

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy



Bakalářská práce

Přeplňování spalovacích motorů

Vedoucí práce: Ing. Jan Hromádko, Ph.D.

Autor práce: Jiří Rejthárek

© 2016 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jiří Rejthárek

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Přepíňování spalovacích motorů

Název anglicky

Supercharging of internal combustion engines

Cíle práce

Cílem práce je vytvořit literární rešerši s vlastními komentáři zabývající se problematikou přepíňování spalovacích motorů.

Metodika

- prostudovat základní literaturu v oblasti přepíňování spalovacích motorů
- kontaktovat významné organizace zabývající se danou problematikou
- provést globální literární rešerši v dané problematice
- vlastní rozbor problematiky přepíňování spalovacích motorů
- návrh doporučení a předpokládaný vývoj v oblasti přepíňování spalovacích motorů

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran formátu A4

Klíčová slova

turbodmychadlo, mechanicky poháněný kompresor, dynamické přeplňování, tlakovzdušný výměník

Doporučené zdroje informací

1. Hromádko J., Hromádko J., Hönig, V., Miler P.: Spalovací motory, Nakladatelství Grada, Praha, 2011, ISBN 978-80-247-3475-0
2. Rauscher, J.: Spalovací motory, Studijní opory, VUT FSI Brno, 2004
3. Macek, J.: Spalovací motory I, ČVUT Praha, 2007, ISBN 978-80-01-03618-1
4. Beroun, S.: Vozidlové motory. Studijní opory, TU Liberec
5. Scholz, C.: Konstrukce pístového spalovacího motoru. Skripta TU Liberec 2003, ISBN 80-7083-693-8

Předběžný termín obhajoby

2014/15 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Jan Hromádko, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 13. 1. 2014

doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 3. 2. 2014

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 12. 03. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Přepřínování spalovacích motorů vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 8.3. 2016

Předmluva a poděkování

Úvodem bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Janu Hromádkovi, Ph.D., za jeho vedení, ochotu, podnětné rady a také připomínky při jejím vypracovávání.

Dále bych chtěl poděkovat mým rodičům a mé partnerce za jejich trpělivost a plnou podporu za celou dobu mého bakalářského studia.

Anotace: Tato bakalářská práce je věnována přeplňování spalovacích motorů používaných v automobilech. Je zde uveden základní princip funkce spalovacího motoru a vliv přeplňování na spalovací proces. Následně je zde stručně popsán historický vývoj přeplňování, poté je práce věnována jednotlivým druhům přeplňování, konkrétně různým druhům mechanických kompresorů, turbodmychadlu a možnostem regulace turbíny, tlakovzdušnému výměníku a dynamickému způsobu plnění. Dále se práce zaměřuje na chlazení plnicího vzduchu a jednotlivé druhy chladičů. Na závěr jsou uvedeny současné nejnovější technologie, trendy v oboru a práce je ukončena pohledem na budoucí vývoj přeplňování.

Klíčová slova: turbodmychadlo, mechanicky poháněný kompresor, dynamické přeplňování, tlakovzdušný výměník

Supercharging of internal combustion engines

Summary: This bachelor thesis is dedicated to supercharging of internal combustion engines used in automobiles. There is introduced the basic functionality of the internal combustion engine and a supercharging effect on the combustion process. There is first briefly described the historical development of supercharging, after that the work is devoted to specific types of supercharging, concretely the various types of mechanical superchargers, turbochargers and possibilities of regulation of the turbine, Comprex pressure exchanger and dynamic supercharging effect. The thesis is next focused on the cooling of charging air and various types of intercoolers. At the end, there is presented the actual technology and trends in the industry and the work is finished by future development of supercharging.

Key words: turbocharger, mechanical supercharger, dynamic supercharging effect, comprex pressure exchanger

Obsah

1 Úvod	1
2 Metodika práce	2
3 Cíl práce	3
4 Teorie spalovacích motorů	4
4.1 Základní princip fungování spalovacího motoru	4
4.2 Oběhové diagramy spalovacích motorů.....	5
4.2.1 P-V diagram vznětového motoru s/bez přeplňování.....	6
4.2.2 Otáčkové charakteristiky vznětového motoru s/bez přeplňování	7
5 Přeplňované spalovací motory	9
5.1 Princip přeplňování	9
5.2 Historie přeplňování.....	10
6 Druhy přeplňování	13
6.1 Mechanický kompresor	13
6.1.1 Základní princip a konstrukce.....	13
6.1.2 Rootsovo dmychadlo.....	14
6.1.3 Lysholmovo dmychadlo.....	15
6.1.4 Radiální odstředivé dmychadlo.....	16
6.1.5 Spirálové G-dymchadlo	17
6.2 Turboodmychadlo	18
6.2.1 Základní princip a konstrukce.....	18
6.2.2 Druhy regulace	19
6.2.3 Regulace pomocí obtokové klapky	20
6.2.4 Regulace změnou geometrie lopatek statoru	21
6.2.5 Regulace pomocí směrové klapky	23
6.2.6 Změna šířky rozváděcího kola turbíny.....	24
6.2.7 Twin turbo/biturbo	25
6.3 Kombinace více druhů přeplňování	26
6.4 Tlakovzdušný výměník – Comprex	29
6.5 Dynamické přeplňování	30
6.5.1 Pulzační.....	30
6.5.2 Rezonanční.....	31

7 Chlazení stlačeného vzduchu	33
7.1 Proč je potřeba chladit?	33
7.2 Druhy chlazení	33
7.3 Výměník vzduch-vzduch	33
7.4 Výměník voda-vzduch	35
7.5 Speciální druhy chlazení	36
8 Budoucnost přeplňování.....	37
8.1 Kompresor vs. turbodmychadlo	37
8.2 Nové technologie	37
8.3 Downsizing a emise	39
9 Závěr	40
Použitá literatura	41
Seznam obrázků	41
Seznam tabulek	42
Přílohy.....	43

1 Úvod

Automobily dnes patří k významným dopravním prostředkům v individuální dopravě. V Evropě se staly nedílnou součástí každodenního života, což s sebou nese i negativní následky v podobě rostoucího znečištění ovzduší, především ve velkých městech. Zároveň, s omezeným přístupem k ropě a vůbec k jejím klesajícím světovým zásobám, zaznamenáváme rostoucí tendenci, jak ze strany automobilek, tak ze strany politiků a legislativy, snižovat spotřebu paliva a emise nových automobilů. Toho je možné dosáhnout buď nahrazením spalovacího motoru jinou formou pohonu (např. elektromotorem), nebo vyvinout nové motory s vyšší energetickou účinností. Ke zvýšení účinnosti spalovacího procesu je důležité dopravit dostatečné množství kyslíku do válce. K tomu může podstatně pomoci přídavný systém, který motor plní vzduchem pod tlakem vyšším než atmosférickým – tzv. přepřňování. Dále ke zvýšení účinnosti je vhodné využít odpadní energie, například výfukových plynů, a to umístěním turbíny do výfukového potrubí. Když potom tato turbína pohání dmychadlo, které dopravuje vzduch do motoru, dostaneme zařízení - turbodmychadlo, které efektivně zvyšuje účinnost spalovacího motoru.

Přepřňování ale nemusí být jen pomocí turbodmychadla, druhů dmychadel používaných k přepřňování motorů je celá řada, stejně tak historie vývoje této oblasti je velmi bohatá a sahá téměř až k samotným kořenům spalovacího motoru. Ne vždy ale bylo primárním cílem přepřňování dosažení nízké spotřeby a emisí, na počátku byl hlavním důvodem dosažení vyššího výkonu, ať už u leteckých motorů, nebo u závodních vozů.

Na následujících stranách bude toto zajímavé téma více přiblíženo, osvětlené budou jednotlivé možnosti přepřňování, včetně dalších věcí, úzce souvisejících s danou problematikou. S ohledem na skutečnost, že je mým studijním oborem „Silniční a městská automobilová doprava“, práce bude věnována přepřňování především automobilových motorů, přestože souvisí i s dalšími odvětvími dopravy (leteckou, lodní a kolejovou). V jiných odvětvích ale nemá přepřňování takové zastoupení, neboť tyto moderní dopravní prostředky dnes pohání často už jiné jednotky než motor s vnitřním spalováním, zatímco u automobilů má dnes přepřňovaný motor s vnitřním spalováním významný podíl.

2 Metodika práce

Nejprve bude vhodné najít zdroje informací a prostudovat základní literaturu v oblasti přepřňování spalovacích motorů.

Dále vyhledat organizace zabývající se danou problematikou a použít jejich oficiální materiály jako zdroje informací.

Na základě informací ze zdrojů provést globální literární rešerši.

Do práce bude zahrnuto i několik vlastních vědomostí autora a budou použity i vlastní fotografie k doplnění teoretického výkladu.

Na závěr autor přidal svůj názor na budoucí vývoj dané oblasti.

3 Cíl práce

Cílem práce je literární rešerše, která osvětlí téma přepřňování spalovacích motorů. Bude zde uveden historický vývoj, blíže představené jednotlivé možnosti a typy přepřňování i zde bude nastíněn budoucí vývoj dané problematiky.

Ze začátku budou uvedeny trochou teorie základní principy spalovacího motoru a jeho charakteristiky a vliv přepřňování na spalovací proces.

Dále budou připomenuty základní principy přepřňování a historický vývoj. Poté se práce bude konkrétně věnovat jednotlivým druhům přepřňování. Nejprve budou popsány jednotlivé druhy mechanicky poháněných kompresorů, následně se práce zaměří na turbodmychadla a na možnosti jejich regulace. Několik kapitol bude věnováno i některým speciálním druhům přepřňování.

Další část bude zaměřena na chlazení stlačeného vzduchu, proč je vůbec vhodné plnicí vzduch chladit a jaké jsou jednotlivé druhy chladičů.

V závěru práce bude nahlédnuto na nejnovější technologie v přepřňování a bude nastíněn budoucí vývoj dané problematiky.

4 Teorie spalovacích motorů

4.1 Základní princip fungování spalovacího motoru

Spalovací motor je tepelný stroj, který získává tepelnou energii spalováním paliva, kterou převádí na mechanickou práci. Spalovací motor může být různé konstrukce, například pístový, Wankelův nebo turbínový. Dále se budu zabývat pístovými motory, které jsou v oblasti silniční dopravy nejběžnější. Ty rozlišujeme na dvě základní skupiny – vznětové a zážehové. U zážehových motorů je okamžik zážehu určen pomocí zapalovací svíčky, která pomocí jiskry započne reakci. Tyto motory spalují například benzín, bioethanol, LPG nebo CNG. U vznětových motorů je směs vznícena samozápalem a okamžik je určen řízeným vstřikem paliva, kterým může být například nafta nebo MEŘO. (Hromádko et al., 2011)

Dále rozlišujeme pístové motory čtyřdobé a dvoudobé, podle počtu pracovních cyklů. Dále se budu věnovat pouze čtyřdobým, neboť ty dnes výrazně převažují nad dvoudobými. Cykly čtyřdobého motoru jsou – sání, komprese, expanze a výfuk. Při sání jde píst dolů a do válce je přiváděn čerstvý vzduch nebo směs s palivem. Při kompresi jde píst nahoru a směs (nebo jen vzduch) je stlačována (u přímovstřikových motorů je vstříknuto palivo až v konečné fázi kompresního zdvihu). Při expanzi dojde k zažehnutí/vznícení směsi a píst jde dolů, v této fázi koná motor mechanickou práci. Při fázi výfuku jde píst nahoru a vytlačuje ven zplodiny. Poté se proces opakuje stále dokola. (Hromádko et al., 2011)

4.2 Oběhové diagramy spalovacích motorů

Pracovní oběh představuje průběh pracovního procesu v motoru. Rozbor oběhu je základním podkladem pro posouzení pracovních charakteristik motoru, jako je např. využití tepla, střední tlak na píst atd. Teoretický matematicky vyjádřitelný oběh se neobejde bez určitého zjednodušení, proto rozeznáváme oběhy ideální a teoretické, rozlišují se dle stupně zjednodušení. (Hromádko et al., 2011)

Ideální pracovní oběh umožňuje teoreticky posoudit rozdíly mezi základními typy motorů jako zážehový, vznětový, nebo s/bez přepřňování. Základní předpoklady pro ideální oběh jsou:

- Oběh je dokonale vratný, uzavřený, nedochází k výměně náplně.
- Pracovní látkou je čistý dvouatomový plyn. Platí stavová rovnice $p \cdot V = n \cdot r \cdot T$
- Komprese i expanze probíhají adiabaticky (exponent změny stavu $\kappa=1,4$)
- Přívod tepla probíhá izochoricky, izobaricky, nebo kombinací obojího, odvod tepla izochoricky.
- Stěny pracovního prostoru jsou tepelně izolované
- Veškeré ztráty jsou zanedbány

(Hromádko et al., 2011)

Zpřesnění ideálního oběhu vznikne oběh teoretický, který se více přibližuje skutečnosti a dovoluje porovnávat motory stejného typu. Na rozdíl od ideálního oběhu:

- Probíhá výměna náplně ve válci
- Pracovní látkou jsou skutečné plyny nebo směsi
- Komprese a expanze probíhají polytropicky, s polytropickým exponentem n , závislým na parametrech motoru. Zjišťuje se empiricky.

(Hromádko et al., 2011)

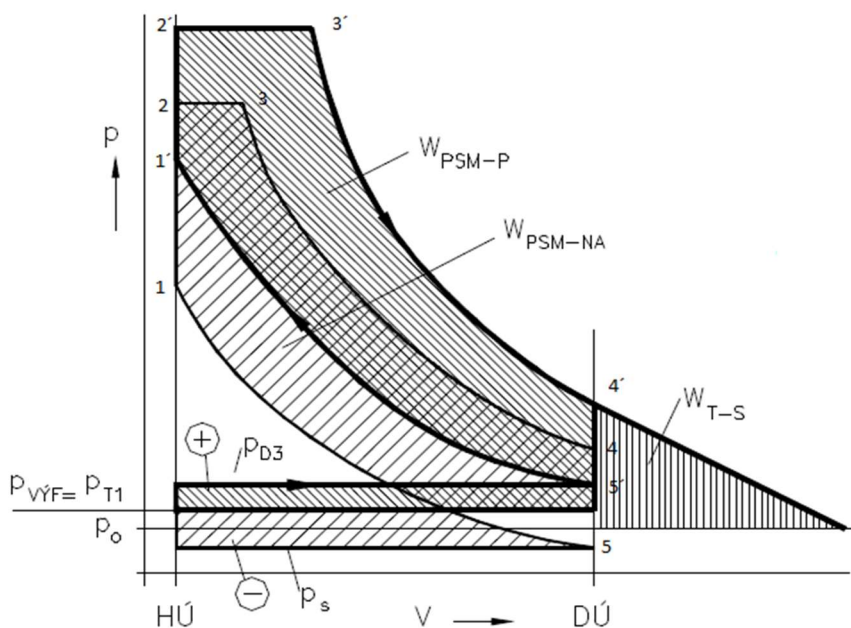
Skutečný oběh se neobejde bez měření, většinou formou měření tlaku ve spalovacím prostoru v závislosti na úhlu pootočení klikového hřídele. Takové měření se označuje jako indikace motoru a závislost jako indikátorový diagram. Ten je sice skutečným obrazem změn tlaku v pracovním prostoru, na teoretické posouzení však vhodný není. (Hromádko et al., 2011)

Dále v práci budou použity pouze ideální oběhy, neboť cílem je porovnat oběh atmosféricky plněného pístového spalovacího motoru s motorem přepřehovaným. Pro tento účel se ideální oběh hodí nejlépe. Bude zobrazen tzv. p-V diagramem, který ukazuje závislost průběhu tlaku p ve válci o objemu V. Plocha uzavřená tímto diagramem představuje velikost práce, buď vykonané, nebo spotřebované. Po porovnání bude tedy zřejmé, jaký má přepřehování vliv na průběh tlaku a na mechanickou práci. (Hromádko et al., 2011)

4.2.1 P-V diagram vznětového motoru s/bez přepřehování

Vznětový čtyřdobý pístový motor je charakteristický tzv. Sabatovým cyklem. Tento motor je charakteristický tím, že nasává čistý vzduch, palivo je vstřikováno buď přímo do válce, nebo do předkomůrky a tato směs se vznítí samotným nárůstem teploty a tlaku při kompresním zdvihu bez pomoci dalšího zařízení, jako je třeba zapalovací systém u zážehových motorů. (Hromádko et al., 2011)

Obrázek 4-1 p-V diagram



Zdroj: Beroun, 2013

W_{PSM-P} – práce vykonaná přepřehovaným motorem

W_{PSM-NA} – práce vykonaná atmosféricky plněným motorem

HÚ – horní úvrať pístu

DÚ – dolní úvrať pístu

Sabatův cyklus se skládá z těchto fází (viz. obrázek 1-1):

- 5 – 1 (5'-1') adiabatická komprese nasáté směsi
- 1 – 2 (1'-2') izochorický přívod tepla (hoření směsi)
- 2 – 3 (2'-3') izobarický přívod tepla (hoření směsi)
- 3 – 4 (3'-4') adiabatická expanze plynů od spálené směsi
- 4 – 5 (4'-5') izochorický odvod tepla (výfuk zplodin hoření)

Z diagramu je jasně vidět, že přepřňování má vliv na průběh tlaku ve válci a vykonaná práce je větší než bez přepřňování.

4.2.2 Otáčkové charakteristiky vznětového motoru s/bez přepřňování

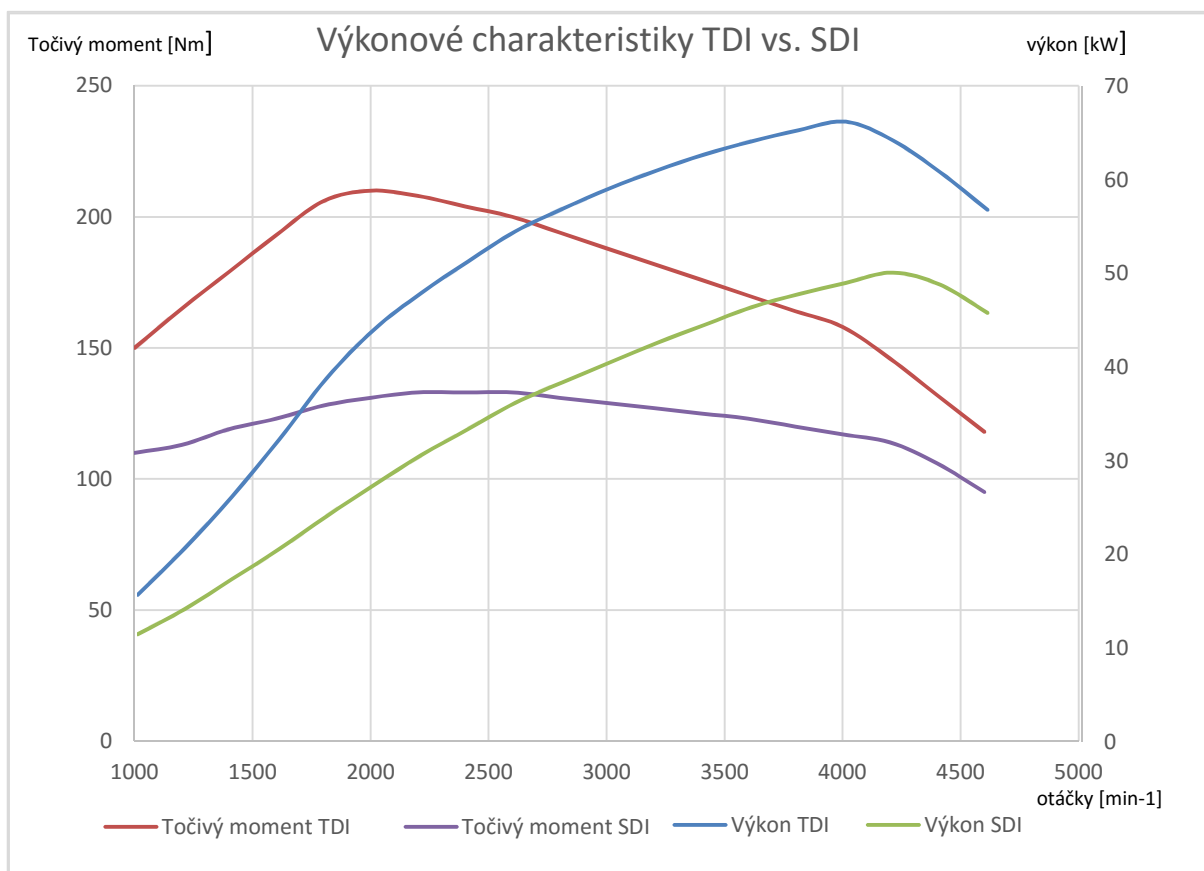
Dobrou ukázkou toho, jaký má přepřňování vliv na výkonové parametry, je porovnání průběhu točivého momentu a výkonu v závislosti na otáčkách u dvou konstrukčně si blízkých motorů: jednoho s atmosférickým plněním a druhého s přepřňováním. Takovým příkladem je například první generace novodobé Škody Octavie, uvedené v roce 1996. Ta byla vybavena právě takovými dvěma velice konstrukčně blízkými motory, atmosféricky plněným vznětovým čtyřválcem 1.9 SDI 50kw a turbodmychadlem přepřňovaným 1.9 TDI 66kw. Z tabulky 1-1 při porovnání je jasně vidět, že TDI má navrch v jízdní dynamice, ačkoliv spotřeba je dokonce o trochu menší než u SDI. Dále v grafu na obrázku 1-2 vidíme názorně celý průběh křivky točivého momentu, který je v celém pásmu použitelných otáček u přepřňovaného motoru výše, v oblasti maxima až o 77Nm, výkon je vyšší v maximu o 16kw. Přepřňování zde prokazatelně zlepšilo účinnost, což se odrazilo na konečném výkonu, aniž by vzrostla spotřeba paliva. (X-tuning, 2016)

Tabulka 1-1

Technické parametry Škoda Octavia		
Motor	1.9 SDI	1.9 TDI
Zvdihový objem	1896 cm ³	1896 cm ³
Ventilový rozvod	OHC	OHC
Počet válců/ventilů	4/8	4/8
Vrtání/zdvih	79,5/95,5 mm	79,5/95,5 mm
Kompresní poměr	19,5:1	19,5:1
Příprava směsi	přímé vstřikování, rotační čerpadlo BOSCH	přímé vstřikování, rotační čerpadlo BOSCH, turbodmychadlo
Maximální výkon	50kw při 4200ot./min.	66Kw při 4000ot./min.
Maximální točivý moment	133Nm při 2200-2600ot./min	210Nm při 1900ot./min.
Zrychlení z 0-100km/h	18,2 s	13,6 s
Maximální rychlost	161 km/h	178 km/h
Kombinovaná potřeba paliva	5,1 l/100km	4,9 l/100km

Zdroj dat: X-tuning, 2016

Obrázek 4-2 Výkonová charakteristika



Zdroj dat: X-tuning, 2016

5 Přepřňované spalovací motory

5.1 Princip přepřňování

Spalovací motor potřebuje k efektivnímu spálení paliva určité množství kyslíku. Čím více kyslíku se do motoru dostane, tím více může spálit paliva, roste tím jeho výkon i účinnost. Tím, jak dostat do motoru více kyslíku, respektive vzduchu, se proto lidé zabývali už od samotného počátku vývoje spalovacího motoru. (Mackerle, 1985)

První motory s vnitřním spalováním pracovaly s cyklem bez komprese, spalování probíhalo při atmosférickém tlaku, což nebo příliš efektivní. Přechod na čtyřdobý cyklus s kompresním zdvihem a spalování při několikanásobku atmosférického tlaku byl výrazným krokem kupředu. Postupné zvyšování kompresního poměru dále zvyšovalo účinnost, počátkem 20. století se kompresní poměr dostal na úroveň 1:4 v roce 1914, dále pak na 1:6 v roce 1921. (Pauer, 2011)

Atmosféricky plněný motor ale nemá 100% plnicí účinnost, to znamená, že vždy do válce nasaje menší objem vzduchu, než je jeho zdvihový objem. Tato nevýhoda se o to více projeví u leteckých motorů, které musí pracovat ve vyšší nadmořské výšce, kde je řidší vzduch a motoru výrazně klesá výkon. (Kameš, 2010)

Proto se u leteckých a následně i u závodních silničních vozů začaly používat kompresory, které tlačily vzduch do válce pod tlakem. Ze začátku radiální a Rootsovy kompresory, později také turbodmychadla. Velký rozmach této oblasti nastal především v letectví v průběhu I. a II. Světové války. (Pauer, 2011)

Kompresor využívá ke svému pohonu část energie od klikové hřídele, pohon je mechanický. Turbodmychadlo využívá energii výfukových plynů, které roztáčí turbínu, které je spojena s kompresorovým kolem, které tlačí vzduch dále do motoru. Díky tomu je přepřňování turbodmychadlem účinnější, než mechanickým kompresorem. (Pauer, 2011; Kameš, 2010)

Přepřňovaným čtyřdobým motorem myslíme motor takový, u kterého je do válců dopravována náplň pod tlakem vyšším, než atmosférickým. Dále je vhodné zmínit, že kromě jednotek tlaku MPa, bude v práci použito i starší jednotky Bar, které jsou v této

oblasti dosti rozšířené a hojně používané ve zdrojích. 1 Bar zhruba odpovídá atmosférickému tlaku, 1 Bar = 0,1 MPa.

Norma ČSN 09 0022 rozeznává tři základní skupiny/stupně přepřňování:

1. Nízkotlaké přepřňování – zvýšení výkonu až o 50%, plnicí tlak do 0,15 MPa (1,5bar)
2. Středotlaké přepřňování – zvýšení o 50 – 75%, plnicí tlak 0,15 – 0,18 MPa (1,5-1,8bar)
3. Vysokotlaké přepřňování – zvýšení výkonu o více než 75%, plnicí tlak vyšší než 0,18MPa (1,8bar)

Plnicí tlak je zde uveden včetně atmosférického. (Hromádko et al., 2011)

5.2 Historie přepřňování

První přepřňované motory se začaly objevovat na v průběhu I. světové války v leteckých a ponorkových motorech. Další zdokonalování poté probíhalo v meziválečném období především u závodních vozů a později opět v letectví před a během II. Světové války. (Pauer, 2011)

Co se vozidel týče, v Americe první vozidlo s přepřňováním byl Duesenberg (závodní Duesenberg z roku 1926 dával díky odstředivému radiálnímu kompresoru z osmiválce o zdvihovém objemu 1,5l výkon až 206kW při 8500ot./min., silniční model SJ pak měl motor 6,9l a výkon 239kw v roce 1932). V Evropě mezi průkopníky v této oblasti patřil především Mercedes, který v roce 1918 zkoušel přepřňovat pomocí tříválcového pístového kompresoru, hned na to v roce 1919 s lamelovým kompresorem typu Zoller, převzatný z letectví, s excentrickým rotorem a lopatkami, které odstředivá síla tlačí do styku se skříní, čímž se uzavírá komora, kde je vzduch stlačován. Ovšem na prašných závodních tratích se skříně od lamel vydíraly, kompresor měl nízkou účinnost a také pro problémy s mazáním se od něj brzy ustoupilo. Už v témže roce byl nahrazen mechanickým kompresorem typu Roots, známý také z letadel a ponorek. Byl spolehlivý, protože rotující písty nejsou vzájemně ve styku, ani ve styku s obalem, Roots vydržel až 10.000ot./min. Nevýhodou byly pulzace v sacím potrubí, které se ovšem daly minimalizovat šikmými písty, a hlavně jeho velký příkon, který byl kolem 10-30% výkonu motoru. Výkonový zisk mohl být ale až 50% i více. Po Mercedesu začaly používat kompresory i ostatní automobilky: Fiat, Delage a další. (Pauer, 2011)

Těsně před válkou pak přepřňování kompresorem vyhnalo výkony závodních strojů na dodnes úctihodné hodnoty, např. v roce 1937 Mercedes typu W125 s řadovým osmiválcem o zdvihovém objemu motoru 5660ccm dosahoval u vozů Grand Prix 475kW, o dva roky později Auto Union typ D o výkonu 356kw z objemu 2990ccm, což je do té doby nevídaných 119kw na litr zdvihového objemu (autorem motoru byl Dr. Ferdinand Porsche). Vozy pro rychlostní rekordy šly s výkonem ale ještě dál. Rekordní Mercedes s motorem V12 4,6l se dvěma kompresory Roots dosahoval výkonu 541kw a Rudolf Caracciola s ním 28. 1. 1938 zajel rekord 432,7km/h na německé dálnici. (Pauer, 2011)

Po válce se letadla začínala ubírat směrem proudových motorů a automobilové závody se jezdily převážně s atmosféricky plněnými motory. Přepřňování tak zůstalo výsadou vznětových motorů pohánějících lodě, lokomotivy a výjimečně i nákladní auta. (Turbodmychadlo I., 2008)

Do osobních sériově vyráběných automobilů se turbodmychadlo dostalo až v 70. letech 20. století. První pokusy byly v Americe v podobě Chevroletu Coirvair Monza a Oldsmobilu Jetfire, obě auta používala karburátor umístěný před turbodmychadlem, ale ani jedno nebylo příliš úspěšné a rychle se na ně zapomnělo. Úspěšnější pokusy provedly v Evropě automobilky BMW v podobě modelu 2002 Turbo a Porsche s legendární 911 Turbo, která se vyrábí dodnes již v sedmé generaci. Velkým průkopníkem v oblasti přepřňování turbodmychadly byl také Saab. (Mackerle, 1985; Turbodmychadlo I., 2008)

S prvním vznětovým přepřňovaným motorem v osobním voze přišel Mercedes s modelem 300 SD v roce 1978, mezi lidovějšími auty byl průkopníkem Golf GTD z roku 1982. V roce 1991 pak Fiat použil jako první na vznětovém motoru turbo s regulací pomocí variabilní geometrie lopatek statoru, kterou ovšem jako první použil Dodge na zážehovém motoru 2,2l v modelu Daytona Turbo Z o rok dříve. (Turbodmychadlo I., 2008; Honeywell, 2011)

Největší rozmach turbodmychadel byl však již tradičně díky motorsportu, který také ukázal jejich plný potenciál. Pravidla F1 v sedmdesátých letech umožňovala použití atmosférických motorů o objemu 3,0l nebo přepřňovaných 1,5l. Toho nikdo ale nevyužil a všichni používaly atmosférické jednotky, především legendární V8 Cosworth. Až Renault na konci 70. let přišel s přepřňovaným motorem. Zpočátku byl nespolehlivý a trpěl velkou prodlevou turbodmychadla, ale postupem času na přepřňovaný agregát přešla většina týmů ve Formuli 1 a v polovině 80. let už měly 1,5 litrový přepřňovaný motor všechny týmy. Na svém vrcholu v roce 1985, před omezením plnicího tlaku pravidly, dosahoval například čtyřválec BMW M12 1,5l, spalující metanol, ve specifikaci

pro kvalifikaci výkonu přes 1029kw s plnicím tlakem kolem 5,5bar, pro závod se sníženým plnicím tlakem pro delší životnost potom 625 až 662kw. (Pauer, 2011)

Podobný rozmach přepřňování v 80. letech poznamenal i soutěže rally, v podobě legendárních vozů jako Audi Quattro, Lancia Delta S4 nebo Peugeot 205 T16. Audi používalo přepřňovaný pětiválec 2,1l pomocí turbodmychadla značky KKK. Lancia měla dokonce dvojité přepřňovaný čtyřválec 1.8l pomocí Rootsova dmychadla a turbodmychadla zároveň. Díky tomu a také pohonu všech kol dokázala zrychlit z klidu na 100km/h za pouhých 2,3s. (Foltyn, 2016)

V 90. letech se situace poněkud uklidnila, motorsport se vrátil převážně zpět k atmosféricky plněným motorům, zatímco v běžné automobilové produkci se přepřňování, především pomocí turbodmychadel, uplatňovalo ve stále větší míře, jak u zážehových, tak především u vznětových motorů. (Turbodmychadlo I., 2008)

V dnešní době, především v Evropě, má přepřňování zásadní vliv na většinu motorů. Především díky stále většímu důrazu na emisní limity a spotřebu pohonných hmot. Proto automobilky aplikují tzv. downsizing, což v praxi znamená nahrazení starších atmosféricky plněných motorů o větším zdvihovém objemu motory s menším zdvihovým objemem, ovšem za použití přepřňování, se zachováním stejných výkonových parametrů, ale s nižší měrnou spotřebou. (Hromádko et al., 2011)

6 Druhy přepřívání

6.1 Mechanický kompresor

6.1.1 Základní princip a konstrukce

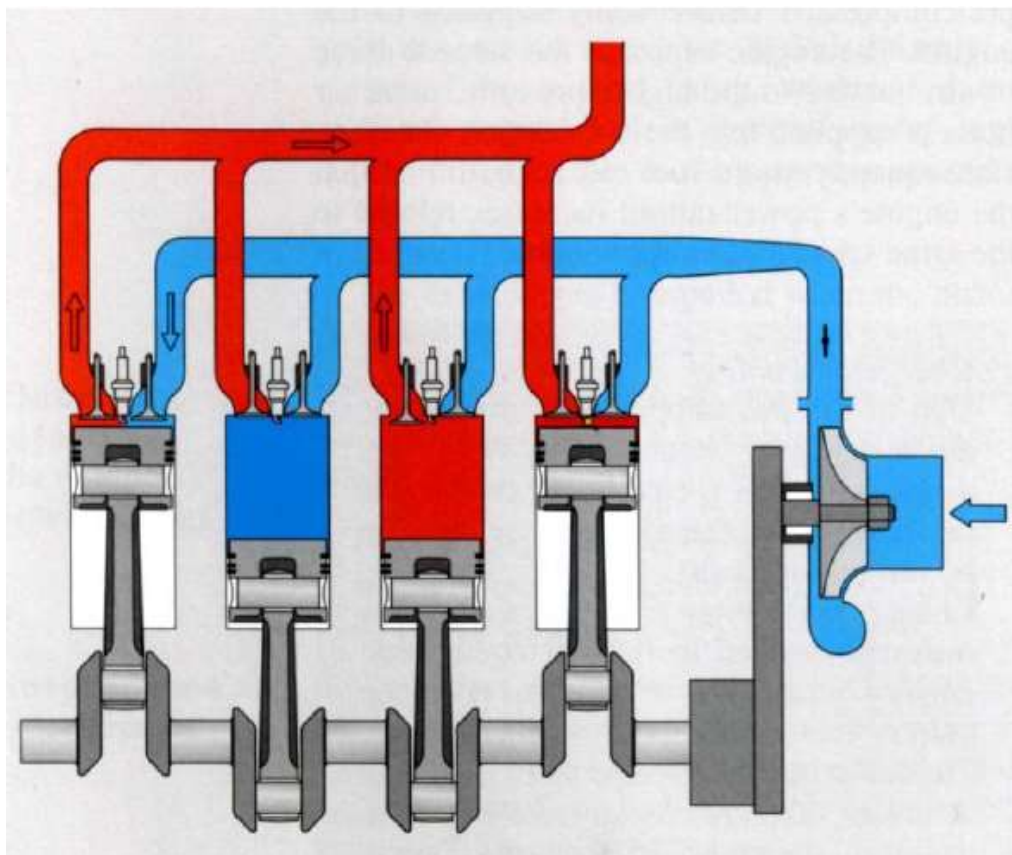
U mechanického způsobu přepřívání je dmychadlo poháněné od klikového hřídele, jak je vidět z obrázku 3-1, buď pomocí ozubených kol, nebo řemenu. Tato přímá vazba má jednu zásadní výhodu a jednu zásadní nevýhodu. Tou výhodou je okamžitá odezva plnění, bez ohledu na otáčky motoru nebo zatížení. Nevýhodou je skutečnost, že dmychadlo má jistý příkon, který ubírá klikové hřídeli část výkonu motoru.

(Kameš, 2010)

Nejvíce používané dmychadlo je Rootsovo, dále se používá dmychadlo Lysholmovo, spirálové dmychadlo, rotační odstředivé dmychadlo, lopatkové dmychadlo, rotační pístové dmychadlo a další. Dále se budu věnovat jen některým z nich.

(Kameš, 2010)

Obrázek 6-1 Schéma přepřívání mechanickým kompresorem



Zdroj: Beroun, 2013

6.1.2 Rootsovo dmychadlo

Nejrozšířenější typ mechanického dmychadla, vynalezeno bratry Rootsovy, původně používáno jako vzduchový kompresor v průmyslu. (Dusil, 2015)

Tento typ dmychadla se skládá ze dvou rotorů, které jsou vzájemně svázány ozubenými koly. Každý rotor je osazen nejčastěji dvojicí nebo trojicí zubů/lopatek, které do sebe vzájemně zapadají. Princip je dobře patrný z obrázku 3-2. Lopatky mohou být buď rovné, nebo mírně do šroubovice, což zmírňuje pulzace v sacím potrubí.

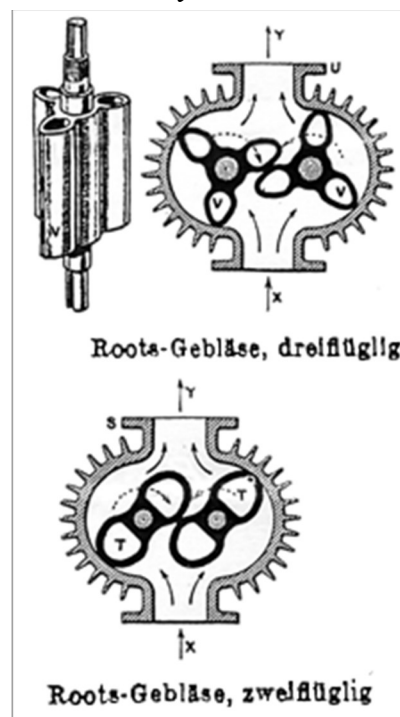
(Kameš, 2010)

Kompresor Roots pouze urychluje proud vzduchu, nedochází přímo k jeho stlačování uvnitř dmychadla. Ke stlačení vzduchu dochází až v sacím potrubí za kompresorem, patří proto mezi kompresory s vnější kompresí. Pro běh naprázdno, nebo pro částečné zatížení, kdy není třeba přepřívovat, bývá kompresor vybaven obtokovou klapkou, aby byl odebíráný příkon co nejmenší. (Hromádko et al., 2011)

Hlavním výhodou tohoto typu je relativní jednoduchost a spolehlivost. Tento typ přepřívování byl jeden z prvních a až do příchodu turbodmychadla se jednalo o nejpoužívanější způsob, jak vhnět vzduch do válce pod tlakem. O jeho vývoj se v poslední době významně podílela americká společnost Eaton, která dlouhá léta kompresory typu Roots vyrábí. Najdeme ho například na motoru s dvojitým přepříváním od Volkswagenu, 1.4 TSI, nebo v Mercedesech s označením „Kompressor“. (Láník, 2004; Dusil, 2015)

V již šesté generaci se dmychadlo Eaton TVS může pochlubit čtyřmi lopatkami místo dřívějších tří, které jsou navíc mnohem více zakřiveny (původně 60°, nyní 160°). Výsledkem by měl být o 20% vyšší průtok vzduchu a tím i plnicí tlak. Navíc je tišší a má menší příkon, u Corvette ZR1 spotřebovala 5. generace Rootse od Eatona 85kw, 6. generace potřebuje o 30kw méně, tedy 55kw k dosažení stejného plnicího tlaku.

Obrázek 6-2 Rootsovo dmychadlo



Zdroj:

<http://www.kompressor-club.de/technik.html>

Kompresor Roots Eaton TVS najdeme ze současnějších aut třeba u Audi S4 2010, na motoru 3.0TFSI, dále u Lotusu Evora, Jaguaru XF-R a dalších. (Dusil, 2015; Eaton, 2016)

6.1.3 Lysholmovo dmychadlo

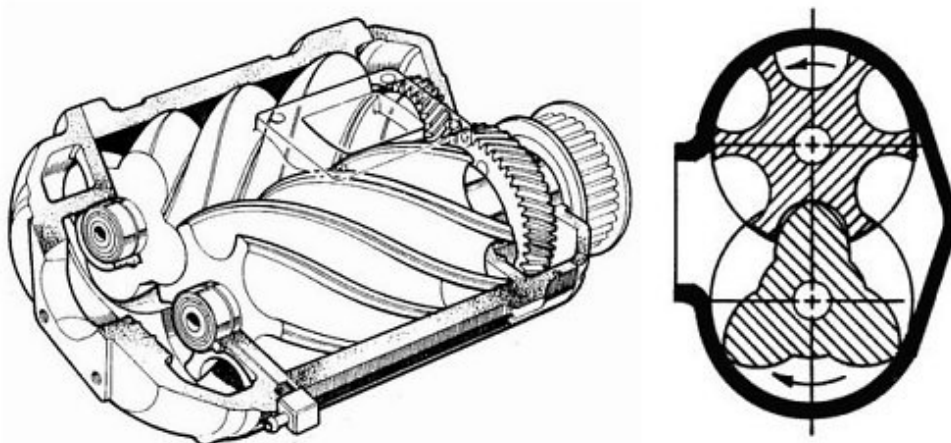
Stejně jako u Rootsova dmychadla, i zde je dvojice vzájemně spojených rotorů. Tím ale podobnost končí. Pracovní částí Lysholmova dmychadla jsou dvě šroubovice, které do sebe těsně zapadají. Vzduch dovnitř vchází axiálně, poté se postupně posouvá po šroubovici a na konci šroubovice už nemá kam jít, s ubývajícím závitem se stlačuje a poté jde radiálním výtlakem ven. Lysholmovo dmychadlo v řezu je znázorněné na obrázku 3-3. (Beroun, 2013; Dusil, 2015)

Stlačení tedy probíhá přímo v kompresoru, což má za následek vyšší efektivitu pro vysokotlaké přepřňování. Tato skutečnost má ovšem i nevýhodu, to při částečném zatížení, kdy je otevřený obtokový ventil, tak kompresor stále stlačuje vzduch a klade proto vyšší odpor než Rootsovo dmychadlo. Tento problém lze eliminovat spojkou, která kompresor odpojí. (Hromádko et al., 2011)

Princip Lysholmova dmychadla existoval už v 19. století, ale tehdy nebyla potřebná technologie na výrobu. Ve třicátých letech 20. století myšlenku obnovil Alf Lynsholm, po kterém je šroubový kompresor pojmenovaný, a původní návrh vylepšil a uvedl do praxe. (Dusil, 2015)

Nevýhodou Lysholmova dmychadla je jeho vysoký nárok na přesnost a technologii výroby, z čehož plyne jeho vyšší cena. Používá se proto hlavně u dražších sportovních výkonných vozů. Najdeme ho třeba ve Fordu GT, Mercedesu C32 AMG nebo Mazde Xedos9 Miller. (Dusil, 2015; Láník, 2004)

Obrázek 6-3 Lysholmovo dmychadlo



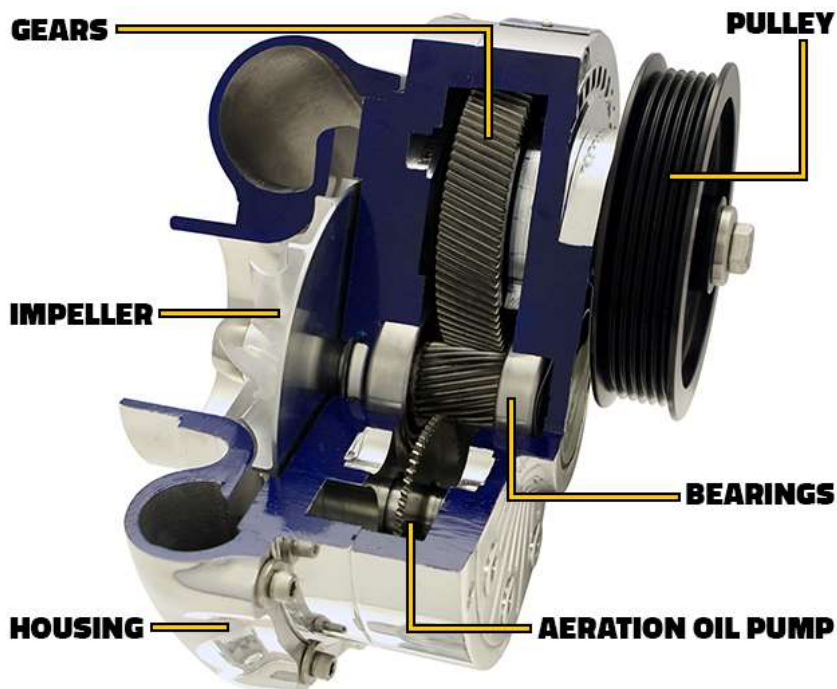
Zdroj: http://www.autozine.org/technical_school/engine/Forced_Induction_1.html

6.1.4 Radiální odstředivé dmychadlo

Tento typ kompresoru je trochu zvláštní v tom, že jeho kompresorová část je konstrukčně shodná s turbodmychadlem, s tím rozdílem, že se o jeho pohon nestarají výfukové plyny, nýbrž je mechanicky vázaný na klikovou hřídel motoru. Radiální odstředivé dmychadlo v řezu je znázorněno na obrázku 3-4. Pohyblivé součástky odstředivého dmychadla se dají rozdělit na tři základní části: řemenice (pulley), převodovka (gears) a kompresorové kolo (impeller). Vzduch vchází axiálním vstupem do kompresorového kola, kterým je vytlačován do radiálního výstupu. Převodovka je zde nezbytná, neboť radiální kolo dmychadla potřebuje k práci velmi vysoké otáčky (maximální otáčky dmychadla mohou být 60.000 až 110.000 min⁻¹), proto je převodový poměr kolem 5:1, takový poměr by bylo obtížné dosáhnout pouze volbou velikosti řemenic u řemenového převodu mezi kompresorem a motorem. (Procharger, 2016)

Radiální odstředivé dmychadlo si poprvé nechal patentovat Luis Renault v roce 1905 ve Francii. Poprvé byl ve voze použit americkou firmou Duesenberg v roce 1924. Dnes se výrobou tohoto typu kompresorů zabývá například americká firma Procharger, která je nabízí jako doplněk pro úpravu sériových motorů. (Kameš, 2010; Pauer, 2011; Procharger, 2016)

Obrázek 6-4 Radiální odstředivé dmychadlo



Zdroj: <https://www.procharger.com/centrifugal-supercharger>

6.1.5 Spirálové G-dymchadlo

Autorem spirálového dmychadla je Louis Creux, který jej vynalezl už v roce 1905, ale do sériové výroby se dostalo až v polovině 80. let minulého století. Volkswagen přišel v roce 1986 s modelem Polo G40, který poháněla čtyřválcová jednotka o objemu 1.3l a výkonu 85kw. O přepřňování se staralo neobvyklé spirálové dmychadlo. O dva roky později se tento typ přepřňování objevil i v modelech Golf, Passat a Corrado pod označením G60 a osmnáctistovkou o výkonu 118kw. (Kameš, 2010; Dusil, 2015)

Spirálové dmychadlo se skládá ze dvou základních částí. Statorové a pohyblivé. Obě části mají přepážku tvarovanou do spirály. Pohyblivá část je uložena excentricky uvnitř statoru a při otáčení hřídele koná rotační posuvný pohyb. Obě části jsou vzájemně axiálně utěsněné stranovými lamelami. Při pohybu se dotkový bod obou spirálových přepážek posouvá ke středu a objem vzduchu se postupně zmenšuje – dochází k jeho stlačování. (Hromádka et al., 2011)

Obrázek 6-5 G-dmychadlo



Popis obrázku 3-5:

1. sání
2. skříň
3. spirála pohyblivého dílu
4. řemenice k pohonu od motoru
5. klínový řemen pohonu excentu
6. excentrické uložení pohyblivého dílu
7. pohyblivý díl
8. těsnicí lišta
9. stlačený vzduch

Zdroj: <http://clippi.beepworld.de/files/g-lader.jpg>

Dmychadlo bylo vybaveno obtokem, motor tedy fungoval při částečném zatížení pouze v atmosférickém režimu,

Výhodou tohoto typu dmychadla je tichý chod, relativně jednoduchá konstrukce a malý příkon. Nevýhodou ale byla nízká životnost, docházelo k obrušování těsnících lamel a poklesu plnicího tlaku, občas docházelo i k totální destrukci, když se utrhla pohyblivá část a střetla se se statorem. Tato konstrukce umožňuje dosažení pouze malého přetlaku, cca do 1 bar. (Kameš, 2010; Hromádko et.al., 2011; Dusil, 2015)

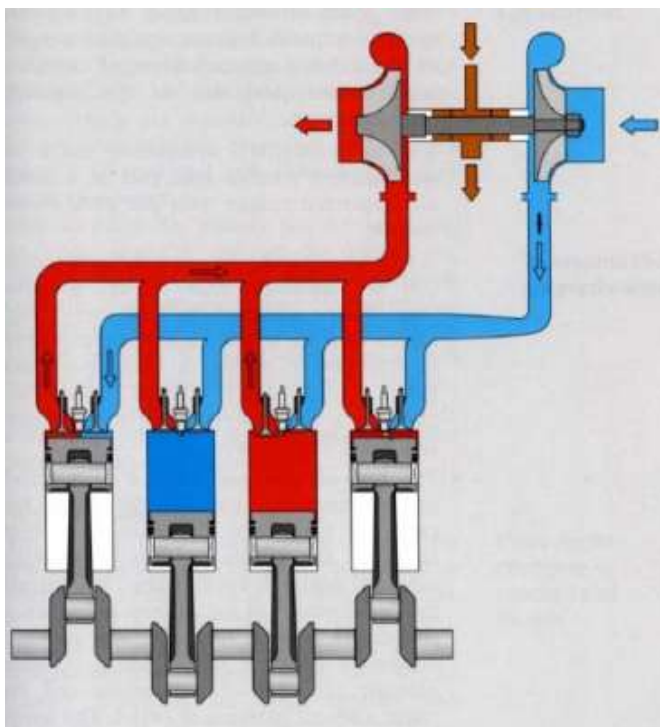
V příloze č.1 je fotografie statoru spirálového dmychadla z motoru VW G60.

6.2 Turbodmychadlo

6.2.1 Základní princip a konstrukce

Přepřínování pomocí turbodmychadla spočívá ve využití energie výfukových plynů pohánějících odstředivou turbínu, která je na společné hřídeli s odstředivým kompresorem, dodávajícím stlačený vzduch do motoru. Díky využití odpadní energie výfukových plynů dochází ke zvýšení tepelné účinnosti motoru a snížení měrné spotřeby paliva. Díky tomu je tento způsob přepřínování efektivnější než mechanickým kompresorem. Má to ale i své nevýhody. Potíže mohou nastat při náhlém požadavku na plný výkon. Při sešlápnutí plynového pedálu se zvýší dávka paliva, ale požadovaného plnicího tlaku v sacím potrubí se dosáhne, až se turbodmychadlo roztočí na plné otáčky. Výsledkem je tedy určitá prodleva, tzv. „turbo-lag“. Aby se tato prodleva minimalizovala, je třeba snížit moment setrvačnosti rotoru na minimum zmenšením průměru kompresoru

Obrázek 6-6 Schéma přepřínování turbodmychadlem



Zdroj: Beroun, 2013

a turbíny a místo toho zvýšit otáčky, které mohou být i přes 100.000min⁻¹. (Mackerle, 1985; Kameš, 2010)

Turbodmychadlo vynalezl švýcarský konstruktér Alfred Büchi, jeho patent pochází z roku 1905. Zpočátku zůstala tato technologie nevyužita, zřejmě kvůli nemožnosti vyrobit kola kompresoru a turbíny s dostatečnou přesností za přijatelnou cenu. Až krátce před II. Světovou válkou se začalo objevovat v lodních a leteckých motorech, později u diesellových motorů nákladních automobilů. U osobních automobilů se začalo objevovat až v 70. letech 20. století. Dnes je tímto druhem přepřívování vybavena téměř většina dnešních evropských automobilů.

(Turbodmychadlo I., 2008; Honeywell, 2015a)

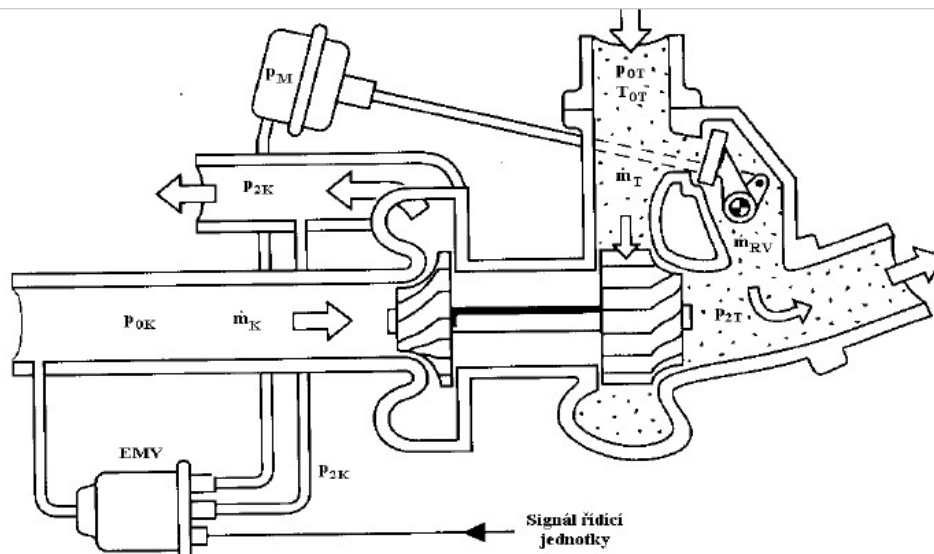
6.2.2 Druhy regulace

Turbodmychadlo se zpravidla navrhuje tak, aby jeho náběh byl už při nízkých otáčkách motoru a plného plnicího tlaku bylo dosaženo ve středních otáčkách, což jsou zpravidla nejčastější provozní otáčky motoru. Aby takové turbodmychadlo nepřekročilo své konstrukční maximální otáčky při požadavku plného výkonu při jmenovitých (maximálních) otáčkách motoru a zároveň nedocházelo ke škrcení průtoku výfukových plynů v průtočných průřezích turbíny, je třeba nějakým způsobem regulovat množství plynů pohánějících turbínu. (Hromádko et.al., 2011; Mackerle, 1985)

6.2.3 Regulace pomocí obtokové klapky

Nejjednodušší a nejčastější forma regulace turbodmychadla. Turbodmychadlo je vybavenou jednoduchou klapkou/ventilem, která umožní přemostit turbínu a část plynů tudy obtéká. Klapka může být zabudována přímo v turbínové části turbodmychadla, nebo může být umístěna na kolektoru výfukových plynů před turbodmychadlem. (Mackerle, 1985)

Obrázek 6-7 Schéma regulace pomocí obtokové klapky



Zdroj: <http://www.autoznalosti.cz/index.php/motor/8-turbodmychadlo.html>

Při rostoucí zátěži motoru a vzrůstajícími otáčkami roste energie výfukových plynů roztáčejících turbínu, zároveň s tím roste i plnicí tlak za dmychadlem. Po dosažení určitého tlaku je obtokový ventil otevřen tak, aby se udržela konstantní hodnota plnicího tlaku v sacím potrubí. Tato regulace může probíhat zcela mechanicky, nebo pomocí elektroniky ovládané řídicí jednotkou. Mechanický systém regulace pracuje pomocí membrány, která je napojena na obtokovou klapku. Z jedné strany na membránu tlačí pružina o známé tuhosti, z druhé strany na membránu působí plnicí tlak z výtlačku dmychadla. Pokud plnicí tlak dosáhne úrovně, kdy přetlačí pružinu, otevře se obtoková klapka. Pokud plnicí tlak poklesne, pružina klapku opět zavře. Tento systém může být ovládán i pomocí elektroniky, jak je zobrazeno na obrázku 3-7, kdy množství tlaku přivedeného na membránu ovlivňuje elektromagnetický ventil, řízený řídicí jednotkou. Místo tlakového signálu může na membránu působit i podtlak, v tom případě je pružina otočená z druhé strany membrány, a elektromagnetický ventil ovlivňuje množství podtlaku působící na membránu. (Hromádka et al., 2011; Mackerle, 1985)

Hlavní přednost této metody je její jednoduchost, cena a odolnost vysokým teplotám. Nevýhodou je, že při přemostění turbíny zůstane část výfukových plynů nevyužita, což snižuje účinnost. Tento způsob regulace turbíny dnes využívá drtivá většina přepřínovaných zážehových motorů, u vznětových motorů už jen výjimečně. (Kameš, 2010; Mackerle, 1985)

Přílohou č.2 je fotografie turbínové části turbodmychadla Garrett T2 s obtokovou klapkou.

6.2.4 Regulace změnou geometrie lopatek statoru

V současnosti nejčastější druh regulace u diesellových motorů, bývá označována zkratkou VNT (variable nozzle turbo). Tento systém má dvě hlavní výhody. První, že turbínou protéká veškerý objem spalin a druhou výhodou je, že je plnicí tlak regulován v celém rozsahu otáček motoru a v závislosti na zatížení. (Kameš, 2010)

Regulace funguje tak, že kolem turbíny je dokola na statoru umístěno několik regulačních lopatek (např. 11), které jsou vzájemně sesynchronizované a které ovlivňují tok spalin působících na turbínu. Lopatky jsou natáčeny pomocí táhla, které je ovládáno buď pneumaticky, častěji pneumacko-elektricky, kdy množství podtlaku ovládá elektromagnetický ventil, ale v dnešní době se stále častěji objevuje plně elektronická regulace,

tzv. REA

(rotary

electronic acutation).

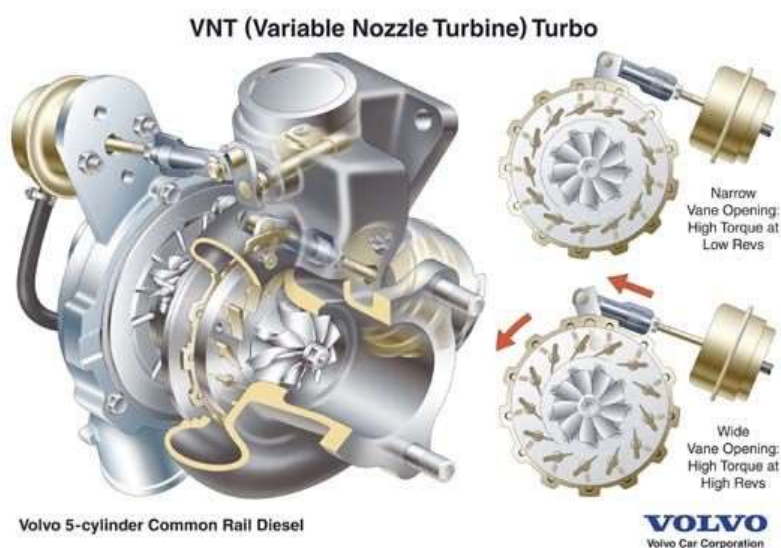
Princip je dobře

patrný z obrázku

6-8.

(Honeywell, 2016b)

Obrázek 6-8 Turbodmychadlo VNT



Zdroj: <http://www.fastmotoring.com/wp-content/uploads/2010/10/VNT-Turbo.jpg>

V nízkých otáčkách jsou lopatky přivřené, toto škrcení dodá spalínám větší rychlost na roztočení turbíny, s rostoucími otáčkami a plnicím tlakem se poté regulace postupně rozevívá, neboť je nutné plnicí tlak omezit. Výhodou je proto rychlejší náběh už od nízkých otáček a regulovatelnost v jakémkoliv provozním režimu. Turbína se navrhuje pro maximální hmotností průtok, optimální geometrie rozváděcích lopatek pak zhruba na střed regulované oblasti. (Kameš, 2010)

Tento systém regulace byl vyvinut firmou Garrett a poprvé sériově použit v roce 1990 ve voze Dodge Daytona Turbo Z, na zážehovém čtyřválcí 2,2l, prvním vznětovým motorem vybavený VNT turbodmychadlem byl vůz Fiat Croma 1.9l. O masivnější rozšíření regulace pomocí změny geometrie lopatek statoru se postaral koncern VW-Audi, který jí použil v roce 1995 na známém vznětovém motoru 1,9TDI o maximálním výkonu 81kw. Byla zde oproti Fiatu, který použil jednoduchou regulaci pomocí přetlaku ze sání, zdokonalena regulace, jako ovládací médium byl použit podtlak z vývěvy, jehož množství ovlivňoval elektromagnetický ventil ovládaný pomocí řídicí jednotky motoru. Dalším podstatnou inovací v systému ovládní regulace je výše zmiňovaná REA, což je plně elektronická regulace pomocí krokového servomotorku. To umožňuje precizní regulaci s okamžitou odezvou. Poprvé se objevila na voze BMW 740d v roce 1998. (Honeywell, 2011)

Regulace změnou geometrie lopatek statoru se v dnešní době masivně používá u vznětových motorů osobních i nákladních vozů. U zážehových motorů zůstávají zatím konstruktéři věrni jednodušší regulaci pomocí obtokové klapky, neboť zážehové motory mají vyšší teploty výfukových plynů a je kladen větší důraz na teplotní odolnost lopatek regulace. Výjimkou je například Porsche 911 Turbo, které používá proměnnou geometrii lopatek statoru na dvojici turbodmychadel, které přepřínují plochý šestiválec. Zde jsou regulační lopatky vyrobené z keramiky, aby odolaly vysokým teplotám. (Kameš, 2010; Honeywell, 2011)

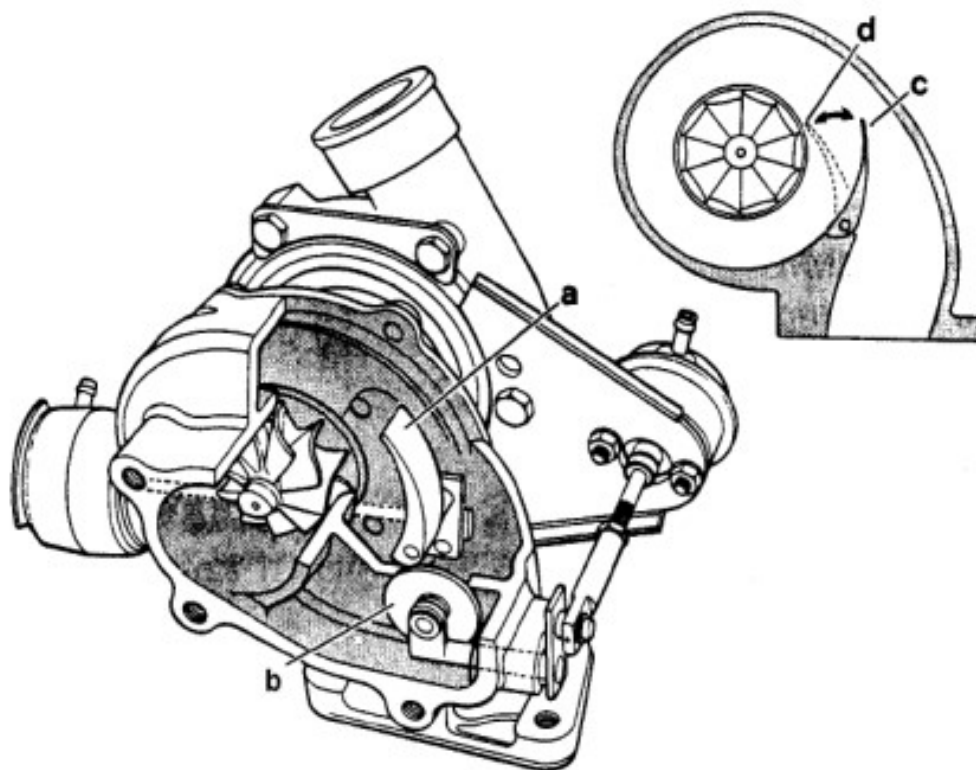
V příloze je vyfocená regulace turbodmychadla Garrett VNT15, první fotka (příloha č.3) je nastavení regulace pro nízké otáčky, druhá fotka (příloha č.4) je nastavení pro vysoké otáčky.

6.2.5 Regulace pomocí směrové klapky

Speciální verze regulace změnou geometrie statoru turbíny. Turbodmychadlo má v turbínovém obalu pouze jednu natáčecí klapku na vstupu do turbíny, která upravuje vír přiváděných spalin a určuje jejich rychlost. V nízkých otáčkách je snaha o maximální škrcení, aby spaliny měly co nejvyšší rychlost na roztočení turbíny. Ve vysokých otáčkách je klapka naplno otevřena a ke škrcení nedochází, protože turbínou protéká dostatečné množství spalin na její roztočení, turbodmychadlo se poté chová jako klasické bez regulace. (Beroun, 2013; Turbodmychadlo I., 2008)

Tento zvláštní druh regulace se příliš nerozšířil do praxe. Byl užít v roce 1991 u vozu Peugeot 405 T16, ve kterém bylo namontováno turbodmychadlo značky Garrett s označením T25-VAT (viz. obrázek 3-9). Turbodmychadlo mělo dvojí regulaci. Jednak pomocí natáčecí lopatky se měnila geometrie turbíny, ale zároveň byla použita i klasická regulace pomocí obtokové klapky. Tento vůz byl také vybaven speciální funkcí „overboost“, která krátkodobě zvýšila plnicí tlak turbodmychadla z 1,1 na 1,3 bar přetlaku, a tím došlo ke krátkodobému nárůstu točivého momentu. (Havlín, 2015)

Obrázek 6-9 Turbodmychadlo Garrett T25-VAT

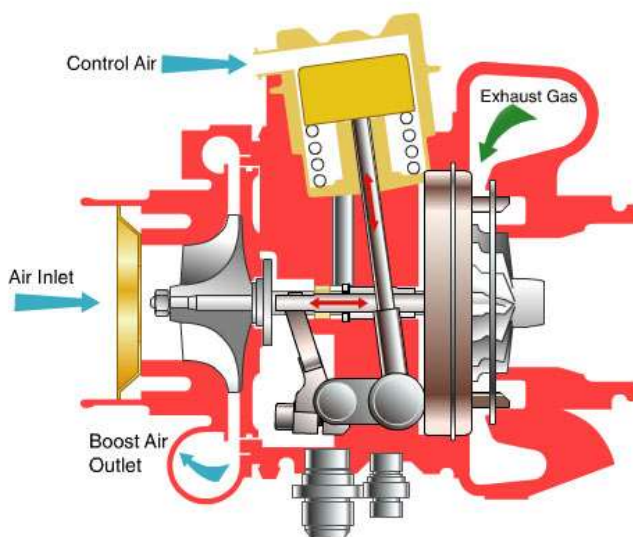


Zdroj: <http://www.autoznalosti.cz/index.php/motor/8-turbodmychadlo.html>

6.2.6 Změna šířky rozváděcího kola turbíny

S dalším zajímavým, ale ne příliš rozšířeným, systémem regulace turbíny přišla firma Iveco ve spolupráci s výrobcem turbodmychadel Holset. Princip spočívá opět ve škrcení výfukových plynů, tentokrát ale pomocí axiálně posuvné válcové clony, která provádí změnu šířky rozváděcího kola statoru turbíny. Posuv clony je ovládán pomocí úhlové dvouramenné páky (viz. obrázek 3-10), na kterou působí obvyklá regulační „baňka“ s membránou, do které je přiváděn podtlakový signál pomocí elektromagnetického akčního členu řízeném elektronikou motoru. (Kameš, 2010)

Obrázek 6-10 Turbodmychadlo VGT



Zdroj:

http://www.turboservis.rs/templates/images/animacij_a_turbine.jpg

účinnost turbodmychadla, neboť turbínou protéká plný hmotností tok výfukových plynů a rychlý náběh plnicího tlaku ve všech režimech motoru. (Hromádko et al., 2011)

Nevýhodou této metody je, že je obtížné zajistit axiální posuv při měnících se teplotách okolo turbíny, kdy rozdíl teploty na studeném motoru krátce po startu a zahřátém motoru pracujícím na plný výkon může být až okolo 800°C. Navíc u dieselových motorů může docházet k zanášení sazemi, které znemožňují posuv clony. (Kameš 2010; Hromádko, 2011)

Při nízkých otáčkách motoru je produkováno malé množství spalin, které mají malou kinetickou energii, proto je clona naplno zavřená, je dosaženo dostatečného škrcení ke zrychlení výfukových plynů a roztočení turbíny. Po dosažení požadovaného plnicího tlaku se začne clona postupně odsouvat a ve vysokých otáčkách je pak naplno otevřená. Výhodou této metody je proto relativní jednoduchost, maximální využití kinetické energie výfukových plynů, velká

6.2.7 Twin turbo/biturbo

Při přepřínování pouze jedním turbodmychadlem musí být turbodmychadlo konstruováno tak, aby pracovalo v širokém pásmu otáček motoru. Musí přepřínovat už od nízkých otáček a ve vysokých otáčkách nesmí příliš škrtit průtok spalin, aby nevznikal velký protitlak ve sběrném výfukovém potrubí. Jsou proto kladeny vysoké nároky na konstrukci turbíny a systémy její regulace. (Kameš, 2010)

Jako řešení se může nabízet použití dvojice turbodmychadel rozdílné velikosti, kdy každé pracuje v jiném pásmu otáček motoru. Toto pracovní pásmo jednotlivých dmychadel je zároveň užší, než v jakém by pracovalo pouze jedno turbodmychadlo. To umožňuje použít malé turbodmychadlo s malou setrvačností a velmi rychlým nástupem plnicího tlaku pro spodní pásmo otáček motoru a velké výkonné turbodmychadlo, které pokryje horní pásmo. Větší z obou turbodmychadel má takovou konstrukci a rozměry, které by u jednostupňového přepřínování sice umožňovaly dosáhnout stejného nebo vyššího maximálního výkonu spalovacího motoru, ale za cenu velké prodlevy plnicího tlaku a malého točivého momentu v nízkých otáčkách motoru, což by znemožňovalo jeho použití jinde než u soutěžních vozů. Výsledkem dvoustupňového přepřínování je tedy velmi rychlá reakce v přechodových režimech už od velmi nízkých otáček motoru a zároveň vysoký maximální výkon. Kinetická energie spalin je naplno využita, neboť pohání turbíny v celém pásmu pracovních otáček motoru, jedná se proto o energeticky nejefektivnější řešení. (Kameš, 2010; Beroun, 2013)

Umístění dvojice turbodmychadel může být různé. První varianta je paralelní řazení, druhá pak sériové. (Kameš, 2010)

U paralelního řazení jsou obě turbodmychadla umístěná na jednom sběrném výfukovém potrubí. Akčním členem je zde klapka, která určuje, na kterou turbínu je směřován proud spalin. (Kameš, 2010)

Oproti tomu u sériového řazení, jsou turbodmychadla řazená za sebou. Tento způsob je zobrazen v příloze č.5. Proud spalin prochází přes obě turbíny, nejprve přes turbínu menšího dmychadla, poté do turbíny většího dmychadla. Menší turbodmychadlo je přemostěné obtokovou klapkou, která se otevírá ve středním pásmu otáček a umožní tak usměrnit větší část spalin přímo na turbínu většího dmychadla. (Kameš, 2010)

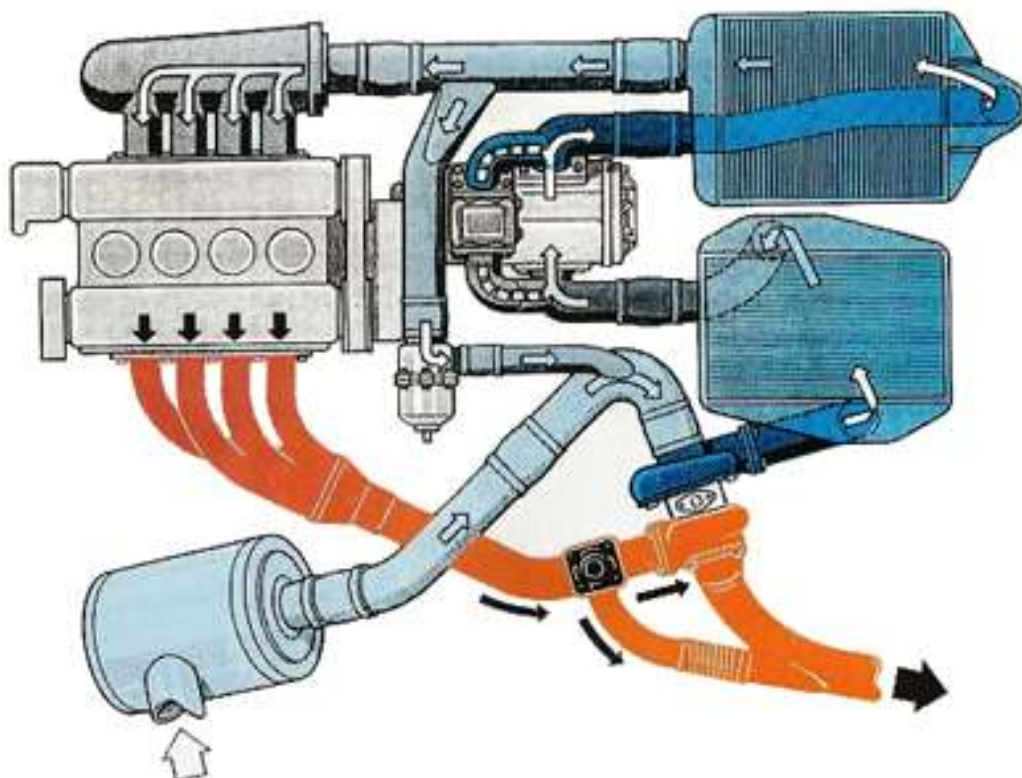
Dvoustupňové přepřňování pomocí dvojice turbodmychadel se dnes používá stále častěji, neboť umožňuje z motoru o malém zdvihovém objemu efektivně dostat vysoké hodnoty točivého momentu a výkonu, jako u velkoobjemového motoru s více válci, ale s menší měrnou spotřebou paliva a tím pádem i nižšími emisemi výfukových plynů. Najdeme ho ale zatím pouze v dražších modelech u vrcholových motorizací, kde typicky starší šestiválcové motory jsou nahrazovány čtyřválcem s dvoustupňovým přepřňováním. (Kameš 2010)

6.3 Kombinace více druhů přepřňování

Kromě použití většího počtu turbodmychadel, lze také kombinovat různé druhy přepřňování, a tím spojit výhody jednotlivých druhů. Typickým představitelem je kombinace mechanického kompresoru a turbodmychadla. To spojuje výhodu mechanického kompresoru, což je okamžitá reakce na změnu zatížení, s výhodami turbodmychadla, což je dosažení vysokého výkonu s minimálními ztrátami. Toto uspořádání také umožňuje použít turbodmychadlo větší velikosti, jelikož se nemusíme starat o jeho chování v nízkých otáčkách, naopak potřebujeme dosáhnout optimálního výkonu ve vyšším spektru otáček. Přepřňování v nízkých a středních otáčkách, případně v přechodových režimech, obstarává mechanický kompresor, který je opatřen obtokovou klapkou, případně elektromagnetickou spojkou a v okamžiku, kdy plnicí tlak turbodmychadla přesáhne plnicí tlak kompresoru, tak je kompresor vyřazen z činnosti. (Hromádko et al., 2011)

První takový systém se objevil v závodním speciálu pro soutěže rally skupinu B v 80. letech ve voze Lancia Delta S4. Zde byl vzduch do motoru nasáván přes turbodmychadlo KKK, přes mezichladič dále do kompresoru Roots od italské firmy Volumex, který byl opatřen obtokovou klapkou. Odtud šel vzduch přes druhý mezichladič dále do motoru. Schéma přepřívání motoru Delta S4 je na obrázku 3-11 (Foltyn, 2016)

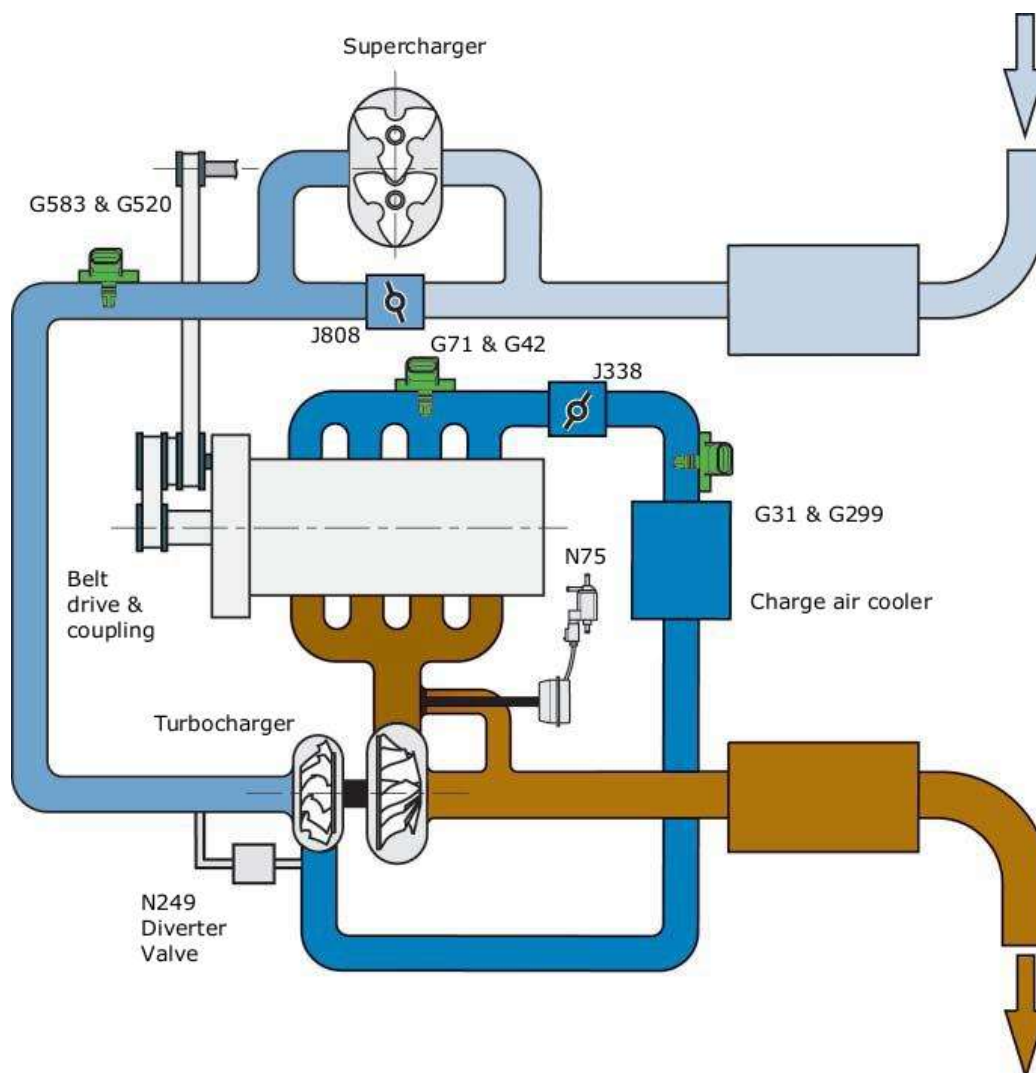
Obrázek 6-11 Schéma přepřívání Lancia Delta S4



Zdroj: <http://www.ecv1.com/images/presentazione-2.jpg>

Poněkud aktuálnější použití můžeme nalézt u koncernu Volkswagen, který vyvinul motor 1.4TSI s výkonem 125kw, který používá trochu odlišný systém oproti Lancii. Schéma přepřívání včetně akčních členů je zobrazeno na obrázku 3-12. Na sacím traktu je prvně umístěn Rootsův kompresor, konkrétně Eaton typ M41, opatřený elektronicky řízenou obtokovou klapkou a elektromagnetickou spojkou na jeho odpojení. Dále pokračuje sací vedení do turbodmyhadla od firmy Garrett, přes mezichladič až do motoru. Dokud jsou otáčky motoru pod 2400ot/min pracuje pouze mechanické dmyhadlo, poté se začne přidávat do hry turbodmyhadlo a od 3500ot/min se mechanické dmyhadlo vyřadí a dále pracuje pouze turbodmyhadlo. (Hromádko et al., 2011; Vondruska, 2005)

Obrázek 6-12 Schéma přepřívání motoru 1.4TSI 125kw



Zdroj:

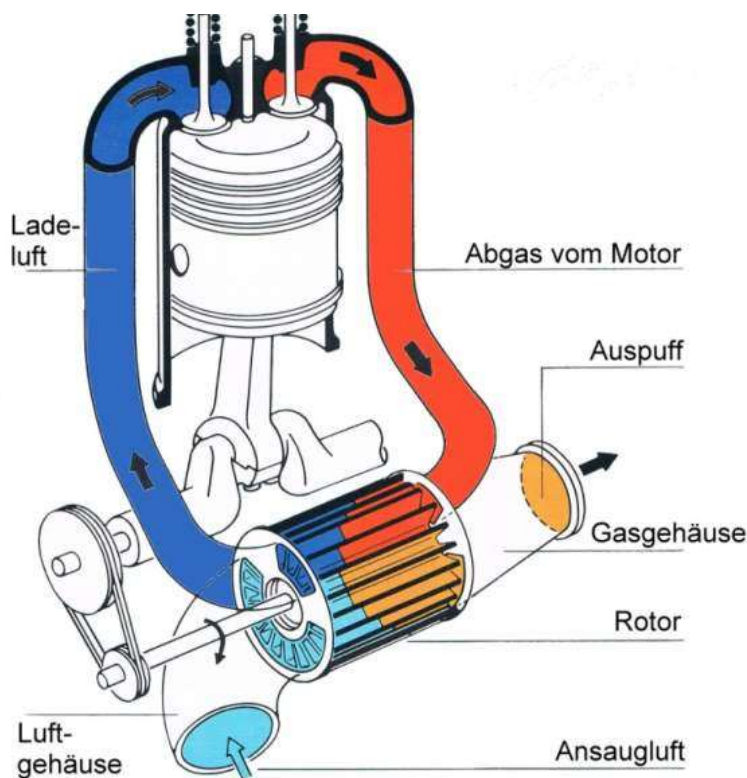
https://www.adac.de/_ext/itr/tests/Autotest/AT2015_VW_CrossTouran_1_4_TSI/tsi_aufbau_m.jpg

6.4 Tlakovzdušný výměník – Comprex

Trochu speciálním druhem přepřívání je tlakovzdušný výměník, nazývaný Comprex. Stejně jako turbodmychadlo, i Comprex využívá energie výfukových plynů, rozdíl je v tom, že zde výfukové plyny přímo stlačují nasátý vzduch. Není zde tedy potřeba výfukové turbíny, která by roztáčela kompresor. Základem systému je rotor s kanálky rovnoběžnými s jeho osou, poháněný od klikové hřídele řemenem, otáčející se zhruba třikrát rychleji oproti motoru. Pohon systému má minimální příkon, z výkonu motoru spotřebuje méně než 2%. (Hromádko et al., 2011; Mackerle, 1985)

Rotor je umístěn ve skříni se dvěma čelními víky, k jednomu víku je z jedné strany připojeno sací potrubí a plnicí potrubí jdoucí do motoru, k druhému je připojeno sběrné výfukové potrubí přivádějící spaliny od motoru a potrubí odvádějící spaliny dále do výfukového potrubí. Při otáčení se střídavě otevírají kanály do sacího a výfukového potrubí. Při výfuku spalin z kanálků rotoru z předchozí výměny zůstane v kanálech podtlak, který po natočení k sacímu potrubí umožní nasát čerstvý vzduch, po dalším úhlovém natočení se zavře přívod sání a otevře se z druhé strany výfuk z motoru, do kanálků začnou vnikat výfukové zplodiny, které začnou stlačovat nasátý vzduch, po dalším natočení se uzavře výfuk a otevře výtlak do motoru, dále se výtlak uzavře a výfukové plyny narazí na víko, odrazí se, v ten moment se otevře výfuk a zplodiny vyletí ven, v kanálku vznikne podtlak, poté se nasaje vzduch a proces pokračuje stále dokola. (Hromádko et.al., 2011; Mackerle, 1985; Kameš, 2010)

Obrázek 6-13 Tlakovzdušný výměník Comprex



Zdroj: http://www.senatorman.de/bilder/Senator_a2-037.jpg

Tento cyklus je značně zjednodušený oproti skutečnosti, kde se vyskytují kmity v sacím i výfukovém traktu spalovacího motoru. Navíc systém optimálně pracuje pouze v omezeném rozsahu otáček a je složitější na zástavbu, což jsou hlavní důvody, proč se tento systém u automobilů příliš neprosadil. (Hromádko et al., 2011; Mackerle, 1985; Kameš, 2010)

Systémem comprex lze dosáhnout podobných výkonových parametrů jako u přepřňování turbodmychadlem, výhodou je ovšem okamžitá reakce na sešlápnutí akceleračtoru. Systém je také tišší, protože pracuje při nižších otáčkách. (Mackerle, 1985)

Comprex byl zkoušen v 80. letech na terénních vozidlech Steyr-Daimler-Puch s dieselovými motory. Testován byl i u závodních vozů Ferrari F1, kde bylo dosahováno dokonce lepších časů na kolo, oproti turbodmychadlu. Úspěšného použití v sériových automobilech se comprex dočkal v 90. letech ve voze Mazda 626, vybavené dvoulitrovým dieselovým motorem. (Kameš 2010; Hromádko et al., 2011; Mackerle, 1985)

6.5 Dynamické přepřňování

Speciální typ nízkotlakého přepřňování, kde není potřeba žádného přídavného zařízení jako u mechanických dmychadel nebo turbodmychadel, ale využívá přirozeného proudění vzduchu v sacím potrubí. Tento způsob plnění válce zpravidla nebývá ani samotnými automobilkami označován za přepřňování, ale u všech atmosféricky plněných motorů je snahou konstruktérů využít dynamiky nasávaného vzduchu ke zlepšení průběhu křivky točivého momentu. Často bývá doplněn i tzv. stříhem ventilů, což znamená, že na malý okamžik je otevřen zároveň sací i výfukový ventil, odcházející výfukové plyny tak pomáhají nasátí čerstvé směsi. (Kameš, 2010; Hromádko et al., 2011)

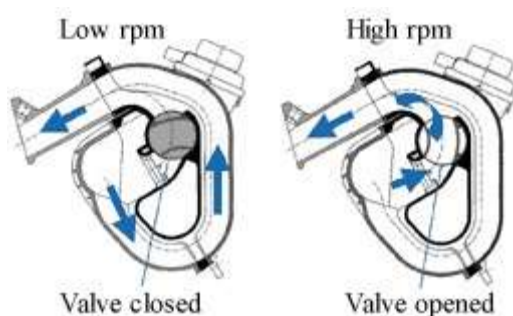
6.5.1 Pulzační

Každý válec má zpravidla vlastní sací potrubí o určité délce, které je zakončeno sběračem. Při otevření sacího ventilu, kdy jde píst dolů a probíhá sání, v sacím potrubí vznikne určitý podtlak, který nažene do sacího potrubí nový čerstvý vzduch. Poté se ventil zavře, proud vzduchu se od ventilu odrazí a pokračuje rychlostí zvuku zpět na konec sacího potrubí, kde se opět odrazí a putuje rychlostí zvuku zpět k motoru. Pokud se takto odražený vzduch trefí do otevřeného sacího ventilu, účinnost naplnění válce může přesáhnout přes 100%, dochází tedy k přepřňování. Bez využití tohoto jevu má

i sebedokonalejší atmosféricky plněný motor vždy účinnost plnění pod 100%. (Hromádko et al., 2011; Kameš, 2010)

K využití pulzací v sacím potrubí je třeba navrhnout jeho optimální délku. Ovšem rychlost šíření podtlakové i přetlakové vlny je konstantní, určitá délka pulsního sacího potrubí proto odpovídá pouze určitým otáčkám motoru. Pro motory, které pracují v širším pásmu otáček, což je většina vozidlových motorů, je vhodné navrhnout variabilní délku sacího potrubí. Z praktického hlediska je nejrozšířenějším řešením pouze dvoustupňová změna sacího potrubí, jako je zobrazeno na obrázku 6-15, existují ale také systémy plně variabilní. O změnu délky se stará soustava klapek přepínající jednotlivé větve sacího potrubí, nebo rotační šoupátko. Větší délka a užší průřez vyhovuje pro nižší otáčky motoru a kratší délka s širším průřezem sacího potrubí pro vyšší otáčky. Tento systém je vhodný pro čtyřválcové motory. (Kameš, 2010; Hromádko et al., 2011)

Obrázek 6-14 Pulzační sací potrubí s proměnnou délkou



Zdroj: http://www.autozine.org/technical_school/engine/VIM_Honda.jpg

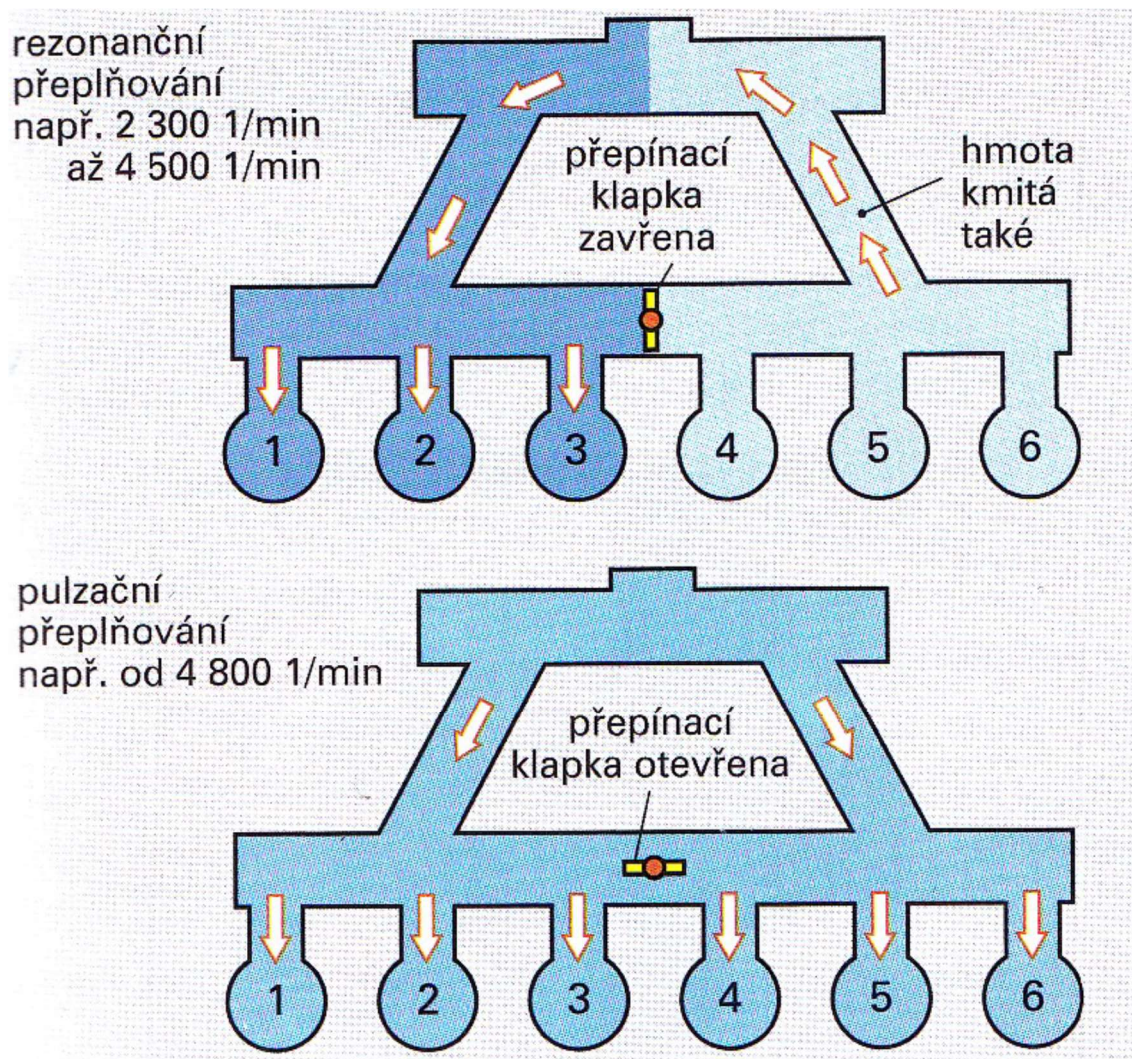
6.5.2 Rezonanční

Pro šestiválcové motory je vhodný systém využívající podobného jevu, označovaný jako rezonanční. Vybuzení tlakové vlny zde vyvolá válec v pořadí sání předcházející válci, který je potřeba doplnit čerstvou náplní. U rezonančního sacího potrubí jsou válce rozděleny na dvě skupiny po třech, mající společnou rezonanční nádrž. Obvyklé pořadí zapalování pro šestiválcový motor je 1-5-3-6-2-4, kdy 1. až 3. válec je spojen jednou rezonanční komorou a 4. až 6. druhou rezonanční komorou. Impulz prvního válce tak vybudí vlnu, která pomáhá naplnit válec třetí, impulz pátého válce naplní šestý, třetí naplní druhý, šestý čtvrtý a druhý první. Toto pravidlo platí obdobně i pro jiné uspořádání zapalování. (Hromádko et al., 2011; Kameš, 2010)

Tento systém je zpravidla navržen pro nízké otáčky, pro vysoké otáčky je poté využíváno pulzačního jevu. Obě rezonanční komory jsou spojené a oddělené klapkou, která se ve vyšších otáčkách otevře. Tento princip je znázorněn na obrázku 6-16.

(Kameš, 2010)

Obrázek 6-15 Rezonanční sací potrubí šestiválcového motoru



Zdroj: <http://coptel.coptkm.cz/>

7 Chlazení stlačeného vzduchu

7.1 Proč je potřeba chladit?

Při vyšším stupni plnění motoru se vzduch při stlačování velmi citelně zahřívá, čímž zvětšuje svůj objem, což má negativní vliv na hmotnostní naplnění válce stlačeným vzduchem, tedy i na množství směsi. Proto je vhodné zařadit do sacího potrubí mezi motor a dmychadlo mezichladič stlačeného vzduchu. Navíc vyšší teplota nasávaného vzduchu ovlivňuje i teplotu hoření ve válci a následně i teplotu výfukových plynů, což více namáhá motor i turbodmychadlo a klade vyšší nároky na chlazení motoru i olejové náplně. (Hromádko et al., 2011; AET Turbos, 2014)

K tomuto účelu se používá mezichladič stlačeného vzduchu (anglicky nazývaný intercooler) umístěný na potrubí, kterým je veden stlačený vzduch od dmychadla do motoru. V mezichladiči dojde ke zchlazení řádově o několik desítek °C. Dle velikosti a konstrukce chladiče, dochází po ochlazení k určitým tlakovým ztrátám v potrubí. Tento negativní jev ale nemá natolik zásadní vliv, proto jej zastihují pozitiva v podobě chladnějšího nasávaného vzduchu o větší hustotě. (Hromádko et al., 2011; AET Turbos, 2014)

7.2 Druhy chlazení

Druhy použitého chladicího média především závisí na konkrétní aplikaci daného spalovacího motoru, zda jde o motor stacionární, lodní, zda pohání automobil, letadlo apod. (AET Turbos, 2014)

7.3 Výměník vzduch-vzduch

Jak naznačuje název, tento výměník využívá jako chladicí médium okolní vzduch, je proto vhodný pro motory, které jsou umístěny v pohybujícím se stroji (automobily, letadla). (AET Turbos, 2014)

Je vyrobený obvykle z hliníkových slitin, kvůli dobré tepelné vodivosti a nízké hmotnosti. Skládá se z tenkých trubiček, kterými proudí stlačený vzduch, mezi kterými je hustá mřížka, přes kterou je teplo odváděno do okolí. (AET Turbos, 2014)

Nejčastěji používaný druh chlazení, díky své nízké ceně, jednoduchosti a nízké hmotnosti. Výhodou také je, že není potřeba na chlazení vynaložit žádnou energii navíc. Nevýhodou je nízká účinnost při nízkých rychlostech pohybu, dále značná závislost

účinnosti na okolní teplotě. Nevýhodou může být náročnost zástavby, neboť je třeba, aby na mezichladič proudil vzduch, ideální umístění je tedy na čelní ploše ve směru jízdy. Dlouhé vedení k mezichladiči a od mezichladiče a velký počet ohybů může způsobovat ztráty a zvětšovat prodlevu náběhu plnicího tlaku. (AET Turbos, 2014)

Můžeme rozeznávat tři typy montáže mezichladiče na vozidle:

FMIC – *front mounted intercooler* – mezichladič umístěný v přídí před ostatními chladiči, velmi výhodné umístění z hlediska chlazení, z toho důvodu také nejčastěji používané umístění. Nevýhodou může být riziko poškození, neboť je mezichladič umístěn hned za nárazníkem, dále může snižovat účinnost chladičů umístěných za ním.

SMIC – *side mounted intercooler* – mezichladič umístěný na boku auta, před podběhem předního kola. Mezichladič nebrání přístupu vzduchu k ostatním chladičům, nevýhodou je malý zástavbový prostor limitující velikost chladiče. Typickým představitelem jsou vozy z koncernu VW z 90. let, například vybavené motory TDI. Z dnešních aut typicky vozy Audi vybavené motorem 3.0TDI s dvěma mezichladiči po stranách vozu.

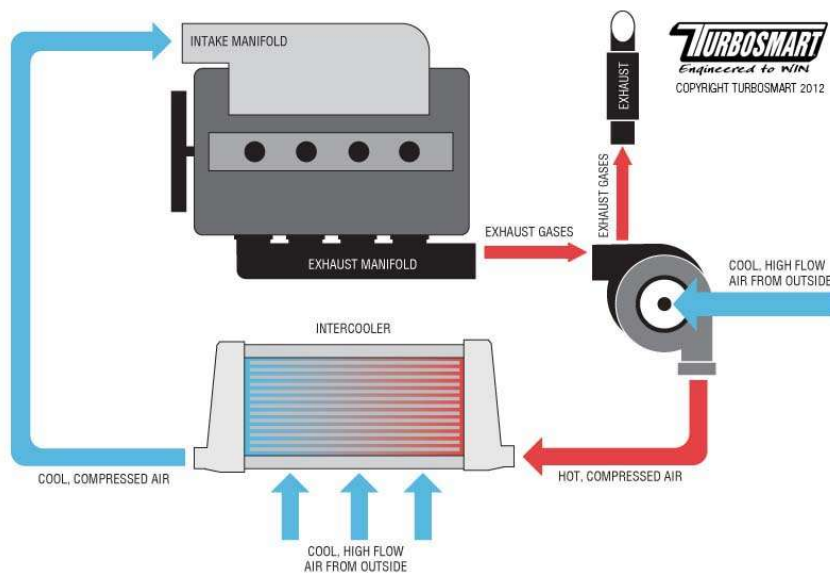
TMIC – *top mounted intercooler* – mezichladič umístěný nad motorem. Výhodou je krátké vedení sacího potrubí, navíc je chladič chráněn před poškozením. Nevýhodou je menší účinnost, dochází k ohřevu od motoru a je nutné udělat lapač vzduchu na kapotě vozidla k usměrnění

proudu vzduchu na chladič, což má negativní vliv na aerodynamiku.

Typickým představitelem jsou vozy značky Subaru.

(AET Turbos, 2014; Turbosmart, 2016)

Obrázek 7-1 Schéma chlazení stlačeného vzduchu mezichladičem vzduch-vzduch



Zdroj: <http://www.turbosmart.com.au/technical-articles/how-an-intercooler-works/>

7.4 Výměník voda-vzduch

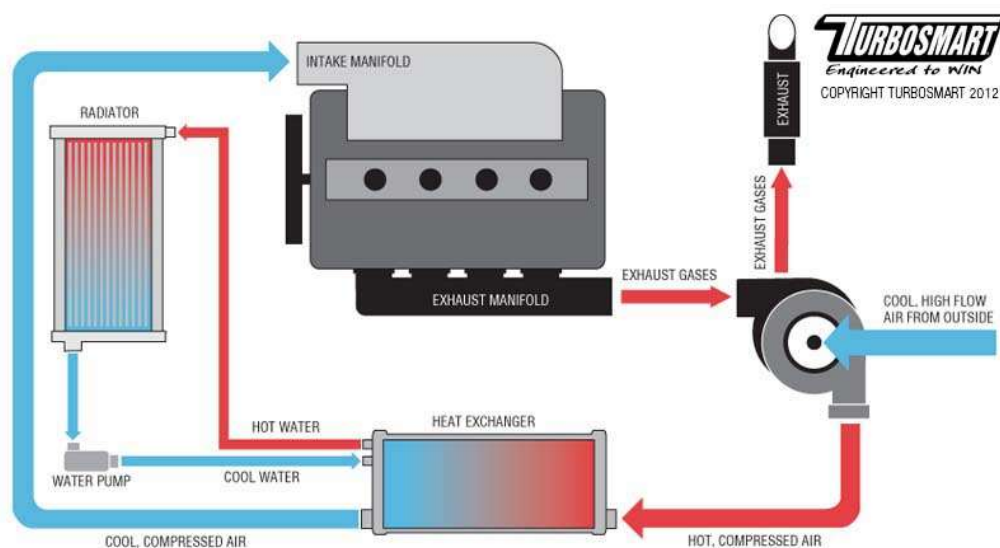
Chladícím médiem je voda či jiná chladicí kapalina. Vodní chlazení má větší účinnost, mezichladič může mít díky tomu menší rozměry. Chladič může být kdekoli, proto se umísťuje co nejbližší motoru, což má pozitivní následky ve formě krátkého sacího potrubí a nízkých ztrát. (AET Turbos, 2014)

Ochlazení funguje tak, že studená voda proudí skrz mezichladič, je tedy potřeba čerpadla, který vodu dopravuje a dalšího chladiče, kde se voda opět ochladí. Nevýhodou je tedy vyšší hmotnost a složitost systému, tedy i jeho cena. Také je potřeba dodávat energii na pohon čerpadla. Výhodou ovšem je malý vliv účinnosti chlazení na teplotě chlazení. Navíc tento druh chlazení lze použít i u stacionárních nebo lodních motorů. (AET Turbos, 2014; Turbosmart, 2016)

V historii automobilů měl vodou chlazený mezichladič například Peugeot 405 T16, z dnešních aut například u koncernu VW motory 1,2TSI nebo 2,0TDI. Dalším představitelem je motor BMW V8 4,4l se dvěma turbodmychadly.

(Havlín, 2015; Dusil, 2015)

Obrázek 7-2 Schéma chlazení stlačeného vzduchu mezichladičem voda-vzduch



Zdroj: <http://www.turbosmart.com.au/technical-articles/how-an-intercooler-works/>

7.5 Speciální druhy chlazení

Existují i další způsoby, jak stlačený vzduch ochladit. Jedním z nich je Millerův způsob chlazení. Tento způsob se zakládá na principu, že se sací ventil zavře ještě před momentem, kdy se píst dostane do dolní úvratě. Vzduch ve válci expanduje a snižuje se jeho teplota. Výhodou toho principu je nižší namáhání motoru a nižší spotřeba, nevýhodou je potom snížený výkon, který se může nahradit vyšším stupněm plnění dmyhadla. (Hoffmann, 1985)

Další způsob je vstřikování vody (případně směsi vody s etanolem) do sání. Výparné teplo, potřebné k odpaření kapaliny, je odebráno horkému stlačenému vzduchu a teplota se snižuje. Nevýhodou tohoto řešení je nutnost přídavného zařízení, které vodu do sání vstřikuje, dále je nutné mít zásobník a ten doplňovat. V praxi se používá jen u specifických aplikací, například u dragsterů na závody na 400m. (Šrámek, 2013)

Za možnost, jak snížit teplotu vzduchu nasávaného do motoru, je možné dále považovat použití expanzní turbíny. Zde se využívá dalšího turbodmyhadla. Klasické výfukové turbodmyhadlo stlačí vzduch, který jde přes mezichladič do dalšího kompresoru, který je poháněn expanzní turbínou, dále jde přes další mezichladič do expanzní turbíny a poté do motoru. Tímto způsobem lze sice dosáhnout velmi nízkých teplot, ale nevýhodou je vysoká cena a prostorová náročnost na zástavbu.

(Hoffmann, 1985)

Tyto speciální druhy chlazení mají svá specifika, díky kterým je jejich využití v praxi velmi omezené, proto se nejčastěji setkáme s klasickými výměníky typu vzduch-vzduch, případně voda-vzduch.

8 Budoucnost přepřňování

8.1 Kompresor vs. turbodmychadlo

Pokud se podíváme z historického hlediska, je zřejmé, že se postupně od mechanických metod přepřňování upouští ve prospěch turbodmychadel. Je to dáno především faktem, že mechanicky poháněný kompresor spotřebovává ke své práci příkon, který ubírá z klikové hřídele motoru, zatímco turbodmychadlo pomáhá efektivněji využít energii, která do motoru vstupuje v podobě paliva.

Hlavní výhoda mechanického dmychadla, tedy okamžitá reakce na změnu zatížení, začíná ztrácet na významu, neboť nejnovější turbodmychadla a systémy regulace jsou na takové technologické úrovni, že se jim reakcemi už téměř vyrovnají. Proto se v drtivé většině dnešní produkce přepřňovaných motorů používá právě turbodmychadla.

V případě mechanických kompresorů se dnes používá téměř výhradně Lysholmovo dmychadlo, kvůli větší účinnosti než má Rootsovo dmychadlo, avšak zpravidla jen u sportovnějších modelů, kde není tolik kladen důraz na spotřebu a emise, avšak o to větší na výkon a dojem z jízdy.

8.2 Nové technologie

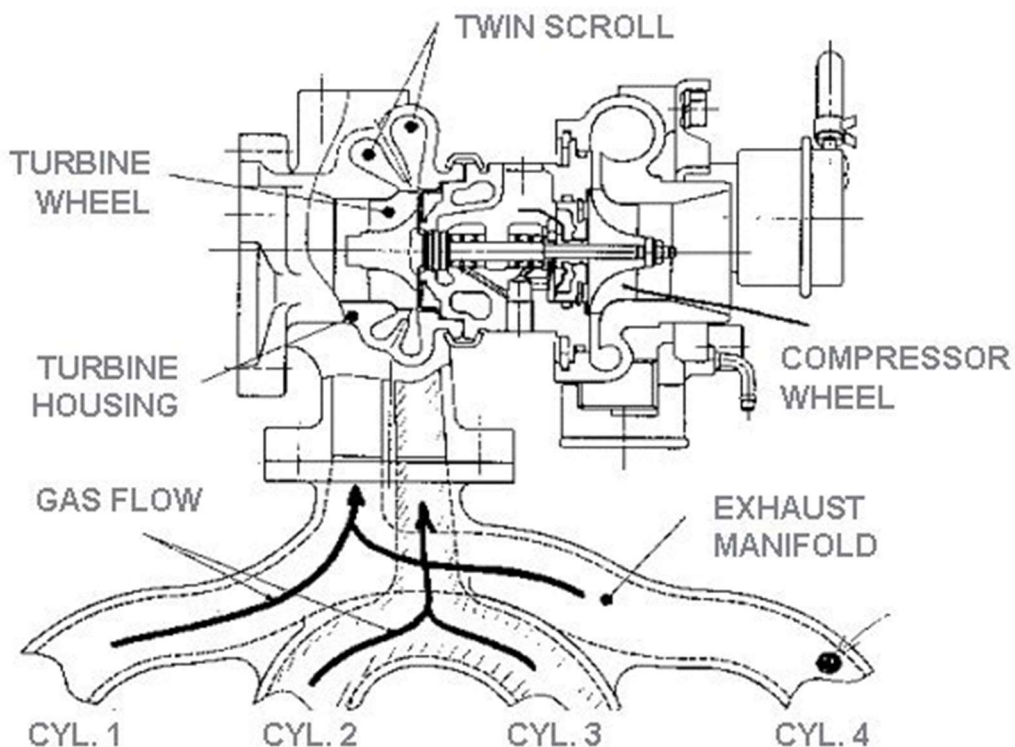
Významným prvkem, který se dostává pomalu z motorsportu do sériové produkce je hřídel turbodmychadla uložená na kuličkových ložiskách, na rozdíl od dosud běžných kluzných uložení. Nižší valivý odpor v uložení umožňuje velmi rychlé změny otáček kompresoru, což má pozitivní následek v podobě rychlého nástupu plnicího tlaku při změně zatížení, nebo při poklesu otáček během přeřazení na vyšší rychlostní stupeň v převodovce. (Honeywell, 2016c)

Dalším významným prvkem jsou plně elektronicky řízené regulace turbodmychadla pomocí servomotorků, namísto dříve běžných pneumatických elektronicky řízených systémů. To umožňuje preciznější ovládání regulace turbodmychadla s variabilní geometrií lopatek statoru a rychlejší reakce. Systém se označuje zkratkou REA (rotary electronic acutation). (Honeywell, 2016b)

Dále se čím dál více uplatňuje dvoustupňové přepřínování pomocí dvojice turbodmychadel. Díky tomu je možné i z maloobjemového motoru dostat vysoký točivý moment už z nízkých otáček a zároveň i velký maximální výkon.

Vylepšuje se design turbodmychadel a hledají se nová řešení, jedno z nich používá firma BMW, nazývá se Twinscroll. Turbínová komora je rozdělena na dvě části, do každé z nich ústí výfukový kolektor poloviny válců, tedy u čtyřválců jsou rozděleny na dva a dva, jak je vidět na obrázku 5-1. Obě větve se vzájemně neovlivňují, výhodou tohoto řešení je využití pulzací výfukových plynů v obou větvích k roztočení turbíny. Efektem je rychlejší roztočení rotoru při akceleraci. (Twin scroll turbochargers, 2011)

Obrázek 8-1 Turbodmychadlo Twinscroll



Zdroj: <https://performancespecialties.wordpress.com/2011/08/10/twin-scroll-turbochargers/>

8.3 Downsizing a emise

V dnešní době je kladen velký důraz na ohleduplnost k životnímu prostředí. Horké téma je především údajné globální oteplování a s tím související emise oxidu uhličitého. Představitelé států, především v Evropě a Severní Americe, se snaží těmto tlakům vyhovět, proto vznikají čím dál přísnější legislativní pravidla pro emisní limity nových automobilů.

Z toho důvodu není dnes prakticky možné, hlavně v Evropě, velkosériově vyrábět a prodávat velkoobjemové atmosféricky plněné motory, které mají sice příznivý průběh točivého momentu při zachování relativní jednoduchosti, avšak mají nízkou účinnost a s tím související vyšší měrnou spotřebu pohonných hmot. Proto jsou automobilky ve snaze splnit přísné podmínky nuceny vyvíjet efektivnější motory, které budou mít nižší zdvihový objem, ale při zachování výkonových parametrů. Nejefektivnější cestou ke zvýšení efektivity spalování je právě přepřňování, především pomocí turbodmychadla, neboť využívá jinak odpadní energii výfukových plynů, čímž se zvyšuje účinnost. (Hromádko et al., 2011)

Typickým představitelem downsizingu je tuzemská automobilka Škoda Auto, která u modelu Octavia nahradila atmosférický motor 1,6MPI 75kw motorem přepřňovaným 1,2TSI ve variantách 63kw a 81kw. Downsizingu se nevyhnul ani vrcholový model Škoda Superb, kde byl vrcholový šestiválec 3,6l nahrazen přepřňovaným čtyřválcem o zdvihovém objemu 2l. Některé automobilky jdou ještě dál, například Ford nahrazuje zážehové čtyřválce 1,6l motorem 1,0 Ecoboost, což je přepřňovaný tříválec o výkonu 92kw, který by dle údajů výrobce měl jezdit s průměrnou spotřebou 5,2 l/100 km, motor se stal třikrát vítězem ankety Mezinárodní motor roku (2012,2013 a 2014). Stejný případ downsizingu potká i novou Škodu Octavia, kde se chystá pro modelový rok 2017 nový tříválec 1.0TSI 85kw. Tento motor nahradí výše zmíněný motor 1.2TSI 81kw, který už v současné době není v nabídce. (Ford Motor Company, 2016; Žák, 2016)

Dá se očekávat, že tento trend bude pokračovat i do budoucna.

9 Závěr

Tato práce byla zaměřena na přepřňování spalovacích motorů. Byla poodhalena bohatá historie tohoto tématu, která je skoro stejně tak dlouhá jako motor s vnitřním spalováním samotný. Klíčových momentů bylo v této historii hned několik. Prvním z nich byl začátek 20. století, především první světová válka a meziválečné období, kdy se přepřňování mechanickými dmychadly široce rozšířilo v letecké, ponorkové a závodní automobilové technice. Dalším milníkem jsou 70. a 80. léta 20. století, kdy se začínala používat turbodmychadla a to i v civilní technice. Tehdy jejich použití bylo hlavně motivováno požadavkem na vysoký výkon, stejně jako tomu bylo i před tím. Dalším důležitým obdobím je několik posledních let, rozdílný je ale dnešní pohled na přepřňování, kromě požadavků na výkon je dnes hlavní motivací k vývoji této oblasti snižování škodlivých emisí výfukových plynů a spotřeby paliva.

Vývoj ukázal, že se postupně ustupuje od mechanicky poháněných kompresorů, ve prospěch turbodmychadel, které ke svému pohonu využívají odpadní energii výfukových plynů a tím zvyšují celkovou účinnost ústrojí více než mechanická dmychadla, jejichž příkon ubere část energie klikovému hřídeli. Turbodmychadla za posledních 30 let prošla velkým vývojem, ať už v designu lopatek rotorů, v uložení, chlazení, tak i možnostech regulace. Zároveň jejich rozšíření snížilo výrobní ceny. Všechny tyto aspekty přispěly k tomu, že je možné turbodmychadla běžně používat i v běžných osobních a nákladních automobilech, jak po ekonomické stránce, tak i po stránce technické.

Použitá literatura

1. **HROMÁDKO**, Jan et al. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011. 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.
2. **BEROUN**, Stanislav. *Vozidlové motory*, Skriptum TU v Liberci, 2013.
3. **X-TUNING**. *Katalog vozů*. [Online] Vystaveno 2016 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: <http://www.xtuning.cz/chip/skoda>
4. **MACKERLE**, Julius. *Automobil s lepší účinností*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, 1985. 248 s.
5. **PAUER**, Václav. *Vývoj konstrukce závodních vozů: vše podstatné z historie techniky formulových vozů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011. 355 s. ISBN 978-80-247-3015-8.
6. **KAMEŠ**, Josef. *Spalovací motorová vozidla: část: Spalovací motory*. Vyd. 2. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2010. ISBN 80-213-0895-8. 192 s.
7. **Turbodmychadlo I**. [online]. Vystaveno 6.10. 2008 [cit. 2016-01-25]. Dostupné z: <http://www.autoznanosti.cz/index.php/motor/8-turbodmychadlo.html>
8. **HONEYWELL**. *Honeywell VNT™ – Creating History through Innovation*. [Online] Vystaveno 02.01. 2011 [cit. 2016-02-08]. Dostupné z: <https://turbo.honeywell.com/whats-new-in-turbo/story/honeywell-vnt-creating-history-through-innovation/>
9. **FOLTYN**. *Lancia Delta S4 - skupina B* [Online] Vystaveno 2016 [cit. 2016-03-25] Dostupné z: http://www.foltyn.cz/car/lancia_ds4.htm

10. **LÁNÍK**, Ondřej. *Přepřňování (1. díl): teorie+mechanické přepřňování*. [Online] Vystaveno 20.7. 2004 [cit. 2016-01-25]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/preplnovani-1-dil-teorie-mechanicke-preplnovani-16778>
11. **DUSIL**, Tomáš. *Seriál turbodmychadla: Jde to i bez turba (3. díl)*. [online]. Vystaveno 1.12. 2015 [cit. 2016-01-24]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/serial-turbodmychadla-jde-to-i-bez-turba-3-dil-90868>
12. **EATON**. *TVS® Supercharger*. [online]. Vystaveno 2016 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.eaton.in/Eaton/ProductsServices/Vehicle/Superchargers/TVSSupercharger/index.htm>
13. **PROCHARGER**. *Centrifugal Superchargers* . [online]. Vystaveno 2016 [cit. 2016-01-28]. Dostupné z: <http://www.autoznalosti.cz/index.php/motor/8-turbodmychadlo.html>
14. **VONDRUSKA**, Jamie. *Volkswagen Golf GT TSI – Supercharged and Turbocharged 1.4l* [Online] Vystaveno 29.8.2005 [cit. 2016-02-6]. Dostupné z: <http://www.vwvortex.com/news/volkswagen-news/volkswagen-golf-gt-tsi-supercharged-and-turbocharged-1-4l/>
15. **HONEYWELL**. *How A Turbo Works*. [Online] Vystaveno 2016a [cit. 2016-02-05]. Dostupné z: <https://garrett.honeywell.com/products/how-a-turbo-works/>
16. **HAVLÍN**, Roman. *HISTORIE: Peugeot 405 T16 - Ostře naladěný fešák, jenž je dnes raritou*. [Online] Vystaveno 18.11. 2015 [cit. 2016-02-5]. Dostupné z: <http://autoroad.cz/historie/74843-historie-peugeot-405-t16-dodnes-vyhledavana-exkluzivita>
17. **HONEYWELL** *Rotary Electric Actuator (REA)*. [Online] Vystaveno 2016b [cit. 2016-02-07]. Dostupné z: <https://turbo.honeywell.com/our-technologies/electric-actuation/>

18. **AET TURBOS**. *Turbo tech 101 – what is an intercooler and how does it work?* [Online] Vystaveno 22.10. 2014 [cit. 2016-02-25]. Dostupné z: <http://www.aet-turbos.co.uk/blog/story/turbo-tech-101-what-is-an-intercooler-and-how-does-it-work>
19. **TURBOSMART**. *How an Intercooler works*. [Online] Vystaveno 2016 [cit. 2016-02-25]. Dostupné z: <http://www.turbosmart.com.au/technical-articles/how-an-intercooler-works/>
20. **HOFMANN**, Karel. *Turbodmychadla, vozidlové turbíny a ventilátory*. 2. vyd. Brno: SNTL, 1985. 134 s.
21. **ŠRÁMEK**, Adam. *Zvýšení výkonu motoru vstřikováním vody: staré, účinné, přesto nerozšířené* [online] Vystaveno 15.02. 2013 [cit. 2016-02-08]. Dostupné z: <https://turbo.honeywell.com/whats-new-in-turbo/story/honeywell-vnt-creating-history-through-innovation/>
22. **HONEYWELL**. *Ball Bearing*. [Online] Vystaveno 2016c [cit. 2016-02-06]. Dostupné z: <https://turbo.honeywell.com/our-technologies/ball-bearing/>
23. **TWIN SCROLL TURBOCHARGERS**. [online]. Vystaveno 10.8. 2011 [cit. 2016-01-21]. Dostupné z: <https://performancespecialties.wordpress.com/2011/08/10/twin-scroll-turbochargers/>
24. **FORD MOTOR COMPANY**. *EcoBoost dostane z motoru maximum*. [online]. Vystaveno 2016 [cit. 2016-01-21]. Dostupné z: <http://www.ford.cz/Cars/NoveMondeo/Performance-and-efficiency>
25. **ŽÁK**, Dalibor. *Škoda se připravuje na tříválec 1.0 TSI*. [Online] Vystaveno 16.3. 2016 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/skoda-se-pripravuje-na-trivalec-10-tsi-octavii-uz-nekoupite-s-12-tsi-81-kw>

Seznam obrázků

Obrázek 4-1 p-V diagram	6
Obrázek 4-2 Výkonová charakteristika	8
Obrázek 6-1 Schéma přeplňování mechanickým kompresorem	13
Obrázek 6-2 Rootsovo dmychadlo	14
Obrázek 6-3 Lysholmovo dmychadlo.....	15
Obrázek 6-4 Radiální odstředivé dmychadlo.....	16
Obrázek 6-5 G-dmychadlo.....	17
Obrázek 6-6 Schéma přeplňování turbodmychadlem.....	18
Obrázek 6-7 Schéma regulace pomocí obtokové klapky.....	20
Obrázek 6-8 Turbodmychadlo VNT.....	21
Obrázek 6-9 Turbodmychadlo Garrett T25-VAT.....	23
Obrázek 6-10 Turbodmychadlo VGT.....	24
Obrázek 6-11 Schéma přeplňování Lancia Delta S4.....	27
Obrázek 6-12 Schéma přeplňování motoru 1.4TSI 125kw	28
Obrázek 6-13 Tlakovzdušný výměník Comprex	29
Obrázek 6-14 Pulzační sací potrubí s proměnnou délkou	31
Obrázek 6-15 Rezonanční sací potrubí šestiválcového motoru.....	32
Obrázek 7-1 Schéma chalzení stlačeného vzduchu mezichladičem vzduch-vzduch.....	34
Obrázek 7-2 Schéma chalzení stlačeného vzduchu mezichladičem voda-vzduch	35
Obrázek 8-1 Turbodmychadlo Twinscroll.....	38

Seznam tabulek

Tabulka 1-1 Technické parametry Škoda Octavia.....8

Přílohy

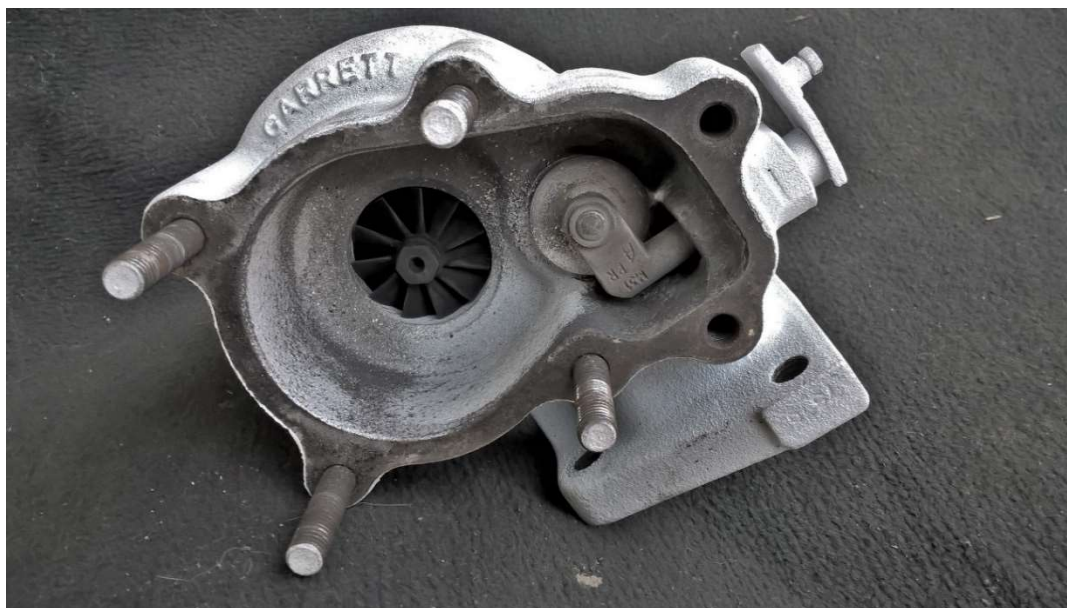
Příloha č.1: Stator Spirálového dmyhadla



BAR-TEK
MOTORSPORT

Zdroj: <http://www.bar-tek-tuning.com/G-Lader+auslass+haelfte+vw+neu.htm>

Příloha č.2: Turbínová část turbodmychadla Garrett T2 s obtokovou regulací.



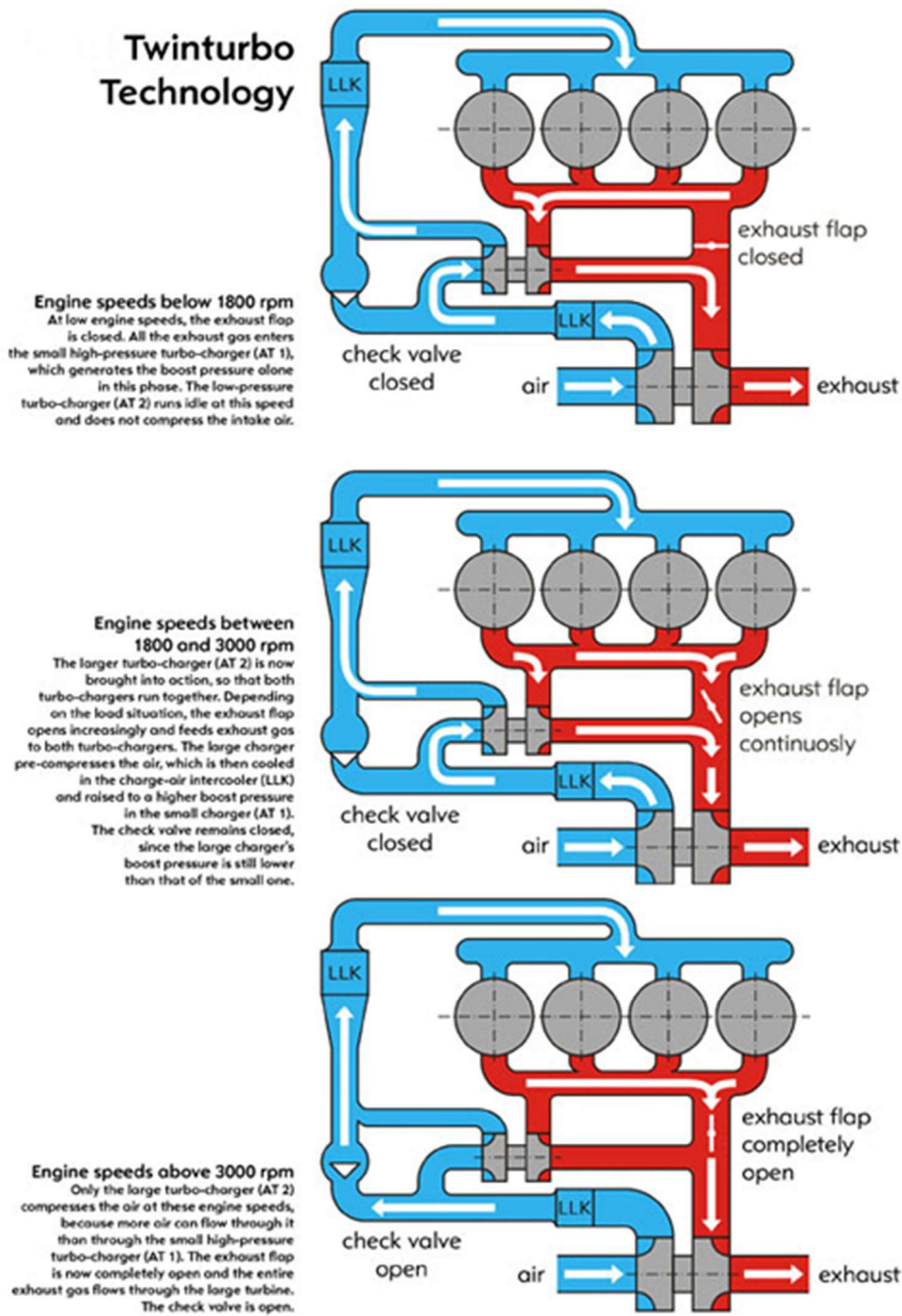
Příloha č.3: Regulace turbodmychadla Garrett VNT15 – nízké otáčky



Příloha č.4: Regulace turbodmychadla Garrett VNT15 – vysoké otáčky



Příloha č.5: Sekvenční přepřínování dvěma turbodmychadly



Zdroj: <http://banksinsider.news/2005/08/vacation-all-i-ever-wanted-or-dude-where-my-car/>