



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

NETRADIČNÍ ZPŮSOBY ZVYŠOVÁNÍ VÝKONU **SPALOVACÍCH MOTORŮ**

UNCONVENTIONAL POWER INCREASING OF COMBUSTION ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ HORÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADIM DUNDÁLEK, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Horák

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

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

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

Netradiční způsoby zvyšování výkonu spalovacích motorů

v anglickém jazyce:

Unconventional Power Increasing of Combustion Engines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Osvojení základních pojmů zadaného tématu. Zamyšlení nad budoucností této problematiky.

Cíle bakalářské práce:

Vytvoření přehledu různých způsobů zvýšení výkonu spalovacích motorů. Příklady zajímavých konstručních řešení, výhody a nevýhody jednotlivých druhů, možná úskalí použití.

Seznam odborné literatury:

[1] HOFMANN, Karel. ALTERNATIVNÍ POHONY [s.l.] [s.n.] 2003 73 s Dostupný z WWW:
<www.ite.fme.vutbr.cz/opory/Alt.pohony.pdf>.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 19.11.2010

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce shrnuje různé netradiční způsoby zvyšování výkonu spalovacích motorů. Součástí práce je popis historických, současně používaných a prototypových způsobů sloužících k tomuto účelu včetně principu jejich funkce. Velký důraz je kladen hlavně na přeplňování, protože tato oblast zažívá velmi rychlý vývoj.

KLÍČOVÁ SLOVA

Variabilní kompresní poměr, MultiAir, Kombinované přeplňování, Triflux, Twin-scroll, Comprex, Turbokompandní motory, Hybridní turbodmychadlo,

ABSTRACT

This Bachelor thesis summarizes the various unconventional ways of improving the performance of combustion engines. This thesis describes historical, currently used and prototype methods used for this purpose, including the principle of their function. Great emphasis is placed mainly on forced induction engines, since this area is experiencing very rapid development.

KEYWORDS

Variable compression ratio, MultiAir, Compound forced induction, Triflux, Twin-scroll, Comprex, Turbocompound engines, Hybrid turbocharger



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HORÁK, T. *Netradiční způsoby zvyšování výkonu spalovacích motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 39 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Radim DUNDÁLEK, Ph.D.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 26. května 2011

.....

Tomáš Horák



PODĚKOVÁNÍ

Za účinnou podporu a obětavou pomoc, cenné připomínky a rady při zpracování bakalářské práce tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Radimu DUNDÁLKOVÍ, Ph.D.

Chtěl bych také poděkovat svojí mamince Ing. Bc. Zdeňce Horákové a své přítelkyni Karolíně Hurdákové za neustálou podporu během studia na vysoké škole.



OBSAH

Úvod	9
1 Netradiční způsoby zvyšování výkonu úpravou konstrukce motoru	10
1.1 Systém ovládání ventilů MultiAir - Fiat	10
1.2 Motory s variabilním kompresním poměrem	13
2 Netradiční způsoby zvyšování výkonu pomocí přeplňování.....	15
2.1 Motory přeplňované pomocí kombinace mechanického kompresoru a turbodmychadla	15
2.2 Motor Triflux	18
2.3 Turbodmychadlo typu Twin-scroll	21
2.4 Hybridní turbodmychadlo	24
2.5 Dynamické impulzní přeplňování.....	26
2.6 Přeplňování pomocí tlakového výměníku - Comprex	28
2.7 Přeplňování pomocí scroll kompresoru	30
2.8 Turbokompandní motory	32
3 Ostatní netradiční způsoby zvyšování výkonu	35
3.1 Použití netradičních paliv	35
3.2 Vstřikování oxidu dusného	35
Závěr.....	36



ÚVOD

Konstrukce automobilového motoru se vyznačuje neobvyklým množstvím kompromisů. Už jen základní požadavky jsou protichůdné. Požadujeme vysoký výkon, plochou křivku točivého momentu a jeho nástup už od nejnižších otáček a to při co nejnižší spotřebě paliva, tedy vysoké účinnosti motoru. Navíc vzhledem k současnému trendu „downsizingu“ tedy snižování zdvihových objemů motorů a současném nárustu hmotnosti vozidel (ať už díky vyšší pasivní bezpečnosti, tak i větším rozšířením komfortních systémů), je nutno stále zvyšovat výkonové parametry motorů (litrový výkon), ovšem společně se snižováním spotřeby a emisí. Dostáváme se tedy k hranici přes kterou se s použitím vylepšování klasických technologií nemůžeme dostat. Proto je nutný intenzivní vývoj nových netradičních způsobů jak těmto požadavkům na moderní motor vyhovět, a které posunou technologický vývoj o velký kus dopředu. Základní otázka při zvyšování výkonu spalovacího motoru zní: Jak dostat do válce co nejvíce směsi a jak tuto směs poté efektivně spálit tak abychom ji co nejlépe využili? První část této otázky poukazuje na zvýšení zdvihového objemu a/nebo na použití nějakého typu přeplňování, zatímco druhá část na možnost variabilního kompresního poměru a systémů využívajících odpadní energie výfukových plynů. Velká část této práce je tedy věnována přeplňování jelikož jde o v současnosti nejpoužívanější způsob zvyšování výkonu spalovacích motorů.

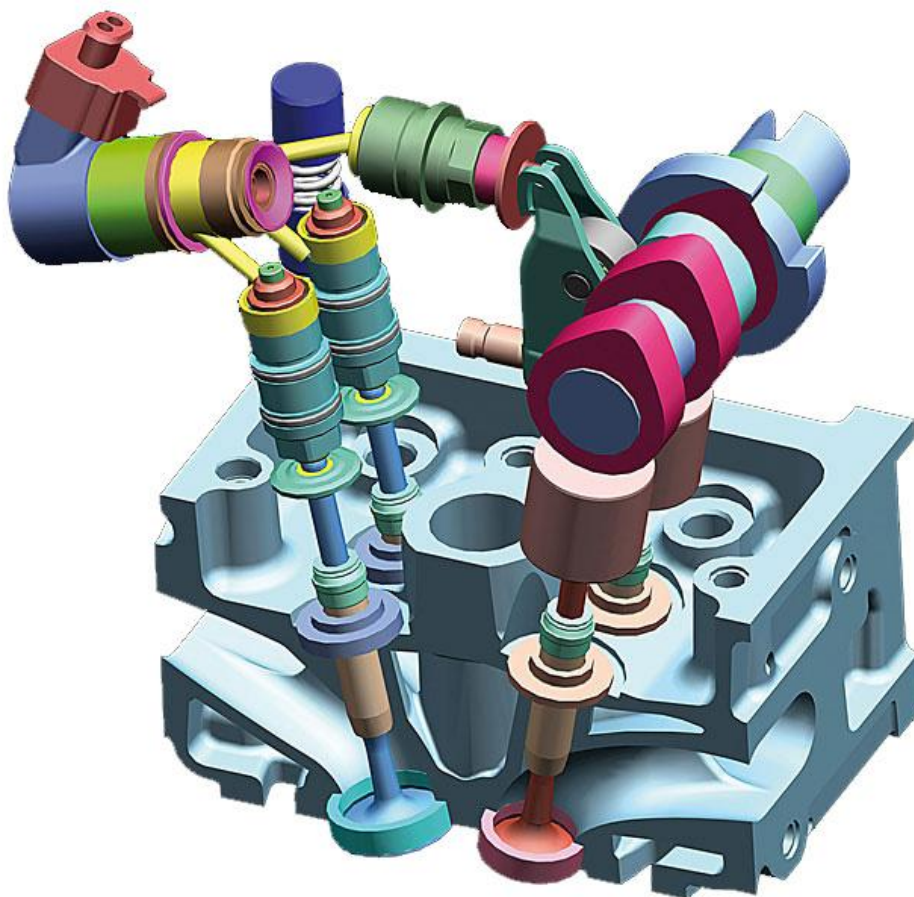


1 NETRADIČNÍ ZPŮSOBY ZVYŠOVÁNÍ VÝKONU ÚPRAVOU KONSTRUKCE MOTORU

Při konstrukci motoru je nutno dělat kompromisy. Největším z nich je volba kompresního poměru. Což je poměr objemu nestlačené a stlačené směsi. Je nutno ho volit s ohledem na to jak bude motor využíván. Limitujícím faktorem je hranice klepání motoru při plném zatížení, ikdyž by při částečném zatížení mohl být použit vyšší. To vedlo k vývoji motorů s variabilním kompresním poměrem. Dalším je časování, zdvih a doba otevření ventilů. Volba těchto parametrů vede vždy ke kompromisu pro určité otáčky motoru. Řešením jsou systémy proměnného časování a zdvihu ventilů.

1.1 SYSTÉM OVLÁDÁNÍ VENTILŮ MULTIair - FIAT

Tento elektrohydraulický systém umožňuje plynulé změny časování a zdvihu ventilů, odstraňuje přímou fyzickou vazbu mezi vačkovou hřídelí a ventilem, což umožňuje velkou míru regulace. Další výhodou variabilního zdvihu je možnost eliminace škrtkové klapky, díky čemuž jsou sníženy ztráty škrcením.



Obr.1 : *Schéma systému Multiair [1]*

Princip

Systém MultiAir pracuje s čtyřventilovou konstrukcí s jednou vačkovou hřídelí v hlavě válců, protože jeho další součásti zabírají místo původního vačkového hřídele ovládajícího sací



ventily. Zatímco vačkový hřídel ovládající výfukové ventily pracuje tradičním způsobem, k řízení sacích ventilů je použito dalších součástí: válečkové vahadlo > hydraulický píst > hydraulická komora (obsahuje elektronicky ovládaný solenoidový ventil) > hydraulický pohon ventilu. To znamená, že k ovládání ventilů je použito kombinace jak mechanických tak hydraulických komponent. Celý systém pracuje na principu „ztraceného pohybu“, kvůli jeho relativní jednoduchosti, nízkým nárokům na výkon, bezpečnosti a potenciálně nízké ceně. Tento systém využívá pět způsobů operace. [2]



Obr.2 : Módy operace systému Multiair [3]

- 1. Plný zdvih** - V tomto případě je solenoidový ventil po celou dobu uzavřen. Hydraulický olej tedy proudí z pístu přímo do hydraulického pohonu a pohyb ventilu přesně kopíruje profil ovládací vačky (ta je navržena pro velký výkon - velký zdvih a dlouhý čas otevření). Díky tomu je dosaženo vysokého výkonu při vysokých otáčkách. Všechny ostatní módy využívají solenoidový ventil právě ke způsobení „ztráty pohybu“, a tedy změny tvaru a časování profilu. Tímto profilem je tedy omezen maximální zdvih a doba otevření ventilu.
- 2. Točivý moment v nízkých otáčkách** - Tento mód je určen pro zlepšení akcelerace z nízkých otáček. Umožňuje nasátí většího množství vzduchu než módy 3 a 4. Dřívějším uzavřením ventilu je zabráněno zpětnému proudění z válce do sání. (Toto je kvůli kombinaci ostré vačky a nízkých otáček, které může vést ke zpětnému proudění. Ostatní motory tento problém nemají ať už díky použití proměnného časování nebo kompromisního časování vačky)
- 3. Předčasné uzavření ventilu** - Tento mód je vhodný pro široký rozsah částečného zatížení. V závislosti na požadavku výkonu, je množství vzduchu řízeno počátkem uzavření sacích ventilů. To eliminuje potřebu škrtící klapky (podobně jako BMW Valvetronic) a snižuje škrtící ztráty až o 10%.
- 4. Volnoběh** - je vhodný je pro běh při nízkém zatížení. Jeho pozdní otevření ventilu vede k částečnému vakuu ve spalovací komoře. To ve spojení s nízkým zdvihem ventilu, výrazně urychluje proud nasávaného vzduchu, vytváří turbulence a tím zlepšení promíchání palivové směsi. Tím je snížena spotřeba paliva a množství emisí.
- 5. Vícenásobný zdvih** - je určen pro provoz ve velmi nízkých otáčkách a kombinuje výhody módů 3 a 4, sníženou spotřebu a lepší kvalitu směsi.



Díky kombinaci těchto pěti způsobů řízení je dosaženo přibližně 10% zvýšení maximálního výkonu a 15% zvýšení točivého momentu při nízkých otáčkách za současného snížení spotřeby o 10%.

Výhody

- Velice flexibilní způsob řízení - možnost změny jak časování tak zdvihu a dokonce možnost několika otevření ventilu během sání.
- Individuální řízení ventilů v různých válcích.
- Použití systému není omezeno pouze na benzínové motory.
- Ve spojení s přeplňováním dochází k dalšímu zlepšení parametrů motoru
- Eliminace škrtící klapky a tedy snížení škrtících ztrát

Nevýhody

- Nemožnost změny časování výfukové vačky kvůli následné změně časování vačky ovládající tento systém
- Zvýšená cena

Použití

V současné době je tento systém využíván v některých motorech koncernu Fiat. Většinou o objemu 1,4 l a výkonech od 105 do 170 koní (ve spojení s přeplňováním). Asi nejzajímavějším motorem z nich je dvouválec TwinAir, který z objemu 0,9 l dává výkon 85 koní a točivý moment 145 Nm a to vše při velmi nízké spotřebě.

Shrnutí

Systém MultiAir je v současnosti nejpokrokovější způsob ovládání ventilů použitý v sériových motorech. Přináší výrazné zlepšení parametrů motoru oproti klasickému uspořádání. Vzhledem k tomuto bude jistě brzy použit i u dalších motorů. (Jeho konstrukce byla s tímto požadavkem přímo navrhována.)

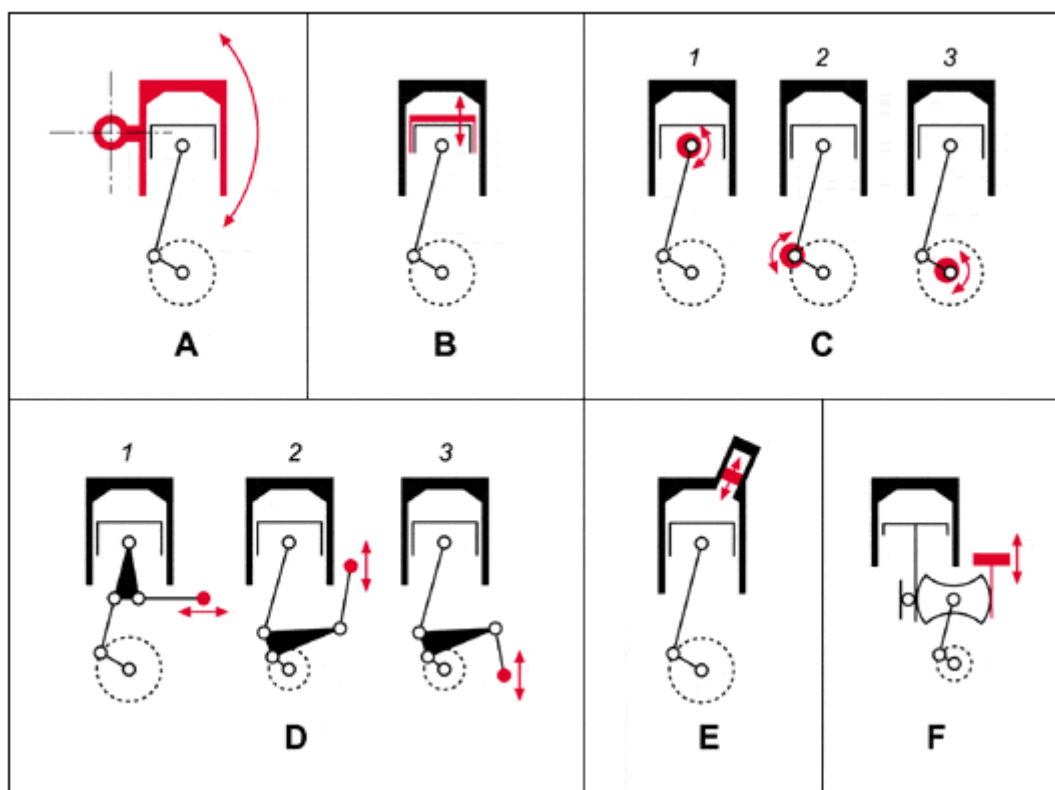


1.2 MOTORY S VARIABILNÍM KOMPRESNÍM POMĚREM

Tyto motory jsou vybaveny systémy umožňujícími plynulou změnu kompresního poměru tak aby bylo dosaženo jeho ideální hodnoty pro různé provozní režimy. Tedy vysokého kompresního poměru pro částečná zatížení, díky čemuž je zvýšena účinnost motoru, a nízkého kompresního poměru pro vysoká zatížení, kde je tímto eliminováno nebezpečí detonačního spalování.

Princip

Dva základní principy jsou: změna zdvihu pístu nebo změna objemu prostoru v hlavě válců. Konkrétních konstrukčních řešení vycházejících z těchto principů je mnoho, některé jsou vhodnější jiné méně.



Obr.3 : Schéma možných systému proměnného kompresního poměru [4]

- A - Naklápění bloku motoru.
- B - Změna výšky pístu.
- C - Použití excentru v klikovém mechanismu
- D - Klikový mechanismus s více prvky
- E - Přídavný píst v hlavě válců
- F - Použití převodů v klikovém mechanismu

Při použití modifikovaných klikových mechanismů C, D, F dochází k problémům s jejich následným dynamickým vyvážením. U naklápěcího bloku A dochází k nepřiměřenému opotřebení z důvodu změny geometrie. Změna výšky pístu B je složitá z důvodu přenosu



výkonu na tuto změnu přímo do pístu. Jako nejschůdnější řešení se tedy jeví možnost E, tedy změna objemu prostoru v hlavě válců použitím přídavného pístu.

Výhody

- Výrazné zlepšení parametrů motoru. Je uváděn až 20% nárůst výkonu, 60% nárůst točivého momentu a to při snížení spotřeby o 30%. [5]
- Možnost použití různých paliv bez kompromisního kompresního poměru.
- Při dosažení vysokých kompresních poměrů možnost zápalu homogenní směsi samozážehem (v benzínových motorech) což by dále snížilo spotřebu.

Nevýhody

- V mnoha případech složitá konstrukce mechanismu přinášející nové problémy.
- Větší rozměry motoru.
- Cena systému.
- Při modifikaci klikového mechanismu dochází ke zvýšení setrvačných hmot a problémům s jejich následným vyvážením.

Použití

Tento systém zatím není použit u žádného sériově vyráběného motoru. Nicméně už bylo představeno několik prototypů od různých výrobců.

Prvním z nich byl SAAB s motorem o objemu 1,6 l, výkonu 168 kW, točivém momentu 305 Nm, přeplňovaný pomocí kompresoru, který využíval naklápění bloku motoru. [6]

Dalším je například MCE-5 VCRi, existující ve dvou variantách, o objemu 1,5 l, výkonech 160 (200) kW, točivém momentu 420 (480) Nm, u nichž je použito převodů v klikovém mechanismu. [7]

Shrnutí

Systém proměnné komprese představuje obrovský skok v konstrukci spalovacích motorů. Díky tomu, že je odstraněn největší kompromis při konstrukci motoru, není u těchto motorů problém dosahovat dříve nemyslitelných výkonových parametrů při velmi nízké spotřebě v porovnání s klasickým řešením. Různé druhy tohoto systému jsou vyvíjeny mnoha automobilkami, protože ta, která ho uvede do sériové výroby první, získá velikou konkurenční výhodu.



2 NETRADIČNÍ ZPŮSOBY ZVYŠOVÁNÍ VÝKONU POMOCÍ PŘEPLŇOVÁNÍ

Přeplňování patří mezi nejvíce používané způsoby zvyšování výkonu motorů. Díky tomu existuje velké množství různých systémů. Základním principem je naplnění válce větším množstvím směsi pomocí kompresoru, který může být poháněn jak mechanicky tak pomocí energie výfukových plynů.

2.1 MOTORY PŘEPLŇOVANÉ POMOCÍ KOMBINACE MECHANICKÉHO KOMPRESORU A TURBODMYCHADLA

Tento systém přeplňování kombinuje mechanický kompresor a turbodmychadlo s tím úmyslem, že výhody jednoho komponentu kompenzují nevýhody toho druhého. Tedy, že nízká účinnost mechanického kompresoru při vysokých otáčkách motoru je kompenzována turbodmychadlem a mechanický kompresor je používán při nízkých otáčkách motoru kdy turbodmychadlo nedosahuje provozních otáček. Čímž je zajištěn vysoký plnicí tlak v širokém spektru otáček a tedy i vysoký výkon a točivý moment.

Princip

Systém pracuje tímto způsobem: Při nízkých otáčkách motoru je v činnosti pouze mechanický kompresor, díky tomu je dosaženo požadovaného plnicího tlaku a tedy i výkonu za cenu snížené účinnosti jelikož část výkonu motoru je použita pro pohon kompresoru. Tímto je také eliminován turboefekt turbodmychadla, které nemůže dodávat požadovaný plnicí tlak vzhledem k nedostatečné intenzitě proudu výfukových plynů, které jej pohánějí. Při zvyšování otáček motoru je dosaženo přechodové oblasti, kde turbodmychadlo začíná přebírat přeplňování motoru ale kompresor je stále v činnosti tak aby došlo k plynulému přechodu mezi přeplňováním jednotlivými komponenty. Po dalším zvýšení otáček, kdy už je proud spalín dostatečný pro pohon turbodmychadla, toto zcela přebere přeplňování motoru. Mechanický kompresor je odpojen od motoru pomocí elektromagnetické spojky aby zbytečně neubíral výkon a nasávaný vzduch ho kompletně obtéká pomocí ventilem řízeného obtoku.

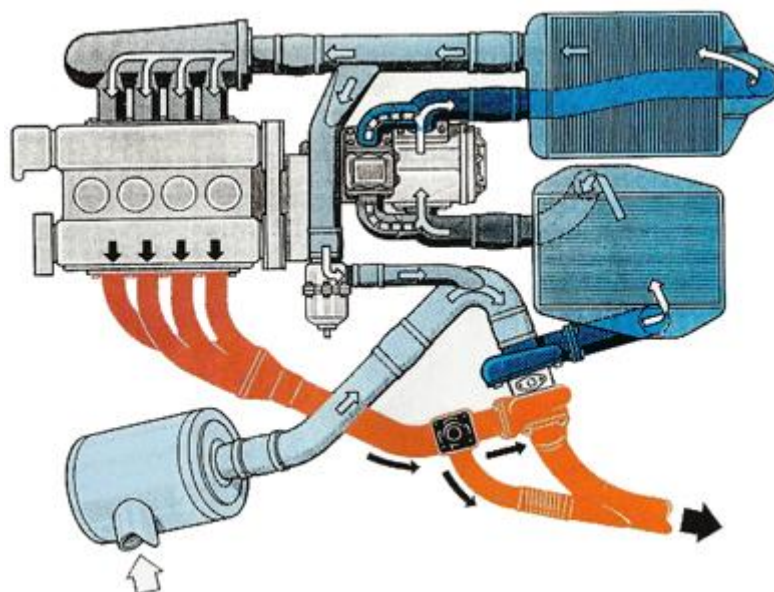
Motory využívající tento systém přeplňování:

Motor rally speciálu Lancia Delta S4

Tento motor byl následovníkem motoru z předchozího modelu Lancia Rally 037, který využíval přeplňování Rootsovým kompresorem z důvodu rychlé odezvy motoru na plynový pedál. Tento řadový čtyřválec dosahoval výkonu 325 koní při objemu 2,1 l. Během let 1983 až 1985 byl vyvinut kompletně nový motor využívající kombinovaný způsob přeplňování, kdy se podařilo synchronizovat kompresor a turbodmychadlo tak aby byl přechod mezi přeplňování pomocí nich byl plynulý a stal se tedy prvním motorem s tímto systémem přeplňování. Díky přidání turbodmychadla a faktu, že pravidla skupiny B kam tento speciál patřil omezovala výkon motoru pouze zdvihovým objemem, bylo dosaženo maximálního výkonu 450 koní při objemu 1.8 l a to při zachování vysokého točivého momentu a rychlé reakce na plynový pedál v nízkých otáčkách díky kompresoru. Nehledě na kvality toho motoru a jeho způsobu přeplňování byl jeho výkon nakonec považován za nedostatečný a tak



další vývoj pro sezónu 1988 (již pro skupinu S, protože skupina B byla zrušena na konci roku 1986) směřoval k použití systému Triflux se dvěma turbodmychadly (popsán níže). [8]



Obr.4 : Schéma přeplňování motoru speciálu Lancia S4 [8]

Motor Nissan MA09ERT

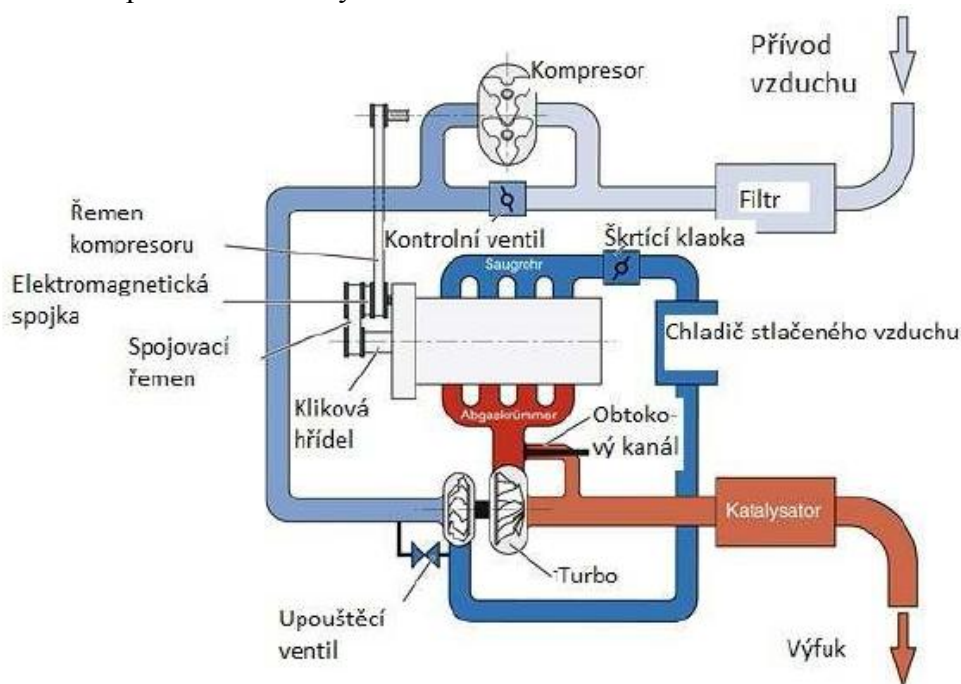
Motor MA09ERT byl založen na motoru K10ET. Nissan se pokusil zlepšit výkon a odezvu motoru tím, že přidal Rootsův kompresor na motor MA10ET již přeplňovaný turbodmychadlem. Kompresor vylepšil odezvu a výkon v nízkých otáčkách (kde jsou turbodmychadla obvykle méně účinná), a nové větší turbodmychadlo HT10 zlepšilo výkon ve vysokých otáčkách. Byl přidán mezichladič stlačeného vzduchu a nové sací potrubí s větší škrticí klapkou a lepším vstřikováním paliva. Výsledkem bylo zvýšení výkonu na 110 koní z původních 74, a mnohem širší rozsah vysokého točivého momentu. Další úpravy zahrnovaly snížení zdvihového objemu motoru z 0,988 l na 0,930 l, což vedlo k zesílení stěn bloku motoru díky zmenšenému vrtání, a umožnilo tento motor používat v dalších soutěžních skupinách, což by jinak nebylo možné, vzhledem k jejich pravidlům o přeplňování. První prototypy těchto motorů byly instalovány ve vozidlech March Superturbo R/March R (japonské verze Nissanu Micra) v roce 1988, krátce poté, co byl motor instalován v March Superturbo. Tento motor byl prvním sériově vyráběným motorem s kombinovaným přeplňováním, který byl dostupný v Japonsku. [9]

Motor Volkswagen 1.4 TSI Twincharger

Tento motor byl představen v roce 2006. Označení TSI (Twincharger Stratified Injection) znamená, že se využívá kombinovaného přeplňování ve spojení s přímým vstřikem paliva do válce FSI (Fuel Stratified Injection), ovšem ne všechny motory s označením TSI obsahují tento způsob přeplňování. Vzhledem k jeho výborným parametrům (maximální výkon 132 kw a točivý moment 250 Nm v rozmezí 2000-4500 min⁻¹) pravidelně získává cenu International engine of the year v kategorii objemů 1-1,4l už od svého uvedení. V současné době je montován do sportovních verzí malých vozů koncernu Volkswagen: například Volkswagen Polo GTI a to v novější verzi o výkonu 132 kw (předchozí verze měla výkon 125 kw). Jedním



z rozdílů tohoto motoru vzhledem k předchozím uvedeným je to, že kompresor a turbodmychadlo jsou umístěny naopak, nasávaný vzduch tedy proudí nejdříve do Rootsova kompresoru a až poté do turbodmychadla.



Obr.5 : Schéma přeplňování motoru Volkswagen 1.4 TSI Twincharger [10]

Výhody

- Vyšší litrový výkon motoru díky optimalizaci turbodmychadla pro vyšší otáčky motoru. Díky tomu je možno použít menších zdvihových objemů (downsizing) pro dosažení stejných výkonových parametrů nebo je možné dosáhnout velmi vysokých výkonů v závodních aplikacích.
- Široký rozsah otáček maximálního točivého momentu zlepšuje pružné zrychlení vozidla.
- Dosažení menší spotřeby paliva u motorů o malém zdvihovém objemu oproti stejně výkonným atmosferickým motorům o stejném výkonu a tedy i nižší emise CO₂.

Nevýhody

- Větší složitost a cena systému. Nutnost použití drahých mechanických a/nebo elektronických řídicích systémů.
- Obavy o životnost malých vysoce přeplňovaných motorů

Shrnutí

U motorů s kombinovaným přeplňováním se podařilo vykompenzovat nevýhody jednotlivých komponent, ovšem za cenu velké složitosti a ceny těchto systémů. V budoucnosti se tento druh přeplňování nejspíše přestane používat jednak z důvodu vysoké ceny těchto systémů tak i kvůli novým typům turbodmychadel např. turbodmychadla typu Twin-Scroll, která

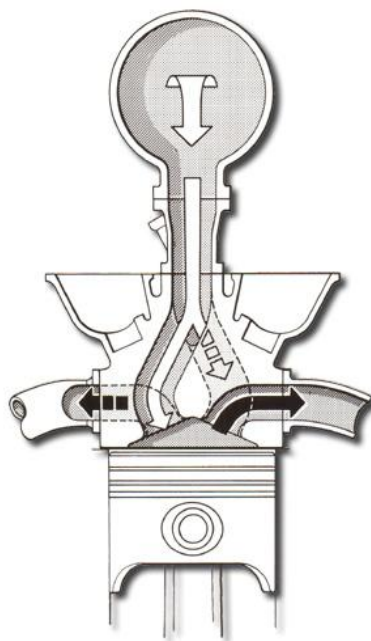


umožňují dosažení podobných ne-li stejných výkonových charakteristik bez použití kompresoru.

2.2 MOTOR TRIFLUX

Základním znakem motoru Triflux je použití inovativního uspořádání ventilů, což ve spojení s přeplňováním dávalo výkonovou výhodu oproti jejich standardnímu uspořádání. Ventily v tomto čtyřválcovém motoru tvoří střechovitý spalovací prostor s centrálně umístěnou zapalovací svíčkou.

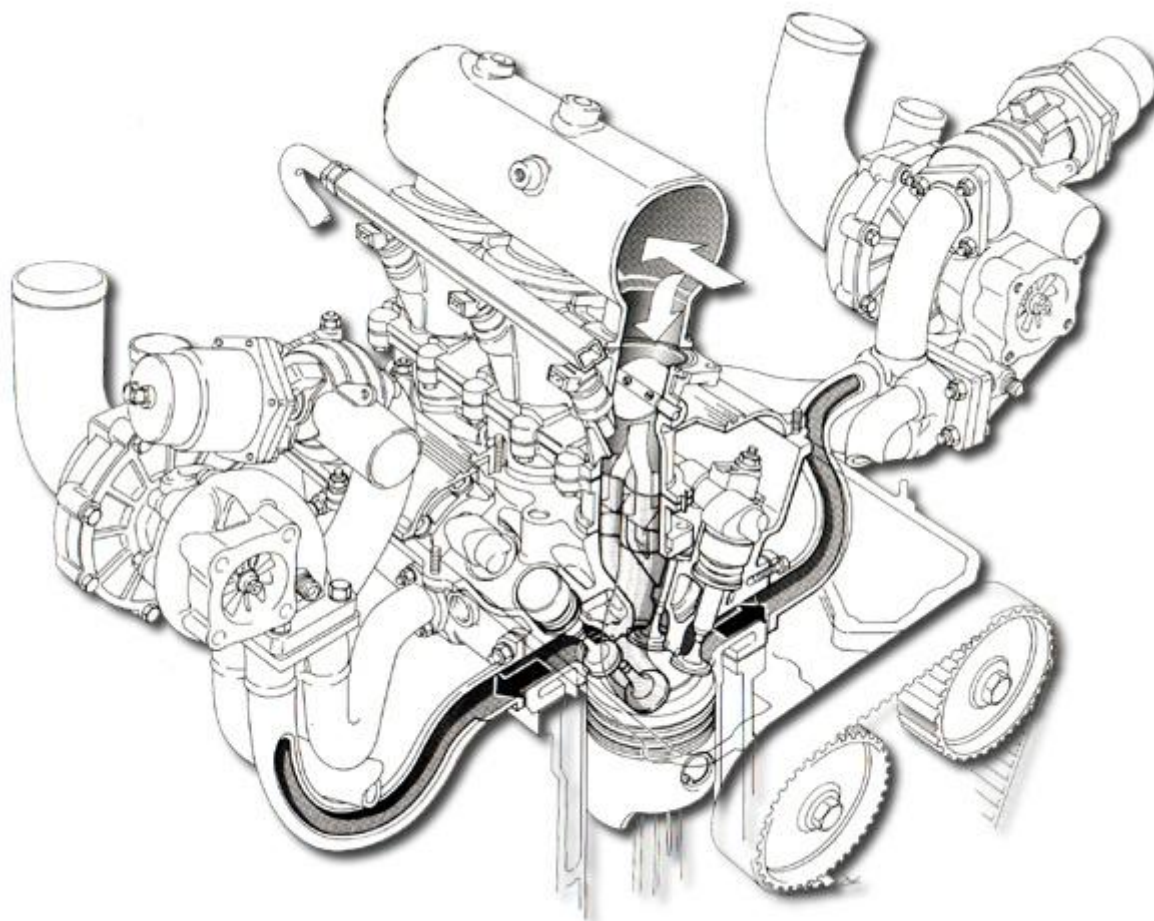
Standardní uspořádání ventilů je takové, že ventily jsou ve dvou řadách, všechny sací ventily jsou na jedné straně hlavy válců a výfukové ventily na opačné straně, tím je vytvořen spalovací prostor s příčným prouděním. Sací potrubí je tedy umístěno na jedné straně motoru zatímco výfukové svody jsou na druhé straně. Toto uspořádání ventilů bylo do konstrukce přeplňovaných motorů přeneseno z atmosferických motorů. Pro vysoký výkon motoru je potřeba aby turbodmychadlo bylo umístěno co nejbližší výfukovým ventilům aby bylo schopno rekuperovat maximum energie výfukových plynů, a musí být obvykle docela velké. Ideální uspořádáním, tak aby byl redukován turboefekt způsobený vysokou setrvačností velké turbíny, by bylo mít dvě menší turbodmychadla, ale u motoru s příčným prouděním by výfukové svody musely být velmi složité a tedy náročné na prostor, což komplikuje použití dvou turbodmychadel k přeplňování čtyřválcového motoru. V době návrhu motoru Triflux neexistoval žádný takový motor, který by byl schopen provozovat více než jedno turbodmychadlo. Proto inženýři firmy Abarth vyvinuli nové uspořádání ventilů, které bylo optimalizované pro použití dvou turbodmychadel. Ventily v tomto uspořádání jsou umístěny napřeskáčku, takže na každé straně hlavy válců se sací a výfukové ventily střídají. Díky tomu jsou výfukové svody, které jsou připojené ke každému válci přes jeden výfukový ventil, na obou stranách motoru. Sací kanály jsou připojeny k centrálnímu svislému sání. Bylo představeno mnoho konfigurací sacích kanálů a v konečném návrhu byl použit jeden sací kanál, který se rozděloval na dva těsně před sacími ventily tak aby uprostřed zůstal prostor pro umístění zapalovací svíčky. [11]



Obr.6 : Řez hlavou motoru Triflux [11]



Tento typ hlavy válců byl pojmenován Triflux vzhledem k třem směrům proudění plynů přes motor (výfuk - do stran, sání - shora). Ventily jsou ovládány dvěma vačkovými hřídeli, které mají střídavé profily pro jednotlivé střídající se sací a výfukové ventily.



Obr.7 : Řez motorem Triflux [11]

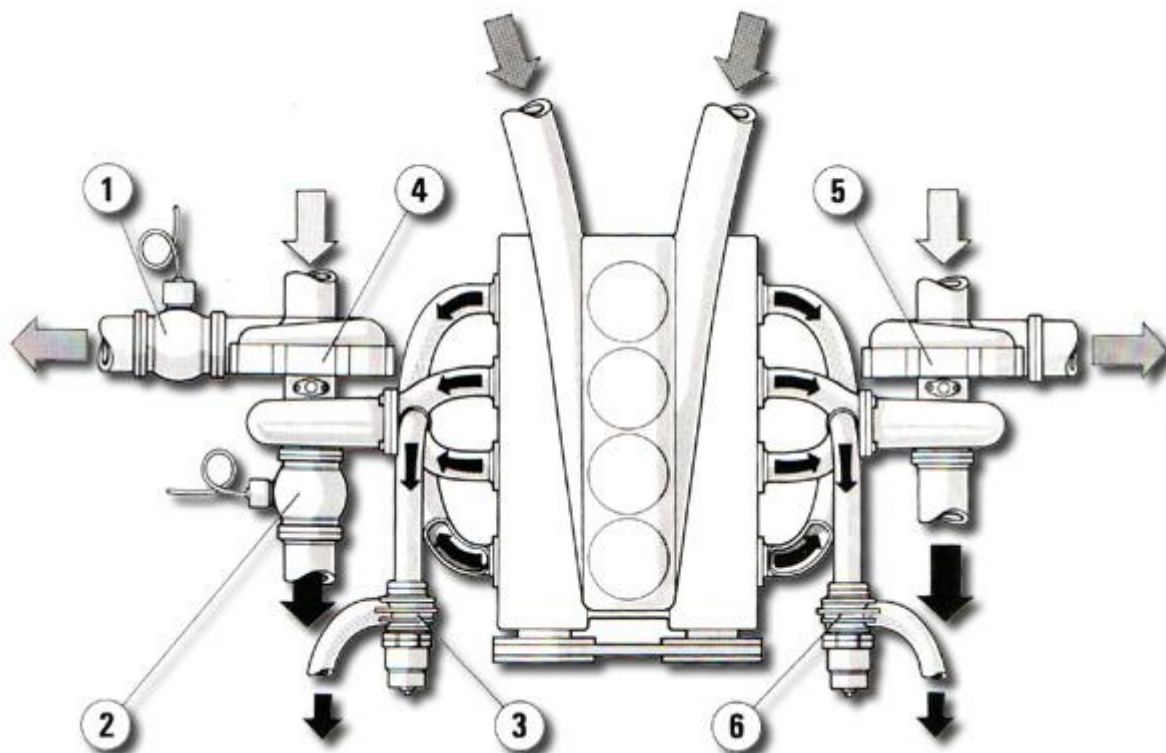
Výhody

Hlava válců s příčným prouděním má problém s rozdělením spalovacího prostoru na studenou (sací) a horkou (výfukovou) část, toto může vést k případné deformaci z důvodu tepelné roztažnosti stejně tak k zvýšenému riziku výskytu lokálních horkých míst způsobujících detonační spalování a případné potíže s chlazením. Hlava válců Triflux má více lineární rozložení teploty právě díky střídavému uspořádání sacích a výfukových ventilů díky čemuž mohl být použit vyšší kompresní poměr (7,5:1) bez obav vzhledem k detonačnímu spalování. Mezi další výhody patří:

- Výfuková a sací potrubí jsou symetrická
- Možnost použití optimalizovaných obtokových ventilů turbodmychadel, nebo při použití turbodmychadel s proměnnou geometrií jejich úplné odstanění
- Možnost modulárního přeplňování. Výfukové plyny mohou být při nízkých otáčkách směřovány pouze do jednoho turbodmychadla a tím může být dosaženo ještě menšího turboefektu a vysokého točivého momentu při nízkých otáčkách. Při vyšších otáčkách



motoru, kdy tento produkuje dostatečné množství výfukových plynů, dojde k odblokování druhého turbodmychadla a obě turbodmychadla dohromady umožňují vyšší maximální výkon. Další možností je použití turbodmychadel o různých velikostech, kde menší turbodmychadlo ještě zmenšuje turboefekt díky nižší setrvačnosti turbíny a větší turbodmychadlo dále zvyšuje maximální výkon motoru. Hlava válců Triflux, s popsáním uspořádáním ventilů, umožňuje řízení toku výfukových plynů a tímto umožňuje vytvoření tohoto systému. [11]



Obr.8 : Schéma modulárního přeplňování motoru Triflux [11]

- 1 - Ventil regulující proudění nasávaného vzduchu levého turbodmychadla
- 2 - Ventil regulující proudění výfukových plynů do levého turbodmychadla
- 3 - Obtokový regulační ventil levého turbodmychadla
- 4 - Levé turbodmychadlo
- 5 - Pravé turbodmychadlo
- 6 - Obtokový regulační ventil pravého turbodmychadla

Při nízkých otáčkách motoru jsou ventily 1, 2 a 3 uzavřeny čímž odpojují levé turbodmychadlo od motoru. Tím pádem všechny výfukové plyny proudí do pravého turbodmychadla, které tak velmi rychle dosáhne provozních otáček. Při vyšších otáčkách je připojeno také levé turbodmychadlo otevřením ventilů 1 a 2. Dále je celý systém regulován pomocí obtokových ventilů 3 a 6. [11]



Nevýhody

- Větší zastavěný prostor zvláště na výšku vzhledem k sání což omezuje možnosti zástavby motoru (v závodních aplikacích toto není příliš velký problém)

Použití

Motor Triflux byl vhodný pro soutěžní vozidla, která potřebují extrémně vysoké výkony. Mohl být použit menší motor (maximálně 4, 5 válců), zatímco pomocí dvou turbodmychadel produkoval výkon odpovídající 6-8 válcovému atmosférickému motoru, díky výše uvedeným dodatečným výhodám, při zachování dobrého základu v tradičním počtu 4 ventilů na válec a vhodného tvaru spalovacího prostoru. Jediný motor s tímto systémem byl postaven pro prototyp závodního speciálu pro skupinu S Lancia ECV1 (Experimentální kompozitní vozidlo), z objemu 1,8 l dával maximální výkon 600 koní při 8000 min⁻¹ (podle pravidel měl být výkon omezen na 300 koní). Byl představen v roce 1986 na Boloňském autosalonu, jednalo se ovšem o nevyzkoušený prototyp, který sice měl všechny mechanické části ale měl sloužit pouze jako technologický demonstrátor, který ukazoval možnosti přeplňování a použití nových materiálů při stavbě karoserie. V roce 1988 byl tento speciál představen s novou karoserií a byl pojmenován ECV2. Vzhledem ke zrušení skupiny S ustal další vývoj. Během roku 2010 byl postaven plně funkční exemplář Lancie ECV s použitím původních, nově vyrobených a moderních dílů tak aby odpovídal pravidlům skupiny B. Poprvé byl ukázán a předveden veřejnosti na Rally legend 2010 v San Marinu. [11]

Shrnutí

Vzhledem k tomu, že tento motor byl navrhnut pouze pro závodní použití, tak k použití systému Triflux v sériových motorech nikdy nedošlo. Je zde uveden jako příklad netradiční konstrukce přeplňování.

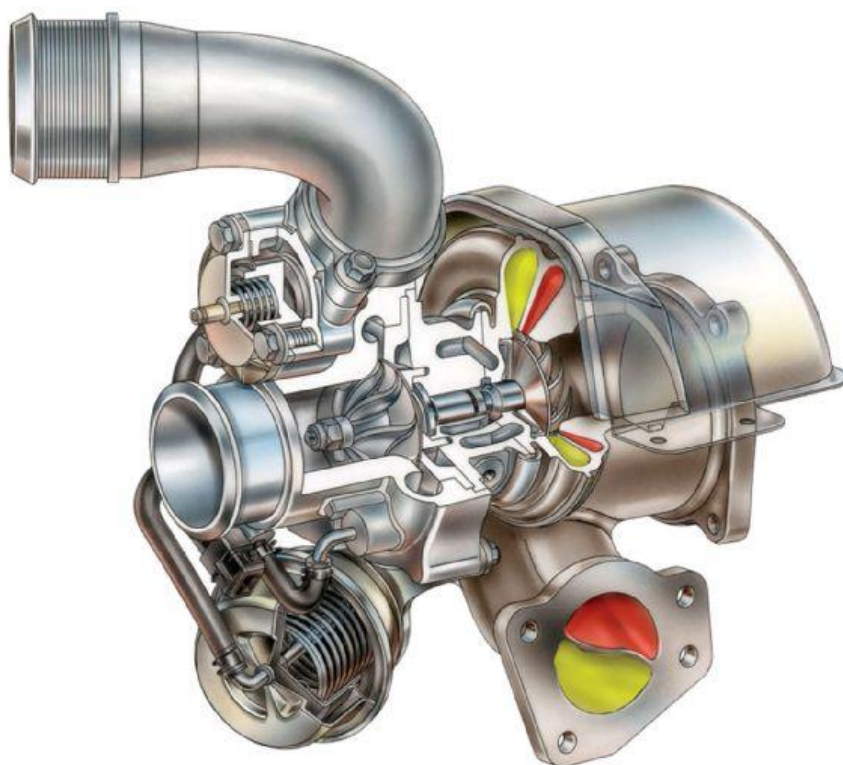
2.3 TURBODMYCHADLO TYPU TWIN-SCROLL

Hlavním konstrukčním rozdílem mezi klasickým a twin-scroll turbodmychadlem je to, že skříň turbíny obsahuje dva kanály pro přívod výfukových plynů k turbíně, každý s odděleným vstupem, namísto jednoho v klasickém turbodmychadle. Díky tomu má použití tohoto typu turbodmychadla několik nezanedbatelných výhod. Tou největší je zachování tlakových pulzů výfukových plynů, protože vzhledem k odděleným výfukovým svodům nedochází k interferencím mezi jednotlivými válci.

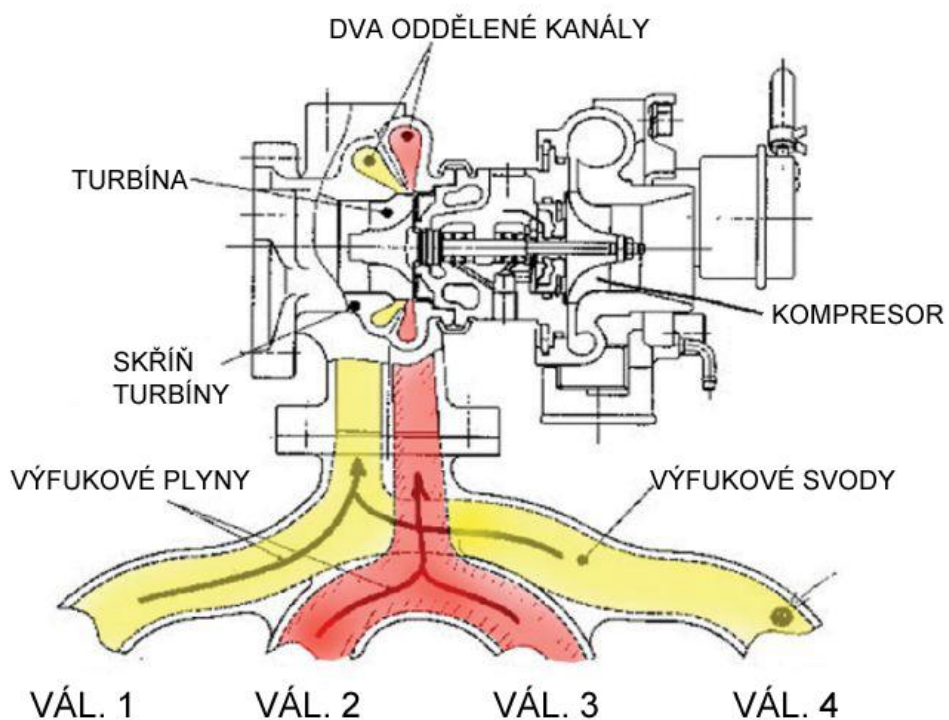
Například u čtyřválcového motoru s pořadím zapalování 1-3-4-2 dochází k tomu, že válec číslo 1 končí expanzní zdvih a otevírá výfukové ventily ve chvíli kdy je válec 2 má stále otevřené (jde o okamžik překrytí otevření sacích a výfukových ventilů v tomto válci). U klasického turbodmychadla tedy dojde k tomu, že tlakový pulz výfukových plynů z válce 1 bude narušovat výplach válce 2, místo toho aby se výfukové plyny z tohoto válce dostaly k turbíně nedotčené, toto může vést až k zpětnému natlačení výfukových plynů do válce 2 (Proto se u přeplňovaných motorů používá velmi malé překrytí ventilů, což zhoršuje výplach válců). U turbodmychadla twin-scroll k tomuto nedochází, protože výfuková potrubí válců,



která by se takto ovlivňovala nejsou před turbínou nijak propojená. To samozřejmě vyžaduje jinou konstrukci výfukových svodů. [12]



Obr.9 : Řez turbodmychadlem Twin-scroll [12]



Obr.10 : Schéma výfukových svodů při použití turbodmychadla Twin-scroll na čtyřválcí [12]



Výhody

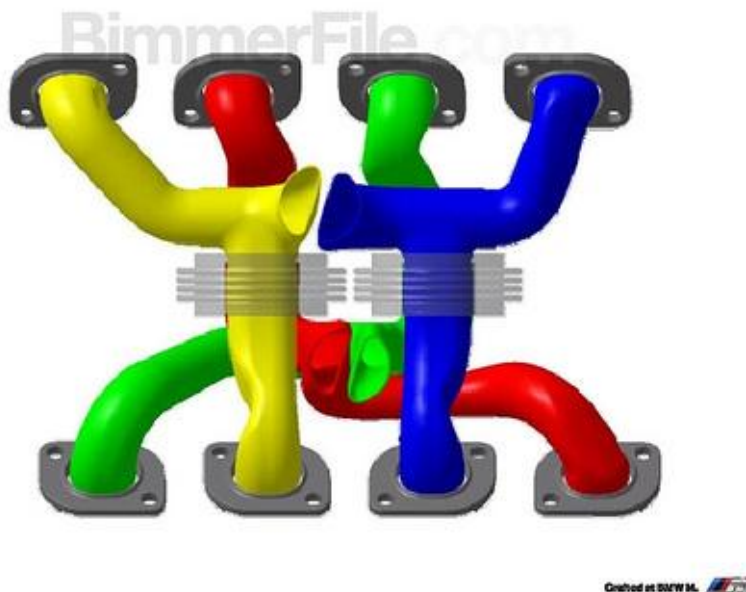
Díky tomu, že se výfukové plyny v jednotlivých větvích výfukového potrubí neovlivňují, je možno použít větší překrytí ventilů a tím zajistit lepší výplach válce. To má za následek nasátí většího množství směsi a tím pádem vyšší výkon. Další výhodou tohoto způsobu přeplňování je možnost většího zpoždění zážehu (díky lepšímu výplachu válců) a tedy snížení maximálních teplot ve válci. Proto může být do motoru nasávána chudší směs. Bylo dokázáno, že turbína tohoto typu turbodmychadla má až o 8% vyšší účinnost a spotřeba paliva se snížila o 5%. Dalším důležitým faktorem je, že kanály v skřini turbíny nemusí mít stejný tvar a průřez a tedy je možno je nezávisle na sobě optimalizovat pro různé provozní podmínky. Je tedy možné aby jeden kanál měl menší průřez, a byl tedy účinnější při malých otáčkách motoru, a tím zmenšoval turboefekt, zatímco druhý větší kanál zvyšuje maximální výkon při vysokých otáčkách. Toto řešení tedy umožňuje dosáhnout stejných vlastností jako dvoustupňové přeplňování pomocí dvou turbodmychadel a v současnosti jsou tyto systémy nahrazovány právě jedním turbodmychadlem typu twin-scroll. [12]

Nevýhody

Vzhledem k nutnosti dvou samostatných výfukových větví musí být použity složitější výfukové svody. (Ne však tak složité jako v případě přeplňování dvěma turbodmychadly.) Twin-scroll turbodmychadlo je také fyzicky větší než klasické, což může vést k problémům při zástavbě.

Použití

V současné době je tento typ turbodmychadla využíván hlavně firmou BMW kde u některých motorů nahrazuje původní systémy přeplňování pomocí dvou turbodmychadel. Např: řadový šestiválec N55 o objemu 3 l, výkonu 306 koní a točivém momentu 400 Nm dostupném v rozmezí 1200-5000 min⁻¹, který nahrazuje předchozí motor N54 o stejných parametrech kromě otáček maximálního točivého momentu, které u N54 jsou 1300-5000 min⁻¹. Došlo tedy k mírnému zlepšení při současném zjednodušení systému přeplňování. Dalšími motory jsou: řadový čtyřválec N20 o objemu 2 l, výkonu 245 koní a točivém momentu 350 Nm a vidlicový osmiválec S63 o objemu 4,4 l, výkonu 555 koní a točivém momentu 680 Nm, který je přeplňován dvěma turbodmychadly typu twin-scroll umístěnými mezi řadami válců. [13]



Obr.11 : *Schéma výfukových svodů motoru BMW S63 [14]*

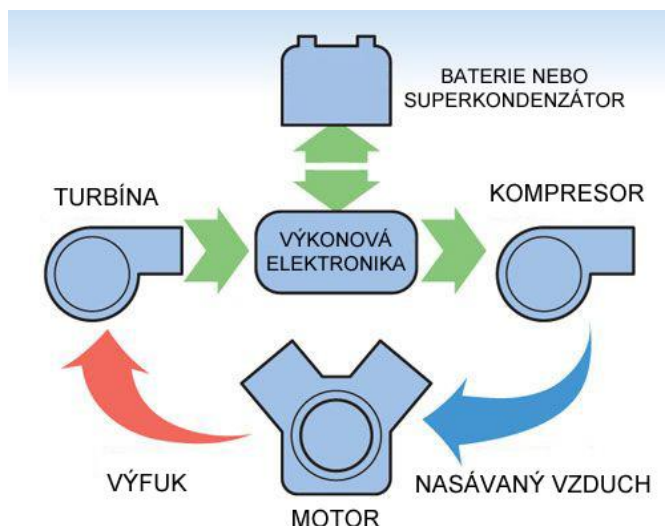
Shrnutí

Vzhledem k výborným vlastnostem turbodmychadel twin-scroll se v budoucnosti dočkáme jejich dalšího rozšíření. Určitě postupně nahradí složité systémy přeplňování pomocí dvou turbodmychadel nebo kombinace mechanického kompresoru a turbodmychadla, jelikož budou nahrazeny tímto jednodušším systémem.

2.4 HYBRIDNÍ TURBODMYCHADLO

Jde o elektrické turbodmychadlo vyvíjené firmou Aeristech skládající se z několika částí. První z nich je výkonová turbína využívající energii výfukových plynů k pohonu vysokorychlostního generátoru, a druhá je elektricky poháněný radiální kompresor. Tím je umožněno vypustit přímé mechanické spojení mezi těmito částmi. Turbína a kompresor jsou konstruované stejně jako v klasickém turbodmychadle. Dalšími díly jsou baterie, případně superkondenzátor, a řídicí/výkonová elektronika. Jsou použity speciálně vyvinuté vysokorychlostní elektrické motory s permanentními magnety pro jejich vyšší účinnost než u indukčních motorů. Pokud je tento motor použit jako generátor tak se jeho účinnost pohybuje okolo 98,5%. Dohromady jde vlastně o sériový hybridní systém, protože otáčky a výkon turbíny nemusí být stejné jako otáčky a výkon kompresoru. Toto vede k možnosti dalšího vylepšení účinnosti turbíny a kompresoru, která tak může být vyšší než u klasického turbodmychadla. [15]

Vzhledem k tomu, že tento systém může ukládat energii do baterií dá se předpokládat, že bude mít tyto provozní režimy:



Obr.12 : Schéma hybridního turbodmychadla [15]

- **Zrychlování** (odebíraný elektrický výkon vyšší než dodávaný)
Systém pracuje jako elektricky poháněný kompresor. Je přiváděna uložená elektrická energie a kompresor dosáhne velmi rychle maximálních otáček (Podle firmy Aeristech trvá zrychlení motoru z 40,000 na 120,000 min^{-1} méně než půl vteřiny), čímž je prakticky dosaženo eliminace turboefektu.
- **Nabíjení** (odebíraný elektrický výkon nižší než dodávaný)
Přebytečná energie se může buď ukládat pro režim akcelerace nebo může být využita pro pohon ostatních elektrických systému vozidla.
- **Ustálený stav** (odebíraný elektrický výkon rovný dodávanému)
Výkon turbíny a příkon kompresoru jsou stejné (toto nemusí platit pro jejich otáčky). Nutná vysoká účinnost jednotlivých částí, tak aby byla zachována výhoda oproti klasickým turbodmychadlům. Tedy nízké ztráty v elektrickém systému.

Výhody

- Turbína a kompresor nejsou spojené, mohou být tedy umístěny kdekoliv v motorovém prostoru, a jejich oběžná kola mohou být konstruována nezávisle na sobě.
- Plnicí tlak je přímo kontrolován a řízen.
- Je možno zmenšit zdvihový objem při zachování stejného výkonu jako u většího atmosferického motoru a tím snížit emise.

Nevýhody

- Vyšší složitost a cena systému oproti klasickým turbodmychadlům
- Nutnost použití výkonové elektroniky a zařízení pro ukládání elektrické energie což dále zvyšuje cenu

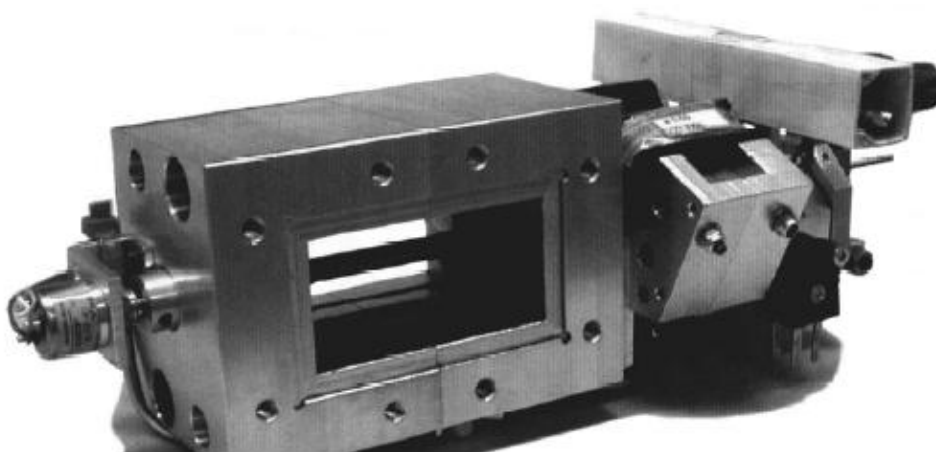


Shrnutí

Je těžké určit zda má tento systém budoucnost vzhledem k tomu, že ještě nebyl představen ani prototyp motoru s tímto systémem přeplňování. Nicméně mezi nejdůležitější výhody považují jak precizní a rychlé řízení plnicího tlaku, tak i možnost využití energie výfukových plynů jinak než jen k pohonu kompresoru turbodmychadla. Dále by mohl být využit u hybridních automobilů, kde by mohl využívat baterie a elektroniku hybridního pohonu, a zvyšoval by účinnost motoru případně jeho výkon. Případně by mohla být použita jen turbínová část, která by rekuperovala jinak nevyužitou energii výfukových plynů.

2.5 DYNAMICKÉ IMPULZNÍ PŘEPLŇOVÁNÍ

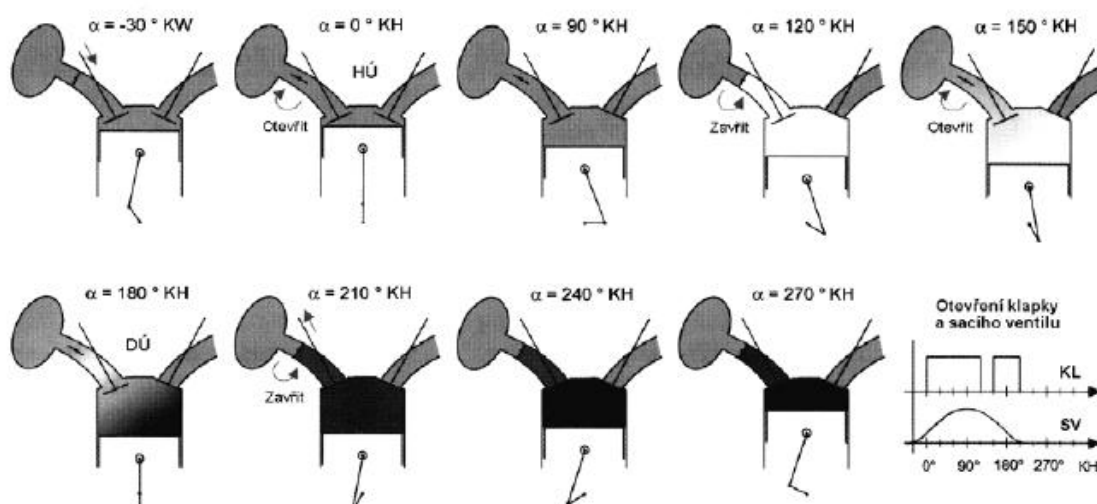
Princip impulzního přeplňování byl patentován Dr. Ing. Oskarem Shatzem v roce 1989 v Německu. V roce 2001 se do jeho výzkumu zapojila společnost Mahle Filtersystem GmbH (Stuttgart). Později byl dále rozvíjen firmou Siemens VDO. [16]



Obr.13 : *Klapkový ventil pro dynamické impulzní přeplňování* [17]

Princip

Hlavní součástí tohoto systému je elektricky řízený klapkový ventil umístěný v sacím potrubí před sacím ventilem, který řídí hmotnostní tok v potrubí. Na začátku sacího zdvihu tento ventil uzavře sací potrubí (píst se pohybuje dolů a vzniká v něm podtlak), potom náhlým delším otevřením klapkového ventilu dojde k vytvoření podtlakové vlny, která běží od klapky k ústí sacího kanálu, kde se odráží jako přetlaková a putuje zpět do válce ve kterém zvýší plnicí tlak. Za ní je ovšem také podtlaková vlna, která by způsobila zpětný tok do sacího potrubí, proto se klapka na dobu přeběhu této vlny opět uzavře, a poté se opět otevře pro doplnění válce před dolní úvratí. [17]



Obr.14 : Dynamické impulzní přeplňování se dvěma takty klapky [17]

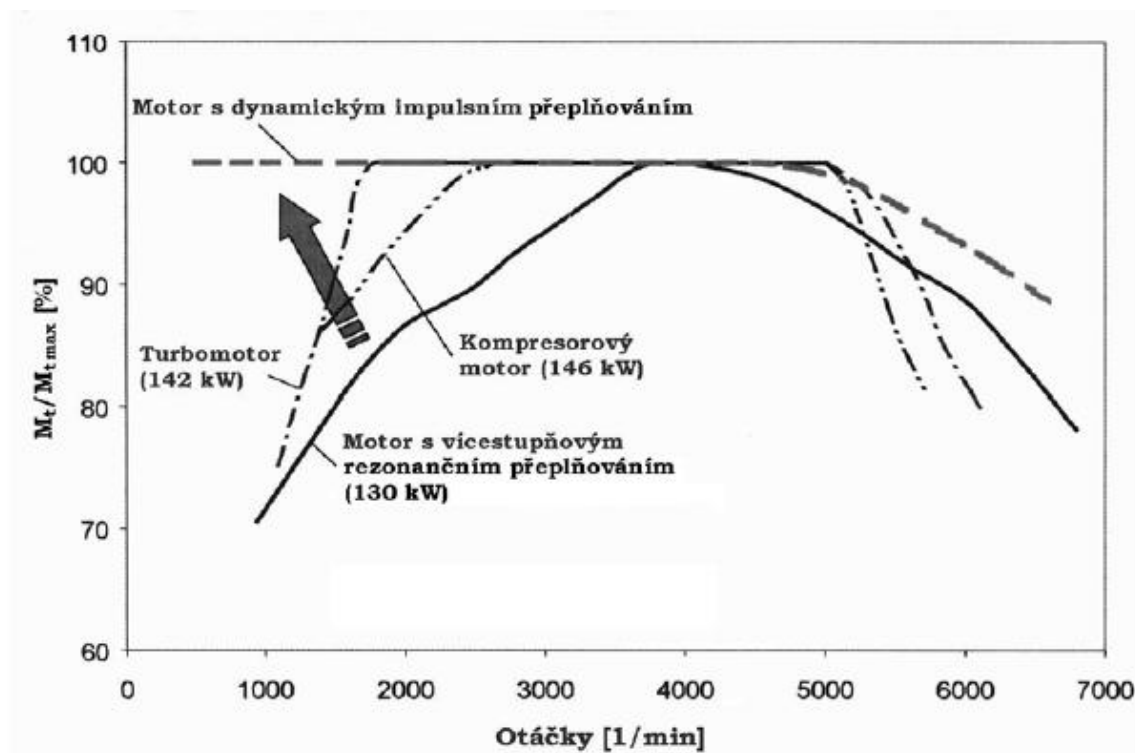
Vzniklý plnicí tlak je závislý na otáčkách motoru a pohybuje se okolo 1,18 kPa. Nejvyšší účinnosti tento systém dosahuje přibližně při 1000 min^{-1} , kde je přibližně 13% zlepšení oproti atmosférickému motoru. Zlepšení plnicí účinnosti klesá přibližně lineárně s rostoucími otáčkami motoru a při 2000 min^{-1} činí již jen 7%. [17]

Výhody

- Nárůst výkonových parametrů motoru v řádu desítek procent.

Nevýhody

- Konstrukce klapkových ventilů, jejichž ovládací časy by měly být okolo 1 ms.
- Zvýšená měrná spotřeba paliva při nízkých otáčkách, kvůli zvýšení práce potřebné k výměně náplně válce. (Tomuto se dá zabránit pomocí vypínání systému dynamického impulzního přeplňování při nízkých zatíženích motoru.)



Obr.15 : Porovnání průběhů točivého momentu s dynamickým impulzním přeplňováním [17]

Shrnutí

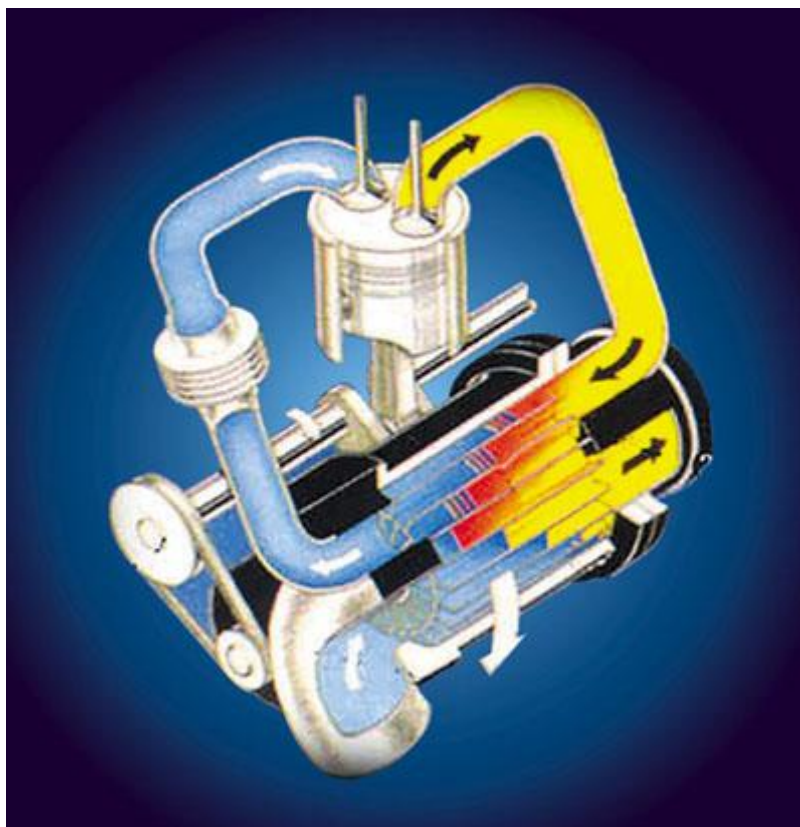
Tento systém již prokázal svou účinnost na jednoválcovém prototypu motoru, nicméně do sériové výroby se zatím nedostal.

2.6 PŘEPLŇOVÁNÍ POMOCÍ TLAKOVÉHO VÝMĚNÍKU - COMPREX

Dalším způsobem přeplňování je tlakový výměník, ve kterém se energie výfukových plynů předává přímo nasávanému vzduchu. Jedním z tohoto druhu výměníků je Comprex (Compression and Expansion). V podstatě jde o stacionární buben se dvěma kanály na každé straně a rotor s rovnými lopatkami který je poháněn synchroně od klikové hřídele pomocí řetězu nebo ozubeného řemenu.

Princip

Hlavním znakem funkce tohoto systému je to, že výkon přenášený od klikové hřídele neslouží ke stlačování nasávaného vzduchu ale pouze pro otáčení rotoru. Tím je zajištěna větší účinnost, protože k jeho stlačování je použita pouze energie výfukových plynů, která by jinak zůstala nevyužita. Kanály na sací straně jsou použity nasávání vzduchu o okolním tlaku do rotoru a k jeho odvodu do motoru po stlačení. Kanály na výfukové straně slouží k přívodu výfukových plynů ze svodů a poté co stlačí nasávaný vzduch tak k jejich odvodu dále do výfukového potrubí. Samotná komprese probíhá složitým procesem. Na začátku je kanál na rotoru naplněn pouze nasávaným vzduchem (způsob jakým je nasán je popsán níže) a je uzavřen bubnem na obou stranách. Jak se rotor otáčí tak je odkryt vstup výfukových plynů na pravé straně kanálu. [19]



Obr.16 : Řez tlakovým výměníkem systému Compress [18]

Výfukové plyny vstupují do rotoru a rázová vlna o rychlosti zvuku tlačí nasátý vzduch před sebou k levé straně bubnu, která je stále uzavřena a tedy dochází ke kompresi. Tyto rázové vlny nevznikají jen díky pulzům výfukových plynů po otevření ventilů, spíše jde o rychlé zavedení plynů o různých tlacích. Při stlačování vzduchu se v kanálu rotoru uvolní místo a výfukové plyny do něj volně proudí. Vzhledem k vysoké rychlosti rázové vlny se vzduch a výfukové plyny nepromísí. V tuto chvíli došlo už k pootočení rotoru do takové polohy, že je odkryt výstupní kanál na levé straně bubnu, ačkoliv je určen pro stejný hmotnostní průtok je konstruován tak, že vystupující stlačený vzduch má daleko menší rychlost. Toto vytváří sekundární rázové vlny, které putují k pravé straně rotoru a dále tento vzduch stlačují. Díky tomu je možné, že vystupující vzduch má větší tlak než výfukové plyny. Ve chvíli kdy sekundární rázová vlna dosáhne pravé strany rotoru je už vstup výfukových plynů uzavřen a tedy se odrazí jako expanzní a vytlačí většinu vzduchu do výstupního kanálu, který je poté ihned uzavřen. Hned poté je otevřen výstupní kanál výfukových plynů na pravé straně rotoru, což umožní lehce stlačeným výfukovým plynům výstup z rotoru. To způsobí další sérii expanzních a kompresních vln, které pomohou do rotoru nasát čerstvý vzduch ze vzduchového filtru. Tím je celý cyklus ukončen a začíná opět zezáátku. Ve své základní formě, pracuje systém Compress dobře pouze za určitých podmínek, protože rychlost kompresních vln závisí na teplotě výfukových plynů, která se mění podle točivého momentu a ne podle otáček motoru. Aby bylo možno rozšířit provozní rozsah tak do sacího a výfukového potrubí jsou přidány speciálně konstruované kapsy, které kompenzují měnící se teplotu výfukových plynů a tím rychlost vln. Plnicí tlak je řízen konvenční obtokovým ventilem ve vysokotlaké části výfukového potrubí. [19]



Výhody

- Okamžitá odezva kompresoru (vzhledem k rychlosti rázových vln).
- Vyšší účinnost kompresoru vzhledem ke klasickým mechanickým typům.
- Nízké otáčky rotoru znamenají jeho menší namáhání.

Nevýhody

- Všechny části tlakového výměníku musí být konstruovány přímo pro daný motor.
- Nutnost použití držších materiálů při použití na zážehových motorech vzhledem k vyšší teplotě jejich výfukových plynů.
- Otočení směru proudění výfukových plynů. (Řešeno pomocí novějších typů)

Použití

V minulosti byl tento způsob přeplňování použit u naftového motoru Mazda RF vyráběném v letech 1988-1992 u kterého došlo ke zvýšení výkonu o 21 koní (30%). V současnosti je tento systém využíván hlavně u naftových lodních motorů a motorů strojů pro zemní práce. [19]

Shrnutí

Tento systém se hodí hlavně k přeplňování motorů pracujících při ustálených otáčkách, díky čemuž může být konstruován přímo na míru. Ke stlačování nasávaného vzduchu je použito energie výfukových plynů díky čemuž stoupá účinnost.

2.7 PŘEPLŇOVÁNÍ POMOCÍ SCROLL KOMPRESORU

Leon Creux si patentoval tento typ kompresoru v roce 1905. Ovšem vzhledem k nárokům na výrobní technologie se začal používat až po roce 1980 a to zejména v klimatizačních zařízeních, tepelných čerpadlech a lednicích. K přeplňování automobilových motorů byl použit firmou Volkswagen.



Obr.17 : Schéma funkce scroll kompresoru [20]

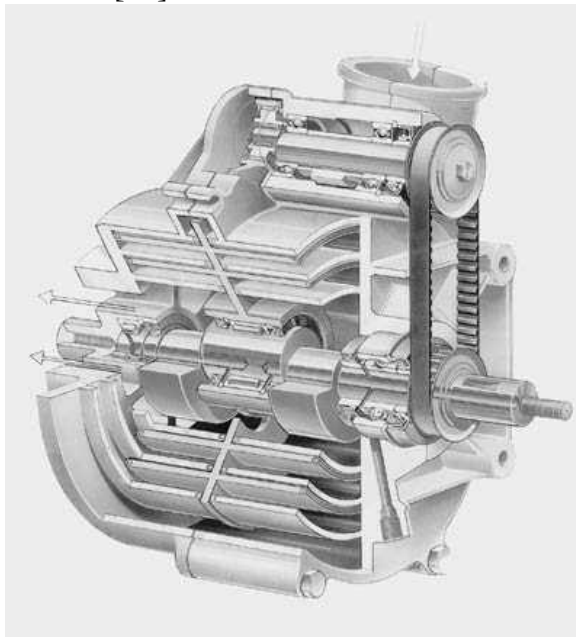
Princip

V scroll kompresoru je vzduch stlačován dvěma spirálami (archimédova spirála nebo evolventa), které jsou v sobě vloženy. Jedna spirála je pevně spojena se skříní, zatímco druhá je připojena ke dvojitému excentrickému mechanismu, který umožňuje její krouživý pohyb



(nedochází k rotaci). Pohyb spirály vytváří vzduchové kapsy, které jsou stlačovány a přesouvány ke středu kompresoru kde je umístěn výstupní kanál.

Konstrukce scroll kompresoru (pojmenovaného G-dmychadlo), který byl použit k přeplňování některých motorů Volkswagen, se od klasického typu tohoto kompresoru poněkud liší, zejména použitím většího množství spirál. Stacionární spirály byly celkem čtyři, dvě v každé půlce skříně, rotor byl umístěn mezi nimi a musel tedy mít dvě spirály na každé straně. Vzhledem k velkým rozměrům výstupního kanálu (kvůli umístění jednoho excentru a protizávaží) a malé délce spirál přišel tento kompresor o výhodu vnitřního stlačování a podstatně klesla jeho účinnost. [21]



Obr.18 : Řez G-dmychadlem [22]

Výhody

- Malé rozměry
- Nízké vibrace
- Vzhledem k prakticky konstantnímu proudění vzduchu vznikají pouze malé tlakové pulzace díky čemu je tento kompresor velice tichý

Nevýhody

- Vysoké opotřebení těsněných ploch
- Nízká životnost některých dílů
- Celkově nízká spolehlivost

Použití

Tento kompresor byl použit pouze v motorech G40 (objem 1,3 l, výkon 116 koní a točivý moment 150 Nm) a G60 (objem 1,8 l, výkon 160 koní a točivý moment 225 Nm) firmy Volkswagen, které byly montovány v letech 1987 - 1994. Kompresory těchto motorů se lišily hloubkou spirál, která byla 40 mm u motoru G40 respektive 60mm u G60. [21]



Shrnutí

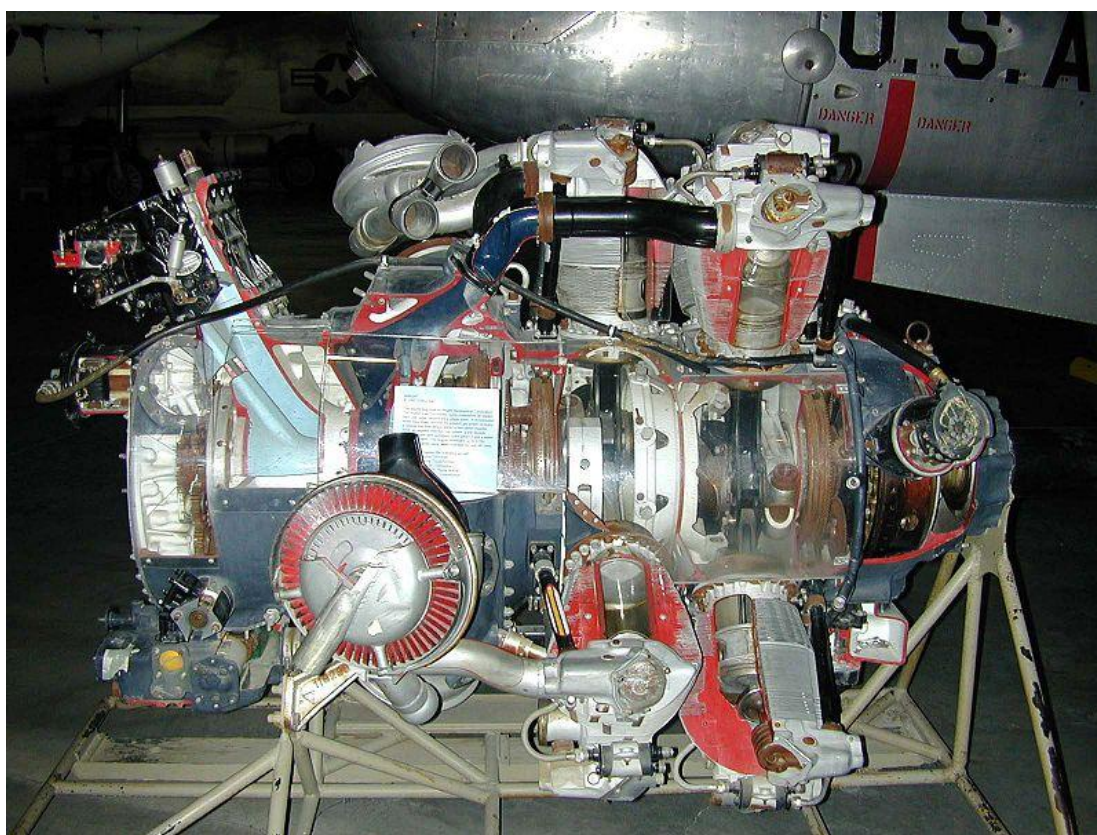
Od tohoto způsobu přeplňování bylo upuštěno zejména kvůli nízké spolehlivosti kompresoru ať už kvůli konstrukci, špatnému užívání nebo opotřebení. Jistou vinu na jeho nespolehlivosti nese i firma Volkswagen, která jej popisovala jako bezúdržbový, ikdyž například těsnění spirál mělo limitovanou životnost.

2.8 TURBOKOMPAUDNÍ MOTORY

Turbokompaudní motory využívají axiální nebo radiální výkonové turbíny pro využití energie výfukových plynů. Tyto turbíny jsou připojeny přímo ke klikovému hřídeli motoru. A tím zvyšují jak jeho výkon tak hlavně účinnost.

Historie

Jejich historie sahá přibližně do roku 1950 kdy byl tento systém využíván u některých typů leteckého motoru Wright R-3350 Duplex-Cyclone. V tomto motoru byly použity tři turbíny, každá pro šest válců. Byly připojeny ke klikovému hřídeli přes ozubené soukolí a fluidní spojku, a vracely asi 20% energie výfukových plynů, která by jinak byla nevyužita, což znamenalo nárůst výkonu až o 500 koní. [23]

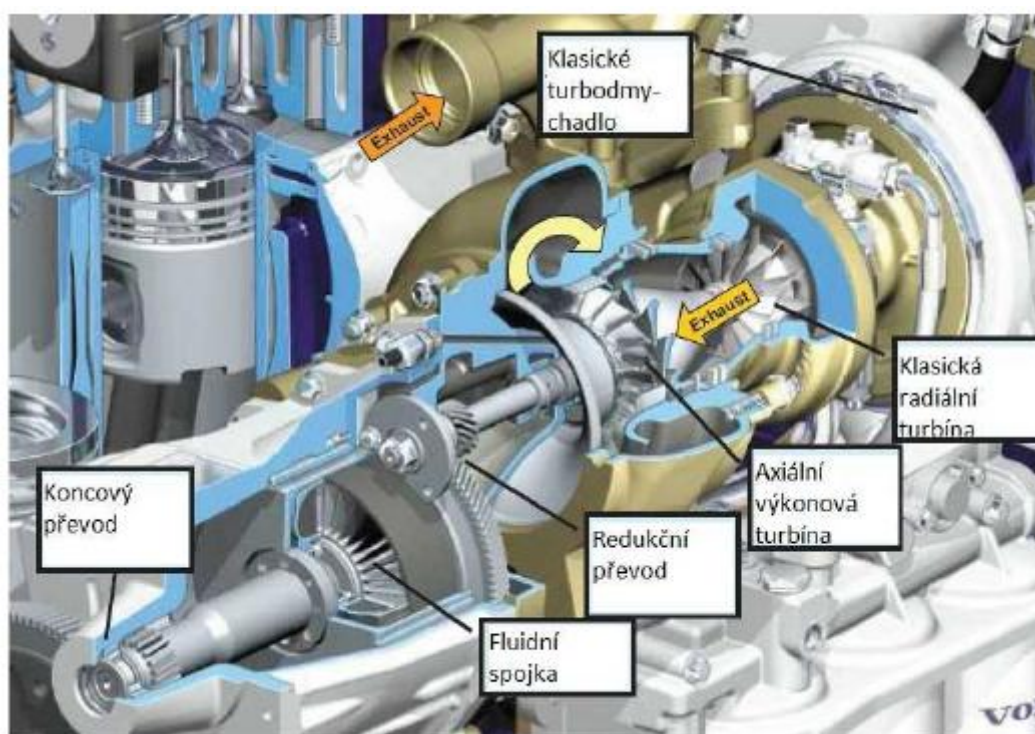


Obr.19 : Řez motorem Wright R-3350 Duplex-Cyclone [24]



Současnost

Dnes je tento systém kombinován s přeplňováním výfukovým turbodmychadlem pod názvem Turbokompandní přeplňování. Výkonová turbína je umístěna až za turbínou pohánějící kompresor turbodmychadla. Výfukové plyny prvně projdou přes turbínu turbodmychadla, které pohání, a poté přes výkonovou turbínu, která je umístěna co nejbližší turbodmychadlu tak aby byla zajištěna co největší účinnost, a pak pokračují do výfukového systému. Tato turbína dosahuje vysokých otáček, až $70\,000\text{ min}^{-1}$, zatímco motor maximálně 2000 min^{-1} , proto je nutné pomocí ozubeného soukolí synchronizovat jejich otáčky. Fluidní spojka je nutná jednak aby zabránila přenosu torzních vibrací od klikové hřídele, které by mohly poškodit samotnou turbínu i ozubená kola, tak i k odpojení turbíny v případě, že nedodává žádný výkon, například při nízkých otáčkách motoru. [25]



Obr.20 : Turbokompandní přeplňování motoru Volvo D12 500TC [10]

Výhody

- Větší litrový výkon motoru díky zvýšení výkonu motoru v průměru o 10%
- Lepší využití energie výfukových plynů, která by jinak byla nevyužita, tedy vyšší účinnost motoru a z toho vyplývající úspora pohonných hmot

Nevýhody

- Komponenty vyžadují více místa, zvyšují váhu, složitost (obavy o spolehlivost) a cenu
- Žádné zvýšení nebo dokonce snížení účinnosti při nízkém zatížení
- Protitlak výkonové turbíny mírně snižuje účinnost přeplňování
- Díky snížené teplotě výfukových plynů je snížena účinnost jejich následného zpracování



Použití

V současné době se tento systém používá u velkých naftových motorů nákladních vozidel, stavebních a zemědělských strojů apod. V sériové výrobě je několik motorů různých výrobců, které využívají turbokompandního přeplňování. [26]

Mezi ně například patří:

- Detroit diesel DD15 o objemu 14,8 l a výkonu 455-560 koní
- Scania DT12 480 o objemu 11,7 l a výkonu 480 koní
- Volvo D12 500TC o objemu 12,1 l a výkonu 500 koní

Shrnutí

V budoucnosti se turbokompandní přeplňování nejspíše přestane používat a to z důvodu zpřísnujících se emisních norem (EURO 5,6), kdy bude využíváno pokročilých vysoce chlazených systému recirkulace výfukových plynů, které snižují energii a teplotu výfukových plynů a jejich další ochlazení ve výkonové turbíně není žádoucí z důvodu nižší účinnosti jejich dalšího zpracování například pomocí systému selektivní katalytické redukce.



3 OSTATNÍ NETRADIČNÍ ZPŮSOBY ZVYŠOVÁNÍ VÝKONU

Při zvyšování výkonu motoru je možné použít také jiné způsoby například jde použít jiné palivo případně použít vstřikování oxidu dusného.

3.1 POUŽITÍ NETRADIČNÍCH PALIV

V případě použití jiných paliv musí být motor upraven nebo přímo konstruován tak aby dokázal využít jejich předností.

Etanol (C_2H_5OH)

Etanol se většinou používá ve směsi s benzinem například E10, E85 kde číslo značí procento etanolu ve směsi, ovšem můžeme se setkat i s E100 tedy čistým etanolem. Výhodou oproti benzínu je vyšší oktanové číslo, u E85 jde o 105 oktanů. [27]

Díky tomu je možné použít vyšší kompresní poměr bez toho aby došlo k detonačnímu spalování. Ovšem vzhledem k nízkému počtu čerpacích stanic, které toto palivo nabízí, se motory konstruují tak aby byly schopny provozu jak na bezolovnatý benzin tak na E85. U motorů s přeplňováním je také možno zvýšit plnicí tlak při provozu na etanol a tím lépe využít vyššího oktanového čísla.

Například supersportovní auto Koenigsegg CCXR dosahuje při provozu na E100 výkonu 1018 koní zatímco při použití benzínu „pouze“ 806 koní. [28]

Nitrometan (CH_3NO_2)

Toto palivo se používá v nejvyšší kategorii závodů ve zrychlení na čtvrt míle (402 m) americké asociace NHRA, kde umožňuje stavbu motorů s výkony okolo 7000 - 8500 koní s točivým momentem cca 8000 Nm. Díky těmto extrémním výkonům se při závodech běžně dosahuje časů pod 4,5 vteřiny, a rychlostí nad 500 km/h. Na druhou stranu jsou tyto motory extrémně namáhány a po každé jízdě musí být kompletně rozmontovány, překontrolovány a jejich poškozené součásti vyměněny. [29]

3.2 VSTŘIKOVÁNÍ OXIDU DUSNÉHO

Principem tohoto systému jak již název napovídá je vstřikování oxidu dusného (N_2O) do sacího potrubí. Tato chemická sloučenina je oxidační činidlo s obsahem 35% kyslíku (v porovnání vzduch obsahuje 21% kyslíku), a dále má asi o 50% vyšší hustotu. To znamená že v porovnání se vzduchem o stejném objemu je možno jeho použitím spálit 2,3x více paliva, díky čemuž roste výkon. [30]

Je například použit v limuzíně amerického prezidenta kde je nárůst výkonu při jeho použití roven asi 400 koním. [31]



ZÁVĚR

Tato práce popisuje netradiční metody zvyšování výkonu spalovacích motorů a to jak systémy používané v historii tak i systémy, které jsou stále ve vývoji. Nezastupitelnou součástí dnešních moderních motorů je samozřejmě přeplňování a to hlavně použitím turbodmychadel vzhledem k tomu, že zvyšují účinnost motoru. Dalším trendem je snižování zdvihových objemů „downsizing“, který byl umožněn právě masovým nástupem přeplňování. V případě těchto motorů je dosaženo stejných výkonových parametrů jako u objemnějších atmosférických motorů za současného snížení spotřeby. Problém s turboefektem u přeplňovaných motorů byl řešen buď použitím více turbodmychadel nebo pomocí kombinovaného přeplňování. Tyto systémy jsou dnes spíše na ústupu vzhledem k rozšiřování turbodmychadel typu Twin-scroll, která mají podobné výkony jako tyto systémy ale zároveň umožňují značné zjednodušení konstrukce a ceny motoru.

Zajímavou kapitolou v této problematice jsou turbokompaktní motory, které využívají energii výfukových plynů přímo k pohonu klikové hřídele a v průměru zvyšovaly výkon o 10%, bohužel k jejich dalšímu rozšíření v budoucnosti nedojde, kvůli emisním limitům.

Dalším zajímavým způsobem přeplňování je motor Triflux u kterého bylo umožněno použití dvou turbodmychadel díky změněnému uspořádání ventilů. V této práci je uveden, protože ukazuje jak velkých výkonů je možno dosáhnout z relativně malého objemu 1,8 l v případě, že požadavek na nízkou spotřebu paliva není rovnocenný s požadavkem velkého výkonu. A také nám předvádí jaké možnosti měli konstruktéři okolo roku 1986.

V současné době je vývoj zřejmě nejvíce zaměřen na konstrukci motoru s variabilním kompresním poměrem. Systém byl již vyzkoušen na prototypu motorů a jeho velký přínos v konstrukci motorů je znám. Bohužel zatím nebyl představen žádný sériově vyráběný motor, který by byl plynulé změny kompresního poměru schopen. V současné době mají tyto systémy ještě hodně problémů od vysokého opotřebení přes obtížné dynamické vyvážení po vysokou cenu jednotlivých dílů, které vyžadují nové technologie obrábění. (Zde záleží na konkrétním provedení mechanismu variabilní komprese.)

Zvláštním případem přeplňování je použití tlakového výměníku (Comprex) ten sice byl použit i k přeplňování motorů osobních vozidel ale jeho hlavní výhody jsou u motorů, které pracují v ustálených otáčkách a pro které může být tedy optimálně navrhnut, tedy motory používané hlavně na lodích a u zemních strojů.

Mechanická dmychadla se nejspíše v brzké budoucnosti přestanou úplně používat vzhledem k tomu, že zvyšují spotřebu paliva. V této práci uvedené scroll dmychadlo je spíše ukázkou zajímavého konstrukčního řešení než „seriózního“ provedení, a to hlavně kvůli jeho nízké životnosti a dalších problémech nezřídka vyžadujících velmi nákladnou opravu.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

FERRARI, Andrea. *The Fiat Multiair Technology - Engine and Chassis - Auto Focus Asia - Magazine - Issue 2, 2007* [online]. c2008, [cit. 2011-05-27].

<http://www.autofocusasia.com/engine_chassis_systems/fiat_multiair_technology.htm>

ROBERTS, Martyn. *Benefits and Challenges of Variable Compression Ratio (VCR)* [online]. c2002, [cit. 2011-05-27]. <<http://www.prodrive.com/up/vcr.pdf>>

Volkswagen - *Volkswagen Magazin - Twincharger: Malý objem, velký záťah* [online]. c2009, [cit. 2011-05-27]. <<http://www.volkswagen.cz/zajimavosti/magazin-9-6/>>

SKF Evolution Online > Compressor > Design > Other > Cars > Turbocharging – more power to your engine [online]. 2006, [cit. 2011-05-27].

<<http://evolution.skf.com/zino.aspx?articleID=15004>>

Scania Turbocompound - Scania [online]. c2008, [cit. 2011-05-27].

<<http://www.scania.com/products-services/trucks/main-components/engines/engine-technology/turbocompound/>>

[1] *MultiAir od Fiat Powertrain Technologies: Více vzduchu pro italské motory* | *auto.cz* [online]. 2009, [cit. 2011-05-27]. <<http://www.auto.cz/fiat-multiair-powertrain-technologies-vice-vzduchu-italske-motory-5234>>

[2] WAN, Mark. *AutoZine Technical School - ENGINE* [online]. c2009, [cit. 2011-05-27].

<http://www.autozine.org/technical_school/engine/vvt_6.html>

[3] *MultiAir - The ultimate Air Management Strategy* [online]. c2009, [cit. 2011-05-27].

<http://www.fptmultiair.com/flash_multiair_eng/home.htm>

[4] DRAGOUN, J. *Proměnný kompresní poměr u spalovacích motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 37 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lubomír Drápal.

[5] *MCE-5 VCRI: VCRI pushing back engine efficiency* [online]. c2011, [cit. 2011-05-27].

<http://www.mce-5.com/english/vcri_pushing_back_engine_efficiency.html>

[6] *Saab's Variable Compression Engine* [online]. 2000, [cit. 2011-05-27].

<http://autospeed.com.au/cms/title_Saabs-Variable-Compression-engine/A_111173/article.html>

[7] *MCE-5 VCRI: Key results* [online]. c2011, [cit. 2011-05-27].

<http://www.mce-5.com/english/key_results.html>

[8] *LANCIA DELTA ECV - Homepage* [online]. c2010, [cit. 2011-05-27].

<<http://www.ecv1.com/e-home.htm>>

[9] *Nissan MA MA09ERT Summary* | *BookRags.com* [online]. c2011, [cit. 2011-05-27].

<http://www.bookrags.com/wiki/Nissan_MA_MA09ERT>



- [10] SVOBODA, R. *Netradiční způsoby přeplňování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 57 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.
- [11] LANCIA DELTA ECV - Engine [online]. c2010, [cit. 2011-05-27]. <<http://www.ecv1.com/e-motore.htm>>
- [12] PRATTE, David. *Twin Scroll Turbo System Design - Modified Magazine* [online]. 2009, [cit. 2011-05-27]. <<http://www.modified.com/tech/modp-0906-twin-scroll-turbo-system-design/index.html>>
- [13] BMW Česká republika : Aktuality : Tiskové zprávy [online]. 2010, [cit. 2011-05-27]. <<http://www.bmw.cz/cz/cs/insights/news/content.html>>
- [14] MICHAEL, *Exclusive: The NEW ///M Motor in Depth* [online]. 2009, [cit. 2011-05-27]. <<http://www.bimmerfile.com/2009/05/01/exclusive-the-new-m-motor-in-depth/>>
- [15] *Breakthrough Technology* [online]. 2010, [cit. 2011-05-27]. <<http://www.aeristech.co.uk/news/test-news3>>
- [16] BURIČ, Jan. *Impulzní přeplňování* [online]. 2005, [cit. 2011-05-27]. <http://stc.fs.cvut.cz/History/2005/Papers/S2/BURIC_JAN_12120.pdf>
- [17] HOFMANN, Karel. *ALTERNATIVNÍ POHONY* [s.l.] [s.n.] 2003, 73 s., <<http://www.ite.fme.vutbr.cz/opory/Alt.pohony.pdf>>
- [18] *Drukvulling: turbo, compressor, comprex, intercooler, ... - Autoforum* [online]. 2011, [cit. 2011-05-27]. <<http://www.autoforum.be/showthread.php?t=18530>>
- [19] CHEN, Jay. *Comprex Pressure Wave Supercharger - Sport Compact Car Magazine* [online]. 2007, [cit. 2011-05-27]. <http://www.modified.com/editors/0705_sccp_comprex_compressor_supercharger/index.html>
- [20] TOMCZYK, J. *The Professor: The Scroll Compressor — A History* [online]. 2008, [cit. 2011-05-27]. <http://www.achrnews.com/Articles/Article_Rotation/BNP_GUID_9-5-2006_A_10000000000000410190>
- [21] *www.g-lader.info - Die Infoseite zum G-Lader* [online]. 2010, [cit. 2011-05-27]. <<http://www.g-lader.info/g-lader.htm>>
- [22] *Paul's VW Mk1 Golf Cabrio Home Page* [online]. 2000, [cit. 2011-05-27]. <http://www.users.globalnet.co.uk/~paulx/superchargers.htm#What_did_vw_choose>
- [23] *Facts about the Wright turbo compound* [online]. 1956, [cit. 2011-05-27]. <<http://www.enginehistory.org/Wright/TC%20Facts.pdf>>



- [24] *File:Wright R-3350 Cyclone Engine 1.jpg - Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. 2007, [cit. 2011-05-27]. <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Wright_R-3350_Cyclone_Engine_1.jpg>
- [25] GRESZLER, A. *Diesel Turbo-compound Technology* [online]. 2008, [cit. 2011-05-27]. <http://www.nescaum.org/documents/improving-the-fuel-economy-of-heavy-duty-fleets-1/greszler_volvo_session3.pdf/>
- [26] BAKER, H., et al. *Review of low carbon technologies for heavy goods vehicles - Annex 1* [online]. 2010, [cit. 2011-05-27]. <<http://www.dft.gov.uk/pgr/freight/lowcarbontechnologies/lowcarbonannex.pdf>>
- [27] PRATTE, David. *E85 Ethanol Fuel - Modified Magazine* [online]. 2009, [cit. 2011-05-27]. <<http://www.modified.com/tech/modp-0908-e85-ethanol-fuel/index.html>>
- [28] *2011 Koenigsegg CCX - Specifications, Pictures, Prices* [online]. c2010, [cit. 2011-05-27]. <<http://www.leftlanenews.com/koenigsegg-ccx.html>>
- [29] *PERFORMANCE, 0-100km/h ~0.6 sec* [online]. c2010, [cit. 2011-05-27]. <http://www.monicaoberg.se/car_performance.php>
- [30] KNOWLING, M. *AutoSpeed - Exploring Nitrous - Part One* [online]. 2004, [cit. 2011-05-27]. <http://autospeed.com/cms/A_2165/article.html>
- [31] VAVERKA, L. *Střídání v Bílém domě: Obama dostane nový Cadillac* | *auto.cz* [online]. 2008, [cit. 2011-05-27]. <<http://www.auto.cz/cadillac-stridani-v-bilem-dome-obama-dostane-novy-5944>>