

Česká zemědělská universita v Praze

Technická fakulta

**Moderní trendy v oblasti přeplňování spalovacích motorů**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Autor práce: David Macoun

PRAHA 2019

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA**

**V PRAZE**

Technická fakulta

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

David Macoun

Zemědělská technika

Název práce

**Moderní trendy v oblasti přeplňování spalovacích motorů**

Název anglicky

**Modern trends in the field of turbocharged internal combustion engines**

---

### **Cíle práce**

Cílem práce je vytvořit ucelený přehled systémů využívaných pro přeplňování spalovacích motorů v silničních vozidlech. Popsat základní způsoby přeplňování se zhodnocením výhod a nevýhod jednotlivých řešení.

### **Metodika**

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Metodika práce
4. Rešeršní část
5. Výsledky a diskuze – zhodnocení jednotlivých konstrukčních řešení
6. Závěr
7. Seznam použitých zdrojů
8. Přílohy

## **Doporučený rozsah práce**

30-40 stran A4

## **Klíčová slova**

motor, turbo, kompresor, přeplňování

---

## **Doporučené zdroje informací**

Gscheidle, R., Příručka pro automechanika, Sobotáles, Praha, 2015, ISBN 978-3-8085-2163-2

Hromádko, J., Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. 1. vyd., Praha: Grada, 2011, 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.

Vlk, F., Vozidlové spalovací motory 1. vyd., Brno : F. Vlk, 2003, ISBN 9788023887563

Wang, Ch. et al, Significance of RON and MON to a modern DISI engine, Fuel 209, Elsevier, 2017

Zdeněk, J., Ždánský, B., Automobily III Motory. 4. vyd., Brno: Avid, 2007, 165 s. ISBN 978-80-903671-7-3.

---

## **Předběžný termín obhajoby**

2018/19 LS – TF

## **Vedoucí práce**

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

## **Garantující pracoviště**

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne

26. 1. 2018

---

**doc. Ing. Miroslav Růžička,**  
**CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne

30. 1. 2018

---

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 27. 03. 2019

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Moderní trendy v oblasti přeplňování 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 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
David Macoun

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji vedoucímu práce panu Ing. Martinu Kotkovi, Ph.D. a panu Ing. Martinu Pechoutovi, Ph.D. za odborné rady a připomínky, které mi v průběhu psaní práce poskytovali.

**Abstrakt:** Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit ucelený přehled systémů využívaných pro přeplňování spalovacích motorů v silničních vozidlech. V kapitole „Funkce přeplňování“ je podrobně vysvětlen princip práce přeplňovaných systémů. Dále tato kapitola popisuje jednotlivé systémy využívané pro přeplňování. U každého systému jsou rovněž zhodnoceny výhody a nevýhody včetně popisu regulace plnicího tlaku. Tuto kapitolu uzavírá téma „speciální konstrukce přeplňovaných motorů“, v které se nacházejí méně rozšířené způsoby přeplňování, avšak v některých ohledech velmi zajímavé.

**Klíčová slova:** motor, turbo, kompresor, přeplňování

**Abstract:** The aim of this bachelor thesis is to create a coherent overview of utilized pressure charging systems in road vehicles combustion engines. There is a detailed explanation taking place in the first chapter “Pressure charging function”. Following, this chapter describes individual pressure charging systems. Advantages and drawbacks are also evaluated for each system including intake air pressure regulation. This chapter is concluded by a “special construction of boosted engines” topic, where less common, but interesting in some aspects, intake air boost system are described.

**Key words:** engine, turbocharger, supercharger, pressure charging

## Obsah

1	Úvod .....	1
2	Cíl práce.....	2
3	Metodika práce .....	3
4	Rešeršní část .....	4
4.1	Funkce přepřňování.....	5
4.2	Výhody přepřňovaných motorů oproti atmosférickým motorům .....	7
4.3	Nevýhody přepřňovaných motorů oproti atmosférickým motorům .....	8
4.4	Konstrukční řešení přepřňování motorů.....	9
4.4.1	Sání s využitím dynamických efektů.....	10
4.4.1.1	Přepřňování s využitím tlakových pulsací výfukových plynů (Comprex) ..	10
4.4.1.2	Sání s variabilní délkou .....	12
4.4.1.3	Helmholtzův rezonátor .....	13
4.4.2	Mechanicky poháněná dmychadla.....	14
4.4.2.1	Rootsovo dmychadlo .....	14
4.4.2.2	Lysholmovo dmychadlo .....	17
4.4.2.3	Ostatní mechanicky poháněné systémy.....	18
4.4.2.4	Regulace mechanicky poháněných dmychadel .....	19
4.4.3	Přepřňování s využitím energie výfukových plynů .....	20
4.4.3.1	Regulace přepřňování využívající energie výfukových plynů .....	22
4.4.4	Speciální konstrukční řešení přepřňování.....	24
4.4.4.1	Turbokompauční motor.....	25
4.4.4.2	Přepřňování s tlakovou nádobou .....	26
4.4.4.3	Turbodmychadlo s elektromotorem .....	26
4.4.4.4	Kombinace kompresoru a turbodmychadla.....	26
4.4.4.5	Další speciální konstrukce přepřňovaných motorů .....	27

5	Výsledky a diskuze – zhodnocení jednotlivých konstrukčních řešení .....	29
6	Závěr .....	30
7	Seznam použitých zdrojů.....	31



# 1 Úvod

V dnešní době, kdy je ze strany Evropské unie kladen důraz na co možná nejmenší množství emisí produkovaných spalovacími motory a ze strany zákazníka na co možná nejvyšší výkon a nejnižší spotřebu, je přeplňování jedním z hlavních způsobů, jak toho dosáhnout a zároveň nepříliš navýšit cenu celého vozu. Na trhu se nabízejí i jiné možnosti, jak snížit emise a zvýšit výkon, ale ty zpravidla nejsou příliš finančně příznivé. Příkladem by mohla být hybridní technologie, kde ona finanční náročnost spočívá v nutnosti pořízení baterií a elektromotoru. Celý systém pak snižuje dobu chodu spalovacího motoru, zajišťuje možnost práce spalovacího motoru v optimálních otáčkách a pomáhá při vysokém zatížení.

Přeplňování je tudíž používáno u většiny vozidel se spalovacími motory, které se dnes prodávají v Evropě. Významnými výjimkami na evropském trhu jsou automobilky Mazda a Toyota. Úspěch přeplňování spočívá především v cenové dostupnosti a také v nepříliš složité zástavbě v rámci spalovacího prostoru.

V průběhu 70 let, kdy se přeplňování aktivně používá, prošlo celou řadou inovací, až do dnešní podoby, která je popsána v této práci.

## **2 Cíl práce**

Cílem práce je vytvořit ucelený přehled systémů využívaných pro přeplňování spalovacích motorů v silničních vozidlech, popsat funkci přeplňování, důvody použití této technologie, rozdíly mezi atmosférickými a přeplňovanými motory, základní způsoby přeplňování se zhodnocením výhod a nevýhod jednotlivých řešení.

### **3 Metodika práce**

Vyhledání a studium literárních zdrojů zabývajících se problematikou přeplňování spalovacích motorů a vytvoření literární rešerše na téma moderní trendy v oblasti přeplňování spalovacích motorů na základě nabytých vědomostí.

## 4 Rešeršní část

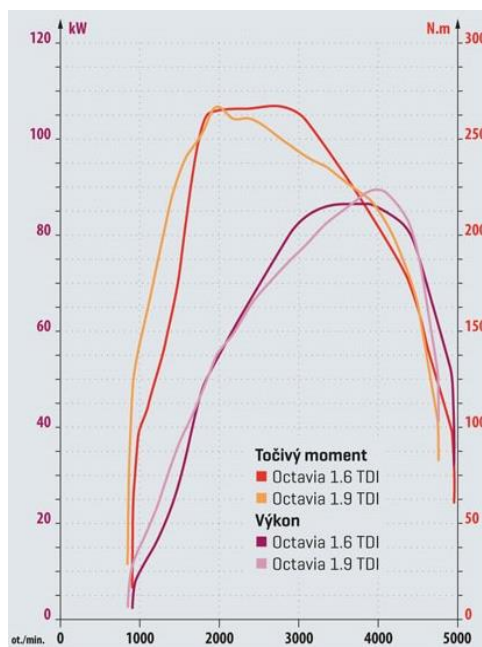
Z historického hlediska se myšlenka přeplňování začala rozvíjet takřka ihned po získání výkonu na výstupní hřídeli motoru. Za průkopníka v oblasti přeplňování se dá považovat Švýcarský inženýr Alfred Büchi a firma ABB, kteří v roce 1915 vynalezli turbo kompresor[1]. První použití přeplňovaných motorů v praxi nastalo u dvoutaktních dieslových námořních motorů, kde tato úprava přinesla značný nárůst točivého momentu a výkonu, protože došlo k téměř dokonalému „vypláchnutí“ válce po expanzi. Další veliký milník v historii přeplňování nastal v době druhé světové války, kdy bylo potřeba, aby válečné letouny dosahovaly větších výšek, kde by stále měly dostatek výkonu i přes pokles atmosférického tlaku [2]. Svého použití v automobilovém průmyslu se přeplňování dočkalo až ve voze Chevrolet Corvair Monza a to v letech 1962-1963 [3]. To ovšem bylo kromě Oldsmobile vše až do roku 1973, kdy se přeplňování začalo hojně používat v nákladní dopravě. Americká ropná krize, která vypukla o 3 roky dříve, měla významný vliv na konstrukci spalovacích motorů, u kterých bylo potřeba co nejvíce snížit spotřebu a přeplňování bylo účinným řešením [4]. Od té doby tato technologie prošla celou řadou inovací až do dnešní podoby popsané níže.

## 4.1 Funkce přeplňování

Přeplňování, jak již sám název napovídá, slouží k přeplnění = „natlačení“ většího množství vzduchu než u atmosférických motorů do prostoru válce, a to z několika důvodů popsaných v této kapitole.

Jedním z nejnápadnějších vlivů při použití přeplňování je zvýšení výkonu motoru. Motor pracuje na principu přeměny tepelné energie na mechanickou. Velikost získané tepelné energie se odvíjí od množství spáleného paliva a to je závislé na množství vzduchu, které se dostane do válce v době sání. Atmosférický motor (bez jakékoli úpravy sání) může pracovat pouze s množstvím vzduchu, které si sám nasaje pomocí sníženého tlaku vytvořeného pohybem pístu z horní úvratě do dolní úvratě. Tím dochází ke značnému omezení množství paliva, které může být vstříknuto, aniž by došlo k výraznému zvýšení emisí a snížení účinnosti. U přeplňovaných motorů je vlivem natlačení většího množství vzduchu do prostoru válce dosaženo možnosti vstříknutí většího množství paliva, a to při zachování stejného směšovacího poměru a objemu spalovacího prostoru.

Z předchozího odstavce plyne, že je možno zmenšit prostor zastavěný motorem při zachování stejného, ne-li většího výkonu. Příkladem mohou být motory VW 1.6 TDI a 1.9 TDI. Na obrázku 1 je vyobrazena otáčková charakteristika motorů 1.9 TDI/81 kW (naměřeno 90 kW) a 1.6 TDI/81 kW (naměřeno 87 kW), z které je patrné, že motor s pokročilým řízením systému přeplňování a menším zdvihovým objemem (1.6 TDI) je srovnatelný, v některých aspektech dokonce i lepší než motor staršího typu (1.9 TDI). Motor 1.9 TDI sice dosahuje vyšších maximálních hodnot, ale to je nejspíše způsobeno úpravou řídicí jednotky, protože naměřený výkon byl vyšší, než výkon udávaný výrobcem, a to i přes nájezd 164 000 km. Oproti tomu motor 1.6 TDI má výrazně větší rozsah maxima točivého momentu [5].



Obrázek 1 Vnější otáčková charakteristika motorů 1.9 TDI a 1.6 TDI [5]

S použitím přeplňování také dochází ke snižování spotřeby paliva a to díky možnosti použití menšího objemu motoru při zachování stejného výkonu → menší objem válce = menší třecí plochy = vyšší mechanická účinnost.

Snižování emisí je dnes velmi aktuálním tématem a přeplňování je jednou z metod, kterou výrobci motorů používají pro splnění nejnovějších emisních limitů. Regulací přebytku vzduchu ve válci totiž dochází k ovlivnění teploty ve spalovacím prostoru, a tím i ovlivnění množství jednotlivých emisních složek.

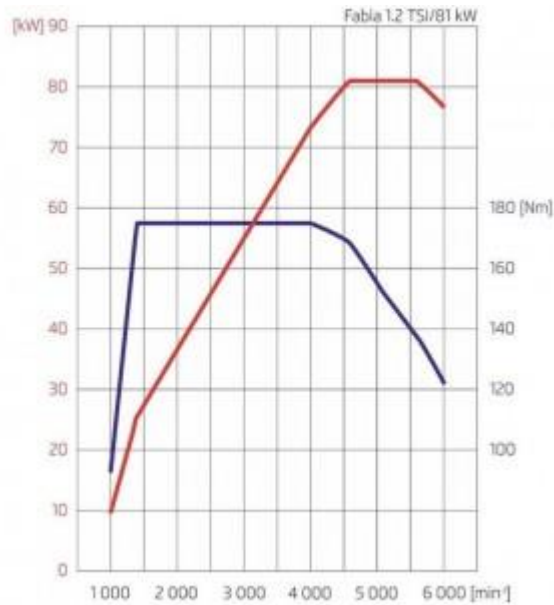
Optimalizace průběhu točivého momentu, tzv. pružnost motoru, je děj, který nastává zvětšením množství dodávaného vzduchu, a to i v nízkých otáčkách motoru.

## 4.2 Výhody přeplňovaných motorů oproti atmosférickým motorům

Každá úprava motoru má své výhody i nevýhody a přeplňování není výjimkou. V některých případech se ovšem nedá jednoznačně říct, zda se jedná o výhodu nebo nevýhodu. Jedním takovým případem je zvětšení síly působící na klikový mechanismus u přeplňovaných motorů. V případě požadavku na větší výkon motoru je nutno zvýšit sílu, která bude působit na píst. Toho je možno docílit například pomocí přeplňování motoru. Tím ovšem dochází k celkovému zvýšení sil působících na jednotlivé části motoru (především již zmíněný klikový mechanismus). Z toho důvodu je nutné, v rámci zachování životnosti, jednotlivé součásti konstrukčně přizpůsobit tomuto nárůstu tlaku.

Mezi výhody přeplňování se dá jednoznačně zařadit možnost dosažení vyššího výkonu u motoru se stejným zdvihovým objemem. Příklad: Škoda Octavia vyráběná v letech 1997 – 2003 s atmosférickým vznětovým motorem 1.9 SDI (AQM) disponovala 50 kW dostupnými při 4200 ot/min a točivým momentem 133Nm při 2200 ot/min [6]. Oproti tomu ten samý vůz s přeplňovaným motorem 1.9 TDI (ASV) vyráběný v letech 1997 – 2006 dosahoval výkonu 81 kW při 4150 ot/min a točivým momentem 235Nm při 1900ot/min [7], přičemž oba motory jsou shodné konstrukce a liší se jen drobnými úpravami souvisejícími s faktem, že motor TDI je přeplňován turbodmychadlem.

Jednou z dalších výhod je snazší optimalizace průběhu točivého momentu. Na obrázku 2 je znázorněná vnější otáčková charakteristika motoru 1.2 TSI/81 kW, u kterého je použito přeplňování pomocí turbodmychadla s variabilní geometrií rozváděcích lopatek. Z obrázku je patrná vyhlazená momentová charakteristika (modrá křivka), částečně i výkonová (červená křivka), což s sebou nese optimální spotřebu a maximum točivého momentu v rozsahu otáček 1400 – 4000 ot/min. Konstantní hodnoty točivého momentu v tomto rozsahu je dosaženo především pomocí řízeného přeplňování motoru [8].



Obrázek 2 Vnější otáčková charakteristika motoru 1.2 TSI/81 kW [8]

Přepřehování není ovšem jediným způsobem, jak tohoto dosáhnout. Můžeme využívat i rezonančního sání, variabilního časování ventilů a jiných konstrukčních úprav, které pomáhají přiblížení se takovýmto charakteristikám.

### 4.3 Nevýhody přepřehovaných motorů oproti atmosférickým motorům

Při použití přepřehování je nutno počítat s nárůstem tlaku a teploty v prostoru válce, podle toho upravit dobu a množství vstříknutého paliva, a to jak u vznětového, tak zážehového motoru, kde by jinak hrozilo detonační spalování.

Dalšími nevýhodami jsou: nárůst počtu dílů - dmychadlo, upravené sání, mezichladič (v případě vyššího plnicího tlaku), ovládací prvky regulace plnicího tlaku (obtokový ventil, membránový ventil pro ovládání variabilní geometrie lopatek) atd.. Úprava samotného motoru nebo jeho částí jako jsou – mazací soustava, výfuková soustava, chladicí soustava, vzduchová soustava (dmychadla, jsou extrémně náchylná na nečistoty).



Přepřňování s sebou nese i nutnost použití olejů s vyšší teplotní stabilitou a únosností za velmi vysokých otáček.

Diskutabilní nevýhodou je potřeba dochlazení dmychadla po použití motoru ve vysokém zatížení. Diskutabilní proto, že každý motor, i atmosférický, by měl být dochlazen po vysokém zatížení, a to z důvodu zamezení lokálního nárůstu teploty jednotlivých částí motoru a chladící kapaliny.

Většina z výše zmíněných nevýhod s sebou samozřejmě nese i nárůst pořizovací ceny pohonné jednotky, provozních nákladů a nároků na správnou obsluhu.

#### **4.4 Konstrukční řešení přepřňování motorů**

Konstrukčních řešení přepřňování motorů a způsobů regulace plnicího tlaku je celá řada. Zvolení vhodného typu závisí na mnoha aspektech (finanční a vývojové možnosti, prostředí provozu motoru, způsob využití motoru, režim práce, v které motor bude nejvíce používán...) a má značný vliv na výsledné vlastnosti motoru.

Jedním z nejzásadnějších vlivů na výsledný projev přepřňovaného spalovacího motoru je způsob, jakým se daný akční prvek (turbokompresor, kompresor...) pohání. Dnes jsou ve větší míře používány 3 způsoby pohonu akčního prvku. Nejrozšířenějším a konstrukčně nejjednodušším řešením jsou klasická turbodmychadla poháněná energií výfukových plynů vycházejících z motoru. Ty v turbíně expandují a roztáčejí ji. Následný moment je přenášen přes společný hřídel na kompresor, který nasávaný vzduch „tlačí“ do motoru. V Americe velmi používaný způsob pohonu akčního prvku, je odběr momentu přímo z klikového hřídele, který je následně použit pro pohon kompresoru/dmychadla. Třetím základním způsobem pohonu je využití elektrického motoru [9]. Postupně se zpřísňujícími se emisními limity, zvyšujícími nároky na průběh točivého momentu motoru a zlepšujícími technologiemi, přichází i nová konstrukční řešení. Příkladem mohou být hybridní turbodmychadla, která se zatím ve větší míře nepoužívají, ale jejich výhody jsou jasně patrné. Kombinací klasického turbodmychadla s elektromotorem dochází k snazší optimalizaci průběhu plnicí tlaku [10] (podrobně bude vysvětleno v kapitole 4.4.4.).

#### 4.4.1 Sání s využitím dynamických efektů

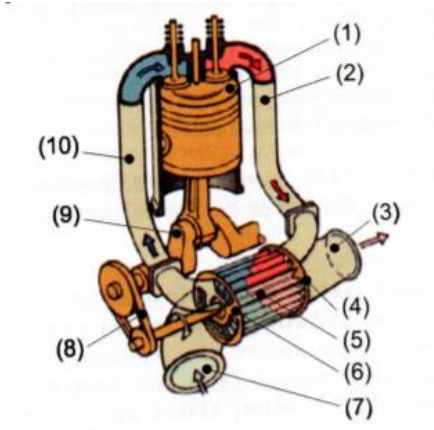
Tato modifikace sací soustavy motoru není podle některých měřítek zařazována do oblasti přeplňování, ale pro úplnost přehledu jsou zde tyto systémy uvedeny. Až na výjimky (systém comprex) tyto systémy nepotřebují ke své funkci pohon a konstrukční změny u motoru, u kterého se dynamické efekty rozhodneme využívat, jsou minimální. Tyto systémy jsou tudíž velmi jednoduché a nepodléhají takřka žádné údržbě, avšak nárůst plnicí účinnosti není tak veliký, jako je tomu např. u turbodmychadel nebo kompresorů.

##### 4.4.1.1 Přeplňování s využitím tlakových pulsací výfukových plynů (Comprex)

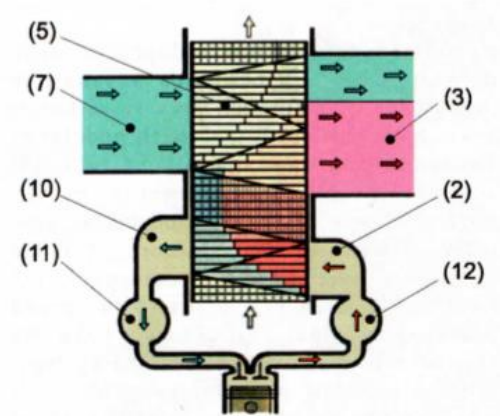
Tento způsob přeplňování byl poprvé použit ve čtyřicátých letech společností BBC Brown Boveri, která ho aplikovala u nákladních automobilů. V oblasti osobních automobilů se tento systém nikdy výrazně neprosadil, avšak od 80. let byl i v této oblasti využíván. Automobilka Mazda vyrobila 150 000 kusů vozů s tímto typem přeplňování [11]. Pracovní přetlak tohoto systému se pohybuje kolem 85 kPa [12].

System Comprex, jak je patrné z obrázku 3 a 4, je poháněný podobně jako dmychadla od klikového hřídele (9) pomocí řemenu (8), řetězu nebo ozubených kol. Celý systém pracuje na principu využití tlakových pulsací [11], které jsou vyvolané vstupem výfukových plynů s velkou energií potrubím (2) do lopatkového rotoru (4), konkrétně do prostoru mezi jednotlivými lopatkami (5), kde dochází k přenosu energie do nasávaného vzduchu (7), který vstupuje sacím kanálem. Při otáčení rotoru výfukové plyny (2) proudí do jednotlivých komor (5), kde nasávaný vzduch (7) stlačují v chvilkově uzavřeném prostoru, a tak vzniká tlaková vlna, která je umocněná expanzí výfukových plynů (2). Pootočením rotoru se komora se stlačeným vzduchem dostane do polohy, kde je strana sání (6) do motoru (10) otevřena a stlačený vzduch může přes mezichladič pokračovat do motoru. Následným pootočením rotoru dochází k uzavření dané komory na straně sání (6), aby nedošlo k proudění výfukových plynů do sběrného potrubí (11). Výfukové plyny se tudíž musí odrazit, vytvářejí podtlak na straně sání (6), kterého se využije při následném pootočení rotoru do pozice, kde je strana sání (6) opět otevřena, a tím je dosaženo nasátí většího množství vzduchu. Výfukové plyny o nízké

energii (3) odcházejí dále do výfukové soustavy. Rotor s lopatkami (4) se neustále otáčí, a tak výše popsany děj probíhá nepřetržitě, tlak poskytovaný tímto systémem je tudíž bez pulsací [12].



Obrázek 3 Systém comprex [12]



Obrázek 4 Systém comprex [12]

### Výhody systému Compress

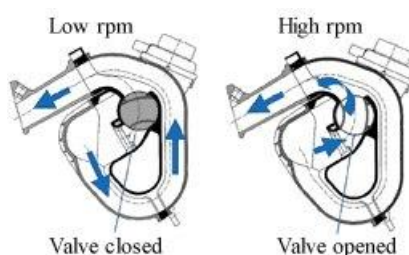
Vzhledem k pohonu od klikového hřídele je patrná výhoda v krátké reakční době při změně zatížení.

### Nevýhody systému Compress

Tento systém je v porovnání s turbodmychadlem náročnější na zastavěný prostor a zároveň je hlučnější. Z toho plyne i nutnost kvalitnější protihlukové izolace. [13].

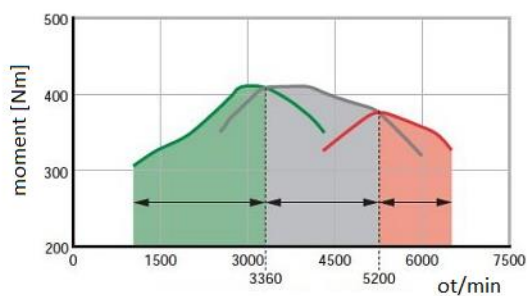
#### 4.4.1.2 Sání s variabilní délkou

Problém sání bez jakékoli úpravy je v tom, že jeho délka a tvar, jsou navrženy na nejvyšší plnicí účinnost pouze v malém rozsahu otáček motoru. Většinou je sání navrženo jako kompromis mezi nízkými a vysokými otáčkami. Pro nižší otáčky je vhodnější větší délka sání a pro vysoké otáčky je vhodnější menší délka sání. Systém s variabilní délkou sání (obrázek 5) kombinuje oba výše zmíněné systémy, mezi kterými dokáže pomocí ventilu (valve) přepínat. V praxi to vypadá tak, že při nízkých otáčkách (low rpm) je ventil uzavřen (valve closed) a při vysokých otáčkách (high rpm) se ventil otevře (valve open) a tak dojde ke značnému zkrácení délky sání.



Obrázek 5 Sání s variabilní délkou [14]

Na obrázku 6 jsou znázorněné momentové křivky pro optimální délky a tvary sání při určitých otáčkách. Zelená barva – nízké otáčky, šedá barva – střední otáčky, červené barva – vysoké otáčky. V případě použití „zeleného“ sání dojde od otáček vyšších než 3360 ot/min k dosažení nižšího momentu, než kdybychom použili „šedé“ sání. Při použití sání s variabilní délkou je možno dosáhnout vnějšího tvaru momentové křivky, znázorněného vždy křivkou, která je nejvýše položená při daných otáčkách.



Obrázek 6 Momentová charakteristika motoru s variabilní délkou sání [14]

### Výhody sání s variabilní délkou

Tento systém je principálně velmi jednoduchý a finančně nepříliš náročný. Je zde jen minimum pohyblivých částí, které nejsou extrémně namáhané, jako je tomu například u turbíny turbodmychadla.

### Nevýhody sání s variabilní délkou

Jednoduchost systému je vykoupena nízkým stupněm přeplnění a omezením konkrétní geometrie na úzký rozsah otáček motoru.

#### 4.4.1.3 Helmholtzův rezonátor

Helmholtzův rezonátor se v historii používal především v oblasti akustiky. Je to nádoba se vzduchem, která je s okolním prostorem spojena trubicí. V této nádobě dojde k rezonanci zvuku o určité frekvenci, a tím i zesílení. U sání motoru je funkce podobná. V určitém režimu otáček, na který je rezonátor naladěný, dochází k zesílení tlakových vln, které běžně v sání vznikají otevíráním a zavíráním ventilů, a tím se zvyšuje plnicí účinnost motoru [14]. Velmi často tohoto systému využívala automobilka Honda (obrázek 7) [15].



Obrázek 7 Helmholtzův rezonátor [15]

#### 4.4.2 Mechanicky poháněná dmychadla

Mechanicky poháněná dmychadla jsou nejčastěji poháněná přes řemen od klikového hřídele společně s ostatními spotřebiči (alternátor, posilovač řízení, klima-kompresor). Na rozdíl od ostatních spotřebičů jsou však dmychadla často připojena přes elektromagnetickou spojku, která slouží k sepnutí/rozpojení jen v požadovaný okamžik. Tento způsob pohonu s sebou nese jak výhody, tak nevýhody, které budou podrobně rozebrány v následující kapitole. [12].

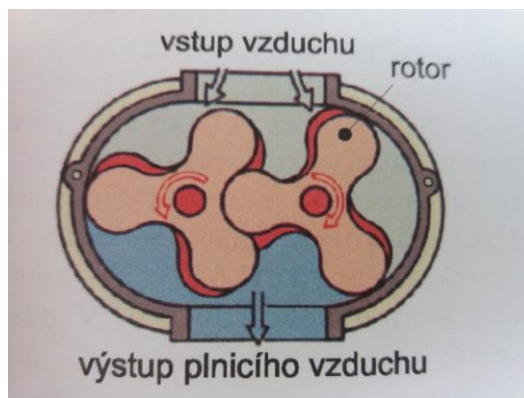
##### 4.4.2.1 Rootsovo dmychadlo

Rootsovo dmychadlo (obrázek 8), také někdy nazýváno šroubové dmychadlo, bylo vynalezeno dvojicí Američanů: Philanderem a Francisem Rootsovými v roce 1860 [16]. Dnes je toto dmychadlo známo ve dvou variantách: dvouzubové (někdy známé pod pojmem dvoukřídlé) nebo třízubové (tříkřídlé). Otáčky těchto dmychadel se pohybují mezi 3 000 ot/min – 30 000 ot/min [17], nejčastěji však dvojnásobku otáček klikového hřídele. Běžně je dosahováno  $\Pi=1,3$  (poměr tlaku na výstupu ku tlaku na vstupu, vztaženo na vstup a výstup akčního prvku zajišťujícího přeplňování motoru), v některých modifikacích  $\Pi=1,4$  [18].



Obrázek 8 Rootsovo dmyhadlo

Rootsovo dmyhadlo čerpá vzduch pomocí otáčejících se rotorů ve skříni, na kterou přiléhají s velkou přesností, viz obrázek 9. Rotory se navzájem nedotýkají, a to kvůli snížení ztrát. Mezera mezi nimi by však neměla překročit 0,2 mm, a to z důvodů účinnosti. Jejich vzájemná poloha je zajištěná pomocí pohonu dvěma ozubenými koly, které jsou v přímém záběru.



Obrázek 9 Schéma Rootsova dmyhadla

## **Výhody Rootsova dmyhadla**

Na rozdíl od motoru využívajícího turbodmyhadlo, které je poháněno pouze výfukovými plyny, dmyhadla obecně poskytují velmi rychlou odezvu na plynový pedál, a to i v nízkých otáčkách (důsledek pohonu od klikového hřídele) například: Mercedes-Benz C 230 K přepínaný Rootsovým dmyhadlem dosahuje maxima točivého momentu (280 Nm) již ve 2200 ot/min. Tento moment je bez změny stejný až do 4800 ot/min.

Pohon od klikové hřídele s sebou nese i výhodu neochlazování výfukových plynů, k čemuž v turbodmyhadlem přepínaném motoru dochází vlivem expanze na turbíně u studeného motoru, kdy je potřeba rychlé ohřátí katalyzátoru na provozní teplotu z důvodů jeho správné funkce. Z opačné strany: v okamžiku extrémního zatížení motoru není dmyhadlo vystaveno velmi vysokým teplotám výfukových plynů.

Vzhledem k možnosti připojení přes elektromagnetickou spojku lze přesně nastavit okamžik zapnutí dmyhadla (velké zatížení motoru), tím se dá snáze upravit momentová charakteristika motoru a odpadá i tzv. turboefekt (prudký nárůst točivého momentu přepínaného motoru, který nastává při náhlém a strmém nárůstu plnicího tlaku). Vypínání dmyhadla se využije při volnoběhu, nízkém stupni zatížení motoru nebo při brždění motorem, kdy není nutné, aby dmyhadlo zvyšovalo plnicí účinnost a zvyšovalo odebíraný moment z klikového hřídele. Vedlejším, ale žádoucím efektem vypínání dmyhadla je i snížení vlastního opotřebení [12].

Absence turbíny znamená i snazší odtok výfukových plynů z prostoru válce.

Vysoká spolehlivost plynoucí i z faktu, že jednotlivé „zuby“ rotorů se nedotýkají a z toho důvodu mezi nimi nemůže docházet k opotřebení [19].

## **Nevýhody Rootsova dmyhadla**

Jak již bylo zmíněno výše, Rootsovo dmyhadlo je poháněno od klikového hřídele, to oproti turbodmyhadlem přepínaném motoru znamená odběr momentu z klikového hřídele.

Nárůst tlaku dodávaného od dmyhadla s sebou nese i nárůst hluku, který je vytvořen jak vznikajícími pulsacemi, tak i pohybem jednotlivých částí.



Výsledný tlak, kterého dosahujeme u Rootsova dmychadla, je nižší než u turbodmychadel, s tím souvisí i nižší maximální momenty takto přepřňovaného motoru.

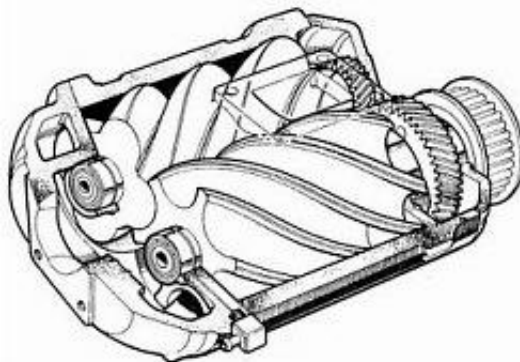
Celý systém je velmi náročný na přesnost a složitost výroby, z čehož plynou i vysoké výrobní náklady [12].

#### 4.4.2.2 Lysholmovo dmychadlo

Nápad zkonstruovat dmychadlo se dvěma šroubovicemi přišel již v roce 1878, avšak zrealizovat tento nápad se podařilo až v roce 1930 Alfu Lysholmovi [20].

Pro Lysholmovo dmychadlo, někdy nazývané šroubové dmychadlo, platí z hlediska pohonu to samé, co platí pro Rootsovo dmychadlo.

Dmychadlo, jak je patrné z obrázku 10, je tvořeno dvěma rotory, jedním hlavním se širokými zuby a jedním vedlejším, který do hlavního rotoru přesně zapadá. Oba rotory jsou umístěny s maximální přesností do společné skříně. Otáčením rotorů dochází k axiálnímu posunu nasávaného vzduchu [20]. Tímto způsobem stlačení dosahujeme  $\Pi=2$  [12].



Obrázek 10 Lysholmovo dmychadlo [14]

#### Výhody Lysholmova dmychadla

Výhody Lysholmova dmychadla jsou stejné jako výhody Rootsova dmychadla. Oproti Rootsovu dmychadlu ovšem dosahuje vyššího stlačení, menšího hluku a lineárnějšího průběhu tlaku dodávaného do motoru.

### Nevýhody Lysholmova dmychadla

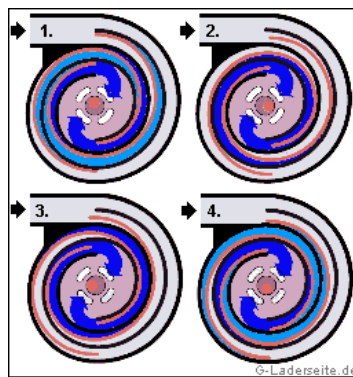
Tento systém je ještě více náročný na výrobní přesnost, než tomu bylo u Rootsova dmychadla, tudíž i dražší. To je také jeden z důvodů, proč dnes není takřka vůbec využíván.

V porovnání s turbodmychadlem je opět dosahováno menších tlaků.

### 4.4.2.3 Ostatní mechanicky poháněné systémy

Existují i další způsoby přeplňování motorů, které ale nikdy nebyly ve větší míře použity, proto se jim tato práce nevěnuje podrobně, ale jen jsou v ní zmíněny.

Jedním z těchto systémů je spirálové dmychadlo (někdy nazýváno G-dmychadlo) [21] (obrázek 11) nebo excentrické lopatkové dmychadlo (obrázek 12) [22].



Obrázek 11 G-dmychadlo [22]



Obrázek 12 Excentrické dmychadlo [22]

#### **4.4.2.4 Regulace mechanicky poháněných dmychadel**

Způsobů regulace je hned několik. Některé jsou více účinné (regulace změnou otáček), některé méně (bypass). Ve většině případů jsou systémy regulace kombinované z důvodů dosažení co nejlepších vlastností.

##### **Obtokový kanál**

Obtokový kanál je systém, pomocí kterého se mění proudění nasávaného vzduchu. V okamžiku, kdy není potřeba zvyšovat množství dodávaného vzduchu, je tento kanál otevřen a vzduch obtéká dmychadlo. Tento systém se zpravidla používá v kombinaci s elektromagnetickou spojkou na dmychadle, protože při použití pouze obtokového kanálu by bylo dmychadlo stále poháněno, na straně sání by vznikal podtlak a odebíraný moment z klikového hřídele by značně snižoval účinnost celého motoru.

##### **Změna otáček**

Regulace změnou otáček je dosažena pomocí elektromagnetické spojky, která mění stav dmychadla na aktivní (spojka sepnuta) a neaktivní (spojka rozepnuta). Tím je zajištěno snížení ztrát v okamžiku, kdy není funkce dmychadla žádoucí, na minimum. Při použití tohoto systému je nutno kombinovat s obtokovým kanálem. Obtokový kanál zajistí zachování proudění v sání i v okamžiku, kdy je dmychadlo neaktivní a působilo by jako klapka v sání. V případě chodu dmychadla je kanál uzavřen a všechny nasávaný vzduch je dmychadlem dopravován do motoru [12].

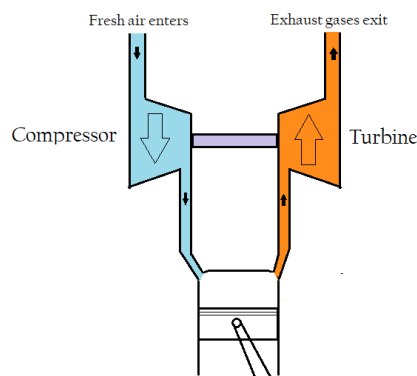
##### **Uzavírání sání**

Uzavírání sání je nejvíce ztrátový způsob regulace dodávaného vzduchu, a proto se téměř vůbec nepoužívá. Jediným regulačním prvkem je škrtková klapka, která jen zmenšuje množství nasávaného vzduchu. Tím dochází k výraznému vytváření podtlaku v sání v okamžiku regulace.

### 4.4.3 Přeplňování s využitím energie výfukových plynů

Turbodmychadlo je dnes nejvíce rozšířeným způsobem přeplňování spalovacích motorů. Tento systém je jednoduchý a velmi účinný.

Celý systém funguje na principu využití energie výfukových plynů proudících z motoru, jak je patrné z obrázku 13. Výfukové plyny (oranžová barva) odcházejí z motoru ve směru proudění šipek na turbínu (turbine), kde expandují a turbínu roztáčejí [17]. Z turbíny je moment přenášen přes společnou hřídel ke kompresoru (compressor), který nasává čerstvý vzduch (fresh air enters, modrá barva) a stlačuje jej dále do motoru.



Obrázek 13 Turbokompresor [23]

Tento systém, tak jak je na obrázku 13 [23], by byl sice funkční, ale v průběhu času se zdokonaloval a doplňoval o další prvky, které jeho činnost zlepšují (bypass, variabilní geometrie lopatek, změna průtočného průřezu). Bez použití těchto prvků by docházelo k velmi výraznému turboefektu. Ten vzniká díky tomu, že v určitém okamžiku výfukové plyny dosáhnou takové energie, při které turbodmychadlu prudce vzrostou otáčky, tím se skokově zvýší plnicí účinnost a průběh točivého momentu by byl nevýhodný.

Při použití turbodmychadla běžně dosahujeme  $\Pi=2$ , u závodních speciálů není problém dosahovat  $\Pi=3$ . Maximální otáčky, kterých dosahuje turbína, se pohybují okolo 200 000 ot/min. Z toho je patrné, že teploty stlačovaného vzduchu porostou a mohou se dostat k 200 °C. Proto je do systému často zařazen mezichladič, pomocí kterého se teplota snižuje až

na 50°C. Důvod snižování teploty je zmenšení objemu vzduchu. Čím nižší teplotu stlačený vzduch má, tím více ho je možné dostat do prostoru válce [20].

### **Výhody přeplňování pomocí turbodmychadla**

Velmi významnou výhodou motoru přeplňovaného pomocí turbodmychadla je tišší chod než u atmosférického motoru, a to právě z důvodu snížení energie výfukových plynů (expanze plynů na turbíně) a utlumení pulsací.

Maximální plnicí tlak, kterého dosahujeme při použití turbodmychadla, je vyšší než u mechanicky poháněného Rootsova dmychadla.

Nesporná výhoda turbodmychadla je v nepotřebě mechanického pohonu. To znamená, že konstruktéři mohou turbodmychadlo uložit co nejbližší výfukovým ventilům a využít tak veškerý potenciál výfukových plynů, bez nutnosti řešit způsob přenosu točivého momentu od klikového hřídele.

### **Nevýhody přeplňování pomocí turbodmychadla**

Turbína turbodmychadla dosahuje až 200 000 ot/min, což s sebou nese nutnost použití velmi kvalitních olejů, které si udržují únosnost olejového filmu i při těchto otáčkách.

Vyšší požadavky na obsluhu. Ano, i atmosférickému motoru nesvědčí velká zatížení ve studeném stavu nebo zastavení motoru v extrémní zátěži, ale u turbodmychadel je tato choulostivost umocněná jejich pracovními otáčkami a teplotami, kterých dosahují. Po startu je tedy nutné nechat motor prohřát a především počkat, než se promaže i turbodmychadlo, které se často nachází nejdále v mazací soustavě. V okamžiku vypínání motoru, který byl v plném zatížení, je žádoucí nechat motor bez zatížení z důvodu dochlazení turbodmychadla. Obsluha, která tohoto postupu nedbá, značně zkracuje životnost turbodmychadla.

Turboefekt je jev, který u moderních přeplňovaných motorů využívajících například variabilní geometrii lopatek nenastává buď vůbec, nebo alespoň ne v takové míře jako u systému bez této úpravy. Odstraněním turboefektu se ovšem značně komplikuje celý systém, a tím roste i cena.

Nutnost změny časování ventilů. Pro dosažení vyšší plnicí účinnosti potřebujeme zvýšit energii výfukových plynů, které roztáčí turbínu. Nejjednodušším způsobem, jakým toho dosáhnout, je dříve otevřít výfukový ventil. Tím se ovšem snižuje termická účinnost motoru.

U mechanicky poháněných dmychadel je nárůst tlaku v sání okamžitý. U turbodmychadel k tomuto nedochází díky absenci mechanické vazby s klikovým hřídelem. Tím nastává dopravní zpoždění (časová prodleva mezi okamžikem, kdy je požadován nárůst plnicího tlaku až do doby, kdy skutečně plnicí tlak dosáhne požadované hodnoty), které se projeví dlouhou odezvou motoru na požadované zvýšení generovaného momentu. Velikost dopravního zpoždění je různá v závislosti na konstrukčním řešení celého systému, ale například závodní motor Cummins, který úspěšně závodil v roce 1952, měl dopravní zpoždění 15 sekund [19]. I tento jev se dá eliminovat, ale opět na úkor složitosti a finanční náročnosti tohoto systému. Například automobilka Volvo tento problém řeší použitím tlakové nádoby, z které odebírá stlačený vzduch v okamžiku potřeby zvýšit otáčky turbodmychadla [24]. Tento systém bude podrobně popsán v kapitole 3.3.4

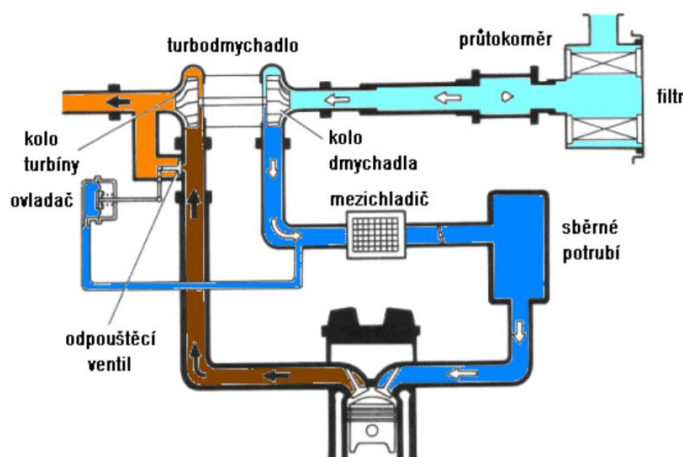
U zážehových přeplňovaných motorů je riziko vzniku detonačního spalování, a to zejména kvůli tomu, že dodávaná hmotnost vzduchu roste s druhou mocninou otáček kompresoru [19].

#### **4.4.3.1 Regulace přeplňování využívající energie výfukových plynů**

Jak už bylo zmíněno výše, regulace plnicího tlaku je velmi potřebná pro omezení některých nežádoucích efektů. Nejvíce náchylné na správnou regulaci jsou zážehové motory, které potřebují pro zapálení směsi zapalovací svíčkou dodržet správný směšovací poměr. Toho lze dosáhnout několika způsoby. Nejjednodušším způsobem je použití obtokového ventilu.

## Bypass

Obtokový ventil turbíny, někdy také nazývaný bypass nebo odpouštěcí ventil, je ventil, který v okamžiku náhlého nárůstu energie výfukových plynů tyto plyny odpustí z prostoru před turbínou (obrázek 14) do výfukového potrubí [25]. Tím dojde sice ke snížení turboefektu a maximálního plnicího tlaku, ale zároveň se zpomalí nástup točivého momentu. Tento ventil může být ovládán několika způsoby. Na obrázku 14 je patrná regulace tlaková. Nárůst plnicího tlaku zmáčkne membránu ovladače a ten přes táhlo otevře obtokový ventil. Druhá varianta ovládání obtokového ventilu, která je dnes více používaná, je servo motor, který nahradí tlakový ovladač.



Obrázek 14 Schéma systému přeplňování s použitím obtokového ventilu [23]

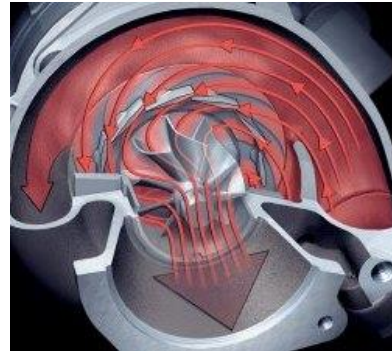
## Variabilní geometrie turbíny (VGT)

Variabilní geometrie turbíny (Variable-Geometry Turbine, zkratka VGT) je sice složitější systém regulace plnicího tlaku, než je například obtokový ventil, ale za to je dosaženo lepšího průběhu točivého momentu než u právě zmíněného systému regulace s obtokovým ventilem. VGT systém pracující na principu natačení lopatek umístěných na statoru (obrázek 15, 16, 17, 18), které usměrní proudění výfukových plynů buď jen na vnější obvod turbíny (obrázek 15, 16), nebo do celého jejího průřezu (obrázek 17,18). Při nízkých otáčkách motoru, kdy je potřeba co nejvíce urychlit turbínu, jsou lopatky nakloněny tak, aby většina výfukových plynů narážela na vnější obvod turbíny, čímž dojde ke zvýšení otáček. V opačném případě, když má motor vysoké otáčky a energie výfukových plynů je natolik velká, že už není potřeba zvyšovat otáčky turbodmychadla, jsou klapky nakloněny tak, aby vstupující výfukové plyny

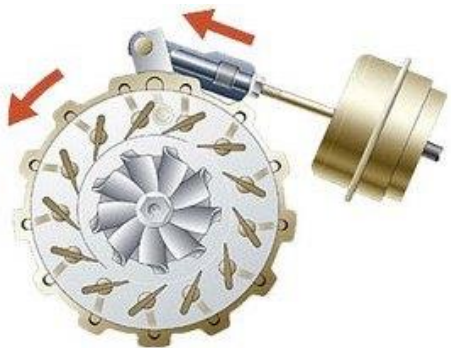
narážely do celé turbíny (obrázky 17, 18). Změna geometrie naklápěcích lopatek probíhá plynule a je ovládána tlakově, podtlakově nebo servomotorem. Tímto způsobem regulace plnicího tlaku dochází k téměř dokonalému odstranění turboefektu a značnému snížení dopravního zpoždění [12, 20].



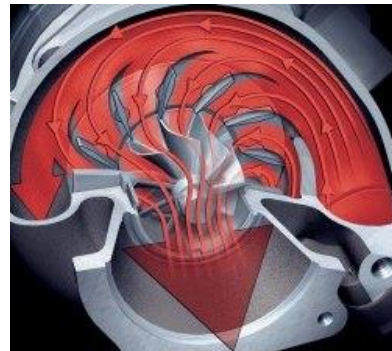
Obrázek 15 Regulace pomocí naklápěcích lopatek, nízké otáčky motoru [14]



Obrázek 16 Regulace pomocí naklápěcích lopatek, nízké otáčky motoru [14]



Obrázek 17 Regulace pomocí naklápěcích lopatek, vysoké otáčky motoru [14]



Obrázek 18 Regulace pomocí naklápěcích lopatek, vysoké otáčky motoru [14]

#### 4.4.4 Speciální konstrukční řešení přepřívání

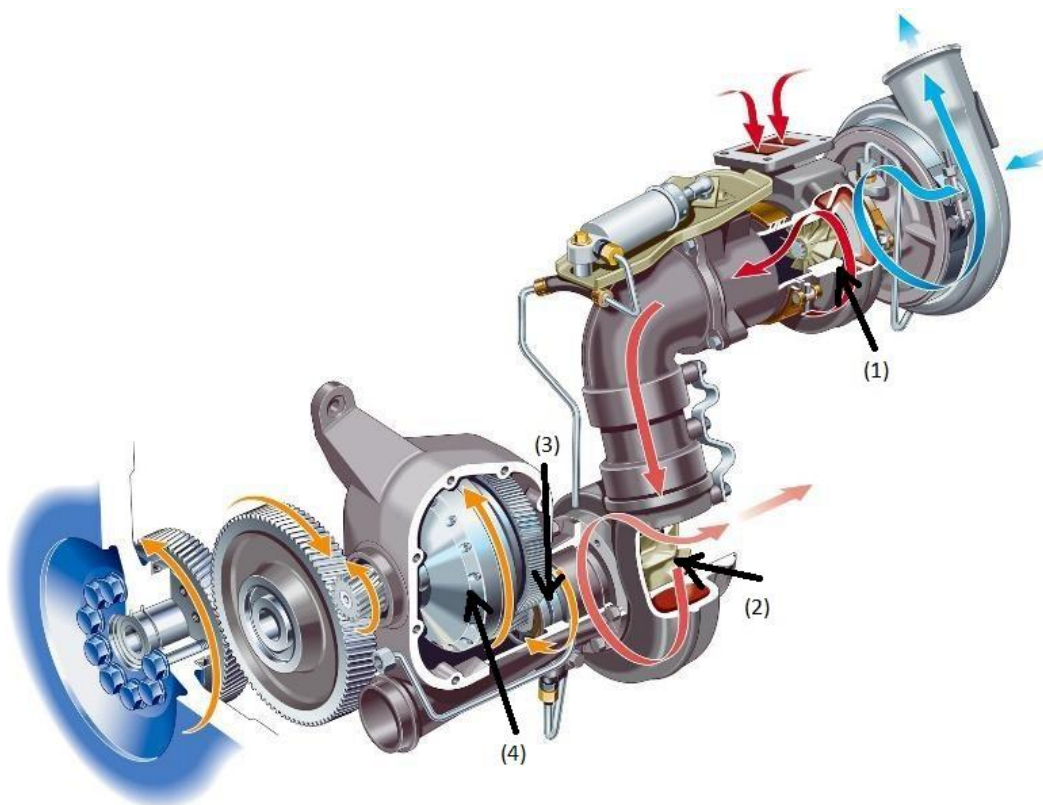
Speciální konstrukční řešení přepřívání jsou systémy, které v převážné míře kombinují, nebo modifikují výše popsané metody přepřívání pro dosažení co nejlepších vlastností a eliminace nežádoucích vlivů popsaných výše.



#### 4.4.4.1 Turbokompandní motor

Turbokompandní motory jsou většinou velkoobjemové motory převážně pracující v ustálených režimech. U těchto motorů je použito klasického přepínání většinou v podobě turbodmychadla, ale dále je využíváno zbytkové energie výfukových plynů za turbínou, která není zanedbatelná. Tato myšlenka byla poprvé zavedena do praxe u leteckých motorů, a to v roce 1950. U pozemních vozidel se této metody začalo využívat až o 10 let později [26]. Tomuto systému nebyla doposud věnována přílišná pozornost, ale v posledních letech spolu se zpřísnujícími se emisními limity začíná být opět ve větší míře používán, a to především kvůli úspoře paliva a snižování emisí [27].

Celý systém je znázorněn na obrázku 19. Výfukové plyny, opouštějící turbínu turbodmychadla určeného pro přepínání motoru (1), vstupují do trakční turbíny (2), kterou roztáčejí. Trakční turbína dále pohání převodové ústrojí (3), jímž se upraví převodový poměr vůči klikovému hřídeli. Klikový hřídel je spojen převodovým ústrojím pomocí kapalinové spojky (4), která slouží k rozpojení přenášeného momentu například při volnoběhu motoru, kdy není dostatečná energie výfukových plynů pro pohon trakční turbíny [28].



Obrázek 19 Turbokompandní motor [28]

Použitím tohoto systému lze zvýšit moment motoru a termickou účinnost až na hodnotu 46% [12].

#### **4.4.4.2 Přeplňování s tlakovou nádobou**

Jak již bylo popsáno výše, značnou nevýhodou přeplňovaných motorů, které využívají turbodmychadla, je náběh systému. Toto by se dalo odstranit okamžitým roztočením turbíny v okamžiku potřeby zvýšení točivého momentu. Přesně na tomto principu systém Volvo PowerPulse pracuje. V okamžiku nízké energie výfukových plynů, ale potřeby zvýšení plnicí účinnosti na maximum systém uvolní ventil tlakové nádoby a stlačený vzduch proudící před turbínu ji roztočí během 0,3 sekund na 150 000 ot/min. Tím dochází k onomu požadovanému nárůstu plnicího tlaku, potažmo točivého momentu. Stlačený vzduch v tlakové nádobě je vyvíjen pomocí 12 V kompresoru, který poskytne tlak v nádobě o velikosti 1,2 MPa během 1 sekundy.

Využití tohoto systému s sebou však nese i problém s úpravou výfukových plynů [20, 24]

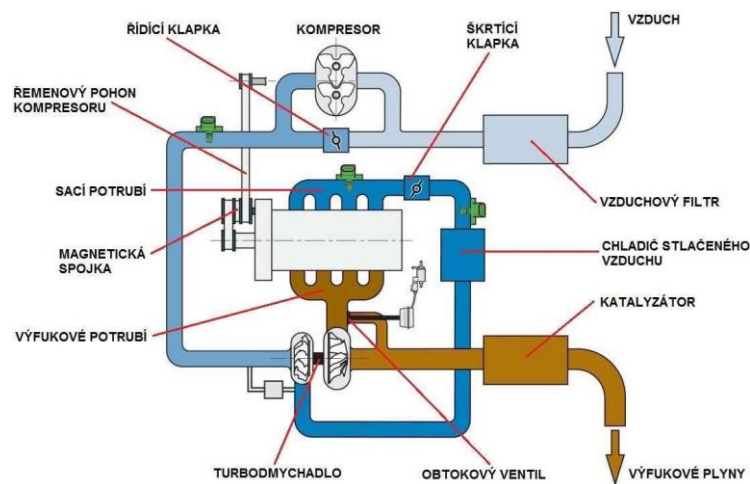
#### **4.4.4.3 Turbodmychadlo s elektromotorem**

V rámci snahy snížit dopravní zpoždění jdou automobilky svými cestami. Systém automobilky Volvo byl popsán výše, ale to není jediný způsob, kterým se dá tento nežádoucí vliv omezit. Automobilka Audi přišla se svým řešením, a to v podobě elektromotoru, který v okamžiku nízké energie výfukových plynů a potřeby zvýšit plnicí účinnost, pohání turbínu a kompresor turbodmychadla, a tím se odstraní doba, kdy je potřeba čekat na nárůst plnicího tlaku [10].

#### **4.4.4.4 Kombinace kompresoru a turbodmychadla**

Kombinací mechanicky poháněného dmychadla a turbodmychadla (obrázek 20) poháněného výfukovými plyny dostaneme výhody obou zmíněných systémů a odstraníme některé

nevýhody popsané výše. V praxi to pak vypadá tak, že kompresor, který je nezávislý na energii výfukových plynů, je aktivní právě v této situaci a buď pohání kompresor turbodmychadla, tím dochází i k částečnému „odsávání“ výfukových plynů pomocí turbíny, nebo přímo přeplyňuje motor. Při nárůstu energie výfukových plynů na takovou hodnotu, kdy není třeba funkce mechanicky poháněného dmychadla, které se zvyšujícími se otáčkami ztrácí účinnost, je otevřen obtokový ventil dmychadla a motor je přeplyňován pouze turbodmychadlem[20, 29].



Obrázek 20 přeplyňování pomocí kompresoru a turbodmychadla [29]

Tento systém opět prodražuje výslednou cenu pohonné jednotky, a to především pro to, že je potřeba dvou akčních prvků (dmychadlo a turbodmychadlo).

#### 4.4.4.5 Další speciální konstrukce přeplyňovaných motorů

Výše byly popsány nejběžnější způsoby přeplyňování motorů, to ale neznamená, že jiné neexistují. Většina výrobců si upravuje systémy přeplyňování podle sebe.

Jedním z příkladů mohou být sériově řazena turbodmychadla. První turbodmychadlo je nízkotlaké a poskytuje pouze velké množství vzduchu druhému, vysokotlakému turbodmychadlu, které jej stlačuje na výslednou hodnotu a plní motor.

Dmychadla se dále dají řadit paralelně. Místo použití jednoho velkého turbodmychadla se použijí dvě menší. To s sebou nese i výhodu jednoduššího výfukového a sacího potrubí, které by bylo velmi složité u více válcových motorů, například BMW N54 twin-turbo [20].

## **5 Výsledky a diskuze – zhodnocení jednotlivých konstrukčních řešení**

Každý systém přeplňování a regulace má svoje plusy a mínusy. Při volbě jednotlivého systému musí brát konstruktér v úvahu několik faktorů. Především je třeba brát ohled na budoucí použití pohonné jednotky, vývojové prostředky a výslednou cenovou hladinu, které jsou k dispozici. Do vozidla nižší střední třídy určitě z finančních důvodů nebude zvoleno přeplňování v podobě kombinace turbodmyhadla a mechanicky poháněného dmyhadla a naopak. Do závodního vozidla s vysokootáčkovým motorem, u kterého je požadavek na co nejmenší zdvihový objem a co nejvyšší výkon, bez ohledu na výslednou cenu, nepoužijeme samotné mechanicky poháněné dmyhadlo.

Jednotlivá konstrukční řešení byla hodnocena ve výhodách a nevýhodách. Souhrnně by se dalo říct, že přeplňování, které využívá ke svému pohonu energii výfukových plynů, je dnes nejvíce rozšířeným způsobem přeplňování a společně s regulací pomocí variabilní geometrie lopatek je i velmi účinné ve velkém rozsahu otáček. Doplněním tohoto systému o tlakovou nádobu nebo elektromotor sice dojde k prodražení celého systému, ale u běžných vozidel tím dojde k významnému zlepšení momentové charakteristiky již od nízkých otáček bez prodlevy při náběhu systému.

## 6 Závěr

Přepřňování spalovacích motorů má za sebou dlouhou historii, během které se výrazně prosadily především dva způsoby přepřňování. Jedním z nich je přepřňování pomocí turbodmyhadla a druhým je přepřňování pomocí kompresoru. Oba systémy si prošly značným vývojem a dá se předpokládat, že i přes veškeré snahy EU potlačit spalovací motory bude tento vývoj pokračovat i nadále.

Vzhledem k benefitům, které s sebou tento systém přináší (menší spotřeba, optimalizace průběhu točivého momentu, nižší emise, menší zdvihové objemy, atd.), je velmi pravděpodobné, že bude i nadále využíván a zdokonalován, a to především z důvodů konkurenceschopnosti spalovacích motorů s hybridními technologiemi a elektromobily.

## 7 Seznam použitých zdrojů

- [1] *Celebrating 110 years of turbocharging* [online]. [vid. 2019-01-14]. Dostupné z: <https://new.abb.com/turbocharging/110-years-of-turbocharging>
- [2] *Turbocharger* [online]. [vid. 2019-01-14]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Turbocharger>
- [3] *Introduction to 1962-1964 Chevrolet Corvair Monza Spyder* [online]. [vid. 2019-01-14]. Dostupné z: <https://auto.howstuffworks.com/1962-1964-chevrolet-corvair-monza-spyder.htm>
- [4] HISTORY. *americanhistory* [online]. [vid. 2019-01-25]. Dostupné z: <http://americanhistory.si.edu/powering/past/history3.htm>
- [5] JENÍK, Martin. *Skoda octavia 1.9 tdi vs skoda octavia 3 1.6 tdi* [online]. 2016 [vid. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/skoda-octavia-i-1-9-tdi-vs-skoda-octavia-iii-1-6-tdi-pokrok-na-vsech-na-vsech-frontach-98655>
- [6] *Technical specifications: Skoda - Octavia I Combi Tour - 1.9 SDI (68 Hp)* [online]. [vid. 2019-01-14]. Dostupné z: <https://www.auto-data.net/en/skoda-octavia-i-combi-tour-1.9-sdi-68hp-14261>
- [7] *Technical specifications: Skoda - Octavia I Combi Tour - 1.9 TDI (110 Hp)* [online]. [vid. 2019-01-14]. Dostupné z: <https://www.auto-data.net/en/skoda-octavia-i-combi-tour-1.9-tdi-110hp-14262>
- [8] BLOG.AUTO.CZ. *Kde si 1.2 tsi poda ruku s dsg* [online]. 2015 [vid. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://blog.auto.cz/dsg7st/2015/07/ked-si-1-2-tsi-poda-ruku-s-dsg/>
- [9] JOHNSONELECTRIC. *Electric-motor-for-turbocharger* [online]. [vid. 2019-01-16]. Dostupné z: <https://www.johnsonelectric.com/en/features/electric-motor-for-turbocharger>
- [10] GODEKE, Holger a Kurt PREVEDEL. Hybrid Turbocharger With Innovative Electric Motor. *MTZ Worldwide* [online]. 2014, **75**(03), 26–31. ISSN 2192-9114. Dostupné z: [doi:10.1007/s38313-014-0030-2](https://doi.org/10.1007/s38313-014-0030-2)

- [11] MASON, Evan. *Pressure wave supercharger* [online]. [vid. 2019-01-14]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Pressure\\_wave\\_supercharger](https://en.wikipedia.org/wiki/Pressure_wave_supercharger)
- [12] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽĎÁNSKÝ. *Automobily III Motory*. 2007. ISBN 978-80-903671-7-3.
- [13] HOFMANN, Karel. *Turbodmychadla, vozidlové turbíny a ventilátory*. B.m.: Praha : SNTL, 1985.
- [14] PETR, Veit. *cms\_view\_article @ www.honda-club.cz* [online]. 2003 [vid. 2019-01-31]. Dostupné z: [http://www.honda-club.cz/forum/cms\\_view\\_article.php?aid=191](http://www.honda-club.cz/forum/cms_view_article.php?aid=191)
- [15] MURILEE, Martin. *1992-when-honda-civics-were-small-and-their-helmholtz-resonators-were-huge @ autoweek.com* [online]. [vid. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://autoweek.com/article/wait-theres-more/1992-when-honda-civics-were-small-and-their-helmholtz-resonators-were-huge>
- [16] EATON. *Superchargers* [online]. [vid. 2019-01-29]. Dostupné z: <https://www.eaton.com/SEAsia/ProductsSolutions/Vehicle/ProductsServices/Supercargers/index.htm>
- [17] HEYWOOD, JOHN, B. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. 1988. ISBN 0-07-028637-X.
- [18] STONE, Richard a Jeffrey K. BALL. *Automotive Engineering Fundamentals* [online]. 2004. ISBN 978-0-7680-0987-3. Dostupné z: doi:10.4271/R-199
- [19] MACKERLE, Julius. *Motory závodních automobilů*. 1980.
- [20] WAN, Mark. *Intake\_exhaust* [online]. 2011 [vid. 2019-01-21]. Dostupné z: [https://www.autozine.org/technical\\_school/engine/Intake\\_exhaust.html](https://www.autozine.org/technical_school/engine/Intake_exhaust.html)
- [21] MAXRPM. *G-Lader-operation* [online]. [vid. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.maxrpm.de/G-Lader-operation>
- [22] NORMAN, Eldred. *vane-supercharger @ hpwizard.com* [online]. [vid. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://hpwizard.com/vane-supercharger.html>
- [23] MECHSTUFF. *Differences-between-superchargers-vs-turbochargers* [online]. [vid. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://mechstuff.com/differences-between->



superchargers-vs-turbochargers/

- [24] REBEL, Proud. *Volvo* [online]. 2011 [vid. 2019-01-30]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=mFlITzqRBWY>
- [25] PRIKNER, Patrik. *Učební opory z předmětu Traktory a dopravní prostředky*.
- [26] JÄÄSKELÄINEN, Hannu a W. MAJEWSKI, ADDY. *engine\_whr\_turbocompound* [online]. 2018 [vid. 2019-01-31]. Dostupné z: [https://www.dieselnets.com/tech/engine\\_whr\\_turbocompound.php](https://www.dieselnets.com/tech/engine_whr_turbocompound.php)
- [27] CIPOLLONE, R, D Di BATTISTA a A GUALTIERI. Fig 2 Expected cost increase for a large diesel vehicle (from TNO Science & Industry -Support for the revision of Regulation (EC) No 443/2009 on CO 2 emissions from cars). *Certified International Journal of Engineering and Innovative Technology*. 2008, **9001**(6), 2277–3754.
- [28] JÄÄSKELÄINEN, Hannu a W. MAJEWSKI, ADDY. *engine\_whr\_turbocompound @ www.dieselnets.com*. 2018.
- [29] HORÁK, Tomáš. *Netradiční způsoby zvyšování výkonu spalovacích motorů* [online]. 2011 [vid. 2019-01-31]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=41643](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=41643)