

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV AUTOMOBILŮ, SPALOVACÍCH MOTORŮ A
KOLEJOVÝCH VOZIDEL



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2021

Úpravy atmosféricky plněného motoru pro zvýšení
výkonu při závodním použití

Modifications of NA engine for increased
performance

Bc. Radovan Juráš

STUDIJNÍ PROGRAM: DOPRAVNÍ A TRANSPORTNÍ TECHNIKA

SPECIALIZACE: Spalovací motory

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Vít Doleček Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Juráš** Jméno: **Radovan** Osobní číslo: **456161**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Dopravní a transportní technika**
Specializace: **Spalovací motory**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Úpravy atmosféricky plněného motoru pro zvýšení výkonu motoru při závodním použití

Název diplomové práce anglicky:

Pokyny pro vypracování:

- Proveďte instrumentaci čidel na testovaném vozidle a změřte základní variantu motoru bez úprav na vozidlovém dynamometru.
- Vytvořte 1-D simulační model motoru kalibrovaný pomocí naměřené sady dat. Navrhněte možné úpravy mechanických částí motoru a maximalizujte výkon úprav pomocí optimalizace 1-D simulačního modelu.
- Vytvořte model vozidla včetně převodovky a základní řídicí strategie. Porovnejte vybrané naladění modelu motoru a převodových poměrů převodovky při simulovaném závodu ve sprintu a vyberte nejlepší variantu.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Vít Doleček, Ph.D. ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **20.04.2022** Termín odevzdání diplomové práce: **13.08.2022**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Vít Doleček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Oldřich Vítek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení o autorství

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Víta Dolečka Ph.D. a použil jsem pouze podklady uvedené v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

Podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Vítu Dolečkovi Ph.D. za vedení, trpělivost a pomoc při vypracování modelů a práce samotné. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Petru Hatschbachovi CSc., Ing. Vojtěchu Klírovi Ph.D., Ing. Ivanu Bortelovi Ph.D. a dalším, kteří mi pomáhali při měřeních.

Nakonec bych chtěl poděkovat svojí rodině a přátelům za velkou podporu v průběhu celého studia.

Anotační záznam

Jméno autora: Radovan

Příjmení autora: Juráš

Název práce česky: Úpravy atmosféricky plněného motoru pro zvýšení výkonu při závodním použití

Název práce anglicky: Modifications of NA engine for increased performance

Rozsah práce: stránky: 64

obrázky: 69

tabulky: 9

přílohy: 0

Akademický rok: 2021/2022

Jazyk práce: CZ

Ústav: 12 120 - Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Studijní program: Dopravní a transportní technika

Vedoucí diplomové práce: Ing. Vít Doleček Ph.D.

Anotace: Cílem této práce je vytvořit 1-D model spalovacího motoru, určit proměnné parametry a změnou těchto částí predikovat změnu výkonu

Klíčová slova: Motor, výkon, GT Suite,

Key words: Engine, power, GT Suite

Abstrakt

V první části práce je rozepsán princip funkce motoru, stručná historie jeho použití v závodním odvětví a vývoj použitých technologií. Dále je popsána funkce dílčích komponent a rozdíl jejich provedení v sériovém a závodním použití.

V praktické části jsou navrženy konkrétní změny pro úpravu motoru TU3JP z vozu Peugeot 106 Sport. Pro tento motor je vytvořen 1D model v programu GT Suite. Model upraveného motoru je dále vložen do modelu kompletního vozu a je simulováno jeho chování v závodu na ¼ míle.

Abstract

The first part of the thesis describes the principle of the engine's function, a brief history of its use in the racing industry and the development of used technologies. Function of separate engine parts and the difference in their design in series and racing use is described.

In the practical part, specific parts are modified in the TU3JP engine from Peugeot 106 Sport. A 1D model is created for this engine in GT Suite. The modified engine model is then connected to the full car model and its behavior in a ¼ mile race is simulated.

1. Obsah

1.	Úvod	10
2.	Spalovací motor	11
2.1.	Princip funkce spalovacího motoru	12
2.1.1.	Zážehové motory	12
2.1.2.	Vznětové motory	13
2.2.	Vývoj motorů	13
2.2.1.	Historie spalovacích motorů v motorsportu	14
2.3.	Díličí komponenty	19
2.3.1.	Motor a jeho části	19
2.3.1.1.	Blok motoru	20
2.3.1.2.	Klikový mechanismus	21
2.3.1.2.1.	Klikový hřídel	22
2.3.1.2.2.	Ojnice	23
2.3.1.2.3.	Píst	23
2.3.1.3.	Hlava motoru	23
2.3.1.3.1.	Ventilový rozvod	24
2.3.1.3.1.1.	Vačkový hřídel	28
2.4.	Závodní použití	29
2.4.1.	Paliva	29
2.4.1.1.	Ethanol	30
2.4.1.2.	Oxid dusný	30
2.5.	Změna mapy řídicí jednotky	31
3.	Praktická část - uvedení do problematiky	32
3.1.	Motor	32
3.2.	Pravidla soutěže	33
3.2.1.	Kategorie I – Cestovní vozy	33
3.2.2.	Kategorie II – Speciální vozy	34
3.3.	Cíle	34
4.	Navrhované změny	34
4.1.	Hlava válců	34
4.1.1.	Kompresní poměr	35
4.2.	Sací ústrojí	36
4.2.1.	Prodávaná řešení	37
4.2.1.1.	Kit přímého sání Simota	37
4.2.1.2.	Sání K&N	37
4.2.1.3.	Hliníkový airbox se single vstupy	38
4.2.2.	Škrtící klapka	38

4.3.	Náhrada výfukového potrubí.....	38
4.3.1.	Výměna vačkového hřídele	40
4.3.2.	Změna mapy řídicí jednotky	40
4.4.	Měření	40
4.4.1.	Měření průtokového součinitele	40
4.4.1.1.	Měřicí zařízení	41
4.4.1.2.	Příprava měření	42
4.4.1.3.	Průběh měření	42
4.4.1.4.	Výsledky měření	43
4.4.2.	Měření zdvihu ventilu	44
4.4.2.1.	Příprava pro měření.....	45
4.4.2.2.	Průběh měření	46
4.4.2.3.	Výsledky měření	46
4.4.3.	Měření na válcové brzdě.....	46
4.4.3.1.	Válcová zkušebna Fakulty strojní ČVUT v Praze	46
4.4.3.2.	Příprava pro měření.....	46
4.4.3.3.	Průběh měření	47
4.4.3.4.	Výsledky měření	47
4.5.	Tvorba modelu.....	49
4.5.1.	Model sacího traktu	50
4.5.2.	Model výfukového systému	52
4.5.3.	Parametry válců a hlavy	55
4.5.3.1.	Hlava válců	55
4.5.3.2.	Blok motoru	55
4.5.4.	Simulace výkonu	56
4.5.4.1.	Změna parametrů motoru	57
4.5.5.	Simulace kompletního vozidla	61
4.5.5.1.	Výsledky simulace vozidla	62
5.	Závěr.....	62
6.	Zdroje	63
6.1.	Seznam použité literatury	63
6.2.	Zdroje obrázků	63
6.3.	Seznam obrázků	65
6.4.	Seznam tabulek	67

1. Úvod

Fakultu strojní jsem si pro svoje studium vybral proto, že mě vždy lákala rychlá auta, jejich design a konstrukční řešení a chtěl jsem se dozvědět víc o tom, co jak funguje a proč jednotlivé díly vypadají tak, jak vypadají.

S koupí prvního vozu jsem se učil mnoha novým věcem, k čemuž také přispívaly rozhovory jak s majiteli podobných vozů, tak hovory se zkušenými úpravci vozidel na srazech upravených automobilů. Protože však stále platí, co člověk, to názor, chtěl jsem zjistit, jak se věci skutečně mají a rozhodl jsem se o úpravu vlastního auta v naději, že se naučím nové věci a poznám tak, co skutečně platí a co ne.

Proto je cílem této práce seznámit se s motorem jako celkem, zjistit, jak lze upravit atmosféricky plněný motor tak, aby dosahoval vyššího výkonu, sestavit 1-D simulační model, navrhnout změny pro zvýšení výkonu a následně takové změny spočítat. Pro upravenou pohonnou jednotku dále simulovat její využití při závodu ve sprintu a nastínit tak, jaký přínos bude mít v reálném použití.

2. Spalovací motor

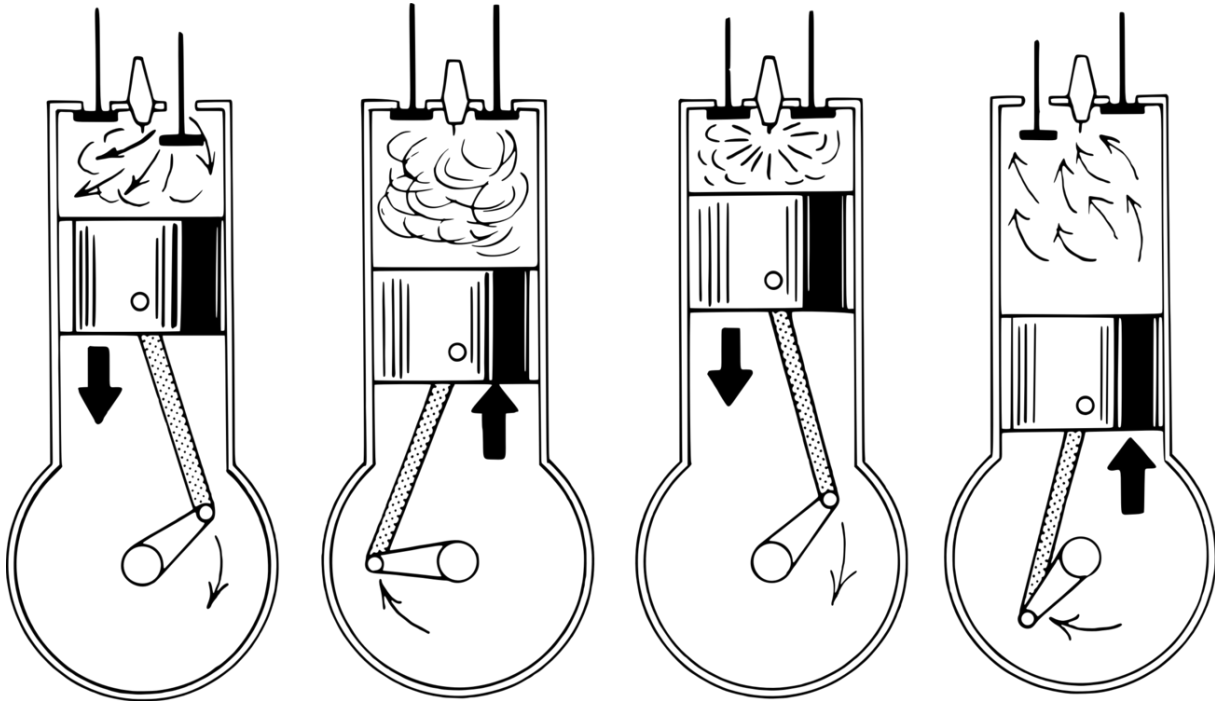
Spalovací motory jsou tepelné stroje, ve kterých se teplo získané spálením směsi paliva a kyslíku přemění na mechanickou práci působením na píst nebo třeba lopatku v turbíně. Podle typu konstrukce a dalších aspektů pracují spalovací motory s určitou účinností, která může teoreticky dosáhnout maximální hodnoty 1, což by odpovídalo 100% využití energie paliva k přeměně na kinetickou energii. To ovšem reálně není dosažitelné, protože v procesu působí mnoho mechanických a chemických ztrát a účinnost tak klesá.

Spalovací motory se dělí dle následujících kritérií:

- Dle způsobu zapalování
 - ◆ Zážehové
 - ◆ Vznětové
- Dle počtu dob oběhu
 - ◆ Dvoudobé
 - ◆ Čtyřdobé
 - ◆ Šestidobé
- Dle chlazení
 - ◆ Kapalinou
 - ◆ Vzduchem
- Podle plnění válce
 - ◆ Přepřňované
 - Kompresorem
 - Turbodmychadlem
 - ◆ Nepřepřňované
- Podle počtu válců
- Podle uspořádání válců
 - ◆ Stojaté
 - ◆ S uspořádáním do V
 - ◆ S uspořádáním do W
 - ◆ Vodorovné
- Podle tvoření směsi
 - ◆ Karburační
 - ◆ Vstřikové
- Podle paliva
 - ◆ Kapalná
 - ◆ Plynná
 - ◆ Kombinovaná
- Podle použití
 - ◆ Automobilové
 - ◆ Lodní
 - ◆ Motocyklové
 - ◆ Vodní
 - ◆ Malé stroje, kogenerační jednotky a další...

Spalovací pístový motor je složité zařízení, kde hlavní části tvoří válec, klikový mechanismus a rozvodový mechanismus. Pracovní prostor se skládá z pístu, válce a hlavy válce.

2.1. Princip funkce spalovacího motoru



Obr 1. Schéma 4taktního motoru [1]

Princip fungování 4 dobého motoru spočívá v tom, že píst vykoná svůj pracovní cyklus během 2 otáček klikového hřídele, kdy se střídají fáze sání, komprese, expanze a výfuk.

2.1.1. Zážehové motory

V první fázi cyklu jde píst do spodní úvrati. Tím je vytvořen ve válci podtlak a skrz otevřený sací ventil je do válce nasávána čerstvá směs paliva se vzduchem.

Ve druhé fázi jde píst do horní úvrati, všechny ventily jsou uzavřeny a směs ve válci je stlačována, čímž rapidně roste tlak i teplota v pracovním prostoru.

Ve třetí fázi dochází k zážehu směsi jiskrou na svíčke a píst obrovskou rychlostí směřuje opět do dolní úvrati. Ventily jsou stále zavřené.

Ve čtvrté fázi se píst pohybuje směrem k horní úvrati, je otevřen výfukový ventil a zplodiny jsou tak odváděny pryč z prostoru válce.

U zážehového motoru jsou zabudovány svíčky (vždy jedna na válec) v hlavě motoru. Tyto motory jsou již dlouhou dobu používány ve všech odvětvích dopravy, v zahradních strojích a relativně krátce jsou využívány i pro zabezpečení domácností v podobě kogeneračních jednotek. Motor se dá dále upravit na spalování alternativních paliv.

2.1.2. Vznětové motory

U vznětových motorů dochází ke vznícení paliva tím, že do stlačeného vzduchu o vysoké teplotě a vysokém tlaku je vstříknuto malé množství nafty. Místo svíčky je tedy vstřikovač. Kompresní poměr u vznětových motorů bývá vyšší než u zážehových a většinou má i vyšší kroutící moment. Motor má také jiný projev, maximální výkon i moment mívá v nižších otáčkách, a tak není nutné, aby točil tolik otáček jako benzinový motor.

Tyto motory nacházejí využití v lodní, vlakové, kamionové i osobní dopravě, v přenosných generátorech a dříve se využívaly v továrnách a letadlech.

2.2. Vývoj motorů

První návrhy spalovacích motorů vznikaly ke konci 18. století. Nejdříve se jednalo stacionární stroje a přes velké řemeny poháněly zařízení v továrnách. Koncem 19. století se pak začala objevovat snaha konstruktérů zpracovat motor do kompaktnější podoby a tím umožnit pohon např. automobilu nebo vlaku.

V návrhu J. Barbera měl být motor poháněn spalováním plynu spolu se vzduchem. Roku 1794 Robert Street sestrojil podle jeho návrhu prototyp a následně pracoval na vylepšení původní myšlenky. Prototyp byl poháněn směsí vzduchu a terpentýnu, návrh byl ale příliš složitý, proto se od něj upustilo.

Za první funkční a úspěšný spalovací motor se pokládá stroj, který navrhl Étienne Lenoir. Tento motor vznikl v roce 1860, byl poháněn svítiplynem a jeho celková účinnost byla 4% a maximální výkon až 20 koní. Byl to ležatý dvojčinný motor a v hojné míře se využíval v průmyslu.

Na základě tohoto motoru pak začali Nicolaus Otto a Eugene Langen vyvíjet motor, který by dosáhl vyšší účinnosti, životnosti a uměl stlačit směs paliva a vzduchu před zážehem. Nakonec se jim to podařilo v roce 1867. Jednalo se o stojatý jednočinný nízko otáčkový jednoválec s účinností 12%. Motor sklídl veliký úspěch, protože ve srovnání s lenirovým motorem měl nižší spotřebu paliva a mazacího oleje, ale na druhou stranu vyčníval velkými zástavbovými rozměry, byl hlučný a trpěl nepravidelným chodem.

Roku 1873 sestrojil Ch. Reithmann první motor s přímou kompresí směsi plynu a vzduchu. Šlo o čtyřdobý motor s výkonem 0,5 koně při 200 otáčkách za minutu.

Vodou chlazený čtyřdobý motor představil N. Otto v roce 1878. Byl to vylepšený reithmannův motor běžící na svítiplyn. Dosahoval výkonu až 4 koně při 170 otáčkách za minutu.

V roce 1879 vznikl první motor na benzín, poháněl vzducholod'. V témže roku si nechal Karl Benz patentovat i první vůz se zabudovaným 2taktním motorem. Ke konci 19. století testoval s týmem konstruktérů svůj motor i Rudolf Diesel. Ten v roce 1897 sestrojil přeplňovaný motor s výkonem 13kW a účinností 26%. Následně tvořil i motory spalující přírodní oleje.

Na přelomu 19. a 20. století pak začaly vznikat první motocykly s dvoudobými motory. Výkon těchto motorů byl řádově do jen velmi málo desítek koní. Od

začátku 20. století pak začalo vznikat velké množství osobních automobilů s objemnými, ale ne příliš výkonnými čtyřdobými motory, které byly většinou chlazeny vzduchem. U nás se o velký vývoj v oblasti motorů zasloužili firmy Škoda, Praga a v rámci motocyklů firma JAWA.

Od té doby se motory neustále vyvíjí, konstrukce je složitější, materiály lehčí a odolnější, velký důraz je kladen na emise a účinnost.

2.2.1. Historie spalovacích motorů v motorsportu

Ke konci 19. století se začala objevovat velká spousta různých konstrukčních řešení, jak zastavět spalovací motor do vozu. Prakticky ihned se tak objevilo nutkání porovnávat tyto vozy mezi sebou. Na startu se tak střetávaly vozy s motory na stlačený vzduch, s parním pohonem, motory na tekutá paliva, a dokonce i elektrickým pohonem. Tratě těchto závodů však byly v dost špatném stavu. Jednalo se především o prašné cesty mezi městy, které v mnoha případech neposkytovaly ani dostatečnou šířku na víc než jedno vozidlo. Délka závodu pak byla v řádech stovek a tisíců kilometrů a mnoho soutěží se jelo více než jeden den.

Závod Grand Prix France se pořádal na trati Paris-Bordeaux v roce 1895 a vyhrál ho vůz Panhard-Levassor hnán 1,2 litrovým dvouválcem o výkonu 4 koně. Vůz vážil zhruba 850 kg a dosáhl průměrné rychlosti 24,2 km/h. Celý motor je ukryt v hranatém boxu na přední vozu.



Obr 2. Vítězný vůz Panhard-Levassor [2]

V roce 1906 se jel první závod Grand Prix ve Francii pořádán francouzským autoklubem a stal se pak vzorem pro další soutěže. Pro závod byla zavedena speciální pravidla, která musely vozy splňovat. Automobily tak byly omezeny na maximální hmotnost 1000 kg a čtyřválcový benzinový motor. Vítězem této Velké ceny se stal vůz Renault 1906 s objemem 13 litru o vrtání 160 mm a zdvihu 150 mm. Maximální výkon byl 90 koní při 1200 otáčkách za minutu, rozvody typu SV a na trati vůz dosáhl průměrné rychlosti 100,9 km/h.



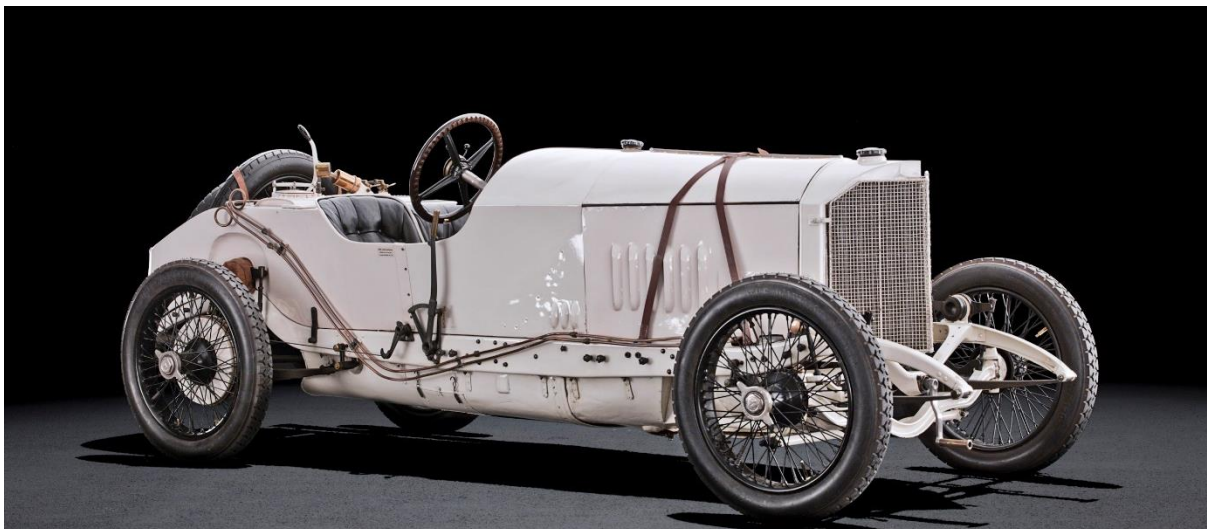
Obr 3. Renault 1906 [3]

Pořádání závodů mělo velký vliv na vývoj a konstrukci nejen motorů, ale i vozů samotných. Pravidla ovlivňovala objem motorů i jejich maximální spotřebu (původně stanoveno na 30 l/100 km), maximální hmotnost vozu, bezpečnost pilota a další.

V honbě za výkonem měly automobily stále větší vrtání a zdvih, až byly tyto parametry nakonec omezeny na maximální plochu všech pístů 750 cm². Což vedlo k vývoji nových motorů, u kterých se začaly hojně využívat rozvody OHV a OHC.

S náročností však stoupaly náklady, a tak mnoho velkých automobilových výrobců odřeklo účast, až se nakonec Grand Prix ACF v letech 1910-11 vůbec nekonala. Na další rok tak byla vypsána Velká cena prakticky bez pravidel. Tuto soutěž vyhrála automobilka Peugeot, která se závodu zúčastnila vůbec poprvé. Jejich motor byl vůbec první, který použil dva vačkové hřídele k řízení ventilů. Motor měl 4 ventily na válec, vrtání 110 mm a zdvih 200 mm. Celkový objem tak činil 7,6 l, motor dosahoval výkonu 175 koní v 2200 otáčkách za minutu.

Koncepce 4 ventilů na válec se pak stala v závodech běžnou. V dalších letech byl omezen maximální objem motoru na 4,5 l a Velkou cenu 1914 tak vyhrál Mercedes Grand Prix 1914 o výkonu 106 koní. Motor měl vrtání 93 mm, zdvih 165 mm a maximální výkon poskytoval až v 3000 otáčkách za minutu. Pohonná jednotka vozu byla díky použití hliníkových slitin lehčí, každý válec měl 3 svíčky a písty byly litinové. Vůz tak mohl jet rychlostí až 180 km/h. Protože se jednalo o velice úspěšný model, závodilo se s ním až do roku 1922.



Obr 4. Mercedes 1914 [4]

Mezi lety 1906 a 1914 se vývoj pohonných jednotek posunul o velký kus. Podařilo se zajistit vyšší střední efektivní tlak a vyšší měrný objemový výkon. V následujícím období však konstruktéři volili místo zvyšování objemu 4válcového motoru raději zvýšení počtu válců. Protože se tak objem rozdělil mezi více válců, mohl se zmenšit zdvih i hmotnost dílčích komponent. Tím se pak dalo dosáhnout vyšších otáček motoru i vyššího měrného výkonu. Zlepšilo se chlazení jednotlivých válců, což také značnou měrou přispělo k výdrži motoru.

Zprvu se používaly dva 4válcové bloky za sebou, vznikl tak řadový osmiválec. Velký krok kupředu ve vývoji 8válcových motorů pak učinila automobilka Bugatti, která sklidila obrovský úspěch s modelem Type 35. Ten disponoval 2 litrovým osmiválcem se třemi ventily na válec. Měl litinovou hlavu a pětkrát uloženou klikovou hřídel, což umožnilo točit motor až do 6000 tisíc otáček za minutu. Maximální výkon pak byl celých 90 koní.



Obr 5. Bugatti Type 35 [5]

Protože od 20 let 20. století byl povolen maximální objem motoru pouze 2 litry, což znatelně omezovalo výkon, začaly se motory přeplňovat pomocí kompresorů, což umožňovalo dostat do motoru více vzduchu. Používala se dmyhadla s pohyblivými lopatkami, která ovšem trpěla špatným mazáním a jinými technickými neduhy. Druhý typ byl dnes známý kompresor Roots, se dvěma podélně uloženými protiběžnými písty.

Ve druhé polovině 20. let pak byl obrovský rozdíl mezi přeplňovanými motory a těmi bez kompresoru. Přeplňované motory najednou byly schopny dosáhnout objemového výkonu až 100 koní/litr, čemuž pomohlo i značné zvýšení otáček motorů, a to až na 7000 1/min.

Prvním úspěšným vozem s přeplňovanou pohonnou jednotkou byl vůz Alfa Romeo P2, který vyhrál Grand Prix ACF v roce 1924. Řadový 8válec byl složen ze čtyř 2válcových bloků s ocelovou vložkou o vrtání 61 mm a zdvihem 85 mm. Výkon vozu byl 140 koní při 5000 otáčkách za minutu. Přeplňován byl kompresorem Roots.

Začátkem 30. let nastalo tzv. volné období, kdy závodní vozy byly téměř neomezeny pravidly, navíc bylo již možné stavět jednomístné karoserie. V tomto období tak vznikaly nejobjemnější motory dosahující výkonu až 300 koní. Vozy dosahovaly stále vyšších rychlostí, ale celková bezpečnost závodění byla velmi nízká. V roce 1934 se tak omezila maximální hmotnost na 750 kg. V tomto období začala automobilka Auto-Union používat motory V16 s rozevřením válců 45°. Každý válec měl jeden sací a jeden výfukový ventil a všechny ventily byly ovládány jedním vačkovým hřídelem. Kompresor Roots byl umístěn mezi karburátor a motor. Klikový hřídel byl sešroubován a uložen na valivá ložiska. Tento motor byl následně uložen do vozu Auto-Union Type C, který hned při své první jízdě překonal 3 stávající světové rekordy. Jeho maximální rychlost byla až 340 km/h.



Obr 6. Auto Union Type C [6]

Během 30. let vznikaly pro vrcholové závodění obrovské motory o 8, 12 nebo 16 válcích. Nejvýkonnější z těchto motorů dosahovaly i přes 600 koní a dosahovaly vysokých otáček. Spotřeba těchto motorů však vůbec nebyla příznivá, někdy motor spotřeboval i více než 100 litrů paliva na 100 km.

Proto se v tomto období začalo dařit nižší soutěži s méně objemnými motory, tj. s objemem do 1,5 litru. Soutěž byla finančně bližší i menším společnostem, bezpečnější a stala se velmi oblíbenou v Itálii a ve Velké Británii. Motory dosahovaly výkonů okolo 200 koní.

Od 50. let jsou nejprestižnější závody Formule 1, které tak nahrazují Grand Prix. V této době je konstrukce vozů velice rozmanitá, závodí se s motory od 4válců po 12válců, vidlicové motory nejsou moc běžné. Otáčky nepřesahují 8000 1/min.

V 60. letech se počet válců dělí na 8 nebo 12 válců, obvykle se 4 ventily na válec. K zapalování směsi se začalo používat tranzistorové zapalování a otáčky motorů se dostávají k 10000 1/min.

Začátkem 70. let jezdí nejvíce vozů s motory Cosworth V8 o objemu 3 litry a rozevření válců do 90°. S vrtáním 85 mm a zdvihem 65 mm tak dosahoval motor 400 koní při 9000 otáčkách za minutu. Ferrari mělo plochý 12válec.

V roce 1977 představil Renault motor přepřňovaný turbodmychadlem, jednalo se o 1,5 l V6 s rozevřením válců do 90°. Dosahoval výkonu až 500 koní při 11000 1/min. Pro svou nespolehlivost zůstala většina automobilek stále u atmosféricky plněných motorů.

Velká změna nastala začátkem 80. let. Elektronicky řízené vstřikování a zapalování přispělo ke zvýšení výkonu motorů a jejich lepšímu využití. Díky těmto zlepšením se začaly hojně užívat turbodmychadlem přepřňované motory, bylo totiž možné mnohem přesněji řídit zapalování a zamezit tak samozápalům. Motory v tomto období dosahovaly výkonu až přes 1000 koní. V regulaci mělo pomoci omezení maximální spotřeby.

Začátkem 90. let přišli na trh Honda a Renault s novými 10válcovými motory, kdy se podařilo hmotnost pohonné jednotky dostat pod 100 kg, otáčky šly až k 15000 1/min. Renault navíc disponoval pneumatickým ovládním ventilů. Ferrari a Yamaha pro změnu disponovaly 5 ventily na válec.

V roce 2006 bylo nařízeno, že všechny týmy musí mít motory o maximálním objemu 2,4 l V8 s vrtáním 98 mm a tím pádem zdvihem 39,8 mm. Motor musel být atmosféricky plněn a v roce 2007 byly navíc omezeny maximální otáčky na 19000 1/min. Navíc musí motor mít 4 ventily na válec a bylo zakázáno variabilní časování ventilů. S takovýmito regulacemi bylo možno dosáhnout až 700 koní.

Od roku 2014 byla pohonná jednotka nahrazena motorem 1,6 l V6 turbo. Maximální otáčky jsou omezeny na 15000. Aktuálně motory závodním týmům poskytují firmy Honda, Renault, Ferrari a Mercedes. O pohon se dále starají i podpůrné elektrické systémy, které využívají energii mařenou při brždění nebo energii výfukových plynů.



Obr 7. Motor Formule 1 výrobce Renault [7]

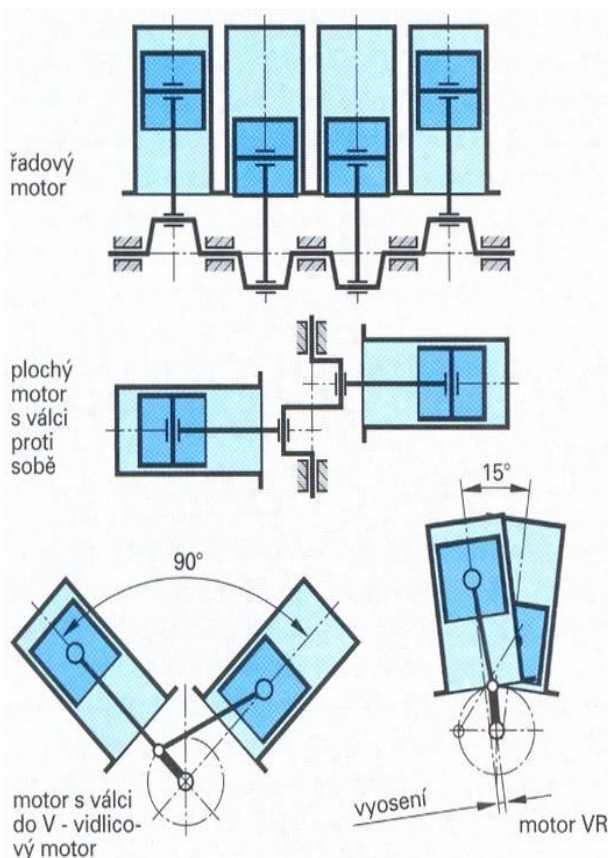
2.3. Dílčí komponenty

2.3.1. Motor a jeho části

Běžný spalovací motor se skládá z bloku motoru, v němž je uložen klikový hřídel s ojniciemi a písty. Pod blokem motoru je přišroubována kliková skříň a olejová vana. Na vrch bloku se přišroubuje hlava motoru s vačkovým hřídelem a ventily.

Tvar motoru samotného se liší zejména podle počtu válců a způsobu uložení. Rozlišujeme řadové motory, vidlicové, hvězdicové, boxery a wankelův motor.

Řadové motory jsou nejběžnější a historicky nejpoužívanější. Dle velikosti pak pohánějí od motocyklů a malých vozidel až po nákladní loď. Vidlicové motory se používají zejména ve sportovních vozech a motocyklech. Úhel rozevření bývá 90° nebo 60° . Motor typu boxer dnes používá pouze automobilka Subaru, Porsche a BMW ve svých motocyklech, v minulosti ale byly běžnou součástí automobilové dopravy, např. v legendárním VW Beetle. Hvězdicové motory se dříve používali v letecké dopravě, dnes už se ale nevyrábí. Wankelův motor byl hojně užíván v japonských sportovních vozech, měl ale vysoké nároky na údržbu a životnost ve srovnání s klasickými pístovými motory byla mizerná. Dnes se používá



Obr 8. Schéma uložení válců v motoru [8]

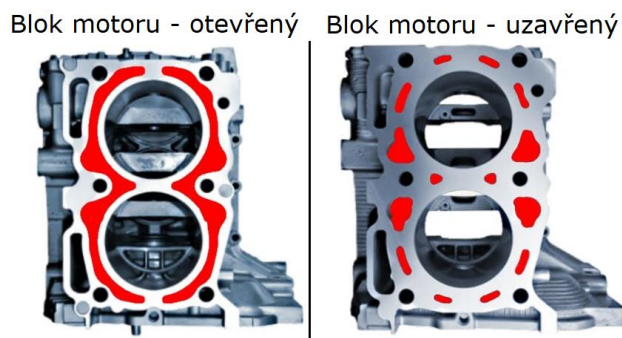
pouze jako Range Extender, tedy k výrobě elektrické energie v hybridních vozidlech. Motor typu VR je speciální kategorií pístového motoru se kterou přišel koncern VW v 80. letech. Jednalo se o šestiválec, později pětiválec, který nabízí vysoký

výkon, ale disponuje menšími zástavbovými rozměry než V6 a řadový šestiválec. Proto byly vhodné pro montáž do tzv. hothatchů menších coupe.

2.3.1.1. Blok motoru

Blok motoru je základní část motoru. V dnešní době již bývá vyroben z hliníkových slitin, v minulosti to však byl litinový odlitek. V bloku jsou umístěny válce, chladicí kanály, otvory pro klikový hřídel a pro jeho uložení, montážní prvky pro uchycení převodovky, případně dalšího příslušenství (držák alternátoru apod.). Pro menší motory se blok odlévá jako jeden kus, velké motory však mohou mít blok i z více kusů.

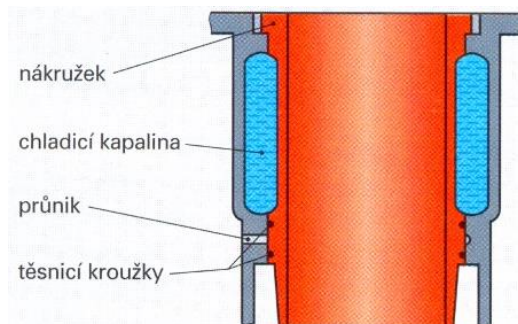
Uzavřené provedení litinového bloku motoru se nejčastěji používá pro dieselové motory. Stěny válce jsou pak přesně vrtány a honovány. Stěny válce pak vykazují velice dobrou odolnost vůči opotřebení.



Obr 9. Chlazení bloku motoru [9]

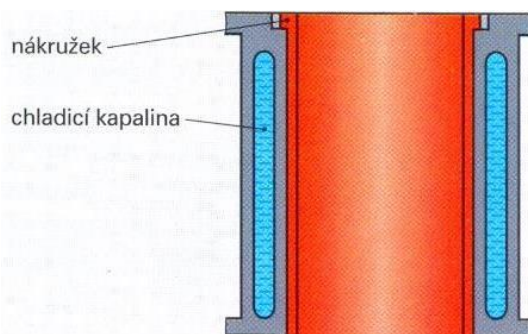
Některé motory využívají tzv. vložek válců. Jedná se o vložku vyrobenou s kvalitní legované litiny s velmi kvalitním vnitřním povrchem. Vložky válců se rozdělují na suché a mokré.

Mokré vložky válce jsou z vnějšku přímo chlazeny vodou, stěna válce proto rychleji reaguje na odvod tepla. Na spodní straně jsou utěsněny pryžovým nebo měděným těsněním, nahoře pak těsněním hlavy válců. Tato varianta je méně náročná na výrobu a případné opravy, blok však není tak tuhý jako se suchými vložkami.



Obr 10. Schéma otevřeného chlazení válce [10]

Suché vložky jsou nalisovány přímo do bloky, nepřijdou tedy přímo do styku s hladícím médiem. Jejich stěna zpravidla bývá tenčí než stěna mokrých vložek.



Obr 11. Schéma uzavřeného chlazení válce [11]

U otevřených bloků z hliníkových sloučenin se za účelem snížení tření, lepšího odvodu tepla nebo za účelem zvýšení odolnosti proti opotřebení provádí speciální povrchové úpravy.

Lokasil je povrchová úprava prováděna pro zvýšení odolnosti proti opotřebení. Při výrobě se do válců zalévají křemíkové vložky válců. Po honování pak zůstává ve válci povrch z křemíkových krystalů.

Nikasil zajišťuje také vyšší odolnost proti opotřebení, jedná se ale o galvanické pokovení stěny válce niklem s karbidy křemíku.

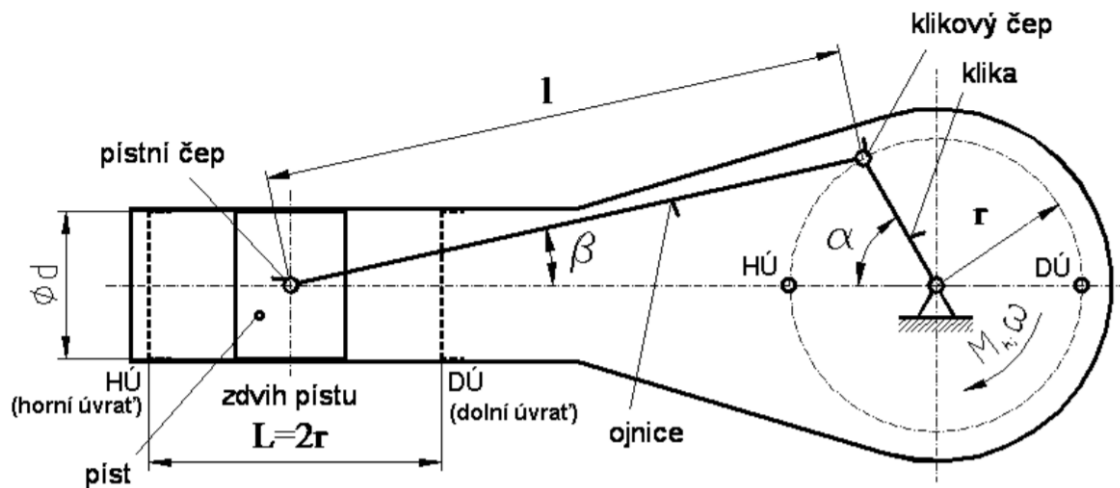
Alfin je pokovení povrchu válce slitinou železa a hliníku. Takto upravený povrch má lepší tepelnou odolnost.

Alusil je sloučenina hliníku a silikonu. Válec se nejdříve naleptá a poté honuje. Tuto technologii používají evropské automobilky na výrobu více válcových motorů.

Blok motoru závodního vozu je navrhován s mnohem vyšším důrazem na odvod tepla a nízkou hmotnost. Povrch též musí být odolnější, protože otáčky jsou posunuty výš než u běžných motorů. S moderními technologiemi je běžnou praxí, že pokud se jedná o malé jednotky kusů bloků, nechávají si úpravci tyto bloky na míru frézovat.

2.3.1.2. Klikový mechanismus

Klikový mechanismu ve spalovacím motoru slouží k přeměně posuvného pohybu pístu v rotační mechanickou práci. Při expanzi spaliny tlačí spaliny na horní plochu pístu a tlačí jej směrem dolů. Píst, který je pístním čepem spojen s ojnicí, tak tlačí na klikový hřídel a otáčí jím.



Obr 12. Klikový mechanismus [12]

2.3.1.2.1. Klikový hřídel

Klikový hřídel je základním prvkem mechanismu. Na hřídeli najdeme několik ploch sloužících k uložení v bloku, tyto plochy jsou vždy v jedné ose, jsou obrobeny do co nejhladší podoby a často bývají ještě povrchově upraveny. Excentricky vůči hlavní ose rotaci jsou umístěna uložení ojníc. Tyto plochy bývají opracovány stejně jako ty pro uložení samotné hřídele. Hřídel je vždy vyvážen závažími, jež se zpravidla neobrábí. Napříč klikovým hřídelem jsou pak navrtány otvory pro prostup chladícího média. Na konci klikového hřídele obvykle najdeme montážní díry pro setrvačnick. Konstrukce klikových hřídelů se pak různí podle počtu válců, uspořádání pístů a úhlu rozevření.



Obr 13. Klikový hřídel [13]

V dnešní době jsou hřídele již vyráběny v jednom kuse, v minulosti se kvůli ložiskům však vyráběly i šroubované hřídele. Výrobek může být buď odlitek nebo dnes již běžně výkovek. Kované klikové hřídele snášejí vyšší zatížení, zatímco odlévané bývají levnější. Používají se pak v méně výkonných menších motorech.

U závodních motorů je kladen důraz především na pevnost a dobré chladicí vlastnosti, resp. dobrý prostup chladící média pod kluzná ložiska.

2.3.1.2.2. Ojnice

Ojnice je člen spojující klikový hřídel s pístem. Ve spodní části je ojnice přes kluzné ložisko spojena s klikovým hřídelem. Aby bylo možné realizovat tento spoj, je ojnice v dolní části rozdělena. Část spodního oka se pak přišroubuje. Některé ojnice mají rovinu řezu spodním okem kolmou na osu ojnice, jiné mají tuto rovinu pootočenou, aby bylo možné ojnici nasunout dovnitř skrz vrchní otvor válce. Skrz horní oko většinou vede díra pro mazání pístního čepu.

Ojnice je namáhána velkou řadou sil, především na vzpěr, ale i na tlak a ohyb, je tedy nutná její vysoká pevnost. U běžných zážehových

2.3.1.2.3. Píst

Píst je teplem nejvíc namáhanou součástí spalovacího motoru a přes pístní čep je přenášena veškerá práce na ojnici. Spodní strana pístu bývá chlazena olejem.

Písty dieselových motorů mívají spalovací prostor přímo v pístu, nejčastěji tvaru omega. Většina ostatních pístů má vrch rovný případně s odebráním na ventily. Takovou anomálií mohou být písty Hemi využívané v amerických motorech, které mají vrch pístu vypouklý. Písty se vyrábí buď jako odlitky nebo výkovky ze slitin hliníku vždy s kombinací následného obrábění.

K pístu také náleží pístní kroužky, zpravidla bývají 3. Horní bývá těsnící, má za úkol co nejlépe utěsnit prostor nad pístem. Spodní kroužky jsou stírací, mají za úkol

2.3.1.3. Hlava motoru

Hlava motoru zakrývá válce a jsou v ní uloženy ventily s vačkovými hřídeli a zapalovací svíčky nebo vstřikovače paliva. Hlava svou spodní stranou uzavírá válce

motorů se jedná o odlitek u vznětových a závodních motorů jsou však síly mnohem vyšší, proto se pak vyrábí kováním.



Obr 14. Ukázka závodní kované ojnice [14]

stírat ze stěny usazený olej. Pod stíracím kroužkem bývají v pístu malé dírky, přes kroužek se pak olej dostane zkrz píst zpátky. Kroužky v uvolněném stavu mají větší průměr než píst, aby dobře doléhaly na stěnu válce. V jednom místě je navíc kroužek vždy přerušen, aby šel na píst nasadit.

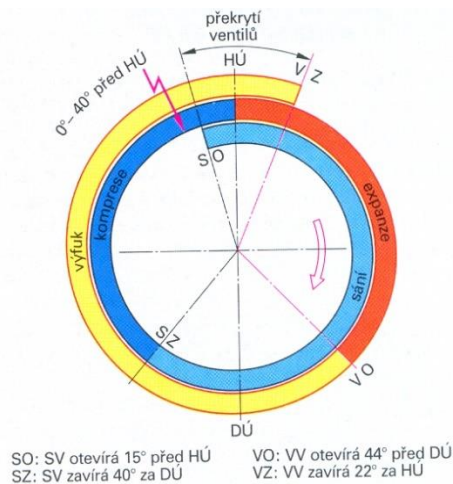


Obr 15. Píst a pístní čep [15]

a ve velké míře tak ovlivňuje spalovací prostor a kompresní poměr. V hlavě se také nachází sací a výfukové kanály.

2.3.1.3.1. Ventilový rozvod

Ventilové rozvody se používají u 4dobých motorů, kde řídí otvírání a zavírání ventilů. Když je otevřen sací ventil, dochází k plnění válce novou směsí (nebo jen vzduchem), když je otevřen výfukový ventil, dochází k vypuštění spalin do výfukového systému. Časování ventilů je nesmírně důležité pro správnou funkci motoru. Za účelem lepšího vypláchnutí válce a lepšího plnění se otvírací časy ventilů lehce překrývají. Dle konstrukce pak dělíme rozvody na konvenční a variabilní.

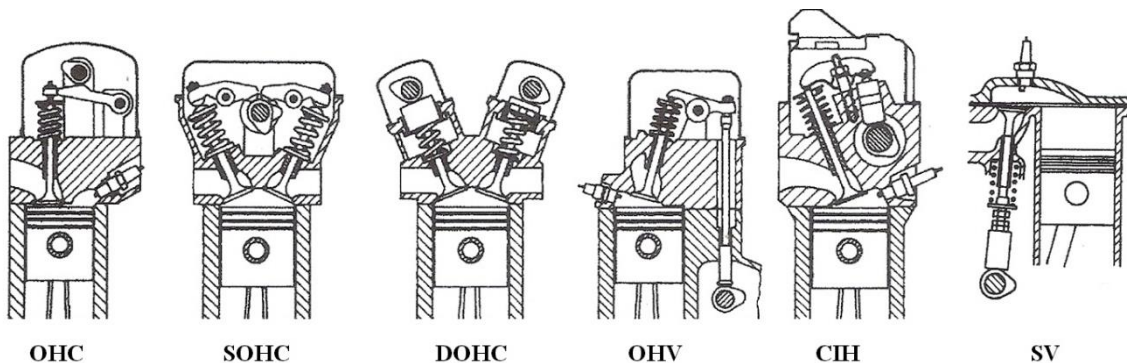


Obr 16. Schéma časování ventilů [16]

Vačkové hřídele jsou poháněny řetězem nebo řemenem. Převod řetězovými koly disponuje vysokou životností a spolehlivostí, je však hlučnější nežli varianta s řemenem. Ta je však mnohem náročnější na údržbu. V ojedinělých případech se používá i převod ozubenými koly. Ve větší míře se používají u zemědělských strojů, kde se na tento převod dá připojit i náhon různých pomocných zařízení.

a) Konvenční

Konvenční ventilový rozvod je neměnný v průběhu chodu motoru, s měnícími se otáčkami motoru je tedy časování stále stejné. Vačkový hřídel se točí dvakrát pomaleji než klikový hřídel, právě protože se jedná o 4dobý motor a píst tudíž musí urazit svou dráhu dvakrát.



Obr 17. Schématické zobrazení typů uložení ventilů [17]

OHC (Over head valves) – ventily jsou umístěny v hlavě válců stejně jako vačkový hřídel. Mezi vačkou a ventilem obvykle bývá jen zdvihátko, popřípadě jsou ventily ovládány přes vahadla, a vratné pružiny. Počet komponent tohoto rozvodu je tedy minimální, přesto dosahuje velice přesného řízení ventilů. Nevýhodou však je velká vzdálenost vačkového a klikového hřídele, řetěz či řemen musí proto mít vlastní napínák. V minulosti to byl nejpoužívanější rozvodový mechanismus. První motory s tímto rozvodem se objevily v letech 1902 a 1903.

SOHC (Single over head camshaft) – v podstatě se jedná o stejný systém jako OHC, ventily jsou ovšem umístěn ve dvou řadách. Většina motorů s tímto rozvodem má 2 ventily na válec. Ventily jsou ovládány přes vahadla.

DOHC (Double over head camshaft) – Dva vačkové hřídele jsou uloženy spolu s ventily v hlavě válců. Pro tento rozvod jsou typické 4 ventily na válec. Jeden hřídel ovládá sací ventily a druhý výfukové. První motor s tímto rozvodem vyvinula společnost Peugeot a v roce 1913 s ním vyhrála Grand Prix. V dnešní době je toto nejrozšířenější typ rozvodového mechanismu.

OHV (Over head valves) – Ventily jsou umístěny v hlavě válců, ale vačkový hřídel je umístěn v bloku. Ventily jsou ovládány přes vahadla a zdvihací tyčky. Ve srovnání s OHC rozvodem je jednodušší pohon vačkového hřídele, avšak počet komponent tohoto rozvodu je vyšší. To má nepříznivý dopad na setrvačné síly. U vysokootáčkových motorů je tento typ rozvodu nedostačující. Typickým příkladem pro tento typ rozvodu jsou americké motory V8.

CIH (Camshaft in head) – Podobná konstrukce jako OHV, vačkový hřídel je však uložen v hlavě, ventily jsou však ovládány přes zdvihátka a vahadla. Tento typ uložení používaly převážně motocykly BMW, dnes se už nepoužívá.

SV (Side valves) – Ventily jsou oba umístěny po straně válce. Tento typ se dnes používá už jen v zahradní technice a malých méně výkonných motorech. Spalovací prostor tohoto motoru je posunut částečně mimo píst.

Desmodromický rozvod – tento typ rozvodu nepoužívá vratné pružiny, ale ventil je otvírán i zavírán vačkou. Výhoda tohoto mechanismu spočívá v okamžité reakci, je proto vhodný pro vysoce otáčkové motory. Za vznikem stojí opět Peugeot, ale dnes ho používá jen Ducati u svých sportovních motorek.



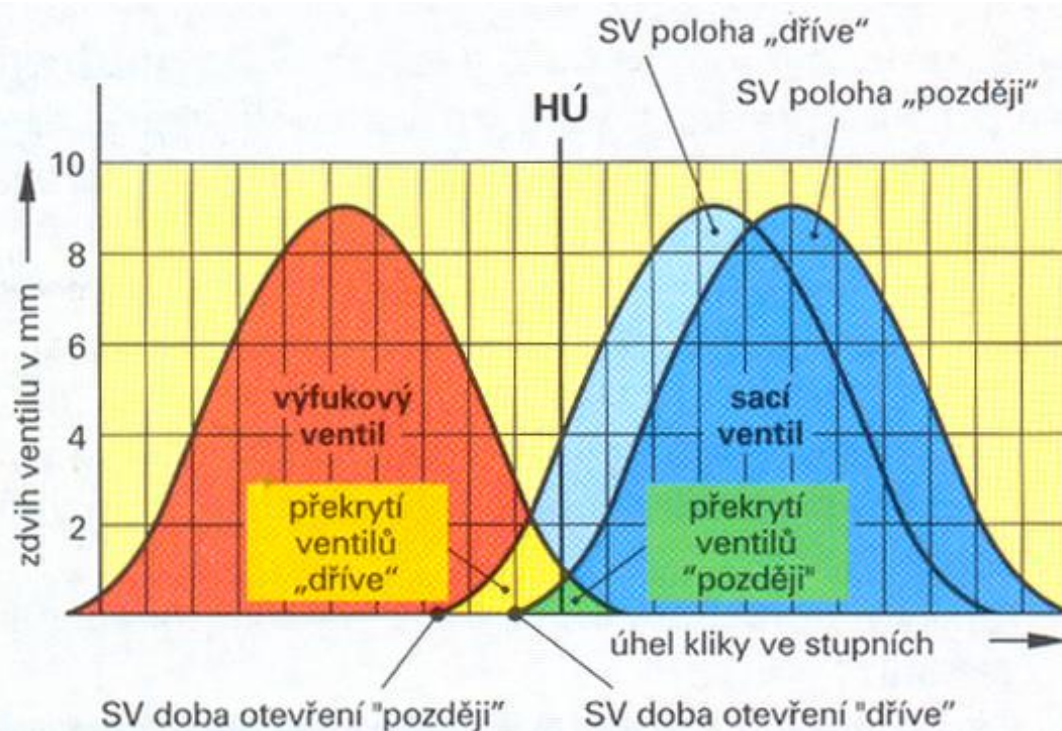
Obr 18. Desmodromický rozvod
Ducati [18]

b) Variabilní

Variabilní systém otvírání ventilů umožňuje jiné časování v průběhu otáček motoru. Hlavní výhodou tak je pružnější chod motoru, vyšší výkon, nižší spotřeba i emise. Nevýhodou však je relativně složitý systém a vyšší náklady.

Dělí se na 3 hlavní kategorie. Proměnné časování sacích ventilů, ovládání vačkového hřídele a plně variabilní rozvody.

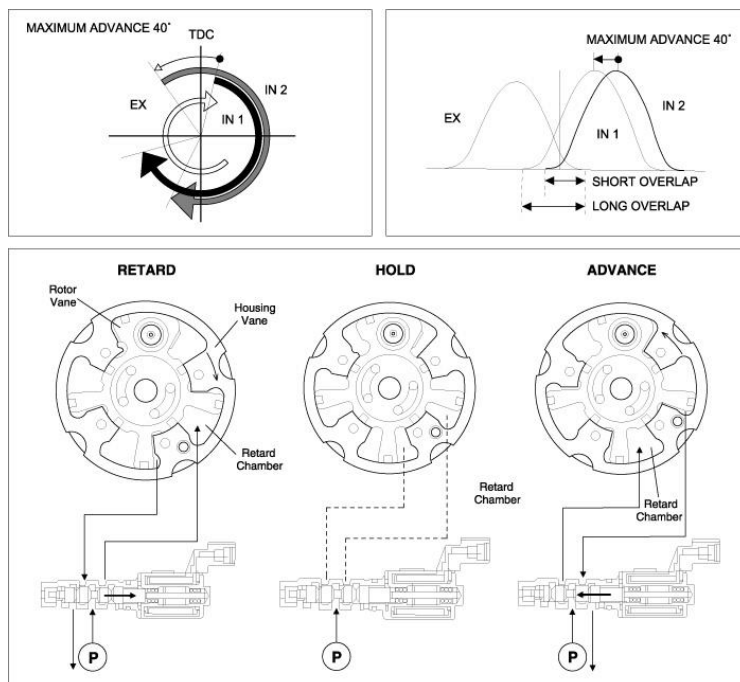
Variabilní časování sacích ventilů probíhá přes hydraulický napínák, který je řízen řídicí jednotkou. Ta pootáčí vačkový hřídel vůči ventilům tak, aby v určitém spektru otáček byly ventily otvírány a zavírány dříve či později. Zpravidla to bývá v rozmezí do 2000 1/min, od 2000 do 5000 1/min a od 5000 výše. V prvním spektru je dosahováno lepšího průběhu spalování a nižších volnoběžných otáček. Ve středních otáčkách je pak vačkový hřídel posunut a ventily se zavírají dříve. Tím je zlepšen průběh točivého momentu a dochází k vnitřní recirkulaci výfukových plynů, což snižuje teplotu při spalování a množství oxidů dusíku. Při nejvyšších otáčkách se pak sací ventil zavírá až při kompresním zdvihu pístu. Díky vysoké rychlosti proudění tak dochází k přepliňování válce, což opět lehce zvýší výkon motoru. Tento systém byl použit například u prvních Octavií RS.



Obr 19. Schéma variabilního časování [19]

Při variabilním časování vačkového hřídele je hřídel plynule pootáčen vůči rozvodovému kolu. U jednotky Vanos (pouze sací ventil) nebo double Vanos (již pro sací i výfukovou vačku) používanou u BMW se rozvodové kolo odvaluje po šikmém ozubení, vačkový hřídel je zde součástí rozvodového kola. Sací ventily tak mají rozsah až 60° a výfukové 40°. Posuv je řízen hydraulicky podle otáček a zatížení motoru.

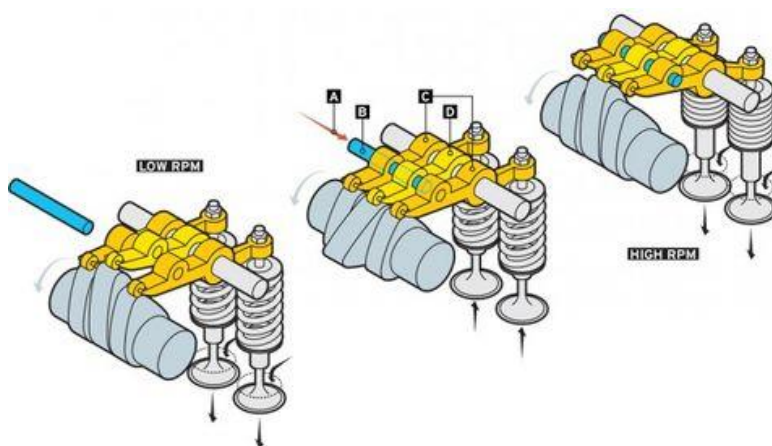
System CVVT, který je využíván u korejských automobilek, využívá také hydraulický rozvod, avšak rozvodové kolo zde není součástí hřídele. Olej je tlakem hnán do komor uvnitř skříně rozvodového kola, a tak je dosaženo pootočení v rozsahu až 40°. Tento systém je jednodušší i poměrně levnější. Podobné řešení dnes používá i koncern VW (VarioCam) a Toyota (VVT-i).



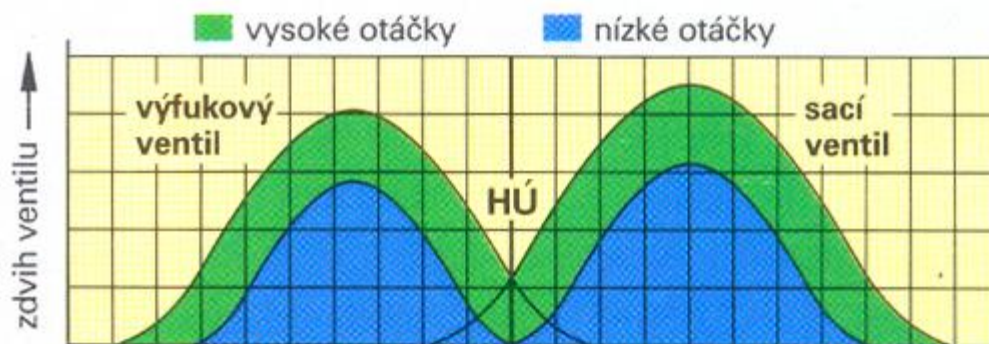
Obr 20. Schéma CVVT [20]

Plně variabilní časování je provozováno buď jako skoková změna (V-tec) nebo plynulá, kdy lze plně nahradit škrtkící klapku.

System V-tec vznikl v soutěži F1 a je určeno pro 4 ventily na válec. Na vačkovém hřídel jsou umístěny 3 vačky a ventily jsou řízeny třemi vahadly. Prostřední vačka je ostřeji tvarovaná, zajišťuje vyšší zdvih (až o 3 mm) a jiné časování ventilů. Při nižších otáčkách se tato prostřední vačka pohybuje nezávisle a ventily jsou řízeny krajními pozvolněji vačkami. Vy vysokých otáčkách jsou ale všechny tři vačky propojeny a ventily jsou tak řízeny ostrou vačkou, dochází tak ke zvýšení výkonu motoru.



Obr 21. Schéma technologie V-tec motorů Honda [21]



Obr 22. Porovnání vaček systému V-tec [22]

Systém Valvetronic používá nastavovací motorek a úplně redukuje škrtkící klapku. Zdvih ventilu je potom nastaven podle polohy akceleračního pedálu. Mezi vačkový hřídel a vahadlo je zde umístěn přestavovací mechanismus řízen motorkem, který vymezuje polohu mezivahadla. Mezivahadlo je pak schopno měnit zdvih ventilu od 0,3 do 9,7 mm v neuvěřitelně krátkém čase. Valvetronic je systém používán v BMW v kombinaci s Double Vanos. Konstrukčně podobný pak je i Valvematic u Toyoty v kombinaci s Dual VVT-i a také MIVEC od Mitsubishi.

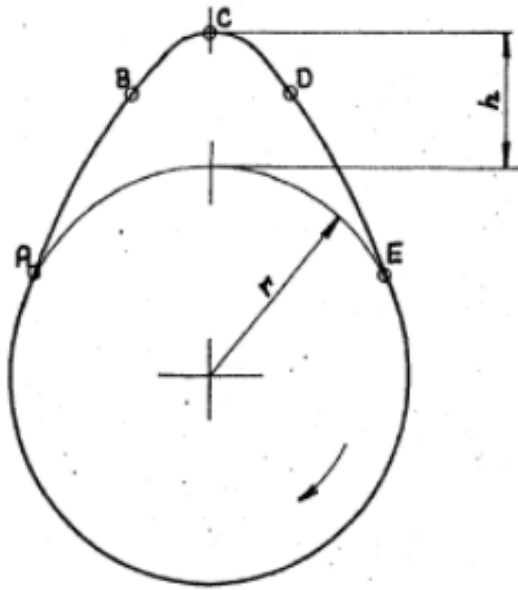
Další velice zdařilý systém je Fiat MultiAir (TwinAir), u kterého jsou sací ventily ovládány nezávisle na vačkovém hřídeli. O otvírání a zavírání se zde stará elektrohydraulický člen.

Firma Koenigsegg používá Freevalve systém, kdy úplně nahradila vačkový hřídel řízením ventilu kombinací hydrauliky a pneumatiky. Ventil tak je možno řídit absolutně nezávisle dle potřeby. Nevýhodou je ovšem obrovská konstrukční náročnost a výrobní náklady.

Pro sportovní účely jsou většinou použity technologie výrobce podle toho, jaký motor se upravuje. Variabilní časování je však velice žádoucí. Upravený motor většinou točí více otáček než sériový, podle analýzy rychlostí a zrychlení dílčích komponent rozvodu se pak velice často volí tvrdší pružiny, aby neodsakovaly ventily. Pokud motor nemá možnost variabilního časování, často se originální rozvodové kolo nahrazuje stavitelným, aby bylo možno přenastavit polohu vačkového hřídele vůči tomuto kolu.

2.3.1.3.1.1. Vačkový hřídel

Jedná se o speciálně vyrobený hřídel, který je osazen vačkami. Vačky mají vejčitý tvar a svým natočením vymezují posuv ventilu. Tento tvar pak přímo ovlivňuje tvar zdvihové křivky, velikost zdvihu a doby otevření a zavření ventilu. Zpravidla to bývá výkovek z legované oceli s přesně obrobeným a broušeným tvarem vačky. Funkční plocha vačky je následně povrchově upravena, nejčastěji cementací nebo kalením, aby byla zajištěna dlouhá životnost dílu.



Obr 23. Schéma vačky [23]

Základní geometrie vačky spočívá v jejím základním poloměru, maximálním zdvihu a otvírací a

2.4. Závodní použití

Motory sériových automobilů jsou navrženy tak, aby byly funkční v plném rozsahu otáček a je kladen důraz na životnost, avšak vždy je nutné udělat nějaký kompromis. V dnešní době se například ve velké míře motory omezují emisními normami a hledí se na spotřebu. Pokud však navrhujeme motor pro závodní účely, máme kritéria pro funkci motoru jiná. Motor se tak vždy navrhuje v souladu s pravidly dané soutěže a navrhuje se konkrétně pro jeden přesný účel. Je tedy zřejmé, že jinak bude vypadat motor určen pro závod ve sprintu, kdy od něj očekáváme krátkodobě obrovský výkon, a jinak bude vypadat motor pohánějící okruhové speciály. Pokud tedy stavíme motory pro závodní použití, počítáme s tím, že motor bude plně funkční pouze v určitých podmínkách.

2.4.1. Paliva

Výkon motoru je závislý na tom, kolik energie jsme schopni ve válci z paliva přeměnit na mechanickou práci. Protože práci nevykonává samotné palivo, ale směs paliva se vzduchem, je nutné dosahovat při spalování ideálního poměru těchto složek, tomuto poměru se říká stechiometrický poměr. Z motorových zkoušek je však známo, že maximálního výkonu je dosaženo ne při dosažení stechiometrického poměru, ale při částečně bohatší směsi, zatímco maximální tepelné účinnosti motor dosahuje při spalování směsi chudší.

V rámci zvýšení výkonu motoru je však téměř vždy použít jiné palivo než běžný benzín s oktanovým číslem 95. Závodní motory totiž mívají kompresní poměr vyšší a u tohoto běžného paliva by bylo riziko samovznícení vysoké, proto se v mnoha soutěžích jezdí na vysokooktanová paliva, která jsou schopná odolat vysokým tlakům v motoru a jsme je schopni zažehnout, když je třeba.

zavírací křivce (náběžné a úběžné straně). Vačky mohou být jak symetrické, tak rozdílné. Tvar je navržen tak, aby v nejčastěji užívaném rozsahu otáček poskytoval motoru co nejlepší plnění válce, točivý moment, výkon a samozřejmě i co nejnižší spotřebu.

Sportovní vačky mají oproti sériovým mnohem ostřejší průběh. Podle naladění vačky je pak motor použitelný v určitém spektru otáček. Hodně ostrá vačka znamená, že motor bude fungovat pouze ve vysokých otáčkách a v nízkých bude minimum výkonu, pokud tedy potřebujeme výkon v širším spektru, je třeba to dohnat buď na počtu převodových stupňů nebo na proměnném časování.

2.4.1.1. Ethanol

V minulosti se v hojné míře používalo palivo E85 (v zahraničí se stále používá), což byl z 85% ethanol a z 15% benzín. Oktanové číslo se pohybovalo okolo 106 a díky tomu, že ethanol sám o sobě obsahuje kyslík, tak mnohem rychleji hoří, což zvyšuje tepelnou účinnost. Vozidla s tímto palivem dosahují mnohem vyšších výkonů, menších emisí a trochu vyšší spotřeby. Jeho hlavní nevýhodou ale je, že je mnohem sušší než samotný benzín a dochází tak k poškození ventilových sedel. U nás je navíc velice obtížné jej sehnat, ale dlouhou dobu bylo součástí evropských trhů s palivy. Používalo bylo od 30. let minulého století, a to převážně pro sportovní účely. Dnes se však spíš ethanol v malé míře přidává do benzínu, než aby ty bylo obráceně.

2.4.1.2. Oxid dusný

Další možností, jak zvýšit výkon při spalování paliva je k němu vstříkovat N_2O neboli rajský plyn. Vstříknutím do spalovacího prostoru dojde k prudkému ochlazení směsi a kyslíku se tedy do prostoru vejde víc. To je samozřejmě spojeno i vyšší dávkou paliva. Vstříkování této složky dokáže zvednout výkon o cca 1/3 výkonu, je však nutné myslet na namáhání komponent motoru. Systém je navíc velice náchylný na přesné řízení dávky paliva. Podle způsobu zavedení se pak rozlišuje suché, mokré a přímé vstříkování. Oxid dusný se ve vozidlech skladuje v tlakových lahvích a jeho dávkování bývá omezeno, nevstříkuje se tedy v celém průběhu, ale pouze když je požadavek na okamžitý výkon.



Obr 24. Lahve s N_2O [24]

2.5. Změna mapy řídicí jednotky

Dnešní motory už jsou tak provázány elektronikou, že bez ní neumí fungovat. Dřív tomu ale tak nebylo, proto pokud se někdo rozhodne upravovat starší motor, ve velké míře je ovlivněn parametry karburátorů a jejich naladěním. Aby se v moderních motorech dala měnit dávka paliva, je již k zapotřebí softwarový přístup.

Sériové motory jsou používány v poměrně široké škále otáček a je od nich vyžadovaná vysoká spolehlivost, dlouhá životnost, nízká spotřeba a dodržení emisních norem. Proto je základní mapa motoru naladěna tak, aby všechny tyto požadavky byly splněny. U závodních motorů nás ale tyto parametry až tak nesvazují. Životnost takových strojů se nepočítá na stovky tisíc kilometrů, ale na tzv. motohodiny a potom se celý motor rozebere a opraví, případně vymění inkriminované komponenty. Na to konto je možné mapu úplně přenastavit a zajistit tak, aby motor fungoval ideálně v námi požadované škále otáček a je možno vyzdvihnout právě ten parametr, který nás zajímá, např. výkon nebo spotřeba.

Do jisté míry se dají upravovat i sériové řídicí jednotky, ale ne každá jednotka upravovat jde, a když už náhodou ano, tak většinou není možné nastavovat všechny parametry nebo ne v takové škále, jako by bylo potřeba. Úprava stávající mapy se hojně říká chiptuning a je možné tak některým vozům dopřát trochu vyšší výkon, nebo zajistit právě nižší spotřebu. Pokud ale potřebujeme nastavit více parametrů, je nutno zakoupit plně programovatelnou jednotku. Na tomto poli dnes poměrně dominují výrobci Haltech a ECUmaster.



Obr 25. Řídicí jednotky Haltech [25]

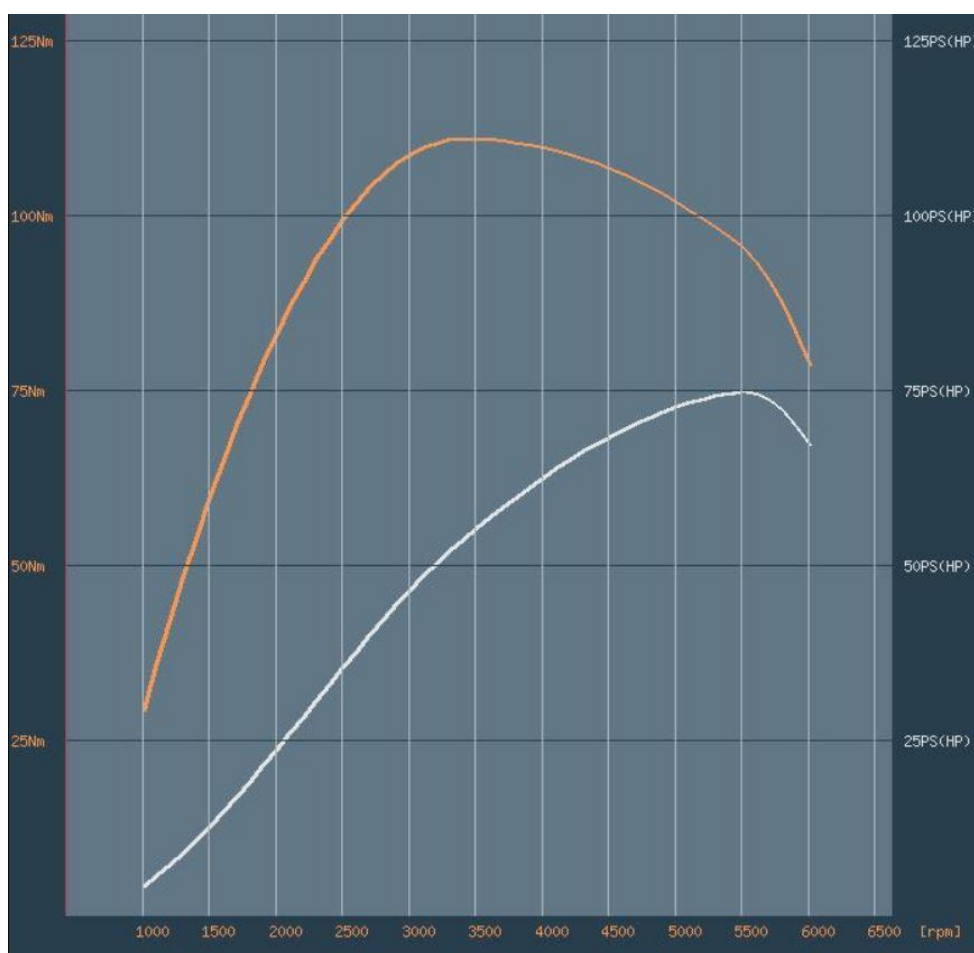
3. Praktická část - uvedení do problematiky

3.1. Motor

Motor, který jsem se rozhodl použít a upravit, je původně z vozu Peugeot 106 z roku 2001. Jedná se o atmosféricky plněný zážehový řadový 4válec s 8 ventily a rozvodem SOHC. Kompresní poměr motoru je 10,2:1 a nese označení TU3JP. Motory řady byly od poloviny 80 let minulého století hojně užívány v celé řadě menších modelů koncernu PSA. V různých variacích byly navíc použity i v řadě okruhových a rallyových speciálů.

Objem	1360 ccm
Vrtání	75 mm
Zdvih	77 mm
Maximální výkon	55 kW (75 hp)/5500 ot ⁻¹
Maximální moment	111 Nm/3400 ot ⁻¹

Tab.1 Tabulka základních parametrů motoru TU3JP



Obr 26. Výkonová charakteristika Peugeot 106 1.4 Sport od výrobce

Podle stupně výbavy je motor doplněn buď jednobodovým vstřikem nebo u verze sport a vyšších výbavových stupňů vícebodovým vstřikem do sacích kanálů v hlavě motoru. U některých modelů může být výfuk doplněn o sekundární přívod vzduchu, který snižuje množství škodlivých látek ve spalinách při studeném motoru.

3.2. Pravidla soutěže

Vozidlo, pro které je motor určen, by mělo soutěžit v závodech ve sprintu. Jedná se o soutěž, kdy vozy mají co nejrychleji překonat vzdálenost 400 metrů rovného úseku. Vítězem jednotlivých soutěží se stává nejrychlejší vůz v dané kategorii. Za obsazené příčky dostane řidič body a vítězem celé soutěže se pak stává vůz s nejvíce body na kontě. Pokud by se stalo, že bude mít více soutěžících stejně bodů, rozhodne se na základě počtu získaných předních příček v jednotlivých závodech.

Místo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Body	20	15	12	10	8	6	4	3	2	1

Tab.2 Bodovací tabulka

Vozy se dělí do 2 hlavních skupin, a to do Kategorie I a Kategorie II, tedy jako cestovní vozy a jako speciální vozy.

3.2.1. Kategorie I – Cestovní vozy

B1 – benzin do 1400 ccm

B2 – benzin nad 1400 ccm do 1600 ccm

B3 – benzin nad 1600 ccm do 2000 ccm

B4 – benzin nad 2000 ccm do 2500 ccm

B5 – benzin nad 2500 ccm do 3000 ccm

B6 – benzin nad 3000 ccm do 3500 ccm

B7 – benzin nad 3500 ccm do 4000 ccm

B8 – benzin nad 4000 ccm

B9 – benzin do 4000 ccm 4×4

B10 – benzin nad 4000 ccm 4×4

D1 – diesel do 2000 ccm

D2 – diesel nad 2000 ccm do 2500 ccm

D3 – diesel nad 2500 ccm

D4 – diesel do 2500 ccm 4×4

D5 – diesel nad 2500 ccm 4×4

E1 – elektro + hybridy

V1 – veteráni do r. v. 1991 včetně

Z1 – vozy upravené pro ruční řízení s držitelem průkazu ZTP a ZTP/P

Tyto objemy platí pro atmosféricky plněné motory, pokud by byly přeplňovány, je jejich objem přenásoben koeficientem dle způsobu přeplňování.

Pro vozidla 1. kategorie platí řada pravidel, pro zjednodušení se ale jedná o vozidlo, které musí mít platnou TK a mít platné registrační značky. Jsou však povolené drobné úpravy jak v pohonném traktu, tak v karosařině. Důležité však je, že vůz nesmí použít speciální pneumatiky (slicky), ale musí soutěžit na gumách schválených pro běžná provoz.

3.2.2. Kategorie II – Speciální vozy

Vozidla 2. kategorie takto omezena nejsou. Jediným parametrem je, že musí být bezpečná pro provoz, nejsou tedy nijak limitována, dělí se však do následujících skupin.

- S1 – benzin do 2000 ccm
- S2 – benzin nad 2000 ccm
- S3 – diesel do 2000 ccm
- S4 – diesel nad 2000 ccm

Dle způsobu přepřívání nebo montáže dodatečných zařízení se objem opět násobí daným koeficientem.

3.3. Cíle

Vozidlo by mělo závodit v nejnižší kategorii, tedy ve třídě cestovních vozů do 1400 ccm. Pro zvýšení konkurenceschopnosti vozu je žádoucí zvýšit výkon motoru.

4. Navrhované změny

4.1. Hlava válců

Motory koncernu PSA o objemech 1.1, 1.4 a 1.6 litru s osmiventilovou hlavou sdílí montážní rozměry, je proto velmi příhodné využít hlavu válců z motoru TU5JP (1.6 8v), který disponuje většími ventily a sacími kanály. S použitím větších ventilů jsme schopni efektivněji plnit objem válce.

Hlavu válců je také možno snížit, tj. zmenšit spalovací objem frézováním dosedací plochy, čímž dosáhneme vyššího kompresního poměru. Kompresní poměr však nesmí být moc vysoký, protože narůstá tlak ve válci a dílčí komponenty by se mohly takovým tlakem poškodit. Potom by se hodilo použít kované písty a ojnice, které takové tlaky snesou. Z finančních důvodů však ponecháme v motoru sériové komponenty, které by měly být dimenzovány až do kompresního tlaku 11.

	1.4 8v (TU3JP)	1.6 8v (TU5JP)
Průměr talířku	36,8 mm	39,4 mm
Úhel sedla	45°	45°
Průměr dřívku	7 mm	7 mm
Délka ventilu	112,7 mm	111,7 mm

Tab.3 Porovnání rozměrů sacích ventilů

	1.4 8v (TU3JP)	1.6 8v (TU5JP)
Průměr talířku	29,4 mm	31,3 mm
Úhel sedla	45°	45°
Průměr dřívku	7 mm	7 mm
Délka ventilu	112,5 mm	111,5 mm

Tab.4 Porovnání rozměrů výfukových ventilů

4.1.1. Kompresní poměr

Pro určení míry snížení hlavy vyjdeme ze vzorců pro výpočet kompresního poměru.

$$V_c = V_z \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \quad (1)$$

Námi navržený koncový kompresní poměr je 10,8:1, což by měla být bezpečná hranice pro životnost komponent. Nejprve spočteme spalovací objem motoru 1.4.

$$V_{s1.4} = V_{c1.4} - V_{z1.4} = V_{z1.4} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} - V_{z1.4} \quad (2)$$

$$V_{z1.4} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h \quad (3)$$

$$V_{z1.4} = \frac{\pi \cdot 75^2}{4} \cdot 77 = 340,2 \text{ cm}^3 \quad (4)$$

$$V_{s1.4} = 340,2 \cdot \frac{10,2}{10,2 - 1} - 340,2 = 377,2 - 340,2 = 37 \text{ cm}^3 \quad (5)$$

Abychom zachovali stejný kompresní poměr i při výměně hlavy z motoru s větším objemem, musíme zajistit, aby byl její spalovací prostor stejný, jako námi navržený u původní hlavy, viz výpočet výše.

$$V_{z1.6} = \frac{\pi \cdot 78,5^2}{4} \cdot 82 = 397 \text{ cm}^3 \quad (6)$$

$$V_{s1.6} = 397 \cdot \frac{10,2}{10,2 - 1} - 397 = 440 - 397 = 43 \text{ cm}^3 \quad (7)$$

Pomocí odměřování objemu tekutinou bylo zjištěno, že objem spalovacího prostoru pro námi chtěný kompresní poměr 10,8:1 je 35 cm³. Do hlavy 1.6 byl tedy pomocí kontrastní tekutiny odměřen daný objem a míra snížení stanovena na 0,5 mm.



Obr 27. Odměřování objemu pomocí Jaru

4.2. Sací ústrojí

Originální sací potrubí se sestává z mnoha plastových dílců. Celkově se skládá ze vstupního nasávacího kolene, druhého kolene, trubky tvaru harmoniky, difuzoru a dvoudílného airboxu, ve kterém je umístěn oválný vzduchový filtr. Sací otvor má rozměry 86x30 mm, což není mnoho. Navíc se plocha následně zužuje (v restriktoru je průměr jen 30 mm) a ještě tak omezuje průchodnost vzduchu potrubím. Jednoduchou úpravou tohoto sacího potrubí lze dosáhnout lepšího přístupu vzduchu do motoru.



Obr 28. Model kompletního sacího traktu

4.2.1. Prodávaná řešení

4.2.1.1. Kit přímého sání Simota



Obr 29. Sání Simota montované na motoru 1.4 KFX

Relativně levné řešení v podobě plastového nasávače s čelní plochou 0,02 m² (zhruba 10x větší plocha než u sériového provedení), chromové trubky s jedním ohybem o průměru 60 mm a pryžové spojky. Toto řešení nevyžaduje žádné další modifikace v podobě nutných konstrukčních úprav, spojka se nasadí přímo na originální škrtkící klapku. Nasávaný vzduch je ze stejného místa jako u originálního řešení, tedy mezerou mezi kapotou a nárazníkem.

Výrobce udává nárůst výkonu až o 10 hp.

4.2.1.2. Sání K&N



Obr 30. Sání K&N [26]

Levné řešení, velice podobné tomu od Simoty. V tomto případě však filtr

není v žádném boxu (ochranném koši), takže filtr samotný je mnohem náchylnější na nečistoty a na okolní teploty. Vzhledem k tomu, že se nachází v těsné blízkosti výfukových svodů, nasávaný vzduch by byl teplejší a do motoru bychom ho tím pádem dostali méně. Bylo by tedy dobré dodatečně vymyslet nějaký tepelný štít.

Udávané zvýšení výkonu 6-10 koní.

4.2.1.3. Hliníkový airbox se single vstupy



Cenově mnohem náročnější řešení, sání určeno pro vrcholový motorsport. Sání disponuje vlastní klapkou na každý válec. Díky krátké vzdálenosti klapek od kanálů v hlavě je však reakce na plynový pedál mnohem rychlejší, toto řešení už však vyžaduje více práce, je nutné i naladit řídicí jednotku a celkově přizpůsobit chod motoru.

Navýšení výkonu až o 25 koní.

Obr 31. Upravené sání Dbilas [27]

4.2.2. Škrtící klapka

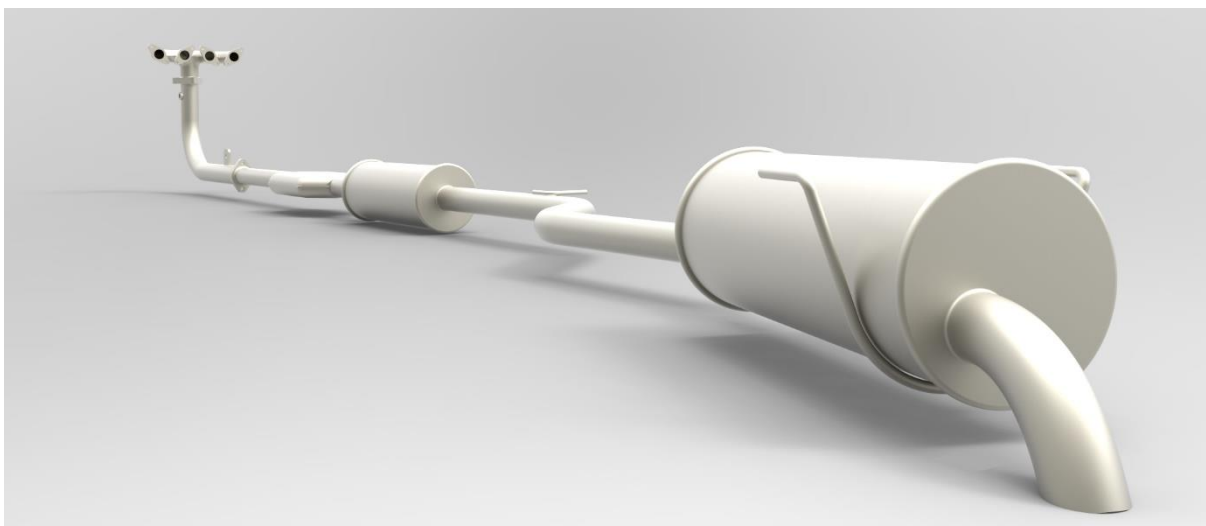
Originální škrtící klapka z motoru 1.4 má velice malý průměr ovládaného talířku a redukuje tak maximální průtočnou plochu, klapka proto bude nahrazena za klapku s větším průměrem z jiného motoru.



Obr 32. Originální škrtící klapka [28]

4.3. Náhrada výfukového potrubí

Sériový výfuk se na mém konkrétním motoru skládá z litinových svodů, ocelového kolene s první lambda sondou, třicestného katalyzátoru a druhé lambda sondy, jednoho malého a jednoho většího tlumiče hluku. Výfukové svody se spojují do jedné trubky hned u hlavy motoru.



Obr 33. Sériové provedení výfukového potrubí

Změnou výfukového potrubí je možné dosáhnout rychlejšího odvodu spalin a také lepšího vyplachování válce. Jinak naladěné sběrné potrubí také ovlivňuje průběh momentu a výkonu v závislosti na otáčkách. Potrubí 4-2-1, tedy propojení čtyřech vstupů do dvou a následně do jednoho, umožňuje zvýšit průběh kroutícího momentu ve středních otáčkách, zatímco svody 4-1 zvyšují výkon ve vysokých otáčkách.

Momentálně se na trhu vyskytuje několik výrobců, výhradně se však jedná o svody typu 4-2-1, pouze s různě tvarovanými sběrači, což pouze ovlivňuje rozmezí otáček, ve kterých by měla být tato změna znát.

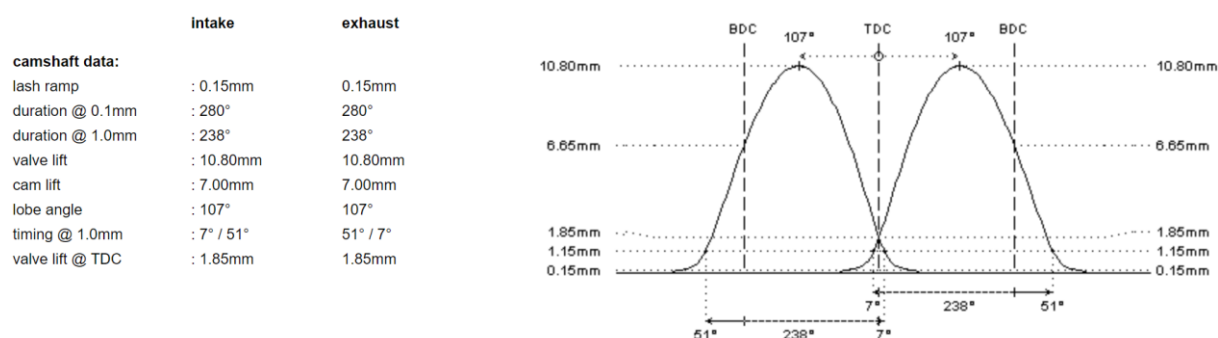


Obr 34. Výfukové svody TaTechnix

4.3.1. Výměna vačkového hřídele

Vačkový hřídel je klíčová komponenta spalovacího motoru, pokud chceme dosáhnout vyšších výkonů, vačky zákonitě musí mít jiný tvar. Na trhu se pohybuje velká spousta specializovaných firem, které nabízejí několik typů hřídelí, od lehce sportovnějších, kdy se ještě vozidlo dá provozovat i po běžných cestách s rozumně dávkovaným výkonem, až po ostré závodní vačky, kdy je výkon dávkován pouze v určitém spektru otáček a vozidlo se tak stává pro běžný provoz nepoužitelné.

Pro účely závodu ve sprintu, kde je motor provozován převážně ve vysokých otáčkách se tedy hodí spíše ostřejší vačka. Pro toto použití byla vybrána vačka značky Catcams typu 4901101. Tato vačka je spíše sportovní než přímo závodní, jinak řečeno měla by zajistit, že motor bude mít větší výkon, ale vozidlo bude stále použitelné v běžném provozu. Její celkový přínos bude simulován v následující kapitole.



Obr 35. Parametry hřídele Catcams 4901101

4.3.2. Změna mapy řídicí jednotky

Pro požadavky takto sestaveného motoru, kdy je nahrazeno jak sací, tak výfukové potrubí, v případě nutnosti budou nasazeny větší vstřikovače a bude třeba změnit časování ventilu, bude nutné motor osadit novou řídicí jednotkou. Stávající jednotka Magneti Marelli je schopna si poradit s menšími výkyvy a pokrýt tak částečnou změnu v přednastaveném mechanismu, ale jinak není přístupná jakýmkoli větším zásahům, proto bude nahrazena plně programovatelnou jednotkou, která umožní dílčí nastavení a řízení těch signálů, které budeme potřebovat.

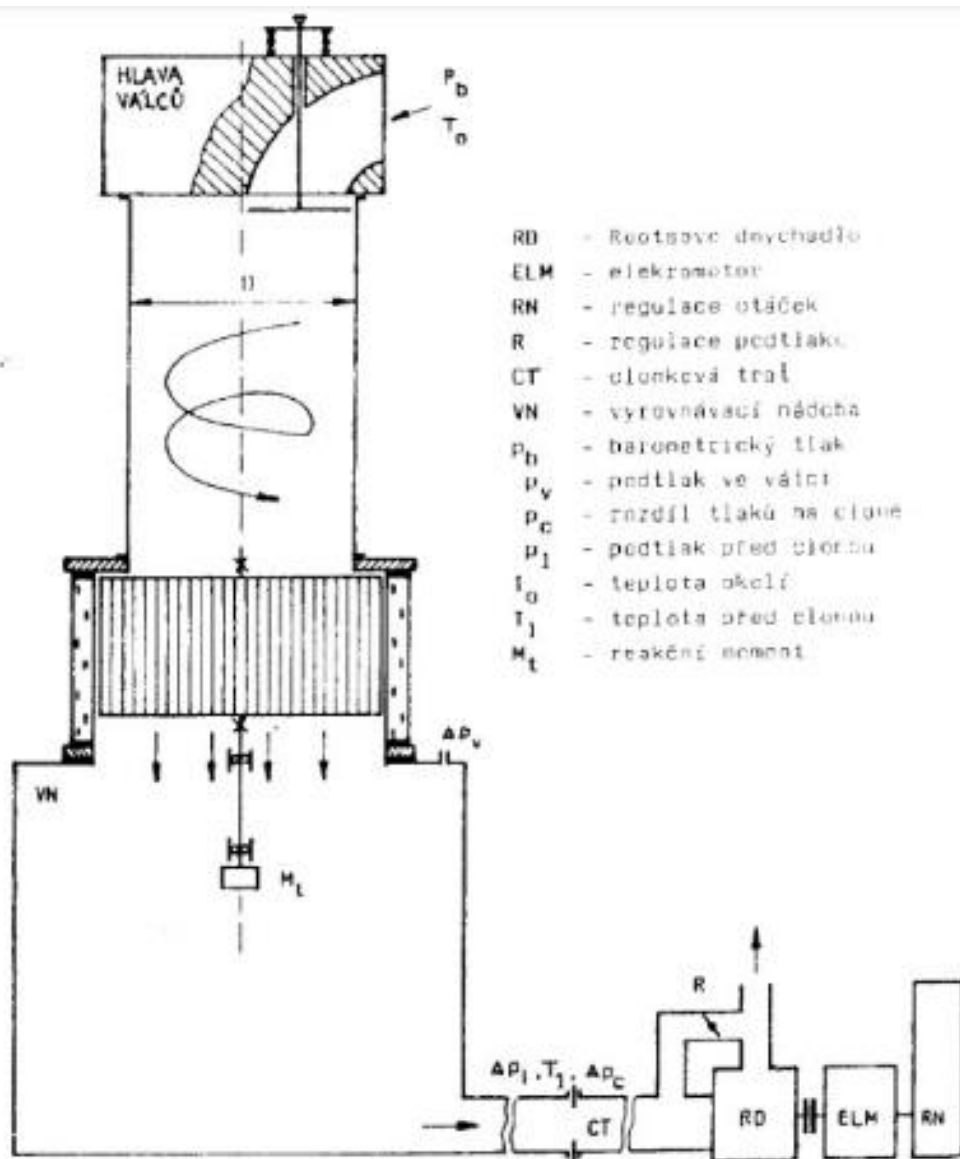
4.4. Měření

Pro správné nastavení modelu je potřeba znát mnoho hodnot. Některé je možné lehce odměřit, jiné snadno spočítat, ale některé údaje bylo nutné získat z přímého měření.

4.4.1. Měření průtokového součinitele

Toto měření bylo důležité pro správné nastavení vtokových a výfukových kanálů v použitém testovacím modelu. Průtokový součinitel udává průtok kanálem za daných podmínek. V tomto případě je závislý na míře otevření ventilu, teplotě, tlaku ale i na tvarování kanálu. Čím vyšší hodnoty průtokový součinitel nabývá, tím vyšší je průtok média daným kanálem.

Měření probíhalo v halových laboratořích ČVUT v Praze. Tyto laboratoře disponují mimo jiné i aerodynamickou zkušebnou, kde je možné na profukovacím stanovišti měřit průtokové vlastnosti. Naměřená data byla zapsána a následně zpracována v programu MS Excel.



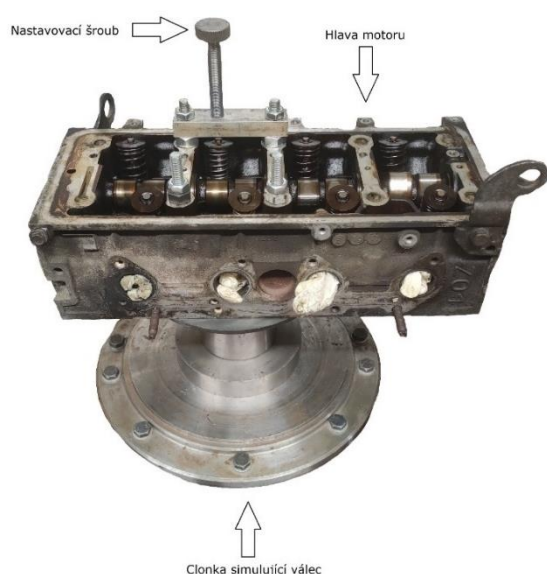
Obr 36. Schéma profukovací stanice

4.4.1.1. Měřicí zařízení

Profukovací stanice je stacionární zařízení, které simuluje tlakový spád motoru. Snažíme se tak zachytit podmínky které panují okolo sacího a výfukového ventilu. V zařízení je vyvolán podtlak, o který se stará Rootsovo dmychadlo. Regulace tlaku je možná buď pomocí klapky, nebo úpravou otáček dmychadla. Průměr clonky pracovního stroje je 39,5 mm, zatímco průměr clonky pod ventilem by měl odpovídat průměru válce v motoru. V našem případě je vrtání válce 75 mm, abychom ale nemuseli vyrábět novou clonku, použili jsme clonku z motoru Škoda s vrtáním 74,5 mm. Před měřením byly zaznamenány hodnoty tlaku a teploty v místnosti.

4.4.1.2. Příprava měření

Aby se měření mohlo uskutečnit, musela se vyrobit speciální podložka pro udržení hlavy motoru v pozici. Jedná se o výpalek z tlustšího plechu, skrz který se protáhly šrouby a hlava se tak přichytila k podstavci. Další na míru vyrobenou součástí byl nosič šroubu, přes který se ovládají ventily. Ventily v hlavě našeho motoru jsou usazeny pod úhlem 20° a tak závit je vyvrtán stejně tak.



Obr 37. Hlava motoru uchycena na měřícím standu

4.4.1.3. Průběh měření

Po relativně zdouhavých přípravách bylo samotné měření vcelku rychlou záležitostí. Ovládací šroub, který má na vrchu risku pro přesnější nastavení polohy, nám po 1 otáčce otevřel ventil o 1 mm. Podle originálního nastavení rozvodu motoru se ventil otvírá lehce přes 9 mm, měření tedy proběhlo od 0 do 10 mm otevření. Měřené hodnoty se zobrazovaly v programu LabView a pro každou nastavenou hodnotu zdvihu byly odečteny požadované parametry.

Dohromady proběhla 4 měření. Měřily se vlastnosti sacích kanálů obou hlav, tedy 1.4 a 1.6 litrového motoru. Podobným způsobem se pak měřily i parametry výfukových kanálů, jen s tou změnou, že se hlava na standu otočila, aby odpovídal směr proudění.

Ovládací šroub má závit se stoupáním 1, tedy jedna jeho otáčka otevře ventil o 1 mm. Tento nosič se tak přišroubuje nad ventil, aby bylo možné jej obsluhovat.

Pro jednodušší ovládání byly původní pružiny nahrazeny měkčími a z důvodu snížení obtokových ztrát a zlepšení přesnosti měření byla vtoková hrdla kanálů upravena pomocí tvárné hmoty.



Obr 38. Detail vtokového hrdla hlavy



Obr 39. Uchycení hlavy pro měření na výfukovém ventilu

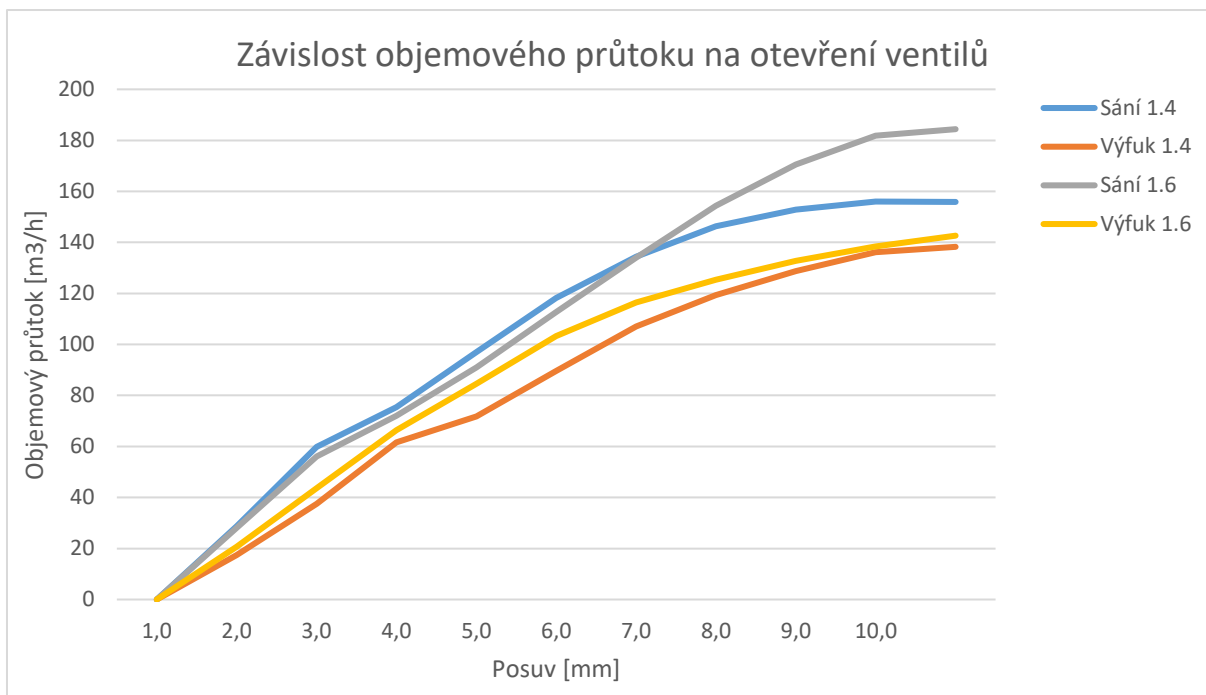
4.4.1.4. Výsledky měření

Naměřená data byla následně zpracována v programu MS Excel. Celkem vznikly 4 tabulky, pro každé měření jedna. Z těchto 4 tabulek byly vybrány pro nás důležité údaje a vytvořena jedna souhrnná tabulka a jako jednoduché porovnání těchto dat vznikly 2 grafy. Jeden ukazuje závislost hmotnostního průtoku média a druhý závislost průtokového součinitele, oba v závislosti na míře otevření ventilu. Překvapivě nám vyšel průtokový součinitel vyšší pro původní hlavu, tedy pro objem 1.4 litru. Výsledek je však z velké míry ovlivněn poměrně velkými úsadami nečistot na hlavě 1.6, pokud by byla hlava stejně čistá jako ta původní, výsledky by k sobě měly jistě mnohem blíže.

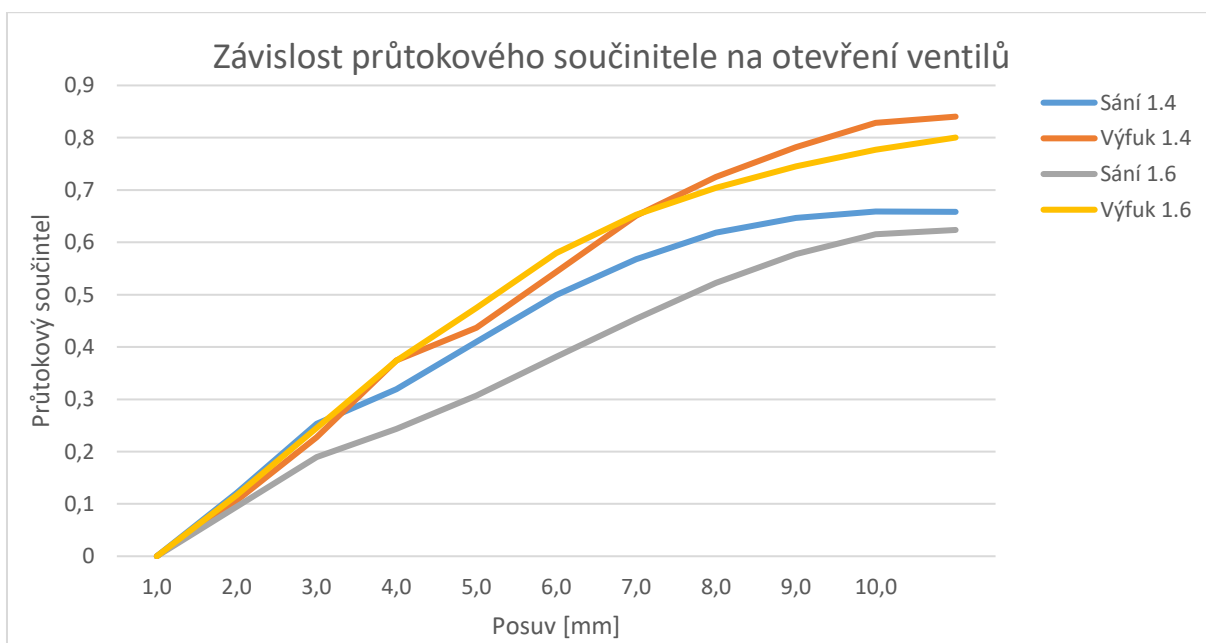
Pokud se ale podíváme na hmotnostní tok, je vidět, že většími ventily při stejném zdvihu proteče vzduchu opravdu více.

	Sání_1.4		Výfuk_1.4		Sání_1.6		Výfuk_1.6	
otáčky	qV	Cd	qV	Cd	qV	Cd	qV	Cd
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	28,7	0,121	17,5	0,106	28,1	0,095	20,7	0,116
2	59,9	0,253	37,5	0,228	56,1	0,190	43,7	0,245
3	75,5	0,319	61,6	0,375	72,1	0,244	66,4	0,374
4	97,0	0,410	71,8	0,437	90,9	0,307	84,6	0,475
5	118,2	0,500	89,6	0,543	112,7	0,381	103,3	0,579
6	134,3	0,568	107,1	0,651	134,0	0,454	116,5	0,653
7	146,3	0,619	119,4	0,725	154,3	0,522	125,4	0,704
8	152,9	0,647	128,7	0,782	170,6	0,578	132,8	0,746
9	156,0	0,659	136,2	0,828	181,8	0,615	138,4	0,777
10	155,8	0,658	138,3	0,840	184,4	0,624	142,6	0,800

Tab.5 Tabulka hodnot naměřených na profukovacím stanovišti



Obr 40. Závislost objemového průtoku na otevření ventilů



Obr 41. Závislost průtokového součinitele na otevření ventilů

4.4.2. Měření zdvihu ventilu

Zdvihová křivka ventilu udává závislost otevření ventilu na úhlu natočení vačkového hřídele. U některých rozvodových mechanismů, kde sedí ventil přímo na vačce, je maximální zdvih ventilu roven přímo výšce palce vačky. U většiny rozvodových mechanismů je však použito vahadlo a tato závislost již neplatí.

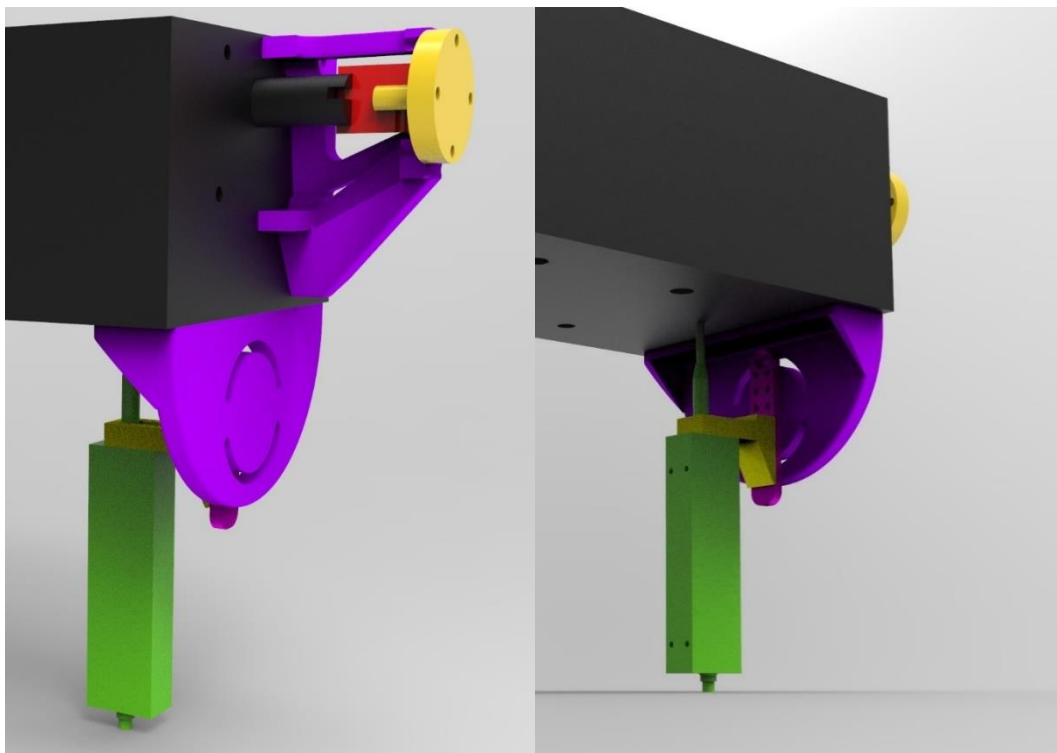
4.4.2.1. Příprava pro měření

Měření bylo vymyšleno tak, že přímo na vačkový hřídel se uchytí rotační senzor, ten by byl tedy na boku hlavy motoru, a zespodu pod ventil by se uchytila sonda měřící posuvný jednoosý pohyb.



Obr 42. Osazená hlava motoru

Pro uchycení těchto měřících zařízení byly vytvořeny přípravky v programu Catia. Rotační senzor Pepperl+Fuchs je poměrně těžký, proto musel být jeho nosič poměrně bytelný. Senzor byl s hřídelem spojen pomocí jednoduché pevné spojky, která byla tvarově pojištěna proti pootočení. Držák lineárního senzoru LARM MSL30 byl navržen jako univerzální, dá se tedy různě posouvat a zároveň otáčet tak, aby se dal odečítat posuv ventilu přímo v ose a nemusel se dále dopočítávat pomocí rovnic. Nakonec se modely ve formátu .stl exportovaly na 3D tiskárnu.



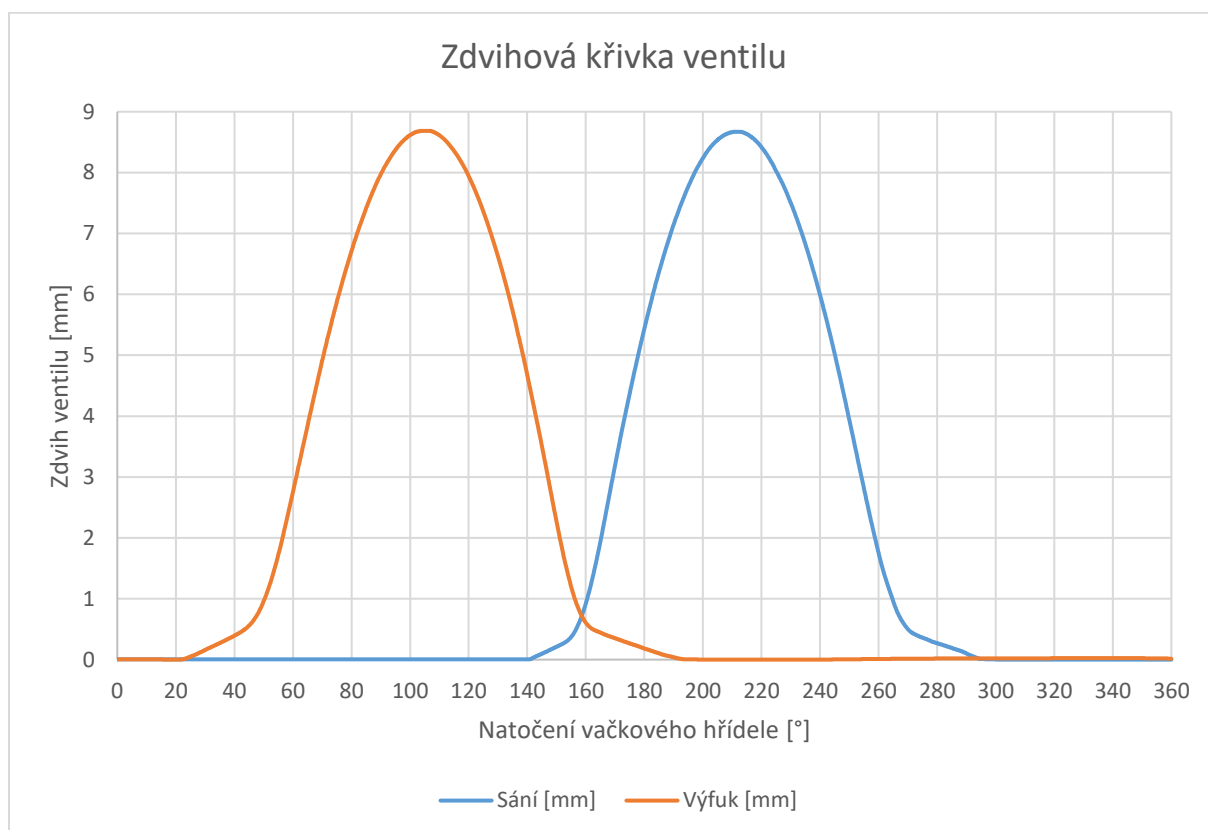
Obr 43. Uchycení senzorů na motorové hlavě (rot. senzor žlutě, lin. zeleně)

4.4.2.2. Průběh měření

Po montáži všech částí sestavy proběhlo samotné měření. Pootáčením vačkovou hřídelí po 1° byla postupně odměřena křivka jak pro sací, tak výfukový ventil.

4.4.2.3. Výsledky měření

Výsledkem měření je graf zdvihové křivky obou ventilů. Tyto křivky fungují jako vstupní data pro ventily v termodynamickém modelu GT Suite.



Obr 44. Zdvihová křivka sériového vačkového hřídele

4.4.3. Měření na válcové brzdě

4.4.3.1. Válcová zkušebna Fakulty strojní ČVUT v Praze

V halových laboratořích v ulici Pod Juliskou se nachází válcová zkušebna pro osobní vozy. Jedná se o typ MAHA MSR 500 4x4. Zařízení je opatřeno dvěma elektricky poháněnými válci a je schopno měřit výkon až do 650 koní a do rychlostí až 300 km/h. Stanoviště umí měřit jak statické, tak dynamické zkoušky a je vhodné i pro měření jízdních cyklů. V dnešní době je tato válcová brzda hojně využívána jak pro studijní účely ve školních institucích, tak ve vývojářských a tuningových společnostech.

4.4.3.2. Příprava pro měření

Abychom byli schopni na válcové brzdě odečítat data, která bychom mohli potřebovat k doladění modelu v GT Poweru, bylo nutné nejdříve zjistit, zda je možné tyto informace zjistit přímo z řídicí jednotky přes OBD konektor. Vozidlo je z výroby vybaveno konektorem typu OBD II a tak po připojení přenosné

diagnostiky od firmy BOSCH bylo zjištěno, že jsme schopni číst různá data v čase, diagnostika však neumožňuje uživateli dělat záznam.

Bohužel nebylo možné jít měřit vozidlo ve zcela sériovém stavu, protože původní sběrače výfukových plynů praskly. Byly tedy montovány upravené svody 4-2-1 dodatečně osazené lambda sondou, aby bylo možné měřit směs před katalyzátorem.

4.4.3.3. Průběh měření

Vozidlo bylo umístěno tak, aby by přední náprava přímo na válcích a následně se pomocí řetězů a kurt přichytilo k zemi, pro případ, že by došlo k nějaké nehodě. Ke koncovce výfuku se přivedl odtah výfukových plynů, aby nedošlo k zamoření zkušebny.



Obr 45. Peugeot 106 na válcové brzdě

K vozu byl připojen notebook se softwarem válcové brzdy MAHA, ale zjistilo se, že tento software není kompatibilní s OBD portem vozu Peugeot a neumí tak vyčíst nic jiného než otáčky motoru. Pro měření samotného výkonu a točivého momentu byl tedy použit aktuální software a naměřená data byla převedena do programu MS Excel, který tak vykreslil základní výkonovou charakteristiku.

Původní požadavky na měření tak byly ale splněny jen z části, proto bylo další měření uskutečněno opět s diagnostikou BOSCH a záznam pořízen pomocí kamery. Data se tedy odečítala z videozáznamu, ale podařilo se tak změřit napětí lambda sondy, úhel natočení škrtkové klapky, dobu předstihu a dobu vstřiku, a to všechno v závislosti na otáčkách motoru.

4.4.3.4. Výsledky měření

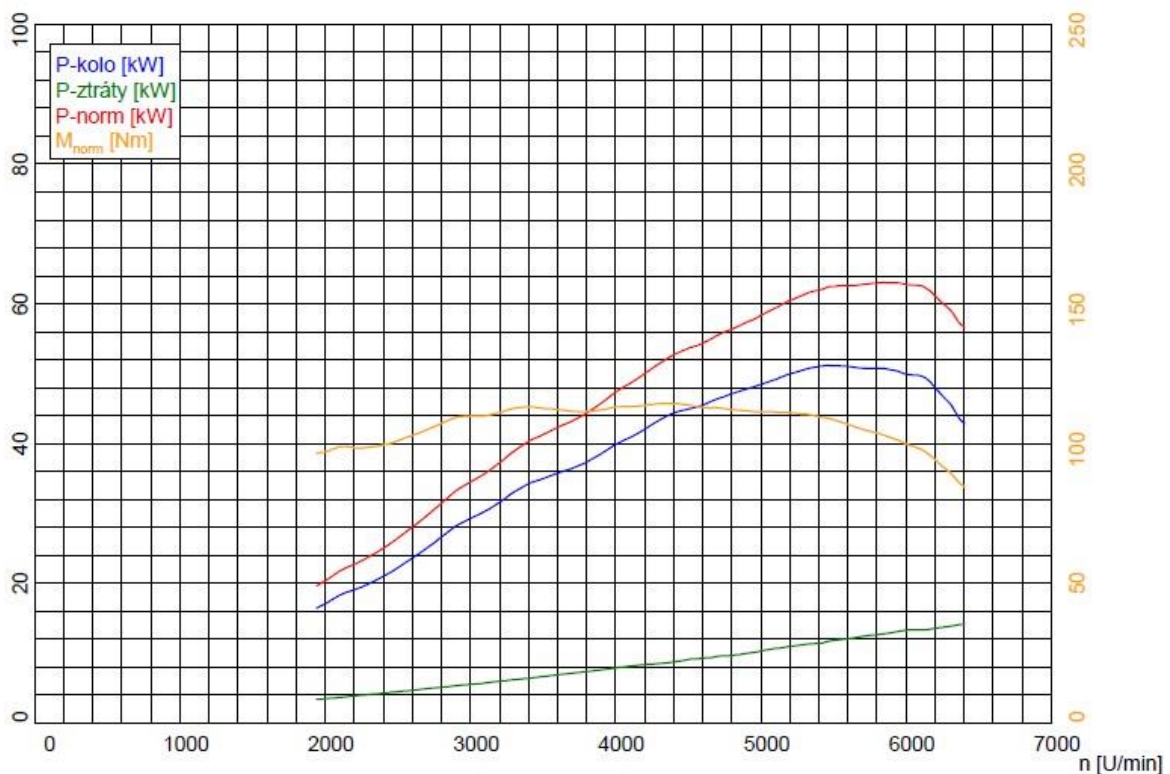
Z válcové brzdy byla získána výkonová charakteristika, která nám udává průběh výkonu a točivého momentu v závislosti na otáčkách motoru. Válcová brzda měří výkon přímo na kolech a umí si dopočítat ztrátový výkon, což je výkon

zmařen v převodovém soustrojí, třením motoru a v ložiscích. Tento ztrátový výkon je měřen tak, že dosažení maximálních otáček motoru se vyřadí rychlostní stupeň a kola se nechají dojet do zastavení. Po odečtení těchto ztrát od naměřených hodnot je vykreslena charakteristika na motoru.

Z naměřených hodnot tak je vidět, že oproti parametrům udávanými výrobcem je výkon i točivý moment lehce vyšší a dosažen v jiných otáčkách motoru.

	Výrobce	Měření
Maximální točivý moment	111/3400	114/4395
Maximální výkon	55 kW/5500	63/5855

Tab.6 Tabulka naměřených výkonů



Údaje o výkonu		Vnější data	
Korigovaný výkon ¹⁾	P_{norm} 63,0 kW / 85,7 PS	Teplota vzduchu	T_{vzduch} 21,0 °C
Výkon motoru	P_{mot} 63,4 kW / 86,2 PS	Teplota nasávaného vzduchu	$T_{nasávaný\ vzduch}$ 23,9 °C
Výkon na kole	P_{kolo} 50,7 kW / 68,9 PS	Relativní vlhkost vzduchu	H_{vzduch} 38,2 %
Ztrátový výkon	$P_{ztráty}$ 12,8 kW / 17,3 PS	Tlak vzduchu	p_{vzduch} 1003,1 hPa
Max. výkon při	5855 U/min/ 148,0 km/h	Tlak páry	$p_{pára}$ 9,5 hPa
Točivý moment ¹⁾	M_{norm} 114,3 Nm	Teplota oleje	T_{olej} 18,0 °C
Max. točivý moment při	4395 U/min/ 111,1 km/h	Teplota paliva	T_{palivo} --- °C
Max. dosažené otáčky	6405 U/min/ 162,0 km/h		
¹⁾ Korekce dle normy ISO 1585 Korekční faktory: $Q_v = 0,00\%$			

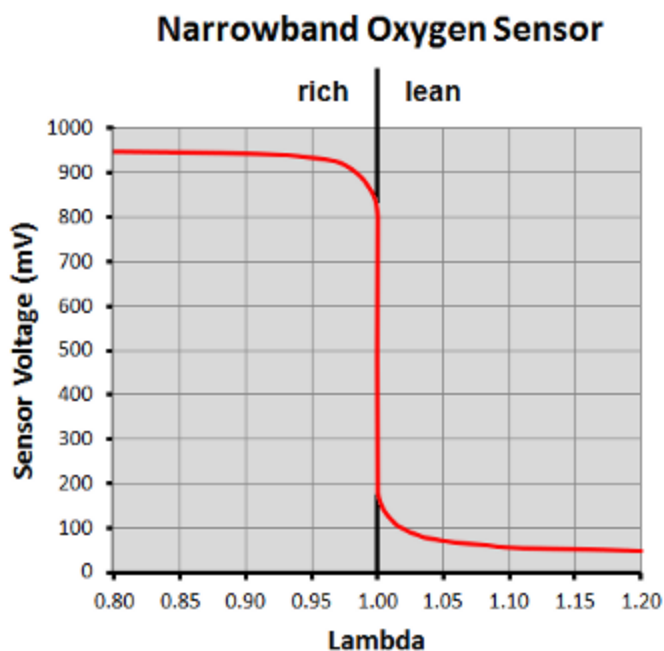
Obr 46. Výkonová charakteristika naměřená na válcové brzdě

Z následného měření přes diagnostiku byla odečtena následující data.

RPM	Intake pressure	throttle angle	injection duration	Air-fuel voltage	injection time	torque
1/min	mbar	°	mV	mV	°	%
2000	355	3	4,9	917	26	25
2500	958	66	18	936	16	84
3000	949	66	18	917	18	82
3500	949	66	19	897	19	83
4000	933	64	18	897	21	84
4500	928	67	18	897	22	84
5000	923	67	17	897	25	80
5500	918	67	16	878	27	74
6000	908	67	15	917	24	69

Tab.7 Tabulka vyčtených dat z řídicí jednotky

Protože hodnoty lambda sondy nám v mV neřeknou nic, bylo nutné je dále převést do bezrozměrného stavu, který je vypovídající. Z grafu je patrné, že hodnoty se pohybují v bohaté směsi okolo čísla lambda 0,97-0,99.



Obr 47. Závislost čísla Lambda na napětí [29]

4.5. Tvorba modelu

Pro simulování chodu motoru a sledování veličin nám poslouží program GT Suite a jeho nastavby. Jako základní stav byla zvolena přednastavená šablona pro 4válcové motory s možností sledování přechodu tepla. Tato šablona je nadále měněna podle aktuálního stavu vozidla, ale ušetří nám mnoho práce se stavbou celého traktu.

4.5.1. Model sacího traktu

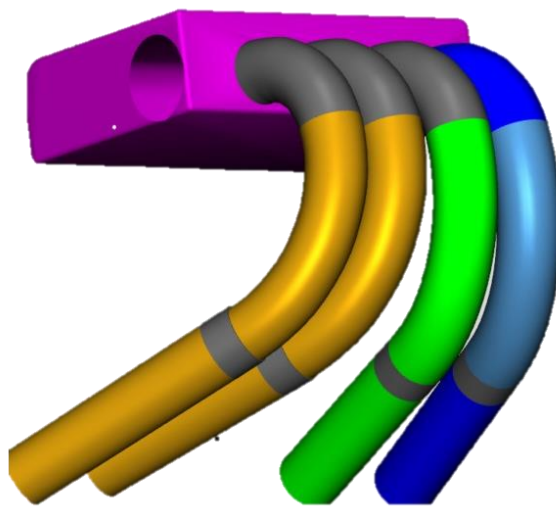
Originální sací potrubí bylo z vozu demontováno a z něj následně odměřeny rozměry, poté vytvořen CAD model v programu Catia. Z tohoto prostředí je možno exportovat model v určitém formátu vhodném pro program GT Suite, konkrétně jeho nástavbu GEM 3D. Tato platforma umožňuje převést CAD model na řetězový kostičkový model prostředí GT Suite.



Obr 48. Model kompletního sacího traktu vozu Peugeot 106

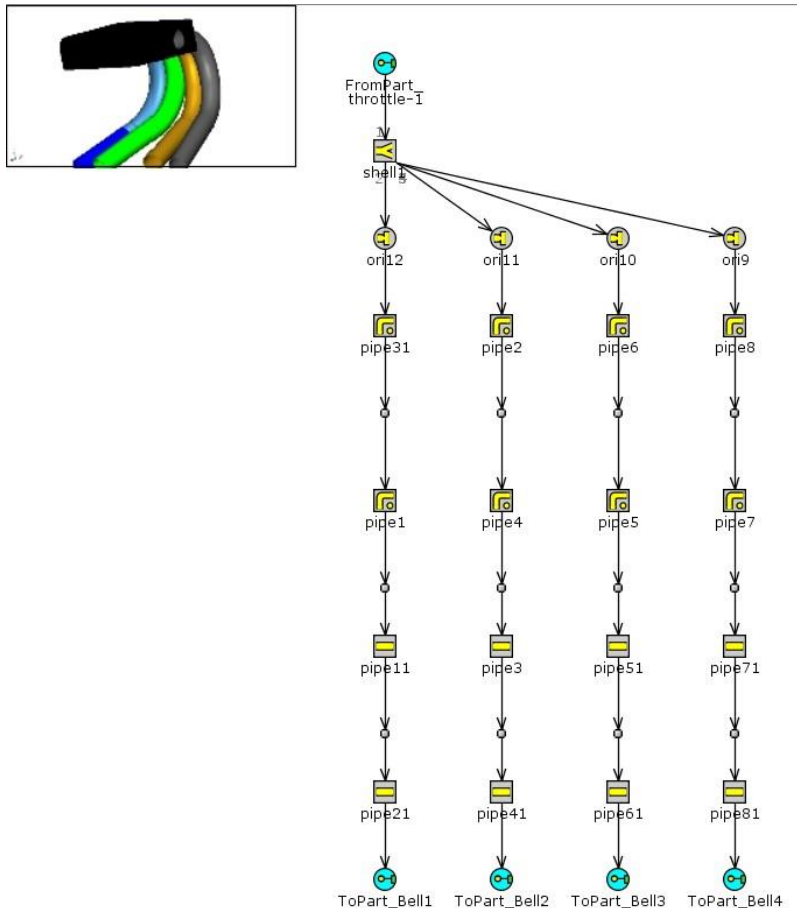
Po importování CAD modelu převedeného do ploch, je možné pomocí ploch rozdělit potrubí na dílčí inkrementsy, kterým se pak dá jednotlivě nastavit různé vlastnosti. Rozměry jsou automaticky odečteny z modelu, je však možné je dále upravovat, kdyby se snad neodečetly dostatečně přesně.

Takto rozdělené sání je pak převedeno do stromového rozhraní, kde koncové body označují vstupy a výstupy. Pro náš model vložený do hlavního modelu celého motoru jsou to světle modré ikony. Jednotlivým buňkám jsou pak definovány vlastnosti. V tomto případě jsou to okrajové podmínky, rozměry, materiálové vlastnosti a pokud bychom měli detailní měření, je možno i definovat poklesy tlaku



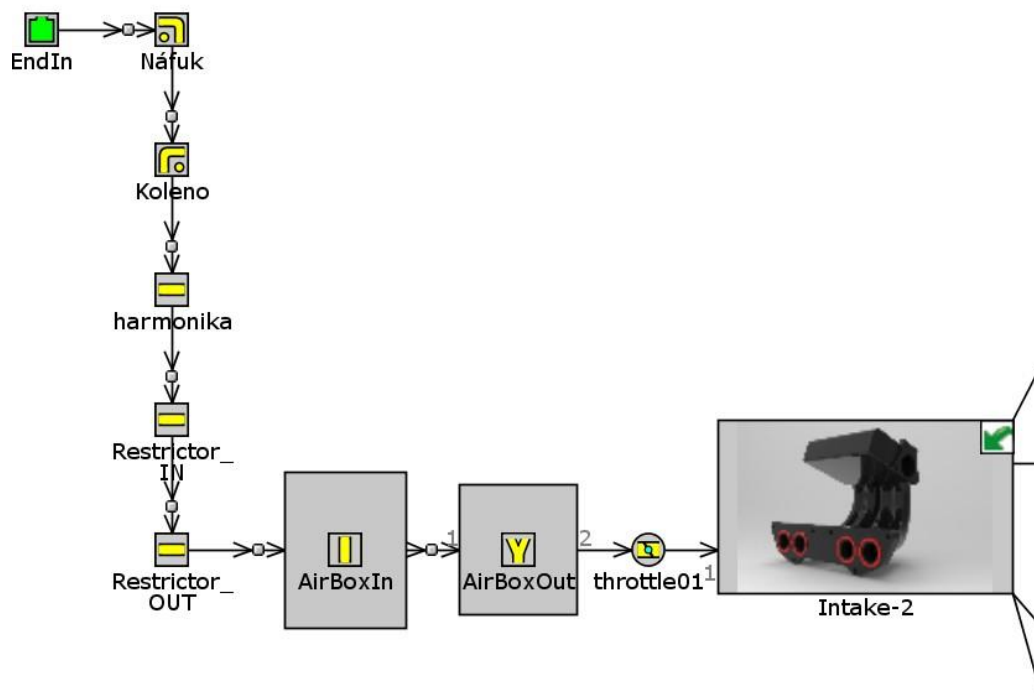
Obr 49. Sací plénium v programu GEM3D

v určitých místech. To by nám samozřejmě pomohlo k lépe odladěné simulaci, pro naše měření tato možnost však nebyla k dispozici.



Obr 50. Sací plénium převedeno do prostředí GT ISE

Tímto způsobem byly vytvořeny sací parohy až po škrtkové klapce. Sací potrubí včetně airboxu pak bylo modelováno pomocí samostatných buněk.



Obr 51. Sací trakt v prostředí GT ISE

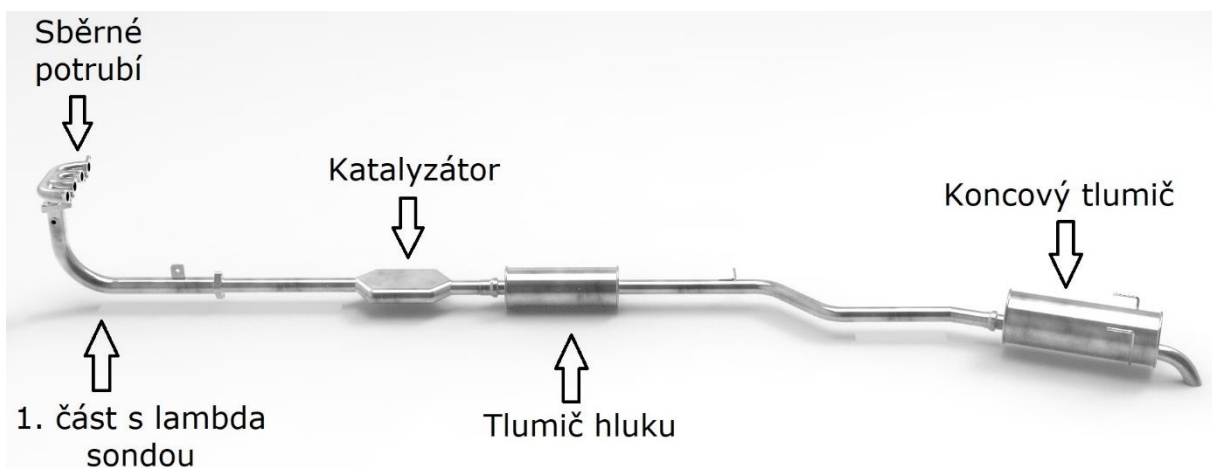


Obr 52. Schéma sacího vedení až po airbox

Škrtkící klapka je zastoupena samostatným členem Throttle01. Jako vstupní parametry se uvádí rozměry, proměnný parametr natočení a závislost průtokového součinitele na úhlu natočení.

4.5.2. Model výfukového systému

Výfukové potrubí bylo rovněž demontováno a odměřeno. Model byl tvořen stejným způsobem jako sací část. Výfukový systém je oproti sacímu složitější přítomností tlumičů a katalyzátoru. Pro zjednodušení jsou tyto komponenty v modelu tvořeny pouze objemem. Model výfuku byl tvořen ve dvou krocích. Výfukové svody v prvním a zbytek potrubí ve druhém.



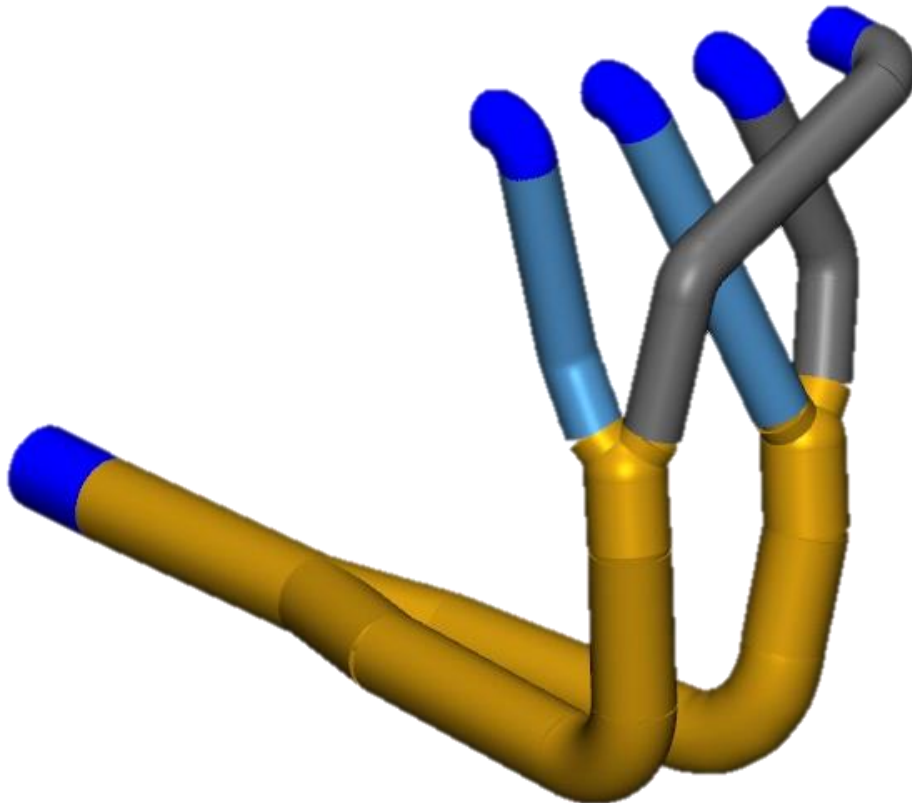
Obr 53. Schéma originálního výfukového vedení

Původní litinové sběrné potrubí během příprav pro měření na motorové brzdě prasklo a bylo nahrazeno již sportovním potrubím typu 4-2-1. Aby změřená data korespondovala s modelem, bylo nutné vytvořit nový model těchto svodů, původní tedy uváděno nebude.

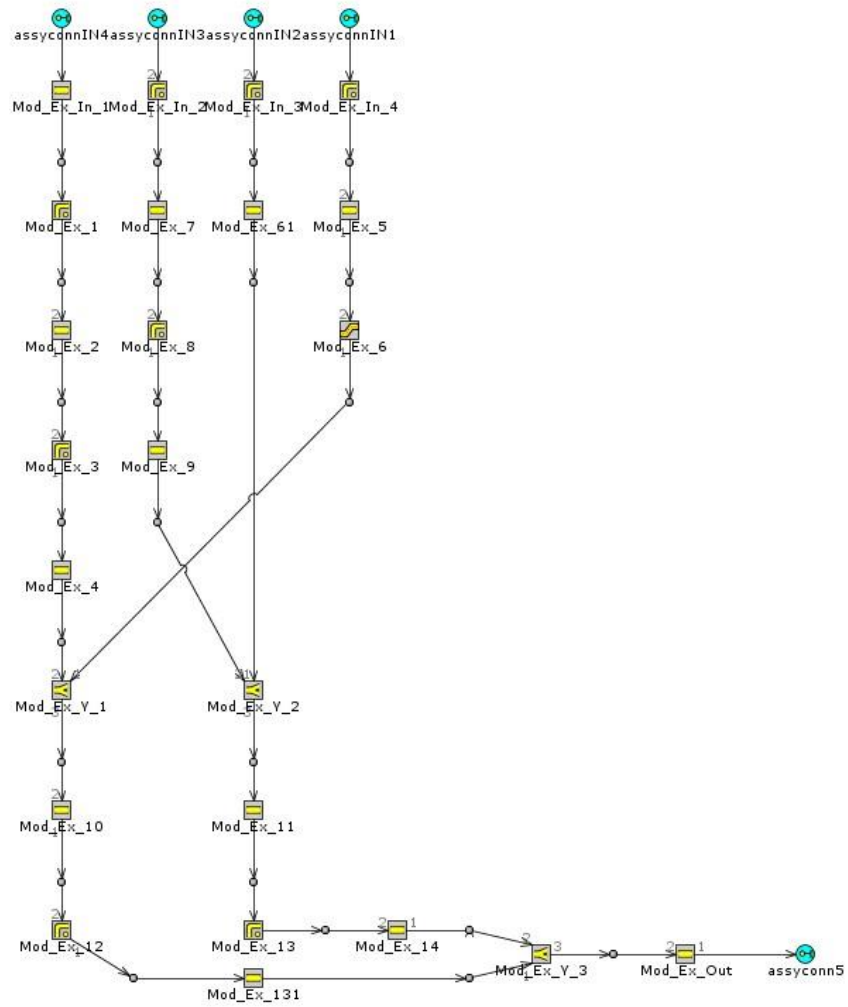
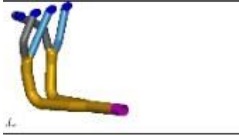


Obr 54. Výfukový systém s upraveným sběrným potrubím

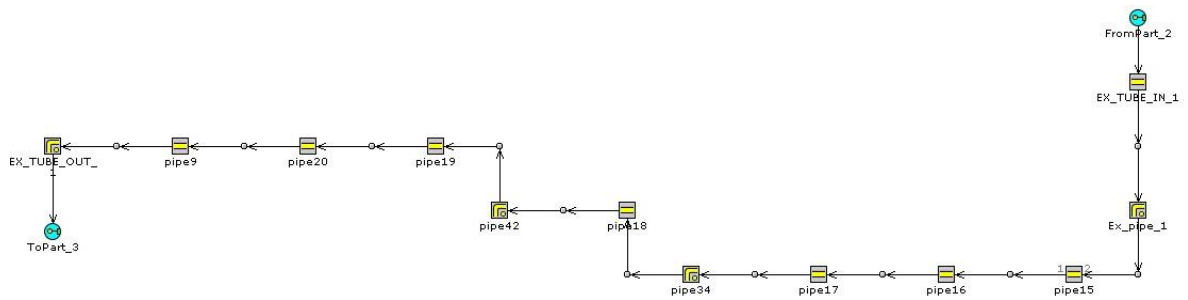
Toto nové potrubí bylo rovněž přes platformu GEM 3D převedeno do GT Suite, stejně tak potom i zbytek potrubí. Stejně jako u sacího potrubí se následně zadávají vstupní parametry pro každou buňku.



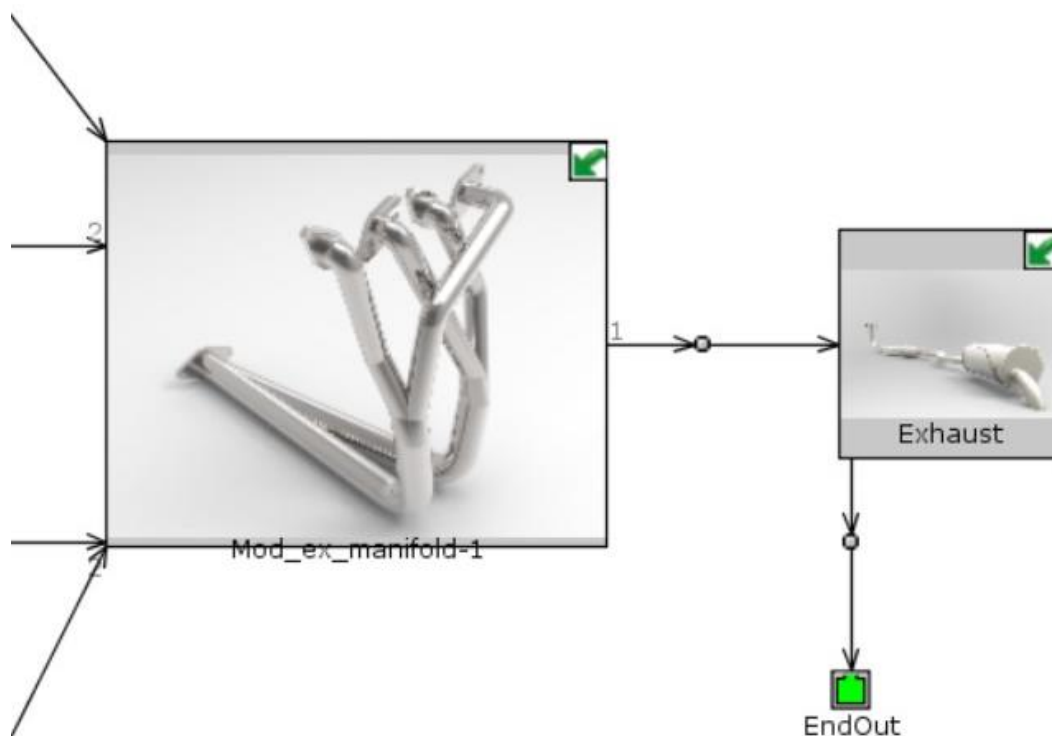
Obr 55. Upravené sběrné potrubí v prostředí GEM3D



Obr 56. Upravené sběrné potrubí v prostředí GT ISE



Obr 57. Zbytek výfukového vedení v samostatných buňkách



Obr 58. Podsestavy výfuku v GT ISE

4.5.3. Parametry válců a hlavy

V minulých krocích bylo dosaženo sjednocení tvarů sacího a výfukového potrubí, je však nutno nastavit i parametry samotného motoru.

4.5.3.1. Hlava válců

Buňka s názvem InPort je nositelem informace o vtokovém (sacím) kanálu. Pro naše potřeby stačí dosadit pouze rozměry a materiál.

Hodnot v buňce InVal je však podstatně více. V kartě těchto sacích ventilů je nutné nastavit časování ventilů, ventilovou vůli, zdvihovou křivku, součinitel průtočnosti a samozřejmě rozměr ventilu.

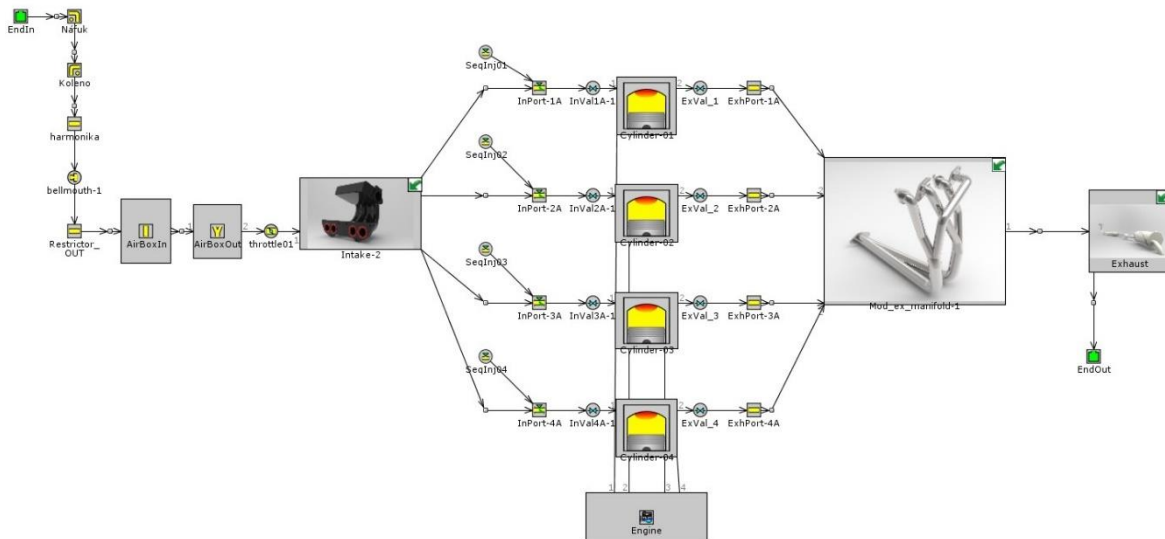
ExVal, neboli výfukový ventil, nese stejné hodnoty jako sací, v tomto případě má však změněnou ventilovou vůli a součinitel průtoku vlivem menšího průměru ventilu.

ExhPort je opět nositelem informace o tvaru výfukového kanálu.

4.5.3.2. Blok motoru

Ve složce Cylinder je nutno definovat výpočetní model přechodu tepla, počáteční teploty, součinitele přestupu tepla, rozměry hlavy, pístu, válce i ventilů a konečně způsob hoření (Wiebeho model pro 50% a 10-90%).

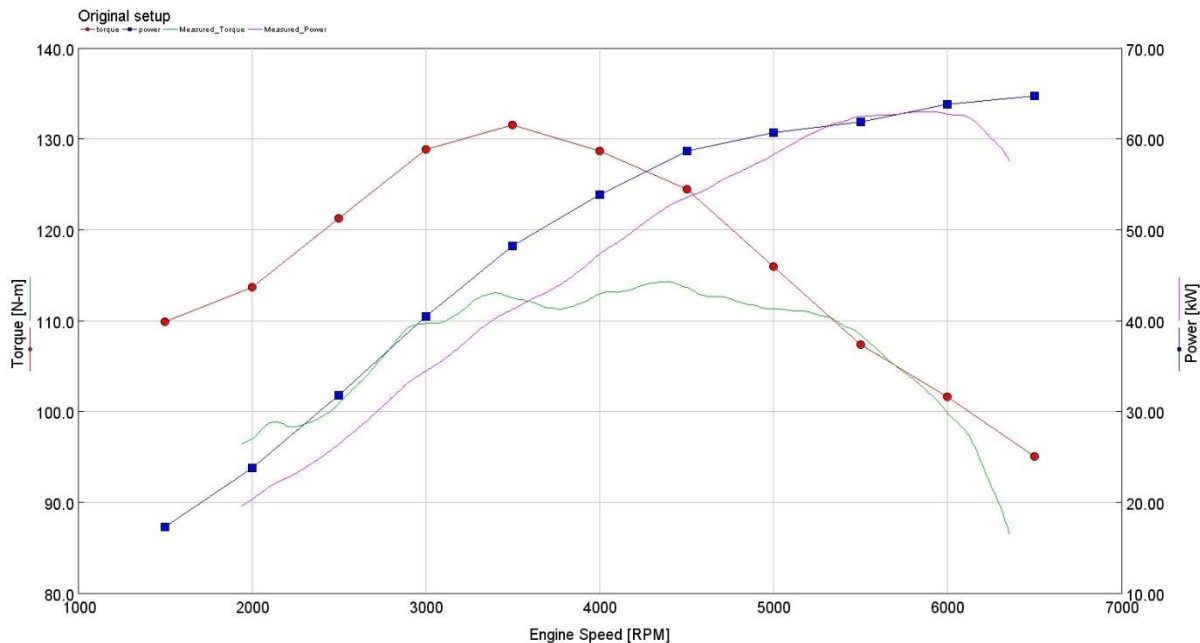
Poslední buňkou je pak Engine, kde se doplní data o typu motoru (4dobý nebo 2dobý), množství válců a pořadí jejich zapalování, rozměry vnitřních komponent, počáteční podmínky a tření.



Obr 59. Kompletní model v prostředí GT ISE

4.5.4. Simulace výkonu

Po zadání všech důležitých údajů byla spuštěna simulace a na základě výsledků pak proběhly korekce modelu. Bohužel nebyl dispozici dostatek dat na to, aby se simulovaná data stoprocentně shodovala s naměřeným výkonem, ale i tak bylo možno simulovat trend křivky s menší nebo větší odchylkou. Díky tomu je možné dále sledovat změnu křivky při změně zásadních parametrů a umožňuje to tak pokračovat ke zvyšování výkonu.



Obr 60. Graf simulovaných a naměřených křivek

4.5.4.1. Změna parametrů motoru

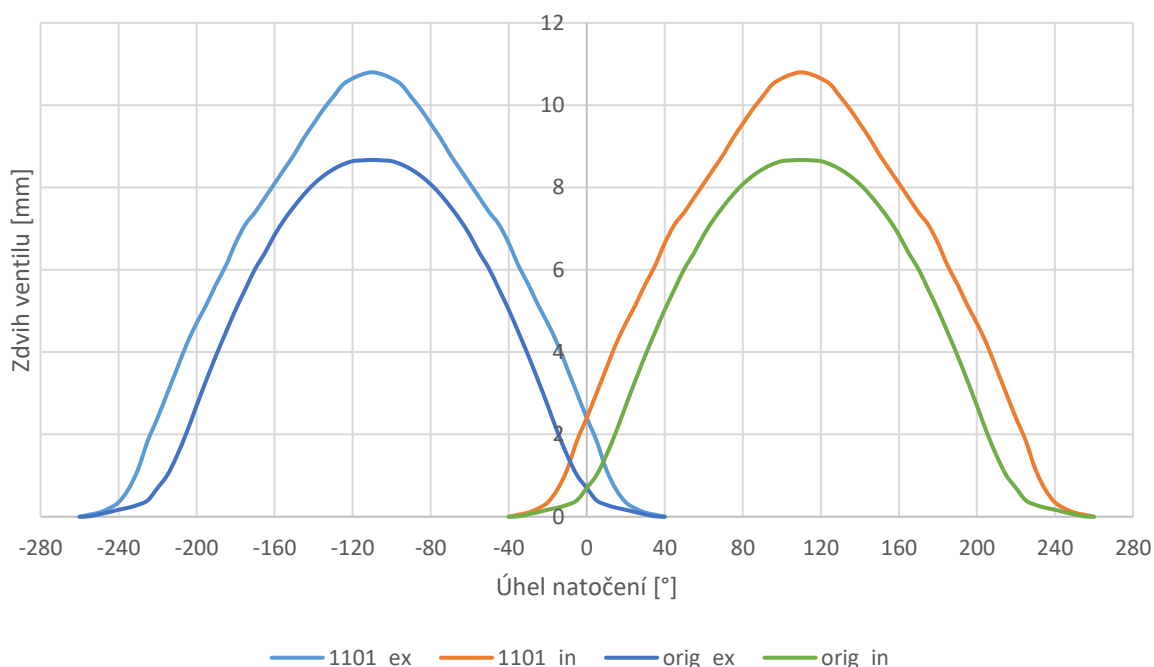
S takto nastaveným základním modelem bylo možné začít měnit parametry, v tomto případě se jedná o záměnu hlavy motoru, novou vačkovou hřídel, nové sání a výfuk. Řídící jednotka je v simulaci vynechána, protože program automaticky dodá palivo na základě protékající vzduchu a zadané hodnoty lambda. Pokud by nestačilo čerpadlo dodávat palivo, je nahlášena chyba a výpočet se zastaví.

Se záměnou hlavy motoru byly nastaveny nové rozměry ventilů a jejich vůle, nové rozměry sacích kanálů, vyšší kompresní poměr, předem naměřený průtokový součinitel a byla nastavena nová geometrie vačkového hřídele a časování.

		Originální hlava	Upravená hlava
průměr sacího ventilu	[mm]	36,8	39,4
průměr výfukového ventilu	[mm]	29,4	31,3
vstupní průměr sacího kanálu	[mm]	28	36
výstupní průměr sacího kanálu	[mm]	28	32
vstupní průměr výfukového kanálu	[mm]	27	28
výstupní průměr výfukového kanálu	[mm]	27	28
kompresní poměr	-	10,2	10,7

Tab.8 Tabulka parametrů hlavy motoru

Porovnání zdvihové křivky ventilu



Obr 61. Porovnání zdvihové křivky originální a upravené vačky

Sání bylo vybráno s ohledem na cenu možné realizace. Klapka na každý válec zvláště včetně nátrubků vychází cenově mnohonásobně draž než celý motor, proto se vyplatí pouze u vrcholového sportu a u motoru, do kterého se vyplatí investovat,

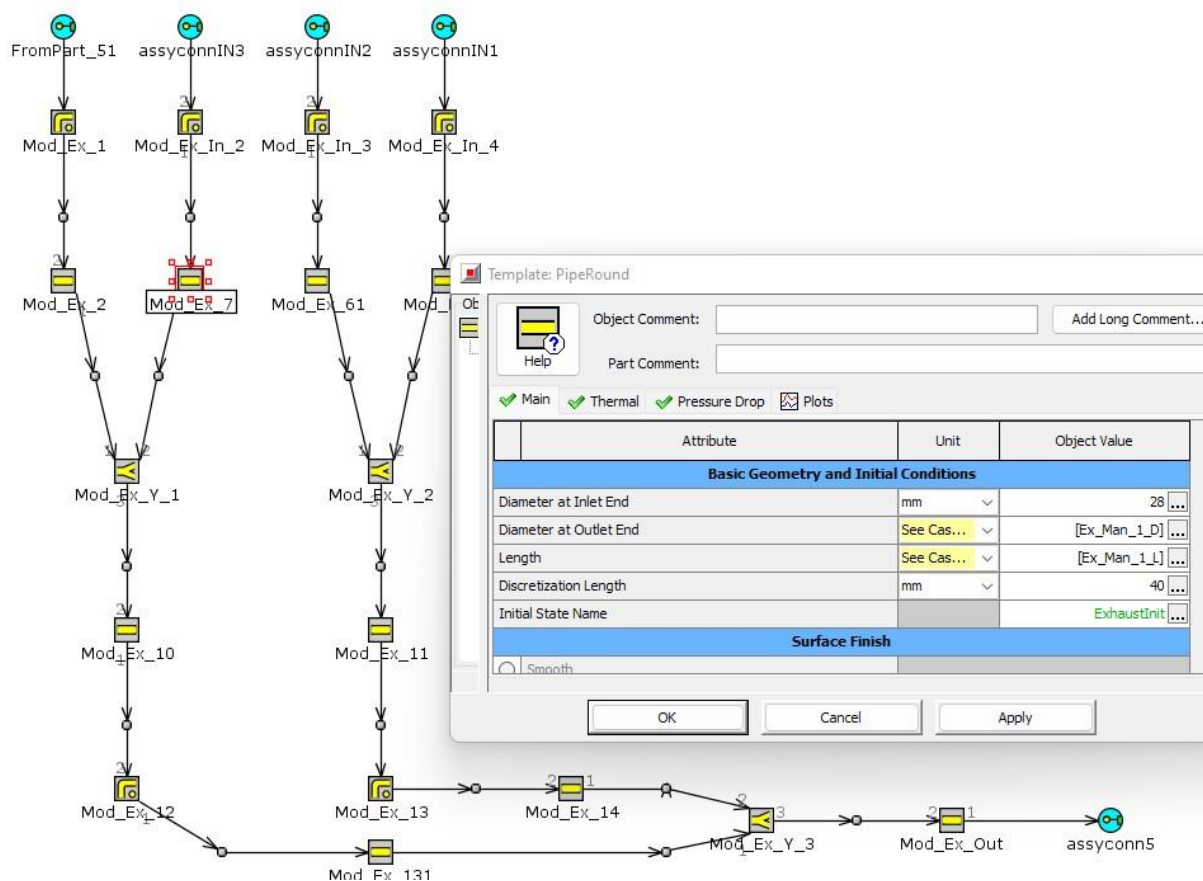
což rozhodně není tento případ. Proto bylo vybráno sání od společnosti Simota, má velkou průtočnou plochu, filtr se dá snadno vyměnit a pokud se kryt zevnitř polepí teplo-izolační páskou, krásně vede čerstvý přímo skrz otvor mezi nárazníkem a kapotou vozu. Sání bylo opět modelováno v Catii, následně přes GEM 3D převedeno do GT ISE, ale výpočet probíhal dlouho, proto bylo pro zjednodušení předěláno na soustavu trubek se zachovanou čelní plochou. Výsledky odpovídají a výpočet je rychlejší.

Další vyměněnou částí sání byla škrtková klapka a sací parohy. Nová klapka i s potrubím pochází z vozu Peugeot 106 1,3 Rallye. Parohy mají větší průměr jednotlivých nátrubků vedoucích do hlavy motoru a mají větší objem, než standardní, což je pro toto použití ideální, protože původní airbox, který sám o sobě držel vzduch o objemu kolem 3 litrů, nebude dále součástí sacího vedení. Klapka má průtočný průměr 60mm místo původních 40mm.



Obr 62. Sací plénium z Peugeot 106 1,3 Rallye [30]

Změna na výfuku byla provedena parametrizací původního modelu. Výfukové svody byly ponechány ve stylu 4-2-1 a byly parametrizovány délky a průměry jednotlivých částí. Na základě takto parametrizovaného modelu byla spuštěna optimalizace. Ta byla nastavena pro maximalizaci výkonu ve škále od 3000 otáček do maxima jako Genetic Algorithm. Pro každý parametr pak byla stanovena spodní a horní mez tak, aby výsledný rozměr byl ještě použitelný pro výrobu takového dílu.



Obr 63. Parametrizace výfuku

Direct Optimizer

License: GT-POWER

Project: D:\Juri\cvut\diplomka\motor\GT model\test.gtm

Main Ind_Variables Constraints

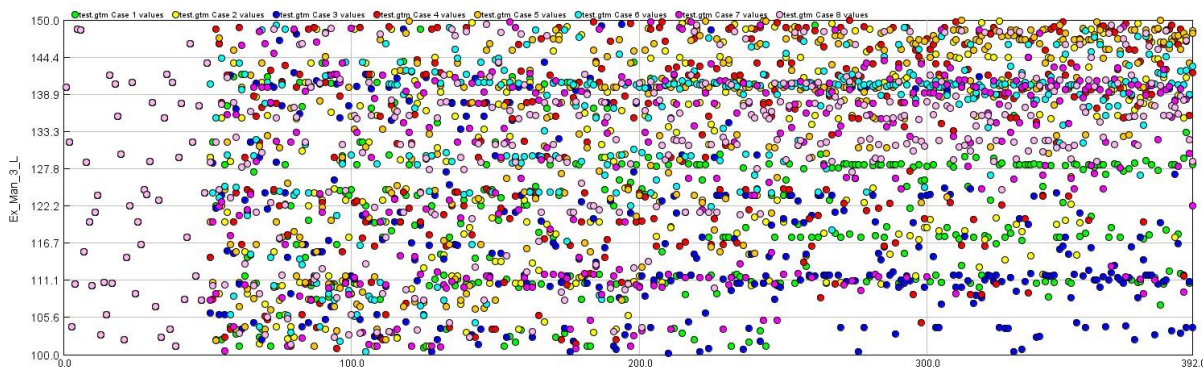
Attribute	Unit	1	2	3	4	5
Parameter to be Varied		Ex_Man_1_D...	Ex_Man_1_L...	Ex_Man_2_D...	Ex_Man_2_L...	Ex_Man_3_L...
Case Handling		Independent	Independent	Independent	Independent	Independent
<input type="radio"/> Parameter Range						
<input checked="" type="radio"/> Lower Value of the Range		39	150	39	59	100
<input type="radio"/> Upper Value of the Range		50	171	50	90	150

Obr 64. Parametry výfukových svodů

Pro zbytek výfuku byl stanoven jeden parametr na průměr, délka zůstane zachována, jinak by potrubí nebylo možno namontovat tak, aby stále končilo u zadního nárazníku.

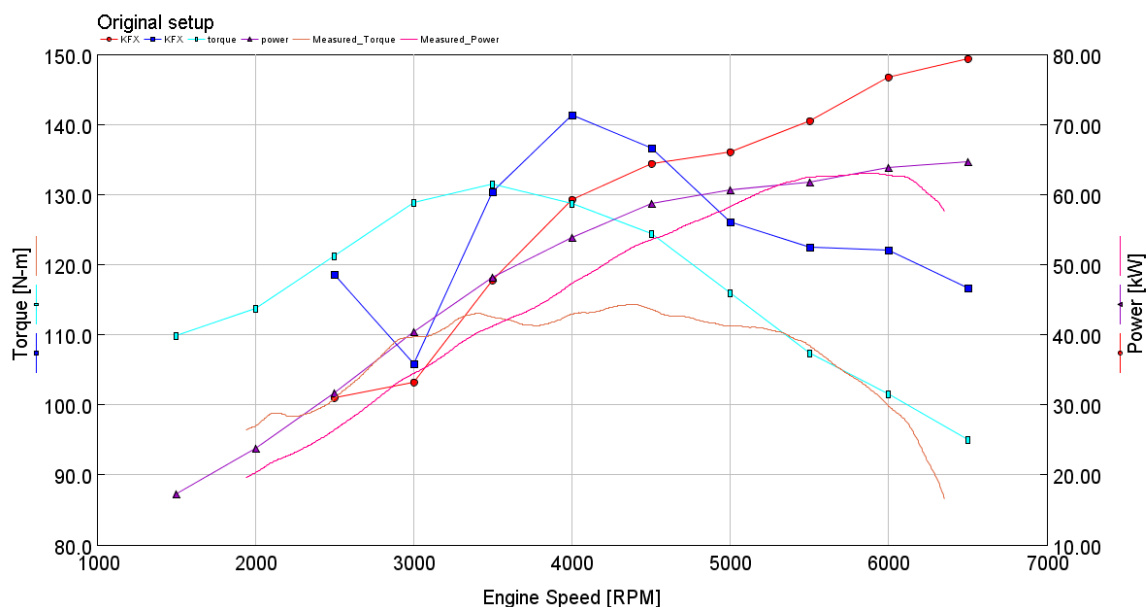
	[1/min]	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	Výsledná hodnota
Ex_Diam	[mm]	49,2	49,9	50	50	49,3	48,9	49,8	49,6	50
Ex_Man_1_D	[mm]	49,9	39,4	40	39,5	39	39,2	39	39,1	40
Ex_Man_2_D	[mm]	49	49,5	39,2	42	44,4	48,6	49,5	50	50
Ex_Man_1_L	[mm]	167,7	169,6	170	171	161,1	152	167,1	159,7	170
Ex_Man_2_L	[mm]	88,1	71,3	85,2	84,1	89,3	73,2	89,4	88,5	90
Ex_Man_3_L	[mm]	140,8	140,2	142,4	140	135,4	110,9	138,3	118,1	140
Ind_Power	[kW]	34,1	40,3	48	58,2	64,3	69	74,3	79,7	

Tab.9 Tabulka vypočtených hodnot



Obr 65. Příklad iteračního procesu

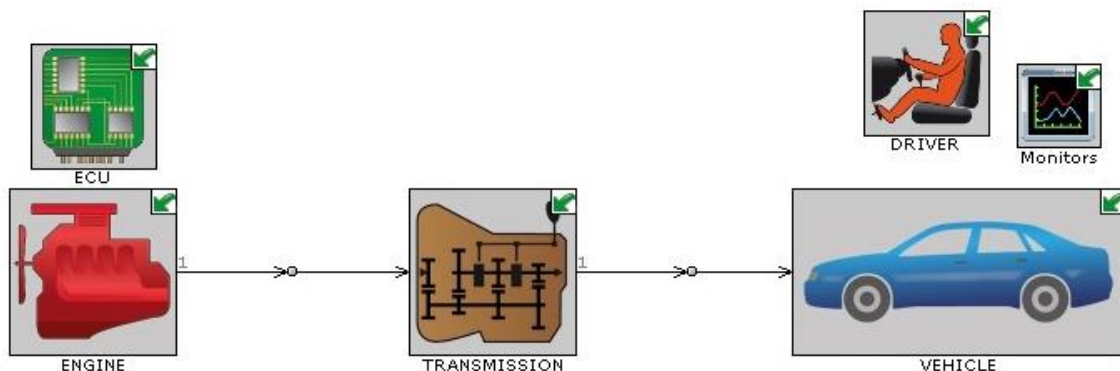
Na základě hodnot spočtených při optimalizaci byla stanovena pro každý parametr jedna společná hodnota tak, aby byl výkon v otáčkách co možná nejvyšší a zároveň aby se dala daná komponenta vyrobit. Tyto hodnoty byly zadány zpět do modelu motoru a spuštěn výpočet.



Obr 66. Výsledná simulace výkonu motoru

4.5.5. Simulace kompletního vozidla

S vozidlem je v plánu účastnit se závodu ve sprintu, tedy pouze po rovině na vzdálenost 400m. Pro takovou simulaci nám postačí jednoduchý exempl Akcelerace z klidu. Tento model obsahuje jednoduché schéma celého vozu a řidiče, včetně nastavení strategie řazení.

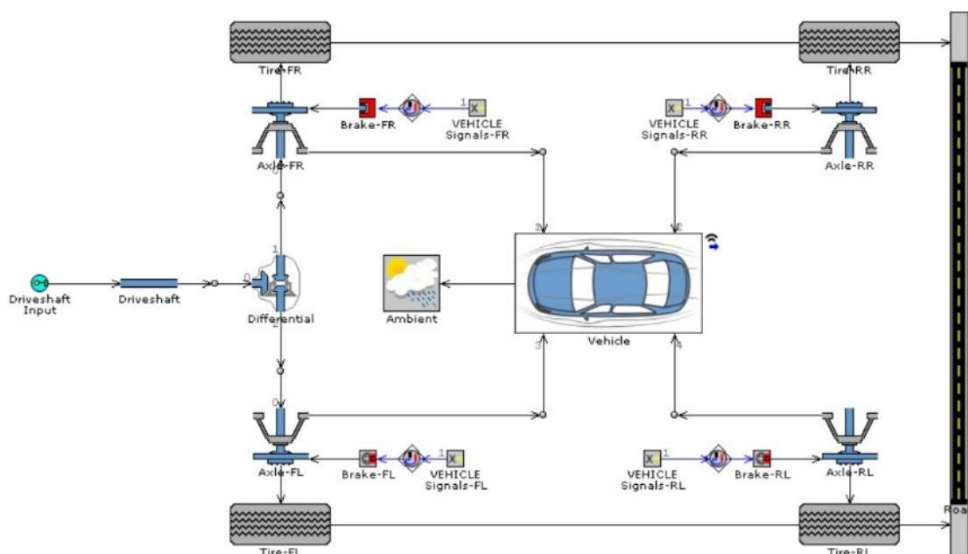


Obr 67. Jednoduchý model vozidla

Do nastavení motoru byl zadán typ motoru, objem, počáteční podmínky, použité palivo a z vytvořeného modelu motoru byly přeneseny tabulky BMEP, FMPE a BSFC. Ty byly tvořeny v závislosti otáček klikového hřídele na poloze plynového pedálu. Předpoklad je lineární závislost polohy pedálu na míře otevření klapky. U Peugeot 106 je klapka ovládána lankem, nikoli elektricky.

Ve složce Transmission jsou zadány rozměry spojky, jednotlivé převodové poměry a počáteční rychlostní převod, na který bude vozidlo startovat.

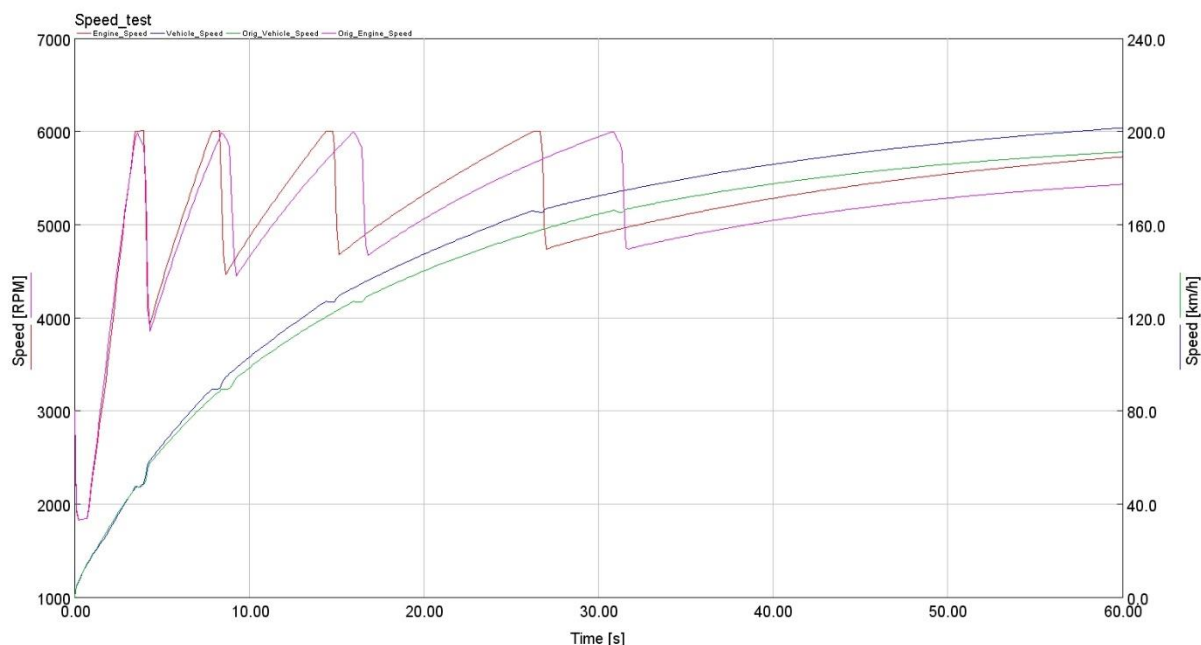
V sestavě Vehicle je sestava celého vozu, kde se nastavuje jeho hmotnost, aerodynamika, použité pneumatiky, převodový poměr diferenciálu, počasí, vlastnosti trati, a pokud by nás zajímala brzdná dráha, tak i brzdy. Pro nastavení chování řidiče byla zvolena strategie taková, že řidič přeřadil na vyšší rychlostní stupeň v momentě dosažení 6000 1/min, kdy by měl výkon motoru začít klesat.



Obr 68. Podsestava Vehicle

4.5.5.1. Výsledky simulace vozidla

Ze simulace vyšlo, že vozidlo je oproti sériovému stavu rychlejší. Byly testovány i jiné typy diferenciálů a převodovek z jiných motorových variant, ale jejich přínos se v simulaci projevil velmi zanedbatelně, z čehož plyne, že takto upravené vozidlo je dále provozovatelné se sériovou převodovkou.



Obr 69. Křivky rychlosti a otáček motoru

	Sériový motor	Upravený motor
Zrychlení z 0 na 100 km/h	11,8s	9,52s
Sprint na 400m	18,1s	17,23s

5. Závěr

Cílem této práce bylo zjistit, jaké jsou možnosti úpravy atmosférického motoru za účelem zvýšení jeho výkonu a na základě toho navrhnout úpravy pro existující motor a zjistit předpokládaný přínos těchto modifikací. Pomocí různých měření byly získány nejnütnější údaje pro sestavení 1-D simulačního modelu, pomocí kterého byly následně získány výkonové křivky. Výsledkem simulace je zvýšení výkonu samotného motoru oproti sériovému stavu o 20kW a byl celkově zlepšen průběh momentu v celé škále otáček motoru. Tyto výsledky byly aplikovány pro další model, a sice model celého vozidla Peugeot 106. Úsek 400m urazil upravený vůz o vteřinu rychleji a z 0 na 100 km/h se dostane za 9,52s oproti původním 11,8s. Při této práci jsem se naučil pracovat s novými technologiemi a simulačními programy. Navržené změny bych chtěl realizovat v praxi a ověřit tak věrnost simulací.

6. Zdroje

6.1. Seznam použité literatury

- [1] VYDRA, J.: Hnací ústrojí závodních vozů kategorie Grand Prix před druhou světovou válkou. Bakalářská práce, VUT Brno, 2010
- [2] *Étienne Lenoir* [online]. [cit. 27-8-2020]. Dostupné z WWW: https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89tienne_Lenoir
- [3] *Nicolaus Otto* [online]. [cit. 27-8-2020]. Dostupné z WWW: https://en.wikipedia.org/wiki/Nicolaus_Otto
- [4] *Carl Benz* [online]. [cit. 27-8-2020]. Dostupné z WWW: https://en.wikipedia.org/wiki/Carl_Benz
- [2] *Opravy válců pístových spalovacích motorů* [online]. [cit. 27-8-2020]. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/160/08.html>
- [2] *Ventilové rozvody čtyřdobých spalovacích motorů* [online]. [cit. 27-8-2020]. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/160/12.html>
- [2] *Pístové spalovací motory* [online]. [cit. 27-8-2020]. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/160/07.html>
- [3] *Parametry vozu Peugeot 106* [online]. [cit. 27-8-2020]. Dostupné z WWW: https://www.automobile-catalog.com/curve/1998/2609420/peugeot_106_1_4i_rallye.html
- [4] SMRČEK, M.: Netradiční metody zvyšování výkonu spalovacích motorů. Bakalářská práce, VUT Brno, 2013
- [5] ETZOLD, Hans-Rüdiger. *Údržba a opravy automobilů Peugeot 106: zážehové motory : vznětové motory*. České Budějovice: Kopp, 1999. Jak na to? (Kopp). ISBN 80-7232-086-6.

6.2. Zdroje obrázků

- [1] Obr.1 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <https://openclipart.org/download/295365/4StrokeCycleAnnotated.svg>
- [2] Obr.2 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0d/Panhard-levassor.jpg>
- [3] Obr.3 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <https://www.pitpass.com/images/teams/800/renault/1906renaultszisz01.jpg>
- [4] Obr.4 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <http://www.seriouswheels.com/1800-1919/1914-Mercedes-4-5-Liter-Grand-Prix-Studio-1-2560x1600.html>

- [5] Obr.5 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: https://cdn.shopify.com/s/files/1/2784/4966/products/DSCF6612_4000x2677_crop_center.jpg?v=1571066566
- [6] Obr.6 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <https://shop.foxtoys.cz/inshop/catalogue/products/pictures/C-008-v.jpg>
- [7] Obr.7 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: https://www.f1-fansite.com/wp-content/uploads/2014/02/b_D8D7537-Large1.jpg
- [8] Obr.8 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/160/images/pics/164.jpg>
- [9] Obr.9 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: https://blogger.googleusercontent.com/img/a/AVvXsEi0fEqD5hKy6IN1sVSZ4j_FYCNb2EBzUTPcxHpoQDSWyaGgTdjP0e-IbUNWO7_kdiLuyhGLsC-ZUnhcuuxAui_ksLEGuz8EDnCSAxwleN48_Dy1R5co99vKXiHM9R7N3pIyJpPnEuWPCzzl8wQuTaLDXbH-DQUoPMuxRyzHXPJTLd_dsz9nsGN9KrqfMQ=s16000
- [10] Obr.10 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/160/images/pics/171.jpg>
- [11] Obr.11 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <https://docplayer.cz/docs-images/73/69053973/images/18-3.jpg>
- [12] Obr.12 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <https://image2.slideserve.com/4337665/slide10-l.jpg>
- [13] Obr.13 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <https://s19533.pcdn.co/wp-content/uploads/2016/12/Duramax-diesel.jpg>
- [14] Obr.14 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: https://www.powergarage.cz/fotky52964/fotos/52964_4019_52964_4018_52964_4017__vyr_4011honda-d16.jpg
- [15] Obr.15 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: https://static.summitracing.com/global/images/prod/xlarge/slp-8kh273cp30_kl_xl.jpg
- [16] Obr.16 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/160/images/pics/313.jpg>
- [17] Obr.17 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/160/images/pics/314.jpg>
- [18] Obr.18 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: https://lh3.googleusercontent.com/proxy/kbjU5xrYNXSYGNVpLoGHx7p_EgORWPKS_ajzDJ7vSmCcbZgUXXdik3xaVXBKGAKs0hdcrZ4DcgWMvumwJpWEwd6Xf3gCGkseVPcpCcn6_k8kJQ
- [19] Obr.19 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/160/images/pics/354.jpg>

- [20] Obr.20 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/cvvt-continuously-variable-valve-timing/>
- [21] Obr.21 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: https://hips.hearstapps.com/hmg-prod/amv-prod-cad-assets/wp-content/uploads/2015/08/Timing-Changes-inline-1-626x360.jpg?resize=480:*
- [22] Obr.22 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/160/images/pics/365.jpg>
- [23] Obr.23 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <https://skpatents.com/patents/252094-nesymetricka-vacka-rozvodneho-mechanismu-spalovacich-motoru-7.png>
- [24] Obr.24 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: http://speedhunters-wp-production.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2017/06/27221311/SH_8265.jpg
- [25] Obr.25 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: https://www.haltech.com/wp-content/uploads/2022/03/thumb_elite2022.jpg
- [26] Obr.30 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <https://www.lmperformance.com/images/parts/600/kn69-7502tb.jpg>
- [27] Obr.31 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <http://germanlook.es/prestashop/es/opel-inyeccion/117572-kit-inyeccion-dbilas-opel-astra-f-corsa-a-gsi-y-corsa-b.html>
- [28] Obr.32 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <https://eurofrance24.com/media/catalog/product/cache/f219e8731a53104eb3270b8aeae66ca/9/0/90ebd453b6b3a09fb87582df2dd08946.jpg>
- [29] Obr.57 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: <https://renovelo.com/forum-content/images/narrowband.png>
- [30] Obr.62 [online]. [cit. 2022-07-17]. Dostupné z WWW: https://www.picclickimg.com/d/l400/pict/334516465230_/Peugeot-106-Rallye-S1-Inlet-Manifold-Throttle-Body.jpg

6.3. Seznam obrázků

Obr 1.	Schéma 4taktního motoru [1].....	12
Obr 2.	Vítězný vůz Panhard-Levassor [2].....	14
Obr 3.	Renault 1906 [3].....	15
Obr 4.	Mercedes 1914 [4]	16
Obr 5.	Buggati Type 35 [5].....	16
Obr 6.	Auto Union Type C [6].....	17
Obr 7.	Motor Formule 1 výrobce Renault [7].....	19
Obr 8.	Schéma uložení válců v motoru [8]	19
Obr 9.	Chlazení bloku motoru [9]	20

Obr 10.	Schéma otevřeného chlazení válce [10]	20
Obr 11.	Schéma uzavřeného chlazení válce [11]	21
Obr 12.	Klíkový mechanismus [12]	22
Obr 13.	Klíkový hřídel [13]	22
Obr 14.	Ukázka závodní kované ojnice [14]	23
Obr 15.	Píst a pístní čep [15]	23
Obr 16.	Schéma časování ventilů [16]	24
Obr 17.	Schématické zobrazení typů uložení ventilů [17]	24
Obr 18.	Desmodromický rozvod Ducati [18]	25
Obr 19.	Schéma variabilního časování [19]	26
Obr 20.	Schéma CVVT [20]	27
Obr 21.	Schéma technologie V-tec motorů Honda [21]	27
Obr 22.	Porovnání vaček systému V-tec [22]	28
Obr 23.	Schéma vačky [23]	29
Obr 24.	Lahve s N ₂ O [24]	30
Obr 25.	Řídící jednotky Haltech [25]	31
Obr 26.	Výkonová charakteristika Peugeot 106 1.4 Sport od výrobce	32
Obr 27.	Odměrování objemu pomocí Jaru	36
Obr 28.	Model kompletního sacího traktu	36
Obr 29.	Sání Simota montované na motoru 1.4 KFX	37
Obr 30.	Sání K&N [26]	37
Obr 31.	Upravené sání Dbilas [27]	38
Obr 32.	Originální škrťací klapka [28]	38
Obr 33.	Sériové provedení výfukového potrubí	39
Obr 34.	Výfukové svody TaTechnix	39
Obr 35.	Parametry hřídele Catcams 4901101	40
Obr 36.	Schéma profukovací stanice	41
Obr 37.	Hlava motoru uchycena na měřicím standu	42
Obr 38.	Detail vtokového hrdla hlavy	42
Obr 39.	Uchycení hlavy pro měření na výfukovém ventilu	43
Obr 40.	Závislost objemového průtoku na otevření ventilů	44
Obr 41.	Závislost průtokového součinitele na otevření ventilů	44
Obr 42.	Osazená hlava motoru	45
Obr 43.	Uchycení senzorů na motorové hlavě (rot. senzor žlutě, lin. zeleně)	45
Obr 44.	Zdvihová křivka sériového vačkového hřídele	46
Obr 45.	Peugeot 106 na válcové brzdě	47
Obr 46.	Výkonová charakteristika naměřená na válcové brzdě	48
Obr 47.	Závislost čísla Lambda na napětí [29]	49
Obr 48.	Model kompletního sacího traktu vozu Peugeot 106	50
Obr 49.	Sací plénium v programu GEM3D	50
Obr 50.	Sací plénium převedeno do prostředí GT ISE	51
Obr 51.	Sací trakt v prostředí GT ISE	51
Obr 52.	Schéma sacího vedení až po airbox	52
Obr 53.	Schéma originálního výfukového vedení	52
Obr 54.	Výfukový systém s upraveným sběrným potrubím	53
Obr 55.	Upravené sběrné potrubí v prostředí GEM3D	53
Obr 56.	Upravené sběrné potrubí v prostředí GT ISE	54
Obr 57.	Zbytek výfukového vedení v samostatných buňkách	54

Obr 58.	Podsestavy výfuku v GT ISE.....	55
Obr 59.	Kompletní model v prostředí GT ISE	56
Obr 60.	Graf simulovaných a naměřených křivek	56
Obr 61.	Porovnání zdvihové křivky originální a upravené vačky	57
Obr 62.	Sací plénium z Peugeot 106 1,3 Rallye [30].....	58
Obr 63.	Parametrizace výfuku.....	59
Obr 64.	Parametry výfukových svodů.....	59
Obr 65.	Příklad iteračního procesu	60
Obr 66.	Výsledná simulace výkonu motoru	60
Obr 67.	Jednoduchý model vozidla	61
Obr 68.	Podsestava Vehicle	61
Obr 69.	Křivky rychlosti a otáček motoru	62

6.4. Seznam tabulek

Tab.1	Tabulka základních parametrů motoru TU3JP	32
Tab.2	Bodovací tabulka	33
Tab.3	Porovnání rozměrů sacích ventilů	34
Tab.4	Porovnání rozměrů výfukových ventilů	34
Tab.5	Tabulka hodnot naměřených na profukovacím stanovišti	43
Tab.6	Tabulka naměřených výkonů	48
Tab.7	Tabulka vyčtených dat z řídicí jednotky	49
Tab.8	Tabulka parametrů hlavy motoru	57
Tab.9	Tabulka vypočtených hodnot	60