



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

PŘEPLŇOVANÉ MOTORY FORMULE 1

FORMULA 1 TURBO ENGINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUCIE PROKŠOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DAVID SVÍDA, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lucie Prokšová

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

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

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

Přepřlňované motory formule 1

v anglickém jazyce:

Formula 1 Turbo Engines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracujte přehled vývoje přepřlňovaných motorů závodních vozů série Formule 1. Zaměřte se zejména na ročník 2014.

Cíle bakalářské práce:

Vypracujte přehled vývoje přepřlňovaných motorů vozů Formule 1. Uveďte, jaké konstrukce byly používány, které byly zakázány a proč. Zaměřte se na konstrukci a pravidla nadcházejícího ročníku 2014.

Seznam odborné literatury:

[1] MTZ Motorentechnische Zeitschrift Ausgabe. Wiesbaden: Springer Wieweg|Springer Fachmedien Weisbaden GmbH.

[2] Race Engine Technology:
High Power Media Ltd.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. David Svída, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 23.10.2013



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá přehledem vývoje přeplňovaných motorů vozů Formule 1. Jsou zde uvedeny některé typy přeplňovaných motorů hojně užívaných v 80. letech a jejich historie. Poté následuje seznámení se sezonou 2014, novými pravidly a s tím vše spojené.

KLÍČOVÁ SLOVA

formule 1, přeplňované motory, turbodmychadlo, pohonná jednotka

ABSTRACT

This thesis deals with the outline of turbocharged engines Formula 1 cars. There are some types of turbocharged engines widely used in the 80s and their history. This is followed by introduction to season 2014, new rules and all together.

KEYWORDS

formula 1, turbo engines, turbocharger, power unit



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PROKŠOVÁ, L. *Přepřítované motory formule 1*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. David Svída, Ph.D.

.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 30. května 2014

.....

Lucie Prokšová



PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Davidu Svídovi Ph.D. za důležité připomínky a obětavou pomoc během konzultací mé bakalářské práce.



OBSAH

Úvod	10
1 Historie formule 1.....	11
1.1 Než nastoupila oficiální formule 1.....	11
1.2 První ročníky formule 1	12
1.3 Motory používané ve formuli 1	12
2 Přepřínování pístových spalovacích motorů.....	14
2.1 Přepřínování motoru turbodmychadlem	14
2.2 Konstrukce turbodmychadla	15
2.3 Princip činnosti turbodmychadla	15
2.4 Výhody motorů přepřínovaných turbodmychadlem	16
3 Historie a vývoj přepřínovaných motorů	17
3.1 Motor Renault Gordini EF-1.....	17
3.1.1 Konstrukce motoru	17
3.1.2 Konečná verze motoru pro formuli	18
3.2 Motor BMW M12/13.....	19
3.2.1 Parametry a vývoj motoru	19
3.2.2 Kariéra ve Formuli 1.....	19
3.3 Motor TAG Porsche.....	20
4 Konec používání turbodmychadel	22
5 Formule 1 roku 2014	23
5.1 Změna pravidel	23
5.2 Vysvětlení pojmů.....	24
5.2.1 Pohonná jednotka – Power Unit	24
5.2.2 Motor s turbodmychadlem	25
5.2.3 MGU-K.....	25
5.2.4 MGU-H.....	25
5.2.5 Shrnutí funkce motoru jako celku	26
5.3 Motor Mercedes 2014	27
5.4 Motor Renault 2014	28
5.5 Motor Cosworth 2014.....	30
5.5.1 Simulační přístup.....	31
5.5.2 Simulace vozu Formule 1	31
5.6 Ohlas a kritika veřejnosti	32
5.6.1 Co zlepšit na Formuli 1 roku 2014	33
Závěr.....	35



Použité informační zdroje.....	36
Seznam použitých zkratek a symbolů	38



ÚVOD

Myšlenka závodů vozů tu byla už dávno, o tom se také můžeme přesvědčit díky bohaté historii automobilních firem. Formule 1 je však úplně něco jiného. V počátcích se sice vozy nelišily od normálních aut, ovšem technický pokrok se projevil a díky tomu dnes můžeme být svědky velkolepých závodů s vozy Formule 1, které už zdaleka nevypadají jako běžně užívaná auta.

Je až neuvěřitelné, kam se vývoj spalovacích motorů užívaných ve Formuli 1 dostal. O tom si ovšem můžete přečíst v mé práci. Seznámíte se se vznikem závodů Formule 1, historií přeplňovaných motorů užívaných v 80. letech a následně se dočtete, které se staly pro tuto dobu symbolem. Poté bude skok do současnosti a úvod do změny pravidel a budu se zabývat vysvětlením pojmů, které jsou pro tento rok nová a typická.

Tématem této práce jsou přeplňované motory a jsou aktuální, protože právě tento rok se rozhodla organizace FIA změnit pravidla, a vrátit se k turbomotorům. To vše se děje v důsledku tzv. „downsizingu“, což už postihlo automobily pro běžné užívání a slaví úspěch. Motory se z dříve užívaných osmiválcových motorů s přirozeným sáním o objemu 2,4 litru mění na šestiválcové přeplňované motory o objemu 1,5 litru. Do jaké míry bude toto rozhodnutí dobré pro Formuli 1, se budeme moci přesvědčit začátkem sezony a názor si budeme moci utvořit každý sám, dle oblíbenosti a pohledu na věc.



1 HISTORIE FORMULE 1

Oficiální mistrovství světa vozů formule 1 se datuje do roku 1950, ale pojmy formule a Grand Prix se objevují podstatně dříve. Kdy se tedy vlastně jel první okruhový závod a co vlastně lze za okruhový závod počítat? Měli bychom si vystačit s jednoduchou definicí, že jde o sportovní automobilový podnik, který má start a cíl na jednom místě. Jenže to bychom do stejné kategorie museli zařadit i kdysi slavný závod Mille Miglia, který začínal a končil v Brescii. Přitom jedno kolo onoho „tisíce mil“, což je přesný překlad italského názvu, měřilo nějakých 1639,7 km. Právěk závodní éry je vůbec velice spleť a při jeho procházení musíme vzít v úvahu, že nebyly stanoveny předpisy ani pravidla. Podle oficiálních encyklopedických údajů byla prvním okruhovým závodem Velká cena Francie 1906 na okruhu Sarte v Le Mans. Tuto skutečnost se však pokoušejí zpochybnit jak Britové, kteří řadí před zmíněný francouzský závod svou Tourist Trophy (1905), tak Američané s Vanderbiltovým pohárem (1904) a v neposlední řadě i Italové se sicilskou Targa Florio, která se sice konala také v roce 1906, ale dříve než francouzský závod. A těch sporných případů je ještě více, zavedly ba nás do Belgie a s určitou nadsázkou vlastně i k úplně prvnímu oficiálnímu závodu pro automobilová vozidla. Jenže toho se zúčastnil pouze jediný závodník [1].

1.1 NEŽ NASTOUPILA OFICIÁLNÍ FORMULE 1

Velkou cenu Francie 1906 vyhrál Maďar Ferenc Szisz na voze Renault. Tehdy byl závod rozdělen do dvou dnů (26. a 27. června), a v každém z nich museli piloti, kteří startovali handicapovaným způsobem, zvládnout šest okruhů. Vítězný Szisz strávil na trati 12 hodin 13 minut a 57 vteřin. V jediném závodě, i když byl rozdělený na dvě části, seděl za volantem téměř tolik času, kolik potřebují současní piloti Formule 1 na šest Grand Prix. Přesně se však neví, kolik měřil jeden okruh. Různé zdroje uvádějí několik různých údajů o kilometrůž okruhu oscilujících od 102 do 104 km [1].

Okruhové závody začaly pozvolna vytlačovat na počátku století obvyklé a oblíbené dálkové závody. Vztah veřejnosti a především pořadatelů k nim značně ochladl po tragédii v závodě Paříž – Madrid (1903), který si díky srážce vozu s diváky vyžádal nejméně osm mrtvých, a později dálkové závody prakticky upadly do nemilosti. Tradiční motoristická klání jako Mille Miglia fungovala dál, hledaly se však i další cesty. Snaha se neomezila jen na starý kontinent, svou trochou chtěla přispět i Amerika. Začala se tedy formovat nová disciplína automobilového sportu, která se během let víc a víc blížila dnešní Formulí 1. Její nástup však na chvíli zastavily dvě světové války [1].

Často se říká, že Anglie je matkou motoristického sportu a ve Francii se zase rychle jezdí. Je to však Itálie, která má rozhodující zásluhu na tom, že se dnes můžeme procházet šedesáti ročníky oficiálního mistrovství formule 1. Jednou z nejvýznamnějších postav, která stála u samých kořenů F1, byl hrabě Antonio Brivio Sforza (1905-1995), který navrhl a posléze prosadil konání mistrovství světa Formule 1 [1].

Koncepci nové formule vypracoval už v roce 1947, v následujících dvou letech se jela Formule A, která však ještě neměla oficiální státu. Sforzův záměr byl projednán na kongresu Mezinárodní automobilové federace FIA v roce 1949, kde byl také schválen. První ročník v roce 1950 se skládal ze šesti evropských závodů, jejichž pořadatelé byli rovněž vybráni na



zmíněném kongresu. Jako sedmá byla do šampionátu zařazena americká legenda 500 mil INDY. Za tímto krokem nelze hledat nic jiného než snahu dát světovému šampionátu skutečně punc mezikontinentálního klání. Bylo to rozhodnutí poněkud scestné, protože američtí borci se neobtěžovali cestovat k jedinému závodu do Evropy, opačným směrem zase nespěchal nikdo ze starého kontinentu [1].

1.2 PRVNÍ ROČNÍKY FORMULE 1

První ročníky Formule 1 musí působit na fanouška z 21. století komicky. Závodů bylo s výjimkou roku 1958 méně než deset za sezonu, což bylo dáno zejména tím, že v počátcích této kategorie existovalo velké množství dalších akcí. Navíc se tehdy rozhodně nedalo hovořit o závodní specializaci, neexistovaly ani náročné dlouhodobé testy. Řečeno jazykem lidovějším, hvězdy F1 vymetaly všemožné závody, včetně slabší F2, sportovních a cestovních vozů či prototypů. Jak už bylo řečeno, piloti nemuseli složitě nastavovat vozy a hrát si s nastavením na určitou trať. Přispíval k tomu i fakt, že větší část závodů se ještě jezdila na veřejných komunikacích, jako například Grand Prix Itálie v Pescaře [1].

Dalším významným rysem prvních ročníků F1 byla možnost střídání více pilotů na jednom voze. Nešlo tu o klasický případ známý z vytrvalostních závodů typu 24 hodin Le Mans, nýbrž v rámci jednoho týmu bylo možné předat jezdci (jedoucímu na vedoucí či čelní pozici), který byl stížen poruchou či z jiného důvodu nemohl v závodě pokračovat, vůz stájového kolegy. Jedinou podmínkou bylo, že se takové předání muselo odehrát v depu. Pokud takový Juan-Manuel Fangio vedl v závodě, a jeho vůz selhal, vedení týmu zastavilo jiného jezdce svého týmu. Fangio pak převzal jeho vůz a pokračoval dál na své pozici. Pokud dorazil do cíle na bodovaném pořadí, tento zisk se dělil mezi ty piloty, kteří s ním daný vůz sdíleli [1].

1.3 MOTORY POUŽÍVANÉ VE FORMULI 1

Následná éra „dvouapůllitrové formule“ (1954-1960) je považována za období, kdy se v největší možné míře využívalo poznatků ze závodních drah pro konstrukce vozů v běžném provozu. Z Formule 1 prakticky vymizely přeplňované motory, protože vzhledem k motorům s přirozeným sáním se nevyplatilo se jimi ani zabývat [1].

Konec první desetiletky Formule 1 byl ve znamení změny koncepce vozů, definitivně se tak uzavřela éra robustních vozů s pilotem sedícím až na samé zádi, prototypem se stává subtilní konstrukce s motorem vzadu. Průkopníkem tohoto řešení byla značka Cooper. Dostalo se jí sice posměchu od ostatních stájí v čele s patriarchou Enzou Ferrarim. Vládce z Maranella dokonce posměšně pronesl svou pověstnou větu: „Koně se vždycky zapřahají dopředu“, nakonec ale tato varianta vývoje přinutila i je ke změně názoru [1].

Od poloviny šedesátých let se vozy Formule 1 začaly výrazně odlišovat od vozů z běžného provozu. Zásadní změnou bylo v roce 1966 navýšení objemu atmosférických motorů na 3000 cm³ a opětovná možnost použít agregát opatřený kompresorem o obsahu 1500 cm³. Tento krok je v historii F1 považován za jeden z nejdůležitějších, neboť se navzdory avizovaným korekcím a úpravám udržel až do závěru turboéry (1987), kdy bylo nutné přepracovat kompletně technické předpisy. Éra „třilitrové“ formule sice měla určité odpůrce, ale FIA při



její koncepci přihlížela k názorům těch nejzajímavějších: samotných motorářů, vedle nichž své požadavky vznesli i piloti vozů F1 [1].

Tyto okolnosti a intenzivní obchodní zájmy vedly k tomu, že světlo světa spatřila pohonná jednotka, která se stala v F1 naprostou legendou – Ford Cosworth, mistrovské dílo z dílny Cosworth Engineering, na němž se podíleli Mike Costin a Keith Duckworth. Osmiválec, jehož vývoj přišel na „pouhých“ 100 000 liber během pěti let, prakticky vytlačil většinu konkurentů, a v první polovině 70. let s ním dokázalo držet krok jen Ferrari. Jen pro porovnání – když se tento motor Cosworth v modifikaci DFV objevil v roce 1967 poprvé v Grand Prix Monaka, měl ho k dispozici pouze tým Lotus (zakladatel stáje Colin Chapman byl jedním z iniciátorů stavby tohoto motoru) a výjimečně ho využívala francouzská Marta. V roce 1974 už poháněl vedle Lotusu ještě Tyrrell, Brabham, McLaren, Shadow, Surtees, March, ISO, Ensign a Lolu. S minimálními úpravami přečkal ve formuli 1 neuvěřitelných sedmáct let a ještě ve své poslední sezoně poháněl Tyrrell, s nímž Michele Alboreto vyhrál Grand Prix USA [1].

Zastavme se nyní u přepřelňovaných motorů. Ty stály na počátku oficiálního mistrovství F1, jehož prvním dvěma ročníkům jednoznačně dominovaly. Pak se ale ukázaly jako nevýhodné a myšlenka jejich použití téměř upadla. I v éře třilitrové Formule se o jejich vývoj nikdo přes deset let nezajímal, než se na scéně objevila firma Renault, snažící se vyšlapat novou cestu v použití pohonných jednotek [1].

Jeho začátky byly trpké, Renaultům se posměšně říkalo „čajové konvice“, protože pro časté potíže s dmychadly tryskala za jejich zádi oblaka páry. Přesto za dva roky dokázal tým ve žlutočerných barvách vyhrát závod – shodou okolností Grand Prix Francie 1979 – a rázem se o tuto myšlenku začaly zajímat další týmy. Nejdříve se jí chopilo Ferrari, poté Alfa Romeo, přidala se bavorská značka BMW a na začátku 80. let bylo více než jasné, že turbo se stane hitem. Byla to zároveň labutí píseň „nesmrtelného“ Cosworthu DFV, který slavil v roce 1983 své poslední 155. vítězství. Ve stejném roce se stal Nelson Piquet senior prvním turbomistrem, když mu za zády jeho Brabhamu duněl čtyřválec BMW [1].

Většina týmů si lék v podobě turba později ráda naordinovala. Jestliže ještě zpočátku dominance turba měly motory s přirozeným sáním nějakou šanci na městských okruzích, zakrátko byly ze stupňů vítězů vytlačeny i tam. Protože byl však vývoj a provoz turbomotorů velice náročný a také nebezpečně stoupaly jejich výkony a s nimi i cena, sáhla FIA k radikálnímu kroku a turboéra sezonou 1988 skončila. Tyto technicky velice zajímavé pohonné jednotky dominovaly F1 naposledy, a to i přesto, že jim byl postupně značně omezen plnicí tlak a množství paliva. Týmy používající motory bez turbodmychadel začínaly natolik zaostávat, že to vypadalo, jako kdyby se jely v jednom závodě dvě odlišné kategorie. Dokonce to dopadlo tak, že v sezoně 1987 byl pro nepřepřelňované motory vyhlášen podšampionát – piloti jezdili o Trofej Jima Clarka, stáje s agregáty s přirozeným sáním o Pohár Colina Chapmana [1].

Se zákazem turba se někteří výrobci motorů vyrovnali úspěšně, Renault, Honda, Ferrari, Ford a později Hart přešly opět do tábora agregátů s přirozeným sáním, jiní se zánikem turboéry opustili i Formuli 1, což platilo pro Alfa Romeo, Porsche (byť skryté pod značkou TAG) či Megatron [1].

2 PŘEPLŇOVÁNÍ PÍSTOVÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

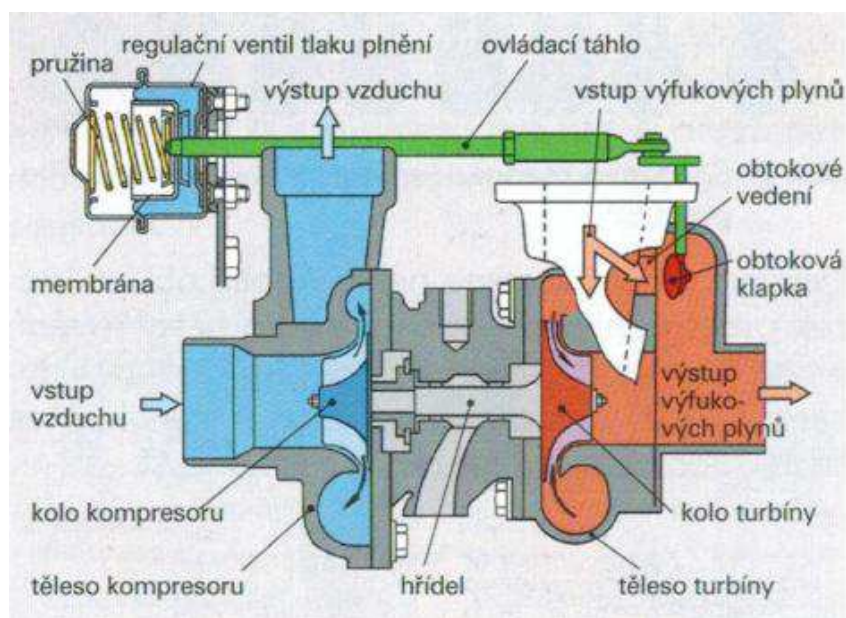
Výkon spalovacího motoru závisí na množství vzduchu a paliva, které je přivedeno do motoru ke spálení. Výkon můžeme zvýšit zvětšením zdvihového objemu motoru, zvýšením jeho otáček nebo zvýšením středního efektivního tlaku. Zvětšování zdvihového objemu vede ke zvětšení rozměrů motoru a k zvýšení jeho hmotnosti. Zvýšení otáček motoru vyžaduje velké technické náklady a přináší i jiné nevýhody. Elegantním technickým řešením zvyšování výkonu motoru je zlepšení plnění válců pomocí přeplňování [3].

Na rozdíl od nepřeplňovaného motoru, u kterého se vzduch nebo zápalná směs dopravuje do válce podtlakem pouze nasávacím účinkem pístu, je zde válec plněn nuceně tlakem vyšším, než je atmosférický. Přeplňováním se dostává oproti klasickému způsobu do pracovního prostoru větší množství vzduchu a tak je možno zvětšit i množství paliva dodávaného na jeden pracovní cyklus. Platí tedy, že přeplňováním lze buď zvýšit výkon motoru, nebo při stejném výkonu zmenšit jeho rozměry [3].

Princip přeplňování turbodmychadlem (turbokompresorem) byl navržen již v roce 1901 Švýcarem Büchim. Pak byl dále vyvíjen a koncem třicátých let použit u leteckých motorů [3].

2.1 PŘEPLŇOVÁNÍ MOTORU TURBODMYCHADLEM

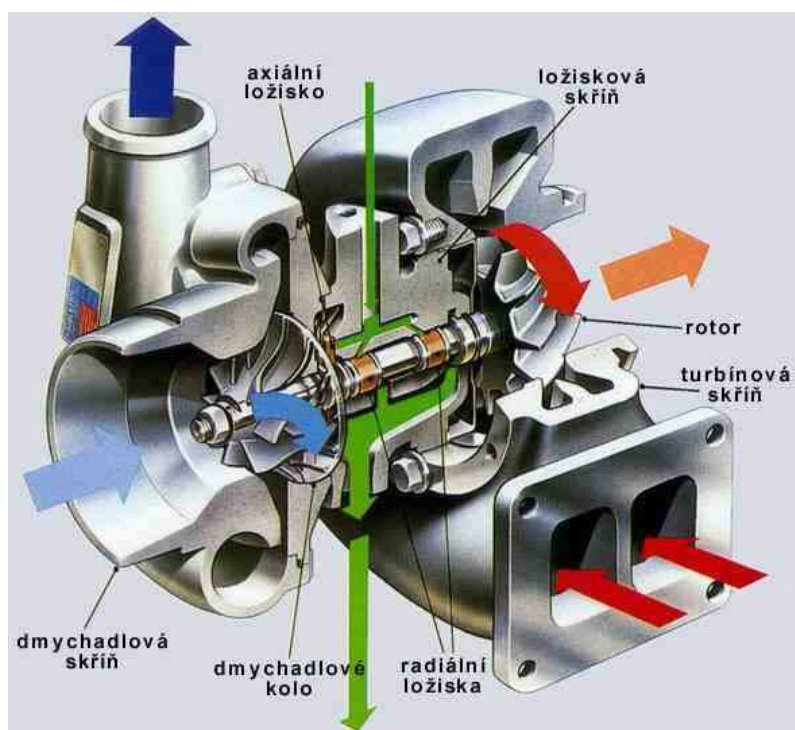
Vzduch je stlačen ještě před vstupem do válce. U vozidlových motorů s turbodmychadlem je turbína poháněna výfukovými plyny. Turbína pak následně pohání dmychadlo, které nasává čerstvý vzduch a dopravuje ho s určitým přetlakem do válců motoru. Mezi dmychadlo a motor se obvykle umísťuje chladič stlačeného vzduchu, který snižuje teplotu plnicího vzduchu. Ochlazením stlačeného vzduchu se zvyšuje hustota vzduchu [3].



Obr. 1 Schéma motoru s turbodmychadlem [9]

2.2 KONSTRUKCE TURBODMYCHADLA

Turbodmychadlo (obr. 2) se skládá z lopatkového turbínového kola a lopatkového kola dmychadla. Obě lopatková kola jsou uložena na společném hřídeli a mají tedy stejné otáčky. Podle druhu a režimu práce se celkový rozsah otáček pohybuje v rozmezí $50\,000\text{ min}^{-1}$ až $180\,000\text{ min}^{-1}$. Tyto velmi vysoké otáčky kladou značné nároky na přesnost výroby, jakost povrchu, mazání a vyvážení hřídele s oběma lopatkovými koly. Proto bývá hřídel uložen v kuličkových ložiskách nebo plovoucích kluzných pouzdrech. Plovoucí kluzná ložiska se otáčejí v otvorech olejem mazané skříně ložisek ve stejném smyslu jako hřídel. Tímto způsobem se sníží relativní rychlost (respektive rozdíl otáček) mezi hřídelem a kluznými ložisky. Toto konstrukční provedení uložení hřídele snižuje třecí ztráty a opotřebení. Mazání ložisek je provedeno napojením na tlakový mazací systém motoru [3].



Obr. 2 Schéma turbodmychadla [10]

Turbínové kolo je nejčastěji vyrobeno ze žáruvzdorné niklové slitiny, která je vhodná i pro extrémní teploty výfukových plynů zážehových motorů. Kolo se zhotovuje přesným litím a s hřídelem z ušlechtilé oceli je spojeno zpravidla třecím svařováním. Kolo dmychadla se zhotovuje z hliníkové slitiny obráběním na CNC. Spolu s těsnicí podložkou, ložiskem a distanční podložkou je pevně uchyceno na hřídeli [3].

2.3 PRINCIP ČINNOSTI TURBODMYCHADLA

Turbína převádí energii výfukových plynů, která by jinak bez užitku unikla výfukem, na otáčivý pohyb a tím pohání dmychadlo (kompresor). Dmychadlo nasává čerstvý vzduch a



stlačený jej dodává do jednotlivých válců motoru. To umožní zvýšit cyklovou dávku paliva a dojde tak ke zvýšení točivého momentu motoru i jeho výkonu [3].

Podle velikosti plnicího přetlaku a následného zvýšení točivého momentu se přeplňované motory rozdělují na tři skupiny:

- s nízkotlakým přeplňováním; plnicí přetlak je 20 kPa až 50 kPa (0,2 bar až 0,5 bar), odpovídá zvýšení točivého momentu asi o 25 %,
- se středotlakým přeplňováním; plnicí přetlak je v tomto případě 50 kPa až 100 kPa (0,5 bar až 1 bar) odpovídající zvýšení točivého momentu o 25 % až 50 %,
- s vysokotlakým přeplňováním; plnicí přetlak je vyšší než 100 kPa (1 bar), zvýšení točivého momentu o více než 50 %.

Stlačením v dmychadle se vzduch zahřeje až na 200°C. Aby se zvýšila jeho hustota, a tím zlepšilo plnění válců, je jeho teplota snížena až o 60°C v chladiči plnicího vzduchu [3].

2.4 VÝHODY MOTORŮ PŘEPLŇOVANÝCH TURBODMYCHADLEM

Motor přeplňovaný turbodmychadlem má proti klasickému motoru s přirozeným sáním hned několik technických a ekonomických výhod:

- poměr hmotnosti a výkonu (kg/kW) je lepší,
- zastavěný prostor je u přeplňovaného motoru menší než u nepřeplňovaného o stejném výkonu,
- průběh točivého momentu je možno vhodnou regulací stanovit lépe. Výsledkem je velmi zajímavá charakteristika, což v praxi znamená, že se např. u nákladního automobilu ve stoupáních musí méně často řadit a jízda je tedy mnohem plynulejší,
- chování přeplňovaného motoru ve vyšších nadmořských výškách je výrazně lepší,
- ztráta výkonu klasického nepřeplňovaného motoru ve velkých nadmořských výškách je citelná (9% až 10% výkonu na každých 1000 m nadmořské výšky). Turbína turbodmychadla naopak může díky nižšímu atmosférickému tlaku vzduchu přeměnit víc energie, takže se hmotnost přiváděného vzduchu zmenší jen nepatrně a motor pak dosahuje téměř stejného výkonu (snížení výkonu pouze o 1 % až 2 % na každých 1000 m nadmořské výšky),
- výfukové turbodmychadlo umožňuje snížení emisí obsažených ve výfukových plynech,
- přeplňovaný motor je tišší než motor bez turbodmychadla o stejném výkonu díky tomu, že má vzhledem k menším rozměrům menší plochu vyzařující zvuky. Samotná výfuková turbína tedy působí jako dodatečný tlumič hluku, protože odebírá energii spalinám a omezuje jejich expanzi do výfuku [3].



3 HISTORIE A VÝVOJ PŘEPLŇOVANÝCH MOTORŮ

Od roku 1956 musely být všechny závody Grand Prix provozovány v souladu s platnými předpisy. To znamenalo, že byly dány dva základní typy a to motor s přirozeným sáním o obsahu 3 litrů nebo přeplňovaný motor o obsahu 1,5 litru. Až do roku 1975 nikoho nenapadl pokus o přeplňovaný motor. Byla to však společnost Renault, která začala experimentovat s myšlenkou využití přeplňovaného motoru ve formuli 1. Zpočátku ale neměli vůbec úspěch a vzbuzovaly u konkurence spíše posměch, než respekt. To se ale časem změnilo. Ovšem jak už bylo řečeno, začátky nebyly nejlepší [4].

3.1 MOTOR RENAULT GORDINI EF-1

V únoru 1975 inženýři a technici společnosti Renault začali ve spolupráci s ropnou společností Elf dlouhodobý program vývoje, jehož výsledný produkt by byl 1,5-litrový přeplňovaný motor s turbodmychadlem. Nejprve se tedy muselo začít motor testovat a po mnoha komplikovaných testech se mohlo začít uvažovat o spuštění motoru do provozu. Stalo se tak 14. července 1977, kdy se ve voze Renault RS 10 představil na Grand Prix Anglie v Silverstone. Renault RS 10 se tak díky tomuto motoru stal historicky první formulí v Grand Prix, která použila motor s turbodmychadlem [4].

Závodní motor Renault pro formuli 1 byl založen již v roce 1971 pod technickým vedením Françoise Castaing a byl vyvinut na typ Gordini (obr. 3), který měl obsah dva litry a šest válců do tvaru V pod úhlem 90°. Tento typ, s vrtáním 86 mm a zdvihem 57,3 mm, byl úspěšný coby atmosférický motor ve Formuli 2, stejně tak jako přeplňovaný motor ve sportovních autech. Pro verzi Formule 1 bylo však potřeba ultrakrátkých hodnot (poměr zdvih/vrtání musel být menší než 0,5) a tak se tedy zdvih změnil na hodnotu 42,8 mm a zdvihový objem motoru se svými 1491 cm³ tak tedy byl podle právních předpisů v pořádku [4].

3.1.1 KONSTRUKCE MOTORU

Motor měl původně klikovou hřídel z tenkostěnné litiny, což bylo pro závodní motor neobvyklé, a výměnné vložky byly vyrobeny z nitridované oceli. Od roku 1980 se používaly vložky z hliníku a od roku 1982 se začala používat hliníková kliková skříň. Toto konstrukční provedení udělalo hodně, co se týče vysoké stability a nosné funkce ve vozidle [4].

Kliková hřídel a ojnice byly každých 600 až 800 km pravidelně měněny, aby motory vydržely až dvě závodní sezóny. Zatímco vstupní kanály v hlavě jsou rozvětvené, vede to všech dvanáct výstupních kanálů jednotlivě do výfuku. Centrálně mezi ventily se nachází čtyři svíčky o průměru 10 mm. Pohon čtyř vačkových hřídelí je realizován čelně od klikového hřídele pomocí ozubených kol a potom pomocí ozubeného řemene. Tyto řemeny se navíc využívají i pro pohon vodních a olejových čerpadel a jsou vedeny přes dvě napínací kola [4].

V obou řadách válců, se nachází jednotka paliva a elektrické napájení. Vstřikovací čerpadlo, poháněné přes ozubený řemen, reguluje množství vstřikovaného paliva podle polohy škrticí klapky a podle přetlaku nebo podtlaku v sacím potrubí [4].



3.1.2 KONEČNÁ VERZE MOTORU PRO FORMULI

U Renaultu se za období dvou řidičů vystřídal patnáct motorů a převodovek (Hewland pětistupňová s pouzdem z hořčíku). V každém případě byl jeden motor na závod a po pátečním tréninku byl nový, poté trénink v sobotu a třetí motor pak pro závod atd. Ve spojení s ultramoderním designem vozidel RE 30 a 40, které se objevily u Renaultu v letech 1982/83, se formule s přeplňovaným motorem dokončila a měla ambice se stát nejoblíbenější v automobilovém mistrovství světa [4].

Při pohledu zpět na uplynulá léta závodního vývoje motoru ve formuli 1se může zdát, že cesta Renaultu začala správně. Zatímco motory s přirozeným sáním byl dosažený výkon 130kW/l, je zřejmé, že atmosférické motory byly u konce svých dosažených možností, protože přeplňované motory byly velkým pokrokem. Tehdejší atmosférické motory nestačily zdaleka na turbomotory, a tak se kolikrát mohlo zdát, že se závody formule 1 jedou ve dvou odlišných kategoriích [4].

Přestože francouzský vůz svou vysokou technickou zranitelností, zejména v prvních letech vývoje, nedosahoval velmi často cíle, soutěžící byli brzy ohromeni velkým pokrokem a nadřazeností tak moc, že několik firem začalo také používat 1,5 litrové turbomotory pro Grand Prix. A to zejména Alfa Romeo, BMW, Ferrari, Honda a Porsche [4].



Obr. 3 Motor Renault Gordini [13]



3.2 MOTOR BMW M12/13

Přeplňovaný motor s označením BMW M12/13 o obsahu 1500 ccm, byl se svými čtyřmi válci jediným motorem s tímto počtem válců v historii závodů formule 1. Byl založený na standardně používaném motoru typu BMW M10, který byl představen v roce 1961 spolu s novým středním sedanem BMW 1500 "Neue klasse"[11].

Motor poháněl vozy stále Brabham, Arrows, Benetton a vyhrál mistrovství světa v roce 1983. Tento turbo motor je nejsilnější motor, který BMW kdy vyrobilo a ze závodního hlediska je nejúspěšnějším motorem, který kdy ve formuli 1 závodil [11].

Agregát navrhl závodník a inženýr Baron Alex von Falkenhausen a na tehdejší dobu to byl velmi flexibilní motor. Byl navržen tak, aby snadno umožnil zvýšit zdvihový objem až na rovné dva litry a tohoto rozsahu BMW hojně využívalo. Kromě verze s objemem 1 499 kubických centimetrů z BMW 1500 se motor objevil ve více variantách a to s objemem 1 573, 1 766 a 1 990 m³ [11].

3.2.1 PARAMETRY A VÝVOJ MOTORU

Ocelový blok z motoru M10 zde byl doplněn hliníkovou hlavou válců se čtyřmi ventily. Čtyřválec měl objem 1 599 ccm (vrtání × zdvih: 89,2 × 60 mm), kompresní poměr 7,5:1 a byl přeplňován nejprve turbodmychadlem firmy KKK, později typem od firmy Garrett. Maximální otáčky byly zhruba 11 500 za minutu. Kompletní hmotnost s turbodmychadlem a mezichladičem od firmy Behr je asi 170 kilogramů. Autorem tohoto motoru je motorkářská legenda Paul Rosche [11].

BMW tento motor nejprve používalo v závodech cestovních vozů a také ve Formuli 2. První přeplňovaný motor M12 odjel závod v roce 1969 a už v tom roce díky němu (i přes množství technických potíží) BMW získalo titul v evropském šampionátu cestovních aut. Jenže veškerá snaha mohla přijít vniveč. BMW se na konci vítězného roku ze závodění stáhlo a vývoj motoru a sportovní aktivity pokračovaly víceméně tajně. Nakonec se však BMW po zhruba tříleté pauze k závodění vrátilo a motor M12 hrál nadále důležitou roli [11].

Spolu se šéfem BMW Motorsport pak Rosche v závěru 70. let začal přemýšlet nad vytvořením motoru pro Formuli 1. Všiml si totiž, že verze M12 s turbodmychadlem o objemu 1.4 litru dosahuje výkonu až 550 koní, zatímco tehdejší dominantní agregát Cosworth DFV dosahoval „jen“ 450 koní. BMW však v té době mělo zatím zájem o vytvoření supersportu M1 a jeho uplatnění v závodech [11].

Později se tedy začali snažit i o uvedení M12 do závodů Formule 1 a tak se i v roce 1980 stalo. Rok 1981 byl rokem vývojovým a v sezoně 1982 se přeplňovaný motor BMW poprvé objevil na startu [11].

3.2.2 KARIÉRA VE FORMULI 1

BMW vstoupilo se svým přeplňovaným motorem do Formule 1 v roce 1982 s týmem Brabham, který vlastnil Bernie Ecclestone. Brabham pak dostával přeplňované motory BMW až do roku 1987, přičemž v tomto roce byla podpora už neoficiální. Kromě Brabhamu dodávalo BMW přeplňované motory také týmům ATS (1983 - 1984), Arrows (1984 - 1986) a



Benetton (1986). Po odchodu BMW z F1 se jeho motory pod značkou Megatron objevily v monopostech Arrows v letech 1987 a 1988 a u týmu Ligier v roce 1987 [11].

Největším úspěchem motoru byla pochopitelně sezona 1983, kdy Nelson Piquet získal titul mistra světa i přesto, že vyhrál jen tři závody. Týmový kolega Patrese vyhrál v tomto roce závěrečnou GP Jihoafrické republiky. Předtím v roce 1982 zaznamenalo BMW jen právě premiérové vítězství v Kanadě. V sezoně 84, kdy dominoval McLaren s motory TAG, Piquet ukořistil jen dvě vítězství (Kanada a Detroit). O rok později stálo BMW na stupínku nejvyšším jen jednou (GP Francie), a to opět díky Piquetovi. V závěrečném roce oficiální účasti pak s motorem BMW zvítězil Gerhard Berger s Benettonem v předposlední GP Mexika [11].



Obr. 4 Motor BMW M12/13 [11]

3.3 MOTOR TAG PORSCHE

Tento 1.5 litrový motor V6 poháněl McLaren MP4/2 a získal titul v šampionátu konstruktérů F1 v roce 1984, a znovu v roce 1985 s vozem MP4/2B. V roce 1986 jej používal Alain Prost ve voze MP4/2C. Vývoj motoru financoval více než pět milionů dolarů Mansour Ojjeh a jeho společnost TAG. Díky této investici motor oficiálně nesl označení TAG turbo, původ z automobilky Porsche jen připomínal nápis "Made by Porsche" na nasávacím otvoru [12][15].

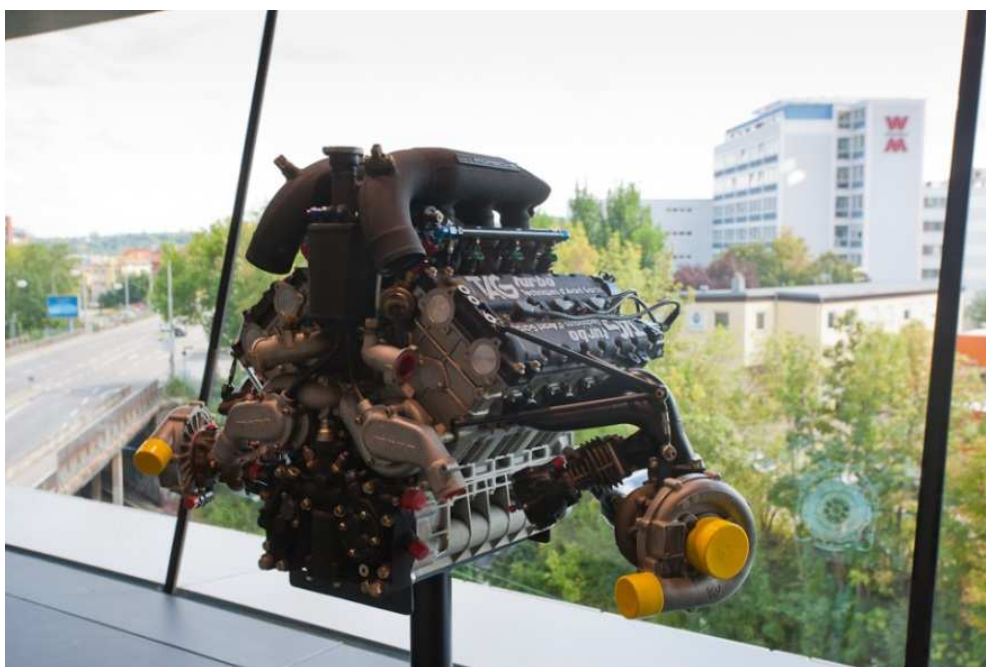
Motor o objemu 1498 cm³, jehož blok i hlavy válců byly z hliníku, se vyznačoval krátkým zdvihem 47,3 mm. Ten umožňoval přesáhnout hodnotu 10000 otáček za minutu. Vrtání činilo 82 mm, kompresní poměr byl 7,5:1, motor měl čtyři ventily na válec a rozvod DOHC. Pod každým ze dvou bloků po třech válcích se nacházelo turbodmychadlo. Ke snížení teploty sání



se používaly dva velké mezichladiče. O vstřikování paliva Shell se staral systém Bosch/Kugelfischer. Řada součástí motoru byla umístěna na přední část bloku a hlav válců. Výsledkem byl velmi kompaktní a odlehčený motor, avšak dostatečně silný, aby byl pevnou součástí šasi. Agregát dosahoval výkonu 597 kW (800 koní) při 11000 otáčkách za minutu. Sice nebyl nejvýkonnější ve startovním poli, což se projevovalo v kvalifikacích, ale v závodním režimu byl lepší než žízlivější konkurenti [15].

Hlavní změnou oproti předcházejícímu modelu roku 1983 byla větší palivová nádrž, protože turbomotory měly větší spotřebu. Přestože výkon motoru se oproti původní verzi zvýšil, pětistupňová převodovka ve voze zůstala a byl to typ McLaren/Hewland [15].

Motor byl vylepšen pro rok 1987 a byl uveden do vozu MP4/3. Byl však neúspěšný a McLaren tedy přešel následující rok na motory Honda. Stejně to pro firmu TAG nemuselo znamenat velkou ránu, protože v roce 1989 byla turbodmychadla úplně zakázána [15].



Obr. 5 Motor TAG Porsche [12]



4 KONEC POUŽÍVÁNÍ TURBODMYCHADEL

Turbodmychadla byla pro formuli 1 velkým přínosem, avšak ne dlouhodobým. Problémy nastaly, když se začaly projevovat velké rozdíly ve výkonech atmosférických motorů a motorů, které používaly turbodmychadla. Jezdci, kteří měli ve svém voze atmosférický motor, začali být hodně diskriminováni a tak bylo více než jasné, že se turbomotory na svém výsluní dlouho neudrží [1][2].

Od jisté doby se z formule 1 vytratil ten původní zájem o závod konstruktérů a porovnání řídičských kvalit jezdců. Vložila se do toho politika, peníze a týmové soutěžení. A tak když stáje, které nepoužívaly turbomotory, začali být na chvostu a nedařilo se jim získat body a žádný z jezdců nevítězil, se buď také dali cestou používání turbodmychadel, nebo se pro svůj neúspěch stáhly. Ono se moc nedá divit jejich počínání a vlně kritiky, protože třeba takový motor Cosworth DFV, který byl dlouho nepřekonaným motorem ve formuli 1, musel být vyměněn za verzi s turbodmychadlem, pokud se stáje užívající tento motor chtěli vrátit na bodované pozice [1].

V době turbodmychadel se také ve formuli 1 zdálo, že se jezdí závody dvou kategorií zároveň. Atmosférické motory neměly šanci stačit značně výkonnějším přeplňovaným motorům, a tak se později zavedlo tzv. minišampionát pro řidiče s atmosférickými motory a ti tak mohli soutěžit alespoň mezi sebou a už po každém závodě nemuseli cítit demotivaci, že nevyhrávají [1].

Sezona roku 1986 tedy byla mezníkem v historii Formule 1, protože FISA přeplňované motory zakázala. Měla dost turbomotorů a jejich stále rostoucích výkonů, tak se Formule 1 vrátila k atmosférickým motorům [1][2].



5 FORMULE 1 ROKU 2014

Tento rok se Formule 1 opět vrací k používání přeplňovaných motorů, ovšem už to budou pouze šestiválce do V tzv. V6 o objemu 1,6 litrů a jsou striktně daná pravidla, podle kterých konstruktéři mohli dát prostor ke zrodu motorů, na které se můžeme tuto sezonu těšit. To vše dělá FIA kvůli tzv. „downsizingu“, což nevím, zda se v konečném výsledku nakonec neobrátí proti nim. Stejně jako v předchozí turboéře se totiž ne každé stáji podařilo přijít s výsledným produktem – motorem, který byl dostatečně konkurence schopný. Motory také budou mít odlišný zvuk, než měly atmosférické motory, na které si veřejnost zvykla. A když pomineme již řečené důvody, proč by se nové motory nemusely vydařit, je tu další věc – pneumatiky. Firma Pireli bude muset vyvinout nové pneumatiky, které se nebudou tak rychle opotřebovávat, protože vyšší výkon motoru se hned projeví. Ale to je vše zatím jen můj pohled na věc. Pojďme si tedy představit základní změny v pravidlech pro tento rok [6].

5.1 ZMĚNA PRAVIDEL

Klíčové body pro pohonné jednotky sezony 2014 a souvisejících předpisů:

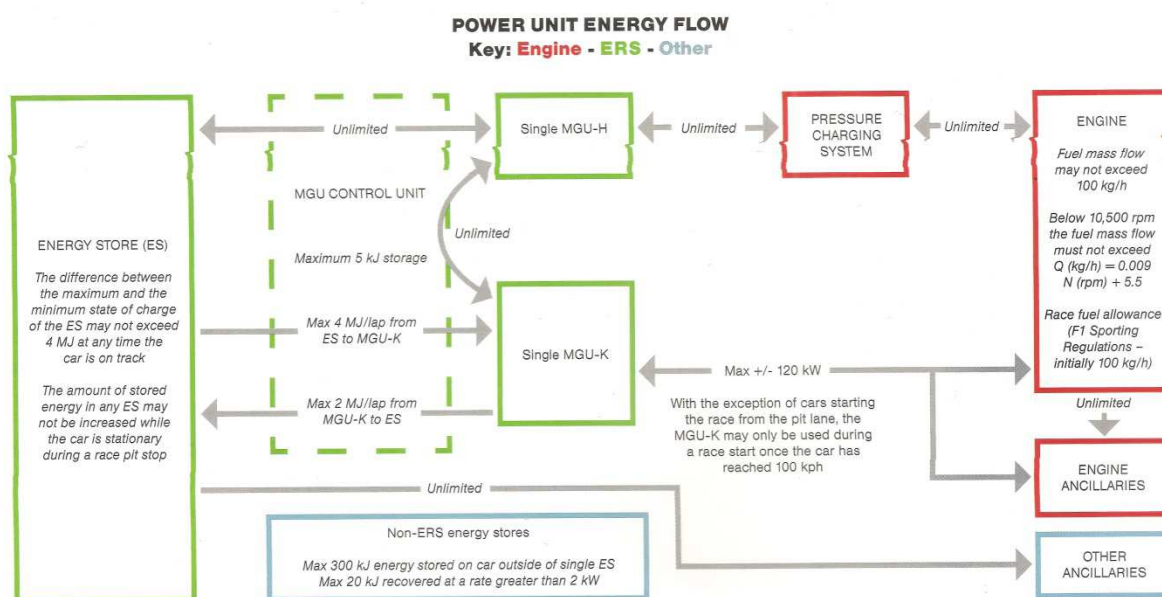
- 1600 ccm čtyřtákní V6 s úhlem 90°
- 80 mm vrtání
- Čtyři ventily (velikost průměr dířku ventilu je minimálně 5 mm) na válec
- Nevariabilní časování ventilů
- Žádné variabilní sací trubky do roku 2015
- Přímé vstřikování s maximálním provozním tlakem 500 bar. Jeden vstřikovač na válec
- Jedna konvenční zapalovací svíčka a jedna cívka na válec
- Maximálně 15 000 otáček za minutu. Žádný limit plnicího tlaku
- Jediná jednostupňová turbína a jediný jednostupňový kompresor spojeny paralelně hřídelí k ose klikového hřídele ve vzdálenosti 25 mm od osy vozu. Žádná variabilní geometrie turbokompresoru.
- Recirkulace výfukových plynů je nyní povolena
- Elektrický motor / generátor MGU-H musí být mechanicky spojen s výfukovou turbínou, a musí běžet ve fixním převodovém poměru vzhledem k hřídeli; může být uškrcený. Maximálně 125 000 otáček za minutu. Žádné omezení jeho výkonu.
- Elektrický motor / generátor MGU-K je spojen s klikovým hřídelem; musí běžet na pevném převodovém poměru ve vztahu k hřídeli. Maximálně dosahuje 50 000 otáček za minutu. Maximální točivý moment je 200 Nm. Maximální výkon 120 kW (161 koní).
- Uložiště energie (ES) musí být umístěno v kabině a musí vážit mezi 20 a 25 kg.
- Palivové předpisy zůstaly beze změny.
- Palivový průtokoměr má za cíl zajistit shodu s maximálním průtokem
- Kliková hřídel musí být na ose vozu a 90 mm nad referenční rovinou.
- Minimální hmotnost pohonné jednotky je 145 kg.
- Těžiště motoru musí ležet alespoň 200 mm nad referenční rovinou.
- Standardizované zavěšení motoru.



- Pilot má maximálně pět částí pohonné jednotky, které lze kombinovat pro sezónu 2014; v roce 2015 to budou pouze 4 části [6].

5.2 VYSVĚTLENÍ POJMŮ

Jak jistě vidíte, v pravidlech se začaly používat pojmy, kterým bez vysvětlení nebudeme rozumět. K úplnému pochopení problematiky se budu snažit je vysvětlit, aby to pochopil každý. Více si můžeme představit pomocí níže uvedeného obrázku.



Obr. 6 Schéma pohonné jednotky [6]

5.2.1 POHONNÁ JEDNOTKA – POWER UNIT

Spalovací motor, který byl doposud důležitou částí vozu, bude teď hrát už jen řadovou roli ve skupině dalších zdrojů potřebné energie. A celkový objem energie bude navíc omezen. Vedle spalovacího motoru budou vozy vybaveny turbodmychadly, dvěma mechanismy absorbátorů zbytkové energie (kinetickým a tepelným) a úložištěm energie pro pozdější (či alternativní) využití. Tomu všemu se pak v celku říká pohonná jednotka, neboli Power Unit (PU). Kromě toho, že se jedná o nové systémy, jsou také náročné na provoz [6][14].

Tohle vše má dané dvě hranice. A to omezení množství paliva na 100 kilogramů na celý závod, což je přibližně 125 litrů, a také maximální povolený průtok na 100 kilogramů za hodinu. Z toho nám vyplývá, že pilot tedy nemůže využít maximální potenciál, který mu spalovací motor nabízí. Při závodech, které trvají více než hodinu, by totiž nedojel do cíle. To však neznamená, že by nemohl jet rychleji, než na co by stačilo 100 kg paliva při maximálním povoleném průtoku. Pilot totiž bude moci využít dvou dalších důležitých zdrojů energie.

- MGU-H, neboli Motor Generator Unit – Hybrid
- MGU-K, neboli Motor Generator Unit – Kinetic [6][14]



A právě tato spolupráce spalovacího motoru, turbodmychadel, MGU-H a MGU-K má za cíl kombinovaně využívat a ukládat energii. A to je hlavním prvkem nové Formule 1 [14].

5.2.2 MOTOR S TURBODMYCHADLEM

Motory jsou šestiválce uspořádané do V, o celkovém objemu 1,6 litru a vybavené turbodmychadlem. Jejich výkon je přibližně 600 koní. Letošní motory, se konstrukcí podobají V8 z loňského roku, co se týče výsledku, jsou však zcela odlišné. Úroveň tlaků ve spalovacích komorách je oproti V8 dvojnásobná a to kvůli turbodmychadlu. Turbomotory jsou navíc typické svými rázovými efekty, a jelikož se tohle těžko kontroluje, může to mít za následek selhání motoru, čehož si letos určitě budeme moci povšimnout [6][14].

Turbodmychadla využívají výfukových plynů k zvýšení hustoty vzduchu v motoru, a tak se navýší výkon motoru. Tepelná energie z výfukových plynů je přeměňována na mechanickou prostřednictvím turbíny a energie je pak vracena pět do motoru nebo předávána do MGU-H a poté uložena jako elektrická energie do energetických rezervoárů, kterými jsou většinou akumulátory, ale pravidla povolují například i setrvačníky [6][14].

Turbína se podle informací magazínu Racecar Engineering může točit rychlostí až 100 000 ot./min. (1600 ot./sek.). Její rychlost se v průběhu jízdy hodně mění a jednou z dalších výzev pro konstruktéry je vypořádat se s efektem prodlení (takzvaný turbo lag). Tedy časové prodlevě mezi impulsem pilota přes „plynový“ pedál a získem potřebného krouticího momentu poté, co chce například zase vyjet ze zatáčky, do které zrovna brzdil a tím pádem na okamžik dal turbu pauzu [6][14].

Systém je s ohledem na vysoké rychlosti některých součástí a vysoké teploty nutně vybaven také kontrolními a chladicími mechanismy, které brání katastrofálnímu selhání a tím pádem možnosti odstoupení ze závodu. Také kvůli tomu jsou aerodynamické radiátory na bocích auta přibližně dvakrát větší než loňskou sezonu [6][14].

5.2.3 MGU-K

Kinetický generátor (MGU-K) je napojen na klikovou hřídel spalovacího motoru. Během brzdění MGU-K znovuobnovuje kinetickou energii, která se ztrácí při brzdění jako odpad. Jedná se o stejný princip, jako využívaly loňské systémy KERS, jenom jsou dvakrát silnější: 120 kW, přibližně 160 koní. Při akceleraci je MGU-K poháněn energií, která se před tím uložila do akumulátorů (nebo jiných rezervoárů energie), případně od „horkého“ MGU-H a funguje jako motor přidávající na výkonu auta [6][14].

Zatímco vloni ztráta KERS představovalo přibližně 0,3 sekundy na kolo ztráty, letos budou obdobné výpadky daleko závažnější [6][14].

5.2.4 MGU-H

MGU-H je napojen na turbodmychadlo. Funguje jako generátor, který absorbuje energii z hřídele turbíny pro účely přeměny tepelné energie z výfukových plynů. Získaná elektrická energie může být předána buď MGU-K, nebo opět uložena do akumulátorů. MGU-H je využíván také k řízení rychlosti turbodmychadla tak, aby odpovídala požadavkům motoru a jeho ochraně [6][14].



Zatímco MGU-H pracuje se střídavým proudem, MGU-K se stejnoměrným, tudíž je potřeba komplexního převodníku. Na obrázku níže si můžeme prohlédnout, jak nový motor se všemi novými součástmi vypadá. Na obrázku můžete vidět motor od Renaultu. [6][14].

5.2.5 SHRnutí FUNKCE MOTORU JAKO CELKU

Když se vůz rozběhne, spaluje motor benzin z palivové nádrže. MGU-H bude využívat spalin a pomáhat tak motoru skrze MGU-K, nebo ukládat zásoby. MGU-K bude sbírat kinetickou energii z klikové hřídele, a bude opět pomáhat (a tím pádem šetřit palivo), nebo ukládat zásoby [6][14].

Vezmete-li v úvahu konkrétní kolo během velké ceny F1, spolupráce spalovací části motoru, turbodmychadla, MGU-H, MGU-K a systému pro uložení energie pro pozdější využití je jako jeden velký nerozebíratelný cyklus. A musí spolupracovat, protože jen z paliva se už vyžít nedá! Využití energie z benzínu bude stejně tak důležité, jako využití elektrické energie. Což bude složitější v tom, že si ji vůz bude muset vyrábět sám [6][14].

Vznikne tak určitý energetický rozpočet pro konkrétní kolo. Něco jako kapesné na týden. A cílem inženýrů a jezdce bude s využitím daného „rozpočtu“ zajet minimální čas v daném okruhu. A pomalý být určitě nechcete. A inženýři dokážou spočítat, jaká je úroveň času, pod který se lze v daném kole dostat [14].

Až tedy letos pilot sešlápne „plynový“ pedál, vztah mezi ním a spalovacím motorem už není, co býval. Pilot pouze vydá signál celému systému pohonné jednotky, který pak dostane za úkol s ohledem na množství dostupné energie z různých zdrojů zajet co nejrychlejší čas [14].

Doby, kdy se výrobci motorů snažili dosahovat maximálního výkonu bez ohledu na dostupné zdroje, se mění v řízení energetického managementu. Přesně tak, jak vedení formule 1 chtělo ve své politice životního prostředí. A stále to bude formule 1 [14].



Obr. 7 Schéma motoru Renault pro rok 2014 [8]



5.3 MOTOR MERCEDES 2014

Hlavní věc, o kterou se bude v roce 2014 jednat, bude účinnost přeměny ve spalovací komoře a snížení mechanického tření. Také se bude řešit schopnost neplýtvání energií, aby klesal výkon. Zajímavé na tom všem je, že je to možné s pouze jedinou turbínou, kterou pravidla povolují. V 80. letech motory používaly dvě turbodmychadla, takže uvidíme zcela novou technologii. A to bude také klíčovým aspektem [6].

Revize nařízení zavedla v prosinci 2012 limit turbodmychadla s maximální rychlostí 125 000 otáček za minutu. K dispozici budeme mít 160 koní (120kW) obsažené v elektromotoru MGU-K, což je náročné a generátor MGU-H připojený k turbodmychadlu. Bude to náročné spojení, nicméně je to zajímavá a unikátní technologie [6].

Generátor MGU-K může přinést dvojnásobnou úroveň výkonu na zadní kola. Je povolena desetkrát větší energie na kolo (oproti 400 kJ až 4 MJ), a pětkrát větší energie může být sklizena ze zadních kol. Tepelná účinnost motoru s vnitřním spalováním je v současné době asi 30%. Výjimečný výsledek by byl v cílové hodnotě 40%. S motorem V8 z předchozích let se dosahovalo hodnoty 30%, ale zatím nevíme, zda je reálné této hodnoty dosáhnout i s letošním motorem V6. Co je hlavní, tak že této účinnosti nedosáhnou všechny motory a tady začíná ten rozdíl, který se později projeví na výsledcích v závodech [6].

Dalším aspektem je také to, že díky změně pravidel má pilot přidělené pouze 5 pohonných jednotek na sezonu, což znamená, že týmy budou muset zvolit strategii, jak s tímto omezeným počtem jednotek nakládat. Motor V6 je oproti předchozí V8 jednodušší, co se týče konstrukce, ale turbodmychadlo zvyšuje výskyt poruch. Menší počet pohonných jednotek také pomáhá omezit náklady na podpůrné týmy [6].

Strategie Mercedesu je taková, že pro dokončení závodu, jehož vzdálenost bude na každém okruhu jiná, bude nejdůležitější dobře naložit se 100 kg paliva. Například pokud můžete někoho dojet, ale nemůžete se dostat kolem něj, začnete přemýšlet o uložení paliva víc, než když byste ho dohnat nemohli. Pokud jste ve vedení, pak budete přemýšlet o tom, jak zůstat ve vedení aniž byste použili tolik paliva. Ovšem nabízí se otázka, zda budou piloti muset skončit závod, když jim dojde palivo dříve, než stihnou protnout cílovou čáru. Monitorovací systémy jsou oproti dřívějším rokům lepší, avšak není to nereálné [6].

Dalším důležitým aspektem výkonu jsou pneumatiky. Pokud mají spoustu přilnavosti na místě, které můžete projet na plný plyn, budete používat více paliva a to je také spojeno s aerodynamikou. Takže pokud některý tým přijde s dobrým aerodynamickým systémem, budou moci využít více výkonu delší dobu. Takže pro tento rok budou hlavní tři parametry, které budou udávat rozdíl ve výkonech jednotlivých motorů. Je to účinnost přeměny energie, pneumatiky a aerodynamika [6].

Pokud jde o systém pro rekuperaci energie (ERS), nebude pro pilota nastavitelný. ERS a spalovací motor jsou pouze prostředkem pro vytváření výkonu na hřídeli. Spalovací komora byla navržena tak, aby vyhovovala přímému vstřikování. Celkově je konstrukce motoru navržena přesně tak, aby vše fungoval jak nejlépe má. Motor je navržen tak, aby mohl jít až do 15 000 otáček za minutu. Zatím se však neví, kolik parametrů bude potřeba měnit v průběhu sezony, ale pokud nastane nějaký problém, bude se muset řešit. Což je logické, když je k dispozici pouze 5 pohonných jednotek [6].



Tým Mercedes chce přijít s pohonnou jednotkou, která poskytuje vynikající lineární výkon. Takový druh pohonné jednotky, která vyžaduje zručnost řidiče. Na závěr je potřeba říci, že tým inženýrů pořád pracuje a bude pracovat, aby výkon motoru byl co nejlepší, poruchovost co nejmenší a to vše je třeba ukázat na trati [6].



Obr. 8 Motor Mercedes 2014 [6]

5.4 MOTOR RENAULT 2014

Axel Plasse vedl návrh současného motoru Renault V8 formule 1 s přirozeným sáním. Předtím vedl tým, který navrhl v roce 2005 Renault V10, a v současné době je vedoucí programu, a zákaznická podpora ředitele Renault F1. Plasse poznamenává, že výstup z pohonné jednotky V6 pro rok 2014 bude v oblasti 600 koní, vedle kterých bude výstup MGU-K, které je povoleno krmít až 161 koňmi (120 kW) [6].

Generátoru MGU-K je při brzdění dovoleno zachytit 2 MJ na kolo. Nicméně podle údajů zveřejněných firmou Brembo v Barceloně v letošním roce, strávil pouze 9,48 s při brzdění na každém kole. Teoreticky tedy 120 kW generátor MGU-K dokáže zachytit maximálně 1,14 MJ, což je daleko menší než povolená hodnota 2 MJ. Barcelona je jedním z okruhů, kde se dá obnovit menší kinetická energie z MGU-K. K dispozici jsou okruhy, kde můžete udělat mnohem více, například Singapur je právě úplně odlišný. Máte zde dlouhé celkové brzděné fáze, kde si můžete extrahovat celkový povolený limit 2 MJ, ale bez ohledu na úroveň získávání kinetické energie jste závislí na strategii týmu, a tím pádem tedy budete vždy chtít dostat z generátoru MGU-H maximum [6].

Přeměna mezi entalpií a mechanickou energií má jistou efektivitu. Jde o účinnost turbínového kola, která by mohla být až 70%. Pak máte účinnost z generátoru MGU-H, který bude převádět mechanickou energii na elektrickou energii. Ale bez ohledu na tyto kaskády



čísels účinnosti, ztratíte v porovnání s výkonem prostřednictvím zpětného tlaku, a tak budete mít pravděpodobně více energie v MGU-K [6].

Myslíte si, že v roce 2014 budou mít některé agregáty více efektivní generátor MGU-H než technologie jiných týmů, nebo je to něco, čeho jsou všichni dodavatelé hnacích agregátů schopni se stejným výsledkem? Schopnost motoru s IC tak, aby vydržel vysoký odpor tlaku, bude klíčový faktor výkonnosti motorů 2014. Pokud motor vydrží vysoký odpor bez velkého poklesu výkonu, bude tak produkovat velké množství elektrické energie se stále dobrým základním výkonem motoru. Takže způsob, jakým je spalovací komora navržena, načasování vačkového hřídele a design výfukové turbíny - všechny tyto faktory jsou velmi důležité. Očekává se, že konkurenti Renaultu se nevydali stejnou cestou, v otázce nalezení nejlepšího kompromisu, takže v této oblasti budou určitě nějaké rozdíly [6].

Navíc jeden velmi důležitý pojem v roce 2014, co se týče pohonných jednotek je, že to není otázka optimalizace jednotlivých komponent, ale je to otázka optimalizace celého systému. Můžete mít ty nejlepší jednotlivé komponenty, ale ne velmi dobrou konstrukci pohonných jednotek. Můžete mít "správné" komponenty pro výkonnost a vytvořit velmi dobré pohonné jednotky pro rok 2014. Je velmi důležité, jak všechny komponenty fungují společně. Vezmeme si jednoduchý příklad, jen v oblasti motoru s IC. Můžete to udělat dobře, dobře navrhnout motor s IC a dobře navrhnout systém přepřňování, ale v případě, že se neshodují dohromady, budete mít u motoru obrovské zpoždění turba. Takže můžete mít dvě velmi dobré komponenty, ale pokud se neshodují, výsledkem bude katastrofa. Bude to ještě horší, když přidáte do tohoto přepřňovaného motoru dva elektrické stroje. Takže klíčovým faktorem úspěchu je optimalizovat celý systém [6].

Vzhledem k použití MGU-H se nabízí otázka, zda již nebude obtokový ventil rysem turbomotoru. Plasse říká, že když poprvé četl pravidla FIA, tak si myslel, že nebudou mít žádný obtokový ventil. Samozřejmě obtokový ventil znamená ztrátu energie, ale existují důvody, proč bychom jeden mohli mít. Obtokový ventil řídí plnicí tlak a víc než to, i rychlost turbodmychadla. Pokud jste neměli MGU-H a nechcete otevřít obtokový ventil, skončíte s velmi vysokou rychlostí u lámání systému přepřňování. Pokud máte MGU-H, který se chová jako generátor a brzdu, můžete ovládat rychlost vašeho turbodmychadla [6].

V současné době jsme neviděli týmy, které měli neúspěchy s KERS, kdy je vůz trochu pomalejší, ale stále mohl dokončit závod. V budoucnu, pokud budete mít poruchu na generátoru MGU-H, třeba kvůli přehřátí, nelze ovládat rychlost k přepřňování systému u MGU-H a skončíte tak s velmi vysokou rychlostí, zničíte systém pohonné jednotky a váš závod je dokončen. Příspěvek ve výši pěti pohonných jednotek na řidiče za sezónu v roce 2014 není mnoho, pokud porušíte systém turbodmychadla, který by pravděpodobně narušil motor. Takže schopnost ovládat rychlost turbodmychadla nezávisle ze systému MGU-H je "bezpečný stav". To je další důvod, proč mít obtokový ventil [6].

Pokud většinu času MGU-H bude sloužit jako generátor, někdy se používá jako motor, tak řídí přepřňování systému. Musíme mít na paměti, že jsme přidali na velmi malém výkonu motoru - 1,6 l – jedno velké turbodmychadlo. V roce 1980 jsme měli twin-turbo systém pro naše 1,5 l V6 motory, nyní máme pouze jednu turbodmychadlo a jeho setrvačnost je dvakrát tolik malých zdvihový objem motoru zapojen do velkého přepřňování systému - jeden pro 600 koní - znamená neuvěřitelně dlouhý (vlastní) turbo zpoždění [6].



Další otázkou je, zda tento rok zmizí konvenční škrtidla. Mohly by zmizet, protože se systémem přepínáním plus MGU-H, se kterým můžete dokonale ovládat zesílení přítlaku plus přímé vstřikování, můžete odebrat plyn. Neříkám však, že se to bude nebo nebude dít. Nebo bychom mohly odstranit škrtící ventil. MGU-H má vlastní setrvačnost, stejně jako turbodmychadlo. Přetlaková komora má plynovou setrvačnost, a pokud chcete kontrolovat množství vzduchu, zachyceného v každém válci velmi přesně a okamžitě, je užitečné mít škrtící ventil. Uvědomme si, že v těchto dnech, když pilot požaduje točivý moment, cítí něco, jako 20 ms zpoždění mezi okamžikem, kdy sešlápl plynový pedál a kdy může cítit zrychlení. Takže k tomu, aby byl velmi reaktivní, mají odezvu rychlé motoru, nemusí být plně kompatibilní se setrvačností mechaniky a plynu [6].

Jak už bylo řečeno, je tu limit 100 kg paliva na závod. To by asi neměl být problém do té doby, než budou závodníci jezdit na okruzích, které trvají déle než hodinu a tudíž jim palivo nemusí při plném nasazení vyjít. Což znamená, že budeme možná svědky toho, jak efektivně se dá využít celý systém rekuperace energie. Ovšem je tenhle ekonomický způsob šetření paliva příznačný pro Formuli 1? Nezdá se, ale tak uvidíme, co z toho vzejde [6].



Obr. 9 Motor Renault 2014[6]

5.5 MOTOR COSWORTH 2014

Klíčové hybridní prvky nové motorové jednotky jsou MGU-K, MGU-H a baterie. Energie generovaná MGU-K a MGU-H může být přiváděna do akumulátoru, a oba mohou zase přivádět energii zpátky. Nicméně tok energie z MGU-H na baterii a do MGU-K je neomezený. Potenciálně (podle toho, kolik energie MGU-H může sklídit) umožňuje provoz na MGU-K, kdykoli řidič může využít moc na vrcholu výkonu V6 [7].



Ve skutečnosti je-li dost energie, mohly by být generovány díky MGU-H a teoreticky by mohl doplnit výstup motoru V6 na nižší momentové nároky tak, aby se minimalizovalo použití paliva. Pro základní motor V6 není povoleno více než 100 kg paliva od začátku až do konce závodu a kromě toho je omezen i maximální průtok paliva na 100 kg/h při všech okolnostech, za předpokladu, že je spuštěn při 10 500 otáčkách za minutu nebo víc. Průtok paliva je nižší při nižších otáčkách, přičemž otáčky motoru jsou omezené na 15000 otáček za minutu a není zde žádný limit na zvýšení [7].

5.5.1 SIMULAČNÍ PŘÍSTUP

Po svém rozhodnutí v říjnu 2010 k zahájení studie nové generace pohonných jednotek (původně mají být zavedena v roce 2013 jako 14.), následující měsíc firma Cosworth začala troj-rozvětvený přístup. Začala dělat design svých 14 výzkumných motorů a také zahájila počítačové simulace založené na dvou frontách. Jednou z nich byla rozsáhlá simulace baterie a druhá byla o modelování plně simulovaného auta [7].

Prvním krokem bylo vytvoření ustáleného modelu základního motoru. Tento virtuální motor nemá vyhodnocení architektury, jeho výkonu a dokonce i povolené faktory, jako je klepání a odnímání tepla, které mají být vzaty v úvahu. Modely vyvinuté v rovnovážném stavu byly porovnány s daty přijatými z výzkumného motoru I4, aby byla zajištěna kalibrace mezi virtuálním a skutečným modelem [7].

Výzkum motoru I4 byl vyvinut pro provoz na rychlosti klikového hřídele a úrovní plenum tlaku předpokládaných v rámci nových podmínek Formule 1. To bylo používáno ke studiu faktory, jako např. interakcí s přímým vstřikováním poplatek proudění vzduchu, časování ventilů, sání a tuning výfuku, přechodné optimalizace a tak dále. Cosworth přiznává, že to dalo hodně práce s výzkumem motoru, aby se dostali do situace, kdy by spalování a zejména klepání mohlo být přesně vymodelováno [7].

Druhým krokem bylo postupovat od ustáleného modelování motoru na přechodné modelování celé energetické jednotky, přičemž museli brát v úvahu všechny možné energetické toky mezi motorem, na MGU-H, na MGU-K, baterie a interakce s celým vozidlem. Toto modelování povolilo Cosworthu lépe pochopit tyto energetické toky. Například když řidič nestojí na plynu, jak bude energie získávána z MGU-K a od MGU-H [7].

Jednou z výhod tohoto typu modelů je, že provozování energetické jednotky jako subjektu zásadně ovlivňuje způsob, jakým základní motor funguje, aby bylo možné vzít v úvahu ve fázi návrhu. Výzkum motoru I4 se rozběhl ke konci roku 2011, zatímco následující rok přešla simulace činnosti na nová pravidla V6 [7].

Fyzikální a počítačový výzkum vedl k různým prognózám výkonu. Cosworth konstatuje, že jeho předpověď cca 600 koní pro samotný motor a cca 750 koní pro celé motorové jednotky jsou v souladu s předpovědí od stáje Mercedes a Renault, pokud jde o jejich pohonné jednotky pro rok 2014 [7].

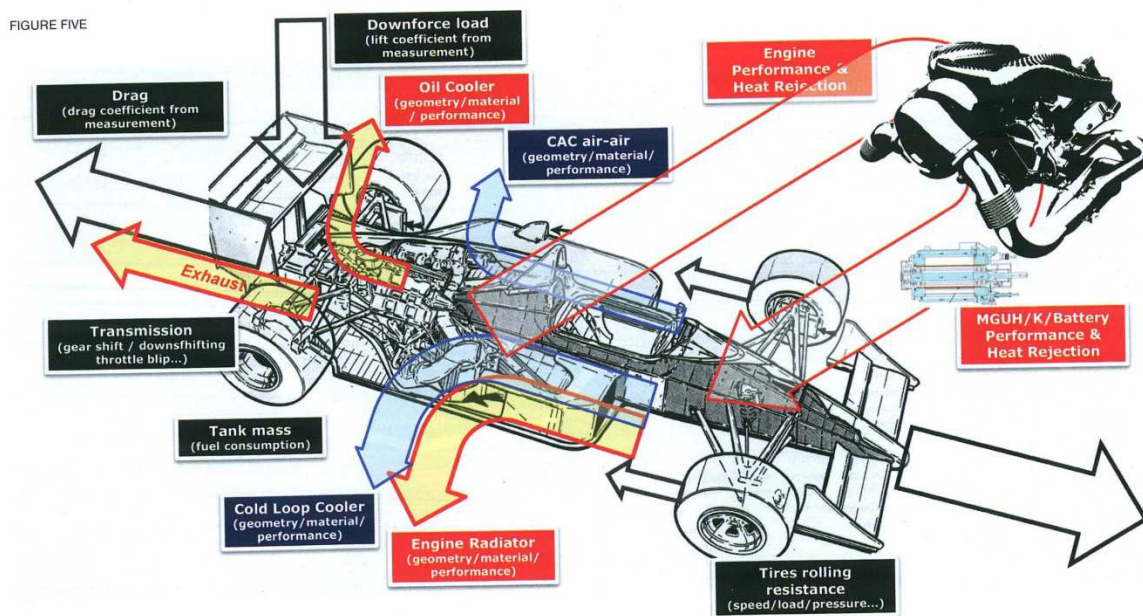
5.5.2 SIMULACE VOZU FORMULE 1

Obrázek níže nám ukazuje, jak je v současné době složitá integrace pohonné jednotky s autem a zdůrazňuje faktory, které musely být vzaty v úvahu, aby simulace fungovala. Jednalo se



nejen o odpor a přítlak a odnímání tepla, ale také o přenos jako plně integrovaného modelu [7].

Z této studie můžeme jasně vidět, že k motoru Formule 1 musí být přistupováno podle nových pravidel odlišně. Motor sám o sobě nemusí nutně chtít být tak efektivní, jak by mohl být, nebo zde nemusí být dostatečný výfuk odpadního tepla k pohonu MGU-H. Z toho vyplývá, že pokud je motor tak efektivní, jak je to možné, pak se k němu přidaly povolené systémy hybridizace a celková energetická jednotka nemusí být nutně tak efektivní, jak by se mohlo zdát. To zdůrazňuje, proč v souvislosti s novými předpisy motor nemůže být navržen v izolaci od zbytku pohonné jednotky a proč je nutné, aby simulace předpovídala výkon mezi různými možnostmi [7].



Obr. 10 Simulace pohonné jednotky [7]

5.6 OHLAS A KRITIKA VEŘEJNOSTI

Každý fanoušek motorsportu nedočkavě čekal, jaké překvapení nám tento rok Formule 1 přichystá. Tento rok je ve znamení zásadní změny a na scénu se tedy opět vrátily přeplňované motory. Dala by se tedy očekávat úžasná podívaná a opět ten příznačný zvuk pro turbomotory, který známe z 80. let. Do jaké míry se očekávání naplnila, jsme si mohli všimnout hned během prvních závodů.

Média se nás snažila informovat již při probíhajícím tréninku v Bahrajnu a já se snažila něco zjistit alespoň z youtube, abych si mohla udělat obrázek o zvuku motoru a o novém designu vozů. Z více videí (hlavně vozů stále Mercedes), která jsem shlédla, se mi nové motory jevili jako úžasné a těšila jsem se na závody, kde budu moci já i ostatní fanoušci vidět souboje „tělo na tělo“ a větší akce.

Jaké zklamání ovšem přišlo, když se vozy postavily na start prvního závodu a veškeré očekávání se vytratilo společně s tichým zvukem motorů. Věřím, že lidé doma u televizorů



byli otráveni, protože až doposud jsme měli vozy Formule 1 spojeny s charakteristickým, místy až pro mne nepříjemným, zvukem motorů s přirozeným sáním. Sledovanost závodů se tedy začala snižovat, ale já se nechtěla nechat zastrašit prvním závodem, od kterého jsme ani více čekat nemohli. Když byly další závody opět nudné, pánové konstruktéři mi prominou, říkala jsem si, proč se pojem tzv. „downsizingu“ musel dostat i do tak technicky vyspělé soutěže, co se konstrukcí motorů týče.

Očividně tento názor nezastávám sama, protože sledovanost přímých přenosů a i návštěvnost závodů začaly klesat. V úvodním závodě v Austrálii chtěli návštěvníci dokonce vrátit vstupné, jelikož byli zklamáni z „tichého“ a pro ně naprosto dosud nezvyklého závodu. Bylo tak na zvážení, zda by se pravidla neměla trochu upravit, aby mohl vyniknout potenciál motorů. Zatím se totiž daří jen stáji Mercedes a ostatní týmy se vozí ve stínu, nebo zaostávají díky technickým poruchám na voze.

5.6.1 CO ZLEPŠIT NA FORMULI 1 ROKU 2014

Při hledání materiálů k této kapitole jsem se dostala k velice pěknému článku, který vystihuje i můj názor. Pokusím se Vám jej tedy zprostředkovat. Zabýval se tím, co by se na Formuli 1 mělo změnit, abychom jsme mohli opět cítit nadšení ze závodů a ne jen ztracenou hodinu života, když to přeženu.

Jako první připomínka je neomezování počtu vozů na jeden tým. Osobně nevidím důvod pro to, aby každý tým musel na závody vypravovat pouze dva vozy. Silné týmy by mohly využívat více vozů, naopak ty slabší by se v případě potřeby mohly rozhodnout snížit náklady přípravou pouze jednoho monopostu. Startovní pole by tak mohlo být pestřejší a zajímavější pro nové týmy [16].

Co by dále mohlo být minulostí, je neomezování práce na voze. Garážovým týmům ve Formuli 1 dávno odzvonilo. Je to ale dobře? Možnost pracovat na monopostu ve dne v noci by mohlo pomoci i chudším týmům, aby mohli vymyslet nějaký způsob k dohnání ztráty [16].

Dále by se mohla povolit uzda vývoji. Turbomotory, jak již víme, mají ohromný potenciál. Vzpomeneme-li si na jejich vlastnosti v osmdesátých letech, můžeme jen tiše snít o tom, jak by mohly vypadat současné agregáty, kdyby nebyly výrazně "přiškrceny". Turbomotory se sice se vrací, ale až takového výkonu bohužel dosahovat nebudou. Měly by se ponechat dva výfuky a zamezit omezování otáček. Co se týče počtu motorů a převodovek za sezonu, nemusel by být počet konečný a už vůbec by nemusel být pilot penalizován za jejich výměnu [16].

Dalším názorem je snížení množství asfaltových zón. Asfaltové zóny jsou jedním z charakteristických prvků nových závodních okruhů. Mají zvyšovat bezpečnost a umožnit jezdcům vrátit se do závodu i v případě, že některou zatáčku neprojedou zrovna ideálně. Mezi fanoušky však mají tyto únikové zóny jen minimum příznivců. Široké asfaltové výjezdové zóny na nových tratích tolerují jezdecké chyby, a tak piloti často při výjezdech mimo trať ztrácejí minimum času. Kvůli tomuto faktu by bylo lepší používat výjezdové zóny s kačírkem, samozřejmě ne v městských tratích [16].

Neuškodily by svobodnější zastávky v boxech. Tankování rozhodně není záležitostí, která by závody Formule 1 provázela odjakživa. Poslední zákaz doplňování paliva v průběhu velké



ceny přišel v roce 2010. Nemuselo by se však u tohoto zákazu zůstat věčně. Také by nemusel být povinný počet zastávek a omezení maximálního hodinového průtoku paliva [16].

Vůbec špatná není i další myšlenka o zákazu poloautomatické převodovky a o zjednodušení volantu. Potřeba řadit řadicí pákou by totiž dodala jízdě na komplexnosti. Je možné, že by vyvolala větší množství jezdeckých chyb a tím pádem by se opravdu ukázalo umění pilotů. Špatné zařazení by snadno mohlo vytvořit zajímavou situaci a možnost pro předjetí. Další pozitivum je v samotném požitku ze sledování takové jízdy. Je však jasné, že na piloty by toho mohlo být vzhledem k velkému množství tlačítek na volantu příliš. Proto bych jejich složitost mohla být menší a jezdci by se tak mohli plně koncentrovat na samotnou jízdu [16].

Zrušit by se mohly také dvojité body. Jedná se totiž o možná nejvíce kritizované pravidlo, které letos vstupuje v platnost. Není tedy žádným překvapením, že na nesmyslnosti umělého násobení bodů za Velkou cenu Abú Zabí by se shodlo více lidí. Špatné by nebylo, kdyby se zavedl bod za výhru v kvalifikaci a nejrychlejší kolo v závodě [16].

Poslední myšlenka se zamýšlí nad zrušením nebo omezením DRS. Zařízení DRS vyvolává kontroverzi již od svého zavedení ve Formuli 1. Účel jeho existence je jasný, autoři regulí chtěli výrazně navýšit počet předjíždění. To se jim jistě povedlo, zároveň to však vyvolalo oprávněné pochybnosti o tom, zda systém klasická předjíždění zcela nedegradoval. Rychlost vozů se zapnutým DRS a s vypnutým DRS bývá na rovinkách příliš rozdílná na to, aby měl bránící se pilot alespoň nějakou šanci na úspěšný protiútok [16].



ZÁVĚR

Tato bakalářské práce měla za úkol seznámit s tematikou přeplňovaných motorů užívaných ve vozech Formule 1. Nyní víme, jaký byl rozdíl mezi přeplňovanými motory v 80. letech a v letech následujících. Protože vše zde je jen nějaká představa a vysvětlení, jaká by tato sezona měla být. To ovšem nebudeme moci posoudit, dokud nebude sezona alespoň v půlce a my si tak budeme moci povšimnout, jak týmy zvládly dát dohromady nové pohonné jednotky tak, aby dosahovaly maximálního výkonu a sloužili dobře a byly co nejméně poruchové, protože počet motorů je omezen na pět a za použití šestého přichází pro tým penalizace.

Dotěď jsme si mohli povšimnout, že nejlepší strategii má zatím tým Mercedes, kterému se daří nejlépe, a myslím si, že svůj náskok udrží po celou sezonu. Co je však na pováženou, je sledovanost a zájem publika, protože se začátkem sezony se závody Formule 1 nesetkaly s velkým nadšením. To se snad do budoucna také změní, ovšem ne při stávajících pravidlech. Aby byla Formule 1 opět tou fantastickou podívanou, bylo by třeba je upravit tak, aby mohl vyniknout potenciál těchto technicky skvěle vyřešených pohonných jednotek.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] PAVELKA, Robert. *Formule 1 od startu k cíli: Svět velkých cen, jak ho neznáte*. Praha: Nakladatelství XYZ, 2011. ISBN 978-80-7388-475-8.
- [2] HILL, Tim. *Úplná historie Formule 1*. Praha: NAŠE VOJSKO, 2012. ISBN 978-80-206-1321-9.
- [3] JAN, Z. a Ing. B. ŽDÁNSKÝ. *Automobily 3: Motory*. 5. vyd. Brno: Avid, spol. s.r.o., 2008. ISBN 978-80-87143-06-3.
- [4] *MTZ: Motortechnische Zeitschrift*. Wiesbaden: Vieweg Verlag, 1984, roč. 45, č. 10. ISSN 0024-8525.
- [5] *MTZ: Motortechnische Zeitschrift*. Wiesbaden: Vieweg Verlag, 1987, roč. 48, č. 3. ISSN 0024-8525.
- [6] *Race Engine Technology*. England: High Power Media, 2013, roč. 2013, č. 071. ISSN 1740-6803.
- [7] *Race Engine Technology*. England: High Power Media, 2013, roč. 2013, č. 072. ISSN 1740-6803.
- [8] *Auto Tip*. Praha 7: RINGIER AXEL SPRINGER CZ a.s., 2014, roč. 23, č. 04. ISSN 1210-1087.
- [9] Princip turbodmychadla. FLEXAMI AUTO S.R.O. *FlexaMi auto* [online]. Brno – Žabovřesky, 2014 [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://www.flexamiauto.cz/teorie/>
- [10] ZELENÝ, Karel. Konstrukce. In: *Scryper's Brickweb* [online]. 2004 [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://brickweb.wz.cz/technika/turbo.htm>
- [11] VOKÁČ, Luděk. Nejsilnější motor v historii F1 měl turbo a původ v ojetých BMW. In: *Auto.idnes.cz* [online]. Karla Engliš 519/11, 150 00 Praha 5: MAFRA, a. s., 2014 [cit. 2014-04-02]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/formule-1-motor-bmw-m12-0ti-/automoto.aspx?c=A140319_234837_automoto_vok
- [12] TAG-Porsche TTE P01. [online]. [cit. 2014-02-20]. Dostupné z: <http://gordons-joint.tumblr.com/post/12909486052/tag-porsche-tte-p01-this-1-5l-v6-powered-the>
- [13] The Right Stuff: Renault RS01. In: WEDGE. *F1 revolution* [online]. 2011 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.f1revolution.com/foro/index.php?topic=1681.0>
- [14] RICHTR, Tomáš. Analýza: Proč se zase můžeme těšit na zcela odlišnou formuli 1?. In: *F1 sport* [online]. Mladá fronta a.s., 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://f1sport.autorevue.cz/clanek/analyza-proc-se-zase-muzeme-tesit-na-zcela-odlisanou-formuli-1>
- [15] FIKEJZ, Filip. Technika: McLaren MP4/2 - TAG Porsche dominoval tři roky. In: *F1 sport* [online]. Mladá fronta a.s., 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné



z: http://f1sport.autorevue.cz/clanek/technika-mclaren-mp4/2---tag-porsche-dominoval-tri-roky_1

- [16] MIKOLÁŠ, Michal. Anketa: Co je potřeba změnit na formuli 1?. In: *F1 sport* [online]. Mladá fronta a.s., 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://f1sport.autorevue.cz/clanek/anketa-co-je-potreba-zmenit-na-formuli-1>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ATS	[-]	Auto Technisches Spezialzubehör
BMW	[-]	Bayerische Motoren Werke
CNC	[-]	Computer Numeric Control
DFV	[-]	Double Four Valve
DOHC	[-]	Double Over Head Camshaft
DRS	[-]	Drag Reduction System
ES	[-]	Energy Store
F1	[-]	formule 1
F2	[-]	formule 2
FIA	[-]	Fédération Internationale de l'Automobile
FISA	[-]	Fédération Internationale du Sport Automobile
GP	[-]	Grand Prix
IC	[-]	Internal Combustion
KERS	[-]	Kinetic Energy Recovery System
m	[kg]	hmotnost
MGU-H	[-]	Motor Generator Unit – Heat
MGU-K	[-]	Motor Generator Unit – Kinetic
n	[min ⁻¹]	otáčky motoru
p	[Pa]	tlak
P	[W]	výkon
PU	[-]	Power Unity
Q	[m ³ s ⁻¹]	objemový průtok
T	[°]	teplota
TAG	[-]	Techniques d'Avant Garde
V	[-]	zdvihový objem



W	[-]	energie
Z	[mm]	zdvih
α	[°]	úhel natočení klikového hřídele
ε_k	[-]	kompresní poměr
η	[%]	účinnost