

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

## AERODYNAMICKÉ PRVKY VOZIDEL FORMULE 1

AERODYNAMIC COMPONENTS OF FORMULA 1 VEHICLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

PETR MAZÁČ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. JAN VANČURA

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Petr Mazáč

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:

### **Aerodynamické prvky vozidel Formule 1**

v anglickém jazyce:

### **Aerodynamic components of Formula 1 vehicles**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce je vypracování řešení na téma aerodynamických prvků vozidel Formule 1.

Cíle bakalářské práce:

- Historický vývoj aerodynamických prvků vozidel Formule 1
- Kategorizace aerodynamických prvků
- Konstrukční popis jednotlivých kategorií
- Aktivní aerodynamické prvky
- Zhodnocení

Seznam odborné literatury:

[1] HUCHO, Aerodynamics of Road Vehicles, 1998

[2] KATZ, Race car aerodynamics, 2006

[3] ANDERSON, Fundamentals of aerodynamics

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Vančura

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 24.11.2010

L.S.

---

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty



## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vypracováním rešerše na téma aerodynamické prvky vozidel Formule 1. Začátek práce je věnován základům aerodynamiky a vytváření přítlaku. Poté se zabývá vývojem aerodynamiky od počátku Formule 1 až po současnost. Následuje kategorizace jednotlivých aerodynamických prvků, které se vyskytly na monopostech, jak v současnosti, tak v minulosti, a jejich konstrukční popis. Shrnuje také aktivní aerodynamické prvky.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Aerodynamika, Formule 1, proudění, aerodynamické prvky, profil křídla, historie Formule 1, přítlak

## ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with research themed aerodynamic components of Formula 1 vehicles. The beginning of the thesis is focused on basic of aerodynamic and generating downforce. Afterwards it deals with development of aerodynamic from the beginning of Formula 1 to the present time, followed by categorization of the various aerodynamic elements which were used on vehicles throughout the history of the sport and in the present time with their construction description. It also summarizes active aerodynamic components.

## KEYWORDS

Aerodynamic, formula 1, airflow, aerodynamic components, aerofoil, history of Formula 1, downforce



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

MAZÁČ, P. Aerodynamické prvky vozidel Formule 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 51 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Vančura.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 24. května 2011

Petr Mazáč



## OBSAH

Úvod.....	8
1 Úvod do aerodynamiky .....	9
1.1 Princip vytváření přítlaku.....	10
1.1.1 Bernoulliho princip .....	10
1.1.2 Úhel náběhu.....	11
2 Historický vývoj aerodynamických prvků vozidel Formule 1 .....	13
2.1 50. léta .....	13
2.2 60. a 70. léta .....	13
2.2.1 Lotus 72.....	14
2.2.2 Tyrrell P34.....	15
2.3 Období Wing cars .....	16
2.3.1 Lotus 78.....	16
2.3.2 Lotus 79.....	17
2.3.3 Brabham BT46B – Fan Car.....	18
2.4 90. léta .....	20
2.4.1 Tyrrell 019.....	20
2.5 Počátek 21. století.....	21
3 Kategorizace a popis aerodynamických prvků vozidel Formule 1 .....	24
3.1 Přední přítláčné křídlo.....	24
3.2 Zadní přítláčné křídlo .....	25
3.3 Difuzor .....	27
3.4 Gurneyho klapka.....	31
3.5 Barge Board.....	34
3.6 Chladicí zařízení brzd .....	34
3.7 Přídavná křídélka .....	35
3.8 Otvor v nose u vozů Ferrari.....	36
4 Aktivní aerodynamické prvky .....	38
4.1 Pohyblivé bočnice a ventilátory .....	38
4.2 Aktivní odpružení .....	39
4.3 Nastavitelná přední křídla .....	39
4.4 F-duct .....	40
4.5 Flexibilní křídla .....	42
4.6 Pohyblivé zadní křídlo .....	43
Závěr .....	46
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	51



## ÚVOD

Královna motorsportu. I tak je nazývána Formule 1. Je to unikátní sport, v němž se ti nejlepší inženýři a piloti předhánějí o zlomky sekund na závodních okruzích po celém světě v monopostech Formule 1. Tyto vozy dosahují rychlosti přes 350 km/h, zrychlit z klidu na 160 km/h a následně z této rychlosti zabrzdít zpět na 0 km zvládnou za pouhých 5 vteřin. V tuto chvíli by si každý mohl myslet, že nejlepší a nejrychlejší monopost je ten, který má nejvýkonnější motor. Pokud bychom se nacházeli mezi lety 1950-1960, měli bychom pravdu. Ovšem později se do popředí dostává aerodynamika a v dnešní době je mnohem důležitější mít aerodynamicky silný monopost, než pár koní pod kapotou navíc oproti konkurenci.

Celá logika týmu Formule 1, ať už je to špičkový tým s obrovským rozpočtem jako je Ferrari, McLaren nebo Red Bull, tak i menší, popřípadě úplně nové týmy vstupující do Formule 1 s minimální finanční podporou, jako Virgin Racing, Hispania Racing Team, nebo staronový Lotus Racing, je snaha vyrobit monopost s co nejlepší aerodynamikou a poté jeho nejlepší nastavení v samotném závodě. To zahrnuje velmi tvrdou práci, obrovské množství hodin strávených v aerodynamickém tunelu a spousty dat, získaných počítačovou simulací proudění tekutin CFD (Computational Fluid Dynamics) a z telemetrie během předsezónního testování na trati. Na vývoji aerodynamiky se nepodílejí pouze inženýři, ale také samotní piloti. Při testování je jejich zpětná vazba o chování vozu přímo na trati nezbytná a je mnohem cennější, než data z telemetrie. Pilot řekne týmu, co se může vylepšit a tým může monopost lépe přizpůsobit jeho jezdeckému stylu.

Při každé Velké ceně Formule 1 se jedou tréninky, kvalifikace a poté samotný závod. Týmy mají jeden den na trénink, kde se snaží co nejlépe nastavit auto. Přední a zadní křídla vytvářejí přítlak a zároveň generují odpor, což auto zpomaluje. Proto se týmy snaží najít kompromis mezi přítlakem a odporem. To se díky různým specifikacím tratí v průběhu sezóny mění. Některé okruhy jsou velmi rychlé, tudíž monoposty generují minimum přítlaku, minimum odporu a dosahují velmi vysokých rychlostí. Nejznámější z těchto vysokorychlostních okruhů je Monza v Itálii. Opakem je Monako, kde není žádná dlouhá rovinka, ale samé zatáčky. Mezi aerodynamicky nejnáročnější okruhy v seriálu patří bezesporu Circuit de Catalunya ve Španělsku. Má velmi dlouhou cílovou rovinku, středně rychlé až rychlé zatáčky a šikanu. Týmy musí auto vyvážit tak, aby dosahovalo dobré maximální rychlosti na cílové rovině, a zároveň vytvářelo dostatečný přítlak v dalších částech okruhu. Říká se, že při této Grand Prix Španělska se vždy zjistí, jak na tom jsou monoposty z hlediska aerodynamické výkonnosti.

Každý aerodynamický prvek, který ubere jednu desetinu sekundy z času na jedno kolo, je obrovský úspěch, jelikož tato jedna desetina může vyhrát celý šampionát. Má to jen jednu nevýhodu. Peníze. Za vývoj aerodynamických prvků týmy utrácejí několik desítek miliónů liber. To v dnešní krizi není zrovna málo. Proto se také FIA v roce 2008 snažila snížit náklady a drasticky upravit pravidla pro sezónu 2009 a pokračuje s tím dodnes. Týmy dnes stavějí monopost úplně od začátku pro každou sezónu, a tudíž se i menší týmy mohou prosadit s novými nápady a nalezení skulinky v regulích. Toho využily týmy Brawn GP, Toyota a Williams v roce 2009 s dvojitými difuzory nebo McLaren v roce 2010 se systémem foukaných křídel F-duct.



# 1 ÚVOD DO AERODYNAMIKY

Aerodynamika je odvětví mechaniky, studující proudění vzduchu. Největší význam má v letectví, automobilismu a v architektuře. [1]

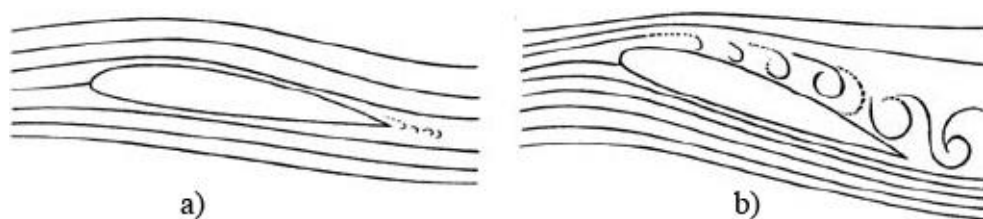
Řešení aerodynamického problému zahrnuje počítání různých vlastností a veličin proudícího vzduchu, jako je jeho rychlost, tlak, teplota a hustota. Porozumění proudění vzduchu umožňuje výpočet přibližných sil a momentů působících na obtékané těleso. Proudění vzduchu je relativní. Pokud je těleso v klidu a vzduch obtéká kolem něj, působí na toto těleso stejné síly jako v případě, kdy je těleso v pohybu a vzduch relativně v klidu. [1]

Když proudící vzduch obtéká dané těleso, tak na jeho odlišných površích se vzduch stlačuje, vytváří se nerovnoměrné tlakové pole a výsledkem je silová nerovnováha. Touto nerovnováhou vzniká na křídlech letadla vztlková síla a u závodních aut a formulí síla přitlačná. Tento tlak lze rozdělit následovně: [1]

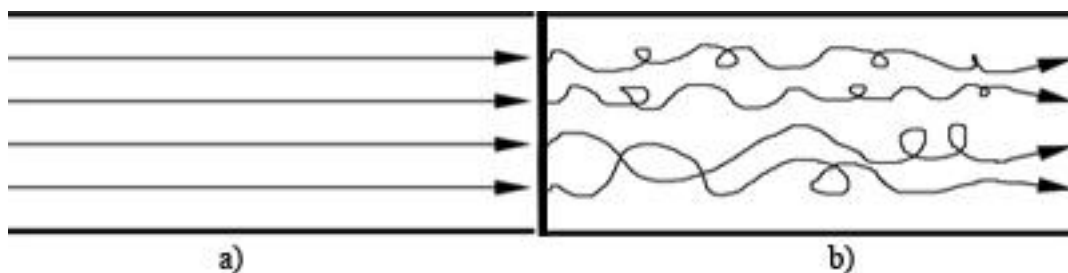
- Statický tlak – lze změřit, když se vzduch nepohybuje
- Dynamický tlak – lze změřit za pohybu vzduchu jako pokles či přírůstek statického tlaku
- Celkový tlak – součet statického a dynamického tlaku

Částice proudícího vzduchu se spojují do proudnic, ty se poté spojují do proudového svazku. Tyto proudnice můžeme zviditelnit v aerodynamickém tunelu vstříkáním kouře nebo jinak barevné látky do proudícího vzduchu. Pro největší přesnost se musí používat látky, které mají obdobné fyzikální vlastnosti, jako má vzduch, protože pokud by měla vstříkovaná látka jinou hustotu než vzduch, částice by nemusely přesně kopírovat proudnice a docházelo by k odchýlkám. [1]

Proudění se dělí na přilnuté nebo odtržené, na laminární nebo turbulentní. Přilnuté proudění je takové proudění, při kterém proudnice přesně kopírují tvar objektu. Pokud proud vzduchu přestane tvar kopírovat a začne se odtrhávat, jedná se o proudění odtržené. U laminárního proudění jsou proudnice relativně rovnoběžné. U turbulentního proudění se proudnice kříží, částice se roztáčejí a vesměs v každém místě turbulentního proudu vzduchu je jiná rychlost. Ve Formuli 1 se laminárnímu typu proudění také říká čistý vzduch, protože neobsahuje žádné turbulence. [1]



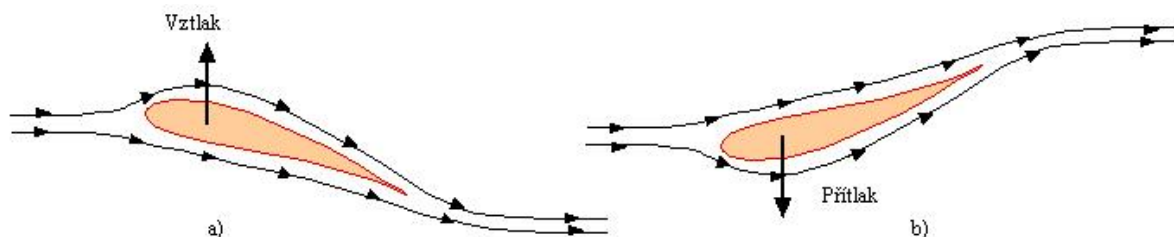
Obr. 1 Proudění a) přilnuté b) odtržené [2]



Obr. 2 Proudění a) laminární b) turbulentní [3]

## 1.1 PRINCIP VYTVÁŘENÍ PŘÍTLAKU

Přítlačná křídla vozů Formule 1 a dalších závodních aut pracují na bázi obráceného profilu křídla. Klasické křídlo u letadla vytváří vztlak, přítlačné křídlo vytváří záporný vztlak, čili přítlak. Vzniká na základě Bernoulliho principu. [1]



Obr. 3 Profil a) leteckého křídla b) přítlačného křídla [4]

### 1.1.1 BERNOULLIHO PRINCIP

Bernoulliho princip říká, že celková energie rovnoměrně proudící tekutiny po dráze toku je konstantní. To znamená, že když se zvětší rychlost proudění, sníží se tlak a naopak, když se zvětší tlak, sníží se rychlost proudění. Horní část profilu křídla je delší než jeho dolní část. Když přes tento profil proudí vzduch, na horní straně profilu začne proudit rychleji, než na straně dolní. Díky Bernoulliho principu vznikne tedy na horní straně nižší tlak, na dolní bude vyšší a tento vyšší tlak tlačí křídlo směrem vzhůru. Tímto rozdílem tlaků křídlo vytváří vztlak. Laicky bychom toto mohli vysvětlit tak, že rychleji proudící částice vzduchu kolem delší hrany profilu nemají čas tlačit stejnou silou, jako částice proudící pomaleji kolem kratší hrany. U přítlačných křídél je to právě naopak. Dolní část profilu je delší, než horní, tudíž vzduch proudící na dolní straně je rychlejší a tlak je menší, než na horní straně, takže křídlo je tlačeno směrem dolů, čímž vzniká přítlak.



Bernoulliho rovnice tedy popisuje vztah mezi lokálním tlakem, rychlostí a hustotou. Rovnice vypadá následovně: [1]

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = konst \quad (1)$$

První člen rovnice  $p$  je statický tlak tekutiny, odpovídající potenciální energii. Druhý člen rovnice je tlak dynamický, spojený s pohybem tekutiny, odpovídající energii kinetické. Celková energie tekutiny je konstantní, pokud do systému nedodáváme energii a je možná pouze její výměna mezi energií potenciální a kinetickou. Další důležitá rovnice je rovnice kontinuity: [1]

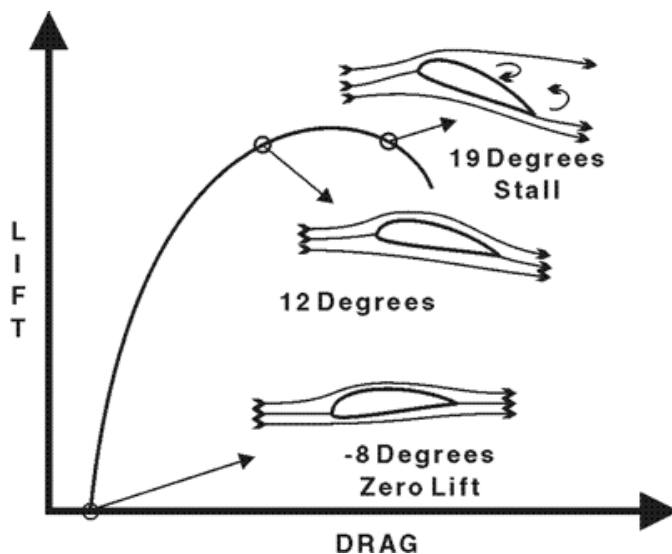
$$\rho S v = konst \quad (2)$$

Rovnice kontinuity říká, že hmota do proudové trubice vtékající se rovná hmotě z trubice vytékající v případě, že do systému hmotu nepřidáváme, ani z něj neodebíráme. [1]

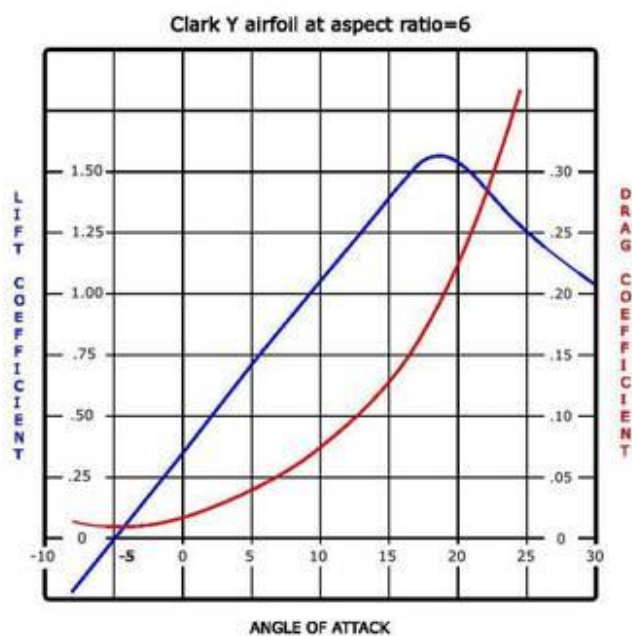
### 1.1.2 ÚHEL NÁBĚHU

Úhel, pod kterým křídlo prostupuje vzduchem, se nazývá úhel náběhu. Měří se mezi koncem profilu křídla a proudícím vzduchem. Zvýšením tohoto úhlu se proud vzduchu odchýlí, rychlost na delší straně profilu se zvětší a vztlak na horní straně profilu křídla, nebo přítlak na dolní straně obráceného profilu křídla vzroste. Na Obr. 4 je znázorněna závislost úhlu náběhu na poměru vztlaku a odporu, na Obr. 5 závislost úhlu náběhu na koeficientu vztlaku a odporu.

Z obrázků je patrné, že při zvětšujícím se úhlu náběhu se zvětšuje vztlak a také odpor. Pokud je ovšem úhel náběhu moc velký, dochází k jevu „wing stall“. Při malých úhlech proudící vzduch kopíruje profil křídla. Při narůstajícím úhlu už nedokáže profil kopírovat a díky rychlosti se začíná oddělovat a vzniká odtržené proudění. Začínají vznikat víry a vztlak nebo přítlak postupně klesá, až je při velkých úhlech úplně ztracen. S tímto zvětšujícím se úhlem náběhu také stoupá odpor a při odtržení vzduchu narůstá nadále. Z obou obrázků je patrné, že „wing stall“ nastává kolem  $19^\circ$  úhlu náběhu. Tento úhel se může měnit podle samotné konstrukce celého křídla a jeho profilu. [5][6]



Obr. 4 Závislost úhlu náběhu na poměru vztlaku (lift) a odporu (drag) [5]



Obr. 5 Závislost vztlakového (lift) a odporového (drag) koeficientu na úhlu náběhu [6]



## 2 HISTORICKÝ VÝVOJ AERODYNAMICKÝCH PRVKŮ VOZIDEL FORMULE 1

Kořeny Formule 1 sahají až do automobilových závodů z konce 19. století, které od roku 1906 získávají název Grand Prix. S prvními pravidly ve dvacátých letech je série přejmenována na Formule Grand Prix, ve třicátých letech se uskutečnilo prvních pět ročníků evropského šampionátu, který byl nazván Grandes Epreuves. Po prvních poválečných letech byla založena Formule A, která ještě neměla statut mistrovství, ale stala se základem závodů Grand Prix. Založení Formule 1 započalo v roce 1946, kdy Mezinárodní automobilová federace FIA (Fédération Internationale de l'Automobile) standardizovala pravidla závodů. Formule A poté v roce 1948 byla přejmenována na Formuli 1. O rok později se na kongresu zástupců pořadatelů vybralo 7 Grand Prix, započítávaných do mistrovství světa. Prvním závodem nově založeného mistrovství světa byla Velká cena Velké Británie v roce 1950. V prvních letech se soutěžilo o titul mistra světa mezi piloty, teprve od roku 1958 se rozdělují body i mezi konstruktéry. Tudíž jako počátek Formule 1 tak, jak ji známe dnes, datujeme Grand Prix Velké Británie, uskutečněné 13. května 1950, kde zvítězil Guisepe Farina s vozem Alfa Romeo 158 a stal se historicky prvním vítězem Velké ceny vozů Formule 1. [7]

I když základy aerodynamiky byly formulovány již před 200 lety, ne všechny principy byly použity na závodní auta. V počátcích Formule 1 se všechny týmy snažily dosáhnout s autem co největší maximální rychlosti. Hlavní myšlenkou v té době bylo snižování odporu vzduchu. Čím menší odpor auto mělo, tím větší byla maximální rychlost, a také se částečně zlepšila akcelerace. Z aerodynamického hlediska byla přední část vozu strmá překážka, a z tohoto důvodu auta generovala spíše vztlak než přítlak. Nakonec většina těchto designů z dřívějších let se přestala používat. [8]

### 2.1 50. LÉTA

V 50. letech byly nejlepší týmy výrobci z Itálie. Velká Británie, dnes centrum automobilových závodů a Formule 1, se tehdy soustředila na jiné odvětví, a to letecký průmysl. Ovšem koncem 50. let nastal útlum vývoje, a díky tomu zde byla spousta lidí se zkušenostmi, které v té době neměla žádná jiná evropská země. Do světa automobilových závodů přišlo mnoho odborníků na aerodynamiku a další specifické profese. V tomto viděli Britové obrovskou výhodu proti Italům. Všechno se začalo točit kolem šasi a aerodynamiky. Motor se tím pádem stal až druhořadou záležitostí. [7][8]

### 2.2 60. A 70. LÉTA

V 60. letech stále nebylo možné přesně spočítat síly vytvářené proudem vzduchu okolo auta, takže týmy byly nuceny vyvíjet auta stylem pokusu a omylu. Zadní křídla měla různé pozice uchycení, byla pohyblivá a u některých vozů vysoko instalovaná. Colin Chapman, majitel stále Lotus, se po několika neúspěšných závodech s vozy Lotus 38 a Lotus 43 vrátil k rýsovacímu prknu a přišel s typem 49. Jeho předností byl motor, umístěný za jezdcem, přišroubován k šasi. Stal se tak součástí celé konstrukce. Od té doby se všechny vozy Formule 1 stavějí obdobně. Na tomto voze byla poprvé použita přítlačná křídla, která se částečně objevovala během roku 1968. Původně bylo křídlo připevněno křehkými vzpěrami přímo na



zavěšení. Bylo posazeno vysoko, aby na něj proudil čistý vzduch bez turbulencí, které auto způsobuje. Výsledkem bylo, že přední a zadní přítláčná křídla, montovaná na křehkých vzpěrách, se často lámala, upadávala a měla velký podíl na nehodách. Díky tomu se FIA rozhodla, že od roku 1969 budou křídla uchycena přímo na zadní části vozu. [7][8]



*Obr. 6 Lotus 49 [9]*

### 2.2.1 LOTUS 72

Reakcí na změnu pravidel FIA v roce 1972 ukázal Colin Chapman směr vývoje aut ve Formuli 1. Nový Lotus 72 měl špičatou „lopatovitou“ přední část vozu, nazývaná nos, přívod vzduchu k motoru byl vyveden nad hlavou pilota, chladiče se přemístily z nosu do bočnic a celé auto mělo klínovitý tvar. Tímto se také posunulo těžiště vozu blíže k zadní části, čímž se zlepšila trakce, stabilita a vyváženost. V této revoluční specifikaci dosáhl Lotus 72 o 15 km/h vyšší rychlosti, než jeho předchůdce se stejným motorem. V tomto roce vyhrál Lotus jak šampionát jezdců, tak i pohár konstruktérů, a Emerson Fittipaldi se stal nejmladším světovým šampionem. [7][8]



*Obr. 7 Lotus 72 [10]*



### 2.2.2 TYRRELL P34

Zajímavou radikální inovací v konstrukci vozů Formule 1 v roce 1976 představil Tyrrell. Jeho šestikolový monopost P34 vzbuzoval pozornost všude, kde se ukázal. Poprvé byl představen na konci roku 1975. V tiskové zprávě bylo uvedeno, že se jedná pouze o výzkumný projekt a nikdy nebude závodit. I přesto se P34 překvapivě objevil na startovním roštu Grand Prix Španělska v roce 1976. [11]

Hlavní myšlenkou u tohoto vozu bylo snížit aerodynamický odpor, který generovala přední kola. Proto byla zmenšena, a aby se neztratila potřebná přílnavost, byla dvě a uložena těsně za sebou. Při testech se staršími modely se ukázalo, že P34 je na rovinkách rychlejší. Bohužel ne kvůli nové přední části, ale díky zmenšenému zadnímu křídlu, které nekladlo tak velký aerodynamický odpor. Zdvojená přední kola fungovala excelentně na suchu, kdy přední část vozu byla doslova přilepena na trati. Naopak zadní část byla nestabilní a měla tendenci se smýkat. To ovšem mělo opačný efekt na mokru. Přední dvojité kola si navzájem kradla přílnavost a vůz se stal velmi neotáčivý. [11]

Problém také byl s pneumatikami. Tyrrell si je musel nechat dělat na zakázku od firmy Goodyear. Ta zároveň dodávala pneumatiky pro další týmy Formule 1, a proto neměla dostatečný čas s vývojem pneumatik pro Tyrrell. To se hned projevilo tím, že na delších rovinkách měly pneumatiky tendenci z ráfků sklouzávat. Tyrrell P34 vyhrál pouze jednou. Většinou dojížděl třetí nebo čtvrtý, ale koncem roku 1977 bylo jasné, že šestikolka nemá za současných podmínek šanci. P34 se už nikdy žádné Velké ceny nezúčastnil a Tyrrell se vrátil zpět ke klasickým čtyřkolovým monopostům. [11][12]



Obr. 8 Tyrrell P34 [13]



## 2.3 OBDOBÍ WING CARS

V 70. letech se vývoj aerodynamiky posunul o poznání dál. Revolučním vozem se stal Lotus 78, jenž se zapsal do historie Formule 1 svou konstrukcí a vytvořením přísavného efektu. [8]

### 2.3.1 LOTUS 78

Byl to znovu Colin Chapman, kdo představil mezi lety 1977/78 průlomovou konstrukci vozu Formule 1. Lotus 78 se vyznačoval konstrukcí obráceného profilu křídla, generující přítlak. Brzy po jeho představení dostal přezdívku „Wing Car“, volně přeloženo jako „křídlové auto“. Bočnice na stranách auta byly velmi blízko asfaltu a podporovaly vytváření přísavného efektu, který dovozoval neuvěřitelně vysoké rychlosti v zatáčkách. [7][8]



Obr. 9 Lotus 78 [15]

Toto bylo první auto s tzv. přísavným efektem (ground effect). Tony Rudd, hlavní inženýr Lotusu, v minulosti testoval vozy s obráceným křídlem pro British Racing Motors (BRM), ale neúspěšně. Peter Wright, aerodynamik Lotusu, začal v roce 1976 experimentovat s tvarem vozidel Formule 1 s využitím aerodynamického tunelu a odvalující se cesty (rolling road). Díky šťastné náhodě začal dostávat pozoruhodné výsledky. Bližší studie zjistila, že čím rychlejší je odvalování cesty a čím níž je auto posazeno vůči zemi, tím větší je výsledný přítlačný efekt. Pro další experiment použil kusy kartónu, upevněné k bočnicím, a výsledná přítlačná síla byla ohromující. Tyto kusy kartónu nepustily okolní vzduch pod auto, který by narušil oblast nízkého tlaku vzduchu generující přítlak. Výsledky byly prezentovány Colinovi Chapmanovi a začalo se s výrobou vozu. Podlaha byla konstruována na stejném principu, jako přední nebo zadní křídlo, tzn. na principu obráceného profilu křídla, pouze ve větším měřítku. Tímto se zrychlil proudící vzduch mezi podlahou a tratí, což vytvořilo oblast nižšího tlaku a vzniklo částečné vakuum. Chladiče v bočnicích byly umístěny tak, aby horký vzduch, proudící z chladičů, obtékal horní část karoserie a podpořil vytvoření ještě většího přítlaku.



Aby byl přítlak co největší, monokok byl užší a plocha nízkého tlaku vzduchu co největší. Tato konstrukce měla velkou výhodu v tom, že její aerodynamický odpor byl minimální. Menší než u klasických přitlačných křidel. Aby se zabránilo vniknutí vzduchu pod auto, do oblasti nízkého tlaku, a narušení přísavného efektu, byly na bočnice namontovány kartáčové okraje. Později byly nahrazeny gumovými, které byly pohyblivé a velmi efektivní. [7][8][14]

Bohužel oblast nízkého tlaku vzduchu, generující největší přítlak, byla v přední části vozu. Z tohoto důvodu bylo zadní křídlo příliš velké a mělo velký aerodynamický odpor. Vůz byl na dlouhých rovinkách pomalejší, než vozy Ferrari nebo McLaren, které jej snadno předjely. Ale i přes tyto vady patří Lotus 78 mezi nejdůležitější vozy Formule 1 v historii sportu. [14]

### 2.3.2 LOTUS 79

Lotus 79 byl prvním monopostem F1, který dokonale využil aerodynamiku přísavného efektu. Jeho předchůdce využíval kolem 75% přísavného efektu, než se předpokládalo. Konstrukce Lotusu 79 se snažila najít zbylých 25%. Byla změněna konstrukce podlahy auta, aby byl přísavný efekt rozložen rovnoměrně po celé ploše. Přepočítávalo se i odpružení zadní nápravy, aby proudící vzduch lépe opouštěl vůz a nevytvářel zbytečný odpor. Díky tomu se stal dominantním vozem v sezóně 1979. Vzhledově se velmi podobal typu 78. [7][16]



Obr. 10 Lotus 79 [17]



### 2.3.3 BRABHAM BT46B – FAN CAR

Dominance Lotusu 78 a 79 díky přísavnému efektu byla nevídaná. Všem lidem v boxové uličce vrtalo hlavou, jak Wright a Chapman dosáhli takové výkonnosti s typem 78. Ale brzy v roce 1978 Gordon Murray, inženýr stáje Brabham, vedenou Bernieem Ecclestone, pochopil tajemství konstrukce Lotusu a jeho velkého přítlaku. Také si uvědomil, že dvanáctiválcové motory Alfa Romeo, které tehdy stáj Brabham používala, byly příliš objemné pro konstrukci, kterou představil Lotus. Murray dostal jiný nápad jak snížit tlak pod autem. [18]

Inspiroval se vozem Chaparral 2J, který v roce 1970 byl výrazně rychlejší, než konkurenční vozy závodů sportovních vozů Can-Am v Americe. Chaparral 2J měl vzadu dva velké ventilátory, které vysávaly obrovské množství vzduchu zespodu auta. Tím se vytvořil malý tlak a spolu s ním přísavný efekt. Podobná konstrukce byla představena na voze Brabham BT46B, přezdívaného „Fan Car“, při Grand Prix Švédska v Anderstorpu 17. června 1978 pro Nikkiho Laudu a Johna Watsona. Auto mělo vzadu jeden velký ventilátor, který byl poháněn motorem přes mechanismus spojek. Čím větší otáčky motor měl, tím větší byl přísavný efekt. Ventilátor zároveň pomáhal s chlazením. Díky tomu nebylo auto zakázáno podle pravidla, které nepovolovalo pohyblivé aerodynamické prvky. Navzdory protestům ostatních týmů byl BT46B připuštěn k závodu Grand Prix Švédska, kde s ním vyhrál Nikki Lauda a všechny ostatní závodníky nechal daleko za sebou. [18]



Obr. 11 Brabham BT46B "Fan Car" [19]



Obr. 12 Ventilátor vozu Brabham BT46B "Fan Car" [20]

Lotus ihned začal s vývojem podobného konceptu na svůj další vůz Lotus 79. Bernie Ecclestone, majitel týmu Brabham a zároveň prezident FOCA (Formula One Constructors Association) se dozvěděl, že mu další členové FOCA v čele s Colinem Chapmanem vyhrožovali ztrátou podpory, pokud BT46B dobrovolně nestáhne ze závodů. Ecclestone se snažil vyjednat, aby vůz pokračoval ještě další tři závody, než by vozy Brabham stáhl, nicméně neúspěšně a od tohoto okamžiku byla auta s ventilátory zakázána a Brabham BT46B nikdy znovu v závodě Formule 1 nezavodil. Výsledky z Grand Prix Švédska však zůstaly nezměněny, protože auto nebylo považováno za nelegální, když závodilo. [18]

V roce 1979 týmy Williams, vedený Frankem Williamsem a jeho inženýrem a konstruktérem Patrickem Headem, a Ferrari vytvořily křídlová auta, která byla efektivnější, než Lotus 79. Lotus musel okamžitě zareagovat a představil Lotus 80. Hlavní ideou u typu 80 bylo dosáhnout lepšího přítlaku s použitím maximálního přísavného efektu bez velkých křidel, která vytváří velký aerodynamický odpor. Lotus 80 měl v nosní části průduch, vedoucí od spodu skrz něj nahoru na kapotu. Tímto otvorem se vedl vzduch ze spodu auta na kapotu, aby vytvořil podtlak pod jeho přední částí. Podobný princip poté využilo Ferrari v roce 2008. Monopost se choval ve vyšších rychlostech normálně, ovšem při brzdění, najíždění na obrubníky a další nerovnosti byl přísavný efekt narušen a Colin Chapman byl nucen přiznat, že auto nebylo tak výkonné, jak si původně představoval. [7]

Období přísavného efektu trvalo do roku 1982. Před sezónou 1981 FIA kvůli bezpečnosti zakázala používání posuvných bočnic, aby prostor mezi podvozkem formule a tratí byl větší, a tím se snížila rychlost v zatáčkách. V roce 1983 poté přišel zákaz používání



všech aerodynamických prvků v podlaze vytvářejících přítlak, tudíž byl zakázán ground effect. Později monoposty Formule 1 dostaly znova užší konstrukci, a proto se konstruktéři začali zaměřovat na drobnější aerodynamické detaily. [8]

## 2.4 90. LÉTA

V období devadesátých let se aerodynamika definitivně stala hlavní složkou úspěchu ve Formuli 1. Mezi jedny z nejvýznamnějších inovací patřil vůz Tyrrell 019 a jeho úprava předního přítláčného křídla nebo vůz Williams FW14 s aktivním pérováním. [7][8]

### 2.4.1 TYRRELL 019

Konstruován Harveyem Postlethwaitem, Tyrrell 019 byl evolucí svého předchůdce Tyrrellu 018. Monopost 019 měl zvýšený nos přední části. Bylo to poprvé v historii závodů Formule 1, kdy byl tento nápad vyzkoušen. [8]

I když byl ground effect v osmdesátých letech zakázán, auta stále používala difuzory, které generovaly přítlak na základě proudění vzduchu a vytvářením nízkého tlaku pod autem. Postlethwait si uvědomil, že efektivita tohoto systému byla narušována nízko posazeným nosem. Ten rozrážel čistý vzduch do boku a nahoru kolem karoserie auta a snižoval množství vzduchu, proudícího pod auto. Jenže z rovnice kontinuity vyplývá, že čím větší množství vzduchu proudí pod autem, tím větší je rychlost proudění, tím nižší je tlak a tím vyšší přítlak se vytvoří. Zvýšením nosu narostlo množství proudícího vzduchu pod autem. Naopak přední křídlo generuje vyšší přítlak, pokud je co nejbližší země. Proto vznikl obrácený „V“ profil. [21]



*Obr. 13 Tyrrell 019 [22]*



V závodech Tyrrell 019 nedosahoval takových výsledků, jako po technické stránce. Nicméně další týmy začaly experimentovat se zvýšeným nosem a tato konstrukce se stala předlohou pro budoucí monoposty Formule 1. Posledním úspěšným vozem s klasickým, nízko položeným nosem, byl Williams FW14. Ten měl aktivní pérování, což znamenalo, že v každé zatáčce se světlá výška, tuhost a další vlastnosti celého podvozku nastavily podle počítače tak, aby průjezd zatáčkou byl co nejrychlejší. [8]

FIA reagovala na inovace týmů omezeními, které měly za úkol snížit aerodynamickou výkonnost vozů, a tím zmenšit rychlost v zatáčkách a zvýšit bezpečnost závodů Grand Prix. Díky vozu Williams FW15, který obsahoval aktivní pérování, kontrolu trakce, počítač, který řídil spoustu funkcí, například start monopostu, a zároveň tragickému roku 1994, kdy zemřeli Ronald Ratzenberg v kvalifikaci a Ayrton Senna v samotném závodě Velké ceny San Marina v Imole, byly zakázány všechny pomocné elektronické prvky a aktivní pérování. Ale konstruktéři stále pokračovali ve vývoji aerodynamiky a úspěšně kompenzovali novými inovacemi zákaz těchto pomůcek. [8]

V roce 1998 týmy experimentovaly s různými typy přitlačných křídel. Například Tyrrel 025 používal na okruzích, které vyžadují vysoký přitlak, jako Monako, X-křídla, což byla malá křídla, montovaná na vzpěrách k bočnicím. Jiné týmy používaly malá přídavná křídélka, připevněná na vnější strany zadních křídel. FIA ale přišla s drastickými změnami v pravidlech. Zavedly se pneumatiky s drážkami a monoposty měly být užší. Odborníci na aerodynamiku museli najít jiné způsoby, jak bojovat se vzduchem. [8]

Nyní všechny týmy nepřetržitě využívají aerodynamických tunelů. V moderních tunelech se proudění vzduchu zviditelňují pomocí laserů, protože dnes je velmi důležité než kdykoliv předtím dát autu perfektní vyváženost nastavení pro různé okruhy. Hlavním cílem je maximální přitlak s co nejmenším aerodynamickým odporem za každých okolností, jak na rovinkách, tak v pomalých zatáčkách. [8]

## 2.5 POČÁTEK 21. STOLETÍ

V novém tisíciletí byly ve Formuli 1 vidět nové konstrukce křídel. Díky současným technologiím a pravidlům nikdo nečekal podobný revoluční převrat, jako v 60. a 70. letech. Aerodynamika se spíše zaměřovala na postupný vývoj než revoluci, protože v dnešních závodech Formule 1 každý ví, že najít desetinu nebo dvě desetiny sekundy na kolo oproti konkurenci může stačit na vítězství. [8]

FIA stále zůstala u myšlenky snížit rychlosti průjezdů zatáček a zvýšení bezpečnosti. Podle toho se také vyvíjela auta. Postupem času se na nich objevovaly různorodé karbonové součástky pro zlepšení toku vzduchu, zvýšení aerodynamické účinnosti a zmenšení odporu vzduchu. Vůz McLaren MP4-20 dostal pro rok 2005 nový design. Měl změněnou aerodynamiku, odpružení, přední křídlo bylo zvednuto, difuzor byl menší a zadní křídlo bylo posunuto směrem dopředu. Auto mělo také typická křídla ve tvaru rohů, umístěná na krytu motoru vedle vstupního otvoru pro chlazení motoru, aby se zvětšil přitlak. [7]

Na rok 2007 postavil McLaren vůz MP4-22. Na Velké ceně Španělska a na dalších závodech, kde je potřeba větší aerodynamický přitlak, jeho přední křídlo obsahovalo další přídavné křídlo, které bylo spojeno s oběma konci bočnic předního křídla, a jeho tvar obloukově obtékal nos vozu. Naopak při Velké ceně Itálie v Monze, kde je požadován co nejmenší



přítlak, tuto novinku neměl. Vůz měl také instalována křídla ve tvaru rohů jako jeho předchůdce MP4-20. Ferrari a McLaren patřili mezi špičku a ostatní týmy nechávaly za sebou. Jejich monoposty soupeřily v každém závodě. [7]

McLaren MP4-23 spolu s Ferrari F2008 pro sezónu 2008 byly aerodynamicky nejosfistikovanější vozy Formule 1 v historii. Světovým šampionem pro rok 2008 se stal Lewis Hamilton s McLarenem, ale pohár konstruktérů vyhrálo Ferrari. [7]



*Obr. 14 McLaren MP4-23 [23]*



*Obr. 15 Ferrari F2008 [24]*



Pro rok 2009 FIA zavedla další opatření pro upravení aerodynamiky a zjednodušení předjíždění. Díky ekonomické krizi byl pro týmy zaveden finanční strop, který měl snížit náklady. Byla zavedena nastavitelná přední přitlačná křídla, systém pro rekuperaci kinetické energie KERS (Kinetic Energy Recovery System), zadní křídla byla užší a vyšší, přední křídla se rozšířila až k okrajům předních pneumatik. Všechny týmy proto musely přijít úplně s novými vozy, a to se nejlépe povedlo týmu Brawn GP. Jeho zadní dvojitý difuzor byl tak účinný, že vyhrál prvních sedm Velkých cen, a v průběhu celé sezóny se objevoval na stupních vítězů. Některé týmy protestovaly, že dvojitý difuzor je v rozporu s pravidly, ale FIA difuzor označila za legální. Dvojitý difuzor se v průběhu sezóny objevil na všech monopostech. Jenson Button se stal světovým šampionem pro Brawn GP a stáj také vyhrála pohár konstruktérů.



Obr. 16 Změna pravidel pro rok 2009 - Ferrari F2008 dole, Ferrari F2009 nahoře [25]

V sezóně 2010 tým Red Bull Racing představil vůz RB6 s foukaným difuzorem. Výfuky byly vyvedeny v dolní části vozu, místo klasicky před zadním křídlem na karoserii. Plyny, proudící z výfuků, ovlivňovaly proudění vzduchu kolem zadních pneumatik, dodávaly energii do již proudícího vzduchu do difuzoru a tím se zlepšila aerodynamika. Později je měly všechny monoposty. Ovšem tým McLaren se představil se svým MP4-25. Jeho součástí byl systém „F-duct“ (F-potrubí). Díky tomu MP4-25 dosáhl o 5 km/h větší rychlosti na dlouhých rovinkách. Tento systém byl kritizován jinými týmy, protože pohyblivé aerodynamické prvky jsou v rozporu s pravidly. FIA schválila F-duct za legální, protože pilot, který pohybem ruky ucpé díru a tím změní proudění vzduchu, není považován za aerodynamický prvek. Nicméně tento prvek byl zakázán pro příští sezónu, ale McLaren a jiné týmy ho mohly nadále používat. [7]



## 3 KATEGORIZACE A POPIS AERODYNAMICKÝCH PRVKŮ VOZIDEL FORMULE 1

Aerodynamika vozů Formule 1 je srovnatelná s aerodynamikou letadel. Vytváření přítlaku a jeho efekt na stabilitu je zásadním prvkem pro zlepšení výkonnosti vozu, hlavně v rychlých zatáčkách. Pro vývoj monopostů jsou používány všechny dostupné technologie z leteckého průmyslu. Díky různému proudění a vytváření turbulencí je velmi složité předpovědět proudění vzduchu okolo celého auta. Proto se konstruktéři musí spoléhat na data získaná přímo na trati, v aerodynamickém tunelu nebo počítačové simulace proudění tekutin CFD (Computational Fluid Dynamics). Do dnešní doby bylo nejvíce využíváno aerodynamických tunelů, ale do sezóny 2010 nastoupil nový tým Virgin Racing, který svůj monopost vyvinul pouze za použití počítačové simulace CFD, takže jejich vůz poprvé vyjel na trať až při prvním závodě v Bahrainu 2010. Konstruktéři týmu tvrdí, že právě tyto počítačové simulace jsou budoucnost vývoje nových monopostů Formule 1. [8]

Na dnešních monopostech Formule 1 můžeme spatřit hned několik aerodynamických prvků, které se postupně vyvíjely od počátků motorsportu až do současnosti. Nejdominantnějšími prvky jsou přední a zadní přitlačná křídla. Přední přitlačná křídla mohou obsahovat Gurneyho klapku. V zadní části monopostu je difuzor, který je velmi nezbytný a generuje velké procento přítlaku. Před bočnicemi se na obou stranách nachází prvek zvaný „barge board“, který lépe usměrňuje proudící vzduch. Do roku 2008 se na autech nacházela další přídavná křídélka, která měla hlavně odklonit vzduch proudící na zadní kola a jako vedlejší účinek vytvářela menší přitlak. Za aerodynamický prvek se dá považovat i samotné odpružení, jehož profil je souměrný, aby měl co nejmenší odpor, ale nesměl vytvářet přitlak. Také kola, která svou rotací a tvarem velice negativně narušují tok vzduchu, a systém pro chlazení brzd. Mnohé aerodynamické prvky ovšem byly zakázány. Například systém F-duct, který v roce 2010 představil McLaren, díra v nose předního křídla u Ferrari, dvojité difuzory, pohyblivá přední a zadní křídla, ventilátory, křídla, která se pod aerodynamickým tlakem prohýbala. V 80. letech byl zakázán přísavný efekt, který zkonstruoval Lotus. Nicméně pro sezónu 2009 a 2010 byla znovu povolena přední nastavitelná křídla, v letošní sezóně 2011 byla povolena zadní nastavitelná křídla. Pravidla se mění každým rokem. [26][27][28][29][30][31]

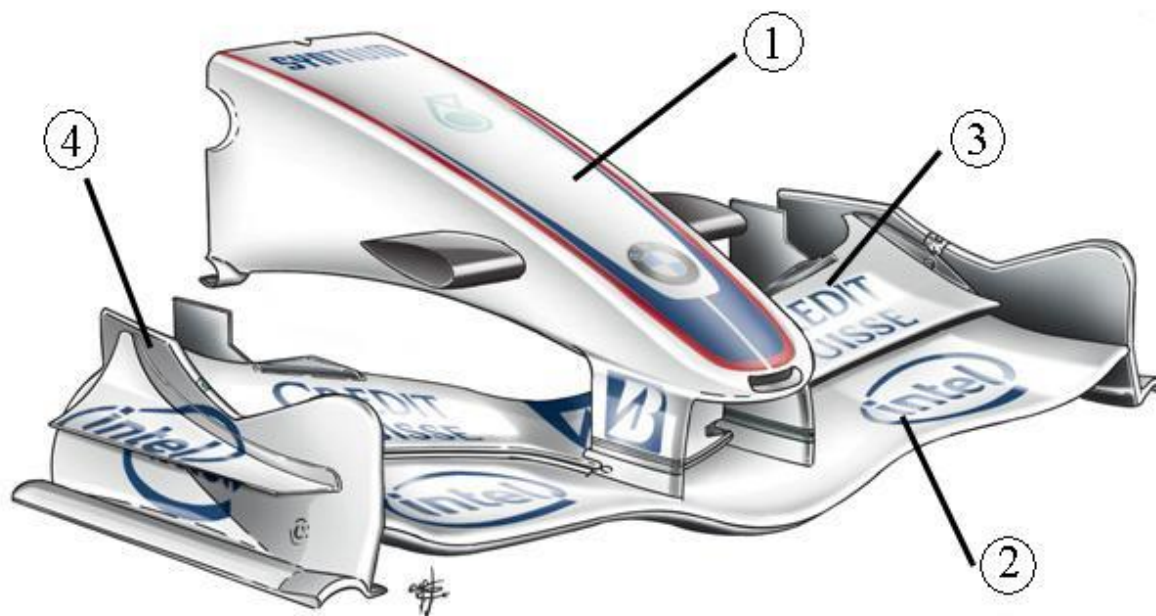
### 3.1 PŘEDNÍ PŘITLAČNÉ KŘÍDLO

Přední přitlačné křídlo vytváří 25-40% přítlaku celého monopostu. Je to první část vozu, která se setkává s čistým vzduchem. Proto jeho dalším úkolem, kromě vytváření přítlaku, je tento vzduch co nejlépe a nejefektivněji rozložit a posílat dále. Obecně je vzduch veden tak, aby byl odpor co nejmenší a dostal se i na zadní křídlo. Jeho dostatečné množství musí proudit pod auto do difuzoru pro vytvoření přítlaku, do chladičů v bočnicích, do brzdového chladičového systému, a také se musí co nejlépe vyhnout předním a zadním kolům, vytvářející velký odpor. Měl by být co nejčistší, takže by neměl obsahovat velké turbulence, zvyšující aerodynamický odpor, což zpomaluje vůz. [9][26]

Každé přední křídlo má nos (1), od něj je oddělená hlavní část (2), zabírající celou šířku křídla. Na ní jsou instalovány klapky (3) a různá další křídélka pro zlepšení a usměrnění toku vzduchu. Klapky jsou nastavitelné a najdeme je na každé straně křídla. Jsou vyrobeny z jednoho kusu karbonu, ale třeba Ferrari používalo dvě malé klapky, než jednu velkou. Na každém konci křídla se nachází vertikální část, nazývaná endplate (4). Jejich hlavním úkolem



je zabránit přesunu vzduchu s vyšším tlakem na bocích křídla do oblasti nízkého tlaku vzduchu. Pokud by se tak stalo, vytvořil by se nežádoucí indukovaný odpor, který vzniká například u letadel. Také upravují tok vzduchu okolo pneumatik a dále kolem boku auta. Zabraňují turbulentnímu vzduchu, způsobený předními koly, aby se dostal pod auto a snižoval výkonnost difuzoru. Hlavní část může být uprostřed vyvýšena nebo snížena pro upravení množství vzduchu proudícího pod auto. Pozice křídla vůči trati má na výsledný přitlak velký podíl. Čím blíže je křídlo k trati, tím větší je přitlak. [9][26]



Obr. 17 Schéma předního přitlačného křídla [32]

### 3.2 ZADNÍ PŘITLAČNÉ KŘÍDLO

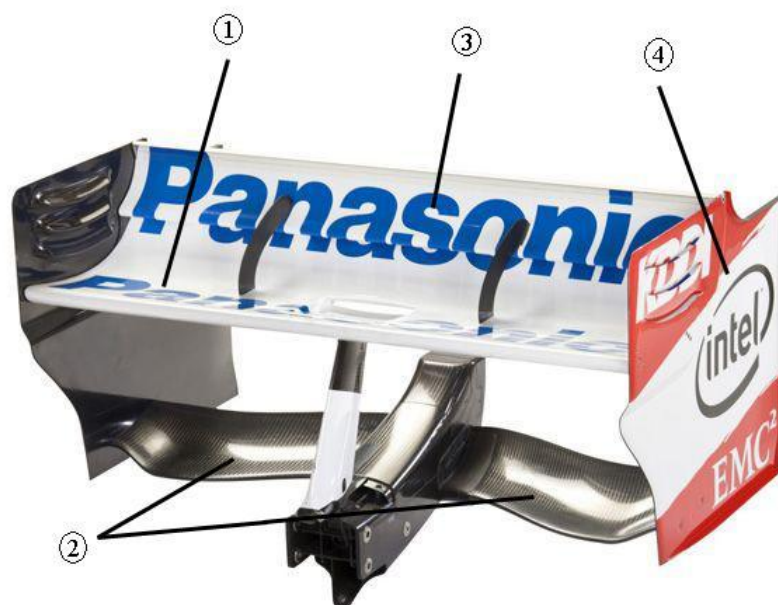
Zadní křídla jsou nepostradatelnou součástí na dnešních vozech Formule 1. Váží kolem 7 kg a generují přibližně třetinu přitlaku celého auta. Jsou nastavitelná podle toho, jak aerodynamicky náročná každá trať je. Obecně platí, že čím větší přitlak, tím větší odpor a tím menší maximální rychlost. Proto se inženýři snaží nastavit auto tak, aby tento poměr mezi přitlakem a odporem byl co nejvýhodnější. [5][6][26]

Většinou se zadní křídlo skládá ze dvou částí spojené endplats (4) na obou koncích. Horní část obsahující dva elementy obdobně jako přední křídlo, hlavní část (1) a klapku (3), generuje většinu přitlaku a dá se nastavovat pro každý závod a trať. Dolní část (2) se skládá ze dvou menších dílů a vytváří pouze malý přitlak. Její hlavní funkcí je vytváření oblasti nízkého tlaku vzduchu pod křídlem a tím zlepšit funkci difuzoru, který tak vytvoří větší přitlak. [9][26]

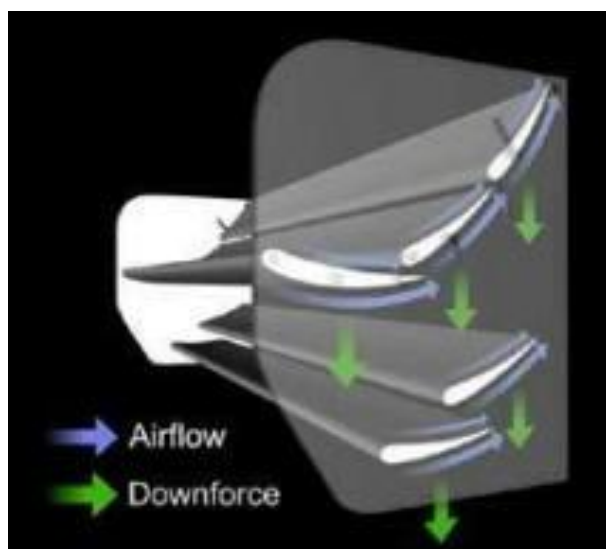
Při rozdělení horní části zadního křídla na dvě části se předchází tomu, aby nedocházelo k přerušení toku vzduchu a k jevu wing stall. Tato multielementová křídla produkují větší přitlak než jedno celistvé křídlo, ale neplatí, že dvě křídla produkují dvakrát tolik přitlaku, než



jedno. Mezera mezi těmito částmi dovoluje částečně proudit vysokotlakému vzduchu z hlavní části pod klapku, kde dodá energii. Tímto zvýšením energetického potenciálu vzduchu pod klapkou se zvýší přítlak a omezí se oddělení toku vzduchu. Na stejném principu pracují křídla letadel při přistání, když mají vysunuté klapky. V minulosti se používala křídla s několika částmi, které sice generovaly obrovský přítlak, ale také obrovský aerodynamický odpor. Nyní jsou povoleny pouze dva elementy. Endplates zadního křídla mají podobnou funkci, jako u předního křídla. Jsou konstruovány tak, aby zabránily přesunu vzduchu s vyšším tlakem na konci křídla do oblasti nízkého tlaku vzduchu, a také zabraňuje turbulentnímu vzduchu, vytvořeným zadními koly, aby narušil tok vzduchu na zadní křídlo. [9][26]



Obr. 18 Schéma zadního přitlačného křídla [33]



Obr. 19 Jednoduchá grafika proudění vzduchu na zadním multielementovém křídle - airflow (proud vzduchu), downforce (přítlak) [26]

### 3.3 DIFUZOR

Difuzor se nachází v zadní části auta. Vzduch proudící pod autem opouští tento prostor právě difuzorem. I když křídla a difuzory pracují stejně, jsou založeny na různých konceptech. Difuzor je konstruovaný tak, aby vysával vzduch pod autem. Tento proces snižuje rychlost vzduchu proudícího pod autem. Tímto vzniká přísavný efekt, auto je tlačeno k zemi pomalejším vysokotlakým vzduchem, proudícím kolem karoserie. Hlavní funkcí difuzoru je snížit rychlost vzduchu mezi jeho vstupem a výstupem tak, aby rychlost vzduchu vystupujícího z difuzoru byla stejná, jako rychlost vzduchu proudícího kolem auta. To je doprovázeno odpovídajícím zvýšením tlaku. [26][28]

Jeho konstrukce je komplikovaná. Skládá se z několika vertikálních příček, které mohou být různě tvarované. Jsou tam proto, aby oddělily vzduch proudící pod autem, protože díky otáčení kol, zadního křídla a dalších vlivů se na zadní části vozu objevují různé proudy vzduchu. Všechny tyto různé proudy mají různé hodnoty energie a rychlosti, proto se s nimi tímto oddělením lépe pracuje. [28]

Pokud jsou difuzory dobře konstruovány, jsou pro aerodynamiku vozů nepostradatelným prvkem. Difuzor, zkombinovaný s dolní částí zadního křídla, vytváří až 40% celkového přítlaku monopostu Formule 1. Ovšem pokud je difuzor špatně konstruovaný, může nastat přerušování funkce difuzoru a ztráta přítlaku. Pokud jezdec ví, jaké množství přítlaku jeho vůz v zatáčkách snese, projíždí tyto zatáčky v maximální možné rychlosti. Při tvrdém brzdění se přední část monopostu Formule 1 nepatrně přiblíží k zemi a zadní část se naopak od země vzdálí. Jedná se o 1 až 2 mm, protože odpružení monopostů je velmi tvrdé, ale i tato vzdálenost může narušit práci difuzoru a narušit přítlak. [28]



Obr. 20 Difuzor McLarenu MP4-24 pro rok 2009 [34]

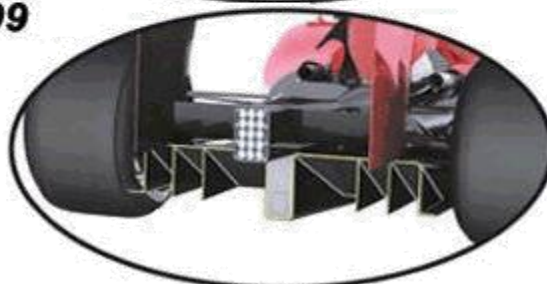
Pro sezónu 2009 se změnila pravidla ohledně difuzorů a jejich konstrukce. Nová pravidla zakázala různé velikosti centrální a vnější části. Maximální povolená výška obou částí byla upravena na 175 mm oproti 125 mm z minulých let. Některé týmy využily skulinky v pravidlech a představily dvojité difuzory. Týmy McLaren, Ferrari, Renault a BMW Sauber prezentovaly přesnou interpretaci difuzorů podle pravidel. Žádná část nebyla vyšší, než povolená výška. Naopak týmy Toyota, Williams a Brawn GP si vyložily pravidla jinak. [28]

#### 2009 regulation changes - rear diffuser

**2008**



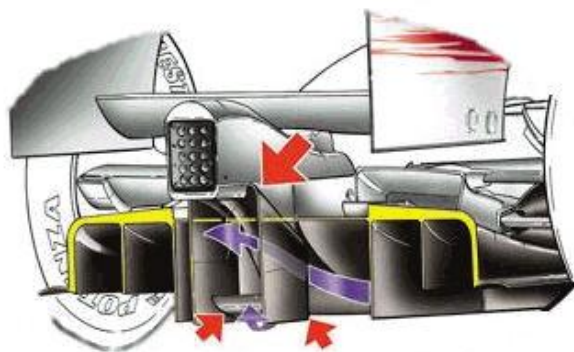
**2009**



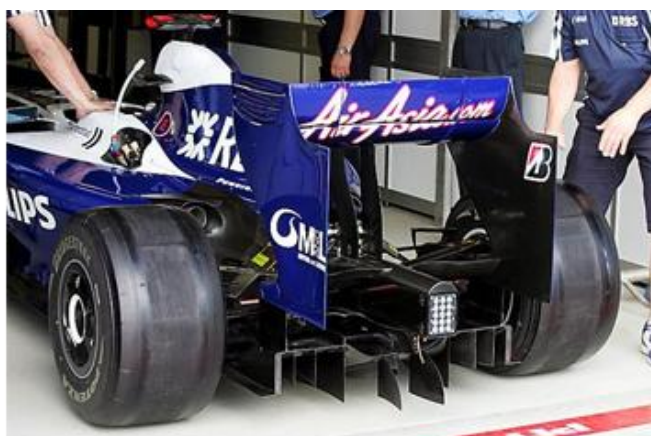
Obr. 21 Změna konstrukce difuzorů pro rok 2009 [28]

U Toyoty využili skulinky v pravidlech a chytrou konstrukcí zadní nárazové části vozu se zvýšila centrální část difuzoru (horní červená šipka). Ostatní prvky difuzoru jsou stejně vysoké (žlutá část). [28]

Toyota TF109 - rear diffuser design

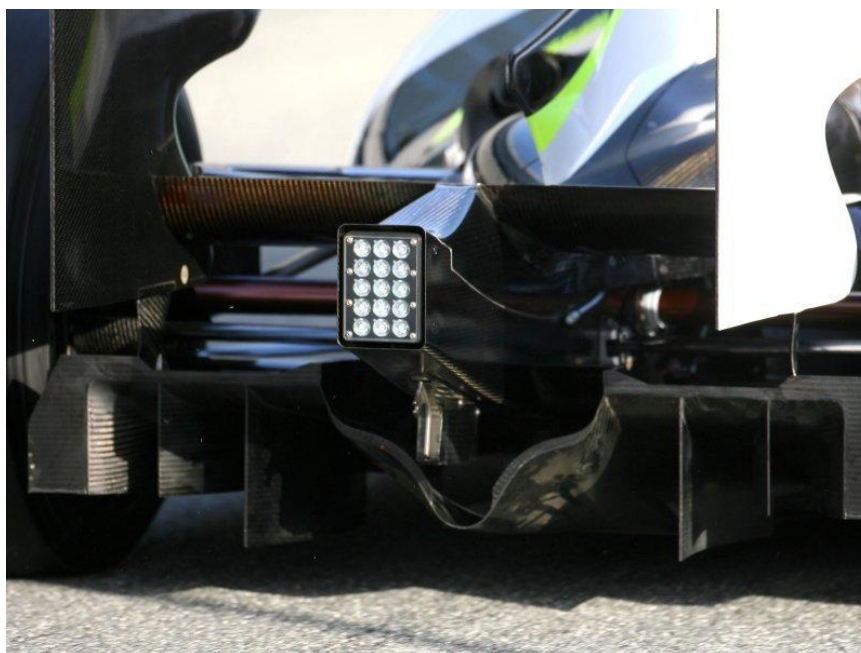


Obr. 22 Difuzor Toyoty TF109 pro rok 2009 [28]



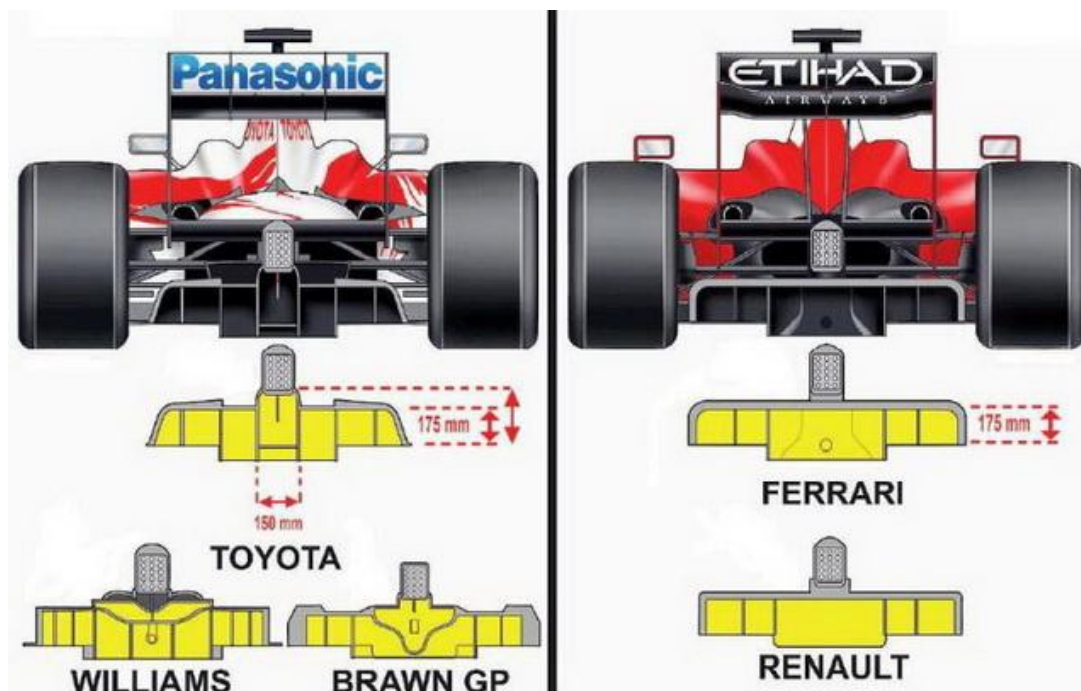
Obr. 23 Difuzor vozu Williams FW31 pro rok 2009 [28]

U Williamsu FW31 je obdobná filozofie. Zadní nárazová část, hned pod varovným světlem, vytvořila druhou, centrální sekci ve tvaru diamantu, ačkoliv samotná centrální část difuzoru je dokonce nižší, než vnější část (žlutá část).



Obr. 24 Difuzor vozu Brawn GP pro sezónu 2009 [28]

Difuzor vozu Brawn GP je obdobný, jako u dvou předešlých. Opět je jinak tvarovaná centrální část difuzoru. Tyto konstrukce byly pod protestem ostatních stájí a difuzory byly vyšetřovány. Ovšem týmy si své difuzory a jejich soulad s pravidly obhájily před vedením FIA, a proto byly uznány jako legální. [28]



Obr. 25 Grafické znázornění odlišnosti difuzorů v roce 2009 [35]



Z obr. 25 vidíme různá provedení difuzorů. Ostatní neuvedené týmy měly difuzory podobné Ferrari a Renaultu. Dvojité difuzory byly poté použity všemi týmy v sezóně 2010. Pro rok 2011 se opět zakázaly pro omezení přítlaku. [28]

V minulosti probíhaly pokusy o zlepšení efektivity difuzorů. V 90. letech se McLaren snažil urychlit proudění vzduchu pod autem tím, že foukal horké výfukové plyny z motoru do difuzoru. Tento nápad byl dobrý, ale ne moc úspěšný. Problém byl ve výfukových plynech, které neměly konstantní rychlost. Čím více pilot stlačil plynový pedál, tím větší rychlost měly výfukové plyny. Proto v zatáčkách, kde pilot dá nohu z plynu, a tím se sníží rychlost výfukových plynů, auto ztrácelo potřebný přítlak. S lepším řešením přišel v roce 2009 tým Red Bull Racing u monopostu RB5. O rok později jej dovedl téměř k dokonalosti. [36]



Obr. 26 Vyvedení výfuků na difuzor na Red Bullu BR5 [36]

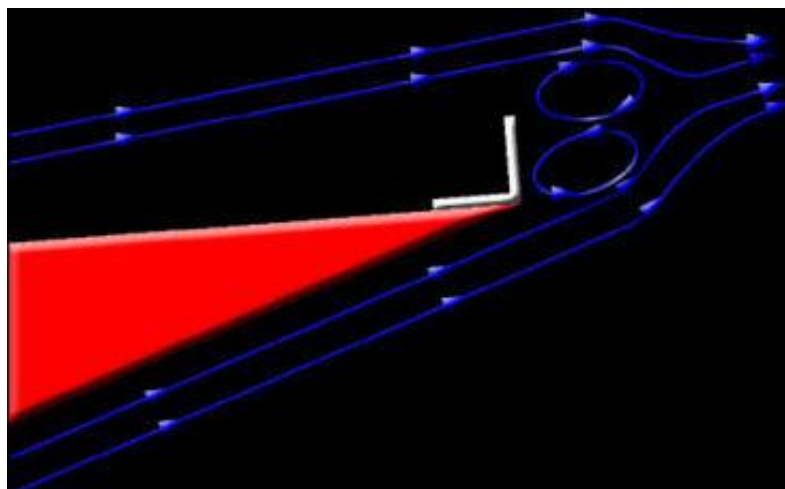
### 3.4 GURNEYHO KLAPKA

Klapka je z aerodynamického hlediska zařízení na konci křídla, které může být ve většině případů sníženo, aby se zvýšil vztlak na křídle. Gurneyho klapka byla pojmenována po jeho zakladateli Danem Gurneyem. Byl to pilot a konstruktér vozů Eagle F1. Samotné zařízení není nijak sofistikované. Je to pravouhlý karbonový nebo hliníkový plát připevněný na konec křídla. Tato klapka ovlivňuje tlak na celém křídle, a tím se zvyšuje vztlak, nebo přítlak a zabraňuje oddělení toku vzduchu na přísavné straně křídla. [27]



Obr. 27 Gurneyho klapka na voze Ferrari [37]

System pracuje tak, že zvyšuje tlak na straně křídla, kde se pohybuje vzduch pomaleji. To je na horní straně přitlačného křídla. Zároveň snižuje tlak na straně druhé a pomáhá toku vzduchu kopírovat profil až k jeho konci. Za touto klapkou se vytvoří dva opačně rotující víry, které zabraňují oddělení toku vzduchu. Díky tomu je zvýšen přitlak. [27]



Obr. 28 Proudění vzduchu za použití Gurneyho klapky [27]



Aby byla Gurneyho klapka co nejefektivnější, musí být umístěna na konci křídla. První obrázek ukazuje přitlačné křídlo, které vytváří přitlak na základě Bernoulliho principu. Vzduch musí zvýšit rychlost, aby tekla po dolní straně, a tím sníží tlak. Na horní straně má vzduch vyšší tlak, který tlačí křídlo dolů. Úhel náběhu je nulový. [27]



Obr. 29 Proudění vzduchu kolem profil přitlačného křídla [27]

Na druhém obrázku je křídlo pod větším úhlem. Při větších úhlech náběhu už není vzduch schopen kopírovat dolní povrch křídla, odděluje se, snižuje přitlak křídla a zvyšuje se odpor. [27]



Obr. 30 Održené proudění na přitlačném křídle [27]

Třetí obrázek je obdobný druhému. Křídlo je pod stejným úhlem náběhu, ale na konci je použita Gurneyho klapka. Ta těsně za sebou vytváří nižší tlak, který přitahuje proudění na dolní straně zpět k profilu. Gurneyho klapka sice vytváří určitý odpor, ale díky ní může křídlo mít vyšší úhel náběhu a vytvářet tak vyšší přitlak. [27]

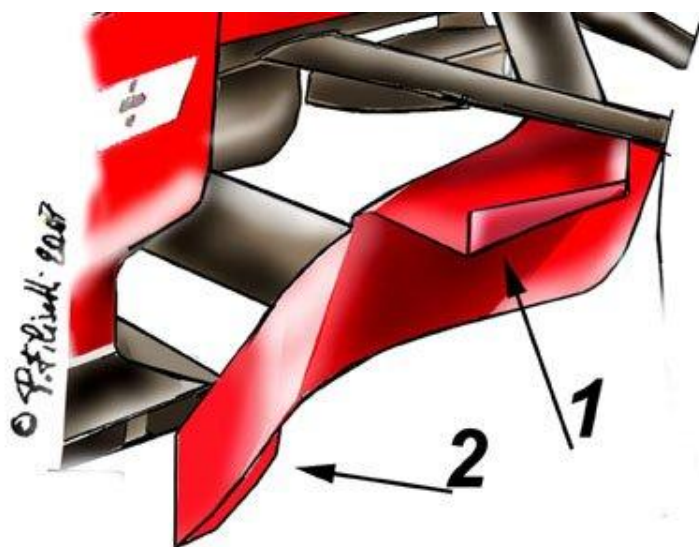


Obr. 31 Proudění s Gurneyho klapkou na přitlačném křídle [27]



### 3.5 BARGE BOARD

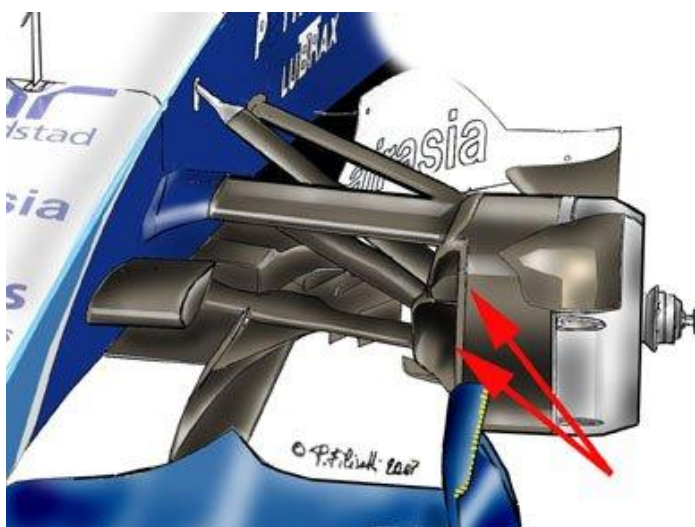
Tento aerodynamický prvek se poprvé objevil na monopostech v roce 1993. Běžně se nacházejí mezi předními koly a bočnicemi u podlahy, kde lépe zpracovávají relativně čistý vzduch a usměřují ho do chladičů v bočnicích. Tento čistý vzduch se nachází v dolní části předního křídla, protože proudění je předním křídlem relativně nenarušeno. Slouží také jako zábrany pro kamínky a nečistoty od rotujících předních kol, které by se mohly dostat do chladičů. [26]



Obr. 32 Barge board (1) na voze Ferrari F2007 [38]

### 3.6 CHLADÍCÍ ZAŘÍZENÍ BRZD

Chlazení brzd je nezbytné pro Formuli 1. Při brzdění z vysokých rychlostí se kotouče rozžhávají doruda. Pod touto zátěží mohou rychle degradovat a následně se zničit.



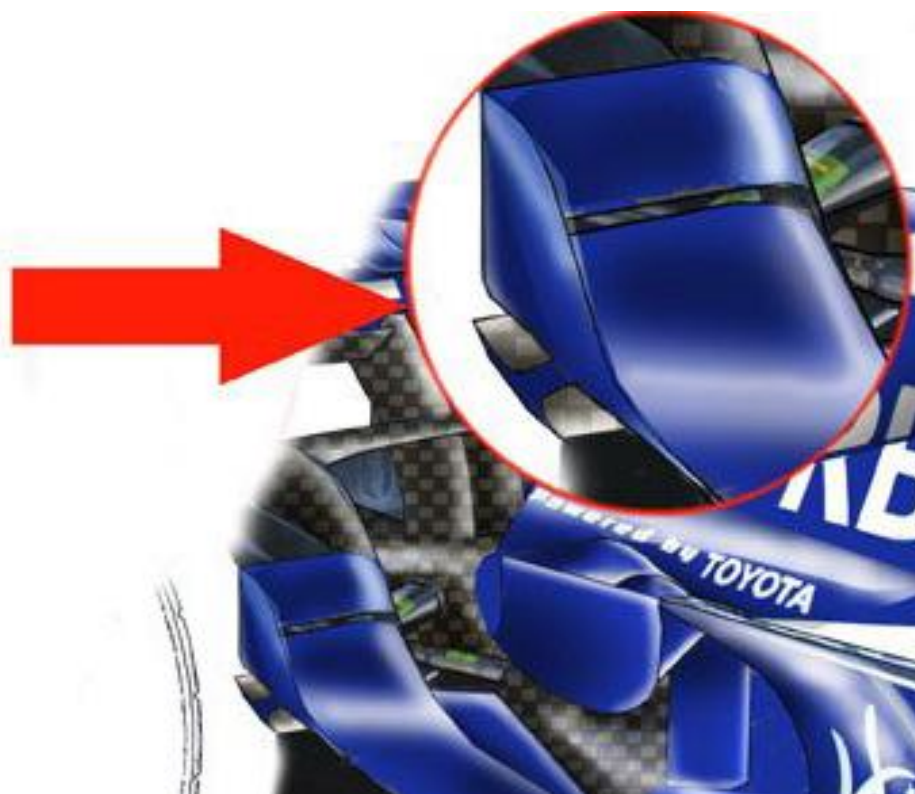
Obr. 33 Systém pro chlazení brzd (červené šipky) na voze Williams FW29 [39]



Proto vozy mají nainstalované na nápravách vstupy pro vzduch. Tvary těchto otvorů se mohou lišit pro různé závody podle toho, jak moc je trať náročná na brzdy. Samotné kotouče brzd jsou protkány kanálky, kterými proudí chladný vzduch, nasávaný otvory. Teplo z brzd se předá do vzduchu, a ten se přes disky kol vrací do okolí. Největší brzdny účinek mají brzdy při určité provozní teplotě. Proto musí jezdcí v zaváděcím kole brzdy dostatečně zahřát, aby po startu vůz dokázal rychle zbrzdit v prvních zatáčkách. Pokud se brzdy přehřívají, kotouče mohou prasknout. To se může stát z několika důvodů. Trať je velmi náročná na brzdy a kotouče se jednoduše opotřebují na maximum, otvor pro chlazení je špatně navržen a brzdám se nedostává dostatečné množství chladného vzduchu, nebo se stane, že při výměně kol v boxech se kolo špatně upevní, vznikne malá vůle a kotouč díky vibracím a opotřebením praskne. [26]

### 3.7 PŘÍDAVNÁ KŘIDELKA

Zadní kola, která vytváří vztlak a turbulentní vzduch ovlivňující aerodynamiku celého vozu, snižují přítlak přibližně o 10%. Aby se tomuto zabránilo, před zadními koly byla instalována křídélka, která posílala vzduch přes ně na zadní křídlo. Zároveň generovala malé množství přítlaku. Těchto křídélek a doplňků bylo na monopostu více. Prakticky jejich hlavní úkol byl lépe usměrňovat vzduch co nejefektivněji kolem celého auta. Pro sezónu 2009 byla většina těchto křídélek a komínů zakázána, a monoposty dostaly hladší tvary. [26]

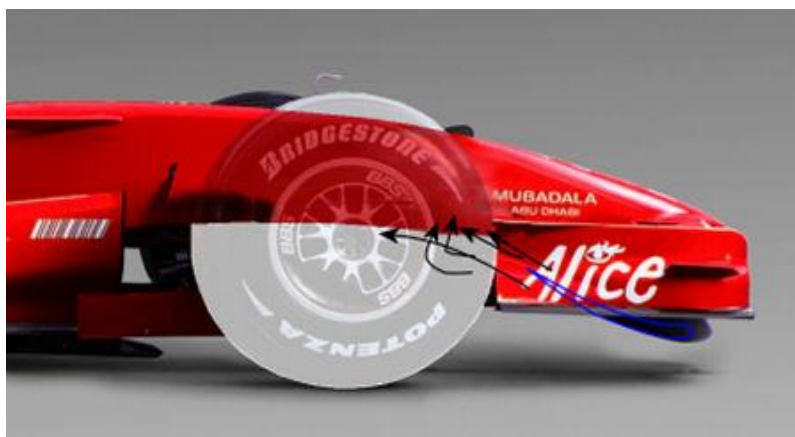


Obr. 34 Přídavné křídélko na zádi vozu Williams FW30 [40]



### 3.8 OTVOR V NOSE U VOZŮ FERRARI

V roce 2008 Ferrari představilo již známý aerodynamický prvek. Jedná se podobný systém v nosní části monopostu Lotus 80. Tímto otvorem se vedl vzduch ze spodu auta na kapotu za účelem vytvořit podtlak pod jeho přední částí. Ferrari použilo stejný nápad, ale jiný koncept. Faktem je, že nos překáží v proudění vzduchu z předního křídla směrem vzhůru. Díky tomuto otvoru byl vyřešen problém s turbulencemi a s oblastí vysokého tlaku vzduchu pod nosem auta. [29]



Obr. 35 Proudění vzduchu pod nosem vozu za předním křídlem [29]

V centrální části předního přitlačného křídla pod nosem proud vzduchu nejdříve dopadne na nos a jeho spodní část, kde se vytvoří odpor, a také sníží efektivitu celého křídla. Tento průduch v nose využívá vzduchu s vyšším tlakem, který se hromadí pod nosem a vyhání ho nahoru nad kapotu otvorem před předním zavěšením. To zlepšuje aerodynamický přitlak posíláním více vzduchu s lepším prouděním na zadní křídlo. Z horního pohledu jde vidět velký otvor rozdělený přepážkou na menší a větší. Je to proto, aby se vzduch z otvoru lépe a efektivněji začlenil do proudu nad autem. To sice vytváří nežádoucí odpor, nicméně díky výraznému zlepšení aerodynamiky pod nosem auta je tento odpor zanedbatelný. [29]



Obr. 36 Ilustrace nosního otvoru a proudění vzduchu [29]



*Obr. 37 Pohled shora na otvor [29]*

Tento prvek má několik záporů ohledně nastavení vozu. Otvor pod nosem musí být v přesné pozici v závislosti na úhlu náběhu předního křídla a úhlu klapek. Vzduch, opouštějící přední křídlo, musí směřovat přesně do otvoru a skrz něj nahoru. Pokud je úhel malý, proud vzduchu přeletí otvor, a naopak, pokud je úhel velký, tak do otvoru nedoletí a narazí na spodní část nosu před otvorem. V obou případech to má negativní vliv na aerodynamiku vozu. Odpor na horní straně nosu u otvoru je větší a tlak pod nosem obdobný, jako kdyby tam otvor nebyl. Proto se Ferrari rozhodlo používat tento systém jen na pomalejších tratích jako je Monako, protože i sebemenší zlepšení přtlaku hraje velkou roli. [29]



*Obr. 38 Nosní otvor na spodní straně křídla [29]*



## 4 AKTIVNÍ AERODYNAMICKÉ PRVKY

Během historie závodů Formule 1 se na vozech objevily aktivní aerodynamické prvky. To znamená, že se mohly pohybovat, buď pokynem pilota na volantu, nebo pomocí rádia z boxové zídky. Tyto pohyblivé aerodynamické prvky jsou podle regulí FIA zakázány. Jednalo se například o pohyblivé bočnice v 70. letech, které bránily vniku vzduchu pod auto, kde by narušil přísavný efekt generovaný profilem podlahy vozu, o velkém ventilátoru, jenž se vyskytl u Brabhamu BT46B, přezdívaného „Fan Car“, aktivní odpružení Williamsu, pohyblivá zadní i přední křídla, která se při vyšších rychlostech částečně prohýbají, nebo kontroverzní řešení McLarenu s prvkem F-duct v sezóně 2010. [7][8]

Ovšem některé tyto prvky byly zavedeny a povoleny pro rok 2009 a 2010. V těchto letech se používala nastavitelná přední křídla. Pro sezónu 2011 jsou tyto křídla opět zakázána a povolena tentokrát nastavitelná zadní křídla. U tohoto sportu se pravidla mění každým rokem, někdy i v průběhu sezóny, a netýkají se pouze aerodynamiky. [7][8]

### 4.1 POHYBLIVÉ BOČNICE A VENTILÁTORY

Pohyblivé bočnice byly poprvé představeny na Lotusu 78. Monopost vytvářel přísavný efekt tak, že jeho podlaha měla profil obráceného křídla. Vzduch proudící pod auto se zrychlil a snížil tlak, který tlačil auto k trati. Bočnice byly pohyblivé proto, aby jejich světlá výška byla co nejmenší, takřka nulová. Tím se zabránilo narušení podtlaku okolním vzduchem. Ty se pak v roce 1981 zakázaly kvůli snížení rychlosti průjezdu zatáček a zvýšení bezpečnosti závodů.

Ventilátor na voze Brabham BT46B nahrazoval funkci křídlové podlahy Lotusu 78. Konstrukce byla odůvodněna tím, že napomáhá k chlazení převodovky, což bylo v pravidlech povoleno, a neříkala nic o dalším použití. Výsledný efekt byl obdobný jako u Lotusu, ale ventilátor dokázal vytvořit ještě větší přítlak, než konkurenční křídlové vozy. Monopost byl připuštěn k závodu ve Švédsku, ale po závodě byl tento ventilátor zakázán, ovšem výsledky ze závodu se nezměnily. [7][8][14][16][18]



Obr. 39 Pohyblivé gumové bočnice (modře zbarvené) na voze Lotus 80 [41]



## 4.2 AKTIVNÍ ODPRUŽENÍ

I když aktivní odpružení se na první pohled jako aerodynamický prvek nejeví, tak jeho použití aerodynamiku částečně ovlivňovalo. Počítačový systém, nainstalovaný ve voze, kontroloval a upravoval světlou výšku monopostu v průběhu závodu tak, aby byla pořád stejná. Tím se docílilo lepší aerodynamické stability při brzdění, zrychlování, najíždění na obrubníky a podobně. V dnešních závodech někdy vidíme, jak si monopost při najetí na obrubník škrtne difuzorem o trať. Tak se dočasně ztratí velké množství přítlaku na zadní nápravě a monopost může skončit v hodinách mimo trať. [7][8]



Obr. 40 Williams FW15C s aktivním odpružením [42]

## 4.3 NASTAVITELNÁ PŘEDNÍ KŘÍDLA

V roce 2009 a 2010 jsme mohli vidět použití nastavitelných předních přítláčných křídel. Důvod jejich povolení spočíval ve zlepšení předjíždění na trati. Hlavní myšlenka tohoto systému byla umožnit pilotovi, jedoucímu za jiným monopostem, nastavit přední křídlo tak, aby generovalo větší přítlak. Touto změnou v nastavené se měl pilot snadněji přiblížit pronásledovanému vozu a pokusit se o předjetí. [7][45]

Ve Formuli 1 je předjíždění velmi složité. Auta za sebou vytvářejí turbulence a jezdci tvrdí, že časová mezera mezi dvěma monoposty, menší jak 5 vteřin, výrazně ovlivňuje aerodynamiku zadního vozu. Nastavením předního křídla se měl získat ztracený přítlak, nicméně tento systém výrazně k předjíždění nepomohl a jezdci ho moc často k tomuto úkonu nepoužívali. Spíše se přední křídlo nastavovalo kvůli vyvážení celého vozu při sjíždění pneumatik a úbytku paliva v průběhu závodu. Proto se FIA rozhodla toto řešení nepovolit do sezóny 2011 a zkusit přijít s jiným řešením, jak zjednodušit předjíždění. [7][45]



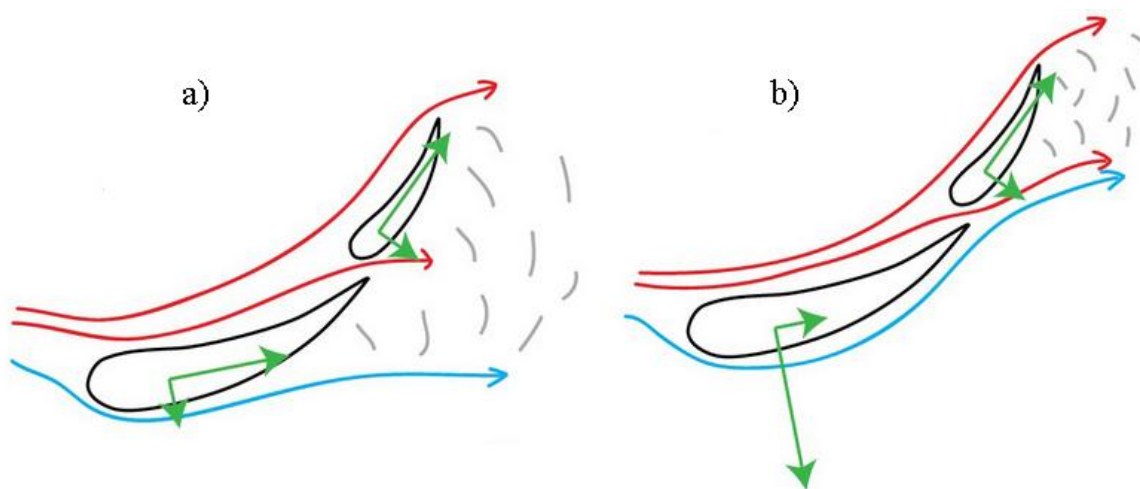
## 4.4 F-DUCT

System F-duct byl představen na monopostu McLaren MP4-25 pro sezónu 2010. Vedly se o něj ze začátku sezóny spory, jestli není v rozporu s pravidly, která nedovolují pohyblivé aerodynamické prvky. Ovšem FIA tyto protesty zamítla a systém F-duct byl uznán za legální. Zařadil jsem ho do této kategorie z toho důvodu, že pilot během jízdy může aktivně upravovat aerodynamiku vozu. [31]

Do češtiny bychom tento název mohli přeložit jako F-potrubí. Oficiální označení je RW80. RW, jako Rear Wing (zadní křídlo) a 80, jako počet částí. F-duct je pouze mediální označení vzniklé buď díky tvaru tohoto potrubí a tvaru vstupu vzduchu, nebo faktem, že se otvor nacházel na kapotě v místě písmena F z loga sponzora Vodafone. [31]

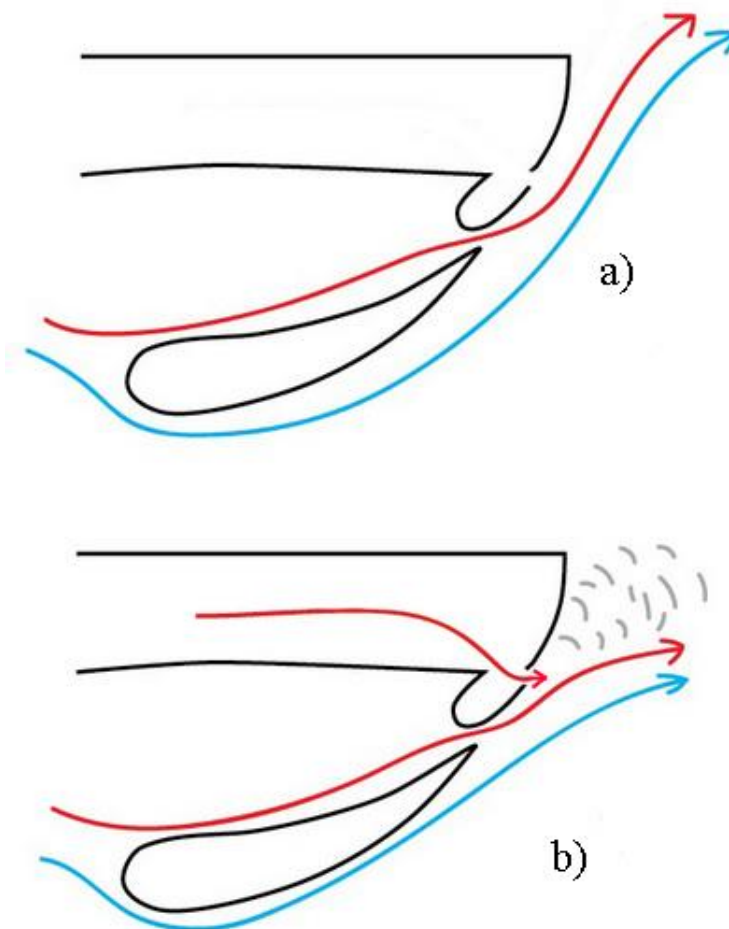
Když F-duct spatřil světlo světa během předsezónního testování, byl považován za geniální. Byl to klasický příklad využití pravidel ve svůj prospěch. Hlavní myšlenka byla založena na pilotovi. V kokpitu se nacházel otvor, který pilot ucpal svou rukou nebo nohou, a tím usměrnil proud vzduchu v tomto potrubí na zadní křídlo bez žádného porušení pravidel FIA. Touto operací zvýšil maximální rychlost svého monopostu. [31]

Tato změna v proudění vyvolává wing stall na klapce zadního křídla. Víme, že pokud vyvoláme wing stall na křídle, jeho přítlak prudce klesne a odpor se zvýší. Existují ale situace na zadních křídlech Formule 1, kdy toto neplatí a ztráta přítlaku je spjata i se snížením odporu. Ovšem tento wing stall zadního křídla musí být správně proveden. [31][43]



Obr. 41 Wing stall zadního křídla provedený a) špatně b) správně [43]

Z obrázku je patrné, že při variantě a) se proudění odtrhává už na hlavní části křídla a následně na klapce, tudíž na celém křídle znatelně poklesne přítlak a vzroste odpor (zelené silové vektory). Ve variantě b) se dostává do wing stallu pouze klapka. Hlavní část je obtékána klasicky a k odtrženému proudění nastává pouze u klapky. Její odpor sice stoupne a přítlak klesne, poklesne i celkový přítlak, ale výsledný odpor celého zadního křídla se zmenší. Je to dáno tím, že klapka je ovlivněna prouděním od hlavní části, takže i když jeho odpor ve směru proudění je vysoký, ve směru pohybu zas tak vysoký není. Na této myšlence je systém F-duct postaven. [31][43]



Obr. 42 F-duct a) neaktivní b) aktivní [43]

Na voze MP4-25 si můžeme všimnout jasné žraločí ploutve, jenž spojuje zadní křídlo s krytem motoru. V ní je právě toto potrubí, které ústí otvorem v klapce zadního křídla. V průběhu sezóny si všechny týmy adaptovaly tento systém na svůj vůz, ale nedosáhli s ním takové efektivity, protože u McLarenu byl F-duct zabudován přímo do celé konstrukce vozu. Na ostatních vozech se objevila pouze různá konstrukční řešení. [31][43]

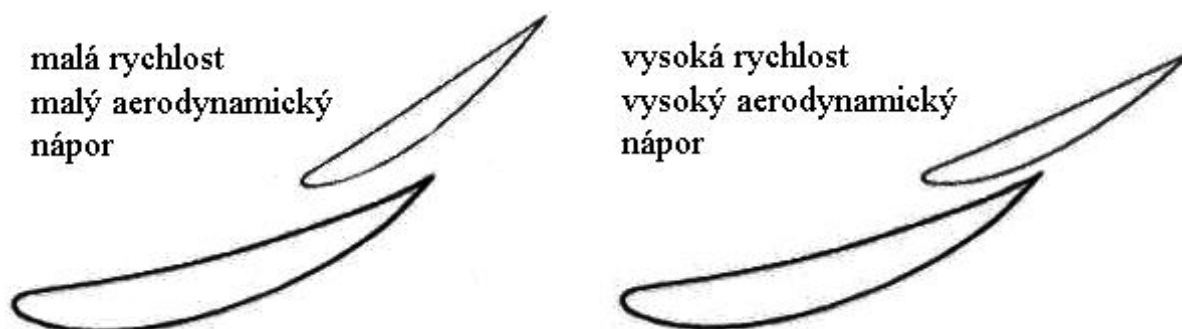


Obr. 43 Zjednodušené potrubí systému F-duct u McLacenu MP4-25 [31]



## 4.5 FLEXIBILNÍ KŘÍDLA

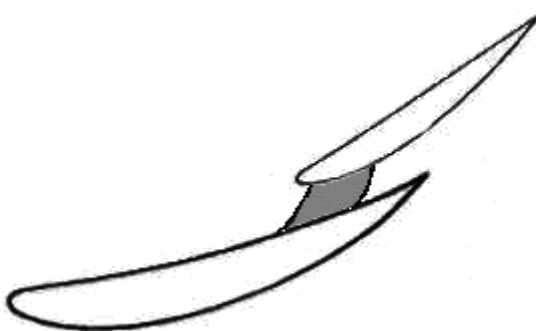
Princip flexibilních křídel využívá konceptu aeroelasticity. Aerodynamické prvky se pod velkým aerodynamickým zatížením mohou prohýbat, a tím měnit svoje aerodynamické vlastnosti. Tento koncept flexibilních křídel není nový. Ve skutečnosti se používala v 70. letech. [30]



Obr. 44 Průhyb klapky pod malým a velkým aerodynamickým nápořem [30]

Flexibilní křídla Formule 1 mají dostatečnou tuhost, aby udržela tlak, vznikající při průjezdu zatáčky maximální rychlostí nebo při kontrolních testech FIA, a neprohnula se. Ale při větších silách působících ve vyšších rychlostech se prohnu. Zadní křídla obsahují dva elementy. Hlavní část a klapku, mezi kterými je mezera. Během vysokých rychlostí se klapka dokáže prohnout a ucpat mezeru, čímž nastane wing stall. Díky tomuto jevu může monopost dosáhnout až o 10 km/h větší maximální rychlosti na dlouhých rovinkách. [30]

Ferrari v roce 2006 v Bahrainu prošla všemi testy FIA zadního křídla, ale ostatní týmy tvrdily, že jejich křídlo je velice elastické ve vysokých rychlostech. V druhém závodě v Malajsii bylo patrné, že se křídlo prohýbalo. Ostatní týmy vyhrožovaly protestem, neboť podle pravidel všechny prvky ovlivňující aerodynamiku musí být k autu připevněny tak, aby neměly žádný stupeň volnosti. FIA prověřila vozy Ferrari spolu s McLareny a BMW-Saubery. Všechny vozy byly uznány jako legální, ale FIA nařídila, aby všechny tyto týmy své vozy upravily na další závod v Austrálii. I když byly tyto části aut modifikovány, spor u konce nebyl. Během Velké ceny Kanady FIA zavedla podpěry mezi hlavní částí a klapkou zadního křídla, které byly instalovány uprostřed a zabraňovaly prohnutí klapky. [30]



Obr. 45 Podpěra zavedená FIA na zadní křídla [30]



V roce 2010 se vedly spory o předních křídlech vozů Red Bull Racing a Ferrari. Ze záběrů kamer nad kokpitem je jasně vidět, že se křídlo při zpomalení narovná a při vyšších rychlostech prohýbá směrem k trati. Pokud se křídlo prohne, zvýší se jeho přítlak. Poté, když pilot začne brzdit, křídlo se zvedne a přítlak se sníží na původní hodnotu. V pomalých zatáčkách to může vyvolat nežádoucí nevyváženost vozu, ale je velmi efektivní při průjezdech rychlých a středně rychlých zatáček. Například při Velké ceně Maďarska byly vozy Red Bull rychlejší téměř o jednu sekundu na kolo, než zbytek pole. FIA po protestech ostatních týmů zvýšila hmotnost testovacího zatížení z 50 kg na 100 kg. Ovšem ani to nezastavilo stáj Red Bull Racing dojet si, jak pro pohár konstruktérů, tak i pro titul světového šampióna mezi jezdci, kterým se stal Sebastien Vettel. [30]



Obr. 46 Detail průhybu předního křídla monopostu RB6 [30]

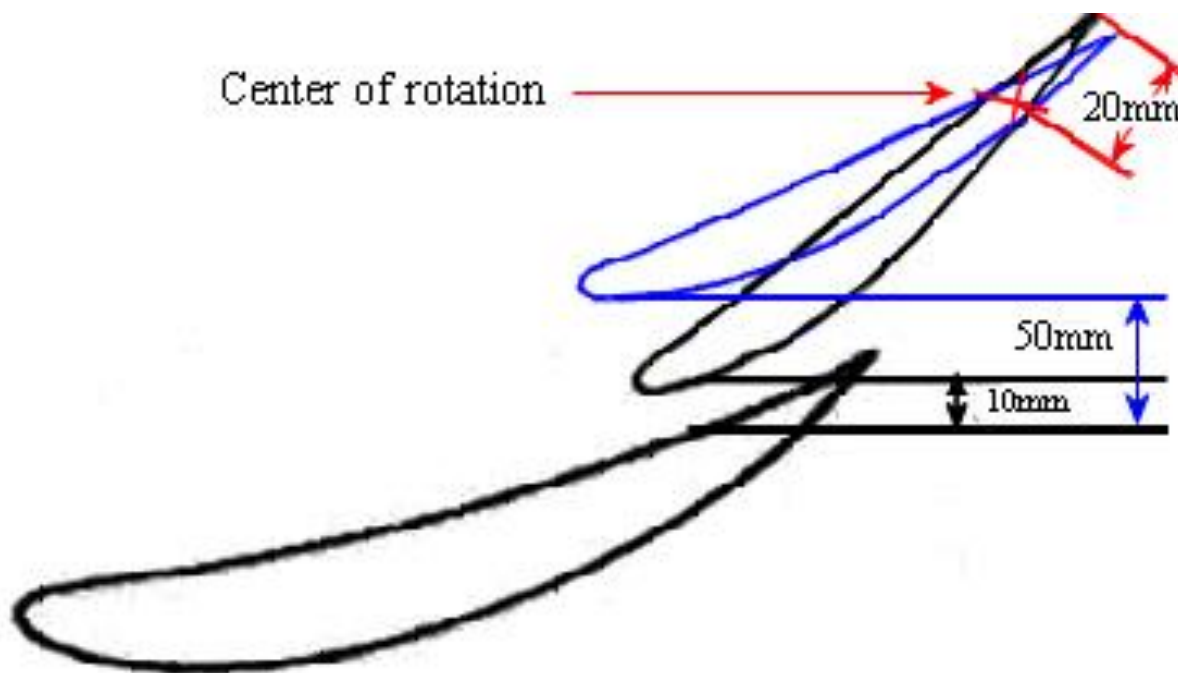
#### 4.6 POHYBLIVÉ ZADNÍ KŘÍDLO

Pohyblivé zadní křídlo bylo povoleno v pravidlech pro letošní sezonu 2011. Inspirací pro tento prvek byl systém F-duct z minulého roku a idea také zůstala stejná. Umožnit monopostu vyšší maximální rychlost tím, že se zmenší odpor zadního křídla. FIA proti zákazu systému F-duct argumentovala tím, že pohyb ruky nebo nohy pro ucpání otvoru příliš zaměstnával jezdce, a jeho použití nebylo nijak omezeno, tudíž jej jezdec používal i při průjezdech některých zatáček a řídil pouze jednou rukou. Přesto všechno byla hlavní prioritou snaha zlepšit předjíždění. Společně se zadními pohyblivými křídly se v sezóně 2011 dočkáme i systému pro rekuperaci kinetické energie KERS. Oba tyto systémy v aktivní pozici dodají monopostu výhodu přibližně o 120 koní navíc. Před začátkem sezóny se navrhovala různá řešení pro použití zadního křídla. Jestli jezdci mohou křídlo používat neomezeně, nebo jen někdy. Dnešní pravidla říkají, že aktivace zadního křídla a KERS systému je v kvalifikacích libovolná, nikoli však v závodě. Jezdci mohou KERS použít kdykoliv, ale mají ho jen omezené množství na kolo. Zadní křídlo se nesmí použít v prvních dvou kolech po startu závodu. Poté mohou zadní křídlo použít pouze piloti, kteří mají odstup 1 vteřinu a méně na monopost před nimi a v určitém místě na okruhu. Většinou to bude na nejdelsí rovince okruhu a před každým závodem se tato oblast přesně určí. Pilot se nesmí použitím zadního křídla



bránit, takže na konci rovinky budeme vidat velký rozdíl v rychlostech obou monopostů. Není to díky tomu, že by jezdcí neuměli předjíždět, ale díky skutečnosti, že za autem vznikají víry a turbulence, které zpomalují vůz v závěsu. [45][46]

Jak už víme, zadní křídlo obsahuje dva elementy, hlavní část a klapku. U pohyblivého křídla bude klapka měnit svoji pozici a úhel náběhu, a tím se dosáhne menšího odporu, podobně jako u systému F-duct. Klapka bude na řidičův pokyn rotovat kolem bodu, který se nachází 20 mm od koncového bodu klapky. Její pohyb je také omezený. Klapka v základní poloze bude spolu s hlavní částí vytvářet mezeru o velikosti 10 mm, jak tomu bylo doposud, a v aktivní poloze se tato mezera zvětší na 50 mm. [46]



Obr. 47 Schéma pohybu klapky zadního křídla, černá – základní pozice, modrá – aktivní pozice [46]

V základní pozici se funkce křídla, velikost přítlačku a odporu nemění. Křídlo generuje maximální přítlak a také velký odpor. V aktivované pozici křídlo částečně přítlak ztratí, což nám na rovině nevadí, a sníží se odpor. Monopost tak dosáhne větší maximální rychlosti. Pochopení tohoto systému a také systému F-duct je poněkud složitější, ale toto řešení zadního křídla a pohyblivé klapky má obdobnou filosofii jako F-duct, ale je účinnější. [45][46]

Na následujícím obrázku je zachycena funkce zadního křídla při testech na voze Lotus Renault GP R31.



*Obr. 48 Zadní křídlo v základní pozici - nahoře, klapka v aktivované pozici – dole [46]*



## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vypracovat rešerši na téma aerodynamické prvky vozidel Formule 1. Práce je rozdělena do několika kapitol a podkapitol.

První kapitola je zaměřena na základní principy aerodynamiky a vytváření přítlaku. Aerodynamika se začala rozvíjet ve Formuli 1 v 60. letech 19. století. V pozdější době se stala hlavní prioritou u monopostů Formule 1. V současnosti se bez aerodynamiky ve Formuli 1 neobejde žádný tým, a výkonnostní rozdíly mezi jednotlivými týmy je z velké části zásluha aerodynamiky.

Druhá kapitola je zaměřena na vývoj aerodynamiky skrz celou historii královny motorsportu. Zejména jsou vyzdvíženy revoluční vozy, na kterých byly představeny důležité aerodynamické prvky. Mezi přelomové vozy patří bezesporu Lotus 78, Tyrrel P34 nebo Brabham BT46B. O největší inovace se postaral uznávaný konstruktér Colin Chapman se svým týmem Lotus. Jeho nápady a revoluční řešení udávaly tempo celého vývoje vozů F1. V této kapitole je také shrnuta doba 21. století, kdy už vozy Formule 1 nebyly revoluční, ale spíše inovativní. Pokud nenastaly drastické změny v pravidlech, tak se vozy o moc nelišily od svých předchůdců. Pro rok 2009 byla představená nová pravidla a monoposty se musely vyvíjet od začátku.

V třetí kapitole se zabýváme rozdělením aerodynamických prvků a jejich konstrukčním popisem. Také jejich funkcí vytváření přítlaku. Jsou zde zahrnuty jak současné prvky, tak i prvky vyskytující se v minulosti, jako například otvor v nose u vozů Ferrari, přední a zadní přítláčné křídlo a difuzory. Kapitola také obsahuje spor vedený o dvojpatrové difuzory v roce 2009.

V poslední kapitole jsou rozebrány aktivní aerodynamické prvky. Je zde zmíněn také systém F-duct, který podle pravidel jako typický aktivní aerodynamický prvek není, ale přesto jsem ho zahrnul do této kapitoly. Je zde popsána funkce předního nastavitelného křídla, zadního pohyblivého křídla a také flexibilní prvky, které se pod velkým aerodynamickým nápoem prohýbají. Tyto prvky jsou v rozporu s pravidly a v minulosti i v současnosti se o jejich použití vedou spory. Většina těchto aktivních prvků je zakázána, ale může nastat situace, že některé z nich mohou být v budoucnu opět povoleny, jako tomu bylo s předními a zadními nastavitelnými křídly.

Formule 1 je nekompromisní sport, ve kterém se ti nejlepší světoví inženýři perou o zlomky vteřin, které vyhrávají nebo prohrávají závod. Recept na perfektní nastavení monopostů pro každý závod neexistuje, a proto musí týmy najít kompromis mezi přítlakem a odporem. Ovšem dvacet různých nastavení zadního křídla a sto nastavení předního křídla tuto skutečnost vůbec neusnadňuje. Kromě toho nyní téměř každou sezónu vedení závodů pozmění pravidla, tudíž nové monoposty jsou velmi odlišné oproti svým předchůdcům, což má za následek neustálé testování a hledání ideálního nastavení. Dnes je testování v průběhu sezóny zakázáno, takže jen týmy velkými rozpočty, vlastním aerodynamickým tunelem a supervýkonnými počítači na simulaci proudění tekutin CFD mohou soupeřit o nejvyšší bodované příčky a poháry konstruktérů v motorsportu, který na této planetě nemá obdoby.



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] KATZ, J. Race car aerodynamics: designing for speed. Bentley Publishers 2006, [cit. 2011-05-21], ISBN 0-8376-0142-8
- [2] EAA Aviation Center. Learn to Fly - EAA Sport Pilot and Light-Sport Aircraft Information [online]. c2011 [cit. 2011-03-12]. Understanding stalls. Dostupné z WWW: <[http://www.sportpilot.org/learntofly/articles/080219\\_stalls.html](http://www.sportpilot.org/learntofly/articles/080219_stalls.html)>.
- [3] Techmania. Techmania.cz [online]. c2008 [cit. 2011-03-12]. Proudění tekutin. Dostupné z WWW: <[http://www.techmania.cz/edutorium/art\\_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4d656368616e696b61h&key=281](http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4d656368616e696b61h&key=281)>.
- [4] Technical F1 Dictionary [online]. 2008 [cit. 2011-03-12]. Bernoulli's equation. Dostupné z WWW: <[http://f1-dictionary.110mb.com/wing\\_rear\\_movable.html](http://f1-dictionary.110mb.com/wing_rear_movable.html)>.
- [5] Technical F1 Dictionary [online]. 2008 [cit. 2011-03-12]. Angle of attack. Dostupné z WWW: <[http://f1-dictionary.110mb.com/angle\\_of\\_attack.html](http://f1-dictionary.110mb.com/angle_of_attack.html)>.
- [6] Wapedia [online]. 2011-03-10 [cit. 2011-03-12]. Airfoil. Dostupné z WWW: <<http://wapedia.mobi/en/Airfoil>>.
- [7] Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia [online]. 2011, last modified on 28 February 2011 [cit. 2011-03-13]. History of Formula One. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_Formula\\_One](http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_Formula_One)>
- [8] F1Network.net [online]. 2003, 1 [cit. 2011-03-13]. Williams F1 - History of Aerodynamics. Dostupné z WWW: <<http://www.f1network.net/main/s107/st22394.htm>>.
- [9] Technical F1 Dictionary [online]. 2008 [cit. 2011-03-13]. Wings. Dostupné z WWW: <<http://f1-dictionary.110mb.com/wings.html>>.
- [10] The Original Lotus Elan [online]. March 7, 2010. 2010 [cit. 2011-03-13]. Lotus Racing Heritage. Dostupné z WWW: <<http://lotuselan.wordpress.com/lotus-racing-heritage/>>.
- [11] Tuning.cz [online]. 2011 [cit. 2011-03-13]. Tyrrell P34. Dostupné z WWW: <<http://www.tuning.cz/a406:tyrrell-p34/>>.
- [12] Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia [online]. 2011, last modified on 28 February 2011 [cit. 2011-03-13]. Tyrrell P34. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Tyrrell\\_P34](http://en.wikipedia.org/wiki/Tyrrell_P34)>
- [13] Yahoo. Welcome to Flickr - Photo Sharing [online]. c2011 [cit. 2011-03-13]. F1 weirds or inventions - a gallery on Flickr. Dostupné z WWW: <[http://www.flickr.com/photos/mr\\_quan\\_nguyen/galleries/72157622324134055/](http://www.flickr.com/photos/mr_quan_nguyen/galleries/72157622324134055/)>.
- [14] Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia [online]. 2011, last modified on 28 February 2011 [cit. 2011-03-13]. Lotus 78. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Lotus\\_78](http://en.wikipedia.org/wiki/Lotus_78)>.



- [15] Yahoo. Welcome to Flickr - Photo Sharing [online]. c2011 [cit. 2011-03-13]. Historical F1 (2008) - a set on Flickr. Dostupné z WWW: <<http://www.flickr.com/photos/lordmarkus/sets/72157614875242776/with/3352103674/>>.
- [16] Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia [online]. 2011, last modified on 28 February 2011 [cit. 2011-03-13]. Lotus 79. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Lotus\\_79](http://en.wikipedia.org/wiki/Lotus_79)>.
- [17] Retrorace. Retrorace : Historias del Automovilismo Internacional [online]. c2010 [cit. 2011-03-13]. La Maquina de Mario. Dostupné z WWW: <<http://retrorace.blogspot.com/2010/06/la-maquina-de-mario.html>>.
- [18] Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia [online]. 2011, last modified on 28 February 2011 [cit. 2011-03-13]. Brabham BT46B. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Brabham\\_BT46B#Brabham\\_BT46B\\_.E2.80.93\\_the\\_.22Fan\\_car.22](http://en.wikipedia.org/wiki/Brabham_BT46B#Brabham_BT46B_.E2.80.93_the_.22Fan_car.22)>.
- [19] Www.jpslotus.org - For all things JPS Lotus, and some things that aren [online]. c2001-2011 [cit. 2011-03-13]. Brabham BT46B "Fan Car". Dostupné z WWW: <<http://www.jpslotus.org/bt46/bt-7.jpg>>.
- [20] Yahoo. Welcome to Flickr - Photo Sharing [online]. c2011 [cit. 2011-03-13]. 1978 Brabham Alfa Romeo BT46B F1. Dostupné z WWW: <<http://www.flickr.com/photos/antsphoto/4993359052/>>
- [21] Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia [online]. 2011, last modified on 28 February 2011 [cit. 2011-03-13]. Tyrrell 019. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Tyrrell\\_019](http://en.wikipedia.org/wiki/Tyrrell_019)>.
- [22] Yahoo. Welcome to Flickr - Photo Sharing [online]. c2011 [cit. 2011-03-13]. GP Canada 1990 - Tyrrell 019 - 4 Jean Alesi (FR) - front . Dostupné z WWW: <[http://www.flickr.com/photos/mr\\_quan\\_nguyen/8504](http://www.flickr.com/photos/mr_quan_nguyen/8504)>
- [23] Vodafone McLaren Mercedes. Vodafone McLaren Mercedes [online]. c2010 [cit. 2011-03-13]. WORLD TITLE-WINNING CARS ON DISPLAY THIS WEEKEND. Dostupné z WWW: <<http://mclaren.com/article/2011/world-title-winning-cars-on-display-this-weekend>>.
- [24] Globo.com. Globoesporte.com - absolutamente tudo sobre esporte [online]. c2010 [cit. 2011-03-13]. Kimi põe nova Ferrari na pista em Fiorano. Dostupné z WWW: <<http://globoesporte.globo.com/ESP/Noticia/Motor/0,,MUL249352-1311,00.html>>.
- [25] F1 Wolf - Formula 1 Blog [online]. January 24, 2009 [cit. 2011-03-13]. 2009 Formula 1 cars – Do they look like we expected them to look ?. Dostupné z WWW: <<http://www.f1wolf.com/2009/01/2009-formula-1-cars-do-they-look-like-we-expected-them-to-look.html>>.
- [26] F1 Country - Technology behind Formula 1 [online]. c2002 [cit. 2011-03-13]. 2009 Formula 1 cars – Do they look like we expected them to look ?. Dostupné z WWW: <<http://www.f1-country.com/f1-engineer/aerodynamics/f1-aerodynamics.html>>.



- [27] Technical F1 Dictionary [online]. 2008 [cit. 2011-03-13]. Gurney flap. Dostupné z WWW : <[http://f1-dictionary.110mb.com/gurney\\_flap.html](http://f1-dictionary.110mb.com/gurney_flap.html)>.
- [28] Technical F1 Dictionary [online]. 2008 [cit. 2011-03-13]. Diffuser. Dostupné z WWW:<<http://f1-dictionary.110mb.com/diffuser.html>>.
- [29] Technical F1 Dictionary [online]. 2008 [cit. 2011-03-13]. Ferrari Nose Hole. Dostupné z WWW : <[http://f1-dictionary.110mb.com/ferrari\\_nose\\_hole.htm](http://f1-dictionary.110mb.com/ferrari_nose_hole.htm)>
- [30] Technical F1 Dictionary [online]. 2008 [cit. 2011-03-13]. Flexi wings in F1. Dostupné z WWW: <[http://f1-dictionary.110mb.com/flexi\\_wings.html](http://f1-dictionary.110mb.com/flexi_wings.html)>.
- [31] Technical F1 Dictionary [online]. 2008 [cit. 2011-03-13]. F-duct. Dostupné z WWW: <[http://f1-dictionary.110mb.com/f\\_duct.html](http://f1-dictionary.110mb.com/f_duct.html)>.
- [32] PaddockTalk.com. PaddockTalk :: F1, Formula 1, NASCAR, IndyCar, MotoGP, ALMS, And More! [online]. c2003-2010 [cit. 2011-03-13]. Technical Feature: In Depth of Preparing a Formula One Car for Monza. Dostupné z WWW: <<http://paddocktalk.com/news/html/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=65408>>.
- [33] Eurotuner. European Tuner Cars, Import Tuner and European Sport Cars - eurotuner Magazine [online]. c2011 [cit. 2011-03-13]. Toyota F1 Parts Rear Wing View. Dostupné z WWW: <[http://www.eurotuner.com/news/eurp\\_0906\\_toyota\\_f1\\_parts/photo\\_01.html](http://www.eurotuner.com/news/eurp_0906_toyota_f1_parts/photo_01.html)>.
- [34] Formula1.net. Formula1.net - F1 News [online]. c2007-2008 [cit. 2011-03-13]. Diffusers explained as D-Day looms. Dostupné z WWW: <<http://www.formula1.net/2009/f1/features/diffusers-explained-as-d-day-looms/>>.
- [35] Flagworld Communications Inc. Flagworld.com : World-class motorsports coverage, news, photos, videos and results. [online]. c1996-2010 [cit. 2011-03-13]. Diffusers legal says FIA appeal court. Dostupné z WWW: <<http://www.flagworld.com/news/?p=15848>>.
- [36] Technical F1 Dictionary [online]. 2008 [cit. 2011-03-13]. Exhaust Driven Diffuser. Dostupné z WWW: <[http://f1-dictionary.110mb.com/diffuser\\_blown.html](http://f1-dictionary.110mb.com/diffuser_blown.html)>.
- [37] F1Network.net [online]. 2003, 1 [cit. 2011-03-13]. Williams F1 - Smooth Aero-Surfaces. Dostupné z WWW : <<http://www.f1network.net/boards/read/s107.htm?110,11640254>>.
- [38] Formula One World Championship Ltd. Formula 1™ - The Official F1™ Website [online]. c2011 [cit. 2011-03-13]. Ferrari F2007 - front barge board development. Dostupné z WWW <[http://www.formula1.com/teams\\_and\\_drivers/teams/3/technical/2007/459.html](http://www.formula1.com/teams_and_drivers/teams/3/technical/2007/459.html)>.
- [39] Formula One World Championship Ltd. Formula 1™ - The Official F1™ Website [online]. c2011 [cit. 2011-03-13]. Williams FW29 - front brake cooling inlets. Dostupné z WWW: <<http://www.formula1.com/news/technical/2007/772/409.html>>.



- [40] Formula One World Championship Ltd. Formula 1™ - The Official F1™ Website [online]. c2011 [cit. 2011-03-14]. Williams FW30 - additional rear flip-ups. Dostupné z WWW: <<http://www.formula1.com/news/technical/2008/796/561.html>>.
- [41] Art Gallery & Community - T-Shirts, Posters, Greeting Cards, Wall Art, Fine Art Prints, Calendars & More - RedBubble.com [online]. c2011 [cit. 2011-03-14]. 1979 Lotus 80. Dostupné z WWW: <<http://www.redbubble.com/people/williejackson/art/5694608-1-1979-lotus-80>>.
- [42] Formula One uncovered! - F1technical.net [online]. c1999-2011 [cit. 2011-03-14]. Williams FW15C - F1technical.netnical. Dostupné z WWW: <<http://www.f1technical.net/f1db/cars/745>>.
- [43] X-o underground [online]. c2005-2011 Jyxo s.r.o. [cit. 2011-03-14]. McLaren MP4-25: zadní křídlo a příslušenství | x-o underground. Dostupné z WWW: <<http://x-o.blog.cz/1003/mclaren-mp4-25-zadni-kridlo-a-prislusenstvi>>.
- [44] The AUTOSPORT Bulletin Board (Powered by Invision Power Board) [online]. c2011 [cit. 2011-03-14]. McLaren MP4/25 - The AUTOSPORT Bulletin Board. Dostupné z WWW: <<http://forums.autosport.com/index.php?showtopic=124341>>.
- [45] Racecar Engineering | Race car technology explained | The world's leading motorsport technology website | F1 Technical, NASCAR, Rally, Daytona, Le Mans & Race Car technical [online]. c2006-2011 [cit. 2011-03-14]. F1: Adjustable rear wings how they work. Dostupné z WWW: <<http://www.racecar-engineering.com/articles/f1/f1-adjustable-rear-wings-how-they-work/>>.
- [46] Technical F1 Dictionary [online]. 2008 [cit. 2011-03-23]. Adjustable rear wing. Dostupné z WWW: <[http://f1-dictionary.110mb.com/wing\\_rear\\_movable.html](http://f1-dictionary.110mb.com/wing_rear_movable.html)>.



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

p	[Pa]	tlak
S	[m <sup>2</sup> ]	obsah plochy
v	[m·s <sup>-1</sup> ]	rychlost
ρ	[kg·m <sup>-3</sup> ]	hustota

