



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

## ÚPRAVY POHONNÝCH JEDNOTEK PRO MOTORISTICKÝ SPORT

ADJUSTMENT OF ENGINES FOR MOTORSPORT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MAREK SLOVÁK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. RADIM DUNDÁLEK, Ph.D.

BRNO 2010



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2008/09

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Slovák Marek

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:

### **Úpravy pohonných jednotek pro motoristický sport**

v anglickém jazyce:

#### **Adjustment of Engines for Motorsport**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

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

Cíle bakalářské práce:

Uvedení přehledu typů úprav pohonných jednotek pro motoristický sport.

Seznam odborné literatury:

- [1] PAUER, Václav. Formule: historie techniky závodních vozů. 1. díl. 1. vyd. Plzeň: Fraus, 2005. 79 s.  
[2] MACKERLE, Julius. Motory závodních automobilů. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980. 193 s.  
[3] RŮŽIČKA, Bronislav. Jak na chiptuning. Brno: Computer Press, 2008. 184 s.


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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

V Brně, dne 21.10.2008

L.S.



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce pojednává o základních možnostech jakými lze zvyšovat výkonnostní parametry motoru za účelem nasazení jednotky v motoristickém sportu. Zaměřuje se především na teoretickou stránku provedení úprav, poskytuje však také praktické příklady. V žádném případě se nejedná o příručku ani o přesný výčet úprav, které jsou pro různé motoristické disciplíny prováděny. Práce poskytuje čtenáři spíše vhled do témat, které přinášejí největší zvýšení výkonu motoru, nebo jsou z hlediska nastolené problematiky jinak zajímavé.

## **Klíčová slova**

Sportovní úpravy, zvyšování výkonu, úpravy rozvodů, přeplňování, turbo, vnitřní chlazení, vstřikování vody, střední efektivní tlak

## **Abstract**

This thesis treats of basic options for gain performance parameters of engine for the purpose of usage the unit in motorsport. Thesis is especially aimed at theoretical part of implementation of adjustments and also provides practical examples. By no means it is not a manual or accurate enumeration of adjustments which are used for different kinds of motorsports. Thesis rather provides reader with the view on topics which bring the biggest increasment to engine performance or which is in the given topic interested in other way.

## **Keywords**

Adjustments for motosport, increasing of output, adjustment of valve-gear, supercharging, turbo, inside cooling, water injection, effective mean pressure

## **Bibliografická citace**

SLOVÁK, M. *Úpravy pohonných jednotek pro motoristický sport*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 49 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.



## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci Úpravy pohonných jednotek pro motoristický sport vypracoval samostatně pod vedením Ing. Radima Dundálka, Ph.D. a uvedl v seznamu literatury všechny použité zdroje.

V Brně dne 28. května 2010

Podpis:





## Obsah

1 Úvod .....	11
2 Výkon motoru .....	12
3 Úpravy spalovacího prostoru .....	15
4 Úpravy rozvodů .....	18
4.1 Časování rozvodu .....	21
4.2 Úpravy dílů ventilového rozvodu .....	23
5 Přepřehování .....	27
5.1 Dynamické přepřehování .....	27
5.2 Přepřehování pomocí tlakových vln zařízením Compres .....	28
5.3 Mechanické přepřehování .....	28
5.4 Přepřehování turbodmychadlem .....	31
5.4.1 Instalace turbodmychadla na atmosferický motor .....	33
6 Chlazení nasávané směsi .....	39
6.1 Zamezení ohřevu .....	39
6.2 Mezichladič stlačeného vzduchu .....	39
6.3 Vnitřní chlazení .....	40
6.3.1 Chlazení přebytkem paliva .....	40
6.3.2 Vstřikování vody .....	40
6.3.3 Vstřikování oxidu dusného .....	42
7 Budoucnost úprav pohonných jednotek .....	44
8 Závěr .....	45
Použité zdroje .....	46
Použité zkratky .....	49



## 1 Úvod

Motoristický sport je téměř stejně starý jako motorismus. Již první samohybné vozy byly posuzovány podle své rychlosti, což vyústilo v pořádání různých sportovních podniků. Motoristickému sportu se alespoň někdy ve své historii věnovala téměř každá automobilka. Výrobci automobilů tak činili ze dvou hlavních důvodů. Prvním je samozřejmě reklama a z ní plynoucí zvýšení prodejů. Velká spousta automobilek si postavila svou „image“ právě na úspěších v motoristickém sportu a pokud se dotyčnému výrobcovi v minulosti hodně dařilo, vůbec nevadí že už se 20 let v žádné motoristické disciplíně neobjevil. Úspěchy v motoristickém sportu jsou zkrátka nejlepší reklama.

Druhý důvod proč je výhodné účastnit se motoristického sportu, už nemusí být pro mnohé tak průhledný. Každý závodní automobil nebo motocykl je jakousi pojízdnou laboratoří. Všechny poznatky získané při vývoji závodních strojů lze uplatnit v sériové výrobě.

V současné době je však snaha tento rozlet konstrukčních oddělení závodních týmů brzdit a to z důvodu zlevnění motorsportu. Dochází k unifikaci jednotlivých dílů, mezi různými závodními stroji aby tovární týmy neměli tolik práce s vývojem a možná i docházelo k vyrovnanějším bojům na závodní dráze. Zapomíná se přitom, že ty největší sportovní bitvy se neodehrávali někde na závodním okruhu nebo trati. Naopak! Největší boj se udál za rýsovacími prkny v odděleních továrních týmů.

Ať se nám to líbí nebo ne, peníze hýbou světem a v motosportu to platí dvojnásob. Motosport je pro výrobce hlavně reklama a pokud chce výrobce určitý model prodávat je pro něj účelné aby se odvozenina pro motoristický sport civilnímu produktu zvnějšku maximálně podobala. Pokud má být vývoj automobilu co nejlevnější, je výhodné aby se automobil podobal svému civilnímu předobrazu i po technické stránce. Je nutné pro všechny výrobce stanovit hranice jak daleko se lze od sériového produktu odlišovat, tyto stanovuje FIA. Závodní automobil pak vzniká úpravou vozu sériového, přičemž tato úprava musí proběhnout v rámci pravidel té které disciplíny. Zde je potřeba podotknout, že tento postup není zdaleka uplatňován u všech odvětví. Například monopost Formule 1 má pramálo společného s jakýmkoliv sériovým výrobkem.

Mezi nejdůležitější věci které výrobci pro motorsport upravují je pohonná jednotka. Těžiště důležitých vlastností závodní pohonné jednotky leží úplně jinde než u jednotky civilního vozu. U civilní jednotky hrají prim vlastnosti jako jsou hospodárnost, životnost, cena, vliv na životní prostředí atd. U jednotky určené pro sport je pak nejdůležitější výkon, hmotnost, dále pak spolehlivost. Konstruktor se pak dostává do velice těžké situace. Musí dokázat změnit prvně jmenované vlastnosti na vlastnosti, které se očekávají od sportovního motoru a to vše v mezích, které určují homologační předpisy. Přitom není nutné mít zázemí továrního týmu aby bylo možné upravovat pohonné jednotky. Spoustu věcí lze zvládnout i v ryze amatérských podmínkách a vyrazit pak s takto upravenou pohonnou jednotkou na amatérskou rally, tuningový sraz, či třeba na závodní okruh.

Motor lze tedy upravovat profesionálně i amatérsky (rozuměj zadarmo nikoliv neodborně). Vždy je však potřeba velká znalost dané problematiky a především finance, protože levný motoristický sport neexistuje.

## 2 Výkon motoru

Ať už bude motor použit v jakémkoliv sportovním odvětví, tak je důležitý v prvé řadě jeho výkon. Maximální výkon každého motoru lze snadno zjistit nahlédnutím do technických parametrů, které udává výrobce. Výkon který výrobce udává se však může v některých případech dost lišit od skutečnosti. Ne že by chtěl výrobce zákazníky nějak klamat, ale díky tomu že jsou jednotlivé díly vyrobeny a smontovány s určitými tolerancemi, tak hodnota výkonu může u jinak zdánlivě shodných motorů kolísat. Z toho plyne první možnost jak zvýšit výkon motoru. Pouhým výběrem dílů, které k sobě nejvíce „padnou“ lze získat přírůstek výkonu v řádu jednotek kilowat. Čehož se dá využít především u vozů skupiny N, které se nesmí nijak upravovat. Například u tovární Škody Favorit se pečlivým výběrem dílů podle povolených tolerancí, lícování a hmotnosti dosáhlo nárůstu výkonu téměř o 9 kW jak je uvedeno v [12]

Pokud se ale nespokojíme s přibližnou hodnotou výkonu, je nutné ji změřit na motorové brzdě. Toto se doporučuje provést před zahájením úprav i po dokončení.

Výkon motoru se dá také spočítat, ze vztahu:

$$P_e = \frac{V \cdot p_e \cdot n}{120} \quad (\text{kW}) \quad \text{pro motor čtyřdobý}$$

$$P_e = \frac{V \cdot p_e \cdot n}{60} \quad (\text{kW}) \quad \text{pro motor dvoudobý}$$

kde:

$P_e$  . . . . . efektivní výkon

$V$  . . . . . celkový zdvihový objem motoru

$p_e$  . . . . . střední efektivní tlak

$n$  . . . . . otáčky motoru

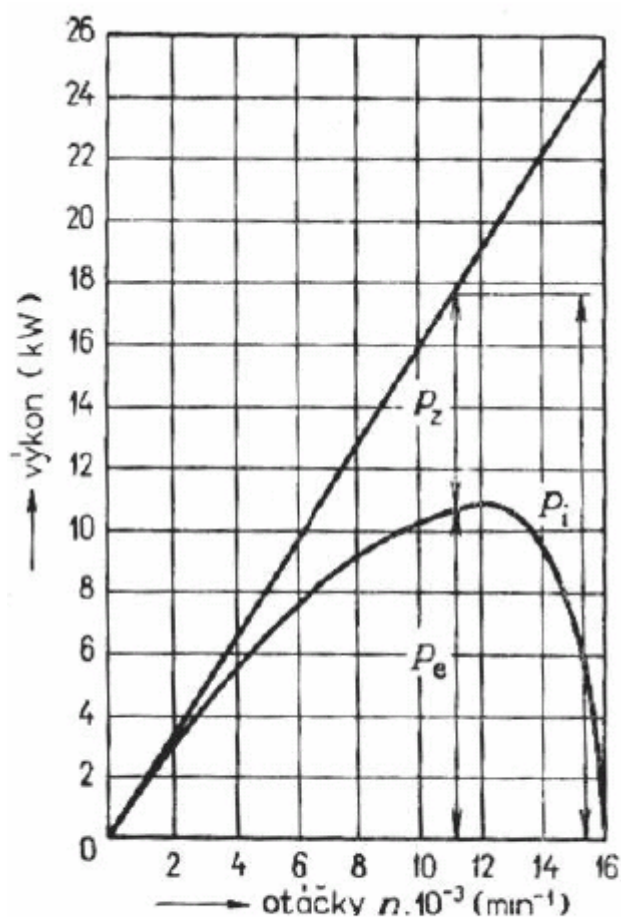
Tento vzorec, spíše než proto abychom si pomocí něj počítali výkon našeho automobilu, skvěle poslouží k tomu, abychom si uvědomili na čem je vlastně výkon motoru závislý a jakým směrem se tedy máme při upravování pohonné jednotky vydat.

V motoru shořením paliva vzniká výkon  $P_i$ , tedy výkon indikovaný, to je ten který získáme z indikátorového diagramu. Ze setrvačnicku jsme však schopni odebrat již jen výkon efektivní  $P_e$ , který zmiňuje uvedený vztah. Část indikovaného výkonu se totiž spotřebuje pro pohon příslušenství. Jedná se zejména o pohon rozvodu, alternátoru, vodní a olejové pumpy, ale také o ztráty způsobené výměnou obsahu válce a veškeré třecí ztráty. Celkově se na tyto ztráty spotřebuje ztrátový výkon  $P_z$ . V praxi je samozřejmě výhodné pro výpočet využívat vztah pro efektivní (užitečný) výkon, k čemuž je nutné do tohoto vzorce dosazovat také tlak, který již nese přízvisko efektivní. Z indikovaného tlaku  $p_i$  jej získáme tak že indikovaný tlak vynásobíme mechanickou účinností.

První veličinou ve vztahu pro výkon je celkový zdvihový objem motoru  $V$ . Zde není potřeba dlouhého vysvětlování, čím větší objem, tím více směsi může v motoru za časový

úsek shořet a vykonat tak více práce. A více práce za časový úsek je více výkonu. Existuje více možností jak objem zvětšovat. Tato veličina je u konvenčního motoru totiž dána vrtáním a zdvihem, přičemž zvětšovat lze oboje. Zvětšovat vrtání lze pouze pokud má blok motoru dostatečnou rezervu. Což ale nebývá žádná výjimka. Například u první generace Fordu Focus používá výrobce stejný blok pro motor 1,8 i 2,0. Objem je pak změněn různým vrtáním. Z toho je jasné, že pokud se k vám dostane 1,8, tak co neudělal výrobce, můžete vy. Zdvih lze zvětšovat pomocí výměny klikové hřídele. Opět je možné hledat inspiraci pro úpravu přímo u výrobce, tentokrát u domácí automobilky. Motor Š 1,4 Mpi (známý z Fabie) má konstrukčně naprosto stejný základ jako motory Š 781.135 a Š 781.136 (používané u Favoritu a Felicie), vyššího zdvihu a tedy i objemu je dosaženo právě změnou klikové hřídele. Tuto „fintu“ automobilky si brzo osvojili i mnozí úpravci motorů Škoda staršího data výroby.

Další veličina, která přímo ovlivňuje výkon je střední efektivní tlak  $p_e$ . Na píst působí během pracovního zdvihu proměnná hodnota tlaku, proto se zavádí její střední hodnota. Jedná se o tlak efektivní, tedy tlak který koná užitečnou práci. Analogicky se zavádí tlak ztrátový  $p_z$ , který si můžeme představit jako stálý tlak který působí proti pohybu pístu a který vykoná zápornou práci způsobenou zmíněným pohonem příslušenství. Opět čím větší střední efektivní tlak tím větší výkon. Prakticky všechny úpravy, které budou popsány v této práci budou mít za cíl zvyšovat  $p_e$ , nebo alespoň jeho udržení na smysluplné úrovni i při provozu ve vyšších otáčkách na které motor nebyl stavěn.



Obr. 2.1 Průběh indikovaného výkonu  $P_i$ , efektivního výkonu  $P_e$  a ztrátového výkonu  $P_z$  v závislosti na otáčkách  $n$  [1]

Poslední veličina, která nás bude zajímat jsou otáčky motoru. Ze vzorce je opět jasné, že výkon roste přímo úměrně s otáčkami motoru. Bohužel otáčky nelze zvyšovat do nekonečna. Se zvyšujícími se otáčkami se začíná zrychleně zhoršovat mechanická účinnost. Roste tedy ztrátový výkon na úkor výkonu efektivního, jak názorně ukazuje graf na obrázku 2.1. Přičemž zhoršení mechanické účinnosti vlivem otáček v rozhodující míře způsobují hydraulické ztráty při plnění motoru, dále pak ztráty třením pístu a pístních kroužků, což je způsobeno zrychlujícími silami, které se zvětšují s druhou mocninou otáček. [1]

Pro posuzování, jak dalece je možné otáčky zvyšovat je vhodné zavést veličinu střední pístová rychlost  $v_p$ .

$$v_p = \frac{L \cdot n}{30} \quad (\text{m/s})$$

$L$  . . . . . zdvih

$n$  . . . . . otáčky

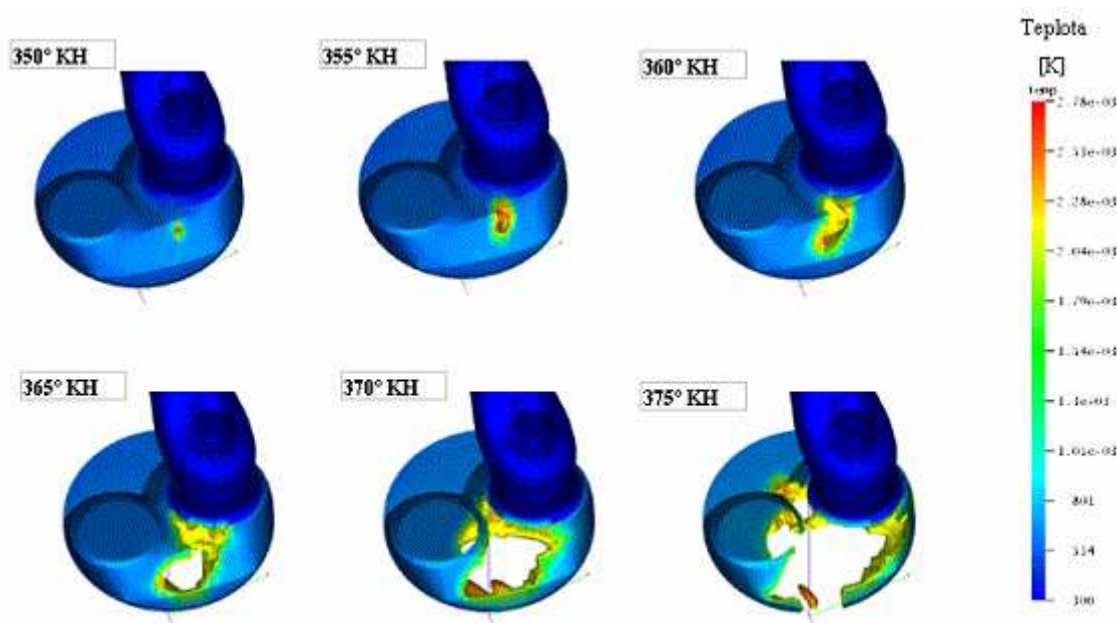
Hodnota  $v_p$  pro běžné motory většinou nepřekračuje 16 m/s. Extrémní hodnota u nejdražších závodních motorů se pak blíží 28 m/s. [12] Ze vzorce plyne, že pokud se chceme vyhnout zvyšování střední pístové rychlosti a to bychom pro zachování mechanické účinnosti v rozumných mezích rozhodně měli, tak jediná cesta jak zvyšovat otáčky je ve snižování zdvihu. Snižovat zdvih samozřejmě není cesta ke zvyšování výkonu z hlediska úprav sériových jednotek. Požadavek na nízký zdvih u sportovního motoru, který plyne z tohoto vztahu by měl spíše sloužit ke kategorizaci pohonných jednotek. Základní koncepci pohonné jednotky totiž při úpravách v zásadě ovlivnit nelze. Měli bychom si uvědomit, že motor který upravujeme není prvořadě určený pro dosažení maximálního výkonu, ale naopak pro dosažení maximální hospodárnosti. S tímto účelem bylo voleno i jeho základní konstrukční uspořádání. Nejvíce je tento fakt patrný na používaném objemu na jednotlivý válec. Zdvih samozřejmě vzhledem k vrtání nelze snižovat do nekonečna. Tento poměr by neměl klesnout asi pod 0,75 [12]. Takže pro další snižování zdvihu je nutné snižovat i vrtání. Což se při zachování objemu motoru děje pouze zvyšováním počtu válců.

A přesně tak by měl motor určený pro sport a pro vysoký výkon vypadat, měl by mít co nejmenší objem jednotlivých válců a co nejmenší zdvih. Jedině takováto konstrukce ho předurčuje k provozu ve vysokých otáčkách. Bohužel, takovéto uspořádání má své zásadní nevýhody, které ho při běžném provozu diskvalifikují. Je to zejména nekompaktní uspořádání válců a z toho plynoucí zvýšený prostup tepla do chladící kapaliny a tím pádem nižší tepelná účinnost a z toho plynoucí vyšší spotřeba a v dnešní době nejvíce sledovaná produkce škodlivin. Hlavní nevýhodou je ovšem cena takové konstrukce. Některé sériové motory jsou vhodné pro provoz ve vysokých otáčkách méně, některé více. Zhruba je ovšem u většiny motorů provedením série nutných úprav možné posunout používané pásmo otáček asi o 3000 ot/m.

Mimo výkon motoru, se v souvislosti s motory také udává známá fyzikální veličina zvaná točivý moment  $M_t$ . Z výkonu  $P_e$  ho velice snadno spočítáme vynásobením konstantou 9550 a vydělením otáčkami motoru. Tato hodnota, respektive její průběh se velmi často udává současně s výkonovou křivkou motoru, což je velmi vhodné pro názornost. Vliv průběhu křivky kroutícího momentu a výkonu na celkový jízdní projev motoru bývá často předmětem vášnivých diskuzí mnoha motoristických fandů. Populárně naučnou formou jsou tyto dva pojmy vysvětleny například zde [13].

### 3 Úpravy spalovacího prostoru

Spalovací prostor je tvořen dnem hlavy, pístu a stěnami válce. Jeho tvar by měl být v první řadě kompaktní, tedy takový aby do stěn přestupovalo co nejméně tepla. U sériových motorů je na tento požadavek kladen důraz zejména kvůli spotřebě paliva. Z hlediska sportovního nasazení motoru, nás spotřeba zas až tak netrápí, jde spíše o to, že přestupem tepla do chladící kapaliny je nutné zvýšit chladicí výkon chladiče. Nejvýhodnější zkratka je, když nejvíce ztrátového tepla odchází výfukovými plyny. Tvar spalovacího prostoru musí být také vhodný pro usměrnění proudění, nejdůležitější je ovšem vhodnost prostoru pro vlastní proces spalování směsi. Na obrázku 3.1 je zachycen vývoj plamene u dvouventilového motoru.



Obr. 3.1 Vývoj plamene ve spalovacím prostoru [14]

Spalovací prostor je potřeba posuzovat především z hlediska náchylnosti k detonačnímu hoření. Problematika detonací je poměrně složitá. Lze je vysvětlit pomocí tepelné exploze nebo řetězových reakcí. Pro naše potřeby postačí pochopení principu tepelné exploze. Po zažehnutí směsi dochází k jejímu prohořívání přibližně v kulových plochách. Nejdříve zažehnutá směs rychle shoří a mění se v horké spaliny o vysoké teplotě a tlaku. Spálená část směsi o velké teplotě a tlaku rychle přibývá na úkor nespálené směsi. Nespálená směs je stlačována horkými spalinami. V okamžiku, kdy dojde v tomto zbytku směsi k takovému nárůstu tlaku a teploty, že tato teplota překročí teplotu potřebnou k zážehu paliva. Dojde k okamžitému zažehnutí celého zbytku směsi. Takový průběh hoření je nevýhodný z hlediska výkonových parametrů a vede ke zvýšenému namáhání motoru. Což jde dokonce pozorovat charakteristickým cinknutím, které detonace provází. Z uvedeného plyne několik zásad které by měl motor splňovat z hlediska odolnosti proti detonacím. Prohořívací dráhy by měli být co nejkratší, z čehož plyne požadavek na co nejkompaktnější spalovací prostor a svíčku umístěnou v ose válce. Pokud to není možné, měla by svíčka být umístěna blíže výfukovému kanálu, kde panují vyšší teploty a směs tedy bude stlačována do místa kde bude lépe ochlazována stěnami válce. Spalovací prostor má mít největší objem svého prostoru u zapalovací svíčky. Tak aby většina směsi rychle prohořela. Dále vede k potlačení víření směsi ve válci. Naprosto rozhodující vliv pro vznik detonací má však použité palivo, použitý kompresní poměr nebo samozřejmě stupeň přeplňování. Přeplňování bude probráno později.

Kompresní poměr však přímo souvisí s úpravami spalovacího prostoru. Lze ho vypočítat z následujícího vztahu:

$$\varepsilon = \frac{V_Z - V_K}{V_K}$$

$V_z$  . . . . . zdvihový objem válce

$V_k$  . . . . . objem kompresního prostoru

Kompresní poměr přímo souvisí s tepelnou účinností motoru. Čím větší, tím lepší. Ovšem jeho nadměrné zvyšování vede ke zhoršení mechanické účinnosti, takže přírůstek výkonu se zmenšuje.

*Poznámka: Předchozí popis vychází především ze studia poznatků uvedených v [1]*

Zvýšení kompresního poměru je velice častá úprava motoru, a je to jedna ze základních cest, kterou se lze dobrat zvýšení středního efektivního tlaku  $p_e$ . Zvyšovat kompresní poměr lze provádět zmenšováním kompresního prostoru. Což plyne z výše uvedeného vztahu. Pro konkrétní pracovní postup tedy bude rozhodující, způsob provedení kompresního prostoru u konkrétního motoru. Ten může být vytvořen v hlavě válců i v pístu. Pokud jsou tyto dutiny vytvořeny v hlavě, lze kompresi zvyšovat úběrem materiálu z hlavy. Než se do této operace pustíme, je dobré myslet na to, že mohou nastat určité problémy. Při velkém snížení hrozí kontakt ventilů se dnem pístu. Toto lze zkontrolovat například složením motoru s vloženým kouskem plastelíny, do které se při otočení otiskne ventil. Plastelínu po rozebrání vyndáme a změříme. Mezera by neměla poklesnout pod 0,5 mm. Mimo ventily zasahuje do spalovacího prostoru také zapalovací svíčka i zde je potřeba pamatovat na vzdálenost mezi elektrodami a dnem pístu. Je-li tato vzdálenost příliš malá, zasahuje plamen hořící směsi příliš brzo na povrch pístu. Výsledkem je značné zvýšení teploty dna pístu v oblasti přímo pod svíčkou, které může spolu s jinými vlivy způsobit zadření motoru nebo propalování dna pístu. [9] Toto je samozřejmě poněkud extrémní situace, přesto může u příliš tepelně zatíženého motoru nastat. Kompresní poměr je také možné zvýšit snížením bloku motoru, použitím jiných pístů a teoreticky také použitím delší ojnice.

Zbývá zodpovědět otázku, jaký kompresní poměr tedy použít. Obecně se příliš nedoporučuje zvyšovat kompresní poměr nad 1:12, záleží ovšem na sportovní disciplíně. Platí, že pro okruhové závody se hodí použití vyššího kompresního poměru než pro soutěže, což souvisí s požadavkem na pružnější chování jednotky při rally. Sériové automobily ( které nejsou určené prvořadě pro sport) mají kompresní poměr kolem 1:10. Je zde tedy dostatečné pole působnosti pro úpravy. Navíc úprava kompresního prostoru patří mezi poměrně vděčné úpravy, protože na výkonu je i relativně malé snížení hlavy citelně znát.

Zde je potřeba upozornit že u přeplňovaných motorů, není vysoký kompresní poměr vhodný. Starost o zajištění vysokého tlaku na konci komprese lze totiž přenechat dmýchadlu. Kompresní poměry se zde v závislosti na použitém typu a dimenzování přeplňování mohou výrazně lišit od atmosféricky plněných motorů. Například slavné Audi S1 skupiny B, mělo kompresní poměr pouze 1:6,6. [15]

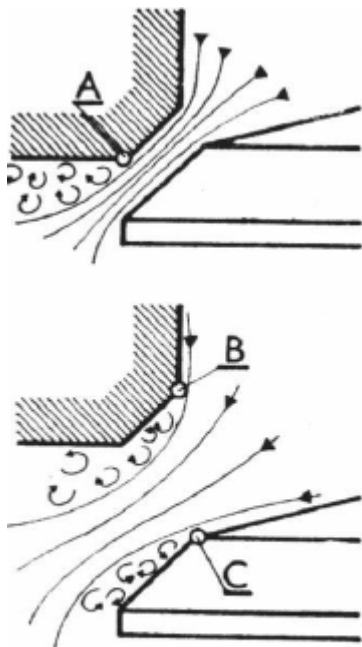
S tvarem spalovacího prostoru v hlavě i v pístu je samozřejmě možné experimentovat, je však potřeba dbát na to aby byli zachovány stejné kompresní prostory ve všech válcích. Úpravy spalovacího prostoru jsou do jisté míry alchymií, i když v dnešní době výpočetní technika pokročila a proces hoření je možno modelovat. Do toho co se v motoru přesně děje vidět nemůžeme, zvláště pak pokud máme omezený rozpočet. Pokud něco ve spalovacím



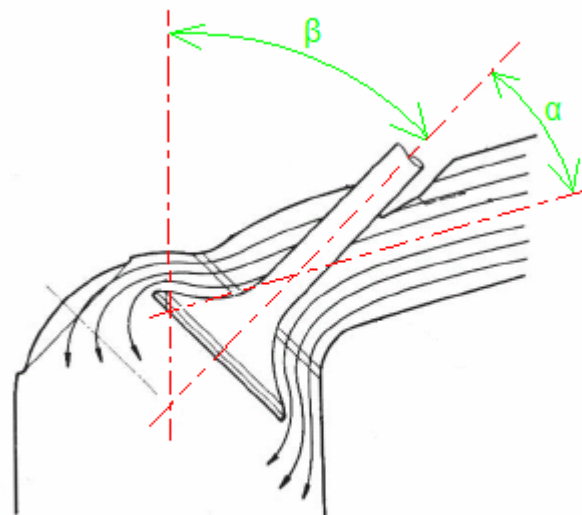
prostoru upravujeme, je nutné vědět proč to děláme (nebo si alespoň myslet že víme proč to děláme), protože jedině tak je možné dosáhnout dlouhodobě nějakých výsledků

## 4 Úpravy rozvodů

Rozvodem rozumíme u motoru zařízení nebo způsob, kterým ovládáme cesty palivové směsi a plynů v motoru. Bylo vyvinuto velké množství typů rozvodů. U čtyřdobých vozidlových motorů se však nejčastěji používá rozvodu ventilového, ovládaného jednou nebo více vačkovými hřídeli, přičemž vratný pohyb zajišťují pružiny souosé s ventilem. V dalším se tedy budeme zabývat tímto typem. Je vhodné si uvědomit jaký vliv má provedení rozvodu na dosažený výkon a zda má tedy smysl rozvody upravovat. Rozvody zajišťují plnění a vyprazdňování válce. Všimněme si problematiky plnění. Zde je souvislost s výkonem motoru zřejmá: Pro dosažení maximálního středního efektivního tlaku je nutno při sacím zdvihu dopravit do válce co největší hmotnostní množství vzduchu. [1]. Pomalu začíná být jasné, že hodnota atmosférického tlaku, kterou jsme byli zvyklí dosazovat v hodinách termomechaniky pro tlak plynu před kompresí ve válci, nebude ta správná hodnota. I plnění válce je totiž prováděno s určitou účinností (plnicí účinností). Problémy nastávají zejména při vyšších otáčkách. Na nasátí směsi do válce při 8000 otáčkách za minutu je k dispozici čas jen asi 0,002 sekundy.



Obr. 4.1 Proudění v sedle ventilu [1]

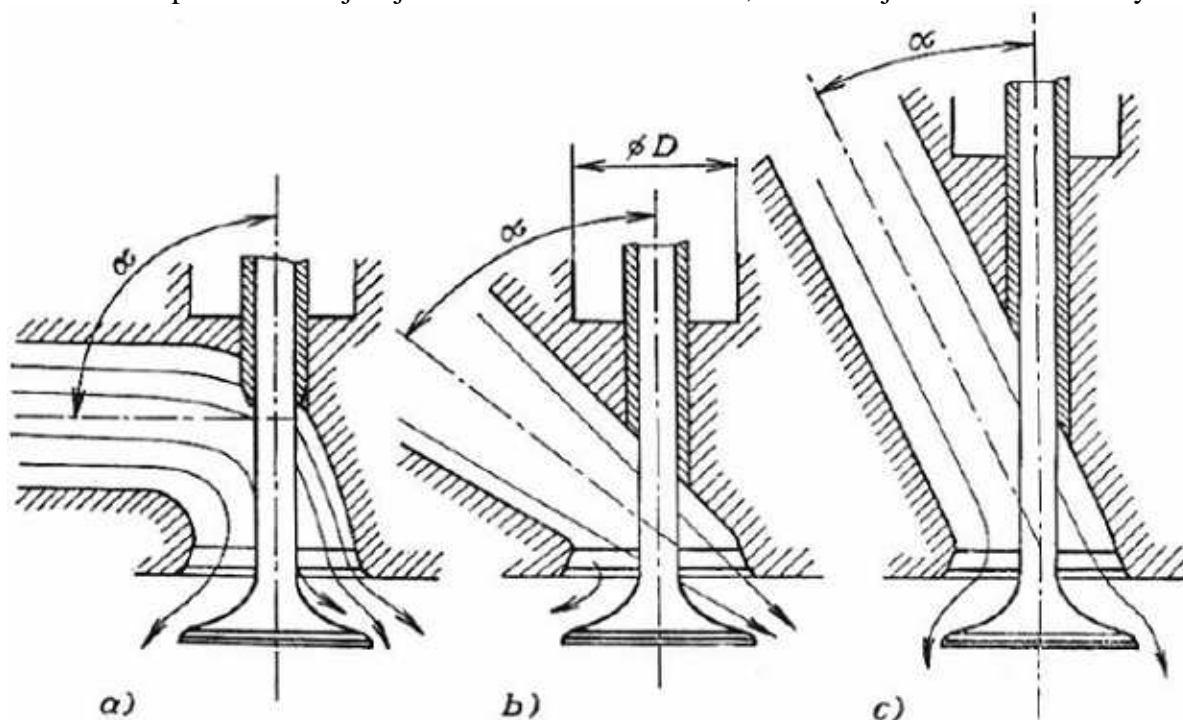


Obr. 4.2 Poloha ventilu a kanálu vůči ose válce

Na naplnění válce má vliv řada faktorů od průchodnosti vzduchového filtru, přes teplotu vzduchu až po uzpůsobení potrubí k vedení tlakových vln. Největší překážkou, která brání dokonalému naplnění válce, ale zůstává ventil. Ten brání průchodu směsi do válce teoreticky pouze plochou své stopky. Ve skutečnosti ovšem proudění ovlivňuje zejména tlíček ventilu, tak jak je to zobrazeno na obrázku 4.1. Zároveň si lze všimnout odtržení proudu od hran A, B a C při různém zdvihu ventilu. Tomuto odtržení lze zabránit zaoblením těchto hran.

Jako důležité se pro proudění směsi v oblasti ventilu jeví zejména dva úhly  $\alpha$  a  $\beta$  (obr 4.2). Přičemž  $\alpha$  je úhel který svírá osa ventilu s kanálem ventilu a úhel  $\beta$  je úhel odklonu osy ventilu od osy válce. Důležitost úhlu  $\alpha$  je patrná z obrázku 4.3. Jak je uvedeno v [1], každý z těchto třech možností má své pro a proti. V provedení a je jasnou výhodou nízká stopka a tím i hmotnost ventilu. Také hlava motoru bude nejnižší právě při úhlu  $\alpha = 90^\circ$ . Tím ovšem výčet kladů tohoto řešení končí. Tak velký ohyb, nemůže být výhodný pro využití celého průřezu.

Proud směsi se nahustí na vnější poloměr kanálu, kde dojde ke zvýšenému tření a prostupu tepla což není zrovna přívětivé. V případě b také není situace nejlepší. Pokud nezařadíme žádný ohyb, kanál se musí zužovat a celého průřezu se nám také nepodaří využít. Příklad c je z hlediska proudění nejvýhodnější, čím více prodloužíme ventil tím můžeme kanál více napřímit, vše má ale své meze. Zejména pokud si uvědomíme že nedílnou součástí cesty za vysokým výkonem jsou vysoké otáčky. Vysoká hmotnost ventilu by pak samozřejmě začala působit problémy. Za celkově nejvýhodnější řešení považuji přímý kanál s malým ohybem, zkrátka kompromis. Tak jak je to vidět na obrázku 4.4, znázorňující motor ze Škody 738.

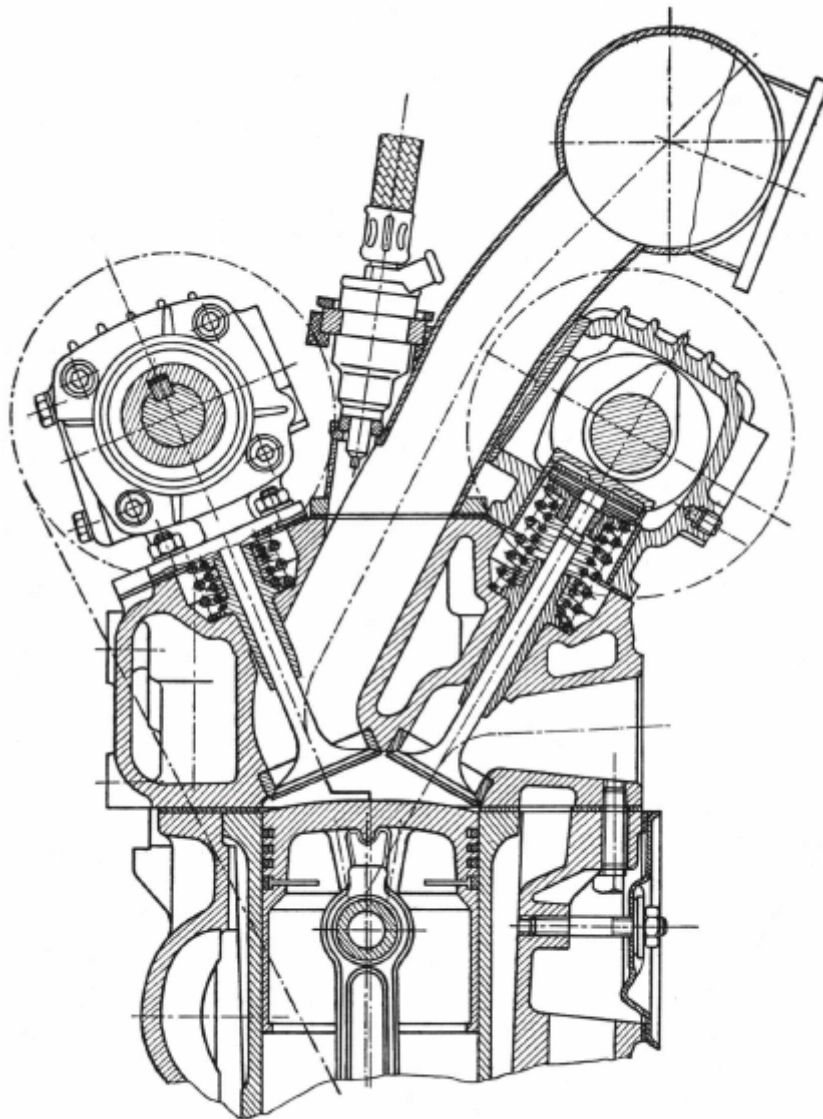


Obr. 4.3 Vliv sklonu kanálu na plnění válce [1]

Úhel  $\beta$  je z hlediska hodnocení vyústění spalovacího kanálu neméně významný. Obrázek 4.3 nám zobrazuje různé natočení osy kanálu vůči ose ventilu. Vůbec nic nám však neříká o tom jak bude proud směsi omezován za ventilem. Úhlem  $\beta$  tedy určíme natočení soustavy ventil-kanál vůči ose válce. Což je vidět na obrázku 4.2. Hodnocení jak velký má být úhel  $\beta$ , zde již není tak jednoznačné. Dá se říct že by měl být co nejmenší, ale to pouze za předpokladu, že není blízko stěny válce, docházelo by k brzdění proudu touto stěnou a zhoršení plnění. Úhel  $\beta$  je především závislý na provedení spalovacího prostoru a počtu ventilů. Ze studia dostupné literatury plyne, že nejvýhodnější tvar spalovacího prostoru z hlediska proudění směsi do válce, hoření směsi a odolnosti proti detonacím je půlkulový tvar spalovacího prostoru. Tento tvar je hojně využíván u dvouventilového rozvodu. Dnes je však mnohem častější čtyřventilové provedení, důvody jsou nasnadě: menší hmotnost ventilů a lepší využití povrchu spalovacího prostoru pro rychlou výměnu směsi. Ovládat čtyři ventily umístěné radiálně v polokulovém spalovacím prostoru je však natolik obtížné, že se s takovým uspořádáním u konvenčních automobilů není možné setkat. Zelenou tedy dostal střechovitý spalovací prostor, který k použití čtyřventilové techniky přímo vybízí.

Je jasné, že měnit směry kanálů, ventilů, či dokonce jejich počet, nelze a to ani v profesionálních podmínkách. Z tohoto pohledu se tato úvodní kapitola o úpravách rozvodů může jevit zbytečná. Upravovat rozvody však nelze bez toho abychom věděli co vlastně děláme. Motory závodních automobilů, které jsou konstruované prvořadě pro vysoký výkon by měli být při úpravách sériových jednotek jakýmsi etalonem, kterému bychom se měli snažit blížit. Znalost konstrukce čistokrevných závodních motorů nám navíc pomůže

objektivně zhodnotit, zda vůbec má jednotka kterou zamýšlíme upravovat alespoň minimální sportovní vlohy. Toto hodnocení musí provést jak garážový amatér tak profesionální tovární tým. V prvním případě jsme při výběru omezeni zejména rozpočtem, ve druhém především sportovními nařízeními. Například naše domácí automobilka Škoda nebyla jistě štěstím bez sebe, když musela do Felicie Kit-Car homologovat třináctistovku vlastní výroby s rozvodem OHV a dvěma ventily na válec.

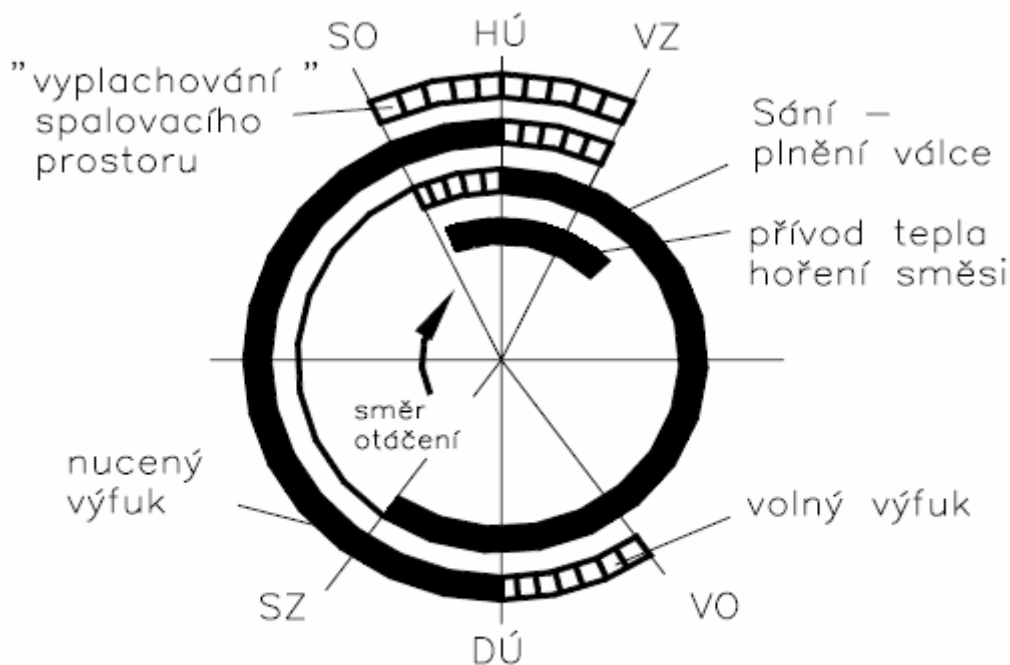


*Obr. 4.4 motor Škoda 738 má přímý sací kanál [1]*

## 4.1 Časování rozvodu

V minulé kapitole, jsme se částečně zabývali prouděním směsi kolem ventilu. Na dosažený výkon má však rozhodující vliv časování ventilu. Jednoduše řečeno jde o to, určit kdy se ventily mají otevírat, kdy zavírat a jak rychle tak mají činit. Každý kdo projde kurzem autoškoly má o časování ventilů jasnou představu: Při sacím zdvihu je otevřen sací ventil, při výfukovém je otevřen výfukový. Každý s těchto procesů by tedy pro sebe měl mít vyhrazeno 180° pootočení klikového hřídele. Když však uvedu, že u dobře známého motoru Š 781.136 B používaného ve Škodě Felicia trvá sání i výfuk celých 254° pootočení klikového hřídele [10] a závodní speciál Porsche 917 má 388° pro sání a 360° pro výfuk [1], máme před sebou velmi zajímavé téma. Nejen to. Tato problematika také skýtá poměrně velké pole působnosti při provádění úprav pohonných jednotek.

Jak plyne z předchozího, časování rozvodu se udává v úhlech pootočení klikového hřídele. Což lze snadno znázornit v úhlovém diagramu viz obr 4.5. Tento diagram však není příliš přehledný a neumožňuje znázornit průběh zdvihu ventilu, ale pouze začátek a konec



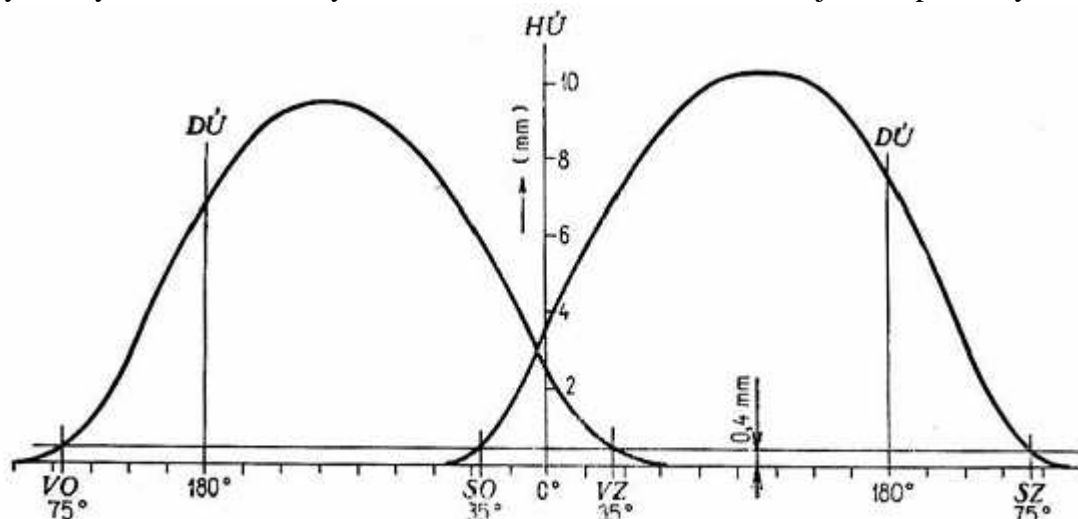
Obr. 4.5 Úhlový diagram rozvodu [16]

sání. Pro komplexnější představu o časování rozvodu je vhodné sledovat diagram na obrázku 4.6. Ten nejen že umí zobrazit průběh zdvihu ventilů, ale je v něm zahrnuta i vůle na ventilu. Dále by v něm bylo možné zakreslit i polohu dna pístu. Což je výhodné z hlediska zamezení kolizí pístu s ventilem.

Pokud by byla čerstvá směs nasávána jen během 180° sacího zdvihu, bylo by při 4000 ot/min na nasátí směsi 0,004 s. Pokud by byly otáčky dvojnásobné, i čas který je k dispozici by klesl na polovinu. Aby bylo dosaženo dobrého naplnění válce i ve vyšších otáčkách, je tedy potřeba větší úhel otevření ventilů. Nás zajímá při úpravách dosažení co největšího výkonu, na což potřebujeme co nejvyšší otáčky při zachování co nejvyššího středního efektivního tlaku. Takže nás bude zajímat jak nejlépe je možné motor při vysokých otáčkách naplnit. Sledujme nyní v diagramu na obrázku 4.6 řízení výměny směsi ve válci. Diagram začíná při expanzním zdvihu, kdy se před dolní úvratí (v tomto případě 75°) začíná otevírat



výfukový ventil. Proto abychom získali z tohoto zdvihu co nejvíce z práce by samozřejmě



Obr. 4.6 Diagram rozvodu Fiat 125 [1]

bylo nejlepší nechat expandovat plyn až do dolní úvrati. Problém by pak ale nastal při výfukovém zdvihu, kdy by byl ve válci ještě příliš vysoký tlak, který by byl dále ztlachován proti ještě ne zcela otevřenému ventilu a píst by tak konal zápornou práci. Pokud se bavíme o vysokovýkonem, tedy vysokootáčkovém motoru, je nutné aby k otevření ventilu došlo poměrně brzy a to i přesto že poměrně velká část z energie spalin doslova „vyletí komínem“ (v lepším případě turbodmychadlem a pak teprve komínem). Čím vyšší otáčky, tím dříve je potřeba ventil otevřít (na vyprázdnění je méně času) a je potřeba ho otevřít rychle, tak aby tlak do DÚ rychle poklesnul. Po překonání DÚ, nastává výfukový zdvih, ještě než píst dorazí do HÚ, dochází k otevření sacího ventilu. Přitom výfukový ventil zůstává otevřený, tato fáze je nazývána překrytím ventilů a končí až po HÚ po uzavření výfukového ventilu. To co nastane po otevření sacího ventilu závisí výrazně na zatížení motoru a na otáčkách, Nás ovšem zajímají především otáčky maximálního výkonu a maximální zatížení, tedy plné otevření škrtkové klapky (pokud ji motor má). K dosažení toho aby po otevření sacího ventilu ještě při výfukovém zdvihu proudila již čerstvá směs do válce a ne naopak spaliny do sacího kanálu je potřeba využití tlakových vln v sacím potrubí. U sériových vozidel při částečném zatížení dochází při překřížení ventilů, ke vniku spalin do sacího kanálu, a tyto jsou potom opětovně nasávy (recirkulace výfukových plynů). Toto řešení přináší určité výhody, především může zůstat škrtková klapka více otevřena než by bylo nutné při nasávání jen čerstvé směsi, což snižuje ztráty způsobené škrcením. [5] K zavření výfukového ventilu dochází až při sacím zdvihu. Zde by opět docházelo k recirkulaci výfukových plynů, jenomže pokud se nám podaří využít tlakových rázů ve výfukovém potrubí a setrvačnosti plynů, je možné takzvaným vypláchnutím kompresního prostoru dosáhnout lepšího naplnění válce a získat dokonce jakýsi dodatečný objem. [1] Sací ventil je pak také zavírán až po DÚ při kompresním zdvihu. Zde je nejvíce využíváno setrvačnosti směsi, k dodatečnému naplnění, komprese pak ale začíná skutečně až v okamžiku uzavření sacího ventilu, což je například u již uváděného příkladu motoru Porsche 917 až 105° po DÚ [1], na kompresi je tedy k dispozici jen 75°.

Jak už jsem naznačil, tohle všechno platí jen při určitých otáčkách a sice při otáčkách maximálního kroučícího momentu. Právě proto dnes existuje spousta automobilek umožňující proměnné časování, popřípadě i proměnný zdvih ventilů. Existuje řada konstrukcí jak proměnného časování dosáhnout. Různé konstrukce umožňují různou variabilitu v časování. Některé jdou tak daleko, že již není třeba škrtkové klapky, vrcholem je pak absence vačkové hřídele. Často se také mění počet činných ventilů.

U současně vyráběných automobilů je kladen velký důraz na spotřebu a tudíž i na ekologii. Využívá se již zmíněná recirkulace výfukových plynů i vrstvení směsi, tak aby mohla být spalována chudá směs. Rozvod v součinnosti s dalšími systémy pak zajišťuje víření směsi ve válci, její překlápění nebo jsou využívány turbulence. Vstřikovací zařízení pak nevstřikuje jen palivo, ale emulzi paliva se vzduchem. Tyto systémy však plní svoji funkci při částečném zatížení motoru. Při plném zatížení, nedochází k žádné recirkulaci, ani ke spalování chudé směsi. Také proměnné časování ventilů má zabezpečovat aby motor byl schopen jet s nízkou spotřebou v nízkých otáčkách a svižně v otáčkách vysokých. Při sportovních úpravách si můžeme dovolit ohromný luxus, nezajímá nás spotřeba paliva, a často ani emise. Zmíněné systémy včetně proměnného časování ventilů jsou tak při sportovních úpravách spíše na obtíž.

Závěrem této kapitoly je nutné podotknout, že uvedený diagram časování a zejména na něm popsané mechanismy, jsou platné u atmosfericky plněného motoru. Při použití jakéhokoliv typu dmychadla, se bude časování rozvodu v mnohém lišit.

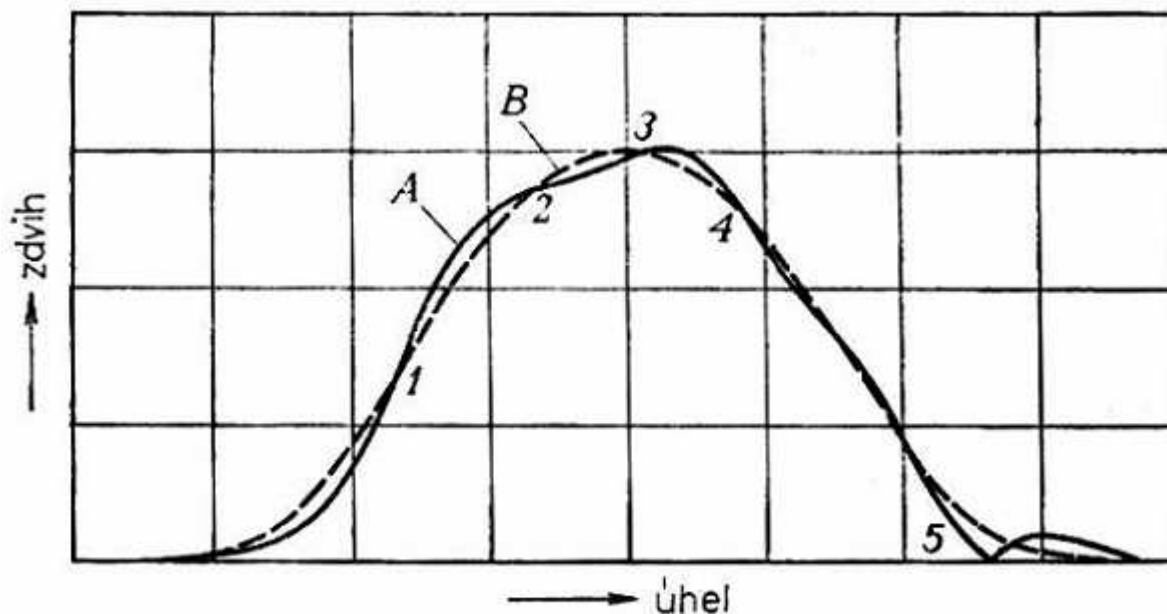
## 4.2 Úpravy dílů ventilového rozvodu

Jedna věc je vědět kdy a jak má být ventil otevřen, či jak by měla směs kolem ventilu proudit, druhá věc je praktická realizace.

Nejdůležitějším a také nejčastěji upravovaným dílem konvenčního ventilového rozvodu je vačková hřídel. U motorů se používá vačka harmonická, která je modifikována tak aby průběh zrychlení byl plynulý, což je žádoucí kvůli pružnosti rozvodu. [1] U vačkové hřídele pro upravený motor, je zpravidla žádoucí větší zdvih i délka otevření, jak je patrné z předešlé kapitoly. Návrh ani výroba vačkové hřídele nepatří k nejjednodušším záležitostem, což samozřejmě záleží na tom v jakých podmínkách je motor upravován. Vačková hřídel musí být tuhá aby nedocházelo k průhybům. Je tedy vyráběna kováním z oceli třídy 14 nebo 15. [3] Z hlediska úprav motorů je velmi důležitý způsob uložení vačkové hřídele. Vačková hřídel je většinou uložena v kluzných ložiskách. Kvůli požadavku na co nejmenší třecí moment je výhodné aby ložiska měla co nejmenší průměr. [1] To vyžaduje aby byla ložiska dělená, což je většinou splněno při použití systému OHC. Problém nastává pokud je použit systém OHV popřípadě CIH. Zde jsou hlavní ložiska vyvrtána přímo v bloku respektive v hlavě. Ložiska tedy musí mít takový průměr aby jimi jednotlivé vačky při montáži prošly. Pokud chceme použít vačku s větším zdvihem, nezbude nám než uložení převrtat. Vačková hřídel se samozřejmě většinou neupravuje, ale vyrábí se nová. Výjimku tvoří amatérské úpravy, kdy lze získat větší zdvih i délku otevření ventilů, přebroušením sériové vačkové hřídele. Tato varianta je hojně využívána při úpravách motorů Škoda, kdy lze přebrousit stávající vačkovou hřídel až na úhel otevření 280° [3] Nutno říct že tato varianta je mnohem levnější než výroba nové vačkové hřídele. Navíc zde není nutné zmíněné převrtání sériového uložení, protože většího zdvihu je dosaženo tzv. „podbroušením“ v místě základní kružnice vačky.

Pokud vyměníme vačkovou hřídel za „ostřejší“, která bude ventil rychleji zavírat i otvírat a samozřejmě pokud také hodláme motor provozovat při vyšších otáčkách, nevyhne se výměně ventilových pružin za tvrdší, které dokážou ventil přimět sledovat tvar vačky i za ztížených podmínek. Ve zvýšených otáčkách se mnohem víc začne projevovat i celková pružnost rozvodového mechanismu. Větší problémy samozřejmě nastanou u rozvodu OHV, který má více pohyblivých dílů. Pokud tedy dojde na úpravy takového motoru, je potřeba si

jeho možnosti uvědomovat. Při provozu motoru ve vysokých otáčkách je nutno s odskakováním ventilu počítat. Zdvih vačky a skutečný zdvih ventilu je vidět na obrázku 4.7.



Obr. 4.7 Průběh zdvihu ventilu u pružného rozvodu (tlustá čára) v porovnání s vypočtenou hodnotou pro tuhý rozvod (čárkovaná čára) [1]

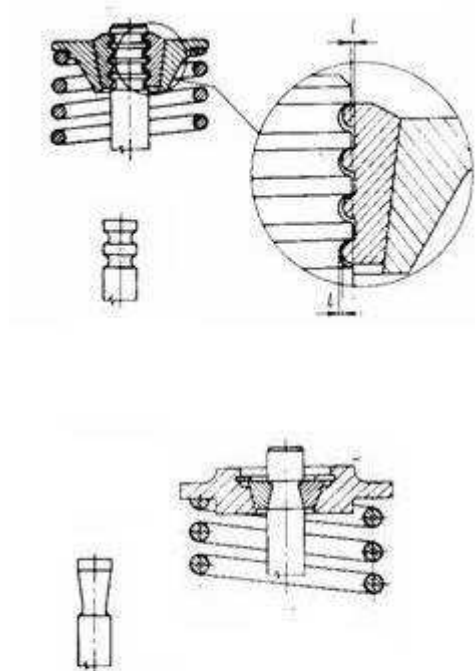
Toto odskakování způsobuje problém s hydraulickým vymezováním ventilové vůle. Při odskakování ventilu, dochází neustále ke vzniku vůle, „hydroštel“ pak tuto vůli vymezí, a může se pak stát že ventil zůstane otevřený, což je samozřejmě krajně nežádoucí. Hydraulické vymazování vůle tedy v ryze sportovním motoru nemá co dělat a musí být odstraněno.

Jedinou součástí rozvodu, která přichází do styku s pracovní látkou motoru jsou ventily. Proto je nutné jim při úpravách věnovat tomu odpovídající péči. Na obrázku 4.8 je vidět upravený výfukový ventil ze škody felicia v kontrastu s již použitým ze škody favorit. Sériové ventily je pro dosažení lepšího proudění plynů většinou potřeba trochu zeštíhlit v oblasti kdy talířek přechází v dřík. Tento úběr materiálu na horní straně talířku je patrný z obrázku. Tato úprava především zajistí že proud plynů je méně brzděn v okamžicích kdy je ventil jen málo otevřen. [3] Dále je potřeba zaoblit hrany vzniklé vytvořením dosedací plochy na talířku ventilu, což již bylo řečeno (společně s důvody proč je tak potřeba učinit) v úvodu kapitoly o úpravách rozvodů. Na ventilu z Felicie je také jiné provedení stopky v místě upevnění talířku pružiny. Toto upevnění je nejčastěji řešeno dvěma měsíčkovými klínky. Na upraveném ventilu je vytvořeno více drážek což snižuje měrný tlak v dosedací ploše a nedochází tolik k vytloukání klínků. [1] Způsob uložení misky ventilových pružin, je velice důležitý z hlediska možnosti otáčení ventilu. Otáčení ventilu je většinou výhodné z hlediska opotřebení i rovnoměrnějšího rozložení tepelného namáhání a bývá ho dosaženo vyosením vahadla (popřípadě vačky). Dřívější provedení uložení misek ovšem toto otáčení neumožňovalo – vybrání ve stopce mělo trojúhelníkový tvar jak je vidět na obrázku 4.9. Dnes se tedy používají půlkruhové drážky ve stopce, které otáčení umožňují za podmínky používání kvalitního oleje, který nevytvoří karbonové úsady a zmíněné drážky nezalepí. [12] Další úprava které si lze na obrázku 4.8 všimnout je důkladné vyleštění upraveného ventilu. Což je kvůli nižším hydraulickým ztrátám proudící směsi, ale především aby nedocházelo k usazování karbonu, jak k tomu došlo u původního ventilu. Při sportovních úpravách se často používá plnění ventilů sodíkem. Což zvyšuje tepelnou vodivost ventilu a nedojde tak k jeho místnímu přehřátí. Důležité přitom je, že kapalný sodík nevyplňuje celou dutinu a může v ní tedy kmitat, což opět přispívá k dobrému přenosu tepla.





Obr. 4.8 Výfukový ventil Škoda Favorit a vedle upravený ze Škody Felicia [14]



Obr. 4.9 Různé způsoby upevnění talířku pružiny k ventilu: Půlkruhové drážky (nahore) a trojúhelníková drážka (dole) [12]

Při výčtu dílů rozvodu nelze opomenout jeho pohon. Způsob pohonu je silně odvislý od toho který typ rozvodu je na motoru použit. Vačkovou hřídel lze pohánět ozubenými koly, řetězem, ozubeným řemenem nebo královskou hřídelí, přičemž poslední varianta se prakticky nepoužívá. Pohon ozubenými koly je u motoru používaného pro sport zřejmě nejvýhodnější. Ozubená kola mají malé ztráty (zejména s přímým ozubením) a jsou spolehlivá. Bohužel jsou hlučná, což je pro použití u sériových automobilů odsouvá na vedlejší kolej. Jejich použití je vhodné zejména u motoru OHV kvůli malé osové vzdálenosti klikové a vačkové hřídele. I zde ovšem jejich použití není pravidlem (viz motory Škoda) V dnešní době, kdy převládá rozvod OHC, se tedy můžeme setkat s řetězem nebo řemenem. Řetěz je hlučnější a dražší, ale je spolehlivější. Z hlediska úprav je potřeba pamatovat na to, že pokud se použijí výrazně tvrdší pružiny a vačky s větším zrychlením, nemuseli by sériové díly vydržet. Například na Felici Kit-Car je z tohoto důvodu použit rozšířený ozubený řemen. Při méně extrémních úpravách však postačí zkrátit intervaly výměny. Rozvodové kolo na vačkové hřídeli by mělo umožňovat doladění časování. Na závodních automobilech jsou použity speciální dvoudílná kola. Na Felici Kit-Car je použito ozubené kolo umožňující pootočení až 8°. [3]

V amatérských podmínkách lze pro malou změnu časování vyrobit tzv. střižený klínek, který umožní pootočení sériového rozvodového kola na vačce se sériovou drážkou. [4]

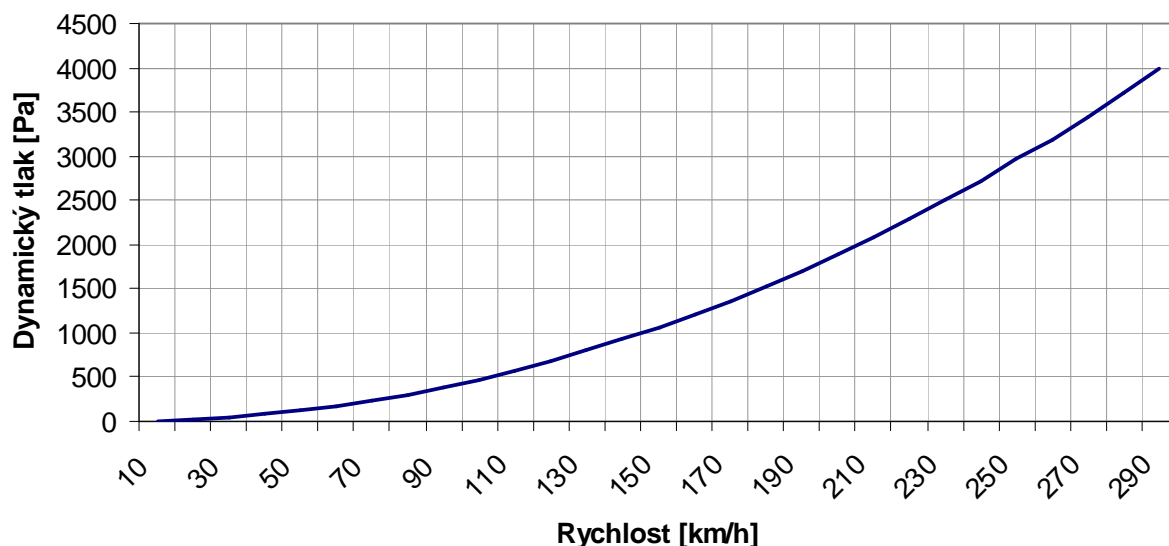
## 5 Přepřňování

Přepřňování je nejúčinnější způsob jakým lze zvýšit výkon motoru. Lze ho definovat jako zvýšení množství dopravené směsi do válce pomocí zvýšení tlaku v sacím traktu motoru. Záměrně říkám zvýšením tlaku, větší množství směsi lze do válce dopravit také jejím chlazením což bývá v některé literatuře také zahrnuto do přepřňování. Já o chlazení nasávané směsi pojednám v další kapitole.

O konkrétních způsobech přepřňování bude pojednáno v následujících podkapitolách.

### 5.1 Dynamické přepřňování

Tento způsob přepřňování spočívá v přeměně kinetické energie proudícího plynu v kompresní práci. [5] Přičemž může být využíváno kinetické energie vzduchu vyvolané rychlostí vozidla a častěji pak využití setrvačnosti sloupce směsi v sacím traktu, kdy je kinetická energie dodávána pohybem pístu.



Obr 5.1 Dynamický tlak vzduchu

Je zřejmé že dynamický tlak vznikající pohybem vozidla závisí na okamžité rychlosti vozu. Jak velký je tento tlak ukazuje graf obrázku 5.1 Z hodnot uvedených v této tabulce jasně plyne že ne v každé motoristické disciplíně se skutečně vyplatí cílené přizpůsobení sacího traktu této funkci. Navrhnout sání tak aby se v něm kinetická energie získaná náporom vzduchu neztratila není nic jednoduchého, vyžaduje to především jisté prostorové nároky. Sací trakt uzpůsobený požadavkům dynamického přepřňování má například monopost formule 1, kde je pro účely dynamického přepřňování umístěn sací komín přímo nad hlavou jezdce. Málokteré vozidlo je však tak účelně tvarováno jako právě různé formule. U těchto vozů se však již tento přínos vyplatí protože se pohybují značnými rychlostmi. Tento způsob přepřňování tedy najde využití spíše v okruhových závodech. U disciplín, kde je dosahováno nižších rychlostí bude nárůst výkonu malý až zanedbatelný.

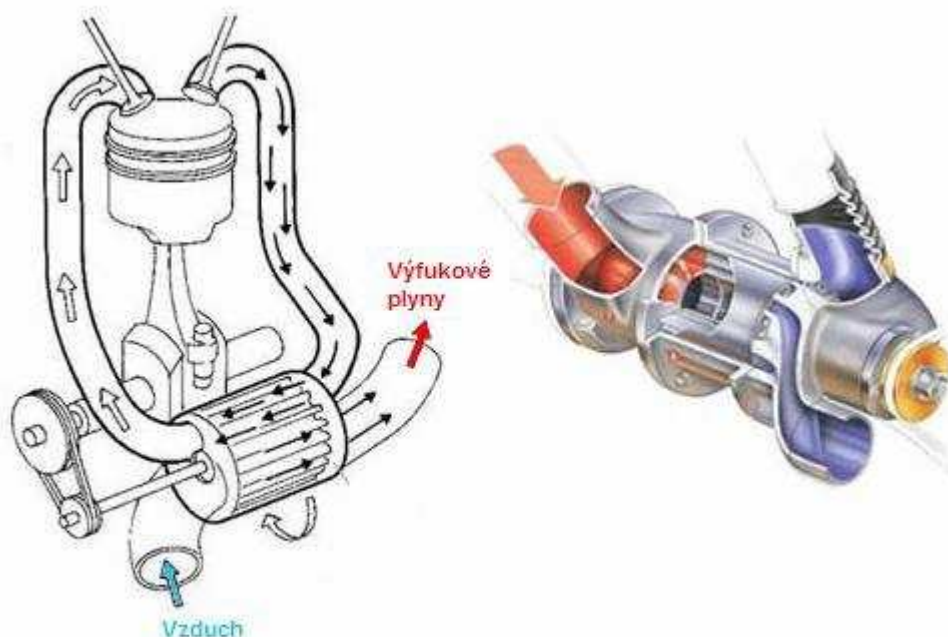
Druhý způsob dynamického přepřňování závisí na sladění rozvodu s délkou a průměrem sacího potrubí. Využívá se setrvačnosti plynů a šíření tlakového rázu. O tom jak celá věc funguje již bylo částečně pojednáno v kapitole o časování rozvodu. Nebylo ovšem zmíněno jaké požadavky musí sací potrubí splňovat z hlediska vhodnosti k šíření tlakových rázů. U

sériových vozů, dochází po určité délce ke spojení větví potrubí v jednu. Při úpravách se tomuto spojení můžeme vyhnout a potrubí pak lépe naladit. Obecně se dá říct, že dlouhé a tenké trubky sacího potrubí jsou výhodné v oblasti nízkých otáček, krátké a široké trubky jsou lepší pro oblast otáček vysokých. [5] U sériových vozů se z tohoto důvodů používá proměnná délka sacího potrubí. U upravené jednotky nás nízké otáčky příliš nezajímají, takže systém proměnné délky sacího potrubí nebudeme potřebovat. Proměnná délka potrubí by našla své uplatnění snad jen v rally, kde je přeci jen vyžadována větší pružnost motoru. Dynamické přeplňování bývá často v různých odborných článcích o přeplňování opomíjeno. Snad proto, že zde není žádný další mechanický prvek, který by nárůst tlaku způsoboval. Z podstaty věci se však jistě o přeplňování jedná.

## 5.2 Přeplňování pomocí tlakových vln zařízením Complex

Předně je potřeba říci, že tento systém nemá naprosto žádné využití z hlediska úprav motorů pro zvýšení výkonu. Ovšem ve výčtu způsobů přeplňování nesmí alespoň zmínka chybět. Mnoho lidí si neuvědomuje že Complex vlastně není dmyhadlo. Pohon přes klínový řemen od klikové skříně slouží pouze k jakémusi rozdělení tlakových vln. Celý systém je vidět na obrázku 5.2. Výfukové plyny vniknou do rotoru, kde jsou přímo v kontaktu s čerstvou směsí. Předají jí část své kinetické energie a po pootočení rotoru jsou vypuštěny do výfukového potrubí.

Výhodou tohoto zařízení by měla být plynulá momentová charakteristika. [5] Jediná mě známá aplikace je na motoru Mazda 626 diesel, který výkonem příliš neoplývá.



Obr. 5.2 Zařízení Complex [18]

## 5.3 Mechanické přeplňování

Pojem mechanické přeplňování je používán pro systémy, u kterých je výkon pro pohon dmyhadla odebírán z klikové hřídele motoru. Z toho plyne fakt, který tento systém přeplňování nejvíce odlišuje od turbodmyhadel z hlediska jízdního projevu. Množství dodávaného vzduchu je závislé na otáčkách motoru, nikoliv na jeho zatížení tak jako u přeplňování turbodmyhadlem. Tato vlastnost mechanicky přeplňovaných motorů má svá pro

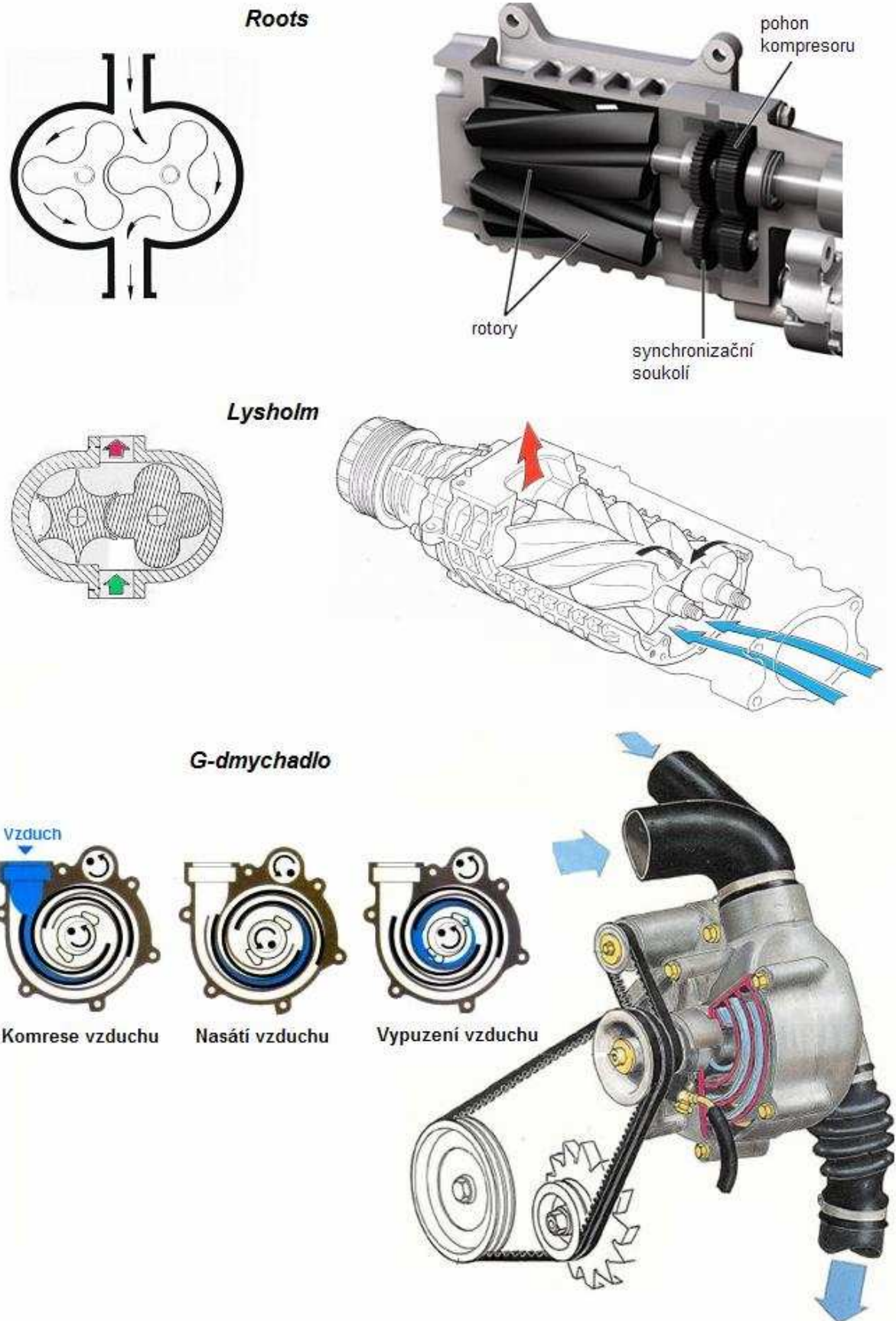
a proti. Hlavní výhodu oproti turbodmychadlům je absence takzvaného „turboefektu“. Další podstatnou věcí, která má vliv na jízdní projev je to, že se u automobilů používají téměř výhradně objemové typy kompresorů (obr. 5.3), u kterých roste množství dodávaného vzduchu lineárně s otáčkami. Přičemž tlak na otáčkách závislý není. To znamená že je k dispozici jistý plnicí tlak již při nejnižších otáčkách. Naopak s vyššími otáčkami se zhoršuje mechanická účinnost a tedy potřebný příkon zařízení. Ještě více se tento problém zvýraznil při zvyšování plnicích tlaků. Například na motoru z vozu Mercedes-Benz C32 AMG má kompresor při 6200 ot./min příkon 44 kW a použitelný výkon 260 kW. [19] U závodních předválečných Mercedesů byl výkon, který dal proces ve spalovacím prostoru 440 kW, z toho ovšem putovalo na pohon kompresoru 110 kW. Což je 25 %. Reálný výkon byl tedy „jen“ 330 kW. [2] Onen ztrátový výkon je největší nevýhodu mechanických dmychadel proti výfukovým. Celý problém nejlépe vystihuje ing. Mackerle ve své knize [5]: Všechna mechanicky poháněná dmychadla mají tu nevýhodu, že komprese je rozdělena do dvou stupňů - v dmychadle a v motoru -, ale expanze je pouze v motoru.

Pokud se podíváme na nasazování tohoto typu přepřňování v motoristickém sportu a celkově v automobilech. Zjistíme že kořeny mechanického přepřňování sahají dál než kořeny turbodmychadla. Gottlieb Daimler si nechal mechanické dmychadlo patentovat již v roce 1885. První známé nasazení přepřňování do závodu je z roku 1907. Jednalo se o dmychadlo odstředivé (nikoliv objemové), stejně jako u leteckých motorů té doby. Letecký motor má ovšem konstantní otáčky, kdežto vozidlový motor nikoliv. Takové dmychadlo se tedy uplatnilo pouze na tratích kde nebylo potřeba často akcelarovat. Po první světové válce vypukla naplno éra kompresorových motorů. Ve většině případů se už jednalo o kompresory objemové – typu Roots. Zajímavé je umístění kompresoru, všichni výrobci jej umísťovali až za karburátor. Kompresor tedy stlačoval směs vzduchu a paliva, což bylo výhodné pro dobré promísení a odpaření paliva. Pouze Mercedes dlouho setrval u nevýhodného umístění kompresoru před karburátorem a nevyhnul se tak konstrukci složitěho přetlakového karburátoru. [2] Nadvláda motorů s kompresory trvala až do roku 1951, kdy se podařilo ve velké ceně zvítězit atmosférickému motoru. [1]

Co se týče uplatnění v automobilových soutěžích, tak nejznámějším případem využití kompresoru je u vozů Lancia v 80-tých letech. Nejprve bylo použito mechanického přepřňování u vozu Rally 037. [20] Na vývoj turbodmychadlem přepřňovaného motoru nebylo tehdy dostatek času a tak se první Lancia skupiny B musela spokojit s kompresorem, který lze instalovat i na atmosférický motor mnohem snáz. Šestnáctiventilový dvoulitř Fiat pak dosahoval výkonu 325 koní. Bylo jasné že toto řešení bylo pouze provizorní a do budoucna již nemohlo v konkurenci turbomotorů obstát. Dalším vozem homologovaným ve skupině B byla Delta S4 v roce 1985. U tohoto vozu již nebyl prostor na žádné kompromisy. Z hlediska přepřňování motoru si však technici Lancie ( a Abarthu) připravili opravdovou specialitu. Použili kompresor i turbodmychadlo, přičemž kompresor pracoval v nízkých otáčkách a turbodmychadlo ve vysokých, čímž byl chytře vyřešen problém s prodlevou turba. Toto řešení je vhodné vyzdvihnout především proto, že se jedná o typickou ukázkou vývoje nového konstrukčního řešení pro motosport a jeho pozdější a aplikace v sériové výrobě i když v tomto případě jiným výrobcem (VW 1,4 TSi v roce 2005). Samotné přepřňování kompresorem používá v současné době u sériových vozů Mercedes, Jaguar a nově i Audi. O velkém rozšíření této technologie mezi sériové vozy však mluvit nelze, což je jeden z důvodů proč se tento typ přepřňování v současné době již neobjevuje ani v profesionálním motoristickém sportu. Jiná situace nastává v oblasti tuningu. Jak plyne z předchozího, zvyšování výkonu instalací mechanického dmychadla je cesta kterou lze poměrně jednoduše získat značné navýšení výkonu motoru. Používají se totiž většinou poměrně nízké plnicí tlaky, takže často nejsou vyžadovány ani žádné jiné mechanické úpravy jednotky. Vozy



s kompresory jsou často produktem mnoha renomovaných úpravců vozidel. K dostání jsou také kity mechanického přeplňování, které lze instalovat i v lépe vybavené garáži.



Obr. 5.3 Objemová dmychadla

## 5.4 Přepřňování turbodmychadlem

„Turbo“ je asi nejvýznamnějším symbolem motoristického sportu a nezměrného výkonu vůbec. Díky tomu můžeme tlačítko s nápisem „turbo“ najít na počítačích, mixérech a i jiných domácích spotřebičích. Toto slovo je zkrátka synonymem pro vysoký výkon. V dalším textu ukážu, že naprosto oprávněně.

Zdvih pístového spalovacího motoru nemůže bohužel být nekonečný, tak aby se zužitkoval veškerý tlak ve válci pro konání práce. U konvenčního motoru má zdvih délku 2x rameno klikového hřídele. Pro konání práce tedy využijeme pouze tuto vzdálenost. Poté musí zplodiny opustit válec. V tomto okamžiku, ale mají ještě poměrně vysoký přetlak i teplotu. Jako ideální zařízení pro zužitkování této energie se jeví turbína. Tento výkon zpracovaný turbínou lze využít pro pohon kompresoru. U tohoto typu přepřňování se však nepoužívá na rozdíl od mechanického přepřňování objemového typu dmychadla, ale naopak dmychadla odstředivého. U odstředivého dmychadla je tlak závislý na otáčkách, jak plyne z Eulerovy turbínové rovnice [23] a u výfukové turbíny jsou otáčky závislé na zatížení motoru. Tedy čím větší zatížení, tím větší tlak. Toto je velmi výhodná kombinace, má však několik slabín.

Jak již bylo řečeno tlak zde neroste lineárně, ale se čtvercem otáček turbíny. Takovou nerovnoměrnost ovšem nemůžeme při plnění motoru potřebovat. U motorů určených pro běžný silniční provoz je potřeba nejvyšší kroutící moment v nízkých otáčkách motoru. Takže se zkrátka turbodmychadlo nadimenzuje tak, aby dávalo optimální plnicí tlak například při plném zatížení a otáčkách motoru  $2500 \text{ min}^{-1}$ . Při vyšších otáčkách je pak plnicí tlak omezován různými způsoby: pop off ventil, wastegate, změna geometrie turbíny (natáčení lopatek nebo změna šířky statoru turbíny [24]). Nás ovšem zajímají především závodní motory a u těch je naopak velmi vhodné mít kroutící moment posazený do vysokých otáček. Například slavný Peugeot 205 t16, měl maximální kroutící moment při 5500 ot/min. [25] Jeho turbína musela být dimenzována tak, aby právě při těchto otáčkách nejlépe zpracovávala celý tok výfukových plynů. Takové turbodmychadlo bylo tedy podstatně větší.

Tím se dostáváme ke druhé slabíně turbodmychadel, takzvanému turboefektu, jehož podstata spočívá v tom, že v okamžiku kdy otevřeme škrťící klapku ještě nemáme odpovídající plnicí tlak v sacím potrubí, protože při nízkém zatížení motor produkuje málo zplodin a turbodmychadlo tedy nemá dostatečné otáčky. Tato prodleva je závislá především na velikosti a tedy setrvačnosti turbodmychadla, účinnosti turbodmychadla a protitlaku v sacím potrubí. [26] Vliv setrvačnosti je jasný, velké turbo u vysokovýkonných vozů, bude pomaleji reagovat. Vliv účinnosti turba souvisí právě z jeho dimenzováním na určitý hmotnostní průtok. Pokud budeme turbo nadimenzované na vysoké průtoky roztáčet s minimálního zatížení v nejnižších otáčkách, jeho efektivita bude malá a turboprodleva velká. Vlivem protitlaku na turboefekt se rozumí problém který vzniká při ubrání plynu. V tomto okamžiku je totiž najednou v sacím traktu tlaku příliš. Roztočené turbo totiž stále žene vzduch proti škrťící klapce. Tím dochází k jeho rychlému zpomalení za současného enormního zatěžování celého systému, především ložisek turbodmychadla. Navíc při opětovném sešlápnutí plynu dochází ke zmiňované prodlevě, protože turbodmychadlo mezitím snížilo otáčky na minimum.

Každý si dokáže představit jak velký problém turboefekt v motoristickém sportu, kde jde o vteřiny, znamená. Zejména v rally, kde je na členité trati vyžadována okamžitá reakce na plyn, je odstranění turbo-lagu naprosto klíčové pro dobrý výsledek na trati.

První předpoklad pro odstranění prodlevy je eliminace zmíněného protitlaku. Za dmychadlo je instalován takzvaný pop-off ventil, který jednoduše odpustí tlak pokud je dosaženo určité přednastavené hranice za kterou tlak nesmí narůst. Pro eliminaci nadměrného zatěžování turbodmychadla jistě dostačující, problém s rychlým zpomalením turbíny ovšem zůstává nevyřešen. Tento problém řeší až zařízení zvané blow-off ventil, který odpouští tlak okamžitě po sundání nohy z plynu pomocí impulsu z podtlakové hadičky. Pro úplnost je ještě

potřeba dodat že tento tlak bývá odpouštěn buďto do atmosféry, což bývá doprovázeno patřičným zvukovým efektem, nebo zpět do sání. [27]

Eliminace protitlaku je však jen dílčím úspěchem. Pro další omezení turboprodlevy nezbyvá než zajistit dostatek zplodin pro pohon turbíny i v době kdy motor pracuje s minimálním zatížením a tedy neprodukuje dostatek výfukových plynů pro udržení turbodmychadla v pohotovosti. Asi nejznámějším počinem mezi systémy na eliminaci turboefektu je zpoždění zapalování. Princip je následující: Když řidič sundá nohu z plynového pedálu (klapka se uzavře), dojde ke zpoždění zapalování (většinou asi o 40°) za současného zvýšení bohatosti směsi. Dále je zajištěn přísun vzduchu a to buď tak že klapka zůstane mírně pootevřena, nebo je za škrťací klapku vzduch vstřikován tryskou. Provedení těchto úkonů způsobí, že směs přečká horní úvrať nezažehnutá, přičemž k plnému vývinu plamene dochází až po otevření výfukového ventilu. K expanzní práci zde tedy nedochází většinou ve válci, ale naopak až v turbíně, která je tímto udržena ve vysokých otáčkách i v okamžicích kdy je výkon motoru snížen. Na první pohled je patrné, že celý systém sebou přináší řadu problémů. Největším je jistě ohromné tepelné zatížení kterému je celý výfukový systém vystavován. Uvádí se, že teplota stoupne až o 300 °C oproti normálu. [26] Spalování samozřejmě neprobíhá kontinuálně takže potrubí je vystaveno i tlakovým vlnám. Nevýhodou je také značný nárůst spotřeby paliva, protože turbína je „krmena“ palivem i v době kdy motor skutečně žádný tlak v sání nepotřebuje. Mezi nevýhody bývá uváděno i to, že plamen často pronikne celým výfukovým potrubím a nezastaví se ani jeho vyústěním. [26] Tento neduh bych vzhledem k tomu že se jedná o motorsport považoval spíše za ctnost těchto motorů, protože podobné efekty (u sériových vozů nevídané) jsou diváky u závodní trati vždy s povděkem kvitovány. Podobným problémem je enormní hlučnost tohoto systému, což vedlo k omezení jeho používání ze strany FIA.

Dnes už se tento systém příliš nepoužívá, mnohem častěji je vidět systém kdy je stlačený vzduch veden obtokem přímo do výfukového potrubí, tam probíhá kontinuálně jeho spalování. Obtokový ventil je samozřejmě řízen řídicí jednotkou motoru. Ta dostává signál i od čidla otáček turbodmychadla. Kontinuální spalování a přesné řízení dovoluje aby tento systém byl méně agresivní než předchozí (je možné i využití na sériových vozech), navíc je možné zvyšovat plnicí tlak turbodmychadla nejen pro překonání prodlevy, ale také pro zvýšení kroutícího momentu v nízkých otáčkách motoru.

Z uvedeného je patrné že oba systémy vyžadují vysoký rozsah uplatnění elektronického řízení motoru. V dnešní době, se jedná o věc samozřejmou. V dobách kdy turbomotory dobývali svět motorsportu sice už bylo zaváděno elektronické vstřikování paliva a další moderní prvky. Ovšem uplatnění elektroniky nebylo zdaleka na takové úrovni aby dovolilo použití výše uvedených systémů. Jezdec se zkrátka musel se značnou prodlevou plynového pedálu smířit a musel s ní počítat. V rally se pro eliminaci prodlevy používala jízdní technika zvaná „brždění levou nohou“. Kdy při jízdě v zatáčce levá noha brzdí, přičemž pravá mezitím zůstává na plynu a udržuje tak motor v zatížení (a turbodmychadlo v otáčkách). Tato jízdní technika samozřejmě způsobuje enormní zatížení brzd. Jejím používáním pro účel eliminace turbo-lagu proslul zejména německý jezdec Walter Röhrl.

Na doplnění bych dodal že turbo-lag lze samozřejmě velmi účinně eliminovat použitím mechanického přeplňování v kombinaci v turbodmychadlem, stejně tak použitím dvou turbodmychadel (různých velikostí). Oba systémy jsou však pro použití v motoristickém sportu příliš komplikované a trvalé uplatněné nenašli. Posledním faktorem, který u závodních motorů pomáhá ke zmenšení prodlevy je používání valivých ložisek u turbodmychadla. Výhody použití valivých ložisek jsou dostatečně známi. Díky jejich ceně, která je u ložisek pro tento účel enormně vysoká, se s nimi setkáme pouze u nejdražších závodních vozů.

Použití kombinace výfukové turbíny a odstředivého dmychadla, sebou tedy přináší určité problémy, které musí být vyřešeny, celkově se ale jedná o nejmocnější nástroj při cestě



za vysokými výkony. Podívejme se na to kdy a s jakými výsledky bylo turbodmychadlo nasazováno v motoristickém sporu. Do seriálu formule 1 byl poprvé motor s turbodmychadlem použit poprvé automobilkou Renault v roce 1977. Tehdejší pravidla byla nastavena tak, že atmosférický motor měl maximální zdvihový objem 3 l, použití přepřňování pak bylo podmíněno použitím objemu polovičního. Nasazení přepřňovaného motoru o objemu 1500 cm<sup>3</sup> byl tedy jistě velmi odvážný tah, později se ukázalo že správným směrem. Renault zvítězil poprvé ve velké ceně Francie v roce 1979. Brzy začali tento trend následovat i ostatní automobilky. Výkon motorů se dařilo neustále zvyšovat i přes četná omezení, kterými se snažila FIA výkon regulovat. Nic nepomohlo. Turbomotory o objemu 1500 cm<sup>3</sup> byly schopny ke konci svého působení v F1 dosáhnout výkonu až 1300 koní a teoreticky snášeli přepřňování okolo 5 barů. [29] Celá anabáze turbomotorů v F1 skončila v roce 1988 naprostým zákazem přepřňování.

V rallye čekal turbomotory milosrdnější osud. Stejně jako v F1 nastal jejich boom v průběhu 80. let. Byli nasazováni ve vozidlech skupiny B. Stejně jako v F1 došlo k rychlému zvyšování výkonu těchto vozů (přes 600 koní), Technologie používané ve skupině B si v ničem nezadali s technologiemi používanými v F1. Jednalo se v podstatě o formuli jedna na lesních cestách a běžných komunikacích. Tento vražedný mix dostal od mezinárodní automobilové federace stopku již v roce 1986 po sérii smrtelných havárií. Nasazení turbomotorů do rallye bylo však díky možnosti zvýšení kroutícího momentu v nízkých otáčkách natolik žádoucí, že turbomotor v rallye přežil. Turbomotory jsou však od té doby vybaveny restriktorem, který velmi účinně omezuje maximální dosahovaný výkon motoru.

O tom jak cenný byl vývoj turbomotoru v motoristickém sporu se přesvědčujeme ještě teď, nebo spíše právě teď kdy začíná jejich masová sériová produkce.

#### 5.4.1 Instalace turbodmychadla na atmosférický motor

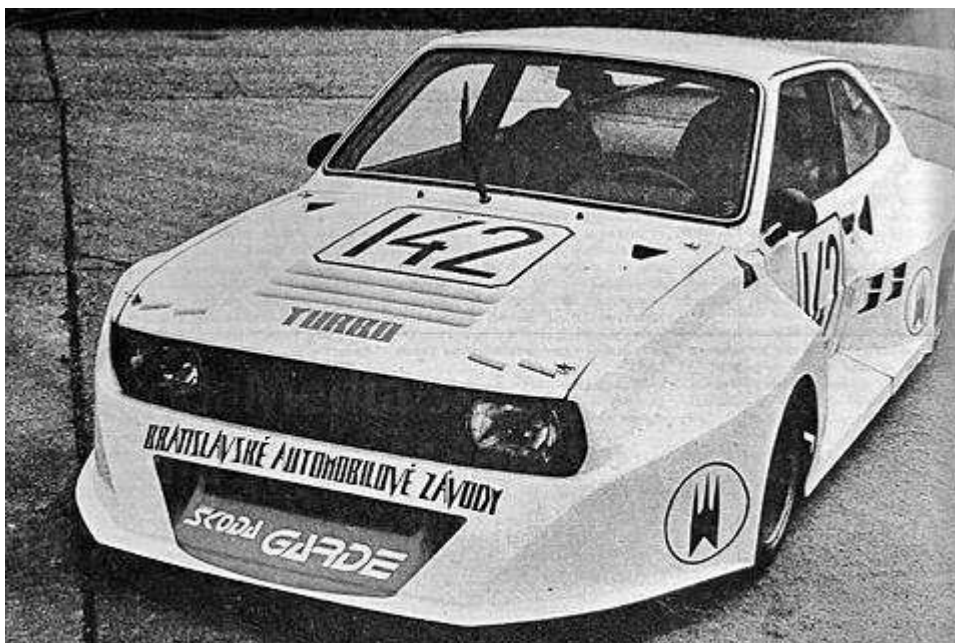
Dosud jsem popisoval problematiku přepřňování turbodmychadlem velmi obecně. Bezpochyby se jedná o velmi složitou záležitost, jejíž zvládnutí vyžaduje hluboké znalosti. Přesto bych se chtěl zmínit i o praktické realizaci úprav motorů při použití turbodmychadla.



Obr. 5.4 Vše potřebné pro přestavbu na "turbo" [33]

Zajímavá je především instalace turbodmychadla na původně atmosférický motor. Profesionálními i amatérskými úpravci bylo provedeno spousta přestaveb atmosférického motoru na „turbo“. Problémy a výsledky těchto úprav přinášejí velmi zajímavé poznatky.

Nejjednodušší varianta s jakou se můžeme setkat je pořízení kompletního kitu obsahujícího turbodmychadlo a vše potřebné k přestavbě na konkrétní motor (obr. 5.4). Zde se pochopitelně jedná pouze o „skládačku“ a úspěch závisí pouze na manuální zručnosti úpravce.



Obr. 5.5 Škoda Garde turbo Salamander [34]

Druhá a o poznání zajímavější varianta je tvorba celého systému vlastními silami, kdy je nutné použít spousta vlastních nápadů a znalostí. Ke slovu se zde dostává především metoda „pokus-omyl“. Přesto bývá dosaženo výborných výsledků, kdy se získaný výkonový přírůstek pohybuje v desítkách procent.

Na začátku každé takové úpravy je nejprve potřeba zhodnotit vhodnost motoru k instalaci turbodmychadla. Již dříve bylo řečeno, že použitím přeplňování se podstatně zvyšuje náchylnost k detonacím. Přeplňováním vlastně zvyšujeme celkový kompresní poměr, je tedy nutné aby základní kompresní poměr motoru byl co možná nejmenší. Samozřejmě v závislosti na použitém přetlaku turbodmychadla. Nic nemusí být ztraceno ani pokud je kompresní poměr zamýšleného motoru více než 1:10. Lze ho snížit několika různými způsoby, nejčastěji úběrem materiálu z dna pístů (samozřejmě při zachování rozumné tloušťky dna).

Dalším krokem je výběr vhodného turbodmychadla. Zde se jedná v první řadě o cenu. Dále pak o vhodnost turbodmychadla pro daný motor, tak aby množství plynů vyprodukovaných (a spotřebovaných) motorem bylo optimální pro turbodmychadlo dané velikosti. To v optimálním případě. Domnívám se však že při praktických úpravách se žádná analýza neprovádí, a o tom že by se s tím někdo počítal, pak nemůže být vůbec řeč. Vodítkem při výběru může být pouze to, že určitý typ turbodmychadla byl použit v sériové výrobě například na motor o objemu 1300 cm<sup>3</sup>, takže by mělo uspokojivě fungovat i na jiném motoru totožného objemu. Tuto úvahu lze při výběru samozřejmě doplnit o fakt, že větší turbodmychadlo bude optimálně pracovat ve vyšších otáčkách a naopak. Velikost turbodmychadla je samozřejmě nutno brát v potaz také kvůli nutnosti jeho zástavby do omezeného motorového prostoru. Dalšími faktory při výběru jsou například zda má v sobě

turbodmychadlo zabudované vodní chlazení, wastegate nebo dokonce naklápěcí lopatky statoru. Tento výběr pochopitelně závisí na zamýšleném způsobu provedení systému. K systému naklápěcích lopatek jenom doplním, že pro účely přestavby benzínového motoru na „turbo“ je tento systém regulace tlaku naprosto nevhodný. Posledním kritériem je provedení přírub na turbodmychadle.

Než přistoupím k popisu vlastní montáže dovolím si malou odbočku: Dnes už se automaticky předpokládá, že motor je vybaven elektronickým vstřikováním paliva, nejčastěji do jednotlivých větví sacího potrubí. Velice zajímavá je však problematika instalace turbodmychadla při použití karburátoru. Nejčastěji je takový systém v provedení turbodmychadlo-karburátor-motor. Nutností je zde ovšem použití přetlakového karburátoru. Tato varianta byla použita například na Renaultu 5 turbo. Uspořádání karburátor-turbodmychadlo-motor je méně časté. Nevýhody jsou zřejmé. Cesta palivové směsi je delší, dochází tedy ke vzniku nerovnoměrnosti ve směsi vlivem kondenzace na stěnách potrubí, z toho plynoucí nemožnost použití mezichladiče, který by tyto nečnosti prohloubil na neúnosnou mez. Problém je také použití blow-off ventilu, který nemůže být vůbec použit zejména ve své otevřené verzi, protože by docházelo ke ztrátám paliva. Toto uspořádání bylo použito na voze Škoda 130 Salamander (viz. obr 5.5), vyvinutém v roce 1981 automobilkou BAZ. Byl použit motor Škoda 130 RS doplněný o turbodmychadlo KKK K-26 jak je vidět na obrázku 5.6. motor dosahoval výkonu 128 kW při 7000 ot./min, přestože bylo použito poměrně malého přetlaku.



*Obr. 5.6 Systém v uspořádání KARBURÁTOR-TURBODMYCHADLO-MOTOR [34]*

Při popisu montáže budu tedy předpokládat, že upravovaný motor je vybaven vstřikováním paliva. Turbodmychadlo je samozřejmě v prvé řadě nutné připojit k sacímu a výfukovému potrubí a s tím přirozeně vybrat vhodné místo pro jeho umístění, přitom je nutno mít neustále na paměti, že turbodmychadlo pracuje často při teplotě červeného žáru (nad 800°C). Teorie říká, že cesta výfukových plynů od motoru k turbíně by měla být co nejkratší (což v praxi nebývá pravidlem), zároveň je pro optimální využití zbytkové energie spalin vhodné spojovat jednotlivé větve potrubí tak aby byla turbína co nejrovnoměrněji



zásobena plyny, čímž může vzniknout poměrně komplikované výfukové potrubí, což ukazuje obrázek 5.7.



*Obr. 5.7 Ford Focus RS WRC má značně složitě výfukové potrubí [35]*

Každé turbodmychadlo je potřeba mazat a chladit. Pokud použijeme rozumnou velikost plnicího tlaku a především dokážeme udržet bohatou směs, máme dobré vyhlídky na to abychom uchládili turbodmychadlo pouze olejem. Přívod oleje je pro turbodmychadlo životně důležitý. Přívadecí potrubí se nejčastěji řeší připojením potrubí do místa čidla tlaku oleje. Otvor pro odpad oleje bývá nutné vyvrtat do bloku. Pravděpodobně ovšem nebude možné se vyhnout instalaci chladiče oleje.

Nejdůležitější a nejkomplicovanější věcí na celé úpravě je upgrade motormanagementu. EMS přeplňovaného motoru vyžaduje rozdílné nastavení a často musí také zvládat přídatné funkce. Samozřejmě záleží na tom, jak velkého navýšení tlaku bude použito.

Začněme od změn v použití snímačů a akčních členů. Při přeplňování je samozřejmě výrazně modifikován sací trakt, v něm se u moderních atmosférického motoru nachází především snímač množství nasávaného vzduchu (MAF). Nabízí se tedy otázka, kde by měl být tento snímač správně umístěn, zda před či až za dmychadlem. Hodně úpravců preferuje první způsob, protože tím lidově řečeno není co pokazit. Poměry, které v „předdmychadlové“ části sacího potrubí panují, se totiž neliší od motoru atmosférického. Není se tedy důvod obávat nesprávné funkce snímače. Celá věc má ovšem jednu podstatnou nevýhodu a tou je problematické použití blow-off nebo pop-off ventilu (viz. předchozí kapitola). Snímač množství nasávaného vzduchu totiž dodá do řídicí jednotky hodnotu, podle které řídící

jednotka upraví množství vstřikovaného paliva. Při „odfouknutí“ části tohoto množství pomocí výše zmíněných ventilů z přetlakového potrubí již samozřejmě nebude množství paliva odpovídat množství vzduchu, který se skutečně dostane do válců. Vznikne příliš bohatá směs, která se v motoru nestihne všechna spálit a shořívá až ve výfukovém potrubí. Což samozřejmě nemusí nutně představovat problém. Blow-off ventil se totiž otevírá při ubrání plynu, tvorba této nestechiometrické směsi bude tedy probíhat pouze v době, kdy motor nezatěžujeme. Umístění snímače až za turbodmychadlo a příslušný odpouštěcí ventil ovšem dokáže zmíněné problémy zcela eliminovat. Toto řešení však vyvolává pochybnosti zda snímač používaný v atmosférickém motoru dokáže správně měřit průtok vzduchu i za výrazně vyšších teplot a tlaků, které za dmychadlem panují. Používají se dva typy snímačů – se žhaveným drátkem a vyhříváním filmem. [7] Přičemž fyzikální princip obou je totožný. Z principu funkce těchto snímačů plyne, že by neměl být problém správně určovat průtok i za zvýšených teplot a tlaků, o čemž vypovídá i spousta úprav motorů takto realizovaných. Je samozřejmě nutno poznamenat, že se u motorů můžeme setkat i s jinými metodami, jak změřit hmotnost nasávaného vzduchu, jedná se o různé nepřímé metody nebo o měřiče objemu nasávaného vzduchu, kde je však nutně umístěno i čidlo teploty. Popisování uspořádání sání i při použití těchto odlišných metod měření hmotnosti, je nad rámec popisu této úpravy.

Co se týče změn u akčních členů při přestavbě na přepřehovaný motor, tak k nejmarkantnějším změnám musí dojít v systému vstřikování paliva. Pokud dochází k dodatečné instalaci přepřehování na atmosférický motor, nebude tak pravděpodobně činěno z důvodu dosažení lepší účinnosti a celkově větší hospodárnosti provozu. Naopak, požadovaným parametrem je co možná největší výkon a s tím jde bohužel ruku v ruce vyšší spotřeba. Větší množství plnicího vzduchu si bude žádat adekvátní množství paliva. Toto zvýšené množství paliva však nejsou ve většině případů sériové vstřikovače schopny zabezpečit. Nezbytvá než instalovat trysky s větším průtokem, což ale může způsobit určité problémy při nízkých otáčkách a nízkých zatíženích. Lepší variantou je instalace dalších vstřikovačů, které budou v činnosti pouze při vyšších dodávkách vzduchu.

Další akční člen přibude pokud se rozhodneme regulovat plnicí tlak turbodmychadla, nejen pomocí pneumaticko-mechanické regulace wastegate, ale zařadíme solenoidový ventil, který umožní elektronickou regulaci.

Dalším krokem je zajistit kompatibilitu ECU s přepřehovaným motorem. Naprosto ideálním řešením je zakoupení nové „závodní“ řídicí jednotky, která je plně programovatelná a lze tak využít beze zbytku potenciál nainstalovaného přepřehování. Její cena je ovšem velmi vysoká, proto si většina úpravců musí vystačit s původní ECU. Při tomto řešení je však nutné přistoupit na spoustu kompromisů. Především je potřeba volit nízké plnicí tlaky – čím blíže budou hodnoty, které bude řídicí jednotka dostávat ze snímačů, atmosférické verzi, tím vyšší je pravděpodobnost že bude schopna tyto veličiny akceptovat. Největší problém pak nastane pokud přibude nějaký nový snímač či akční člen. Sériovou řídicí jednotku prostě nelze naučit ovládat nové zařízení. Tento problém se řeší použitím přídavné elektroniky, typickým příkladem jsou právě další vstřikovače, které lze řídit přídavnou elektronikou řídit, například v závislosti na zjištěném přetlaku. Také regulaci plnicího tlaku turbodmychadla lze vyřešit tímto způsobem. Jedná se o tzv. boost controlery, které jsou vhodné pro instalaci do systému, který původně elektronickou regulací nedisponoval. Plnicí tlak lze pak ovládat například tlačítkem z místa řidiče.

Pokud je vyřešena kompatibilita ECU a celého systému zbývá otázka jak konkrétně naladit data v řídicí jednotce, tak aby motor nově vybaven přepřehováním, vykazoval co možná nejlepší parametry. Celá věc je tím nejsložitějším na dané problematice a vyžaduje rozsáhlé znalosti procesů probíhajících ve spalovacím motoru. Závěrečné vyladění je pak nutno provádět na motorové brzdě.

Přestavba atmosferického motoru na „turbo“ sebou přináší řadu problémů. Je jasné že při této úpravě nemůže být nikdy dosaženo tak skvělých parametrů, jakých dosahují motory, které jsou od základu účelně konstruovány pro použití turbodmychadla. Přesto bylo těmito úpravami dosaženo zajímavých výkonových parametrů, což vynikne zejména v poměru k vynaloženým finančním prostředkům. Zdůraznil bych, že při těchto úpravách je skutečně na místě střídmost v použitém přetlaku. V opačném případě bude životnost původně atmosferické jednotky rapidně klesat.

V popisu jsem vycházel především z na internetu uveřejněných zkušeností, plynoucích z úprav motorů Škoda 1,3 MPI [31], VW 1,6 MPI [32] a BMW M20 [30]. Motor VW 1,6 MPI disponuje bez úprav výkonem 55 kW. Přepřehováním bylo dosaženo dvojnásobného výkonu 110 kW a kroutícího momentu 210 Nm, přičemž by tyto hodnoty zdaleka nemuseli být konečné. To vše bylo dosaženo v zázemí malé firmy. Pro srovnání uvedu, že stejný motor byl použit jako základ pro stavbu (atmosférického) soutěžního motoru Škoda Felicia Kit-car. Zde bylo dosaženo maximálního výkonu 130 kW a kroutící moment 180 Nm [3], ovšem v továrních podmínkách a při diametrálně odlišných finančních nákladech. Z toho plyne jediné: Pokud chceme výrazně zvýšit výkon motoru a nejsme omezeni žádnými sportovními nařízeními. Je přestavba na „turbo“ pravděpodobně nejvýhodnější způsob.

## 6 Chlazení nasávané směsi

Výkon motoru závisí na množství směsi dopravené do válce. Ze stavové rovnice ideálního plynu lze nejlépe vidět jak lze množství směsi ovlivnit. Lze tak učinit zvýšením tlaku, o čemž bylo pojednáno v předchozí kapitole a snížením teploty, což bude předmětem kapitoly této. Směs je účelné chladit nejen kvůli lepšímu naplnění válce, ale především proto, že tak lze snížit teplotu na konci komprese, čímž lze zabránit detonačnímu hoření i jiným nepříznivým důsledkům vysokých teplot ve válci.

Chlazení směsi se plně uplatní především při sportovních úpravách motorů. Je potřeba si uvědomit, že u závodního motoru je předpoklad, že bude pracovat téměř neustále při plném zatížení a každý získaný výkon navíc je nesmírně cenný. Zde se ochlazení směsi skvěle využije a to jak pro určité přeplnění válce, tak pro snížení teploty ve spalovacím prostoru.

### 6.1 Zamezení ohřevu

Snahou každého úpravce je zajistit do válce přísun co možná nejchladnějšího vzduchu. Přirozeným prvním krokem, který je potřeba v této věci učinit, je zajistit aby se vzduch před vstupem do válce co nejméně ohřál.

Tento cíl je potřeba sledovat při veškerých úpravách sacího potrubí. Celý sací trakt a zejména jeho vyústění, by mělo být co nejdále od všech zdrojů tepla. Změnit trasu vzduchu do motoru však nemusí být vždy možné. Sériový motor bývá také vybaven předehřevem sacího potrubí, pomocí vedení horkého vzduchu od výfukového potrubí. To je sice uváděno do činnosti v závislosti na skutečné teplotě motoru, přesto se toto vylepšení řadí pro sportovní použití motoru do kategorie „nepotřebných“. Jako naprosto nežádoucí lze pak označit provedení sání, použité na známém motoru Š 781, kde je sací potrubí navíc vyhříváno chladicí kapalinou. Pro dosažení co nejlepšího naplnění motoru, je potřeba tyto systémy vyřadit z činnosti. Pro zamezení přestupu tepla je žádoucí aby sací kanály v hlavě byly co možná nejkratší a také co nejvíce přímé, v opačném případě dojde v ohybu k intenzivnějšímu narážení molekul a přestupu tepla do směsi.(obr 4.3) [1] Změnu délky a tvaru kanálu samozřejmě provést v zásadě nejde. Vhodná povrchová úprava (rozuměj vyleštění) kanálu však také sníží prostup tepla a lze ji provést i v amatérských podmínkách.

### 6.2 Mezichladič stlačeného vzduchu

Veškerá snaha o odstínění sacího potrubí od zdrojů tepla nebude nic platná při použití přeplňování. Vedlejším efektem stlačování vzduchu je totiž jeho zahřívání. Pokud bude použito turbodmychadla, dochází navíc k dalšímu růstu teploty vzduchu v důsledku konstrukčního uspořádání dmychadla, kdy dochází k vedení tepla z turbínové části do části dmychadlové. Tento problém je řešen použitím mezichladiče stlačeného vzduchu – intercooleru. Ten je nejčastěji k vidění v uspořádání vzduch-vzduch, kdy je stlačený vzduch v mezichladiči chlazen náparem atmosférického vzduchu. Existují též mezichladiče typu vzduch-voda. Toto řešení je méně časté, uplatňuje se spíše u automobilů s motorem v zadu, kde by nebylo možné vést potrubí se stlačeným vzduchem do přední části vozu a zpět (VW T3).

Při sportovních úpravách se velmi často používá systém rozprašování vodní mlhy před mezichladič. Celá věc je realizovatelná i za velmi přijatelných finančních nákladů, kdy je pro ostřík použit například motorek z vstřikovačů. [6]

## 6.3 Vnitřní chlazení

Jako vnitřní chlazení je označováno ochlazení nasávané směsi pomocí látky o vysokém skupenském (výparném) teplu. Tato látka svým odpařením způsobí ochlazení směsi a zvýší tak její hustotu a odolnost proti detonačnímu hoření. Cílené použití systémů vnitřního chlazení se nejlépe uplatní za současného použití přeplňování. Navíc je potřeba si uvědomit, že přínos vnitřního chlazení je skutečně pouze při plném zatížení motoru, kdy je motor extrémně tepelně namáhán. Při nízkém zatížení nebezpečí detonací nehrozí, navíc by došlo k nežádoucímu snížení rychlosti hoření směsi.

Existuje více způsobů jak vnitřního chlazení dosáhnout. Téměř všechny však byli vyvinuty v období světových válek pro použití v leteckých pístových motorech.

### 6.3.1 Chlazení přebytkem paliva

Jedná se o nejdražší způsob chlazení. Limitujícím faktorem je zde zápalnost směsi, kvůli které nesmí součinitel  $\lambda$  poklesnout pod 0,5 (pro směs benzínu se vzduchem). Za normálních podmínek dává motor nejvyšší výkon při obohacení na  $\lambda=0,85-0,95$ . [5] Další obohacování směsi by se proto již nemělo příznivě projevit na výkonu. Přesto se tak děje. Ovšem poněkud jinými mechanismy, které předpokládají, že bude účinnost motoru zvýšena použitím vyššího přetlaku a bude nižší teplotou zabráněno detonacím. Energetický přínos paliva, které je ve směsi přítomno nad potřebný směšovací poměr  $\lambda=0,85-0,95$  však není žádný, proto je používání drahého paliva pro tento účel principiálně špatnou cestou.

Výhodou tohoto řešení je, že není potřeba instalace přídavného systému vstřikování ani další nádrže. Převládají ovšem zápory takového řešení. Výrazně roste spotřeba paliva i produkce škodlivých emisí, zejména oxidu uhelnatého. Navíc výparné teplo uhlovodíku je poměrně nízké.

Situace se v mnohém liší za předpokladu, že by jako palivo byl použit líh. Ten má ve směsi se vzduchem stejnou výhřevnost jako benzín, mnohem vyšší oktanové číslo a co je důležité z hlediska vnitřního chlazení: větší výparné teplo! [1] V minulých letech by nemělo prakticky žádný význam zmiňovat se o této alternativě. Použití lihu jako paliva v osobních automobilech bylo naprosto nevhodné, což vedlo k četným zákazům tohoto paliva i v motoristickém sportu. Dnes však díky všemocné ekologické lobby přichází na trh palivo E85 (85% biolihu, 15% Naturalu 95). Za což mohou příznivci zvyšování výkonu automobilů ekologům výjimečně poděkovat.

### 6.3.2 Vstřikování vody

Pozorný motorista si může všimnout, že při chladných deštivých dnech lze pozorovat zvýšený výkon motoru. Tento fakt má na svědomí právě vnitřní chlazení vodou, která je ve zvýšeném množství přítomna v nasávaném vzduchu. Tohoto poznatku lze využít a instalovat do motoru systém který dokáže vstřikovat vodu do sání a zabezpečit tak zvýšený výkon i za horkého letního dne. I konstruktéři letadel za druhé světové války si uvědomili, že je zbytečné chladit směs drahým palivem, když tuto funkci lépe zastane voda, která má větší výparné teplo. U tohoto způsobu je však nutné instalovat přídavnou nádrž na vodu a systém, který bude vodu správně dávkovat. Celý kit vstřikování vody (obr. 6.1) lze zakoupit u specializovaných firem. Celý systém bývá uspořádán různými způsoby, které se odlišují umístěním vstřikovací trysky v sacím potrubí. Schéma systému je vidět na obrázku 6.2.





*Obr. 6.1 Sada pro instalaci systému vstřikování vody do sání [41]*

Voda má bohužel několik nevýhod. Působí korozi na dílech motoru a v zimě zamrzá. Z těchto důvodů se nepoužívá čisté vody, ale směs vody a methanolu.

Celá věc byla v minulosti často nasazována v motoristickém sportu v závislosti na tom jestli tento systém pravidla dovozovala, či nikoliv. Zajímavé ovšem je, že byli pokusy uplatnit systém vstřikování vody i v sériové výrobě. Nejznámějším pokusem je vozidlo Saab Super Turbo z roku 1979. Jak již bylo řečeno, celá věc se pro sériové použití nehodí. Výkonový přínos je pouze u vysoce tepelně zatížené jednotky pracující na samé hranici detonací, což není případ sériových vozidel. Správné uplatnění tak tento systém nachází právě při sportovních úpravách.

Do kategorie úsměvných pokusů pak patří amatérské snahy o snížení spotřeby paliva pomocí tohoto systému a vytvoření „auta na vodu“.



Obr. 6.2 Uspořádání systému vstřikování vody [41]

### 6.3.3 Vstřikování oxidu dusného

Vstřikování oxidu dusného patří mezi nejučinnější metody jak dopravit více směsi do válce. Princip funkce se však od předchozích podle všeho v mnohém liší. Tento systém totiž mimo vnitřního chlazení zvyšuje výkon také tím, že dodá do motoru více kyslíku.  $N_2O$  totiž obsahuje asi 36% kyslíku, zatímco ve vzduchu je ho pouze 21%. Přiznám se, že neznám odpověď na otázku, zda je prvotní funkcí celého systému chladit nebo okysličovat. Spousta autorů neřadí vstřikování  $N_2O$  mezi vnitřní chlazení, protože považují za hlavní smysl tohoto systému právě dodávat více kyslíku. Této myšlence poněkud nahrává používání tohoto systému v německých letadlech za druhé světové války právě kvůli požadavku zvýšení výkonu nad nominální letovou výškou, kde je již nedostatek vzduchu. Pokud by ovšem byl  $N_2O$  použit prvotně jako okysličovadlo, nebylo by výhodnější vstřikovat do motoru čistý kyslík? V [42] je uvedeno: „Dusík uvolněný ze sloučeniny tlumí zvýšený tlak ve válcích, a tím přispívá regulaci spalovacího procesu“ Tím ovšem autor nemyslí vnitřní chlazení (které má tento účinek), ale jakousi mě neznámou schopnost dusíku, která jeho přítomnost ve směsi odůvodňuje. Pokud si ovšem uvědomíme, že ve vzduchu je dusíku 78% procent, dostává tato teorie vážné trhliny.

O systémech  $N_2O$  lze nalézt spoustu informací, zejména kvůli komerčnímu úspěchu těchto systémů, bohužel většina z nich je značně nevěrohodných.

Kloním se tedy k názoru, že lze za prvotní funkci vstřikování  $N_2O$  považovat vnitřní chlazení, kdy je přítomnost kyslíku ve sloučenině pouze jakýmsi bonusem. Ochlazení směsi je dosaženo tím, že je stlačený oxid dusný vstřikován do sání, kde dochází k jeho rozpínání za

současného snižování teploty. Toto ochlazení je samozřejmě mnohem výraznější, než je možné dosáhnout vstřikováním vody. Směs může být ochlazená přibližně o 50 °C. [6]

Při úpravách motorů je používáno 3 různých způsobů: Suchý systém, mokvý systém a mokvý systém s označením „direct port“. [42] Princip je vidět z obrázku 6.3. U suchého systému dochází ke vstříknutí samotného oxidu dusného, tak aby změnu hmotnosti směsi zaregistroval MAF senzor a řídicí jednotka tak mohla zareagovat zvýšeným přídelem paliva. Problémem je, že tento zvýšený průtok paliva musí zajistit vstřikovače, které jsou v motoru instalovány i pro běžný provoz. V opačném případě dojde ke vzniku chudé směsi a s velkou pravděpodobností také k poškození motoru. Tento systém je proto vhodný spíše pro motory, které prošli komplexní úpravou. Mnohem jistější je použití mokvého systému, kdy je společně s  $N_2O$  vstřikováno i palivo, což ulehčí práci řídicímu systému motoru. Systém direct-port vstřikuje palivo s oxidem dusným do každého válce samostatně, jeho použití je však možné jen v zázemí profesionálního závodního týmu.



Obr. 6.3 Porovnání systémů vstřikování oxidu dusného [41]

Předností zvyšování výkonu pomocí vstřikování oxidu dusného je, že zvýšit výkon lze okamžitě a to pouze v situaci kdy to je skutečně potřeba. Za normálního provozu tedy motor nebude vykazovat zvýšenou spotřebu ani nebude docházet k jeho zvýšenému namáhání. Tyto vlastnosti předurčují tento systém k použití v závodech dragsterů. V amatérském motoristickém sportu pak v oblíbeném sprintu na čtvrt míle.

## 7 Budoucnost úprav pohonných jednotek

Vývoj závodních motorů byl vždy přínosem pro motorismus. Úkolem FIA je určovat technické regule tak, aby byl tento přínos co největší. V současné době je automobilismus pod neskutečným tlakem ze strany většiny společnosti. Je požadováno snižování emisí i používání obnovitelných zdrojů. Ponechme teď raději stranou zda je tento tlak oprávněný. Pro automobilky tyto požadavky představují finanční přínos. Náklady na vývoj nových ekologických vozidel jsou sice vysoké, ovšem prodej těchto nových, k životnímu prostředí šetrných vozidel představuje vysoce výdělečný artikl. Zákazníky už beztak nebavilo neustále hltať nezajímavé údaje o výkonu, zrychlení a maximální rychlosti. Zajímavým se stal údaj o emisích CO<sub>2</sub>. Automobilky mohou své úspěchy na tomto poli propagovat, a označením vozidel vyráběných více než před deseti lety za cosi páchnoucího a morálně zastaralého, ještě více zatlačit na obměnu vozového parku.

Otázkou zůstává, jaké místo má v takovéto atmosféře motoristický sport. FIA stojí před nelehkým úkolem: Zachovat motoristický sport zábavný, plný adrenalinu, plný hrubé síly a zároveň stanovit technické parametry vozů tak, aby poznatky při jejich vývoji mohli být zúročeny v sériové výrobě, kde je kladen čím dál tím větší důraz na ekologii a nízkou spotřebu paliva.

Řešením není převést všechny motoristické disciplíny na obdobu „ekorally“, což by vedlo k záhubě motosportu, ale ani před problémem strkat hlavu do písku, což by vedlo k provozování motosportu skutečně jen jako marketingově výhodné zábavy.

Nositelem pokroku nemůže být nikdo jiný než nejsledovanější a nejdražší seriál: Formule 1. Zde se už začínají objevovat první vlašťovky jako byl KERS. Z hlediska motorů se však největší změna chystá na rok 2013, kdy se uvažuje o opětovném zavedení turbomotorů. To lze vzhledem k vzrůstající oblíbenosti přeplňovaných jednotek v sériové výrobě považovat za krok správným směrem.

V F1 se ale jedná spíše o stavbu motorů. I v disciplínách pro které jsou motory upravovány ze sériových jednotek však lze očekávat, nástup technologií, které se osvědčí v F1. Samozřejmě s určitým zpožděním.

Pokud se budeme bavit o méně finančně náročných a amatérských úpravách pohonných jednotek, lze předpokládat stejný vývoj jako dosud. Každá nově vyrobená jednotka bude nadmíru šetrná k životnímu prostředí, díky čemuž bude notně omezen její výkon. Pomocí úprav pak bude možné výkonový potenciál jednotky naplno využít. Samozřejmě za současného zvýšení spotřeby a emisí. Jedná se tedy o jakési odstranění kompromisního řešení, do kterého je tlačěn výrobce kvůli požadavku na splnění protichůdných vlastností pohonné jednotky. Úpravce tedy může tento kompromis ekologie a výkonu odstranit a zvýšit výkonové parametry. Toto se ovšem děje již dnes.

Předpovídat trend na delší dobu je zhora nemožné, protože do vývoje pohonných jednotek (bohužel) zasahuje spousta vlivů, které nejsou technického charakteru.

## 8 Závěr

K úpravám motorů jsou potřeba především znalosti. Dobrých výsledků v tomto oboru může dosahovat pouze ten kdo dokonale chápe děje, které v motoru probíhají. Na trhu je spousta publikací, které přinášejí konkrétní rady jak ten který motor upravit, nebo knihy přinášející přehled úkonů které je potřeba v cestě za zvýšením výkonu provést. Zvýšení výkonu se lze dobrat provedením konkrétního vyzkoušeno postupu. Dlouhodobě lze však dosahovat dobré výsledky pouze pokud chápeme fyzikální princip našeho postupu. Nezáleží na tom, jestli je náš postup správný nebo špatný, důležité je vědět proč jsme se určitou cestou vydali a podle výsledků kterých dosáhneme pak poupravit naši teoretickou představu.

V tomto duchu je psána i tato práce. Snažil jsem se vždy proniknout do podstaty problému a nevyhýbal jsem se ani otázkám na které sám neznám odpověď. Často jsou zmiňovány konkrétní postupy při úpravách i použití dané úpravy v motoristickém sportu, nikdy však bez osvětlení principu fungování dané úpravy. V práci díky omezenému rozsahu není postihnuta celá problematika. Chybí zejména úpravy, které zvyšují výkon motoru zlepšováním mechanické účinnosti. Dále není většinou pojednáno o technologických změnách, které musejí být provedeny na agregátu, aby byl vůbec schopen snášet zvýšené zatížení.

Jsou popsány úpravy pouze těch skupin motoru, které přinášejí největší zvýšení výkonu. Aby bylo vždy jasné jaký je smysl dané úpravy, vycházím ze vztahu pro výpočet výkonu, který je rozebrán v druhé kapitole.

Následuje pojednání o úpravách spalovacího prostoru, který je upravován především z cílem zvýšit kompresní poměr. V této kapitole si všímám i problematiky vhodnosti spalovacího prostoru k zamezení detonacím.

V kapitole úpravy rozvodů se úvodem věnuji proudění vzduchu ventilem a uspořádání ventilů ve spalovacím prostoru. Zasloužená pozornost je pak věnována časování rozvodu i praktickým úpravám jednotlivých dílů tohoto mechanismu.

Poněkud jiného ražení jsou části pojednávající o přeplňování a chlazení směsi. Zde není většinou detailně rozebírána konstrukce těchto systémů, spíše si všímám principiálních rozdílů mezi těmito systémy a z nich plynoucí aplikace v motoristickém sportu. Praktický pohled na přeplňování je pak zastoupen podkapitolou 5.4.1. „Instalace turbodmyhadla na atmosferický motor“.

Pravděpodobně by bylo možné problém, vzhledem k zadání práce, uchopit lépe. Já jsem se však neubránil upřednostnění těch kapitol, které osobně považuji za zajímavé.

## Použité zdroje

- [1] MACKERLE, Julius. *Motory závodních automobilů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 196 s.
- [2] PAUER, Václav. *Formule : historie techniky závodních vozů díl 1*. 1. vyd. Plzeň: Fraus, 2005. 79 s. ISBN 80-7238-515-1.
- [3] PLŠEK, Bořivoj. *Škoda felicia : sportovní úpravy*. 2. vyd. Brno: Computer Press, 2003. 245 s. ISBN 80-7226-619-5.
- [4] PLŠEK, Bořivoj. *Sportovní úpravy Škoda : Favorit Forman Pick-up*. 1. vyd. Praha: Computer Press, 2001. 153 s. ISBN 80-7226-536-9.
- [5] FERENC, Bohumil. *Spalovací motory : karburátory a vstřikování paliva*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2004. 388 s. ISBN 80-251-0207-6.
- [6] RŮŽIČKA, Bronislav. *Jak na tuning automobilu*. 4. vyd. Praha: Computer Press, 2004. 115 s. ISBN 80-251-0061-8.
- [7] RŮŽIČKA, Bronislav. *Jak na chiptuning*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2008. 184 s. ISBN 978-80-251-2096-5.
- [8] JAN, Zdeněk, ŽDÁNSKÝ, Bronislav. *Výkladový automobilový slovník*. 2. vyd. Brno: Computer Press, 2006. 244 s. ISBN 80-251-1147-4.
- [9] HUSÁK, Pavel. *Upravujeme motocykl pro závod*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1974. 164 s.
- [10] CEDRYCH, Mario René. *Automobily Škoda Felicia*. 3. vyd. Praha: Grada Publishing, 1998. 528 s. ISBN 80-7169-718-4.
- [11] CEDRYCH, Mario René, NACHTMAN, Lukáš. *Škoda : auta známá i neznámá*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2003. 252 s. ISBN 80-247-9052-1.
- [12] ČECH, Jiří. *Škoda techweb* [on-line]. Vydáno: 13.12.2002. [citováno 10\_11\_2009]. Teorie motoru. Dostupné z WWW: <<http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=387>>
- [13] VEIT, Petr. *H-fans* [on-line]. [citováno 2010-03-24]. Výkon a točivý moment. Dostupné z WWW: <<http://hotrally.sweb.cz/tech/teorie.html>>
- [14] STEKLÝ, Richard. *Steklý* [on-line]. [cit. 2010-03-24]. Moje hloupé poznámky k plnění atmosférického motoru 781-OHV. Dostupné z WWW: <<http://www.stekly.wz.cz/plneni.html>>
- [15] GREGORA, Otakar. *CRF* [on-line]. Vydáno: 22.1.2008, [cit. 2010-03-24]. Soutěžní automobily s pohonem všech kol : variace na téma Quattro. Dostupné z WWW: <<http://www.rallyfans.info/audi-sport-quattro-s1-ing-otakar-gregora-díl-druhý>>
- [16] BEROUN, Stanislav. *Studijní texty k předmětu Motorová vozidla* [on-line]. [cit. 2010-03-24]. Vozidlové motory. Dostupné z WWW: <<http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/VOZMOT.pdf>>

- [17] *Autoklub ČR* [online]. FAS AČR, 26.1.2010 [cit. 2010-05-05]. Řády FIA příloha J. Dostupné z WWW: <<http://www.autoklub.cz/show.php?page=acr/fasacr/radyfia/prilohaj/index.htm&asoc=2>>
- [18] *Mecanicavirtual* [online]. 24.2.2001, 31.7.2007 [cit. 2010-05-05]. Motores sobrealimentados. Dostupné z WWW: <<http://www.mecanicavirtual.org/turbo-compresores.htm>>
- [19] LÁNÍK, Ondřej. *Auto.cz* [online]. 20.07.2004 [cit. 2010-05-05]. Přepřínování. Dostupné z WWW: <<http://news.auto.cz/technika/preplnovani-1-dil-teorie-mechanicke-preplnovani.html>>
- [20] ČERVENKA, Pavel. *Rallyauto* [online]. 8.4.2007 [cit. 2010-05-05]. Dostupné z WWW: <<http://rallyauto.wgz.cz/>>
- [21] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2003. 580 s. ISBN 80-238-8756-4.
- [22] PAVELEK, Milan, et al. *Termomechanika*. 3. přepracované. Brno : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2003. 286 s. ISBN 80-214-2409-5.
- [23] ŠOB, František. *Hydromechanika*. druhé. Brno : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2008. 238 s. ISBN 978-80-214-3578-0
- [24] HOFMANN, Karel. Regulované přepřínování vozidlových motorů. *Učební texty ústavu dopravní techniky VUT Brno* [online]. 2000, [cit. 2010-05-06]. Dostupný z WWW: <[http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/Hofmann\\_Preplnovani.pdf](http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/Hofmann_Preplnovani.pdf)>
- [25] *Rallye skupina B* [online]. 2007, 19.11.2008 [cit. 2010-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://group-b.webgarden.cz/>>
- [26] GEORGALLIDES, Tryphon . *RallyCars.com* [online]. 1996 [cit. 2010-05-06]. How the turbo Anti-Lag System works. Dostupné z WWW: <<http://www.rallycars.com/Cars/bangbang.html>>
- [27] *Sportmotor.cz* [online]. 1993 [cit. 2010-05-06]. Closed-loop Blow-off ventil Hyperboost. Dostupné z WWW: <<http://www.sportmotor.cz/blowoff.htm>>.
- [28] *Pakwheels.com* [online]. 24.4.2009 [cit. 2010-05-06]. ALS (Anti Lag System). Dostupné z WWW: <<http://www.pakwheels.com/forums/performance-modification-tune-up-preventive-maintenance/99724-als-anti-lag-system-bang-bang>>.
- [29] PROCHÁZKA, Jiří ; KRAMÁŘ, Pavel. Slavná éra "TURBA". *MOTOR Sport* [online]. 1990, 1, [cit. 2010-05-06]. Dostupný z WWW: <[http://www.f1-info.cz/?document=ostatni/slavna\\_era\\_turba](http://www.f1-info.cz/?document=ostatni/slavna_era_turba)>.
- [30] *E30.cz* [online]. 2003 [cit. 2010-05-06]. Instalace turba na motor M20. Dostupné z WWW: <<http://www.e30.cz/instalace-turba-na-motor-m20>>.



- [31] ONDRÁŠ, Robert. *Škoda techweb* [online]. 5.6.2002 [cit. 2010-05-24]. Škoda Felicia 1,3 MPI TURBO. Dostupné z WWW: <<http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=359>>.
- [32] ONDRÁŠ, Robert. *Škoda techweb* [online]. 25.2.2005 [cit. 2010-05-24]. Škoda Felicia 1,6 Turbo. Dostupné z WWW: <<http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=442>>.
- [33] *Turbo-Kits.com* [online]. 2000 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.turbo-kits.com/>>.
- [34] *ŠkodaMedia* [online]. 2010 [cit. 2010-05-24]. Škoda Garde Turbo Salamander [1983]. Dostupné z WWW: <<http://skodamedia.webnode.cz/products/skoda-garde-salamander1/>>.
- [35] *Club Ford FIESTA VENEZUELA* [online]. 2010 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.clubfordfiesta.com.ve/web/>>.
- [36] GEORGALLIDES, Tryphon . *RallyCars.com* [online]. 1996 [cit. 2010-05-25]. How a water injection system works. Dostupné z WWW: <<http://www.rallycars.com/Cars/WaterInjection.html>>.
- [37] Jezdíme na vodu. *Svět motorů* [online]. 1983, 1, [cit. 2010-05-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.allbikes.wz.cz/prisavani vody.php>>.
- [38] Ikala. *PALBA.CZ* [online]. 20.11.2008 [cit. 2010-05-25]. Pístové letecké motory. Dostupné z WWW: <<http://www.palba.cz/viewtopic.php?t=3027>>.
- [39] PAZDERA, Josef. Ještě vyšší výkon. *Svět*. 2007, 1, s. 23.
- [40] *Fronta.cz* [online]. 16. 2. 2009 [cit. 2010-05-25]. Bylo možné krátkodobé zvyšování výkonu motoru vstříkáním dusíku?. Dostupné z WWW: <<http://www.fronta.cz/dotaz/kratkodobe-zvysovani-vykonu-motoru-vstrikovanim-dusiku>>.
- [41] *Www.HIGH PERFORMANCE PARTS.cz* [online]. 2005 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.highperformanceparts.cz/>>.
- [42] KAMENÁŘ, Jan . *Tuning : Každý je originál*. Vydání první. [s.l.] : [s.n.], 2006. 130 s. ISBN 80-903835-0-5.

## **Použité zkratky**

ECU (Electronic Control Unit) – řídicí jednotka motoru

MAF (Mass Air Flow) – hmotnostní průtok vzduchu v sání motoru

EMS (Electronic Managment System) – elektronický systém řízení motoru

KERS (Kinetic Energy Recovery System) – systém rekuperace kinetické energie