

Literatuurstudie

Academiejaar 2020 – 2021

Mathis Bossuyt

Welke rol speelt aerodynamica in Formule 1

Inleiding

In Formule 1 wordt er vaak gesproken over aerodynamica en downforce van de wagens, maar wat wordt daarmee bedoeld? In de eerste paragraaf zullen we deze termen verklaren en daarnaast ook enkele basisprincipes uit de aerodynamica gaan bekijken. in de tweede paragraaf gaan we dieper in op de sport en kijken we waar de uitdagingen voor de verschillende teams liggen. in de laatste paragraaf gaan we bekijken hoe downforce gecreëerd wordt bij de achtereuleug van een F1-wagen.

1 Enkele basisprincipes

In dit gedeelte zullen we enkele termen verklaren en daarnaast enkele basisprincipes uit de aerodynamica en natuurkunde bekijken, zoals de wet Bernoulli en de derde wet van Newton.

1.1 Aerodynamica en downforce

- Aerodynamica: Is een wetenschapstak die gaat kijken hoe gassen zich gedragen in de ruimte en meer bepaald in het bijzijn van een voorwerp. [1]
- Downforce: De vertaling van downforce is neerwaartse kracht, deze kracht zal de wagen naar beneden duwen waardoor een wagen meer grip zal hebben op het wegdek. Wanneer een wagen grotere downforce ondervindt zal deze wagen als bijgevolg ook sneller een bocht kunnen nemen. [1]

1.2 Wet van Bernoulli

De wet van Bernoulli is 1 van de belangrijkste basisprincipes wanneer je spreekt over de beweging van gassen en vloeistoffen. Wanneer een vloeistof of gas bijvoorbeeld door een leiding gaat en er plots een vernauwing is zal het gas of vloeistof een lagere druk ondervinden. Zoals je in de formule 1, hieronder kan zien is de druk omgekeerd evenredig met de snelheid. daardoor zal het gas bij een vernauwing een lagere druk maar een hogere snelheid aannemen. In deze formule 1 is ρ de massadichtheid, g de valversnelling, h de hoogte en p de druk van het gas.

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

1.3 Derde wet van Newton

De derde wet van Newton 2 speelt een belangrijke rol in de mechanica maar ook in de aerodynamica. een kracht op een deeltje gaat gepaard met een even grote maar tegengestelde kracht. [1]

$$\vec{F}_{actie} = -\vec{F}_{reactie} \quad (2)$$

2 Aerodynamica in Formule 1

In de vorige paragraaf werden enkele begrippen en basisprincipes uitgelicht, die van belang zijn om de aerodynamica van een F1-wagen te begrijpen. Aerodynamica speelt een enorme rol, het reduceert de tijd

om 1 ronde te rijden met 20 % , dit is dan ook de uitleg waarom er zo veel wordt geïnvesteerd in het gestroomlijnder maken van de wagens. [2] [3]

2.1 Downforce en drag

Het doel van de teams is om zo veel mogelijk downforce te creëren, zodat de wagen aan het wegdek blijft kleven. Het probleem met de downforce eindeloos te vergroten is dat je op een bepaald moment veel luchtweerstand krijgt, waardoor de auto vertraagt en dat is juist wat je wilde vermijden door een grotere downforce te creëren. De Ingenieurs en ontwerpers moeten dus op zoek naar een zo perfect mogelijke verhouding tussen luchtweerstand en de gecreëerde downforce.

3 Downforce creatie door de achternvleugel van de wagen

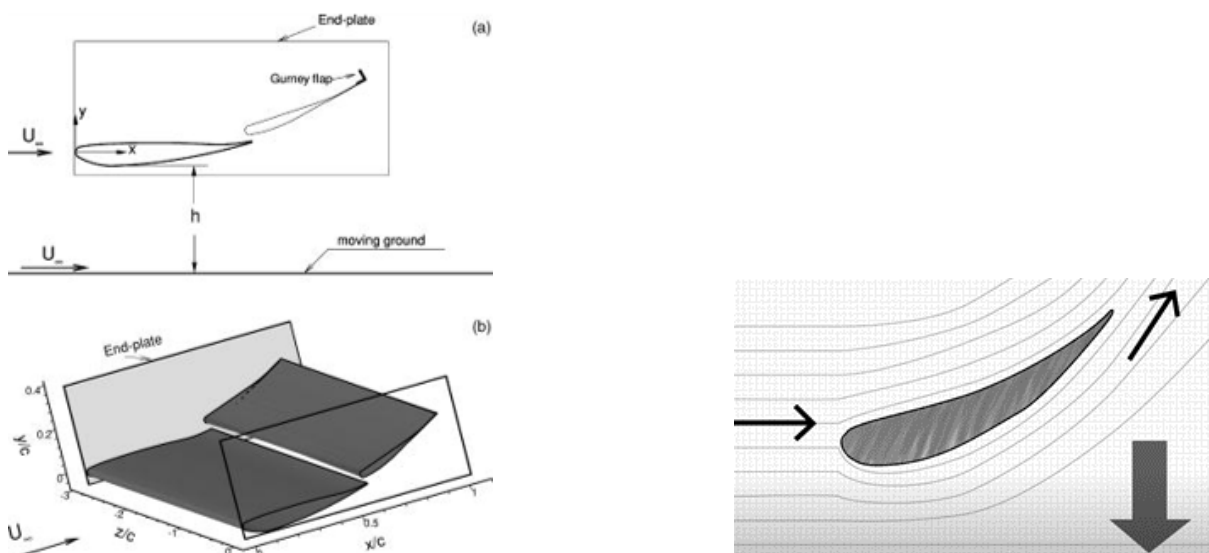
Een groot deel van de neerwaartse kracht wordt gecreëerd door de achternvleugel. Zoals je op de figuur Figure 1 kan zien heeft de vleugel een zeer specifiek vorm, dit is om de downforce te vergroten.

Wanneer lucht tegen de deze vleugel aan botst zal de lucht zich gaan opsplitsen. Een deel zal langs de bovenkant van de vleugel voortbewegen en het ander deel zal langs de onderkant van de vleugel voortbewegen. De lucht die onder de vleugel voortbeweegt zal sneller bewegen omdat de lucht naar een vacuüm aan de achterkant van de vleugel, wordt getrokken die gecreëerd werd door de vleugel dit is te zien op Figure 1 .

doordat de lucht sneller beweegt zal de druk er lager zijn, zie de wet van Bernoulli 1 . De vorm van de vleugel zorgt ervoor dat de lucht die zich boven de vleugel bevindt ook naar boven afbuigt, dit is ook zo voor het onderste deel van de lucht maar dit komt door het gecreëerde vacuüm.

de luchtdeeltjes bewegen zich naar boven, maar zoals wij bij de basisprincipes zagen is er altijd een omgekeerde en evengrote reactiekracht 2 , deze omgekeerde kracht die naar beneden wijst is de downforce. Deze kracht zorgt ervoor dat de wagen 'plakt' aan het wegdek.

De achternvleugel is maar een voorbeeld van de vele onderdelen die downforce creëren. Het is echter wel eenvoudig om te zien hoe deze gecreëerd wordt, en werd daarom in dit artikel gekozen.



Figuur 1: A downforce creatie achternvleugel [4] [5]

Besluit

We merken dat aerodynamica een enorme rol speelt in de Formule 1 wereld. Jaarlijks gaan er enorme bedragen naar het ontwikkelen van nieuwe onderdelen die de bolide nog gestroomlijnder maken. het gestroomlijnder maken van de wagen levert duidelijk op, de tijden verminderden door aerodynamica met 20 % .

Referenties

- [1] Edward Lewis Houghton and Peter William Carpenter. *Aerodynamics for engineering students*. Elsevier, 2003.
- [2] Willem Toet. Aerodynamics and aerodynamic research in formula 1. *The Aeronautical Journal*, 117(1187):1–26, 2013.
- [3] Xin Zhang, A Senior, and Andreas Ruhrmann. Vortices behind a bluff body with an upswept aft section in ground effect. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 25(1):1–9, 2004.
- [4] Xin Zhang, Willem Toet, and Jonathan Zerihan. Ground effect aerodynamics of race cars. 2006.
- [5] Stuart F Taylor, 2018.

Analyse van 'Aerodynamics and aerodynamic research in Formula 1'

3.1 Plannen

(b) Welke voorkennis verwacht de auteur van zijn doelpubliek?

De auteur verwacht wel enige voorkennis. Hij verwacht dat je enige kennis van kinetica en aerodynamica hebt, daarnaast verwacht hij ook dat je enige achtergrondkennis hebt over Formule 1. Dit merk je aan de begrippen die de auteur gebruikt, een leek zonder kennis heeft het moeilijker om deze tekst te begrijpen.

3.2 Ontwerpen

(a) Kan de lezer op basis van de titel de inhoud van het artikel correct inschatten?

Jazeker, de titel is zeer duidelijk en kan je niet mis opvatten. Je weet dat het over formule 1 zal gaan en meer bepaald het aerodynamisch aspect ervan.

3.3 schrijven

(c) Bekijk een willekeurige figuur uit het artikel en bepaal of deze los van de tekst correct geïnterpreteerd kan worden.

Ik heb gekozen om figuur 7 te bekijken van het desbetreffende artikel. De figuur is in drie delen opgedeeld: een tabel over drag per onderdeel, een andere tabel over down force per onderdeel en illustratie van een F1-wagen waarbij de onderdelen ingekleurd zijn. Ik denk dat deze figuur zonder tekst correct kan geïnterpreteerd kan worden, je kan zien dat bepaalde onderdelen downforce creëren en andere drag veroorzaken en kan deze ook terugvinden op de wagen zelf aan de hand van de kleuren.

3.4 Opmaken

(d) Is kleurgebruik in het artikel functioneel (indien aanwezig) of wenselijk (indien afwezig)?

Het grootste deel van de tekst bestaat uit grijswaarden en dit zorgt niet voor een verminderde leesbaarheid, zelfs niet bij de schijfdiagrammen. Er is gekozen om 1 tabel in kleur te zetten, wat ik eigenlijk onnodig vind. De tabel zou perfect leesbaar zijn als die in grijswaarden was gemaakt.

3.5 Reviseren

(a) Vanuit welke onderzoeksvragen kan het artikel zijn vertrokken? Ga na waar deze zijn beantwoord.

- Welke onderdelen zorgen voor drag en welke voor downforce: p.12-13
- Ofdat aerodynamica een groot verschil maakt voor de sport: p.12
- waarom de sport blijft voort ontwikkelen: p.25
- welke krachten de agens afremmen: p.15-20

Ground Effect Aerodynamics of Race Cars

Xin Zhang

Aerospace Engineering, School of Engineering
Sciences,
University of Southampton,
Southampton SO17 1BJ, UK

Willem Toet

Jonathan Zerihan

BAR Honda F1,
Brackley NN13 7BD, UK

We review the progress made during the last 30 years on ground effect aerodynamics associated with race cars, in particular open wheel race cars. Ground effect aerodynamics of race cars is concerned with generating downforce, principally via low pressure on the surfaces nearest to the ground. The “ground effect” parts of an open wheeled car’s aerodynamics are the most aerodynamically efficient and contribute less drag than that associated with, for example, an upper rear wing. While drag reduction is an important part of the research, downforce generation plays a greater role in lap time reduction. Aerodynamics plays a vital role in determining speed and acceleration (including longitudinal acceleration but principally cornering acceleration), and thus performance. Attention is paid to wings and diffusers in ground effect and wheel aerodynamics. For the wings and diffusers in ground effect, major physical features are identified and force regimes classified, including the phenomena of downforce enhancement, maximum downforce, and downforce reduction. In particular the role played by force enhancement edge vortices is demonstrated. Apart from model tests, advances and problems in numerical modeling of ground effect aerodynamics are also reviewed and discussed. This review article cites 89 references. [DOI: 10.1115/1.2110263]

1 Introduction

¹Over the past 30 years, the race car industry has become a leader of technology innovation, a training ground for highly qualified engineers, and, for countries such as Britain and Italy, an integral part of the high tech engineering industry. The nature of the industry is such that there is a constant need for performance improvement. Among the various factors which influence the performance of a car, such as power, driver, weight, tires and aerodynamics, aerodynamics represents a major area that a constructor can invest in, investigate, and improve upon on its own [1–4], and hence has received increasing attention in recent years, resulting in greater advances in methods and understanding. The advance in aerodynamics is partly reflected in the increase in speed. In Fig. 1, the average speed of a Formula 1 car over a race circuit is given, together with annotations on major aerodynamics development and banned technologies. The constant struggle between the regulators and the constructors’ desire for speed pushes the frontier of science and reveals new physics, which deserves the rigor of an academic examination.

Aerodynamics, particularly ground effect aerodynamics, as applied to open wheeled race cars is still mainly an experimental science and will remain so for some time to come [4]. This is primarily due to the complex fluid flow physics involved. These include

- separation as a normal feature
- surface character changes during an event lead to early transition
- suspension motion leading to unsteady flow
- highly complex physics: wall jet, shear layer instability, vortex meandering and breakdown, etc.
- force enhancing vortices
- turbulent wake and ground boundary layer interaction
- compressibility

However, computational fluid dynamics (CFD) is becoming much more important and its use complements model scale experiments. This is particularly true in the case of flows around geometries such as a front wing assembly, where the flow could

stay attached over the majority of the aerodynamic surface, less so for flows such as that associated with a diffuser, where the incoming flow could be highly turbulent and distorted, and large vortex flows are often coupled with flow separation.

The primary aim of race car aerodynamics is to generate a desired level of downforce (negative lift) for the least possible drag. However, the balance of the downforce under all conditions of speed and acceleration is equally important. As such, the complex flow features associated with individual components are often interwoven and difficult to separate. Nevertheless, a clear understanding of flow physics connected to individual aerodynamic components is a prerequisite towards gaining an insight into the overall flow field and eventually a better vehicle design.

The importance of ground effect aerodynamics is easy to explain. Given a fixed distance, the average speed of a car determines the time it takes for a car to complete a circuit. However, over a closed circuit, it is the change of velocity, i.e., acceleration, which is the deciding factor in determining the speed performance of the car. The braking, accelerating, and cornering performance of a race car were found in the 1960s to be the limiting factors in deciding a car’s performance [1]. The acceleration of a car can be illustrated by a simple expression:

$$\text{Acceleration} = g \times \mu_{\max} + \frac{\text{downforce} \times \mu_{\max}}{M} \quad (1)$$

where μ_{\max} is the peak coefficient of friction of the tire, M is the mass associated with that tire, and g is the acceleration due to gravity. The simple expression above shows the role of downforce and hence the importance of aerodynamics. Once the role of aerodynamics was acknowledged around 1966, the advance in race car aerodynamics was rapid and ground effect was introduced in 1977 (see Fig. 1). In fact ground effect is unavoidable as a typical race car can be viewed aerodynamically as a very low aspect ratio (0.38) bluff body in close proximity to the ground (gap/chord = 0.005).

The results of this review are divided into several sections. Section 2 describes the overall force behavior on a generic race car. Section 3 gives an overview of the tools available to ground effect aerodynamic research. Section 4 discusses aerodynamics of inverted wings in ground effect. Finally, Sec. 6 reviews studies on aerodynamics of wheels in contact with the ground.

¹Wheels are external to the bodywork in plan view.
Transmitted by Assoc. Editor W. Shyy.

Aerodynamics and aerodynamic research in Formula 1

W. Toet

Willem.Toet@Sauber-motorsport.com

Sauber F1 Team

Hinwil

Switzerland

ABSTRACT

This paper will address the engineering performance differentiators for an F1 car and highlight the difference aerodynamics can make to that performance. It will also consider some basic aerodynamic challenges and the main tools used for aerodynamic exploration by teams.

NOMENCLATURE

ABS	Anti-lock Braking System
CAD	Computer Aided Design
CFD	Computational Fluid Dynamics
DES	Detached Eddy Simulation
DRS	Drag Reduction System (Driver adjustable bodywork used in F1)
ECU	Electronic/engine Control Unit
ESC	Electronic Stability Control
F1	Formula One
FIA	Fédération Internationale de l'Automobile (Governing Body of F1)
FOTA	Formula One Teams' Association
HPC	High-Performance Computing
KERS	Kinetic Energy Recovery System
PIV	Particle Image Velocimetry
RANS	Reynolds-Averaged Navier Stokes
SLA	Stereo Lithography
SLS	Selective Laser Sintering

Vortices behind a bluff body with an upswept aft section in ground effect

X. Zhang^{*}, A. Senior, A. Ruhrmann

Aerospace Engineering, School of Engineering Sciences, University of Southampton, Southampton SO17 1BJ, UK

Received 24 March 2003; accepted 11 November 2003

Abstract

The vortices behind a bluff body equipped with an upswept aft section are studied in a model test. The bluff body operates in close proximity to ground. The principle measurement technique is laser Doppler anemometry (LDA), which is supported by surface flow, pressure and force measurements. The upswept surface has an angle of 17° to horizontal. With the presence of end-plates on the aft section, discontinuities in slope of the force curve exist at several heights in proximity to the ground. The characteristics of these changes are linked with edge vortices. The position and strength of the vortex are identified. Three main types of trailing vortices exist: (a) concentrated, symmetric with a high axial speed core, (b) diffused, symmetric with a low axial speed core, and (c) diffused and asymmetric. The study provides further clarification of major physics and a database for validating predictive methods.

© 2003 Elsevier Inc. All rights reserved.

Keywords: Bluff body; Diffuser; Ground effect; Vortex flow

1. Introduction

Large vortices generated by aerodynamic surfaces near a ground plane are of both fundamental and practical interests. They can be employed as a means for flow control. There are various types of *vortex in ground effect*. Of particular interest to the present authors are the large vortices associated with a bluff body operating in proximity to a ground plane, where the sizes of the vortices are in the same order as that of the model geometry. Often a deceptively simple configuration would lead to complex force behaviours and to trailing vortices embedded in a highly turbulent wake. In engineering applications, a bluff body operating in close proximity to a ground plane has its applications in the automobile industry (Bearman, 1980). A carefully planned study can provide a validating case for predictive methods such as those employing large eddy simulation.

In this study, we focus on a bluff body equipped with an upswept aft section. When placed in ground effect, an

effective expansion/diffuser section is formed between the upswept surface and the ground. This configuration has been utilized primarily on high performance vehicles to increase downforce, i.e. negative lift, therefore enhancing the overall mechanical grip. An important feature of the flow is that the pressure at the base of the bluff body remains relatively constant as the model height is varied (Senior and Zhang, 2001). Hence as the model height is reduced, pressure underneath of model (nearest to the ground plane) must be ‘pumped down’ (Sovran, 1994), which leads to an increase in downforce. The downforce works in conjunction with the mechanical grip, to improve the performance of the vehicle. However, it is not only the overall level of downforce that is the important factor. The upswept surface changes height from the ground, due to the suspension movements on the vehicle. This severely affects the level of downforce, hence the grip at the rear and the force balance. There is also a safety consideration as the wake generated by the bluff body will have an impact on the aerodynamic (and handling) performance of a trailing vehicle.

There have been a number of relevant studies (George, 1981; George and Donis, 1983; Cooper et al., 1998, 2000), looking at the forces, surface pressures and surface flow

^{*} Corresponding author. Tel.: +44-23-8059-4891; fax: +44-23-8059-3058.

E-mail address: xzhang@soton.ac.uk (X. Zhang).