



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

TURBODMYCHADLA PRO SOUČASNÉ POHONNÉ JEDNOTKY

TURBOCHARGERS FOR PRESENT COMBUSTION ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ľuboš Šárfy

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Luboš Šárfy
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	Ing. Radim Dundálek, Ph.D.
Akademický rok:	2017/18

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

Turbodmychadla pro současné pohonné jednotky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Osvojení základních pojmů zadané problematiky. Zamyšlení nad perspektivou budoucího vývoje přeplňovaných benzínových a vznětových motorů zejména s ohledem na snižování škodlivin ve výfukových plynech.

Cíle bakalářské práce:

Uvedení přehledu pohonných jednotek, popis jejich konstrukčního řešení. Výhody a nevýhody s ohledem na plnění emisních limitů. Specifické součásti turbodmychadel. Příklady řešení u konkrétních pohonných jednotek.

Seznam doporučené literatury:

STONE, Richard. Introduction to Internal Combustion Engines. 3rd edition. Hampshire: Palgrave, 1999. ISBN 0-333-74013-01999.

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

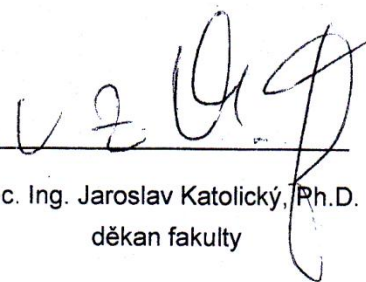
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 30. 10. 2017



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
ředitel ústavu

L. S.



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

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca je zameraná na prehľad turbodúchadiel súčasných pohonných jednotiek a ich konštrukčné riešenia. Bakalárska práca je odborná rešerš, ktorá v prvej časti nahliadne na históriu a princíp činnosti preplňovania. V druhej, hlavnej časti sa práca venuje spôsobu regulácie turbodúchadiel, viacstupňovému preplňovaniu, preplňovaniu twin-scroll a ich najnovším konštrukčným riešeniam v konkrétnych súčasných zážihových a vznetrových agregátoch. V poslednej časti práca popisuje jednotlivé časti turbodúchadiel a ich najčastejšie poruchy.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

turbodúchadlo, preplňovanie, wastegate, VNT, obtokový ventil, spaľovací motor, BMW, twin-scroll, quad turbo

ABSTRACT

This bachelor's thesis is focused on basic review of turbochargers present's drive units. Work is specialized search dealing in first part with history and process of supercharging. In second, main part work attends to boost control of turbochargers, multistage supercharging, twin-scroll supercharging and latest design solutions in concrete actual petrol and diesel engines. Final part describes individual parts of turbochargers and failures in use of turbochargers.

KEYWORDS

turbocharger, supercharging, wastegate, VNT, bypass valve, combustion engine, BMW, twin-scroll, quad turbo

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

Šárfy, L. *Turbodmychadla pro současné pohonné jednotky*. Brno, 2018. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Radim Dundálek.



ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že bakalárska práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Radima Dundálka, Ph.D a s použitím literatúry uvedenej v informačných zdrojoch.

V Brne dňa 25. mája 2018

.....

Luboš Šárfy

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D za jeho odborné vedenie, cenné rady a ústretovosť v priebehu konzultácií ohľadom bakalárskej práce.

OBSAH

Úvod	10
1 Oboznámenie s turbodúchadlami	11
1.1 Historický vývin	11
1.2 Princíp preplňovania	13
2 Regulácia turbodúchadiel	15
2.1 Regulácia obtokovým ventilom (wastegate).....	15
2.1.1 Popis činnosti regulácie	15
2.1.2 Motor 1.0 TSI rady EA211	16
2.2 Regulácia natočením lopatiek turbíny	18
2.2.1 Popis činnosti regulácie	18
2.2.2 Motor 2.0 TDI (EA288)	19
3 Viacstupňové preplňovanie	21
3.1 2 turbodúchadlá zapojené sériovo.....	21
3.1.1 Princíp činnosti	21
3.1.2 Motor 3.0 TDI Biturbo (CGQB)	21
3.2 2 Turbodúchadlá zapojené paralelne	26
3.3 3 Turbodúchadlá - BMW N57S Triple turbo.....	26
3.4 4 Turbodúchadlá - BMW B57D30C Quad turbo.....	28
4 Systém preplňovania Twin- Scroll	31
4.1 Princíp činnosti	31
4.2 Motor BMW B58.....	32
5 Konštrukcia turbodúchadiel.....	34
5.1 Turbínová časť	35
5.1.1 Turbínové koleso	36
5.1.2 Turbínová skriňa.....	37
5.2 Kompresorová časť	38
5.2.1 Kompresorové koleso	39
5.2.2 Kompresorová skriňa.....	39
5.3 Ložisková časť	40
5.3.1 Ložisková skriňa.....	40
5.3.2 Klzné ložiská	40
5.3.3 Guličkové ložiská	41
6 Poruchy turbodúchadiel.....	42
6.1 Vniknutie cudzieho telesa do turbínovej časti	42
6.2 Vniknutie cudzieho telesa do kompresorovej časti.....	42

6.3	Nedostatok mazacieho oleja	43
6.4	Výskyt nečistôt v motorovom oleji.....	44
	Záver.....	45
	Zoznam použitých skratiek a symbolov	50

ÚVOD

Spaľovacie motory sú v rôznych typoch a modifikáciách využívané už dlhé roky. Vývoj automobilov je od počiatku zameraný na modernizáciu a inováciu motorov, čo znamenalo zvyšovanie výkonu, krútiaceho momentu, znižovanie spotreby a hmotnosti motora. Spôsob preplňovania, ktorým sa budem zaoberať, je preplňovanie pomocou turbodúchadla.

Preplňovanie je zabezpečené privedením väčšej dávky stlačeného vzduchu do spaľovacieho priestoru motora a taktiež väčšej dávky paliva za jednotku času. Preplňovanie turbodúchadlom, ktoré budem riešiť v mojej bakalárskej práci využíva energiu výfukových plynov. V dnešnej dobe ponúka takmer každý výrobca model preplňovaný turbodúchadlom, čím dokáže uspokojiť zákazníkov zlepšením parametrov automobilov po stránke výkonu alebo spotreby paliva.

Cieľom mojej bakalárskej práce je popísať princíp fungovania preplňovania turbodúchadlom a uviesť prehľad konkrétnych pohonných jednotiek. V prvej časti je rozobraná história a bližšie popísaný princíp preplňovania pomocou turbodúchadla. Druhá časť rieši reguláciu plniaceho tlaku turbodúchadiel ako najdôležitejším faktorom pre poskytnutie optimálnej funkcie turbodúchadla. Taktiež uvedie riešenia konkrétnych pohonných jednotiek. Tretia časť je venovaná viacstupňovému preplňovaniu a preplňovaniu pomocou twins-scroll turbodúchadla. Nazrie do princípu činnosti a oboznámi so súčasnými konkrétnymi modelmi. V poslednej časti práca rieši a bližšie opisuje konštrukciu základných častí turbodúchadiel a ich najčastejšie poruchy.

Bakalárska práca si stanovuje za úlohu oboznámiť čitateľa s preplňovaním pomocou turbodúchadla. Čitateľovi pomôže na zistenie ako samotné turbodúchadlo funguje popis funkcie jednotlivých typov turbodúchadiel, princíp regulácie plniaceho tlaku, konštrukčné riešenie a uvedenie konkrétnych typov pohonných jednotiek.

1 OBOZNÁMENIE S TURBODÚCHADLAMI

Výkon spaľovacieho motora závisí na množstve privedeného paliva a vzduchu ku spáleniu. Výkon u nepreplňovaného motora je možné zvýšiť zväčšením zdvihového objemu, zvýšením otáčok alebo zlepšením plnenia valcov, čo je z hmotnostného a technického hľadiska neefektívne. Elegantné riešenie zvýšenia výkonu je preplňovanie turbodúchadlom, u ktorého sa do motora dostáva väčšie množstvo vzduchu a taktiež paliva, čo má za dôsledok zvýšenie výkonu motora alebo zmenšenie rozmerov motora pri totožnom výkone [1].

1.1 HISTORICKÝ VÝVIN

Pojem turbodúchadlo a preplňovanie bolo prvýkrát používané na prelome 19. a 20. storočia Gottliebom Daimlerom a Rudolfom Dieselom. Pokúšali sa stlačiť vzduch nasávaný do motora a tým dosiahnuť zvýšenie výkonu motora pri znižovaní spotreby paliva [2]. Samotné turbodúchadlo vyvinul švajčiarsky inžinier Alfred Büchi, ktorý na použitie kompresora poháňaného výfukovými prúdiacimi plynmi získal patent v roku 1905 [3]. Büchiho patent neopisoval turbodúchadlo ako ho poznáme dnes, ale skôr ako axiálnu turbínu a kompresor, ktoré boli na spoločnom hriadeli s motorom, ktorý poháňali. Nápad nemal v tejto dobe úspech [3].

V dvadsiatych rokoch minulého storočia bola začatá sériová výroba turbodúchadiel. Používalo sa v nákladných lodiach a neskôr v dieselových lokomotívach. Cez a po 2. svetovej vojne nastal rozmach. Do popredia sa dostala firma Garrett AirResearch – výrobca turbodúchadiel Garrett (dnes Honeywell) a Kuhnle, Kopp & Kausch (KK&K). Už po prvej svetovej bolo používané turbodúchadlo u pretekárskych špeciálov. Louis Schwitzer založil firmu, ktorá dodávala turbodúchadlá pre stroje Caterpillar a Cummins. Neskôr sa firma KK&K a Schwitzer spojili a vytvorili druhú najväčšiu firmu na výrobu turbodúchadiel: BorgWarner Turbo & Emissions Systems [5].



Obr. 1.1 Model Schwitzer-BorgWarner S3 (vľavo) a starší model turba zo 60tych rokov (vpravo) [3].

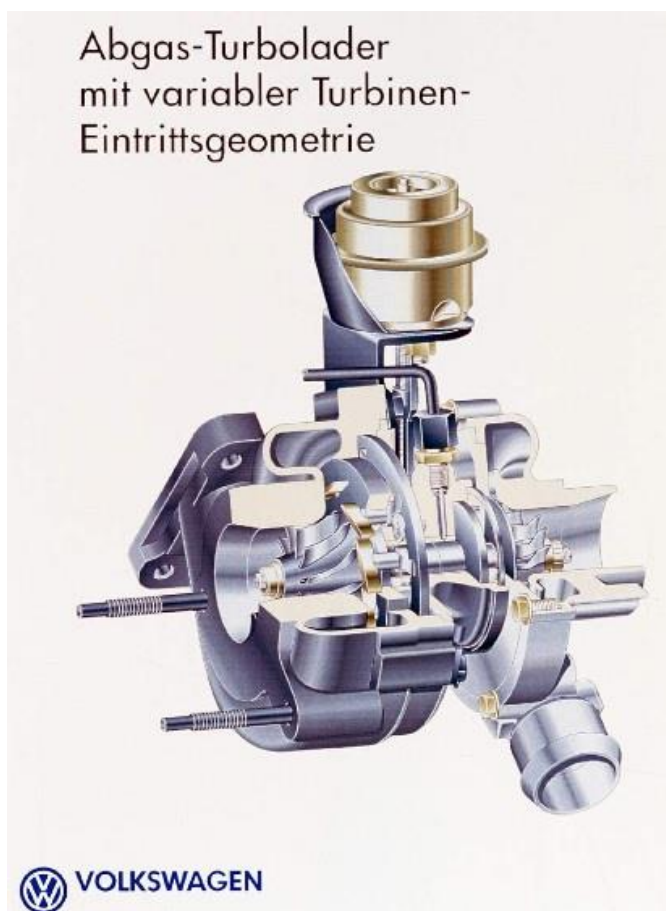
Automobilka Porsche uviedla v roku 1975 na trh model 911 Turbo, ktoré je dodnes vrcholovým reprezentantom rady 911. Taktiež SAAB predstavil v roku 1976 prvý preplňovaný štvorvalcový agregát [6].



Obr. 1.2 Agregát modelu 911 Turbo automobilky Porsche [6].

V roku 1978 nastal prelom v preplňovaní turbodúchadlami. Automobilka Mercedes predstavila prvý sériovo vyrábaný preplňovaný vznetový model 300 SD. V roku 1981 nasledovala automobilka Volkswagen s modelom Golf prvej generácie. V 90-tych rokoch prišli motory TDI s variabilnou geometriou lopatiek turbodúchadla [2],[6].

Od tohto momentu je preplňovanie turbodúchadlom samozrejmosťou u každého výrobcu automobilov. Vďaka turbodúchadlám sa dosahuje väčších výkonov, nižšej spotreby a menším emisiám CO₂. Dnešným trendom výrobcov automobilov je znižovanie objemu motoru pri zachovaní rovnakého výkonu - downsizing [2],[6].



Obr. 1.3 Model variabilného naklápania lopatiek turbodúchadla navrhnutý firmou Volkswagen [6].

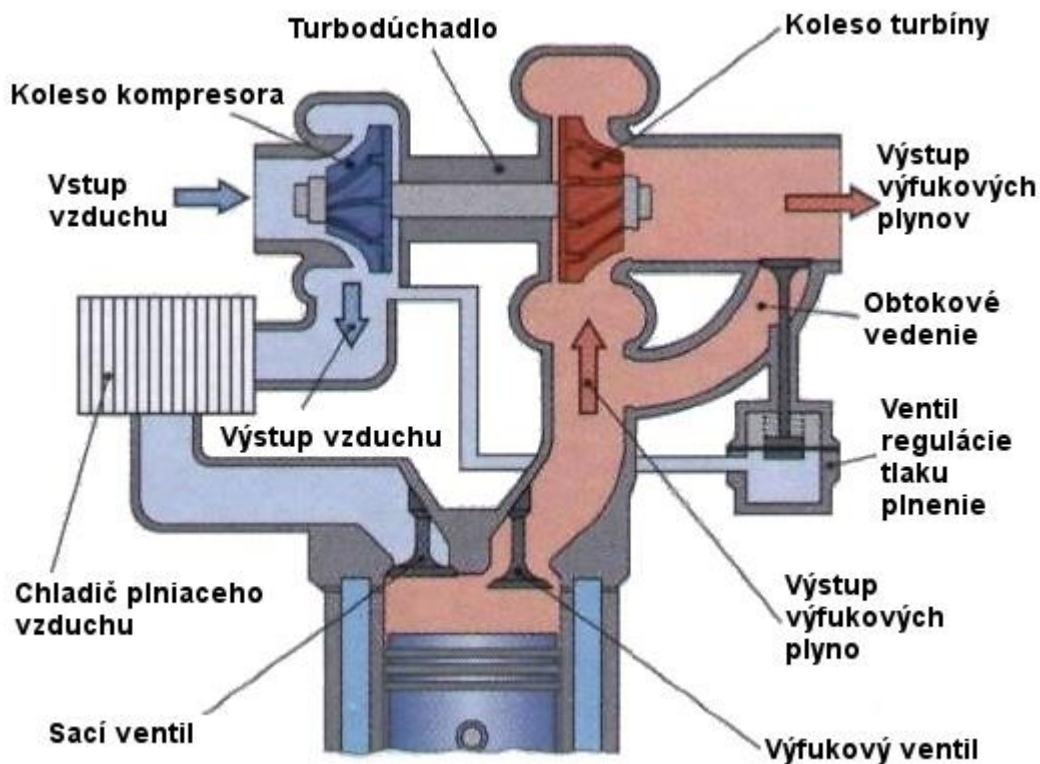
1.2 PRINCÍP PREPLŇOVANIA

Preplňovanie turbodúchadlom je spôsob preplňovania, v ktorom je kompresor poháňaný turbínou a využíva výfukové plyny motoru. K pohonu sa tak využije energia odchádzajúcich výfukových plynov, ktorá by inak nebola využitá. Pracovné spojenie turbodúchadla so spaľovacím motorom je výhodné aj preto, že s rastúcim zaťažením motora sa zväčší množstvo, tlak a teplota výfukových plynov. Tým sa automaticky zväčšia otáčky turbodúchadla a stúpne plniaci tlak [7],[8].

Stlačením vzduchu na vstupe do motora sa hmotnostný prietok vzduchu zvyšuje a môže dôjsť k odpovedajúcemu zvýšeniu prietoku paliva. To vedie k zvýšeniu výkonu a zvyčajne ku zlepšeniu efektívnosti pretože mechanické straty v motore nie sú závislé na výslednom výkone. Zlepšenie efektívnosti nakoniec závisí od účinnosti a druhu turbodúchadla [7],[8].

Motory automobilov vyžadujú potrebný tlak v celom pomerne širokom rozmedzí prevádzkových otáčok. Preto je turbodúchadlo navrhované pre pôsobenie už v nízkych otáčkach, aby pri vysokých otáčkach a veľkom zaťažení nedošlo k detonačnému horeniu. Na reguláciu tohto tlaku sa používajú rôzne mechanizmy, ktorými sa časť výfukových plynov vypúšťa obtokovým ventilom mimo turbínu [7],[8].

Turbodúchadlá umožňujú dosiahnuť pri motore s malým objemom vysoké krútiacie momenty a výkony s dobrou účinnosťou. V porovnaní s atmosféricky plneným motorom rovnakého výkonu je preplňovaný motor konštrukčne menší a má preto väčšiu výkonovú hmotnosť [9].



Obr. 1.4 Schéma preplňovania turbodúchadlom [5].

Turbodúchadlo sa skladá z dvoch prúdových strojov – turbíny a kompresora. Ich obežné kolesá sú umiestnené na spoločnom hriadeli. Výfuková turbína prevádza časť energie výfukových plynov na rotačnú energiu a poháňa kompresor. Kompresor nasáva čerstvý vzduch a dopravuje ho s určitým pretlakom cez chladič plniaceho vzduchu (intercooler) až k saciemu ventilu do motoru. Ochladením stlačeného vzduchu sa zvyšuje plniaca účinnosť motoru [9].

2 REGULÁCIA TURBODÚCHADIEL

Počet otáčok turbodúchadla, na ktorých závisí tlak a množstvo plniaceho vzduchu sa samočinne reguluje v závislosti na zaťažení agregátu pomocou množstva a tlaku výfukových spalín. Nevýhodou preplňovania pomocou turbodúchadla je vznik „turboefektu“ – zmeškanej reakcie motoru pri stlačení plynového pedálu. Pomocou regulácie je možné riadiť otáčky rotora turbodúchadla a regulovať plniaci tlak v závislosti na zaťažení motora, čím je možné dosiahnuť preplňovanie turbodúchadla v čo najširšom rozmedzí otáčok [1].

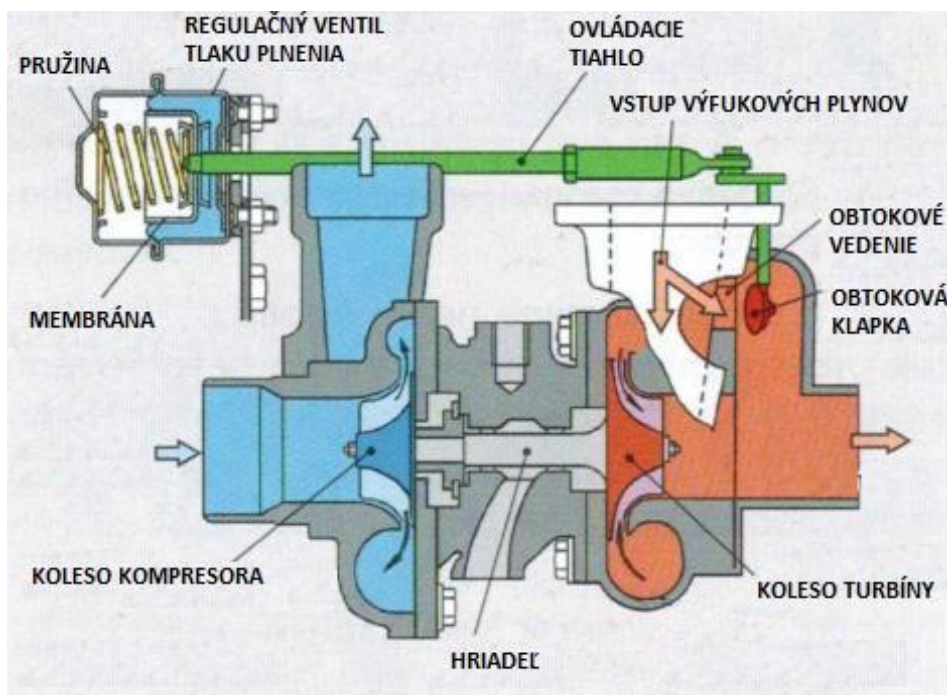
2.1 REGULÁCIA OBTOKOVÝM VENTILOM (WASTEGATE)

Regulácia pomocou wastegate ventilu je najčastejšia regulácia u zážihových motorov [1].

2.1.1 POPIS ČINNOSTI REGULÁCIE

Turbodúchadlo je navrhované tak, aby dodávalo veľké množstvo vzduchu už pri nízkych otáčkach motora [1]. Pomocou obtokového ventilu sa odvádzajú nadbytočné výfukové plyny pri vyšších otáčkach motora. Otváranie wastegate ventilu sa reguluje tlakom v sacom potrubí [6]. Ventil môže byť regulovaný pneumaticky alebo elektricky [1].

Plniaci tlak pôsobí proti sile pružiny na membránu tlakového snímača. Pri prekonaní predpätia pružiny sa otvorí ventil a odpustia sa výfukové plyny [10]. Obtokom výfukových plynov sa účinnosť turbodúchadla zníži [1].

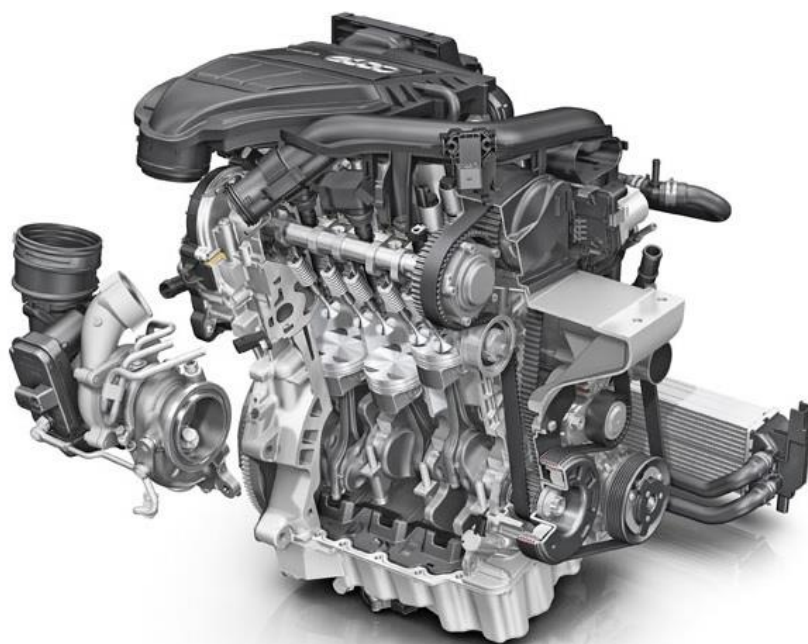


Obr. 2.1 Schéma turbodúchadla s wastegate ventilom [10].

2.1.2 MOTOR 1.0 TSI RADY EA211

Nemecký koncern Volkswagen predstavil tento trojvalcový agregát v roku 2015. Motor nahradil predchádzajúci štvorvalcový 1.2 TSI. Vyrába sa vo výkonových verziách 63 kW (160 Nm) a 85 kW (200 Nm). Motor má najmenší zdvihový objem z rady motorov TSI. Výfukové zvody sú integrované v hlave valcov a sú chladené chladiacou kvapalinou motora rovnako ako turbodúchadlo a katalyzátor [11].

Prvýkrát je u motora rady EA211 použité vysokotlakové vstrekovanie benzínu s maximálnym vstrekovacím tlakom 25 MPa [12].



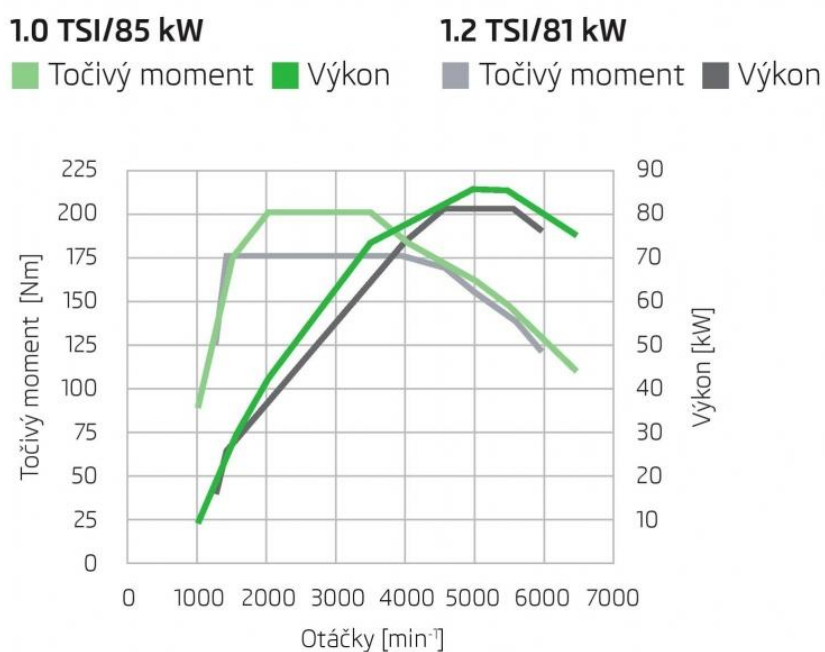
Obr. 2.2 Trojvalcový motor TSI s turbodúchadlom a priamym vstrekaním [12].

Preplňovanie s maximálnym plniacim tlakom až 160 kPa motoru zaisťuje jednoduché turbodúchadlo s jedným privodným kanálom a vysokou účinnosťou. Turbínová skriňa je u výkonnejšej verzii vyrobená z odolnejšej austenitickej ocele. Elektricky ovládaný obtokový ventil reguluje hodnotu plniaceho tlaku. V sacom potrubí je medzichladič stlačeného vzduchu, senzor tlaku a teploty nasávaného vzduchu [12]. Turbodúchadlo vydrží teplotu 1050 °C [11].



Obr. 2.3 Vodou chladené turbodúchadlo s obtokovým ventilom motoru 1.0 TSI [12].

Výhodou motoru 1.0 TSI je nižšia spotreba, nižšie emisie CO₂ a väčšie zrýchlenie, pružnosť, výkon, točivý moment, viď obr. 2.4 [13].



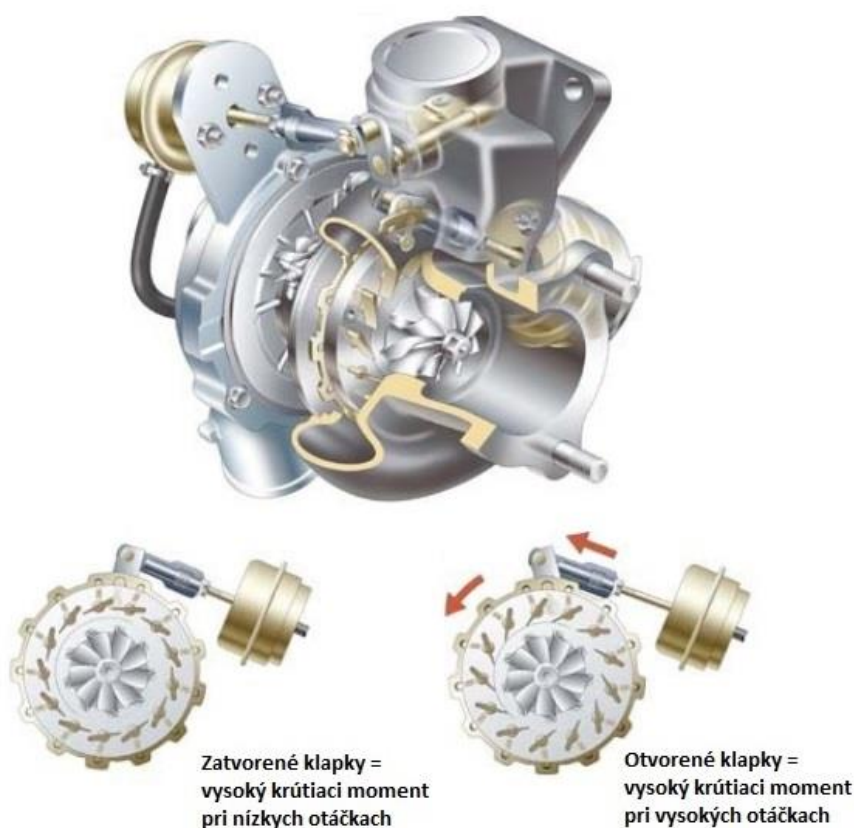
Obr. 2.4 Graf výkonových kriviek motoru 1.0 TSI a jeho predchodcu 1.2 TSI [13].

2.2 REGULÁCIA NATOČENÍM LOPATIEK TURBÍN

Tento typ regulácie je z pohľadu účinnosti a výkonu najvýhodnejšie riešenie [9].

2.2.1 POPIS ČINNOSTI REGULÁCIE

Tento typ regulácie nie je rozšírený u zážihových motorov z dôvodu vysokých teplôt. Pri turbodúchadle je regulovaný plniaci tlak pomocou nastavenia rozvádzačích lopatiek. Regulácia vychádza z rovnice kontinuity toku tekutiny – konštantný objem plynu prúdi rýchlejšie pri menšom priereze potrubia. Turbodúchadlom prechádza celý objem výfukových plynov neustále, na rozdiel od regulácie pomocou obtokového ventilu [9].



Obr 2.5 Variabilné turbodúchadlo u motoru Volvo D5 [14].

Turbodúchadlo s premenlivou geometriou lopatiek sa rýchlejšie roztáča a tým sa zníži oneskorenie pri reakcii na plyn. Na obr. 2.5 je vidieť reguláciu výfukových plynov prechádzajúcich cez turbínové koleso pomocou lopatiek, ktoré sa otvárajú a zatvárajú. Pri nízkych otáčkach motora sa lopatky s premenlivou geometriou zatvoria, čím sa zvýši výkon a tlak turbodúchadla. Pri vyšších otáčkach motora sa lopatky otvoria, maximalizuje sa prietok výfukových plynov, čím sa zabráni prekročeniu rýchlosti otáčania turbodúchadla a udržiava sa potrebný plniaci tlak motora. VNT turbodúchadlo dosahuje väčšie hodnoty krútiacich momentov hlavne v nižších otáčkach a celkový vyšší výkon vo väčšom spektre otáčok [15].

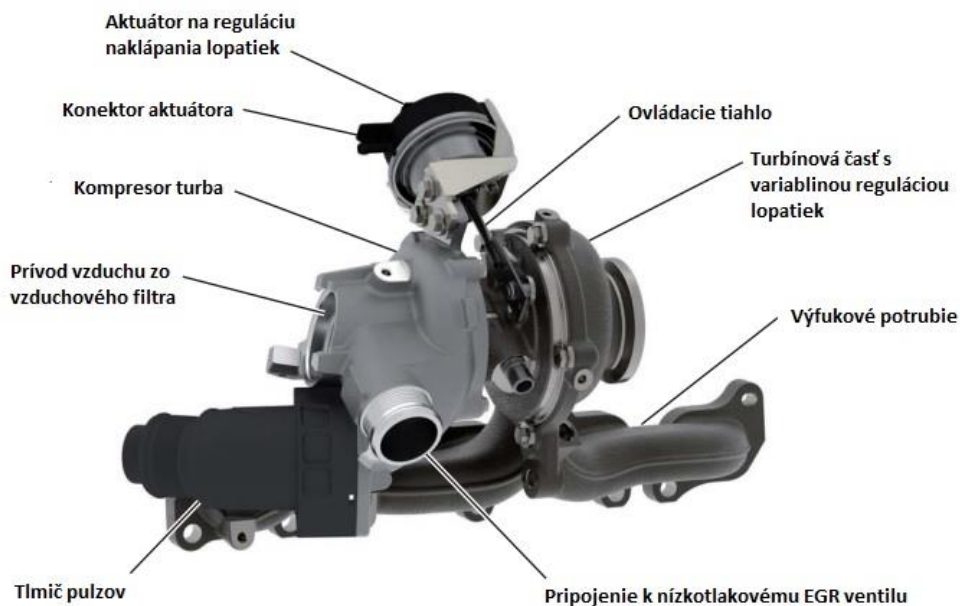
2.2.2 Motor 2.0 TDI (EA288)

V roku 2015 bola skupinou Volkswagen predstavená nová a zatiaľ posledná rada dieselových štvorvalcových motorov EA288 ako nástupca rady EA189 [16]. Nový TDI motor používaný vo vozoch Audi, Volkswagen a Škoda je turbodúchadlom preplňovaný, štvorvalcový motor s priamym vstrekaním paliva common rail. Vyrába sa v rôznych výkonových a objemových variantách (1.6 l, 2.0 l) [17].



Obr. 2.6 Motor 2.0 TDI 110 kW [16].

Turbodúchadlo je integrované do výfukového potrubia a obsahuje naklápacie lopatky, pomocou ktorých sa reguluje tok výfukových plynov vchádzajúcich na turbínové koleso. Turbodúchadlo s variabilnou geometriou lopatiek poskytuje optimálny tlak počas celého rozsahu otáčok motora. Aktuátor, ktorý je spojený s turbínou a upravuje naklápanie lopatiek, je poháňaný elektro-pneumaticky [16]. Intercooler je súčasťou sacieho potrubia a spolu so samostatným chladiacim okruhom skracuje cestu medzi turbodúchadlom a valcami, čím znižuje efekt turbo-lagu [18].



Obr. 2.7 Popis častí turbodúchadla motoru 2.0 TDI 110 kW [16].

V tab. 1 je porovnanie súčasného motoru 2.0 TDI (2.0 l = 2000 cm³) 110 kW EA288 a jeho predchodcu 2.0 TDI 103 kW EA189. Agregát EA288 disponuje znížením emisií použitím komplexného systému cirkulácie výfukových plynov pomocou vysokotlakového EGR, chladeného nízkotlakového EGR ventilu a zabudovaním integrovaného intercooleru [17].

Tab. 1 Porovnanie motoru 2.0 TDI EA288 a jeho predchodcu [17]

	EA189 2.0 l 103 kW	EA288 2.0 l 110 kW
Typ motora	4-valcový	4-valcový
Objem motora	1968 cm ³	1968 cm ³
Kompresný pomer	16,5:1	16,2:1
Vrtanie / zdvih	81,0/95,5 mm	81,0/95,5 mm
Kompresný pomer	16,5	16,2
Výkon	103 kW pri 4000 [min ⁻¹]	110 kW pri 3500 - 4000 [min ⁻¹]
Maximálny točivý moment	320 Nm: 1750 - 2500 [min ⁻¹]	320 Nm: 1750 - 3000 [min ⁻¹]
Emisná norma	Euro 5	Euro 6

3 VIACSTUPŇOVÉ PREPLŇOVANIE

3.1 2 TURBODÚCHADLÁ ZAPOJENÉ SÉRIOVO

3.1.1 PRINCÍP ČINNOSTI

Pri sériovom zapojení 2 turbodúchadiel pracuje spolu malé vysokotlakové s väčším nízkotlakovým turbodúchadlom. Prietok plynu medzi turbodúchadlami je riadený pomocou obtokových ventilov, ktoré sa regulujú pomocou otáčok agregátu. Pri nízkych otáčkach do 1500 min^{-1} pracujú obe turbodúchadlá sériovo so zavretými obtokovými ventilmi, čo poskytuje zvýšenie tlaku a krútiaceho momentu. Po prekonaní 1500 min^{-1} stále pracujú turbodúchadlá spoločne, obtokový ventil dodáva viac výfukových plynov do nízkotlakového turbodúchadla až do 2800 min^{-1} . Pri týchto otáčkach sú obidva obtokové ventily otvorené a dodávajú plyny len na väčšie nízkotlakové turbodúchadlo [19].

Sériové dvojstupňové preplňovanie pomocou vysokotlakového variabilného a nízkotlakového obtokového turbodúchadla ponúka flexibilitu znižovania spotreby paliva pri znižovaní objemu motora alebo zvyšovania výkonu na existujúcu platformu motora s dodržaním emisných noriem. V roku 2011 spoločnosť Honeywell predstavila prvé svetovo vyrábané dvojstupňové sériové turbodúchadlo pre V6 dieselový motor Audi A7 [19].

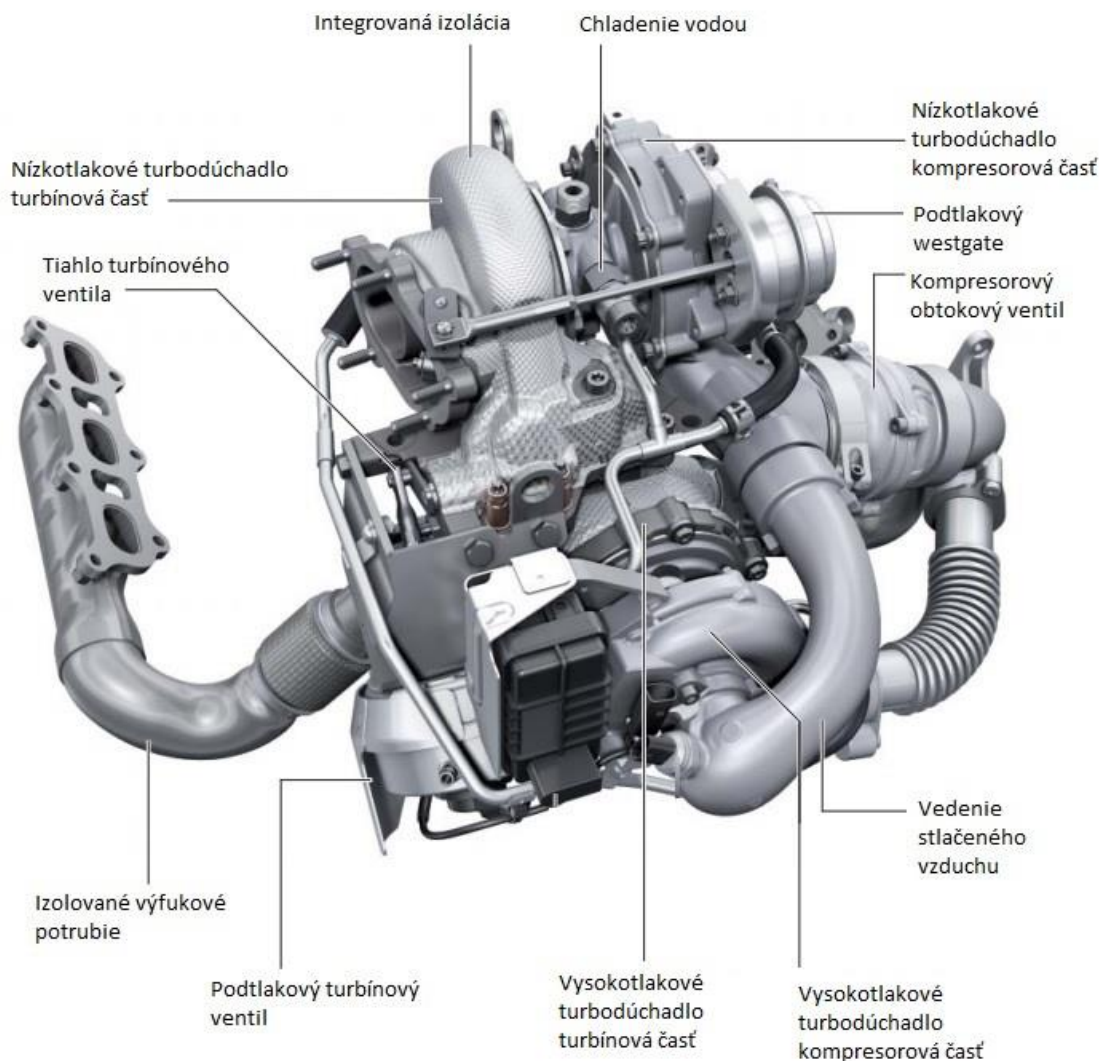
3.1.2 MOTOR 3.0 TDI BITURBO (CGQB)

Automobilka Audi predstavila Motor 3.0 TDI Biturbo ako nástupcu štandardného 6-valcového motora 3.0 TDI V6. Biturbo obsahuje dve rozdielne turbodúchadlá a disponuje výkonom 230 kW a 650 Nm. Motor má valce usporiadané v tvare V s rozovretím 90° . Oproti predchodcovi má agregát o 30 kg menšiu hmotnosť, zjednodušený rozvod, zdvojnásobené sacie potrubie s centrálnou víriacou klapkou a dve turbodúchadlá, vďaka ktorým je agregát schopný pracovať vo väčšom spektre otáčok [20].



Obr. 3.1 Motor 3.0 TDI Biturbo (Audi A7) [21].

Vysokotlakové a nízkotlakové turbodúchadlá sú zapojené sériovo na výfukovej časti. Vysokotlakové turbodúchadlo je umiestnené 90° pred motorom a nízkotlakové je umiestnené v zadnej časti [21]. Medzi vodou chladenými turbodúchadlami je ventil, ktorý riadi preplňovanie motora [22].

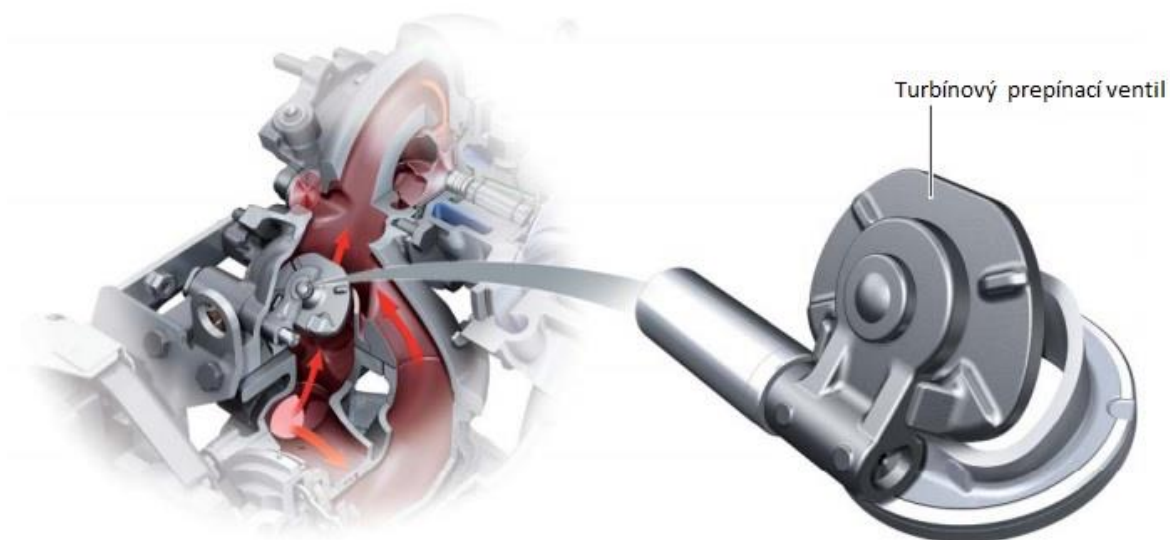


Obr. 3.2 Popis turbodúchadiel motora 3.0 TDI Biturbo [21].

Turbínová časť vysokotlakového turbodúchadla je používaná na distribúciu hmotnostných tokov výfukových plynov. Zahŕňa prírubu na pripojenie výfukového potrubia a prírubu pre obtokový ventil. Chladiaca kvapalina a olej sú dodávané priamo z bloku valcov [21].

TURBÍNOVÝ PREPÍNAČÍ VENTIL

Vysokotlakové malé turbodúchadlo slúži na zvýšenie tlaku pri nízkych otáčkach a nízkotlakové väčšie turbodúchadlo slúži pre väčší výkon nad 3500 min^{-1} [23]. Prepínací ventil, pomocou ktorého sú prepojené obidve turbodúchadlá je pri nízkych otáčkach zatvorený. Pri cca 2500 min^{-1} sa ventil začne otvárať a vysokotlakové turbodúchadlo začne prevádzať čoraz viac práce na nízkotlakové turbodúchadlo. Od 3500 min^{-1} do 4000 min^{-1} sa ventil úplne otvorí a pracuje iba veľké nízkotlakové turbodúchadlo [22].

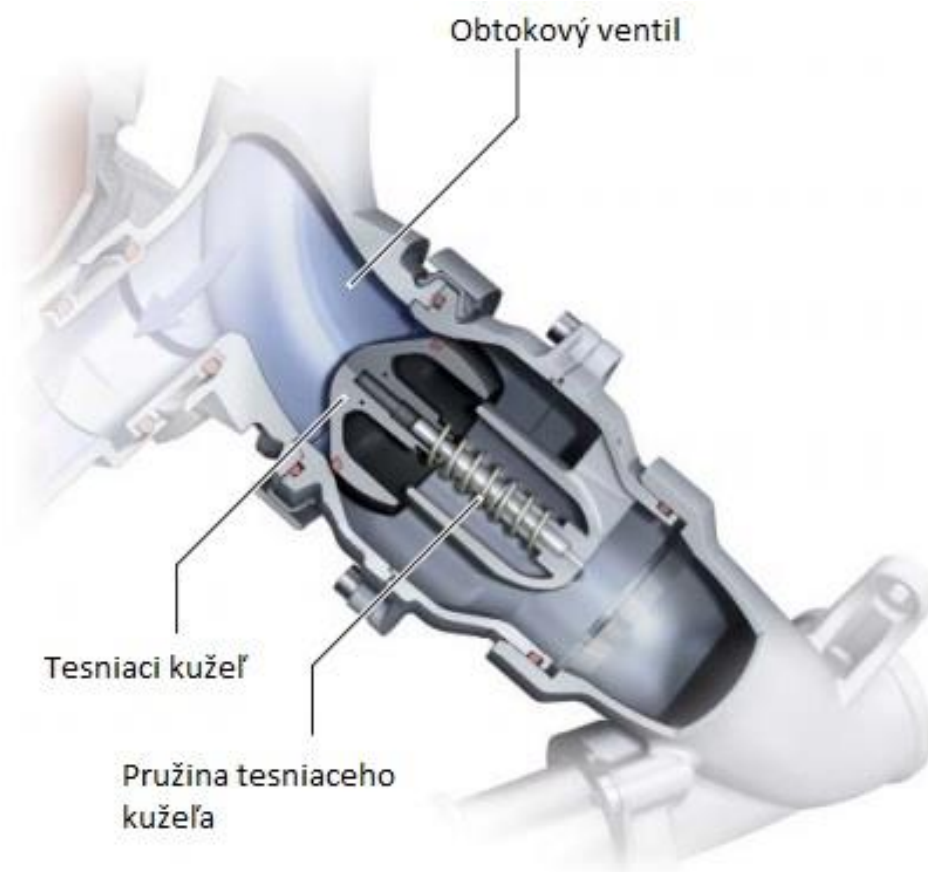


Obr. 3.3 Turbínový prepínací ventil 3.0 TDI Biturbo [21].

Turbínový prepínací ventil je umiestnený v skrini nízkotlakového turbodúchadla a je ovládaný pomocou podtlakového ventilu. Reguluje tok výfukových plynov na obidvoch turbodúchadlách v závislosti na zaťažení. Pri nízkych otáčkach smeruje turbínový prepínací ventil výfukové plyny na vysokotlakové turbodúchadlo. Pokiaľ je ventil len čiastočne otvorený, dodávajú sa plyny na nízkotlakové turbodúchadlo, čo vedie k tomu, že nízkotlakové turbodúchadlo vždy dodáva pretlakový vzduch do vysokotlakového turbodúchadla. Turbínový prepínací ventil slúži ako aktuátor a reguluje plniaci tlak pri 2300 až 3400 min^{-1} [21].

OBOKOVÝ VENTIL KOMPRESORU

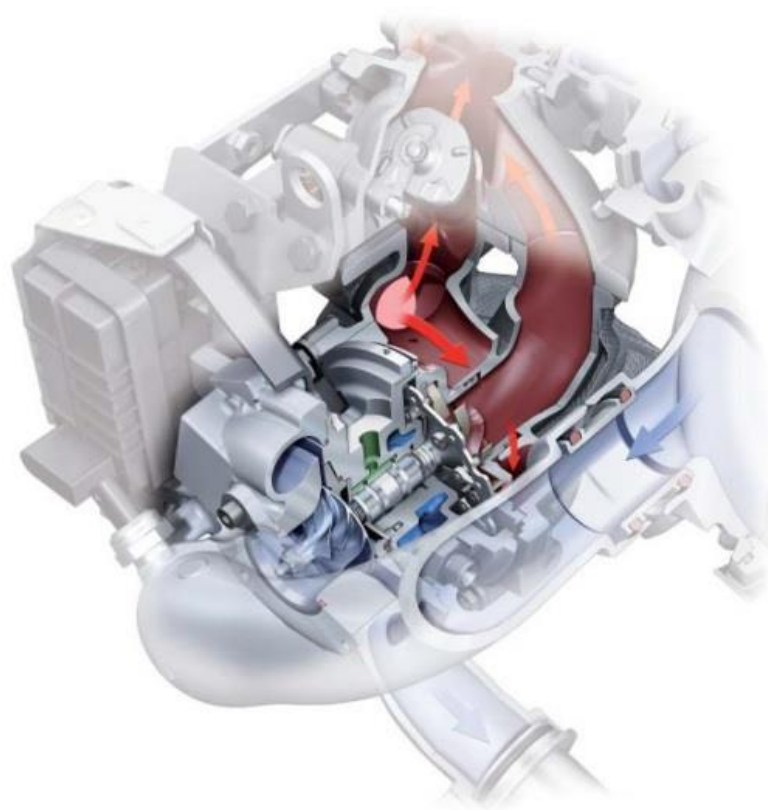
Ventil je zapojený paralelne s vysokotlakovým turbodúchadlom. Pri plnom otvorení turbínového prepínacieho ventilu sa obtokový ventil otvorí, čím sa vyrovná tlak medzi nízkotlakovým a vysokotlakovým turbodúchadlom a uvoľní cesta do sacieho potrubia. Komponenty obtokového ventilu kompresoru sú tesniaci kužel s tvarom optimalizovaného prietoku a pružina tesniaceho kužeľa [21].



Obr. 3.4 Obtokový ventil [21].

VYSOKOTLAKOVÉ TURBODÚCHADLO

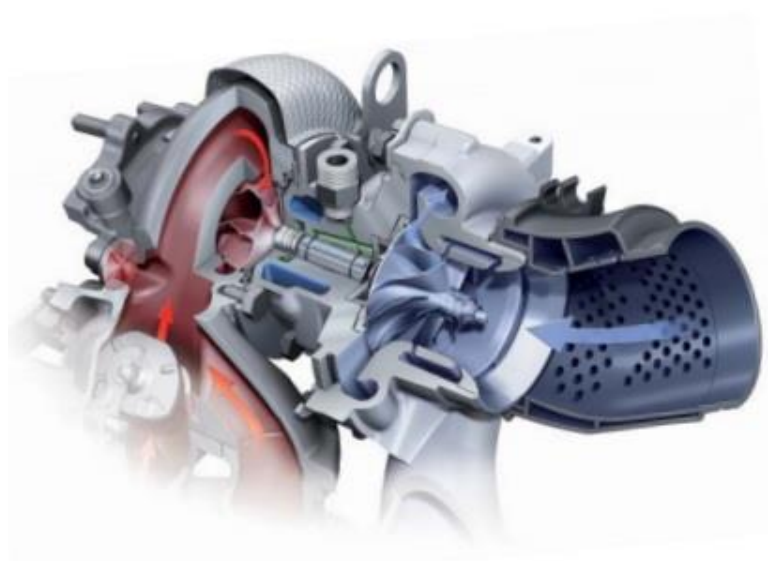
Turbodúchadlo pracujúce podľa zaťaženia až do 2300 min^{-1} a má lopatky s variabilnou geometriou (VGT), ktoré poháňajú pomocou výfukových plynov turbínu optimálne podľa požiadaviek. Turbodúchadlo je umiestnené na obidvoch výfukových potrubiach a produkuje požadovaný tlak až do 3,2 baru ($3.2 \text{ bar} = 0.32 \text{ MPa}$) [21].



Obr. 3.5 Vysokotlakové turbodúchadlo [21].

NÍZKOTLAKOVÉ TURBODÚCHADLO

Nízkotlakové turbodúchadlo s pevnou geometriou lopatiek je nainštalované za vysokotlakovým turbodúchadlom. Časti turbodúchadla sú turbínová, kompresorová, ložisková časť, wastegate ventil a turbínový prepínací ventil [21].



Obr 3.6 Nízkotlakové turbodúchadlo [21].

3.2 2 TURBODÚCHADLÁ ZAPOJENÉ PARALELNE

Technológia bola firmou Honeywell prvýkrát uvedená v roku 2006 a dodnes sa používa medzi výrobcami automobilov kvôli výhode zvýšenia výkonu, úspory paliva a emisií. Daná technológia sa používa pre vznetrové motory, pričom paralelne dvojstupňové preplňovanie docieľuje rovnováhu medzi výkonom, úsporou paliva a reguláciou emisií [24].

Turbodúchadlá pracujú postupne. Od naštartovania do 2400 min^{-1} pracuje primárne turbodúchadlo – lopatky sa natáčajú od úplne zatvorenej polohy až po úplné otvorenie. Turbínový a kompresorový vypúšťací ventil sú zatvorené. Kompresorový cirkulačný ventil je otvorený [24].

V rozmedzí 2400 až 2800 min^{-1} sa aktivuje druhé turbodúchadlo. Turbínový a kompresorový vypúšťací ventil sa otvorí, zatiaľ čo kompresorový recirkulačný ventil sa začne zatvárať. Lopatky sa mierne zatvoria z potreby zvýšenia tlaku počas zmeny a následne sa znovu otvoria [24].

Pri prekročení 2800 min^{-1} sú lopatky úplne otvorené. Turbínový ventil ostáva otvorený, kompresorový cirkulačný ventil sa zatvorí a kompresorový vypúšťací ventil sa otvorí [24].

3.3 3 TURBODÚCHADLÁ - BMW N57S TRIPLE TURBO

V roku 2012 predstavila automobilka BMW nové agregáty do športovej rady M Performance. Trojlitrový dieselový motor s trojicou turbodúchadiel a priamym vstrekaním nafty common-rail s pomocou piezoelektrických vstrekačov. Disponuje výkonom 280 kW a 740 Nm a nachádza sa v modeloch M550d, M550d Touring, X5 M50d a X6 M50d v prevedení s pohonom všetkých kolies xDrive [25].

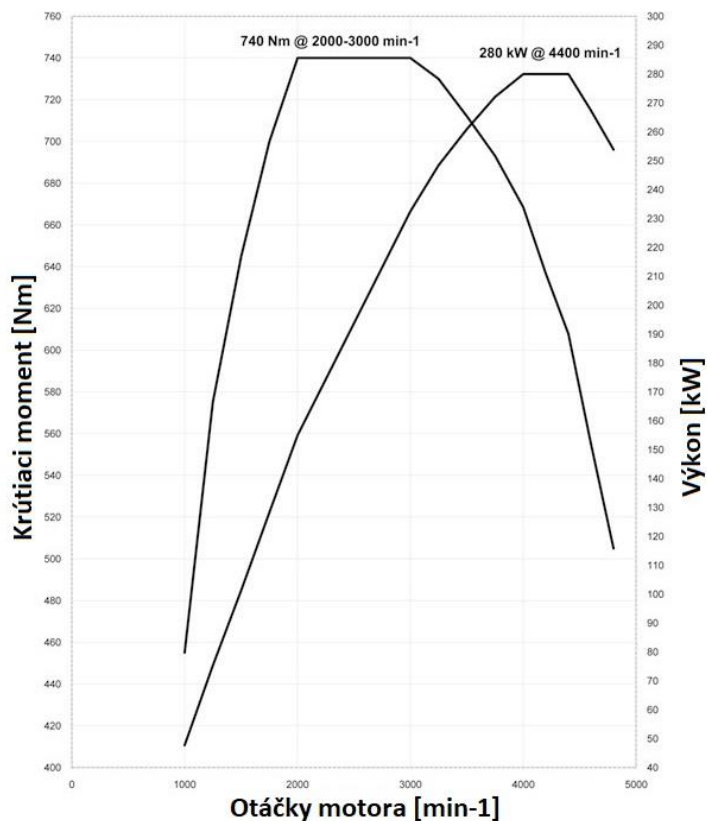


Obr. 3.7 Agregát N57S [25].

Agregát používa dve menšie turbodúchadlá a jedno väčšie. Prvé menšie turbodúchadlo s variabilnou geometriou lopatiek zabezpečí plniaci tlak v nízkych otáčkach až do 1500 min^{-1} a tým dodá motoru vysoký krútiaci moment už pri malých otáčkach.

V cca 2000 min⁻¹ sa pripojujú veľké turbodúchadlo so stálou geometriou lopatiek. Druhé malé turbodúchadlo s variabilnou geometriou pracuje od 2500 min⁻¹.

Všetky tri turbodúchadlá pracujú spoločne, výsledkom čoho je výkon 280 kW pri 4000 až 4400 min⁻¹ a krútiaci moment 740 Nm v rozmedzí 2000 až 3000 min⁻¹, ktorý je možno vidieť na obr. 3.8 [25],[26],[27].



Obr. 3.8 Graf výkonu a krútiaceho momentu motoru N57S [25].



Obr. 3.9 3 turbodúchadlá motoru N57S [26].

3.4 4 TURBODÚCHADLÁ - BMW B57D30C QUAD TURBO

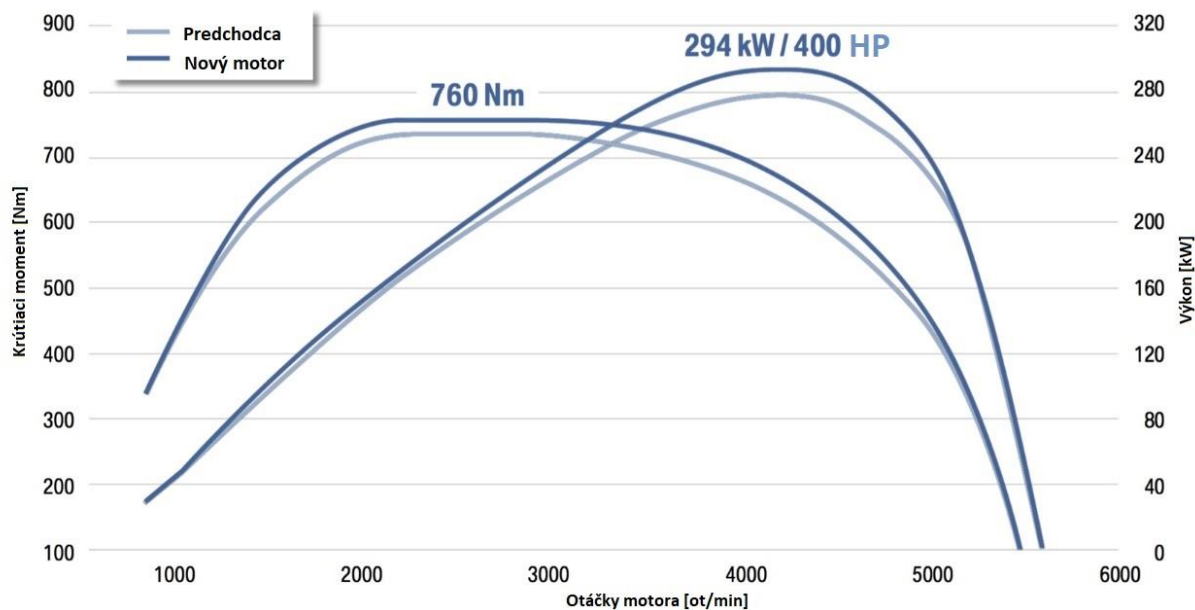
Automobilová spoločnosť BMW predstavila v roku 2016 prvé naftové quad turbo – trojlitrový dieselový motor so štyrmi turbodúchadlami, ktorý sa vyrába v modeloch 750d, 750Ld, X5 M50d, X6 M50d, M550d ako nástupca 3 litrového dieselového motora s tromi turbodúchadlami. Motor B5730C disponuje výkonom 294 kW a 760 Nm a spolupracuje s 8 stupňovým automatom ZF [28].



Obr. 3.10 B57 quad turbo agregát [29].

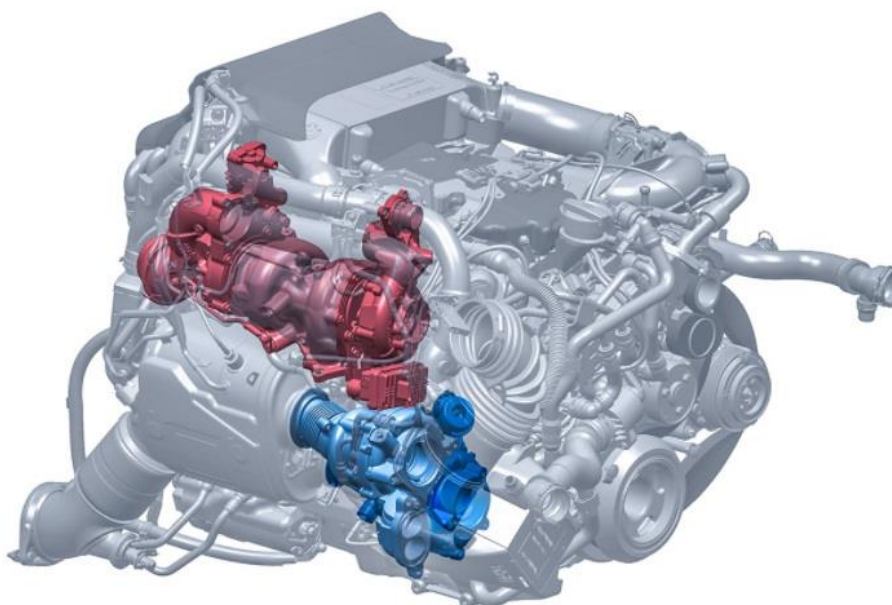
Systém je riadený softvérom DDE (Digital Diesel Electronics), ktorý má na starosti riadenie turbodúchadiel, reguláciu geometrie lopatiek vysokotlakového systému, reguláciu obtokových klapiek, výfukový škrtiaci ventil, obtokový wastegate ventil a medzichladič stlačeného vzduchu. Systém taktiež riadi vstrekovanie paliva common rail, ktoré pracuje pri vysokom tlaku 2500 barov. Výsledkom je nárast výkonu o 14 kW (5 %), krútiaceho momentu o 20 Nm a zníženie spotreby a emisií o 11 %. Priebeh krútiaceho momentu je vo veľkom spektre – už pri 1000 min⁻¹ je k dispozícii 450 Nm, maximálna hodnota 760 Nm je poskytovaná v rozmedzí 2000 min⁻¹ až 3000 min⁻¹. To všetko ponúka agregát pri kombinovanej spotrebe paliva 5,7 až 5,9 l/100 km a produkcii CO₂ emisií 149 až 154 g/km [28],[29].

Porovnanie výkonu a krútiaceho momentu modernejšieho B57 a predošlého N57S motoru (obr. 3.11) [30].



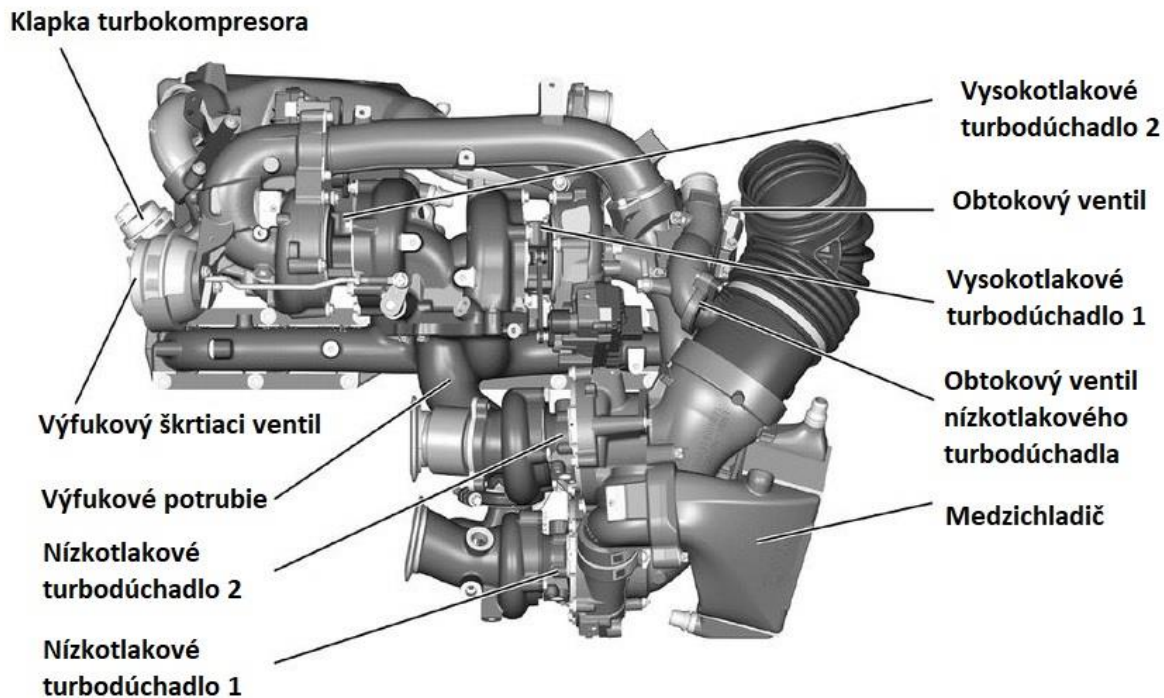
Obr. 3.9 Graf výkonu a krútiaceho momentu [30].

Motor má dve turbochadlá pre každé tri valce, ktoré zaručujú dvojstupňové preplňovanie. O vysokotlakový režim sa starajú dve menšie turbodúchadlá s variabilnou geometriou lopatiek umiestnené v spoločnom puzdre. Pôvodné jedno veľké nízkotlakové turbodúchadlo používané u predchádzajúceho trojturbového motoru je nahradené dvoma menšími turbodúchadlami s rýchlejšou reakciou [29].



Obr. 3.10 B57 quad turbo s dvojicou nízkotlakových (modrých) turbodúchadiel a dvojicou vysokotlakových (červených) turbodúchadiel [31].

Dve nízkotlakové turbodúchadlá a jedno z dvoch vysokotlakových sú v činnosti neustále, druhé vysokotlakové turbodúchadlo sa pripojí do činnosti pri dosiahnutí 2500 min^{-1} [29].

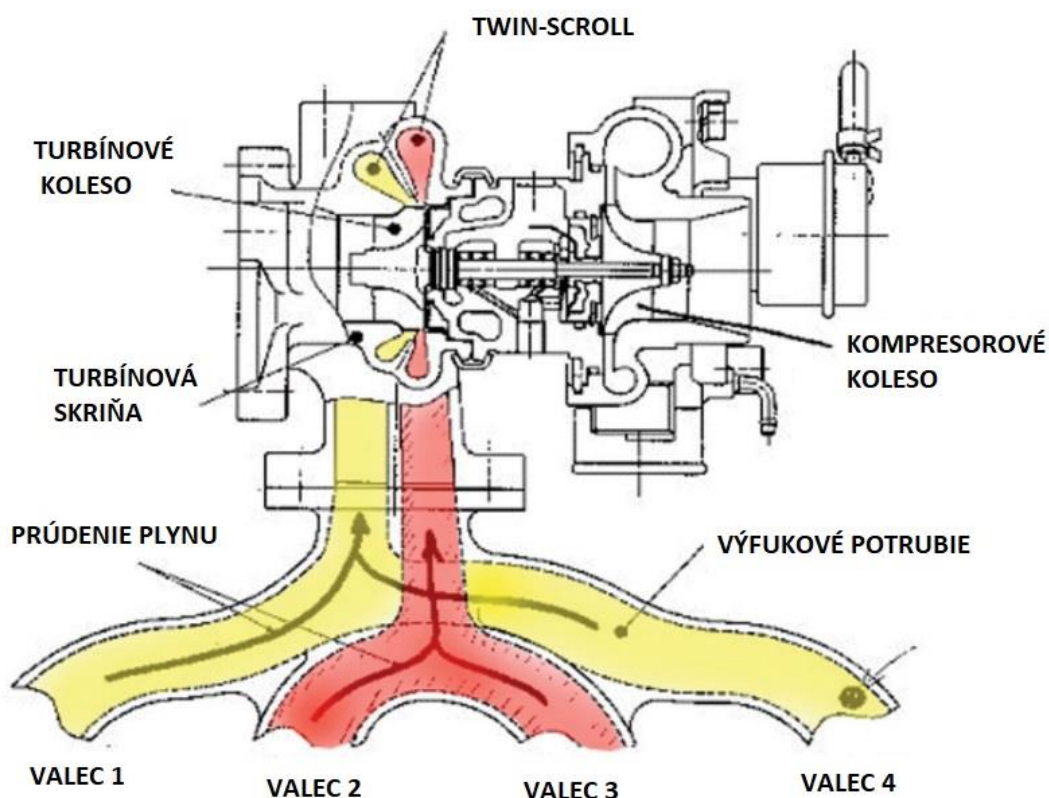


Obr. 3.11 Popis hlavných častí turbodúchadiel [31].

4 SYSTÉM PREPLŇOVANIA TWIN- SCROLL

4.1 PRINCÍP ČINNOSTI

Twin-Scroll turbodúchadlo má na rozdiel od klasického turbodúchadla vo výfukovej turbíne dva kanály o rôznych priemeroch a tvaroch [28]. Ku obidvom kanálom vedú zvody, ktoré dokážu regulovať podtlak. Zatiaľ čo je výfukový ventil jedného valca nezavretý, sací ventil sa už otvára. Týmto sa dokáže šetriť energia výfukových plynov, ktoré začínajú vychádzať z iného valca. Štvorvalcový motor má sekvenciu zapalovania 1-3-4-2. Do jedného kanálu zvodu pôjdu výfukové plyny z valcov 1 a 4 a do druhého z valcov 2 a 3. Spojenie kanálov nastáva až u turbodúchadla [33].



Obr. 4.1 Princíp činnosti twin-scroll turbodúchadla [34].

4.2 MOTOR BMW B58

BMW B58 je turbodúchadlom preplňovaný šesťvalcový agregát, ktorý sa začal vyrábať v roku 2015 ako nástupca motoru N55. Predchádzajúci motor bol prvým šesťvalcovým motorom od BMW využívajúci twin-scroll turbodúchadlo. Motor B58 má zdvihový objem 2.998 l a robí sa vo výkonových variantách 240 kW, 250 kW a 265 kW [33].



Obr. 4.2 Motor B58 [36].

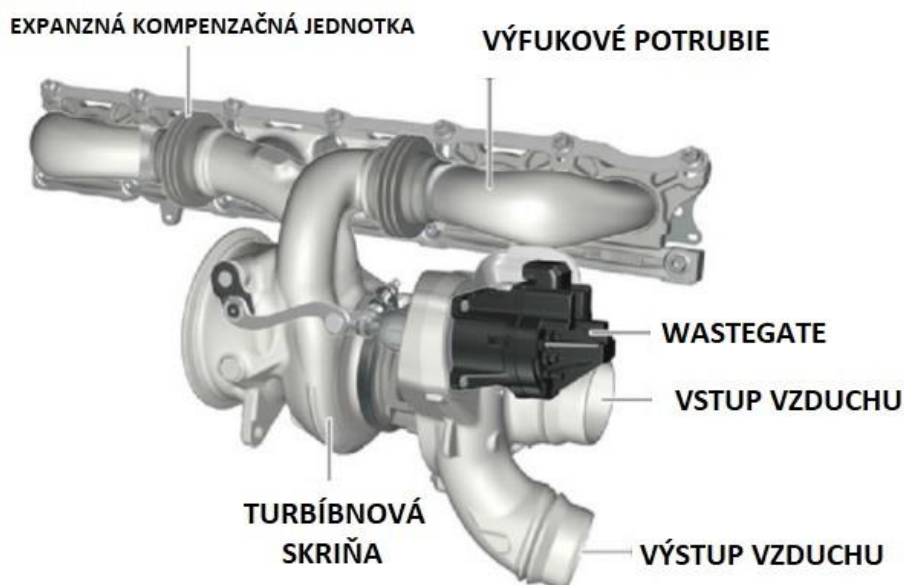
Motor používa technológiu BMW – TwinPower Turbo Engine (twin-scroll turbodúchadlo). Oproti modelu N55 používa model B58 medzichladič stlačeného vzduchu, ktorý je integrovaný do sacieho priestoru, čo znižuje objem naplneného vzduchu medzi turbodúchadlom a sacím potrubím. Vo vnútri prívodu sa udržiavajú rovnomernejšie teploty a tým sa zvyšuje výkon [37].

B58 má v porovnaní s N55 väčšie turbínové a kompresorové koleso, čím B58 produkuje o 20 % vyššie hodnoty plniaceho tlaku. Turbodúchadlo využíva elektricky ovládaný wastegate ventil [38].



Obr. 4.3 Turbodúchadlo motoru B58 [39].

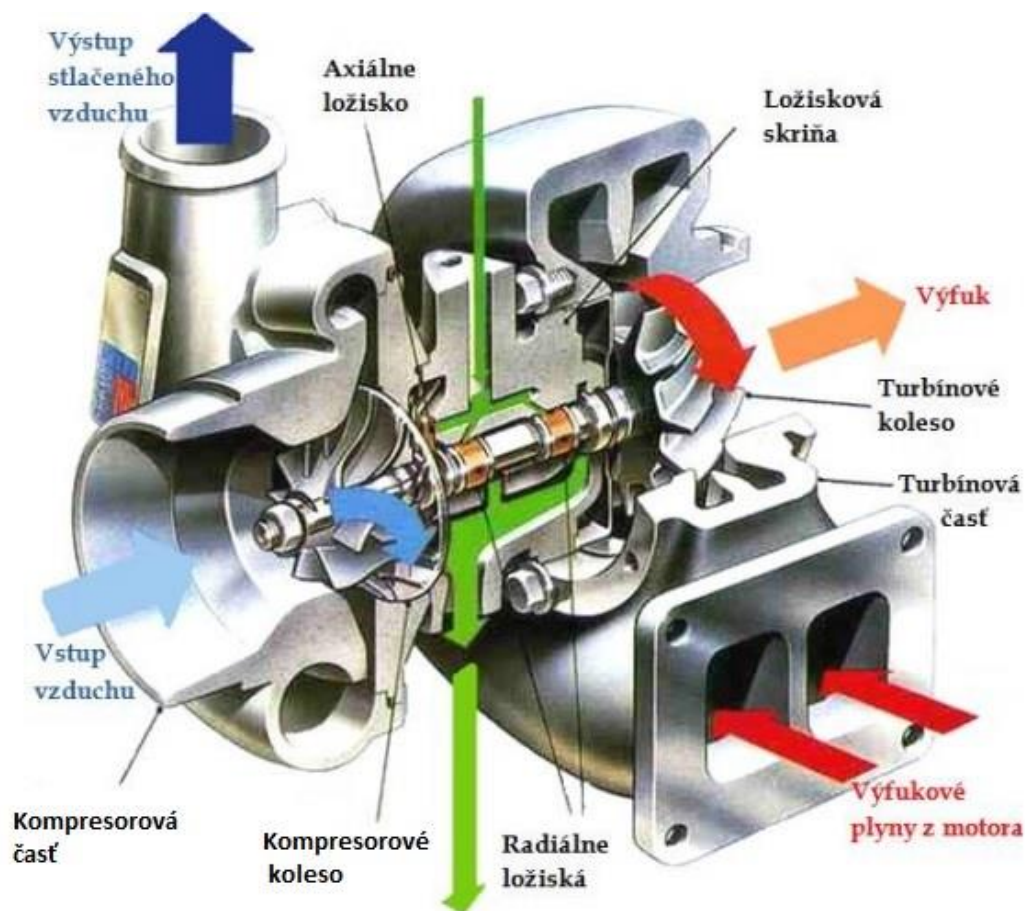
Výfukové potrubie tretieho valca, štvrtého valca a turbínová skriňa tvoria jednu odliatu oceľovú časť. Výfukové potrubia s kovanými prírubami prvého, druhého, piateho a šiesteho valca sú vyrobené vnútorným tlakom z korózievzdorných rúr. Sú privarené ku expanznej kompenzačnej jednotke vyrobenej z chróm-niklovej zliatiny. Táto jednotka je umiestnená medzi turbínovou skriňou a výfukovým potrubím čím zabezpečuje rozťažnosť a sťahovanie materiálu v dôsledku zmeny teploty [36].



Obr. 4.4 Časti turbodúchadla motoru B58 [36].

5 KONŠTRUKCIA TURBODÚCHADIEL

Turbodúchadlo má tri časti konštrukcie: turbínu, kompresor a ložiskový systém, ktorý spája kompresorovú a turbínovú časť dokopy. Na celkovej účinnosti turbodúchadla závisia všetky tieto časti, preto sú vyvíjané samostatne. Výrobcovia majú vývojové centrá špecializované na vývoj kompresorov, turbín, ložísk a uložení [4].



Obr. 5.1 Konštrukcia turbodúchadla poháňaného výfukovými plynmi. *Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov..*

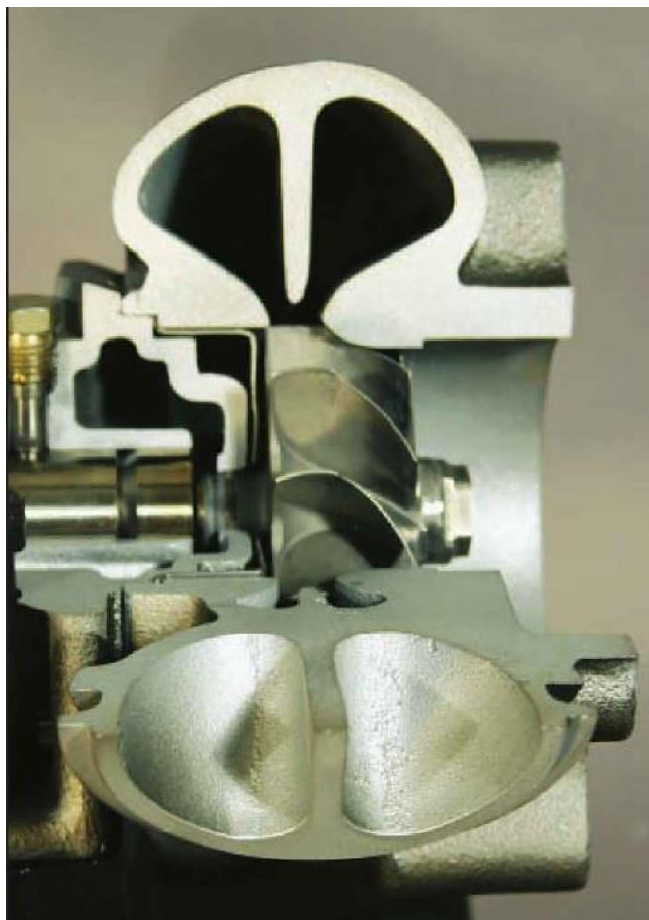
Turbodúchadlo sa skladá z častí (obr. 5.2): kompresorová skriňa (1) s kompresorovým kolesom (4), ktorá je pomocou ložiskovej skriňa (2) spojená s turbínovou skriňou (3) v ktorej je umiestnené turbínové koleso s hriadeľom (5) [4].



Obr. 5.2 Hlavné časti turbodúchadla [4].

5.1 TURBÍNOVÁ ČASŤ

Turbínová časť má 2 základne časti: turbínové koleso a turbínovú skriňu. Výfukové plyny z motora sú vedené cez výfukové potrubie a vstupujú do turbíny. Plyn naplní turbínovú skriňu a vytvorí statický tlak pomocou lopatkového kolesa s tvarom špirály. Pri prechádzaní cez turbínové koleso sa výfukový plyn rozťahuje, čo zapríčiňuje otáčanie kolesa vo vnútri turbínovej skrine. Turbínová časť konvertuje energiu prítomnú vo forme tepla a tlak z výfuku na mechanickú energiu prostredníctvom otáčania turbínového kolesa. Konštrukcia turbíny určuje výslednú efektívnosť turbodúchadla [4].



Obr. 5.3 Turbínová časť v reze pozostávajúca z turbínového kolesa s hriadeľom a turbínovej skrine [4].

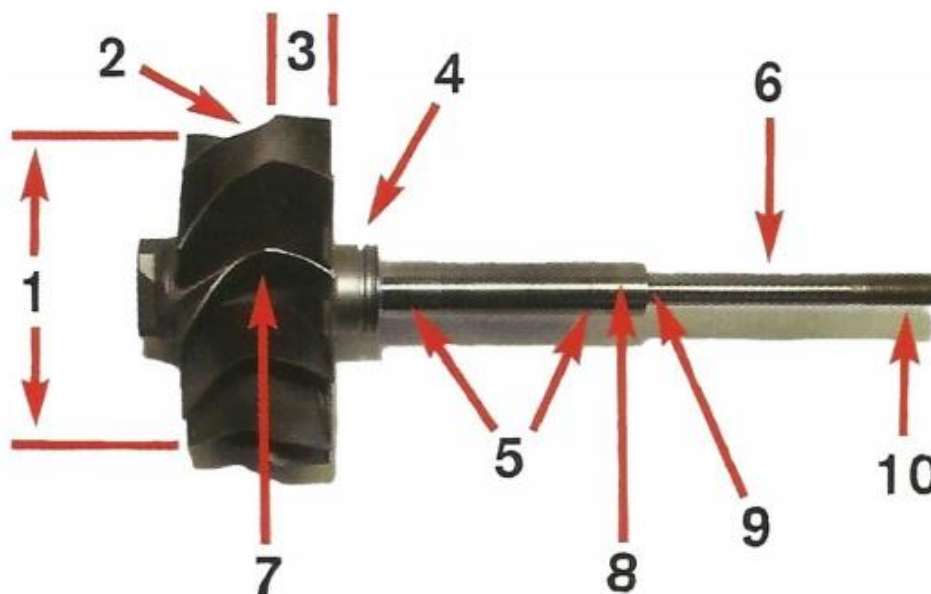
5.1.1 TURBÍNOVÉ KOLESO

Lopatkové koleso s hriadeľom (turbínové koleso) je veľmi dôležitá a najdrahšia časť turbodúchadla. Výrobcom nepredávajú turbínové koleso a hriadeľ samostatne z dôvodu náročnej metódy montáže. Pre automobilový priemysel sa využívajú takmer výhradne radiálne obežné kolesá [4].

Lopatkové koleso má tvar náboja, ktorý má na jednom konci disk a niekoľko radiálnych lopatiek, ktoré vyčnievajú axiálne a radiálne z náboja a disku. Vonkajšie okraje lopatiek sú zakrivené dozadu aby zachytili prichádzajúce výfukové plyny [40].

Turbínové koleso je z dôvodu namáhania vysokými teplotami výfukových plynov najčastejšie vyrobené zo žiaruvzdornej niklovej zliatiny. Vyrába sa presným odliatím. Hriadeľ je vyrobený z ušľachtilej ocele a vo väčšine prípadov je indukčne kalený na miestach kde sú umiestnené ložiská z dôvodu opotrebovania trením. Hriadeľ sa vyrába s toleranciou v mikrometroch [1],[4].

Turbínové koleso sa s hriadeľom spája určitým druhom zvarania – zváranie inertným plynom, odporové zváranie, zváranie elektrónovým lúčom alebo trecie zváranie [1],[40]. Koleso a hriadeľ sú spájané pod záťažou, pričom sa jedna časť otáča proti druhej a tým vzniká na mieste spojenia teplo. Keď je oblasť spoja dostatočne plastická dôsledkom zvýšenia teploty, rotácia sa zastaví a koncová sila sa zväčší – vytvoria sa kovové väzby [40].



Obr. 5.4 Turbínové lopatkové koleso s hriadeľom [4].

Turbínové koleso sa skladá z týchto častí: **1**- priemer exducera **2**- profil turbínového kolesa **3**- šírka (výška) turbínového inducera **4**- drážka tesniaceho krúžku **5**- plocha pre dosadenie ložíšiek **6**- koncový hriadeľ **7**-turbínové koleso **8**- hriadeľ turbínového kolesa **9**- odsadenie hriadeľa **10**- valcový závit pre upevnenie kompresorového kolesa na hriadeľ [4].

5.1.2 TURBÍNOVÁ SKRIŇA

Rozlišujeme dva základné typy turbínových skriň: delené a otvorené. Delené skrine využívajú deliacu stenu v špirále na udržanie výfukových plynov a lepšie prenášanie pulznej energie, no majú vyššie straty pri prúde. Táto technológia umožňuje maximálne využitie energie výfukových plynov [4].



Obr. 5.5 Rozdiel medzi otvorenou (vľavo) a delenou turbínovou skriňou (vpravo) [42],[43].

5.2 KOMPRESOROVÁ ČASŤ

Kompresorová časť sa skladá z kompresorového kolesa a kompresorovej skrine. Kompresorová časť má za úlohu zvýšiť množstvo nasávaného vzduchu do spaľovacej komory za pomoci otáčania kolesa v kompresorovej skrini. Kompresorová skriňa premieňa vysokorýchlostný, nízkotlakový prúd vzduchu na vysokotlakový prúd vzduchu s nízkou rýchlosťou. Tento proces umožňuje motoru spaľovať viac paliva, čím dosiahne vyšší výkon. Princíp činnosti kompresora vychádza zo stavovej rovnice ideálneho plynu. Vzťah medzi tlakom (p), objemom (V) a teplotou (T) je vyjadrený:

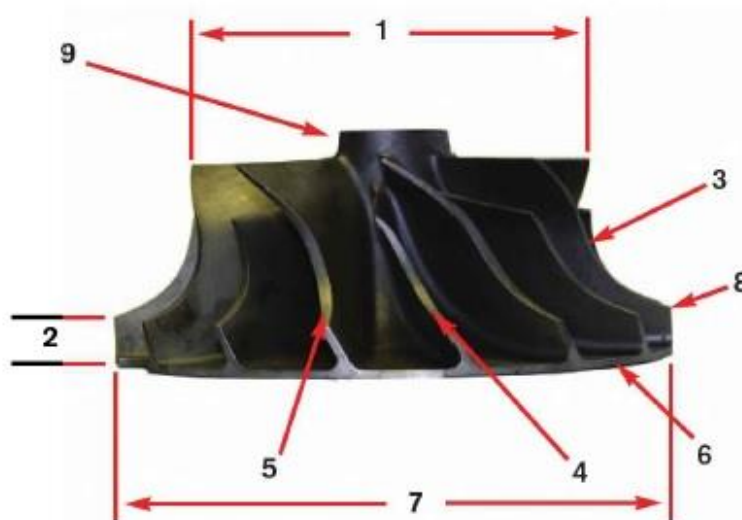
$$\frac{pV}{T} = konst \quad [4],[44].$$



Obr. 5.6 Kompresorová časť turbodúchadla Garrett GTX3076R [45].

5.2.1 KOMPRESOROVÉ KOLESO

Taktiež nazývané radiálny kompresor, ktorý naberá čerstvý vzduch a radiálne ho zrýchľuje. Kompresorové koleso je vyrobené z hliníkových zliatin a spolu s tesniacou podložkou, ložiskom a distančnou podložkou je pevne prichytené na hriadieli [1],[4].

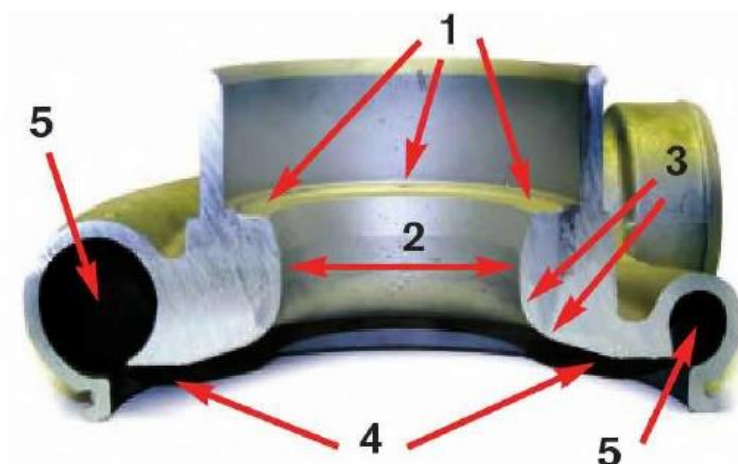


Obr. 5.7 Kompresorové lopatkové koleso [4].

Kompresorové koleso sa skladá z týchto častí: **1**-priemer inducera **2**-šírka (výška) hrotu **3**-profil kompresorového kolesa **4**-deliaca lopatka **5**-plná lopatka **6**-zadná stena **7**-priemer exducera **8**-špička **9**-nos kolesa [4].

5.2.2 KOMPRESOROVÁ SKRIŇA

Skriňa je vyrobená z hliníkovej zliatiny a jej úlohou je stlačovať a nasávať vzduch s najmenšími stratami a najväčšou účinnosťou.



Obr. 5.8 Časti kompresorovej skrine [4].

Na obr. 5.8 je možné vidieť rez kompresorovou skriňou: **1**-vstup vzduchu, ktorý prúdi do kompresora **2**-priemer induktora-tvorí obmedzujúci prietok kompresora **3**-kontúra kompresora **4**-čelo difúzora, tvorí jednu stenu difúzora. Druhú stenu tvorí príruha ložiskovej steny alebo tesniaca doska po zmontovaní turbodúchadla **5**-špirálová(závitová) časť zhromažďuje vzduch pri výstupe z kompresora. Prierezová plocha kompresorovej skrine sa zväčšuje v smere prúdenia vzduchu, čo spôsobuje zníženie rýchlosti a zvýšenie tlaku vzduchu [4].

5.3 LOŽISKOVÁ ČASŤ

Turbínové lopatkové koleso s hriadeľom a kompresorové koleso je uložené v ložiskách v ložiskovej časti turbodúchadla. Ložiskový systém musí zvládnuť podmienky ako zmenu rýchlosti od nuly až po $150\,000\text{ min}^{-1}$, axiálne a radiálne zaťaženie, vysoké teploty, vibrácie a nestabilitu hriadeľa [1], [46].

5.3.1 LOŽISKOVÁ SKRIŇA

Ložisková skriňa má za úlohu dodávať olej k ložiskám. Skriňa je vyrobená zo zliatiny. Je chladená vzduchom a olejom, no takisto je veľakrát v automobilovom priemysle chladená aj vodou. V ložiskovej skrini sa nachádza systém tesnenia pre udržanie oleja vo vnútri, systém proti vniknutiu plynov do ložiskovej skrine a systém tepelného tesnenia medzi turbínovou a ložiskovou časťou [4].

5.3.2 KLZNÉ LOŽISKÁ

Najviac používaný typ ložiskovej sústavy sa skladá z dvoch klzných a plochého axiálneho ložiska. Radiálne ložiská sú plávajúce klzné s vôľou medzi vonkajším priemerom ložiska a ložiskovou skriňou a takisto medzi vnútorným priemerom ložiska a hriadeľom turbínového kolesa [4]. Ložiská sa otáčajú rovnakým smerom ako hriadeľ približne tretinovými otáčkami vzhľadom k ložiskovej skrini. Týmto spôsobom sa zníži relatívna rýchlosť medzi hriadeľom a klznými ložiskami. Toto prevedenie uloženia hriadeľa znižuje opotrebenie a trecie straty. Mazanie zabezpečuje napojenie na tlakový mazací systém agregátu [1]. Axiálne ložisko zamedzuje posuvu v osovom smere [4].



Obr. 5.9 Časti klznej ložiskovej sústavy [47].

Na obr 5.9 je vidieť axiálne ložisko (1), dve valcové klzné ložiská (2) a vymedzovací člen medzi klznými ložiskami uloženými na hriadeli (3) [47].

Najväčším problémom klzných ložísk je odolnosť voči vysokým teplotám, napr. pri náhlom vypnutí agregátu. Dochádza k zapekaniu oleja na ložiskách a k postupnému zadretiu turbodúchadla [46].

5.3.3 GULIČKOVÉ LOŽISKÁ

Do popredia sa dostávajú guľčkové ložiská, ktoré dokážu eliminovať prítomnosť axiálneho ložiska zapríčiňujúce cca 40 % odporu [4]. Firma Garrett ponúka guľčkové ložiská s kosouhlým stykom. Ložisko redukuje požadované množstvo oleja, ktoré je potrebné na mazanie, čím zníži viskózne trenie v ložisku. Výsledkom je o 15 % rýchlejšie roztočenie hriadeľa turbodúchadla a tým aj zlepšenie celkového výkonu motora [48].



Obr. 5.10 Guľčkové ložisko [49].

6 PORUCHY TURBODÚCHADIEL

Vo väčšine prípadov poruchy turbodúchadiel existujú štyri hlavné dôvody ktoré sú zodpovedné za 80 % všetkých porúch. Ide o vniknutie cudzieho telesa do turbínovej alebo kompresorovej časti, vysokú teplotu výfukových plynov, nedostatok mazacieho oleja a výskyt nečistôt v motorovom oleji [4].

6.1 VNIKNUTIE CUDZIEHO TELESA DO TURBÍNOVEJ ČASTI

Mechanické poškodenie turbínového kolesa býva spôsobené nasatím nežiadúcich častí ako: karbónové usadeniny, súčasti z poškodeného motora – ventilové sedlá, poškodené piestne krúžky, odtavené častice zo žhaviacej sviečky spoločne s motorovými spalinami. Tento typ závady je ľahko rozpoznateľný na poškodených lopatkách turbínového kolesa [4], [50], [51].



Obr. 6.1 Poškodenie lopatiek s premenlivou geometriou [52].



Obr. 6.2 Poškodenie lopatiek turbínového kolesa [50].

6.2 VNIKNUTIE CUDZIEHO TELESA DO KOMPRESOROVEJ ČASTI

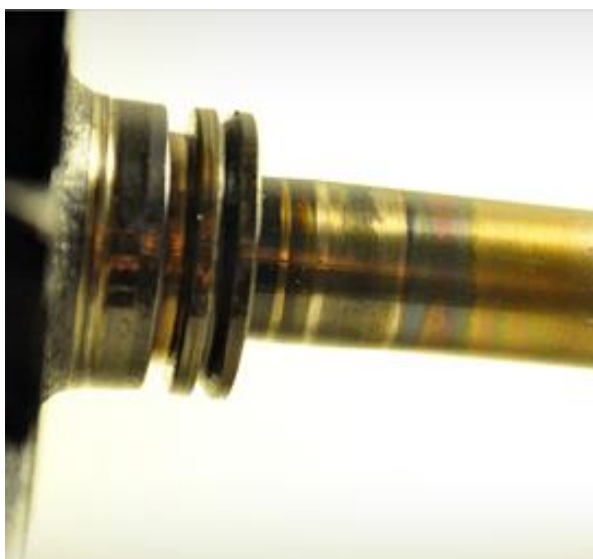
Tento typ poškodenia je viditeľný na prvý pohľad. Býva spôsobený nasatím nežiadúceho telesa zo sacej časti a narazením do kompresorového kolesa, ktoré je vyrobené z menej odolného hliníku. Z dôvodu vyšších rýchlostí môžu byť nasaté telesa z menej pevných materiálov. Jedná sa hlavne o poškodenie vzduchovým filtrom (použitie nevhodného, znečisteného alebo poškodeného filtra) [4].



Obrázok 6.3 Poškodenie lopatiek kompresorového kolesa [52].

6.3 NEDOSTATOK MAZACIEHO OLEJA

Tento typ poškodenia spôsobuje prehrievanie ložísk, ktoré vedie k ich zadretiu z dôvodu nedostatku prívodu motorového oleja. Zdrojom problému môže byť nepriechodzí systém mazania alebo náhle vypnutie motora po vysokej záťaži turbodúchadla. K poškodeniu ložísk môže dôjsť už pri krátkodobom prerušení dodávky oleja. Ložiská sú veľmi náchylné k poškodeniu a ich životnosť ovplyvňujú: nízky tlak oleja, obmedzený prívod oleja, odstavenie vozidla na extrémne dlhú dobu, nesprávne štartovanie v zimnom období [4],[50]. Na vstupe do turbodúchadla musí byť dosiahnutý minimálny tlak na voľnobeh 0,7 až 1,7 bar. Pod záťažou motoru od 1500 min^{-1} musí byť tlak približne 4,7 baru. Meranie tlaku oleja sa uskutočňuje pri maximálnej teplote motorového oleja akú počas prevádzky dosiahne. [51]



Obr. 6.4 Poškodenie hriadeľa z dôvodu prehrievania ložísk [52].



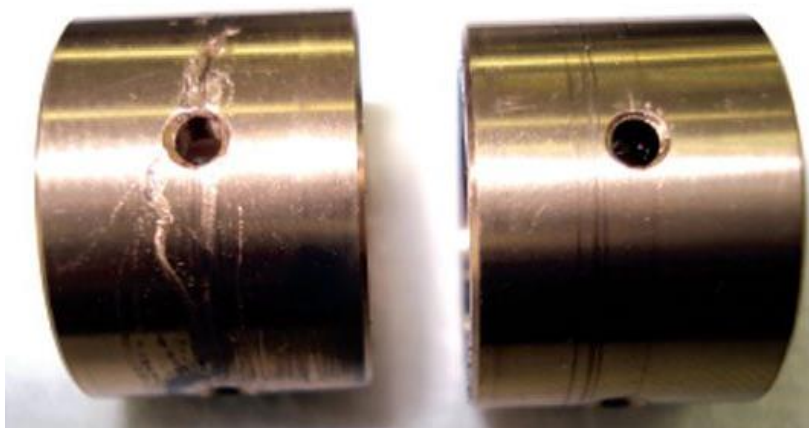
Obr. 6.5 Poškodenie hriadeľa z dôvodu vypnutia horúceho nedochladeného turbodúchadla [52].

6.4 VÝSKYT NEČISTÔT V MOTOROVOM OLEJI

Poškodenie ložiskovej časti turbodúchadla je spôsobené vysokou koncentráciou uhlíka v oleji. Je to spôsobené predĺženými intervalmi výmeny oleja, olejového filtra a použitie nekvalitného oleja, olejového filtra. Zryhovanie je spôsobené abrazívnymi časticami, ktoré sú dopravené motorovým olejom a vtlačené vysokým tlakom do priestoru ložísk. Následne sú rozmlaté a vyplavené von z ložiskového priestoru [4],[51],[52].



Obrázok 6.6 Abrazívne opotrebovanie hriadeľa [52].



Obrázok 6.7 Poškodenie klzných ložísk [4].

ZÁVER

V bakalárskej práci som sa snažil poskytnúť základný a systematický prehľad na tému preplňovania spaľovacích motorov pomocou turbodúchadla a uviesť konkrétne príklady použité v súčasných pohonných jednotkách. V dnešnej dobe sú turbodúchadlá veľmi dôležitá súčasť u motorov. Výrobcovia automobilov chcú neustále vývojovo postupovať vpred zvyšovaním výkonov, zmeňovaním objemov motorov (down-sizing) a úsporou pohonných hmôt. Jedným z možných prostriedkov je preplňovanie pomocou turbodúchadla.

Normy na znižovanie emisií sa neustále sprísňujú, čo vedie výrobcov k navrhovaniu čoraz viac úspornejších motorov. Môžu to dosiahnuť aj napríklad preplňovaním pomocou turbodúchadla. Predpokladá sa, že v roku 2020 bude v Európe približne 85 % všetkých nových automobilov preplňovaných turbodúchadlom. Napríklad dieselové preplňované motory vytvárajú až o 50 % menej škodlivín NO_x a CO₂ ako nepreplňované motory, ktoré sa už dnes takmer vôbec nevyrábajú.

Môj odhad ďalšieho vývoja preplňovania pomocou turbodúchadla je využívanie viacstupňového preplňovania a preplňovania pomocou twin-scroll už u automobilov nižšej a strednej triedy, kde je v dnešnej dobe ostro sledovaná minimalizácia výrobných nákladov. Tieto typy preplňovania skrývajú veľký potenciál, obmedzujú turboefekt a ponúkajú radu ďalších výhod. Nasledujúcim odhadom je vývojový trend a zámer výrobcov vylepšovať parametre u dnes používaných turbodúchadiel. Dosahujú to použitím modernejších komponentov vyrobených z materiálov, ktoré sa neustále zdokonaľujú.

Ďalším možným trendom, na ktorý sa výrobcovia zameriavajú, je využitie turbodúchadla nielen na zväčšovanie plniaceho tlaku, ale aj výrobu elektrickej energie výfukovými plynmi. Jedná sa o e-turbo, ktoré sa zatiaľ v sériovej výrobe neuplatnilo, no je použité vo Formuli 1. Turbodúchadlo využíva na svoj pohon energiu výfukových plynov a takisto elektromotor na lepšiu reakciu plnenia motora. Pokiaľ motor produkuje zvyšné výfukové plyny, turbodúchadlo generuje elektrickú energiu. Výrobca turbodúchadiel Honeywell v najbližších rokoch predstaví svoje e-turbo.

Preplňovanie pomocou turbodúchadla bude mať podľa môjho názoru v budúcnosti veľký význam až do okamihu, kedy sa spaľovacie motory plnohodnotne nenahradia elektromotormi. Z hľadiska budúcnosti však táto situácia nenastane v najbližších rokoch.

POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

- [1] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily*. 7. vydání. Brno: Nakladatelství Avid, spol. s r. o., Brno, 2012. ISBN 978-80-87143-21-6.
- [2] Historie vývoje turbodmychadel. *Energy - Ecology s.r.o.* [online]. 2008 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://turbodmychadla.webnode.cz/historie/>
- [3] Turbodmychadlo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Turbodmychadlo>
- [4] MILLER, Jay K. *Turbo: real world high-performance turbocharger systems*. North Branch, MN: CarTech, c2008. ISBN 19-324-9429-4.
- [5] Preplňovanie motora, čo je to turbodúchadlo, ako funguje mechanický kompresor, elektrické turbo, poruchy, spoľahlivosť a zopár rád. *Autorubik* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/clanky/preplnovanie-motora-co-je-to-turboduchadlo-ako-funguje-mechanicky-kompresor-elektricke-turbo-spolahlivost-poruchy-zopar-rad/#prettyPhoto>
- [6] Přepřňování (2. díl): turbodmychadla. *AUTO* [online]. 2004 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/preplnovani-2-dil-turbodmychadla-16765>
- [7] STONE, Richard. *Introduction to internal combustion engines*. 3rd ed. Warrendale, Pa.: Society of Automotive Engineers, c1999. ISBN 978-0768004953.
- [8] FERENC, Bohumil. *Spalovací motory: karburátory a vstřikování paliva*. Praha: Computer Press, 2004. Auto-moto-profi (Computer Press). ISBN 80-251-0207-6.
- [9] VLK, František. *Automobilová technická příručka*. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-9681-4.
- [10] Princip turbodmychadla. *FlexaMi Auto* [online]. 2016 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.flexamiauto.cz/teorie/>
- [11] TSI (Twincharged Stratified Injection). *Autolexicon* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/sk/articles/tsi-twincharger-stratified-injection/>
- [12] Tříválec Volkswagen Group 1.0 TSI – Kariérní postup. *Automobil Revue* [online]. 2017 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: https://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/trivalec-volkswagen-group-1-0-tsi-karierni-postup_45572.html
- [13] Motor 1.0 TSI. *Skoda Home* [online]. 2016 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://forum.skodahome.cz/topic/135716-motor-10-tsi/>
- [14] VNT Turbos. *HORTON CARS* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.hortoncars.co.uk/latest-news/vnt-turbos/>

- [15] VNT™ Turbochargers. *Honeywell* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://turbo.honeywell.com/our-technologies/vnt-turbochargers/>
- [16] *The EA288 Diesel Engine Family: Design and Function* [online]. 2014 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: http://pics3.tdiclub.com/data/517/820433_EA288.pdf
- [17] A closer look at the basics of Volkswagen Group's important new 2.0L diesel MDB engine. *Green Car Congress* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.greencarcongress.com/2014/03/20140322-ea288.html>
- [18] Tech Look: 2015 Volkswagen 2.0 TDI EA288 Engine. *TestDriven* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://testdriven.tv/2015/04/tech-look-2015-volkswagen-2-0-tdi-ea288-engine/#.WrJeR-jwaUI>
- [19] TwoStage Serial Turbochargers. *Honeywell*[online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://turbo.honeywell.com/our-technologies/twostage-serial-turbo/>
- [20] Test: Audi A6 3.0 TDI BiTurbo – nemecký hurikán. *Auto.pravda* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://auto.pravda.sk/testy/clanok/75758-test-audi-a6-30-tdi-biturbo-e2-80-93-nemecky-hurikan/>
- [21] *Audi 3.0l V6 TDI Biturbo Engine: Self Study Programme 604* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: http://vwts.ru/pps/pps_604_audi_30l_v6_tdi_biturbo_engine_eng.pdf
- [22] 3.0 TDI Biturbo. *Audi Technology Portal* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: https://www.audi-technology-portal.de/en/drivetrain/tdi-engines/3.0-tdi-biturbo_en
- [23] Audi A6 3.0 BiTDI quattro. *AUTOCAR* [online]. 2012 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.autocar.co.uk/car-review/audi/a6/first-drives/audi-a6-30-bitdi-quattro>
- [24] TwoStage Parallel Turbochargers. *Honeywell*[online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://turbo.honeywell.com/our-technologies/twostage-parallel-turbochargers/>
- [25] BMW's amazing new 381 bhp 740 Nm 45 mpg triple turbo diesel (and four cars that will get it). *New Atlas* [online]. 2012 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://newatlas.com/bmw-adds-four-triple-turbo-diesel-performance-m-cars/21227/>
- [26] Triple Turbo And Quad Turbo Engines - The Only Cars That Feature Them. *Autoevolution* [online]. 2016 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.autoevolution.com/news/triple-turbo-and-quad-turbo-engines-the-only-cars-that-feature-them-112870.html#>
- [27] N57 BMW's family. *Drive-my* [online]. 2016 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://drive-my.com/en/tech/item/2172-n57-bmw-s-family.html>
- [28] BMW predstavuje prvé quad-turbo. Z nafty vyzmýka 294 kW a 760 Nm. *Auto.pravda* [online]. 2016 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://auto.pravda.sk/novinky/clanok/393386-bmw-predstavuje-prve-quad-turbo-z-nafty-vyzmyka-294-kw/>

- [29] WORLD PREMIERE: 2017 BMW 750d with Quad-Turbo B57 Engine. *BMW BLOG* [online]. 2016 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.bmwblog.com/2016/05/16/world-premiere-2017-bmw-750d/>
- [30] Full details on the new BMW quad-turbo diesel B57 engine. *BMW BLOG* [online]. 2016 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.bmwblog.com/2016/05/12/full-details-new-bmw-quad-turbo-diesel-b57-engine/>
- [31] VIER TURBOS FÜR DEN GROSSEN BMW-DIESEL. *MOTOR TALK* [online]. 2016 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.motor-talk.de/news/vier-turbos-fuer-den-grossen-bmw-diesel-t5691204.html>
- [32] AKO TO FUNGUJE: Turbo, biturbo, twincscroll turbo a kompresor. *Automix* [online]. 2014 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://automix.centrum.sk/revue/830315/ako-to-funguje-turbo-biturbo-twincscroll-turbo-a-kompresor>
- [33] Engineering Explained: 6 Different Types Of Turbocharger And The Advantages Of Each Setup. *CarThrottle* [online]. 2016 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.carthrottle.com/post/engineering-explained-6-different-types-of-turbocharger-and-the-advantages-of-each-setup/>
- [34] A Look At Twin Scroll Turbo System Design - Divide And Conquer?. *Superstreetonline* [online]. 2009 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.superstreetonline.com/how-to/engine/modp-0906-twin-scroll-turbo-system-design/>
- [35] BMW B58. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/BMW_B58
- [36] B58 Engine (340i) Technical Details and Improvements from N55. *Bimmerfest* [online]. 2001 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.bimmerfest.com/forums/showthread.php?t=872462>
- [37] BMW's N55 engine will be missed, but the new B58 might be even better. *BMW BLOG* [online]. 2015 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.bmwblog.com/2015/10/28/bmws-n55-engine-will-be-missed-but-the-new-b55-might-be-even-better/>
- [38] Detailed Analysis: The BMW B58 Inline 6-Cylinder Engine. *You wheel* [online]. 2016 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://youwheel.com/home/2016/03/27/detailed-analysis-the-bmw-b58-inline-6-cylinder-engine/>
- [39] BMW B58 turbo. *Bmwtechnician* [online]. 2016 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://bmwtechnician.com/2016/06/21/bmw-b58-turbo/>
- [40] Klinovský, M. *Zvyšovanie výkonových parametrov spaľovacích motorov na klasické palivá preplňovaním*. Bratislava, 2009. Diplomová práca. Slovenská technická univerzita v Bratislave, Strojnícka fakulta STU, Ústav dopravných techník a konštruovania. 96 s.

- [41] HEISLER, Heinz. *Advanced engine technology*. Warrendale, PA: SAE International, c1995. ISBN 1-56091-734-2.
- [42] Turbine Housing, S400 82/87 1.25 A/R FM. *Diesel Performance*[online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.dieselperformance.com/shop/product/1405609fm-turbine-housing-s400-82-87-1-25-a-r-fm-2809>
- [43] Borg Warner Turbine Housing S500SX-E T6 Open Volute. *Diesel Performance* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.dieselperformance.com/shop/product/179159-borg-warner-turbine-housing-s500sx-e-t6-open-volute-3-62in-centerline-0-85a-r-4909>
- [44] How a Turbocharger Works. *Cummins* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.cummins.com/components/turbo-technologies/turbochargers/how-a-turbocharger-works>
- [45] Garrett GTX3076R Compressor Wheel + Housing. *Turbo Lab* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://turbolabofamerica.com/garrett-gtx3076r-compressor-wheel-housing/>
- [46] Turbochargers. *Epi-ing* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: http://www.epi-eng.com/piston_engine_technology/turbocharger_technology.htm
- [47] Turbo Tech: Turbo Bearings. *Moto iq* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.motoiq.com/MagazineArticles/ID/1978/Turbo-Tech-Turbo-Bearings.aspx>
- [48] Journal Bearings vs. Ball Bearings. *Honeywell Garrett* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: https://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/journal_bearings_vs_ball_bearings
- [49] Ball Bearings in Turbochargers: Great for Cars. Not So Good for Aircraft. *Hartzell* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://hartzell.aero/ball-bearings-turbochargers-great-cars-not-good-aircraft/>
- [50] Najčastejšie poruchy turbodúchadiel. *JS-TURBO*[online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://js-turbo.sk/najcastejsie-poruchy-turb/>
- [51] Najčastejšie poškodenia turbodúchadiel. *TurboTech* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.turba.sk/poskodenia.htm>
- [52] Troubleshooting. *Honeywell* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://garrett.honeywell.com/install/troubleshooting/>

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

SYMBOL	ROZMER	VELIČINA
<i>T</i>	[°C]	Teplota
<i>p</i>	[bar]	Tlak
<i>p</i>	[Pa]	Tlak
<i>V</i>	[m ³]	Objem
<i>V</i>	[l]	Objem
<i>m</i>	[kg]	Hmotnosť
<i>P</i>	[kW]	Výkon
<i>m_{pe}</i>	[l/100 km]	Spotreba paliva
<i>Z</i>	[mm]	Zdvih
<i>M</i>	[Nm]	Točivý moment
<i>n</i>	[min ⁻¹]	Otáčky motora

SKRATKA	VÝZNAM
<i>BMW</i>	Bayerische Motoren Werke
<i>CO₂</i>	Oxid uhličitý
<i>KK&K</i>	Kuhnle, Kopp & Kausch
<i>NO_x</i>	Oxidy dusíka
<i>TDI</i>	Turbocharged direct injection
<i>TSI</i>	Turbocharged straight injection
<i>VGT</i>	Variable Geometry Turbocharger
<i>VNT</i>	Variable Nozzle Turbine