rovnice je jasné, že docílení vyšší hustoty vzduchu můžeme zvýšením statického tlaku nebo snížením teploty vzduchu v sání motoru. První možnost nám zaručí příslušný kompresor pro stlačení a druhou možnost obstarává chladič plnicího vzduchu.



Jelikož toto zvýšení hustoty nasávaného vzduchu a tím pádem zvyšování výkonu motoru není nijak složité, velmi rychle se rozšiřuje a neméně rychle dále zdokonaluje.



3 MECHANICKÉ - KOMPRESORY

Jedná se o dmychadla mechanicky připojená k motoru. Výstup kompresoru je připojen nejčastěji řemenem k výstupu klikové hřídele. Na jednu stranu je to velká nevýhoda, jelikož odebírají z efektivního výkonu motoru část pro svou vlastní funkci, ale jejich užitečná práce je mnohem větší než jejich odběr, na druhou stranu reakce na sešlápnutí plynového pedálu je okamžitá bez prodlevy. Motor s kompresorem se dá charakterizovat jako silnější atmosférický motor. Nejčastěji používané mechanické kompresory jsou radiální odstředivé dmychadlo, Rootsovo dmychadlo a Lysholmovo dmychadlo.

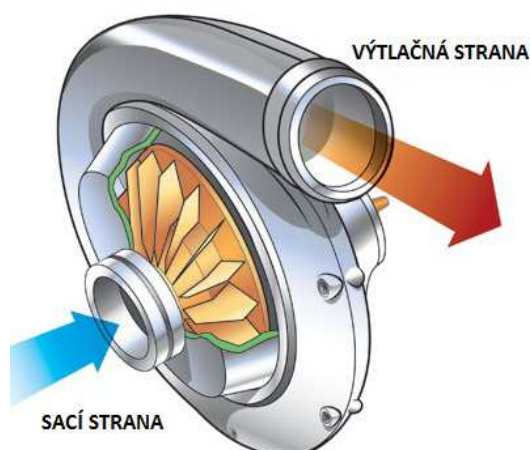
3.1 ROZDĚLENÍ MECHANICKÉHO PŘEPLŇOVÁNÍ

Hlavní rozdělení mechanického přeplňování:

- proudové
 - o Radiální odstředivé dmychadlo
- objemové
 - o pístové (nejstarší používané)
 - o rotační (Rootsovo, Lysholmovo dmychadlo)

3.2 RADIÁLNÍ ODSTŘEDIVÉ DMYCHADLO

Princip stlačování vzduchu podobně jako u turbodmychadla, ale poháněno přes řemen od klikové hřídele. Velmi efektivní dmychadlo ve svých pracovních otáčkách kompresorového kola, které bývají mezi 40 000 - 60 000 ot. /min. Od dosažení těchto otáček dmychadlo dodává vysoký plnicí tlak a rapidně roste výkon motoru. Jelikož tento typ dmychadla nedodává konstantní objem stlačeného vzduchu, v nízkých otáčkách (do 3 000 ot./min) nemá potřebnou obvodovou rychlost oběžného kola pro správné plnění. Při rotaci vysokými otáčkami oběžného kola je také důležité mazání, většinou olejem od motoru, ale někteří výrobci již dodávají řešení pro mazání s vlastním zásobníkem oleje. Dále jako u turbodmychadla je potřeba kompresorové kolo ochránit proti zpětným tlakovým rázům při uzavření škrticí klapky instalací přepouštěcího ventilu mezi dmychadlo a sání motoru.

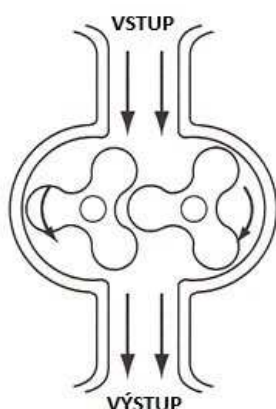


Obr. 3.1 Radiální odstředivé dmychadlo [8]

3.3 ROOTSOVO DMYCHADLO

Velice známé z klasických amerických muscle cars, kdy je dmychadlo instalováno nad motor, prostupuje kapotou auta a je umístěno pod škrticí klapkou. Bylo vyvinuto v 19. století pro ventilaci šachet uhelných dolů. Lopatky byly ze dřeva a velikostí zabíralo celou místnost. První Rootsova dmychadla pro přeplňování spalovacích motorů tvořila dvojice rotorů dvoulaločného průřezu, nyní se využívají tří- až čtyřlaločné rotory, které jsou vyrobeny z lehkých slitin. Otáčky rotorů jsou dvojnásobné jako otáčky motoru a jsou synchronizovány pomocí ozubených kol. Dmychadlo je samomazné, tudíž nevyžaduje mazání olejem z motoru a bývá často doplněno chladičem stlačeného vzduchu.

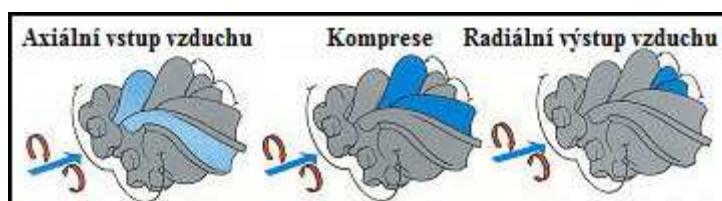
Tento typ interně nestlačuje vzduch, stlačování vzduchu dochází až za výstupem z kompresoru v sacím potrubí motoru. Při nízkých otáčkách je okamžité zvýšení plnicího tlaku, díky spojení dmychadla s klikovým hřídelem. Účinnost prvních Rootsových dmychadel byla velmi malá, jelikož byly navrhovány pro velké motory nákladních automobilů kolem 8000 cm³. Od té doby prošly velkými změnami v konstrukci a to zejména zmenšením vůle mezi lopatkami rotorů a stěnami komory dmychadla a zakroucením lopatek (šroubové rotory). Tyto konstrukční úpravy vyhlazují pulzaci při kolísavém plnění a výtlaku a výsledkem je mnohem vyšší účinnost. Ta je při nízkotlakém přeplňování asi 79 % při poměru stlačení 1,2. Při vysokotlakém tato účinnost klesá pouze na 68 % při poměru stlačení 2. Proto je vhodné pouze pro nízkotlaké přeplňování.



Obr. 3.2 Schéma Rootsova dmyhadla a umístění na americkém muscle car [24]

3.4 LYSHOLMOVO DMYCHADLO

Lysholmovo dmyhadlo bylo vynalezeno v roce 1935 švédským konstruktérem Alfem Lysholmem, jež vycházel z konstrukce Rootsova dmyhadla. Na první pohled se zdají být skoro identické, ale u typu Lysholm je již vzduch stlačován přímo v těle dmyhadla a jde tedy o interní kompresi. Komprese probíhá díky dvěma speciálně zkonstruovaným rotorům otáčejícím se proti sobě v těsné blízkosti, jež jsou poháněny od klikové hřídele pomocí řemene. Sání vzduchu je řešeno axiálně v zadní části dmyhadla, poté vzduch prochází rotací spirálových rotorů do přední části, během které je stlačován a následně vyveden radiálně z dmyhadla, jak je vidět na obr. 3.3. Výhodou tohoto typu dmyhadla je vysoká vnitřní komprese a tím dosažitelné vysoké tlakové poměry a vysoká účinnost. Při nízkých otáčkách je dmyhadlo velmi efektivní, účinnost se pohybuje okolo 85 %, ale s přibývajícími otáčkami klesá.



Obr. 3.3 Proudění vzduchu v Lysholm kompresoru [25]

Jako další výhoda je, že dmyhadlo je samomazné, tudíž nepotřebuje k mazání napojení na motorový olej, protože šroubové rotory se nedotýkají, mají mezi sebou vůli. Díky tomu také nedochází k většímu opotřebení rotujících částí, zato musí být precizně vyrobeny a to nese zvýšení náročnosti na přesnost výroby a také zvýšení výrobní ceny.

Lysholmovo dmyhadlo má velmi kompaktní design a umožňuje dobrou zástavbu na motoru, kde se umísťuje z vrchu motoru nebo po jeho straně. Velmi praktické pro motory do V, kde se kompresor umístí doprostřed mezi řady válců. Tento typ kompresoru využívají například Mercedes-Benz G55 AMG a Mercedes-Benz SLR McLaren. U prvního zmíněného dmyhadlo dodává nejvyšší plnicí tlak 0,85 bar a pohání



motor 5,5L V8 Kompressor, jehož výkon je 373 kW a točivý moment 700 Nm mezi 2750 a 4000 ot./min. V druhém případě dmychadlo při vlastních 23 000 ot./min dodává maximální plnicí tlak 0,9 bar pro motor 5,4L V8 a jeho výkon je 460 kW při 6500 ot./min a 780 Nm od 3250 do 5000 ot./min. V tomto případě stlačený vzduch ještě prochází dvojicí mezichladičů.



Obr. 3.4 Motor 5,5L V8 Kompressor od AMG [17]

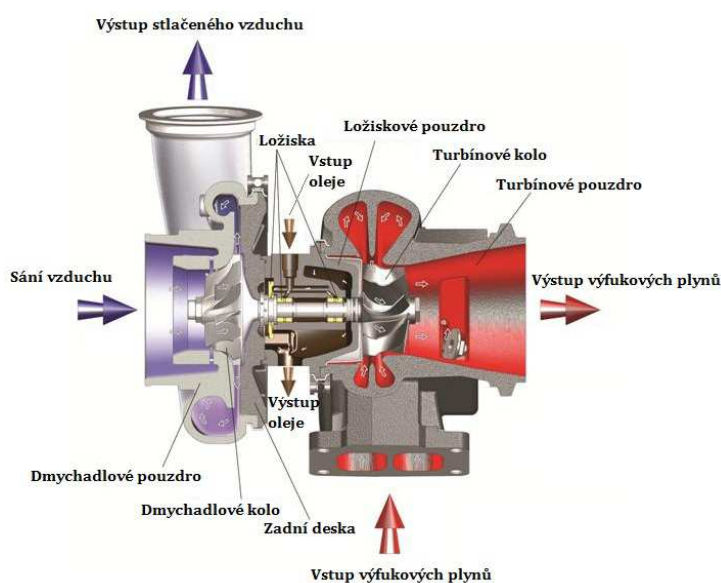
4 TURBODMYCHADLO

Před třiceti lety bylo turbodmychadlo pouze výsadou několika sportovních vozů. S nástupem dieselových motorů se v devadesátých letech postupně začaly rozšiřovat, jelikož dieselové motory oproti benzinovým podstatně ztrácely na svižnosti motoru. Přepřehování výrazně zvýšilo jejich točivý moment a výkon. V posledních několika letech se turbodmychadla montují i do benzinových motorů, jelikož normy na snižování emisí a také tlak na snížení spotřeby je enormní, a proto se využívají menší objemy motoru přepřehované turbodmychadlem, tzv. downsizing.

4.1 KONSTRUKCE

Turbodmychadlo se skládá z turbínového, dmychadlového a ložiskového pouzdra. Turbínové pouzdro je napojeno na sběrné potrubí výfukových plynů. Na druhém konci společné hřídele s turbínovým kolem je v dmychadlovém pouzdře uchyceno kompresorové kolo. Společný hřídel prochází ložiskovým pouzdem, kde je uložen na ložiskách mazaných olejem připojený na mazací okruh motoru.

V kompresorové části, jelikož tudy neproudí výfukové plyny, nejsou potřeba žáruvzdorné materiály, ale musí být odolné vůči velkým odstředivým silám. Proto se využívají slitiny hliníku. V turbínovém pouzdře jsou to jak kvůli velkým odstředivým silám tak hlavně kvůli vysokým teplotám slitiny titanu. U dieselových motorů mohou teploty výfukových plynů dosahovat až 860 °C a u benzinových až 1050 °C.



Obr. 4.1 Hlavní části konstrukce a toky plynů turbodmychadla [27]



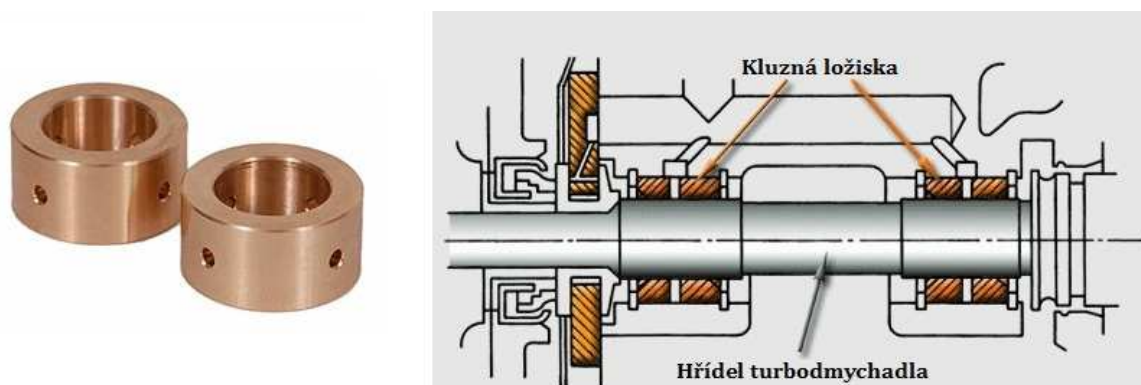
4.2 PRINCIP ČINNOSTI

Turbodmychadlo je dmychadlo poháněné výfukovými plyny proudící ze sběrného potrubí motoru radiálně na lopatky turbínového kola, předávají mu část své nevyužité energie a vystupují z něj axiálním směrem do výfukového potrubí. Na druhém konci hřídele nasává vzduch přes filtr podtlakem do dmychadlové části kompresorové kolo na své lopatky axiálním směrem, stlačuje ho a radiálním směrem jej vhání do motoru. Tím výrazně zvyšuje jeho objemovou účinnost. Tento nárůst tlaku se měří v pascálech, barech nebo PSI. Jelikož při průchodu zahřívajícím se turbodmychadlem a samotným stlačením vzduch zvýší svou teplotu až na 130 °C, je nutná instalace mezichladiče stlačeného vzduchu mezi výstupem z dmychadlové části a motorem. Zde se vzduch ochlazuje zhruba na 60 °C, čímž se dále zvýší jeho hustota a do válce se dostává více kyslíku. Turbodmychadla většinou dosahují účinnosti kolem 80 %. V automobilovém průmyslu se nejčastěji používají turbodmychadla zvyšující tlak o 1,2 barů. Ty začínají obvykle pracovat od 2500 otáček motoru za minutu u benzinových, u dieselových motorů už od 1800 otáček za minutu.

4.3 LOŽISKA HŘÍDELE

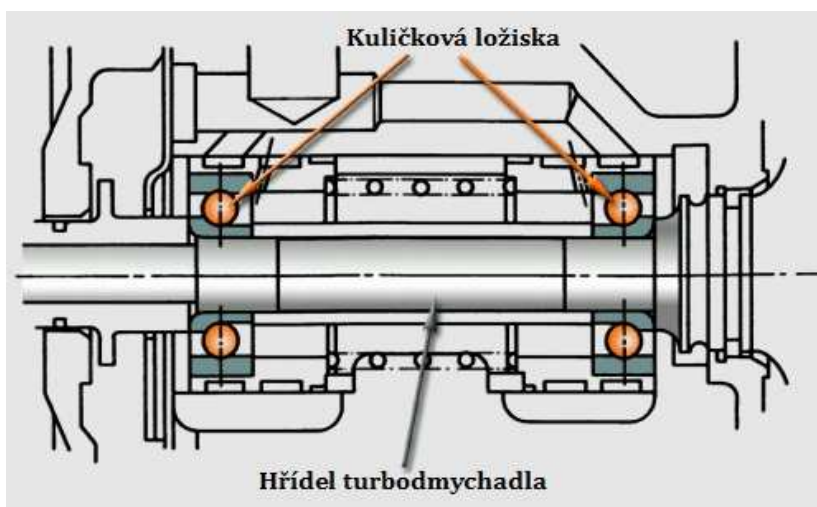
Ložiska hřídele mají velký vliv na celkovou odezvu turbodmychadla po sešlápnutí plynového pedálu. Požadavky na zrychlení odezvy a pro snížení tzv. turbo efektu byly dosti řešeny mezi samostatnými nadšenci a profesionály v motorsportu, kteří chtěli využít obrovské zisky ve výkonu a točivém momentu dodávaném turbodmychadlem. Za účelem dosažení rychlejší reakce bylo navrženo mnoho inovací a pokroků v posledních desetiletí, především díky použití moderních materiálů jako je keramika pro snížení hmotnosti rotující soustavy. Nicméně významné zlepšení bylo docíleno snížením tření rotujících součástí.

Klasická konstrukce turbodmychadla využívá kluzná ložiska, která mezi stěnou ložiska a hřídelí za provozu trvale udržuje vrstvu mazacího oleje. Olej je přiváděn přes pouzdro ložiska a je důležitý stálý přísun čerstvého a čistého oleje na široké kontaktní ploše, aby se zamezilo vzájemnému tření mezi povrchy ložiska a hřídelí.



Obr. 4.2 Kluzná ložiska firmy Honeywell a uložení v ložiskovém pouzdře turbodmychadla [19], [18]

Kluzná ložiska byla nejčastěji používaná ložiska pro turbodmychadla, ale nyní je postupem času kvůli poměrně vysokým třecím silám stále více nahrazují kuličková ložiska, jejichž cenově dostupná technologie poskytuje významné zlepšení ve výkonu. V kluzných ložiskách mohou rotory při roztáčení vibrovat, jelikož nemají při startu a v nízkých otáčkách dostatečnou vrstvu oleje mezi stěnou ložiska a hřídelí. Kuličková ložiska lépe vymezují vůli hřídele a s nižším valivým odporem je turbodmychadlo účinnější, kola turbíny i dmychadla se rychleji roztáčí a auto má lepší reakci na sešlápnutí plynového pedálu. Příkladem mohou být konstruktéři japonské značky Nissan, kdy při vývoji čtvrté generace automobilu Nissan Skyline GT-R R34, jenž se prodával v letech 1999-2002, použili pro přeplňování motoru s označením RB26DETT N1 turbodmychadlo Garrett GT25 využívající kuličková ložiska. Předchozí verze tohoto automobilu R32 a R33 s tímto motorem používali ještě turbodmychadlo Garrett T25 s kluznými ložisky.



Obr. 4.3 Uložení kuličkových ložisek v ložiskovém pouzdře [18]

Firma Honeywell, jedna z největších společností zabývajících se výrobou a testování turbodmychadel, v dnešní době nabízí široký sortiment turbodmychadel jak s kluznými tak s kuličkovými ložisky. Jejich inovace kuličkových ložisek započaly v důsledku práce jejich skupiny Garrett Motorsport pro několik závodních sérií. Sada kuličkových ložisek pro turbodmychadlo nakonec obdržela termín „Cartridge Ball Bearing“, neboli kazeta kuličkových ložisek.



Obr. 4.4 Kazeta kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem firmy Honeywell [19]

Výhodou kuličkových ložisek oproti kluzným je snížení požadavku na množství oleje. Jelikož nepotřebují takový objemový průtok oleje, snižuje se šance na únik netěsnostmi, je tolerantnější k mezím mazacích podmínek a možnost selhání turbodmychadla po vypnutí motoru je mnohem nižší než u kluzných. Dále zajišťují lepší tlumení a kontrolu nad pohybem hřídele, což znamená větší spolehlivost jak při běžném používání tak pro extrémní jízdní podmínky. Kuličková ložiska s kosoúhlým stykem navíc eliminují axiální zatížení, a proto není potřeba jako u kluzných použití axiálního ložiska, které bývá obvykle slabým článkem v nosném systému turbodmychadla.



Obr. 4.5 Graf závislosti mechanické účinnosti turbinového kola na tlakovém poměru stlačeného vzduchu

Zobrazení zlepšení dokazuje diagram mechanické účinnosti turbíny v závislosti na tlakovém poměru stlačeného vzduchu. Soustava uložení ve dvou kuličkových ložiskách je o hodně účinnější než uložení v kluzných ložiskách a to v celém rozmezí testovaného kompresního poměru, ale nejmarkantnější je při nízkém stlačení. Při poměru stlačení do 1,2 skoro o 10 % účinnější.

4.4 ŘÍZENÍ A REGULACE PLNÍČÍHO TLAKU

Při zvyšování otáček turbodmychadla se zvyšuje hmotnostní tok výfukových plynů ze spalovacích komor. Motory by měly položen maximum výkonu v nejvyšších otáčkách při největší kompresi nasávaného vzduchu. To by mohlo mít kvůli vysokým tlakům za následek extrémní namáhání motoru a mohlo by dojít až k destrukci motoru. Moderní automobily mají položen nejvyšší točivý moment v nízkých otáčkách, kolem 2 000 otáček za minutu. Využívají se turbodmychadla dimenzována na menší hmotnostní toky při nízkých otáčkách. Tím se docílí lepší dynamiky motoru a také jsou automobily hospodárnější. Proto je důležité nastavení plnícího tlaku turbodmychadla a dá se regulovat několika způsoby.

Způsoby řízení a regulace turbodmychadla:

- přepouštěcím ventilem
- obtokovým ventilem výfukových plynů
- změnou geometrie turbíny natáčením lopatek



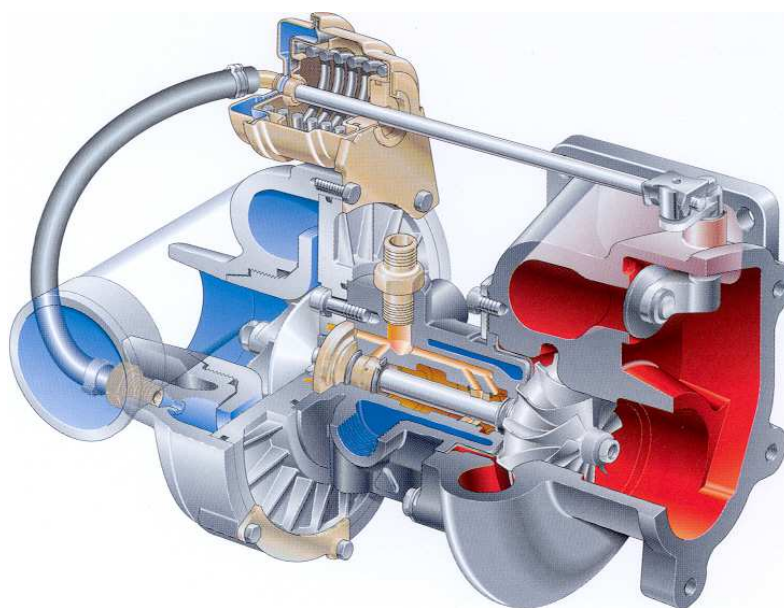
4.4.1 PŘEPOUŠTĚCÍ VENTIL

Přepouštěcí ventil je přetlakové zařízení, instalované na sacím traktu motoru, zabráňující extrémnímu náporu vzduchu na dmychadlové kolo. Je většinou umístěno mezi výtlak kompresoru a škrtecí klapku, nejlépe po proudu od chladiče stlačeného vzduchu.

V okamžiku, kdy je škrtecí klapka rychle uzavřena, stlačený vzduch dmychadlem nemá kam proudit a to způsobuje nestabilitu a vznikají zde tlakové výkyvy. Proto jsou přeplňované motory vybaveny přepouštěcím ventilem, jehož účelem je ochránit dmychadlové kolo před prudkým nárůstem tlaku. Ten se otevírá díky podtlaku, který vznikne za uzavřenou škrtecí klapkou. Přebytečný stlačený vzduch proudí zpět do sacího traktu nebo jej ventiluje ven do atmosféry. Při výfuku do atmosféry vzniká charakteristický syčivý zvuk.

4.4.2 OBTOKOVÝ VENTIL VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

Jedná se o nejčastější regulaci plnicího tlaku turbodmychadla. To je navrženo tak, aby dodávalo velké množství vzduchu při nízkých otáčkách. Se zvyšujícími se otáčkami hodnota plnicího tlaku dodávaná turbodmychadlem dosáhne určitého průtočného objemu, který řídí obtokový ventil. Jakmile je dosaženo této hranice, otevírá se obtokový ventil a část plynů se přepouští mimo turbínové kolo do výfukového potrubí za turbodmychadlo. Tím se již nezvyšuje plnicí tlak a je i docílena ochrana před poškozením motoru či turbodmychadla, které nemusejí být stavěny na extrémní podmínky.



Obr. 4.6 Turbodmychadlo se zabudovaným obtokovým ventilem [28]

K dispozici jsou dvě konfigurace:



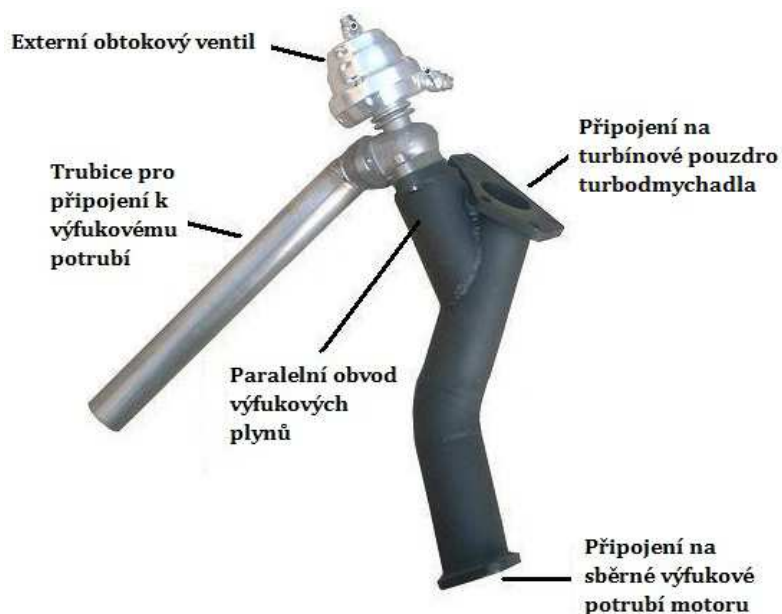
- interní
- externí

INTERNÍ OBTOKOVÝ VENTIL

Je zabudován přímo v turbínovém pouzdře jak je vidět na obr. 4.6. Plochý ventil je otevírán díky pneumatickému pohonu přes kliku a tyč. Otevírací tlak je brán z místa, kudy proudí již stlačený vzduch, za kompresorovým kolem.

EXTERNÍ OBTOKOVÝ VENTIL

Je osazen na výfukovém potrubí před vstupem spalín do turbínového pouzdra. Se zvyšujícím se tlakem ve sběrném výfukovém potrubí se otevírá a umožňuje tak proudění části výfukových plynů paralelním obvodem mimo turbodmychadlo dále do výfukového potrubí po proudu až za výtlak z turbínového pouzdra a tím je turbinové kolo chráněno proti dalšímu zvyšování průtoku spalín z motoru. Při závodním použití může být obtékaný plyn vypuštěn rovnou do atmosféry.



Obr. 4.7 Zapojení externího obtokového ventilu do systému [29]

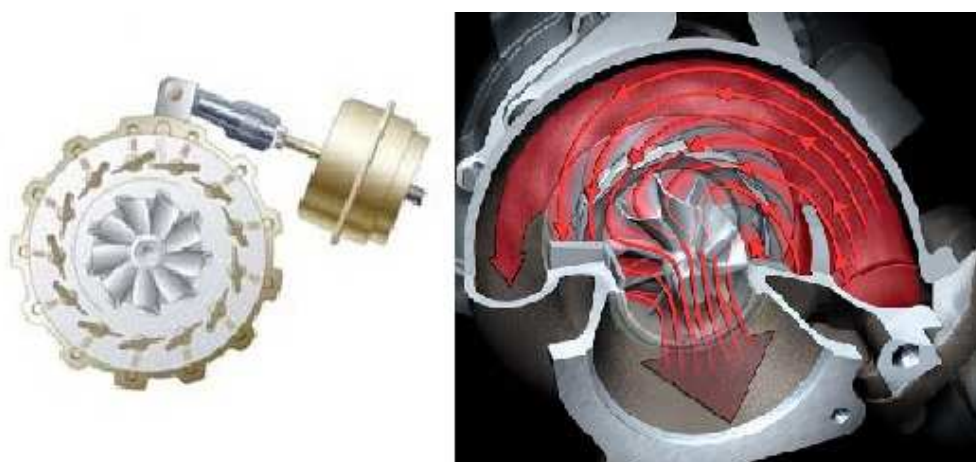
4.4.3 ZMĚNA GEOMETRIE TURBÍNY NATÁČENÍM LOPATEK

Označováno jako VGT (Variable Geometry Turbine) nebo VNT (Variable Nozzle Turbine). Jedná se o změnu průřezu pro proudění výfukových plynů turbínovým pouzdrem na lopatky turbíny. To zajišťují po obvodě turbíny do věnce umístěné lopatky, které se natáčejí tak, aby práce turbodmychadla byla co nejefektivnější. Toto vylepšení, se kterým přišel již v roce 1951 inženýr společnosti Garrett, Ted von der Nuell, dále



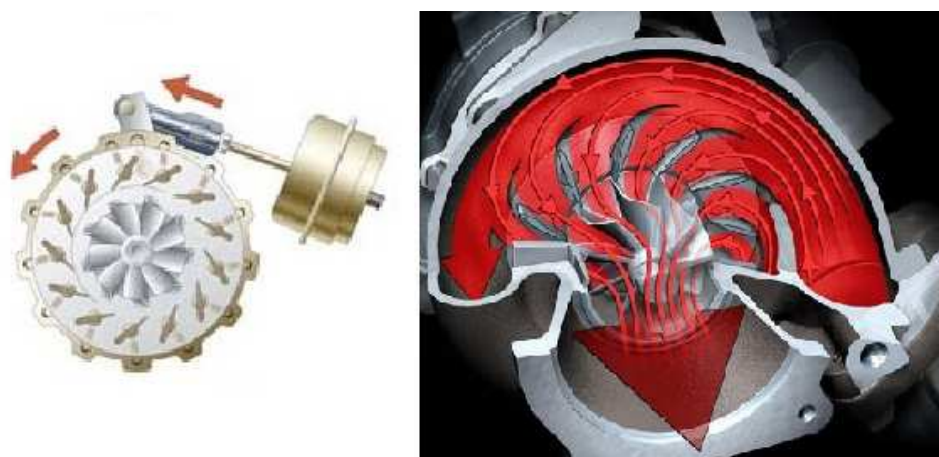
zdokonalovala společnost Honeywell až v devadesátých letech. První automobil osazen touto technologií byl Chrysler Dodge - Shelby Daytona Turbo-Z v roce 1990. To byl počátek éry variabilních lopatek turbodmychadla, ale pouze pro vznětové motory. Od té doby v Honeywell vydali již třetí generaci této technologie, kterou uveřejnili v roce 2004 a stále zdokonalují.

Natáčení lopatek, které jsou na věnec uchyceny čepem, je řízeno aktuátorem pomocí tlaku nebo systémem elektronického řízení. Tím se při nízkých otáčkách, kdy je menší průtok výfukových plynů potrubím, natočí lopatky tak, že zmenší průtočný průřez turbínového pouzdra a tudíž plyny proudí vyšší rychlostí a více kolmo na lopatky turbínového kola a rychleji jej roztácejí. Je zde využívána rovnice kontinuity.



Obr. 4.8 Variabilní lopatky natočeny pro zmenšení průřezu turbínového pouzdra [21], [30]

Při zvyšování otáček se lopatky postupně rozevírají, a tím tak zvětšují průřez turbínové skříně až do maximálního natočení. To bývá většinou orientováno tak, aby variabilní lopatky měly téměř stejný směr jako lopatky turbíny. Využívá se celého objemu výfukových plynů a jednoduchým natáčením se reguluje potřebný plnicí tlak, které má turbodmychadlo dodávat pro aktuální potřebu motoru. Toto zařízení dostatečně plní funkci obtokového ventilu, a proto nemusí být obtokový ventil v kombinaci s VNT instalován. To nemusí platit pro některé aplikace pracujícími s vyššími tlaky a obtokový ventil je nutno použít.



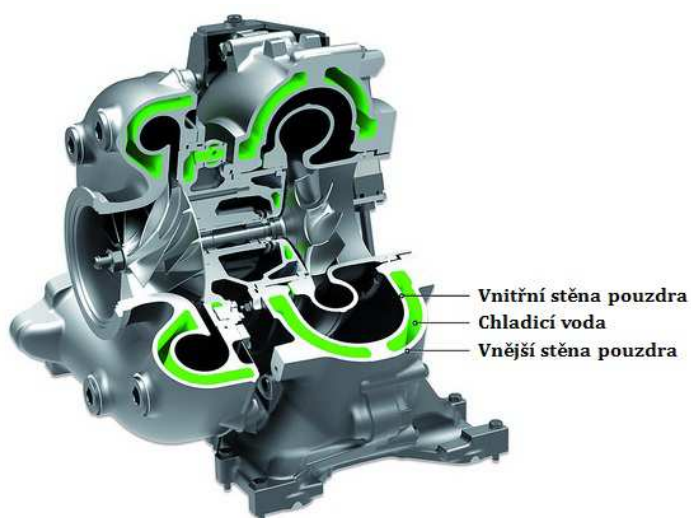
Obr. 4.9 Variabilní lopatky natočeny pro maximální průtok výfukových plynů [21], [30]

Současná třetí generace VNT turbodmychadel společnosti Honeywell splňuje normy EU4 a přinesla mnoho vylepšení, jako je například nový design, více aerodynamické natáčecí lopatky, novou generaci turbínového kola a lepší ovladatelnost díky vylepšeným systémům řízení. Výsledkem bylo zařízení, jež je o 10 % účinnější a dodává o 30 % vyšší plnicí tlak než turbodmychadlo s VNT druhé generace. O regulaci se stará řídicí systém REA (Rotary Electric Actuator), který je v porovnání s pneumatickým řízením rychlejší a citlivější pro přesné natáčení variabilních lopatek jak pro vznětové tak zážehové motory.

Systém variabilní geometrie lopatek byl z počátku určen pouze pro vznětové motory, protože výfukové plyny zážehových motorů dosahují vyšších teplot a materiály na výrobu natáčecích lopatek nebyly schopné odolávat tak extrémním podmínkám. Bylo potřeba najít správné materiály, které by tyto podmínky vydržely. Řešení našli konstruktéři Porsche, kteří poprvé osadili automobil turbodmychadlem s variabilní geometrií lopatek. Bylo to v modelu Porsche 911 (997) Turbo, kde nainstalovali na motor boxer o objemu 3,6 litru dvojici těchto nových turbodmychadel a výrazně tak zvýšili jeho výkon na 353 kW při 6000 ot./min.

4.5 CHLAZENÍ TURBODMYCHADLA

Výkonná turbodmychadla, jejichž vysoké povrchové teploty pouzder mohou způsobovat nebezpečí v podobě požáru, mohou využívat metody vnitřního chlazení. To funguje na principu průtoku chladicího média, nejčastěji vody, přímo pouzdem turbodmychadla. Konstruktéři již při návrhu pouzder turbodmychadla do nich umisťují kanálky pro průtok vody. Nejčastěji chlazené bývá pouze turbínové pouzdro, ale v případě potřeby stlačeného vzduchu o nižší teplotě může být chlazen i pouzdro kompresoru jak je vidět na obr. 4.10.



Obr. 4.10 Turbodmychadlo s vnitřním chlazením [31]

Druhou možností jak docílit nižší povrchové teploty a ochrany před možností požáru je potažení turbodmychadla izolační vrstvou. Tyto možnosti se využívají například pro námořní aplikace.

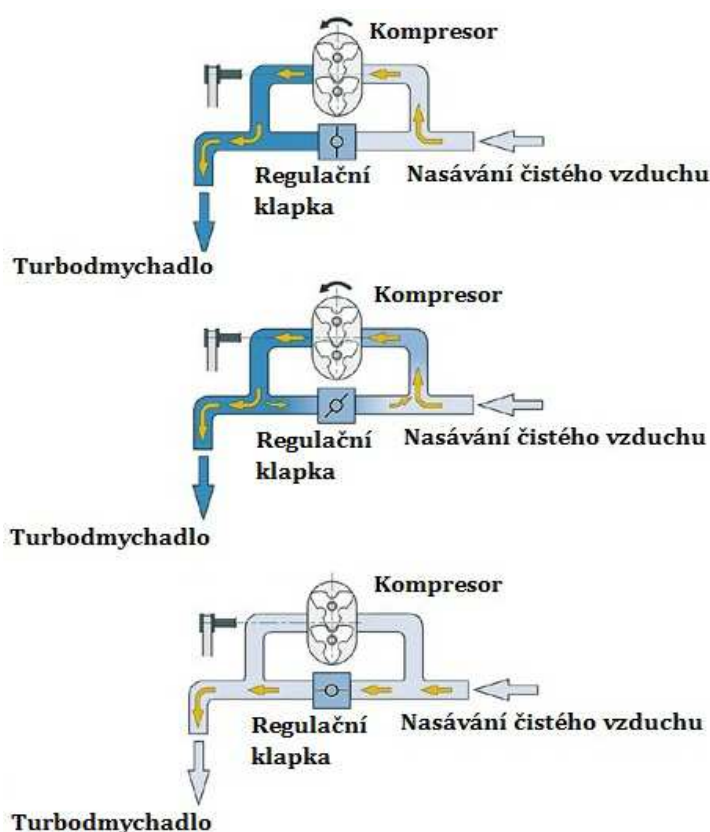


5 KOMBINOVANÉ PŘEPLŇOVÁNÍ

V moderní době velmi rozšiřující se oblast ve zvyšování výkonu a točivého momentu motorů za stejného či menšího objemu. Kombinované přeplňování vylepšuje průběhy křivek těchto výkonových parametrů při nejvíce používaném způsobu přeplňování, tj. turbodmychadlem. V rozmezí nízkých otáček slabý proud výfukových plynů nedokáže rychle roztočit turbínu na provozní otáčky, a proto se do systému připojuje další zařízení k vymazání tohoto nedostatku.

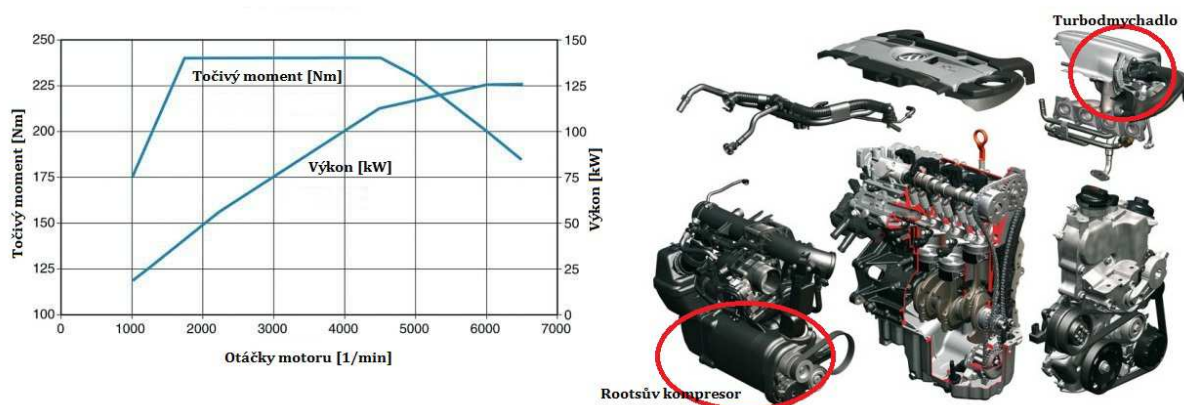
5.1 MECHANICKÝ KOMPRESOR A TURBODMYCHADLO

Nejčastějším zapojeným mechanickým kompresorem, který se roztáčí až na hranici vlastních 18 000 ot./min do systému s turbodmychadlem, je kompresor typu Roots a připojení je řešeno přes elektromagnetickou spojku od klikové hřídele. Spojka se při sešlápnutí plynového pedálu sepne, regulační klapka se uzavře, tudíž všechen vzduch proudí přes kompresor a ten ihned začíná pracovat a dodávat potřebný plnicí tlak. V rozmezí nízkých otáček, asi do 2300 ot./min, pracuje pouze kompresor, obr. 5.1 nahoře. S narůstajícími otáčkami se postupně regulační klapka otevírá a v tomto okamžiku pracuje jak kompresor tak se také turbodmychadlo dostává do pracovních otáček. Kompresor zde tvoří prvotní kompresi před turbodmychadlem, obr. 5.1 uprostřed. Jakmile motor dosáhne hranice 3500 ot./min, regulační klapka se zcela otevře a vzduch proudí mimo kompresor rovnou do sání dmychadlového pouzdra. Turbodmychadlo je nyní v optimálních pracovních otáčkách a samo se stará o stlačování plnicího vzduchu, obr. 5.1 dole.



Obr. 5.1 Schéma pracovních fází kompresoru a turbodmychadla [32]

Na tomto principu pracuje jeden z nejdokonalejších motorů poslední doby a tím je od Volkswagenu motor 1.4 TSI Twincharger o výkonu 125 kW. Disponuje hladkou křivkou točivého momentu, který má maximální hodnotu 240 Nm od 1750 ot./min do 4500 ot./min, ale již při 1000 ot./min motor dodává přes 70 % točivého momentu. Tomu všemu také napomáhá přímé vstřikování paliva o tlaku 150 bar šesti-otvorovými vstřikovači, které využívají chladicí efekt při odpařování paliva při rozvíření ve válci. Díky tomu je možný vysoký kompresní poměr 10:1. Motor dosáhl několika vítězství v International Engine of the Year. Od roku 2006 do 2010 každoročně vyhrál skupinu motorů o objemu 1.0 - 1.4 litru a v letech 2009 a 2010 jako absolutní vítěz těchto ocenění.



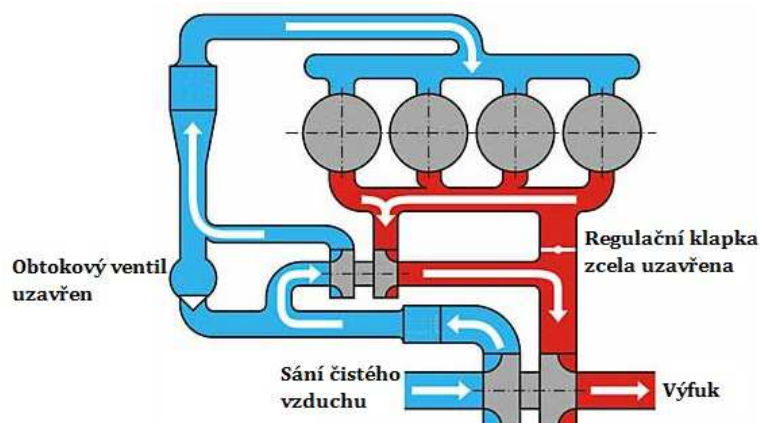
Obr. 5.2 Výkonová charakteristika a rozložený motor 1.4 TSI Twincharger od Volkswagenu [33]

5.2 DVOJICE TURBODMYCHADEL

5.2.1 SÉRIOVÉ ZAPOJENÍ

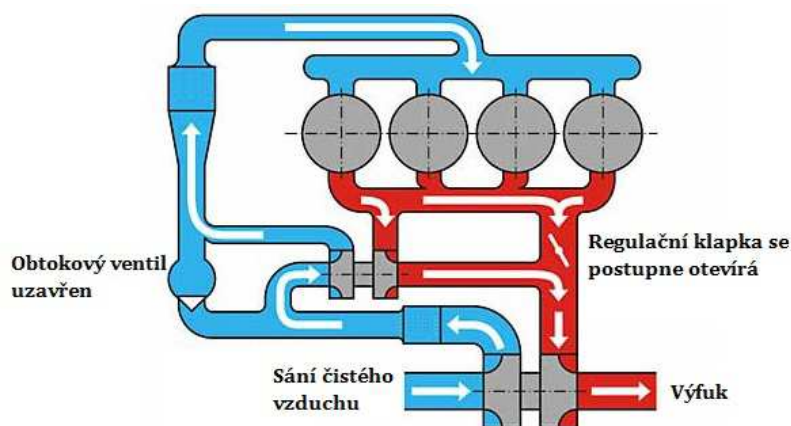
Jednou z možností je zapojení dvou turbodmychadel do série, z nichž jedno je menších rozměrů. Díky tomu ho rychleji roztáčí slabý proud spalin v nízkých otáčkách a v tomto rozmezí již dodává potřebný plnicí tlak do válců motoru. Spolupráce turbodmychadel se dá zase rozdělit do 3 fází a je řízena elektronicky regulačními klapkami a obtokovými ventily.

První fáze je asi do 1800 ot./min motoru, kdy motor produkuje menší množství výfukových plynů a roztáčí tak pouze menší turbodmychadlo. To díky svým rozměrům má menší moment setrvačnosti a rychleji reaguje na sešlápnutí plynového pedálu. Do těchto otáček je klapka ve výfukovém i sacím potrubí zcela uzavřena a všechny proud je směřován na lopatky turbíny malého turbodmychadla. Velké turbodmychadlo se v této fázi pouze protáčí a nepřispívá ke zvyšování tlaku v sacím potrubí, viz obr. 5.3.



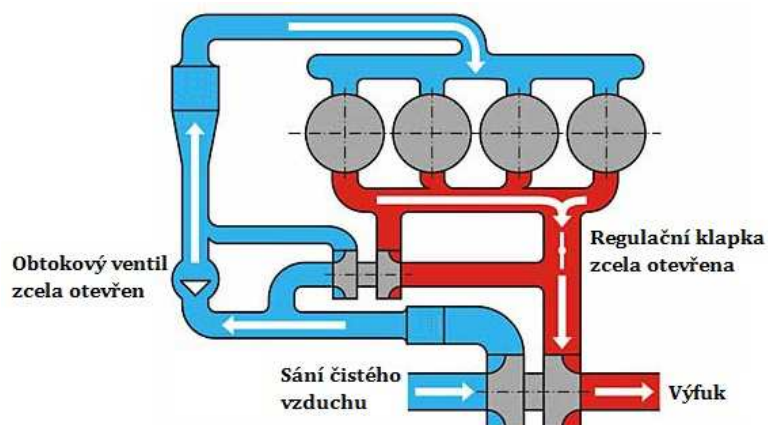
Obr. 5.3 První fáze dvoustupňového přeplňování [12]

Druhá fáze je mezi 1800 ot./min a 3000 ot./min. Při této přechodové fázi je již množství spalín dostatečné pro práci většího turbodmychadla, a proto se regulační klapka ve výfukovém potrubí postupně otevírá se zvyšujícími se otáčkami. Spaliny nyní proudí na malé i velké turbodmychadlo a ty pracují společně. Prvotní stlačení plicního vzduchu dojde ve velkém nízkotlakém turbodmychadle, dále přes chladič proudí do druhého vysokotlakého turbodmychadla, jelikož obtokový ventil je stále uzavřen, a to zajistí potřebné stlačení vzduchu, který prochází před vstupem do prostoru spalování ještě jedním chladičem, viz obr. 5.4.



Obr. 5.4 Druhá fáze dvoustupňového přeplňování [12]

Poslední třetí fáze je od 3000 ot./min. Při dostatečném toku spalin se úplně otevírá regulační klapka a ten proudí v celém objemu na lopatky turbíny velkého turbodmychadla. Díky rozdílům tlakových poměrů za velkým a malým turbodmychadlem se otevírá obtokový ventil a nasávaný vzduch prochází pouze jedním kompresorovým kolem a to přes velké turbodmychadlo, kde je stlačován na požadovanou hodnotu a poté ochlazen v chladiči. Malé turbodmychadlo se sice točí, ale nízkými otáčkami a tudíž nepřispívá na dalším stlačování vzduchu, obr. 5.5.



Obr. 5.5 Třetí fáze dvoustupňového přeplňování [12]

Tento systém využívali například v automobilu Opel Vectra OPC Twin Turbo. Jeho vznětový motor 1.9 CDTI Twin Turbo dosahoval výkonu 156 kW při 3800 ot./min a maximálního točivého momentu 400 Nm v rozmezí 1400 až 3600 ot./min a to vše při spotřebě pouhých 6 litrů na 100 kilometrů.



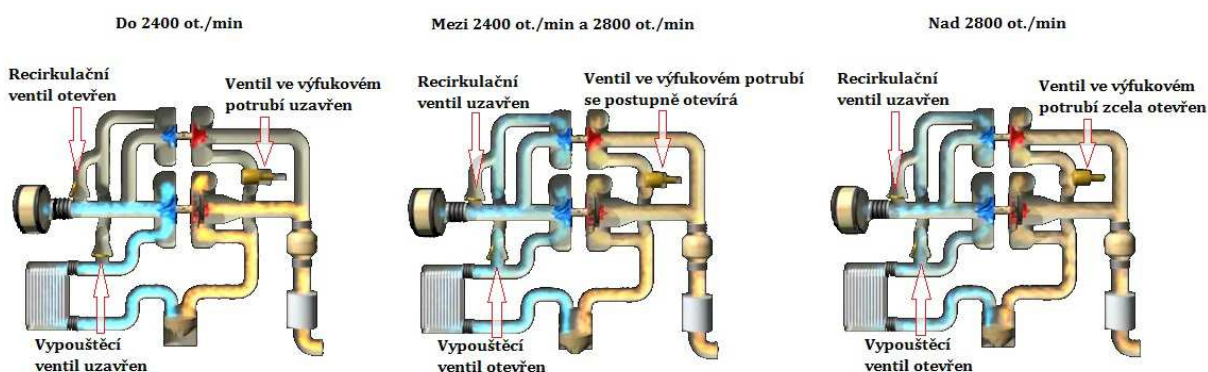
Obr. 5.6 Vzhled motoru 1.9 CDTI Twin Turbo a umístění turbodmychadel ze strany motoru [12]

5.2.2 PARALELNÍ ZAPOJENÍ

Další z možností je paralelní sekvenční zapojení turbodmychadel. Tento typ jako první realizovali ve společnosti Honeywell a nazývají ho "Two Stage Parallel Turbocharging" a využití dostal ve dvou konfiguracích. První byla v roce 2006 v PSA 2.2L motoru a skládala se z primárního turbodmychadla s obtokovým ventilem a druhým klasickým. Druhá konfigurace byla v roce 2008 na automobilu Jaguar XF 3.0L V6 s dieselovým motorem použitím primárního turbodmychadla s technologií VNT (variabilní natáčení lopatek) a druhým klasickým.



V nízkých otáčkách pracuje pouze primární turbodmychadlo s VNT technologií kvůli menšímu toku spalin ze spalovacích prostorů. To je asi do 2400 ot./min. Se vzrůstajícími otáčkami se otevírá ventil ve výfukovém potrubí a proud plynů nyní proudí i na druhé klasické turbodmychadlo. V sacím potrubí se zavírá recirkulační ventil a naopak se otevírá vypouštěcí ventil pro průchod stlačeného vzduchu druhým turbodmychadlem. Od tohoto okamžiku začínají společně pracovat a dodávat stlačený vzduch, který se před vstupem do motoru zchladí ve společném chladiči. Ventil ve výfukovém potrubí se zcela otevírá od 2800 ot./min a s následným zvyšováním otáček nadále pracují turbodmychadla společně.



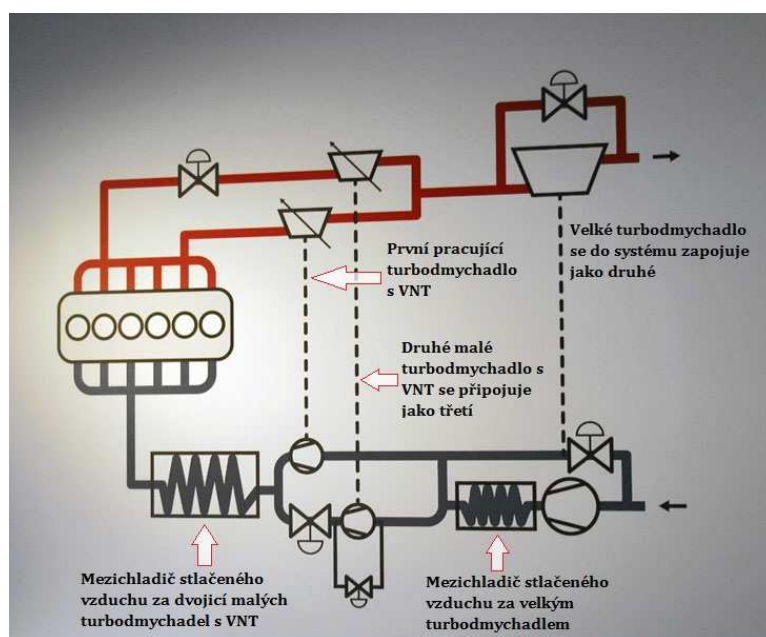
Obr. 5.7 Pracovní fáze zapojení paralelního sekvenčního přeplňování dvojicí turbodmychadel [22]

Při zapojení turbodmychadel paralelně můžeme využít ještě několik způsobů. Například při šesti a více válcovém motoru můžeme připojit každé z turbodmychadel pouze na polovinu válců a tím pracují jakoby klasická turbodmychadla.

5.3 TROJICE TURBODMYCHADEL

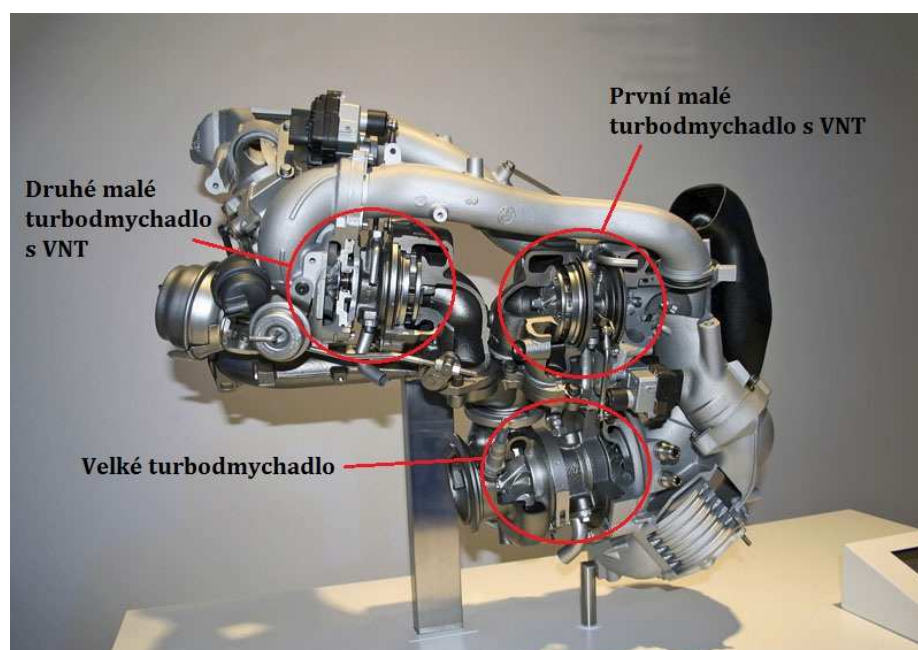
Zcela nové postupné přeplňování trojicí turbodmychadel od BMW, z nichž dvě jsou vybaveny technologií VNT. Jednotka vychází z motoru přeplňovaným malým s VNT a velkým turbodmychadlem. Do systému bylo přidáno ještě jedno malé vysokotlaké turbodmychadlo s VNT. Celý systém je řízen soustavou pěti ventilů, které se podle otáček a zatížení motoru postupně otevírají či zavírají a tak připojují ostatní turbodmychadla.

Nově vyvinuté trojitě přeplňování našlo uplatnění v dieselovém řadovém šestiválci TwinPower Turbo o objemu 2993 cm³, který je osazován do vozů BMW M550d xDrive a X5/X6 M50d. Výkon tohoto unikátního motoru je 280 kW při 4000 ot./min a 740 Nm v rozmezí 2000 - 3000 ot./min.



Obr. 5.8 Schéma přeplňování trojicí turbodmychadel [13]

V nízkých otáčkách do 1500 ot./min pracuje pouze první malé turbodmychadlo, jehož reakce na plyn je okamžitá, a stlačený vzduch jde přes mezichladič do spalovacího prostoru. Při překročení těchto otáček se připojuje druhé velké turbodmychadlo, které po prvotním stlačení vhání vzduch do vlastního mezichladiče a poté stlačený a ochlazený vzduch proudí přes první malé turbodmychadlo a jeho mezichladič do válců. Po dosažení 2700 ot./min se do systému jako třetí zapojí druhé malé turbodmychadlo s VNT. To pracuje paralelně s prvním turbodmychadlem a jimi stlačený vzduch se ve sběrném potrubí mísí a prochází přes mezichladič do spalovacích prostorů.

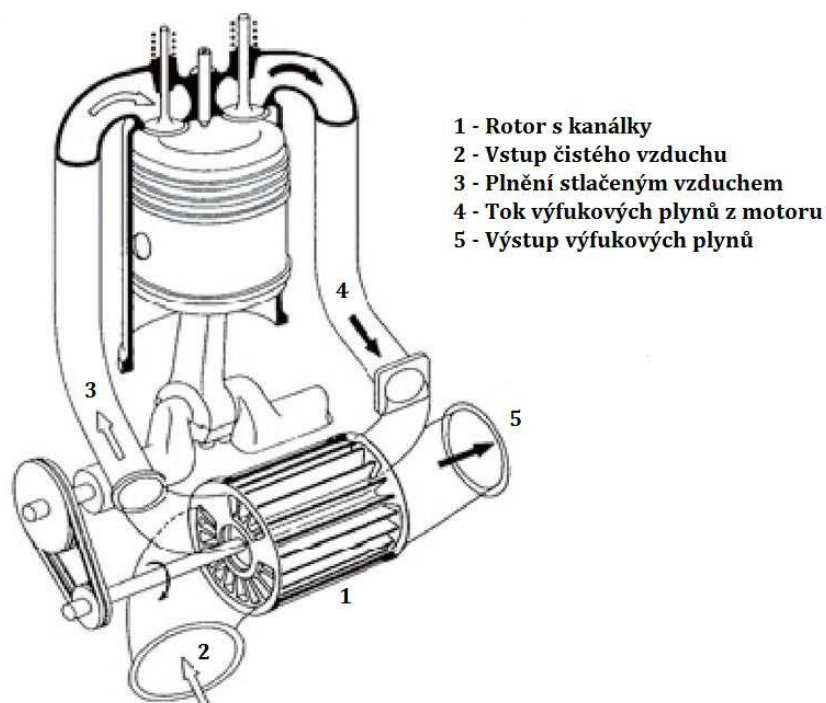


Obr. 5.9 Kombinace tří turbodmychadel [13]

6 JINÉ DRUHY PŘEPLŇOVÁNÍ

6.1 ZAŘÍZENÍ COMPREX

Je potřeba nejprve zmínit, že zařízení Compresx není dmychadlo, pouze pracuje s energií výfukových plynů a připojení přes klikový hřídel má funkci otáčení těla výměníku a rozdělování tlakových vln. Principem je odrazování tlakových vln v potrubí. Tok spalin přímo předává energii plnicímu vzduchu uvnitř zařízení, kde probíhá komprese i expanze. Sání vzduchu do rotoru s kanálky je podtlakem, kdy výfukové plyny vystupují do výfuku. Pootočením jsou přiváděny další výfukové plyny vycházející z motoru, které průchodem kanálků stlačují nasátý vzduch a vytlačují ho do plnicího potrubí. Než se výfukové plyny dostanou na konec kanálku, rotor je znovu pootočen a ty se odrazí od příruby zpět do výstupního otvoru pro spaliny a za nimi vzniká podtlak pro nové nasávání čerstvého vzduchu. Jeden cyklus probíhá po otočení o 180°. Základem správné funkce je dobré načasování, jelikož tlakové vlny se šíří rychlostí zvuku, a proto je důležitým faktorem teplota výfukových plynů. Tímto systémem můžeme dosáhnout tlakových poměrů až do hodnoty 3. Nevýhodou tohoto systému je, že není univerzální a pro každý motor je potřeba speciálního naladění. Uplatnění dostal v devadesátých letech v automobilu Mazda 626 diesel.

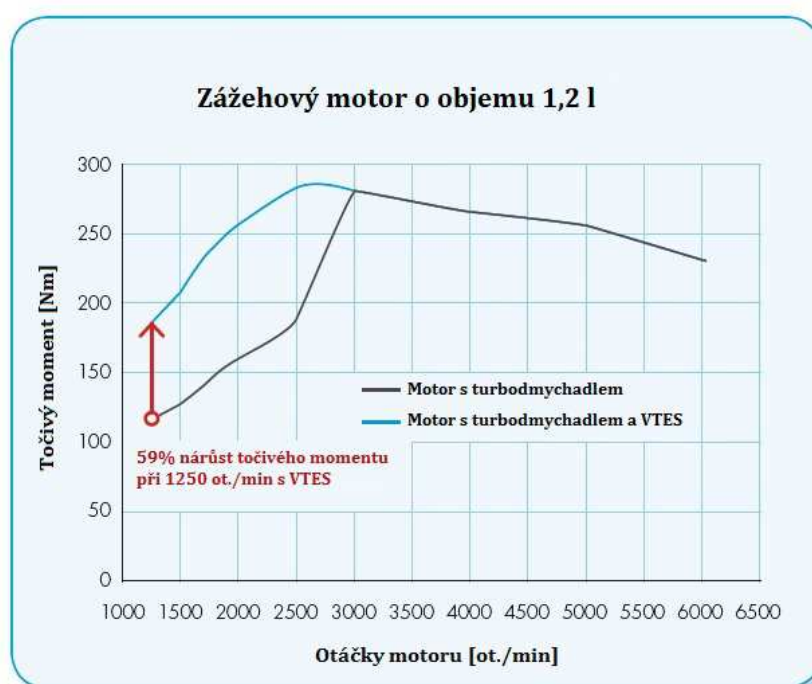


Obr. 6.1 Tlakový výměník Compresx [15]

6.2 PŘEPLŇOVÁNÍ ELEKTRICKÝM DMYCHADLEM

Podobně vypadající zařízení jako radiální odstředivé dmychadlo či turbodmychadlo, ale o pohon se stará elektromotor, díky kterému ztráty způsobené mechanickým pohonem odstředivého čerpadla odpadají. V případě turbodmychadla je zde minimální prodleva mezi sešlápnutím plynového pedálu a následnou reakcí na zvýšení plnicího tlaku. Díky elektromotoru je preciznější ovládání, nastavování a regulování zařízení. V roce 2008 britská firma Controlled Power Technologies představila plně funkční odstředivé dmychadlo poháněné elektromotorem. Tento systém pojmenovali VTES (Variable Torque Enhancement System). Dmychadlo je schopno se roztočit až na 70 000 ot./min za méně než 350 ms a dodávat maximální kompresní poměr 1,45. Je nezávislé na aktuálních otáčkách motoru a napájení elektromotoru je přes klasickou 12V baterii. Je také možné kombinovat s turbodmychadlem a tím odstraňovat jeho nevýhodu v nízkých otáčkách, kde elektrické dmychadlo dokáže dodávat během jedné sekundy skoro maximální točivý moment.

Při použití systému VTES a turbodmychadla na zážehový motor s objemem 1,2 l se tento malý motor výkonově vyrovná atmosférickému motoru o objemu 2,5 l (výkon asi 200 koní).



Obr. 6.2 Charakteristika motoru o objemu 1,2 l se systémem VTES a bez něj [23]



7 CHLAZENÍ STLAČENÉHO VZDUCHU

Po průchodu vzduchu dmychadlem se kvůli stlačení vzduch zahřívá a se zvyšováním jeho teploty klesá hustota stlačeného vzduchu. Tato negativní vlastnost se před vstupem do spalovacích prostorů řeší ochlazením stlačeného vzduchu v mezichladiči umístěného mezi dmychadlem a motorem. Ochlazení závisí na několika faktorech jako je velikost chladiče a jeho účinnost, průtoku, druhu chladicího média, hlavně teplotě stlačeného vzduchu vstupujícího do chladiče a několika dalších. Například teplota stlačeného vzduchu vystupujícího z turbodmychadla se může blížit až ke 100 °C.

7.1 CHLADIČ TYPU VZDUCH-VZDUCH

Chladič pracuje na principu tepelné výměny procházejícího atmosférického vzduchu se stlačeným vzduchem. Teplota výstupního stlačeného vzduchu se blíží teplotě vzduchu původně nasávaného z okolí. Bývá většinou umístěn v přední části vozu před chladičem motoru pro největší přísun čerstvého vzduchu a vyrábí se většinou z hliníkových slitin.



Obr. 7.1 Chladič stlačeného vzduchu s příslušenstvím [34]

7.2 CHLADIČ OSTŘIKOVANÝ VODNÍ MLHOU

Jedná se o klasický chladič typu vzduch-vzduch, na kterém jsou umístěny trysky, které vytvářejí vodní mlhu a tím jej ostříkují. Používá se ve většině případů obyčejná voda, která je v externí nádržce, ze které čerpadlo pod tlakem vhání kapalinu do trysek. Tímto způsobem bývá ochlazení stlačeného vzduchu mnohem účinnější a do motoru se tak



dostane vzduch o vyšší hustotě. Nejčastěji používané v závodních speciálech, například Subaru WRX STi nebo Mitsubishi Lancer Evolution.



8 BUDOUCÍ VÝVOJ PŘEPLŇOVÁNÍ

Se stále zvyšujícími nároky na snižování spotřeby a emisí je možné předpovídat pokračování nastaveného trendu ve zmenšování objemů motorů a doplnění určitým druhem přeplňování. Nejvíce využívaný druh přeplňování v současné době je turbodmychadlo, které se stále zdokonaluje a v budoucnu bude stále více využíváno. Velký potenciál má také zmíněné trojitě přeplňování, které při správném naladění může vysoce pozitivně ovlivňovat výkon motoru. Dokonce i do formule 1 se vrací éra přeplňování, jelikož FIA pro rok 2014 potvrdila nový druh pohonné jednotky, kterou má být šestiválcový motor do V o objemu 1,6 l přeplňovaný turbodmychadlem. Jako fanoušek výkonných motorů mi slovo "downsizing" mnoho starostí nedělá, jelikož použití menšího objemu s kombinovaným přeplňováním dostaneme lepší charakteristiky motoru při plnění stále přísnějších norem EURO než z nynějších větších atmosférických motorů.



ZÁVĚR

Přeplňování od svých prvních prototypů a neúspěšných pokusů po dnešní dobu prošlo velkými změnami a zdokonalování. Objevuje se stále častěji a každá automobilka již nabízí několik variant jejich přeplňovaných jednotek. Nebude trvat dlouho a dostane se do velké většiny automobilů. Za dobu vývoje se nejvíce uplatňuje přeplňování mechanickými kompresory a turbodmychadlem.

První zmíněné řešení se využívá ve většině případů pro silné motory, kde nevadí odběr kompresoru pro vlastní funkci, naopak turbodmychadlo má uplatnění v celém spektru objemů. Z toho je jasné, že pro snižování spotřeby a emisí se bude mnohem více uplatňovat přeplňování samotným turbodmychadlem a nebo v kombinaci, která může být jak s mechanickým kompresorem tak s druhým, popřípadě s třetím turbodmychadlem.

Velkou novinkou je elektrické přeplňování, které může být klíčem v dalším vývoji v kombinaci s turbodmychadlem. Tento způsob už teď vykazuje výborné výsledky a s dalším zdokonalováním můžeme předpokládat i častější využívání v motorsportu, respektive využití pro sériovou výrobu.

Při psaní této bakalářské práce jsem se mnohé ve světě přeplňování dozvěděl a v mnohém utvrdil. Jestliže chceme dodržovat stále přísnější normy, přeplňování bude jedinou volbou jak tohoto cíle dosáhnout.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] MACEK, J., KLIMENT, V. Spalovací turbíny, turbodmychadla a ventilátory : (přepřínování spalovacích motorů), čtvrté vydání, Praha, 2006. ISBN 80-01-03529-8.
- [2] KOŽOUŠEK, J. Výpočet a konstrukce spalovacích motorů I., první vydání, Praha : SNTL, 1978. 368 s.
- [3] PAVELEK, M. Termomechanika, 3. přepracované, Brno : CERM, 2003, 284 s, ISBN 80-214-2409-5.
- [4] KOŠTÁL, J., SUK, B. Pístové spalovací motory, SNTL Praha, 1973
- [5] KVAPIL, J. Využití kruhových dějů ve spalovacích motorech [online], 2006, [cit.2012-02-22], Dostupné z WWW: <<http://projektysipvz.gytool.cz/ProjektySIPVZ/Default.aspx?uid=759>>
- [6] LÁNÍK, O. Přepřínování (1.díl): teorie+mechanické přepřínování [online], 2004, [cit.2012-02-25], Dostupné z WWW: <<http://www.auto.cz/preplnovani-1-dil-teorie-mechanicke-preplnovani-16778>>
- [7] LITZMAN, M. Přepřínování: jaký je rozdíl mezi turbem a kompresorem [online], 2005, [cit.2012-02-25], Dostupné z WWW: <<http://www.autorevue.cz/preplnovani-jaky-je-rozdil-mezi-turbem-a-kompresorem>>
- [8] Harris, W. How superchargers works [online], 2008, [cit.2012-02-27], Dostupné z WWW: <<http://auto.howstuffworks.com/supercharger4.htm>>
- [9] FREI, M. Turbo přidá motoru sílu. Dosahuje až 300 000 otáček za minutu [online], 2010, [cit.2012-03-12], Dostupné z WWW: <http://auto.idnes.cz/turbo-prida-motoru-silu-dosahuje-az-300-000-otacek-za-minutu-pei-/automoto.aspx?c=A101222_172626_automoto_fdv>
- [10] LÁNÍK, O. Přepřínování (2.díl): turbodmychadla [online], 2004, [cit.2012-03-12], Dostupné z WWW: <<http://www.auto.cz/preplnovani-2-dil-turbodmychadla-16765>>
- [11] KUDĚLKA, M. Porsche 911 Turbo - nejsilnější z rodu [online], 2006, [cit.2012-03-20], Dostupné z WWW: <<http://www.auto.cz/porsche-911-turbo-nejsilnejsi-z-rodu-1300>>
- [12] LÁNÍK, O. Opel Twin Turbo: dva stupně ke zlaté [online], 2004, [cit.2012-04-01], Dostupné z WWW: <<http://www.auto.cz/opel-twin-turbo-dva-stupne-ke-zlate-17089>>



- [13] HLAVÁČEK, M. BMW: trojice turbodmychadel skutečností [online], 2012, [cit.2012-04-20], Dostupné z WWW: <http://www.automobilrevue.cz/rubriky/novinky/bmw-trojice-turbodmychadel-skutecnosti_40721.html>
- [14] HANKE, P. BMW M550d xDrive - Nejrychlejší diesel [online], 2012, [cit.2012-04-20], Dostupné z WWW: <http://www.automobilrevue.cz/rubriky/novinky/bmw-m550d-xdrive-nejrychlejsi-diesel_40937.html>
- [15] CHEN, J. The Comprex: The Other Compressor [online], 2007, [cit.2012-04-25], Dostupné z WWW: <http://www.modified.com/editors/0705_sccp_comprex_compressor_supercharger/index.html>
- [16] DUCHOŇ, J. Elektrické přeplňování opět blíže skutečnosti [online], 2009, [cit.2012-05-01], Dostupné z WWW: <<http://www.autorevue.cz/elektricke-preplnovani-opet-blize-skutecnosti>>
- [17] Engines : 5,5L V8 Kompressor [online], 2012, [cit.2012-03-10], Dostupné z WWW: <<http://www.mercedes-amg.com/#/5-5l-v8-kompressor>>
- [18] APS S/R Series Ball Bearing Turbochargers [online], [cit.2012-03-12], Dostupné z WWW: <http://www.airpowersystems.com/wrx/aps_turbo.htm>
- [19] Journal Bearings vs. Ball Bearings [online], [cit.2012-03-12], Dostupné z WWW: <http://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/journal_bearings_vs_ball_bearings>
- [20] Wastegates [online], [cit.2012-03-15], Dostupné z WWW: <<http://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/wastegates>>
- [21] Variable Nozzle Turbine (VNT) or Variable Geometry Turbo (VGT) [online], 2010, [cit.2012-03-25], Dostupné z WWW: <<http://www.fastmotoring.com/index.php/2010/10/variable-nozzle-turbine-vnt-or-variable-geometry-turbo-vgt/>>
- [22] TwoStage Parallel Turbochargers [online], [cit.2012-04-10], Dostupné z WWW: <<http://turbo.honeywell.com/whats-new-in-turbo/video/twostage-parallel-turbo/>>
- [23] VTES [online], 2009, [cit.2012-05-01], Dostupné z WWW: <<http://www.cpowert.com/products/vtes.htm>>
- [24] Dostupné z WWW: <<http://www.cobaltss.net/forums/forced-induction-50/forced-induction-101-a-8183/>>



- [25] Dostupné z WWW: <http://www.superchargersonline.com/index.php?main_page=page&id=15>
- [26] Dostupné z WWW:
<<http://www.motorworld.net/forum/showthread.php?t=16982>>
- [27] Dostupné z WWW: <<http://www.rotomaster.us/index.php?p=section&sid=29>>
- [28] Dostupné z WWW: <<http://www.turbochargersnz.com/turbochargers-gallery/album/cutaway-turbochargers>>
- [29] Dostupné z WWW: <<http://www.westtexasimports.net/showthread.php?2249-The-External-Wastegate-FAQ>>
- [30] Dostupné z WWW: <<http://gearheads.in/showthread.php?8347-Manual-Boost-Controller/page2>>
- [31] Dostupné z WWW: <<http://www.flickr.com/photos/tognum/6280126670/>>
- [32] Dostupné z WWW:
<<http://www.924board.org/viewtopic.php?p=280434&sid=ce9fa94e4dc838eb97d1b88c6ab2a524>>
- [33] Dostupné z WWW: <<http://moto.pl/MotoPL/51,88571,8990504.html?i=4>>
- [34] Dostupný z WWW: <<http://tuning-individual.cz/eshop/intercooler-kit-audi-a4-b5-18t-20v-vcetne-quattro-rv-9701-p-30888.html>>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

c_p	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$	měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku
c_v	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$	měrná tepelná kapacita za konstantního objemu
H_u	$[\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$	spodní výhřevnost paliva
i	$[-]$	počet otáček motoru na jeden pracovní oběh
L_t	$[\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}]$	úhel natočení klikového hřídele
m	$[\text{kg}]$	hmotnost
m_p	$[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$	hmotnost přiváděného paliva
m_s	$[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$	hmotnost zůstávající v pracovním válci
n_m	$[\text{min}^{-1}]$	otáčky motoru
P_e	$[\text{kW}]$	užitečný výkon motoru
Q_c	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$	teplo odvedené
Q_H	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$	teplo přivedené
Q_{Hp}	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$	teplo přivedené za konstantního tlaku
Q_{Hv}	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$	teplo přivedené za konstantního objemu
Q_p	$[\text{kJ} \cdot \text{s}^{-1}]$	přiváděný tepelný tok v palivu
T	$[\text{K}]$	termodynamická teplota
V_z	$[\text{m}^{-3}]$	zdvihový objem všech válců motoru
α	$[-]$	součinitel propláchnutí spalovacího prostoru 0-1
ε	$[-]$	kompresní poměr
η	$[-]$	termická účinnost
η_e	$[-]$	užitečná účinnost motoru
η_{pl}	$[-]$	plnicí účinnost
λ	$[-]$	součinitel přebytku vzduchu ve válci
ρ_s	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	hustota vzduchu v sání motoru