

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**



**Σχολή Μηχανικών  
Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής**

Διπλωματική Εργασία

**Αγώνες formula από τον οδηγό και την ομάδα υποστήριξης στην  
electronic control unit την τηλεμετρία και την συλλογή δεδομένων**

Γρηγορόπουλος Μιχαήλ  
Α.Μ. 46287

Επιβλέπων Καθηγητής  
Νικόλαος Λάσκαρης

Αθήνα, Οκτώβριος 2022

**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**



**SCHOOL OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND  
PRODUCTION ENGINEERING**

Diploma Thesis

**Formula Racing: from the driver and support team to the Electronic  
Control Unit, telemetry and data collection**

Grigoropoulos Michail  
Registration Number: 46287

Supervision:  
Nikolaos Laskaris

Athens, October 2022

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του  
Εισηγητή**

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι  
Εξεταστική Επιτροπή:

<b>No</b>	<b>Όνοματεπώνυμο και Ιδιότητα</b>	<b>Ψηφιακή Υπογραφή</b>
1	Νικόλαος Λάσκαρης Επίκουρος Καθηγητής	
2	Δρ. Ευάγγελος Παπακίτσος ΕΔΙΠ Α'	
3	Δρ. Χρήστος Δρόσος ΕΔΙΠ Α'	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Γρηγορόπουλος Μιχαήλ του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 46287 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, **δηλώνω υπεύθυνα** ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Date 1/10/2022

Ο Δηλών



Γρηγορόπουλος Μιχαήλ

## Περίληψη

Οι αγώνες της Formula 1 θεωρούνται ως οι πιο εντυπωσιακοί αγώνες του μηχανοκίνητου αθλητισμού, γι' αυτό και ονομάζεται η κορωνίδα του μηχανοκίνητου αθλητισμού. Από την έναρξή του πρώτου Grand Prix που έγινε στο Silverstone το 1950, έχουν αλλάξει πολλά, από τους κανόνες διεξαγωγής των αγώνων, κανόνες ασφάλειας των οδηγών κ.ά. Πολλές αλλαγές έχουν γίνει ιδιαίτερα στον τρόπο παρακολούθησης της λειτουργίας του μονοθεσίου, των χειρισμών και των αντιδράσεων του οδηγού. Τα πρώτα χρόνια η παρακολούθηση γινόταν από τον οδηγό, ο οποίος μεταβίβαζε στους μηχανικούς της ομάδας του όσα αντιλαμβανόταν και συζητούσαν τρόπους βελτίωσης της απόδοσης του μονοθεσίου.

Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών, της τηλεμετρίας και της πληροφορικής η ομάδα, αλλά και η FIA, μπορεί να παρακολουθεί άμεσα το τί γίνεται στο μονοθέσιο, να λαμβάνει αποφάσεις και να δίνει τις κατάλληλες πληροφορίες και οδηγίες στον οδηγό. Οι ομάδες πλέον στηρίζουν τα αποτελέσματά τους, όχι μόνο στις ικανότητες των οδηγών των μονοθεσίων αλλά και στην ταχύτητα επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέγουν.

## **Abstract**

Formula 1 racing is considered to be the most impressive race in motorsport, which is why it is called the pinnacle of motorsport. Since the start of the first Silverstone Grand Prix in 1950, much has changed, from the rules of racing, driver safety rules, etc. Many changes have been made, particular in the way the car operation is monitored, the driver's handling and reactions. In the early years, monitoring was done by the driver, who conveyed to the engineers of his team what he perceived and discussed ways to improve the performance of the car.

However, with the development of electronics technology, telemetry and information technology, the team, as well as the FIA, can directly monitor what is happening in the car, make decisions and give the appropriate information and instructions to the driver. The teams now base their results, not only on the skills of the car drivers but also on the speed of processing the data they collect.

## Αναγνωρίσεις

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον κύριο επιβλέποντα Λάσκαρη Νικόλαο για τη συνεχή υποστήριξη της διπλωματικής μου διατριβής και για την υπομονή καθώς και για τα κίνητρα που μου έδωσε. Με τις διαρκείς συζητήσεις και τα χρήσιμα σχόλια ο κύριος Λάσκαρης Νικόλαος και ο κύριος Χρυσοχέρης Ηλίας με βοήθησαν να καταλάβω ποια βήματα έπρεπε να ακολουθήσω για να ολοκληρώσω με επιτυχία τη διατριβή μου και να διευρύνω την έρευνά μου.

Εκτός από τον κύριο επιβλέποντα μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον κύριο Δρόσο Χρήστο και τον κύριο Παπακίτσο Ευάγγελο μέλη της επιτροπής παρακολούθησης της διατριβής μου, για την ουσιαστική καθοδήγηση τους η οποία με βοήθησε σε όλο το χρόνο της έρευνας και συγγραφής αυτής της εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τη βαθύτατη εκτίμηση στους συναδέλφους μου που διάβασαν και σχολίασαν τη διατριβή μου.

Ευχαριστώ τους γονείς μου Δημήτρη και Μαρία, που με στήριξαν πνευματικά και οικονομικά για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου διατριβής. Επίσης για την υπομονή, την ενθάρρυνση και την υποστήριξη.

Ειδικότερα, θέλω να ευχαριστήσω τον αδερφό μου Αλέξανδρο, γιατί πίστεψε ότι μπορούσα να ολοκληρώσω αυτή τη διατριβή και με στήριξε όταν ένιωθα απογοητευμένος.

## Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 .....	1
Εισαγωγή και κριτική επισκόπηση .....	1
1.1 Εισαγωγή στο αντικείμενο .....	1
1.2 Κανόνες διεξαγωγής αγώνων Formula 1 .....	1
1.3 Ιστορία της Formula 1 .....	4
Κεφάλαιο 2 .....	15
Η επικοινωνία του οδηγού με την ομάδα του πριν την ECU και την τηλεμετρία.....	15
2.1 Εισαγωγή .....	15
2.2 Επικοινωνία οδηγού και ομάδας υποστήριξης .....	15
Κεφάλαιο 3 .....	18
ECU .....	18
3.1 Εισαγωγή .....	18
3.2 Τί είναι η ECU .....	18
Κεφάλαιο 4 .....	29
Τηλεμετρία και Δεδομένα.....	29
4.1 Εισαγωγή .....	29
4.2 Τί είναι η Τηλεμετρία .....	29
4.3 Συλλογή και αποστολή δεδομένων .....	32
4.3.1 Εισαγωγή .....	32
4.3.2 Συλλογή δεδομένων.....	33
4.3.3 Αποστολή δεδομένων .....	39
4.4 Επεξεργασία Δεδομένων .....	41
Κεφάλαιο 5 .....	53
Επεξεργασία δεδομένων κατά τη διάρκεια και μετά τους αγώνες.....	53
5.1 Εισαγωγή .....	53
5.2 Επεξεργασία κατά τη διάρκεια των αγώνων .....	53
5.3 Επεξεργασία μετά τους αγώνες .....	58
Κεφάλαιο 6 .....	61
Συμπεράσματα και Μελλοντική Εργασία .....	61
Κατάλογος Αναφορών .....	63



## Κατάλογος Σχημάτων και Πινάκων

Εικόνα 1 Ο Giuseppe 'Nino' Farina στο Silverstone (Donaldson, n.a.).....	6
Εικόνα 2 Cooper T51 (Kew, 2022) .....	7
Εικόνα 3 Lotus 25 (Kew, 2022) .....	8
Εικόνα 4 Η στιγμή που το πίσω φτερό της Lotus 49B του Jochen Rindt απέτυχε, στο Ισπανικό Grand Prix του 1969 (imgur, n.a) .....	9
Εικόνα 5 Η McLaren MP4/1 (Kew, 2022) .....	10
Εικόνα 6 Η Ferrari 640 (Kew, 2022).....	11
Εικόνα 7 Διάγραμμα που δείχνει το σύστημα ABS του FW15C (Hughes & Piola, 2018) .....	11
Εικόνα 8 Το FW15C της Williams-Renault (Hughes & Piola, 2018) .....	12
Εικόνα 9 Λειτουργία του συστήματος Head And Neck Support (Sherman, 2012).....	13
Εικόνα 10 Το Halo και οι αντοχή του σε δυνάμεις (Formula 1, 2018) .....	14
Εικόνα 11: Ο Steve Hallam με τον Ayrton Senna (auto123.com, n.a.) .....	16
Εικόνα 12 Κύριες εξωτερικές συνδέσεις με την ECU (FIA, 2006) .....	20
Εικόνα 13 TAG-310B (McLaren Applied, 2009).....	21
Εικόνα 14 TAG-320 (McLaren Applied, 2011) .....	22
Εικόνα 15 Ηλεκτρονική αρχιτεκτονική αυτοκινήτου F1 και Master ECU (FIA, 2022b) .....	24
Εικόνα 16 Τιμόνι με ενσωματωμένη οθόνη της ομάδας McLaren Honda 2016 (Moore, 2017).....	26
Εικόνα 17 Τιμόνι και μονάδα οθόνης της ομάδας Williams (Scarborough, 2020) .....	27
Εικόνα 18 Οι τέσσερις οντότητες που πρέπει να έχουν δυνατότητα για εκτέλεση κώδικα (FIA, 2022b) .....	28
Εικόνα 19 Ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ BIOS και λογισμικού πελατών (FIA, 2022b) .....	28
Εικόνα 20 Δομή συστήματος τηλεμετρίας (Verma, 2017) .....	30
Εικόνα 21 Τομείς εφαρμογής συστήματος αισθητήρων (Cocco & Daponte, 2008).....	33
Εικόνα 22 Τί μετράμε με τους αισθητήρες (MAPFRE, 2020).....	35
Εικόνα 23 Ο δεύτερος αισθητήρας ροής καυσίμου που τοποθετήθηκε από τη FIA (Gitlin, 2020) .....	37
Εικόνα 24 Aero rakes (Smedley, 2019).....	38
Εικόνα 25 Aero rakes στον πίσω τροχό (Smedley, 2019).....	39
Εικόνα 26 Αποστολή δεδομένων από το μονοθέσιο στα κεντρικά των ομάδων (MAPFRE, 2020) .....	41
Εικόνα 27 Οι τεχνικοί στο γκαράζ Alpine Renault χρησιμοποιούν την πλατφόρμα KX Insights για ανάλυση δεδομένων ροής (Miller, 2021).....	44
Εικόνα 28 Ανάπτυξη αυτοκινήτου (AWS, 2022) .....	46
Εικόνα 29 Βαθμολογία απόδοσης αυτοκινήτου (AWS, 2022).....	47
Εικόνα 30 Επιδόσεις οδηγού σε μια σεζόν (AWS, 2022).....	48
Εικόνα 31 Pit lane performance (Miller M., 2021) .....	48
Εικόνα 32 Ρυθμός κατατακτήριων (AWS, 2022) .....	49
Εικόνα 33 Start analysis (AWS, 2022) .....	49
Εικόνα 34 Breaking performance (AWS, 2022).....	50
Εικόνα 35 Corner analysis (AWS, 2022) .....	51
Εικόνα 36 Tyre performance (AWS, 2022) .....	51

Εικόνα 37 Απεικόνιση παραμέτρων σε οθόνη (Carpentiers, 2016) .....	54
Εικόνα 38 Οθόνη παρακολούθησης μηχανικού ομάδας (Carpentiers, 2016) .....	56
Εικόνα 39 Αίθουσα Επιχειρήσεων της Renault (Carpentiers, 2019).....	57

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή και κριτική επισκόπηση

### 1.1 Εισαγωγή στο αντικείμενο

Αναλυτικά τα περιεχόμενα των κεφαλαίων έχουν ως εξής:

Το **Κεφάλαιο 1** παρουσιάζει τους κανόνες για τη διεξαγωγή αγώνων της Formula 1 και μια σύντομη ιστορική αναδρομή από τους πρώτους αγώνες αυτοκινήτων στους αγώνες της Formula 1.

Το **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζει τη διαδικασία της επικοινωνίας του οδηγού του αγωνιστικού αυτοκινήτου με την ομάδα υποστήριξης, τα πρώτα χρόνια των αγώνων, πριν ξεκινήσει η τοποθέτηση αισθητήρων για συλλογή δεδομένων από το μονοθέσιο και η επεξεργασία τους.

Το **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζει τις προδιαγραφές που έχει ορίσει η FIA για την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (ECU) και τις δυνατότητες που προσφέρει στα μονοθέσια και τις ομάδες τους.

Το **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζει τη διαδικασία της τηλεμετρίας, της συλλογής δεδομένων από το μονοθέσιο και της αποστολής τους στις ομάδες. Επίσης παρουσιάζονται τα εργαλεία που χρησιμοποιούν οι ομάδες και η Formula 1 για την επεξεργασία των δεδομένων.

Το **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζει τον τρόπο και τη διαδικασία επεξεργασίας δεδομένων από τις ομάδες κατά τη διάρκεια των αγώνων αλλά και μετά από αυτόν και πώς αυτή οδηγεί σε αποφάσεις για βελτιώσεις για τον επόμενο αγώνα.

Το **Κεφάλαιο 6** παρουσιάζει τα συμπεράσματα της διατριβής και εκθέτει τις δυνατότητες μελλοντικών εξελίξεων.

### 1.2 Κανόνες διεξαγωγής αγώνων Formula 1

Από τους βασικούς στόχους της FIA είναι να ενθαρρύνει και να εφαρμόσει την υιοθέτηση κοινών κανονισμών για όλες τις μορφές μηχανοκίνητων αθλημάτων. Για το σκοπό αυτό έχει καταγράψει και κοινοποιήσει κανονισμούς για τους αγώνες της Formula

1 που αφορούν τους αγώνες, τεχνικές προδιαγραφές και δημοσιονομικούς κανονισμούς. Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν εν συντομία οι κανονισμοί των αγώνων.

Υπάρχει ειδική αναφορά στον κανονισμό για τον εξοπλισμό ασφαλείας τόσο των οδηγών όσο και των μηχανικών. Οι οδηγοί της Formula 1 θα πρέπει να φορούν τα ειδικά κράνη, τη συσκευή HANS (Head and Neck Support) για την υποστήριξη των σπονδύλων τους μέσα στο πιλοτήριο, καθώς και τα ειδικά ρούχα για την προστασία τους από ατυχήματα πυρκαγιάς.

Ακολουθούν παρακάτω ορισμένοι γενικοί κανόνες:

- Το μήκος του αγώνα πρέπει να είναι 305 km (260 km για το Grand Prix του Μονακό). Ορίζεται ως «ο μικρότερος αριθμός πλήρων γύρων που υπερβαίνει τα 305 χιλιόμετρα».
- Η διάρκεια οποιουδήποτε αγώνα Formula 1 δεν μπορεί να υπερβαίνει τις 2 ώρες. Ο αγώνας θεωρείται τελειωμένος στο τέλος του τρέχοντος γύρου εάν υπερβαίνει τις 2 ώρες.
- Το Grand Prix της Formula 1 είναι ένα τριήμερο γεγονός που λαμβάνει χώρα ένα Σαββατοκύριακο (Παρασκευή, Σάββατο και Κυριακή). Όμως, διαφορετικά αγωνιστικά γεγονότα θα πραγματοποιηθούν σε κάθε μία από αυτές τις 3 ημέρες όπως:
  - Παρασκευή: Περίοδος δοκιμών.
  - Σάββατο: Περίοδος δοκιμών και Προκριματικός Αγώνας.
  - Κυριακή: Ημέρα αγώνα.
- Κάθε Grand Prix έχει τρεις περιόδους δοκιμών. Οι δύο από αυτές πραγματοποιούνται την Παρασκευή και μπορούν να συμμετάσχουν και οι τρίτοι οδηγοί των ομάδων. Η πρώτη δοκιμή γίνεται το πρωί και η δεύτερη το απόγευμα. Η τρίτη και τελευταία δοκιμή διεξάγεται το Σάββατο.

Η pole position της Formula 1 είναι η νούμερο ένα θέση στο αρχικό grid για κάθε αγώνα. Μόνο ένας οδηγός μπορεί να πετύχει pole position. Κερδίζει το συγκεκριμένο δικαίωμα σημειώνοντας τον ταχύτερο χρόνο στον προκριματικό γύρο του Σαββάτου.

Η εκκίνηση ενός αγώνα Formula 1 ξεκινά πάντα με έναν γύρο προθέρμανσης (γύρος σχηματισμού). Ο σκοπός του γύρου σχηματισμού είναι να ζεστάνουν οι πιλότοι τους κινητήρες και τα ελαστικά τους. Μετά την ολοκλήρωση του γύρου σχηματισμού, οι οδηγοί βρίσκουν τη θέση τους στο grid και ακινητοποιούνται σε σχηματισμό. Περιμένουν να ανάψουν μια σειρά από 5 φώτα. Όταν το πέμπτο φως ανάψει, όλα τα φώτα σβήνουν και ο αγώνας ξεκινά.

Όλοι οι αγώνες της F1 παρακολουθούνται από μια ομάδα αγωνοδίκων. Μπορούν να επιβάλουν ποινές εάν κρίνουν ότι συνέβη παράβαση κανόνων. Οι παραβάσεις στη Formula 1 περιλαμβάνουν:

- Πρόκληση σύγκρουσης
- Μη ασφαλή αποδέσμευση του μονοθεσίου από το γκαράζ
- Επιτάχυνση στο pit lane
- Μπλοκάρισμα άλλου οδηγού καθώς προσπαθεί να περάσει.

Οι αγωνοδίκες αποφασίζουν την ποινή και μπορούν να επιβάλουν από πέναλτι δευτερολέπτων μέχρι αποκλεισμό από τον αγώνα.

Σε ότι αφορά τους κανονισμούς για το Pit stop, αυτοί απαγορεύουν ρητά (από το 2010) τον ανεφοδιασμό των μονοθεσίων με καύσιμο κατά τη διάρκεια του αγώνα. Μπορεί να γίνει μόνο σε ειδικές περιπτώσεις κατά τη διάρκεια των δοκιμών και μόνο μέσα στο γκαράζ με συγκεκριμένη ροή λίτρων καυσίμου το δευτερόλεπτο. Όσον αφορά τα ελαστικά, η διαχείρισή τους αποτελεί μια από τις πιο βασικές στρατηγικές των ομάδων η οποία καθορίζει τον αριθμό των pit stop και τη χρονική τους στιγμή. Τέλος κατά τη διάρκεια ενός pit stop οι μηχανικοί μπορούν να αντικαταστήσουν και οποιοδήποτε άλλο εξάρτημα χρήζει αντικατάστασης όπως, για παράδειγμα το μπροστινό φτερό.

Σε ότι αφορά τους βαθμούς που θα λάβουν οι οδηγοί, το σύστημα βαθμολόγησης έχει τροποποιηθεί από το 2010 και οι οδηγοί λαμβάνουν βαθμούς μόνο αν τερματίσουν στις δέκα πρώτες θέσεις. Οι βαθμοί που λαμβάνουν από όλους τους αγώνες αθροίζονται για την ανάδειξη του Παγκόσμιου Πρωταθλητή Οδηγών και Κατασκευαστών.

Αν ο νικητής έχει ολοκληρώσει περισσότερο από 75% της απόστασης τότε θα δοθούν οι

βαθμοί της στήλης 4. Επιπλέον ένας βαθμός θα δοθεί στον οδηγό που έχει τον ταχύτερο γύρο, μόνο αν έχει τερματίσει όμως στους δέκα πρώτους. Αν ο νικητής έχει καλύψει από 50%-75% της απόστασης, τότε θα δοθούν οι βαθμοί της στήλης 3. Αν ο νικητής έχει καλύψει το 25%-50% της απόστασης τότε θα δοθούν οι βαθμοί της στήλης 2. Αν ο νικητής έχει καλύψει περισσότερους από δύο γύρους και λιγότερο από το 25% της απόστασης θα δοθούν οι βαθμοί της στήλης 1. Δε θα δοθούν βαθμοί αν ο νικητής έχει καλύψει λιγότερο από δύο γύρους (FIA, 2022a).

**Πίνακας 1 Σύστημα βαθμολογίας πιλότων της Formula 1 (FIA, 2022a)**

Θέση	Βαθμοί (Στήλη 1)	Βαθμοί (Στήλη 2)	Βαθμοί (Στήλη 3)	Βαθμοί (Στήλη 4)
1	6	13	19	25
2	4	10	14	18
3	3	8	12	15
4	2	6	10	12
5	1	5	8	10
6	0	4	6	8
7	0	3	4	6
8	0	2	3	4
9	0	1	2	2
10	0	0	1	1

### 1.3 Ιστορία της Formula 1

Οι αγώνες αυτοκινήτων άρχισαν να διαμορφώνονται στη Γαλλία κάπου στο 1884, αρχικά σαν απλοί αγώνες από το ένα χωριό σε ένα άλλο εξελισσόμενοι στη συνέχεια σε ετήσιους αγώνες που προσέλκυε διαγωνιζόμενους από όλο τον κόσμο, όπως το Gordon Bennett Cup στην Ευρώπη το 1900 και το Vanderbilt Cup στις Η.Π.Α. το 1904.

Το 1906, ο πρώτος αγώνας που έφερε το όνομα Grand Prix διοργανώθηκε από την Αυτοκινητοβιομηχανία της Γαλλίας (CAF) και διεξήχθη για δύο ημέρες τον Ιούνιο. Η

πίστα, που βρίσκεται στο Λε Μαν (Le Mans), είχε συνολικό μήκος περίπου 105 χιλιόμετρα (65 μίλια) με 32 συμμετέχοντες, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν 12 διαφορετικές αυτοκινητοβιομηχανίες. Ο Ούγγρος Ferenc Szisz (1873-1944) στο τιμόνι ενός Renault κέρδισε τον αγώνα μετά από 1.260 χιλιόμετρα.

Κάθε χώρα διοργάνωνε τις δικές της εκδηλώσεις χωρίς επίσημο πρωτάθλημα για να τις συνδέσει μεταξύ τους, με τους κανόνες να ποικίλλουν ανάλογα με τη χώρα. Λίγο πριν από τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο, ωστόσο, διάφορα Grand Prix άρχισαν να μοιράζονται ορισμένους κανόνες, κυρίως σε ότι αφορά τα μεγέθη κινητήρα και το βάρος των αυτοκινήτων. Το 1924 δημιουργήθηκε η Internationale des Automobile Clubs Reconnus (AIACR), αποστολή της οποίας ήταν να ρυθμίζει ανεπίσημα τους αγώνες Grand Prix (Llurba, 2022).

Το 1946 η Commission Sportive Internationale (CSI), ο αθλητικός βραχίονας του AIACR, έκανε τα πρώτα βήματα για την ανοικοδόμηση των αγώνων αυτοκινήτου μετά τον πόλεμο. Αντικατέστησε τον 80χρονο πρόεδρο Chevalier Rene de Knyff με τον Augustin Perouse, ο οποίος ξεκίνησε τις συζητήσεις για μια νέα μορφή για τους αγώνες Grand Prix. Την ίδια περίπου εποχή, ο δυσκίνητος τίτλος AIACR αντικαταστάθηκε από την πιο κομψή Federation Internationale de l' Automobile (FIA) που γνωρίζουμε σήμερα.

Κανείς δεν είναι απολύτως σίγουρος ποιος είχε για πρώτη φορά την ιδέα ενός επίσημου Παγκόσμιου Πρωταθλήματος της Formula 1, αλλά τα εύσημα δίνονται γενικά στον μαρκήσιο Antonio Brivio-Sforza, ο οποίος είχε εκλεγεί να εκπροσωπήσει την Ιταλία στη FIA το 1946. Το 1949 επιβεβαιώθηκε ότι το Παγκόσμιο Πρωτάθλημα της FIA Formula 1 θα εγκαινιαζόταν για το 1950, με τον Παγκόσμιο Πρωταθλητή να εκλέγεται στο τέλος της σεζόν (Tremayne, 2020).

Το πρώτο Grand Prix στην ιστορία της F1 πραγματοποιήθηκε στις 13 Μαΐου 1950 στο Silverstone και κέρδισε ο Giuseppe 'Nino' Farina με την Alfa Romeo 158, με την οποία πήρε τον τίτλο αργότερα μέσα στη χρονιά. Ο Farina, εξαιτίας των τραυματισμών του (συμπεριλαμβανομένου και του σοβαρού εγκαύματος στη Monza το 1954), αναγκάστηκε να αποσυρθεί από τους αγώνες το 1955 και έγινε επιτυχημένος

αντιπρόσωπος της Alfa Romeo (Donaldson, n.a.).



**Εικόνα 1 Ο Giuseppe 'Nino' Farina στο Silverstone (Donaldson, n.a.)**

Το μονοθέσιο που κέρδισε τον πρώτο του αγώνα, γνωστό ως «Alfetta», είχε εκτιμώμενη τελική ταχύτητα 290 kmh και μπορούσε να φτάσει τα 100 kmh σε τέσσερα δευτερόλεπτα. Συγκριτικά, ένα σύγχρονο μονοθέσιο της F1 έχει τελική ταχύτητα περίπου 375 kmh και φτάνει τα 100 kmh σε δύο δευτερόλεπτα. Αν γίνει σύγκριση των δύο μονοθεσίων μεταξύ τους, διαπιστώνετε εύκολα η τεράστια πρόοδο που έχει επιτευχθεί τόσο τεχνολογικά όσο και σε ζητήματα ασφάλειας των οδηγών. Ο υπερτροφοδοτούμενος σε σειρά οκτακύλινδρος κινητήρας 1,5 λίτρων της Alfetta απέδιδε 350 ίππους, ενώ ο υβριδικός κινητήρας V6 turbo 1,6 λίτρων της F1 αποδίδει περίπου 1000 ίππους παρόλο που είναι μόνο 100 κυβικά εκατοστά μεγαλύτερος και χρησιμοποιεί ένα κλάσμα του καυσίμου. Το μονοθέσιο του 1950 ζύγιζε 85 κιλά λιγότερο από τη σημερινή Alfa Romeo C42, που είναι περίπου 798 κιλά (Manishin, 2018).

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να γίνει αναφορά στο γεγονός ότι τα μονοθέσια εκείνης της εποχής είχαν τον κινητήρα μπροστά. Το πρώτο μονοθέσιο με τον κινητήρα πίσω από τον



οδηγό εμφανίστηκε το 1955 και αμέσως έγιναν αντιληπτά τα οφέλη της αναδιαμορφωμένης διάταξης. Μείωσε το βάρος του μονοθεσίου, μειώνοντας την απόσταση που χρειάζονταν τα στοιχεία του συστήματος μετάδοσης κίνησης για να φτάσουν στον πίσω άξονα, όπως απαιτείται σε μηχανές με μπροστινό κινητήρα και κίνηση στους πίσω τροχούς.

Επιπλέον τα αυτοκίνητα ήταν πιο ευέλικτα καθώς το μεγαλύτερο μέρος του βάρους διατηρήθηκε εντός του μεταξονίου. Τέλος, τα αυτοκίνητα με οπίσθιο (ή, μάλλον, μεσαίο) κινητήρα ήταν πιο αποτελεσματικά στη βελτίωση της αεροδυναμικής χάρη στη μικρότερη μετωπική τους επιφάνεια.

Ακολουθώντας το σχεδιασμό αυτό, η Cooper εξέλιξε το T43 και δημιούργησε το T51 το οποίο οδηγούμενο από τον Jack Brabham αποδείχθηκε ιδιαίτερα ανταγωνιστικό βοηθώντας τον να κατακτήσει το πρωτάθλημα των οδηγών (Kew, 2022).



Εικόνα 2 Cooper T51 (Kew, 2022)

Ένα άλλο σημαντικό βήμα στην ιστορία της Formula 1 έγινε το 1962 όταν εμφανίστηκε το ενιαίο αμάξωμα (monocoque chassis) από τον Colin Chapman, ιδρυτή της Lotus, με το αυτοκίνητο Type 25. Ο Chapman δημιούργησε ένα ενιαίο πλαίσιο (σαν μπανιέρα) και στη συνέχεια τοποθέτησε τα εξαρτήματα. Τα πλεονεκτήματα ήταν η σημαντική αύξηση στην ακαμψία. Αυτό επέτρεψε να αφαιρεθεί μέρος της ακαμψίας από το στήσιμο της

ανάρτησης, ανοίγοντας το δρόμο για τη Lotus 25 να είναι πιο ευγενική με τα ελαστικά της. Μείωσε επίσης την μετωπική περιοχή του αυτοκινήτου, οπότε μειώθηκε και το επίπεδο της αντίστασης.



Εικόνα 3 Lotus 25 (Kew, 2022)

Ένας σημαντικός σταθμός της ιστορίας ήταν η χρήση εμπρός και πίσω φτερών στα μονοθέσια. Το 1968, ο Chapman στην Lotus 48B χρησιμοποίησε το πίσω φτερό για να πιέσει το αυτοκίνητο στο δρόμο. Αργότερα, το ίδιο έτος, στον αγώνα του Βελγίου, άλλες δύο ομάδες πρόσθεσαν πίσω φτερό, η Brabham και η Ferrari. Ωστόσο οι κινήσεις αυτές δε γίνονταν πάντα με απόλυτη ασφάλεια, με αποτέλεσμα το 1969 στο ισπανικό GP οι Graham Hill και Jochen Rindt, επιβίωσαν μετά από σημαντικά ατυχήματα που είχαν.



**Εικόνα 4 Η στιγμή που το πίσω φτερό της Lotus 49B του Jochen Rindt απέτυχε, στο Ισπανικό Grand Prix του 1969 (imgur, n.a)**

Η FIA θέλοντας να μειώσει τον κίνδυνο, όρισε κανόνες για το πίσω φτερό δημιουργώντας χαμηλότερα φτερά, τα οποία χρησιμοποιούνται από όλους τους διαγωνιζόμενους στη F1 και σε ολόκληρο τον μηχανοκίνητο αθλητισμό. Κατά τη διάρκεια του μισού αιώνα που μεσολάβησε, η πολυπλοκότητα αυξήθηκε πάρα πολύ, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν τα μπροστινά φτερά πολλαπλών στοιχείων, την προσθήκη του βοηθήματος προσπέρασης DRS στο πίσω μέρος κ.α.

Ο μηχανοκίνητος αθλητισμός και η αεροδιαστημική βιομηχανία ενώθηκαν πριν από τη σεζόν του 1981 με τη δημιουργία της McLaren MP4/1 – φημισμένη ως η πρώτη μηχανή Grand Prix που κατασκευάστηκε εξ ολοκλήρου από ανθρακονήματα. Τα ανθρακονήματα είναι πολύ ισχυρότερα και ελαφρύτερα από το αλουμίνιο του αρχικού σχεδίου του Colin Chapman, το οποίο αντικατέστησαν. Ωστόσο, υπήρχαν φόβοι από αρκετούς για το πώς θα συμπεριφερόταν το αυτοκίνητο σε μια σύγκρουση. Αυτός ο μύθος καταρρίφθηκε στο ιταλικό GP στη Monza, όταν ο John Watson βγήκε αλώβητος από ένα μεγάλο τρακάρισμα στη δεύτερη στροφή.



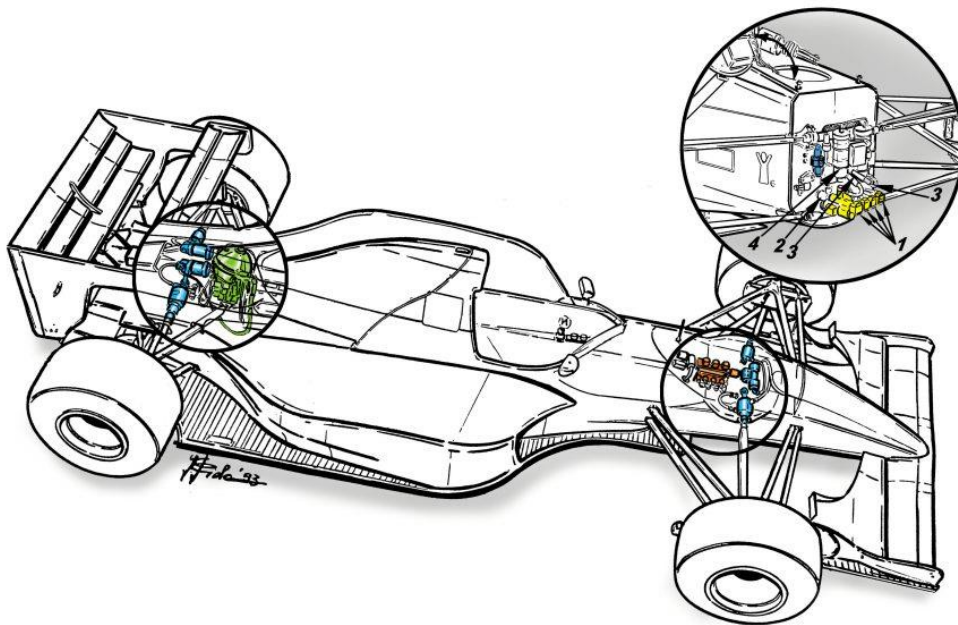
**Εικόνα 5 Η McLaren MP4/1 (Kew, 2022)**

Το 1989 εισήχθη από τη Ferrari το πρώτο ημιαυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων. Η ισχύς των κινητήρων αυξανόταν συνεχώς τις δεκαετίες του 1970 και 1980, με αποτέλεσμα τα κιβώτια ταχυτήτων να γίνουν μια από τις κύριες πηγές αναξιοπιστίας στον μηχανοκίνητο αθλητισμό. Ο επικεφαλής σχεδιαστής της Ferrari, John Barnard, εργάστηκε για να εξαλείψει τα προβλήματα με την έλευση της ημιαυτόματης αλλαγής. Ήθελε να μειωθεί η καταπόνηση που αντιμετώπιζε το κιβώτιο ταχυτήτων μειώνοντας την πιθανότητα υπερστροφής και διασφαλίζοντας ότι το φορτίο από τη μία αλλαγή στην άλλη ήταν πιο σταθερό. Η Ferrari 640, με οδηγό τον Nigel Mansell κέρδισε το GP Βραζιλίας με ημιαυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων (Kew, 2022).



Εικόνα 6 Η Ferrari 640 (Kew, 2022)

Το 1994 ο Alain Prost κέρδισε το τέταρτο παγκόσμιο πρωτάθλημα με το μονοθέσιο FW15C της Williams-Renault. Το αυτοκίνητο αυτό ήταν το απόλυτο μονοθέσιο ηλεκτρονικών βοηθημάτων πριν απαγορευτεί το μεγαλύτερο μέρος της τεχνολογίας για το 1994 και μετά. Διέθετε ενεργή οδήγηση, έλεγχο πρόσφυσης, πέδηση ABS, ρυθμίσεις που μπορούσε να ρυθμίσει ο οδηγός μεταξύ των στροφών της πίστας.



Εικόνα 7 Διάγραμμα που δείχνει το σύστημα ABS του FW15C (Hughes & Piola, 2018)

Ο οδηγός μπορούσε επίσης να επιλέξει μεταξύ χειροκίνητης και αυτόματης αλλαγής



ταχύτητων. Η εναλλαγή στο χειροκίνητο σύστημα γινόταν αυτόματα, μόλις ο οδηγός άγγιζε τα χειριστήρια. Στο προηγούμενο μοντέλο (FW14B), ο οδηγός μπορούσε να επιλέξει τη γωνία κλίσης του μονοθεσίου ρυθμίζοντας το μπροστινό ύψος οδήγησης μέσω μιας λαβής. Η ιδανική γωνία κλίσης ήταν διαφορετική ανάλογα με την ταχύτητα της στροφής. Στην FW15C, το χαρακτηριστικό αυτό, ήταν αυτοματοποιημένο, επομένως το μονοθέσιο άλλαζε συνεχώς τη διάταξή του.

Επιπλέον διέθετε μια συγκεκριμένη δυνατότητα η οποία μπορούσε να ενεργοποιηθεί με το πάτημα ενός κουμπιού στο τιμόνι του οδηγού και τότε χαμήλωνε το πίσω μέρος του αυτοκινήτου και σταματούσε τον διαχύτη, με αποτέλεσμα να μειώνει αρκετά την αντίσταση του αυτοκινήτου. Αυτό ενσωματώθηκε μέσω του λογισμικού για να δώσει στον κινητήρα επιπλέον 300 rpm όταν χρησιμοποιείται. Ουσιαστικά ήταν ένα κουμπί «push-to-pass» (Hughes & Piola, 2018).

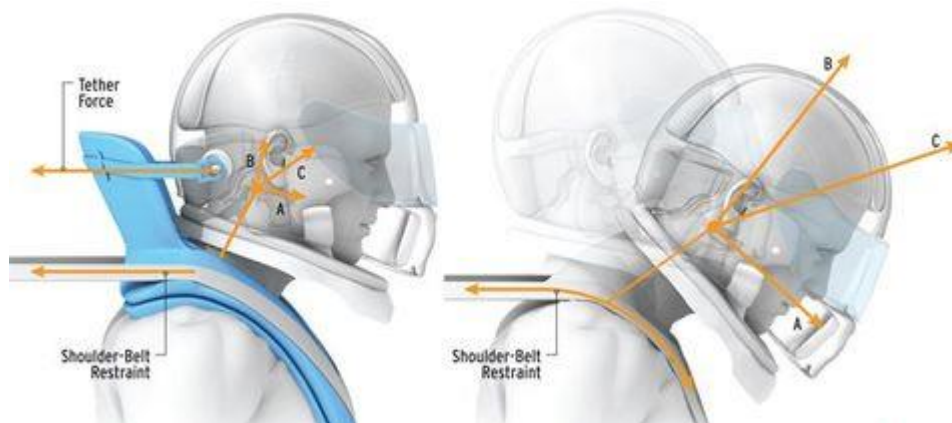


**Εικόνα 8 Το FW15C της Williams-Renault (Hughes & Piola, 2018)**

Οι αγώνες όμως της Formula 1 για να είναι ενδιαφέροντες πρέπει να αναδεικνύουν τις ικανότητες των οδηγών και την στρατηγική των ομάδων, η οποία πρέπει να είναι δυναμική. Έχοντας όμως ο οδηγός διαθέσιμες όλες αυτές τις δυνατότητες και τις αυτοματοποιήσεις, δεν είχε να αντιμετωπίσει μπλοκάρισμα τροχών ή ανισορροπία στα φρένα. Η συμμετοχή του οδηγού περιοριζόταν στον αγώνα κυρίως στο πάτημα του

πεντάλ του γκαζιού, ενώ η στρατηγική των ομάδων δεν ήταν δυναμική. Όλα αυτά οδηγούσαν στη μείωση του ενδιαφέροντος του κοινού για τους αγώνες. Για το λόγο αυτό η FIA αποφάσισε να σταματήσει τη χρήση των αυτοματοποιήσεων στα μονοθέσια, έτσι ώστε να αναδειχθεί η ικανότητα του οδηγού και των ομάδων. Ταυτόχρονα, με τη μείωση χρήσης των ηλεκτρονικών βοηθημάτων μειωνόταν το κόστος των μονοθεσίων.

Το Grand Prix του Σαν Μαρίνο το 1994 είναι μια μαύρη σελίδα στην ιστορία της Formula 1, το οποίο όμως έφερε μια σειρά από σημαντικές αλλαγές με στόχο την ασφάλεια τόσο των οδηγών όσο και των θεατών. Δύο ξεχωριστά ατυχήματα οδήγησαν στο θάνατο δύο οδηγούς τον Roland Ratzenberger και τον Ayrton Senna. Επίσης ο Rubens Barrichello προσέκρουσε σε ένα φράχτη με αποτέλεσμα να μείνει αναισθητός, ενώ σε μια σύγκρουση στη γραμμή εκκίνησης τα συντρίμια έπεσαν βροχή στους θεατές στην κερκίδα, τραυματίζοντας αρκετούς. Ο θάνατος του Ratzenberger, μετά από πρόσκρουση υψηλής ενέργειας κατά τη διάρκεια των προκριματικών, αποδόθηκε σε κάταγμα βασικού κρανίου. Ο θάνατός του οδήγησε στην υιοθέτηση του συστήματος Head And Neck Support (HANS) και εν συνεχεία στην υποχρεωτική του χρήση.

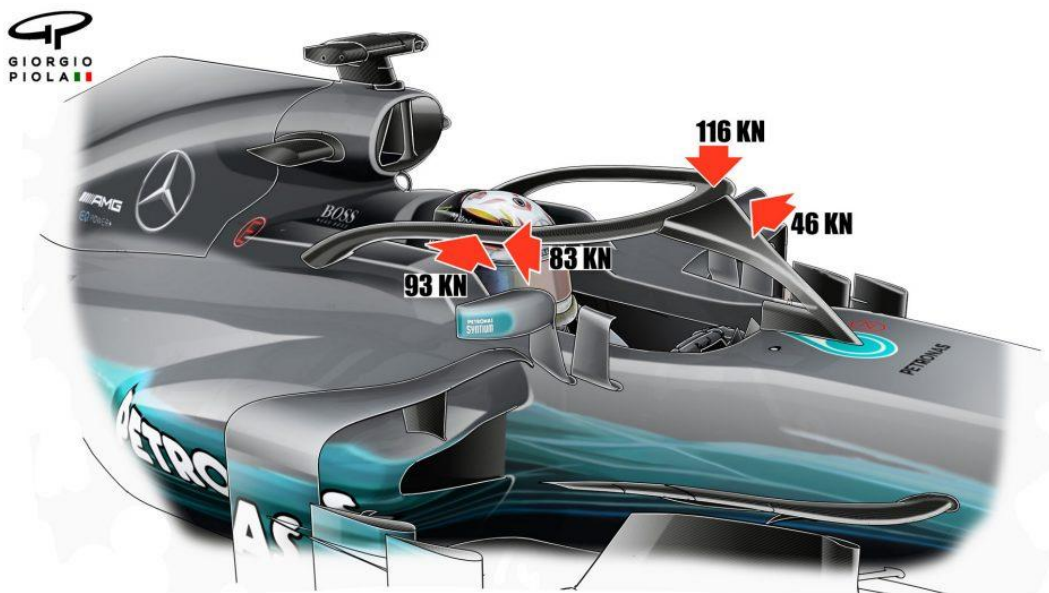


**Εικόνα 9** Λειτουργία του συστήματος Head And Neck Support (Sherman, 2012)

Ταυτόχρονα έγιναν μια σειρά από μικρότερες παρεμβάσεις στα μονοθέσια, όπως για παράδειγμα την τοποθέτηση μίας σανίδας στο πάτωμα, με αποτέλεσμα να πρέπει να ανυψωθεί όλο το μονοθέσιο, καθώς και διάφορες προσπάθειες για να μειώσουν την ισχύ των μονοθεσίων. Παράλληλα ξεκίνησαν και οι εργασίες στα δευτερεύοντα συστήματα ασφαλείας, όπου οι δοκιμές πρόσκρουσης γίνονταν πιο αυστηρές χρόνο με το χρόνο. Για

την αποφυγή της χαλάρωσης των τροχών μετά από πρόσκρουση, προστέθηκε η πρόσδεσή τους. Έγιναν διάφορες μελέτες για τη μείωση του ύψους του μπροστινού φτερού και της μύτης του μονοθεσίου ώστε να αποφευχθούν περιστατικά εκτόξευσης (Youson, 2019).

Έχοντας διαπιστώσει ότι θα έπρεπε να υπάρχει κάποια μορφή προστασίας στο πιλοτήριο από αναπηδήσεις τροχών ή εισβολή εξαρτημάτων από άλλα αυτοκίνητα σε μια σύγκρουση, ξεκίνησαν μελέτες και παράλληλες εργασίες. Η Red Bull εργάστηκε σε ένα κουβούκλιο του πιλοτηρίου που μοιάζει με αεροσκάφος, οπτικά παρόμοιο με αυτό που παρουσιάστηκε αργότερα στο Indycar. Αλλά ήταν η Mercedes που σκέφτηκε αυτό που έγινε γνωστό ως HALO – παρουσιάζοντάς το 2015. Το 2018 εφαρμόστηκε το HALO, στα μονοθέσια της Formula 1 σώζοντας πιθανότατα τις ζωές των Charles Leclerc (στο Spa το 2018), Romain Grosjean (Μπαχρέιν το 2020), Valtteri Bottas (στην Imola το 2021) καθώς και του Lewis Hamilton στη Monza το 2021 (Hughes & Piola, 2021).



Εικόνα 10 Το Halo και οι αντοχή του σε δυνάμεις (Formula 1, 2018)



## **Κεφάλαιο 2**

### **Η επικοινωνία του οδηγού με την ομάδα του πριν την ECU και την τηλεμετρία**

#### **2.1 Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί το πώς γινόταν η επικοινωνία των οδηγών με την ομάδα υποστήριξης και τους μηχανικούς πριν την εφαρμογή της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου και της τηλεμετρίας.

#### **2.2 Επικοινωνία οδηγού και ομάδας υποστήριξης**

Όταν ξεκίνησε το Παγκόσμιο Πρωτάθλημα της Formula 1, δεν υπήρχε η τηλεμετρία για τη μεταφορά των δεδομένων από το αυτοκίνητο προς την ομάδα υποστήριξης και τους μηχανικούς. Στην πραγματικότητα μόλις τον προηγούμενο χρόνο είχε εφευρεθεί ο πρώτος προγραμματιζόμενος υπολογιστής στο πανεπιστήμιο Cambridge. Εξαιτίας της πρωτόγονης φύσης της τεχνολογίας, καταλάμβανε τον ίδιο χώρο δαπέδου με δύο σύγχρονα αυτοκίνητα της Formula 1, και χρειάστηκαν πολλές ώρες μόνο για την εισαγωγή ενός απλού προγράμματος.

Μέχρι και τη δεκαετία του 1960, τα μονοθέσια της Formula 1 παρέμειναν εντελώς μηχανικές κατασκευές και ο οδηγός ήταν το βασικό όργανο για την ανάλυση και την κατανόηση της απόδοσης του μονοθεσίου. Οι οδηγοί αναλάμβαναν να μεταφέρουν τις εμπειρίες από την οδήγηση στους μηχανικούς τους. Αν οι οδηγοί ήταν και καλοί μηχανικοί τότε αντιλαμβανόμενοι το πώς αντιδρούσε το μονοθέσιο, μπορούσαν να προτείνουν αλλαγές για να βελτιώσουν το στήσιμο του μονοθεσίου και το χρόνο τους. Όμως ένα απλό λάθος του οδηγού ή η αδυναμία του να καταλάβει τι του «έλεγε» το μονοθέσιο, θα μπορούσε εύκολα να τον οδηγήσει σε αποχώρηση. Για παράδειγμα, στο Γκραν Πρι του Μονακό του 1967, ο Bruce McLaren αντιμετώπισε μια αστοχία που λανθασμένα νόμιζε ότι προκλήθηκε από χαμηλή κατανάλωση καυσίμου. Το λάθος του

επισημάνθηκε στα pit από τον Jack Brabham, και επέστρεψε στον αγώνα, τερματίζοντας τελικά τέταρτος (McLaren, 2016).

Ο Pat Symonds μηχανικός στην Toleman, αναφέρει ότι η έλλειψη τεχνολογικής ανάδρασης σήμαινε ότι η δουλειά του οδηγού εκείνη την εποχή ήταν πολύ πιο δύσκολη από ότι είναι τώρα. Ο οδηγός ήταν άμεσα εμπλεκόμενος στην εξέλιξη και βελτίωση του αυτοκινήτου, εφόσον έπρεπε να μεταφέρει την εμπειρία του στους μηχανικούς του. Ο Ayrton Senna, ήταν ένας από τους οδηγούς που εκτός από την εξαιρετική οδηγική του ικανότητα, μπορούσε να κατανοεί ό,τι συνέβαινε στο μονοθέσιο και να το μεταφέρει στους μηχανικούς του (Farrell, 2022).

Ο Steve Hallam, μηχανικός του Ayrton Senna, τόσο στη Lotus όσο και στη McLaren, αναφέρει ότι ο Senna ήθελε να έχει άριστη γνώση του μονοθεσίου του. Γνώριζε ότι δεν ήταν μηχανικός, αλλά ήθελε να καταλάβει πώς λειτουργούσαν όλα στο μονοθέσιό του για να μπορέσει να επικοινωνήσει πιο αποτελεσματικά με τους μηχανικούς. Πριν τη χρήση συστημάτων απόκτησης δεδομένων, μπορούσε εύκολα να ανακαλέσει όλους τους αριθμούς από τους μετρητές, να συζητήσει τη συμπεριφορά του μονοθεσίου σε διάφορα μέρη της πίστας, προτείνοντας βελτιώσεις για ταχύτερους γύρους. Όπως αναφέρει ο Hallam «είχε την αξιοσημείωτη ικανότητα να βρει τι έπρεπε να κάνει για να μας βοηθήσει» (auto123.com, n.a.).



**Εικόνα 11: Ο Steve Hallam με τον Ayrton Senna (auto123.com, n.a.)**

Εκτός όμως από τον Senna, υπήρχαν και άλλοι οδηγοί οι οποίοι μετέφεραν στους μηχανικούς την εμπειρία της οδήγησής τους και συζητούσαν μαζί τους για τις βελτιώσεις των μονοθεσίων τους. Ο Michael Schumacher είχε ζητήσει από τους μηχανικούς του στη Benetton, όταν ακόμα ήταν νέος οδηγός, να τοποθετήσουν στο αυτοκίνητό του ταχύμετρα αντί για μόνο στροφόμετρα που διέθεταν μέχρι τότε. Ήθελε να γνωρίζει πώς η σχέση που είχε στο κιβώτιο, επηρεάζει την τελική του ταχύτητα στις εξόδους των στροφών. Οι μηχανικοί του, τοποθέτησαν το ταχύμετρο, αλλά μετά από μερικούς γύρους στην πίστα ο Schumacher ζήτησε την τοποθέτηση δύο επιπλέον ταχύμετρων. Στη μέση το ταχύμετρο θα έδειχνε την τρέχουσα ταχύτητά του, το ταχύμετρο στα αριστερά θα έδειχνε την ελάχιστη ταχύτητά του σε μια στροφή και το ταχύμετρο στα δεξιά θα έδειχνε τη μέγιστη ταχύτητα που είχε φτάσει (Dale, 2015).

Όταν ο Schumacher μεταπήδησε στη Ferrari, συνέχισε να εργάζεται σκληρά, δίνοντας πληροφορίες στους μηχανικούς του. Σύμφωνα με το δημοσιογράφο Richard Williams, όταν όλοι οι άλλοι μηχανικοί και το προσωπικό της πίστας είχαν αποχωρήσει, ο Schumacher παρέμενε μαζί με τους μηχανικούς του, συζητώντας και προσπαθώντας να λύσουν τα προβλήματα που είχε εντοπίσει (Kammertöns, Nöcker, Wech, 2021).

Ακόμα όμως και σήμερα, όπου βρισκόμαστε σε μια τεχνολογική εποχή στο άθλημα, με σύνολα δεδομένων μεγαλύτερα από ποτέ, η ανατροφοδότηση του οδηγού εξακολουθεί να είναι πάρα πολύ σημαντική. Γιατί παρότι οι καταγραφείς των δεδομένων παρέχουν πολλές πληροφορίες για όλα όσα κάνει το μονοθέσιο. Δε δίνουν όμως, πληροφορίες για τις αντιδράσεις του οδηγού οι οποίες επηρεάζουν το μονοθέσιο. Όπως αναφέρει ο Adrian Newey, επικεφαλής τεχνικός διευθυντής της ομάδας Red Bull Racing, ο Max Verstappen θα περιγράψει ακριβώς πώς αισθάνεται το αυτοκίνητο, δίνοντας στον μηχανικό του όλη την απαραίτητη βοήθεια για να πάρει τις κατάλληλες αποφάσεις (Motorlat, 2022).

# Κεφάλαιο 3

## ECU

### 3.1 Εισαγωγή

Στις 26 Μαΐου του 2006 η FIA δημοσίευσε μια πρόσκληση σε διαγωνισμό για εξεύρεση κατασκευαστή/προμηθευτή για μονάδες ECU. Ο ανάδοχος θα έπρεπε να διασφαλίσει την παραγωγή και την παράδοση όλων των μονάδων ελέγχου κινητήρα (ECU) για όλους τους συμμετέχοντες στους γύρους του 2008, 2009 και 2010 του Παγκόσμιου Πρωταθλήματος της FIA Formula 1 (FIA, 2006).

### 3.2 Τί είναι η ECU

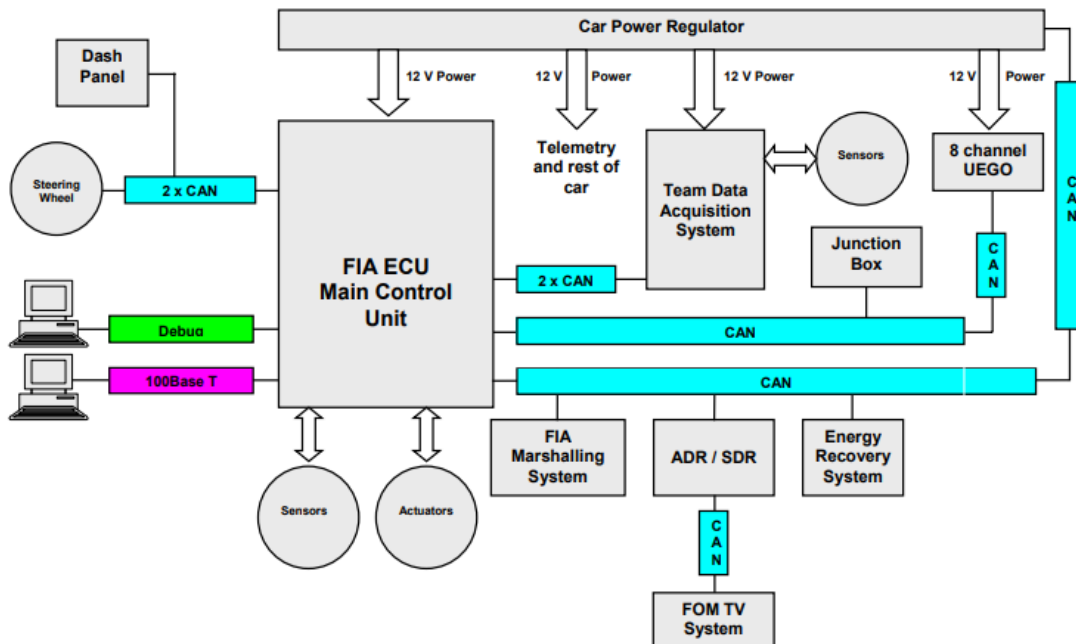
Τί περιλάμβανε όμως η μονάδα ελέγχου κινητήρα; Σύμφωνα με τη FIA (2006) ο προμηθευτής/κατασκευαστής θα έπρεπε να παρέχει ECU που να περιλαμβάνουν τουλάχιστον:

- Ελεγκτή για:
  - 8 κύλινδρο κινητήρα, με μονό μπεκ και μπουζί ανά κύλινδρο, ενεργοποιητή γκαζιού, πίεση αέρα πνευματικής βαλβίδας, αισθητήρες λάμδα και αντλίες καυσίμου.
  - Ημιαυτόματο διαδοχικό κιβώτιο ταχυτήτων 7 ταχυτήτων και υδραυλικό συμπλέκτη άνθρακα πολλαπλών δίσκων.
  - Ένα υδραυλικό διαφορικό.
  - Σύστημα ανάκτησης ενέργειας.
  - Μια σειρά από προγράμματα οδήγησης ψηφιακής εξόδου, όπως: κάλυμμα καταπακτής καυσίμου, ταχύτητα όπισθεν, λυχνία βροχής.
- Τιμόνι με ηλεκτρονικές επιλογές για εναλλαγή μεταξύ οθονών και δεδομένων.
- Προαιρετικά, πίνακας διακοπών στο τιμόνι.
- Έναν ρυθμιστή τάσης για τη διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας του αυτοκινήτου.

Ο κατασκευαστής αναλάμβανε την υποχρέωση να παρέχει στη FIA δύο μονάδες ECU, το αργότερο μέχρι την 29<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου του 2006 και σε όλες τις ομάδες μια μονάδα ECU, το αργότερο μέχρι την 9<sup>η</sup> Μαρτίου 2007 για δοκιμές. Στη συνέχεια, η FIA αλλά και οι ομάδες θα κατέθεταν τις απόψεις τους στον κατασκευαστή, τις οποίες θα έπρεπε να λάβει υπόψη του. Την 1<sup>η</sup> Οκτωβρίου του 2007 θα διέθετε στις ομάδες για αγορά τρεις μονάδες ECU ανά ομάδα και άλλες τρεις μονάδες στις 16 Νοεμβρίου του ίδιο χρόνου.

Στις προδιαγραφές του διαγωνισμού γινόταν ρητή αναφορά για:

- Τον τρόπο εγκατάστασης με χρήση αντικραδασμικών βάσεων.
- Το υλικό κατασκευής της θήκης,
- Τις θερμοκρασίες αποθήκευσης και λειτουργίας,
- Τον τρόπο διασύνδεσης,
- Την αντοχή σε δονήσεις για συγκεκριμένες συχνότητες και επιταχύνσεις,
- Ηλεκτρικές παροχές
- Να παρέχει διασύνδεση με τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ελέγχου των μονοθεσίων της Formula 1. Επιπλέον, οι αισθητήρες που απαιτούνται για την παροχή προειδοποιήσεων, συναγερμών ή άλλων ενδείξεων στον οδηγό, μέσω της οθόνης του τιμονιού στο πιλοτήριο, πρέπει να συνδέονται με την ECU. Αυτό συμβαίνει επειδή είναι η μόνη συσκευή που μπορεί να επικοινωνεί με την οθόνη. Να καθορίζονται αναλυτικά οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές με τους οποίους έπρεπε να επικοινωνεί καθώς και ο τύπος τους.
- Να περιλαμβάνει εσωτερικά ενσωματωμένες ή εξωτερικές διεπαφές για καταγραφή συγκεκριμένων σημάτων κατά τη διάρκεια του αγώνα. Οι αισθητήρες καταγραφής θα μπορούσαν να επιλεγθούν από τις ομάδες. Οι αισθητήρες συνέλλεγαν διάφορα δεδομένα όπως φθορά και θερμοκρασία των φρένων, πίεση και θερμοκρασία ελαστικών, θερμοκρασία λαδιού του κιβωτίου ταχυτήτων κ.α.



Εικόνα 12 Κύριες εξωτερικές συνδέσεις με την ECU (FIA, 2006)

Όσον αφορά την επικοινωνία, η ECU θα έπρεπε να υποστηρίζει:

- Διαύλους CAN 2.0 για την επικοινωνία των υπόλοιπων συστημάτων (το σύστημα απόκτησης δεδομένων της ομάδας, το σύστημα καταγραφής δεδομένων ατυχήματος κ.α.).
- Επικοινωνία με τους υπολογιστές των ομάδων στα pit για λήψη καταγεγραμμένων δεδομένων, μεταφορά παραμέτρων ρύθμισης και βαθμονόμησης της ECU κ.α.
- Δύο διάλογοι επικοινωνίας CAN για την αποστολή πληροφοριών από την ECU στο τιμόνι.

Στην ίδια πρόσκληση γινόταν και μια γενική προδιαγραφή απαίτησης για το λογισμικό που πρέπει να εκτελείται στην ECU και στο σχετικό σύστημα στα pit. Η ECU έπρεπε να παρέχει λογισμικό με τους κατάλληλους αλγόριθμους ελέγχου που θα εκτελούνταν σε πραγματικό χρόνο και θα διασυνδέονταν μέσω ηλεκτρονικών εισόδων/εξόδων για τον έλεγχο των υδρομηχανικών συστημάτων του αυτοκινήτου. Ο κώδικας της εφαρμογής που θα περιείχε τους αλγόριθμους αυτούς, θα έπρεπε να γραφεί χρησιμοποιώντας εργαλεία δημιουργίας γραφικού κώδικα (όπως το Simulink και το Stateflow). Επίσης, θα

έπρεπε να δοθεί στις ομάδες με την άδεια open-source, έτσι ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη διαφάνεια και κατανόηση από τις ομάδες για τον τρόπο λειτουργίας του λογισμικού και πώς θα ενεργήσει αυτό σαν μέρος των συστημάτων ελέγχου.

Το συμβόλαιο για την ECU το κέρδισε η McLaren Applied, διαφορετική εταιρεία από τη McLaren Racing, η οποία λειτουργεί από το 1993 και παρέχει πλήρη συστήματα ελέγχου στη F1. Η McLaren Applied, από το 2000, θέλοντας να κάνει την ανάπτυξη του λογισμικού εφαρμογών πιο γρήγορη, προχώρησε σε έναν διαφορετικό τρόπο δημιουργίας λογισμικού βασιζόμενη σε εργαλεία δημιουργίας γραφικού κώδικα. Ο τρόπος αυτός προσέφερε μια σειρά από πλεονεκτήματα, όπως απλούστευση στην παραγωγή του, στην μετεγκατάστασή του καθώς και στην μοντελοποίησή του. Βέβαια είχε κάποια μειονεκτήματα, με βασικότερο το γεγονός ότι ήταν αρκετά μεγαλύτερος σε σύγκριση με τον παραδοσιακό τρόπο ανάπτυξης. Το εργαλείο γραφικής ανάπτυξης είναι το Matlab Simulink (Bush, 2012).

Οι ECU παραδόθηκαν σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα που είχε ζητήσει η FIA και η απόδοσή τους ήταν άψογη. Οπότε το αρχικό τριετές συμβόλαιο επεκτάθηκε για άλλα δύο χρόνια (McLaren Applied). Το 2009 η μονάδα ECU ονομαζόταν TAG-310B η οποία μπορούσε να ελέγξει και να παρακολουθήσει μηχανή δέκα κυλίνδρων, με ημιαυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων και σύνδεση συμπλέκτη και γκάζι με καλώδιο (McLaren Applied, 2009).



**Εικόνα 13 TAG-310B (McLaren Applied, 2009)**

Το 2011 έκανε την εμφάνισή της η νέα μονάδα TAG-320, η οποία προσέφερε μια σειρά από χαρακτηριστικά όπως:

- Η εφαρμογή διαθέτει ισχύ επεξεργασίας 4000 MIPS.
- Πολύ χαμηλή καθυστέρηση και δειγματοληψία εισόδου υψηλής συχνότητας.
- Ψηφιακό φιλτράρισμα σε όλες τις αναλογικές εισόδους.
- Μνήμη καταγραφής δεδομένων 8GB flash.
- Καταγραφή 1250 παραμέτρων.
- Σύνδεση Ethernet σε εφαρμογές και εργαλεία ανάλυσης δεδομένων (System Monitor και ATLAS) (McLaren Applied, 2011).



**Εικόνα 14 TAG-320 (McLaren Applied, 2011)**

Η McLaren Applied κέρδισε πάλι τον διαγωνισμό για ένα σύστημα που κάλυπτε τις αγωνιστικές σεζόν 2013 έως 2015, το οποίο έπρεπε να υποστηρίξει τους κινητήρες V8 το 2013 και στη συνέχεια να προσαρμοστεί, μέσω λογισμικού, για να λειτουργήσει με τις νέες υπερτροφοδοτούμενες παράλληλες υβριδικές μονάδες ισχύος GDI το 2014.

Για το 2019, κυκλοφόρησε η νέα έκδοση ECU TAG-320B με βελτιωμένα πολλά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα το πλήθος των παραμέτρων που μπορεί να παρακολουθήσει που έφτασε πλέον τις 1500 (McLaren Applied).



Για το 2023 η FIA έχει δώσει νέες προδιαγραφές για την ECU, η οποία ονομάζεται πλέον SECU (Standard Electronic Control Unit). Οι βασικές προδιαγραφές παραμένουν αναλλοίωτες, έχουν προστεθεί όμως προδιαγραφές για να διασφαλίζουν ότι τα μονοθέσια λειτουργούν με ασφάλεια, αξιοπιστία και σύμφωνα με τους ισχύοντες κανόνες ανά πάσα στιγμή. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να υπάρχει διασύνδεση της SECU με τα συστήματα ασφαλείας αυτοκινήτου της FIA, συμπεριλαμβανομένου του Συστήματος Καταγραφής Δεδομένων Ατυχήματος (ADR) και του Συστήματος Marshalling (F1MS), καθώς και των βοηθητικών τους συσκευών. Επίσης θα πρέπει να δοθεί η δυνατότητα και η γνώση στους τεχνικούς αντιπροσώπους της FIA να αξιολογήσουν τη συμμόρφωση των ανταγωνιστών με τους τεχνικούς και αθλητικούς κανονισμούς της Formula 1.

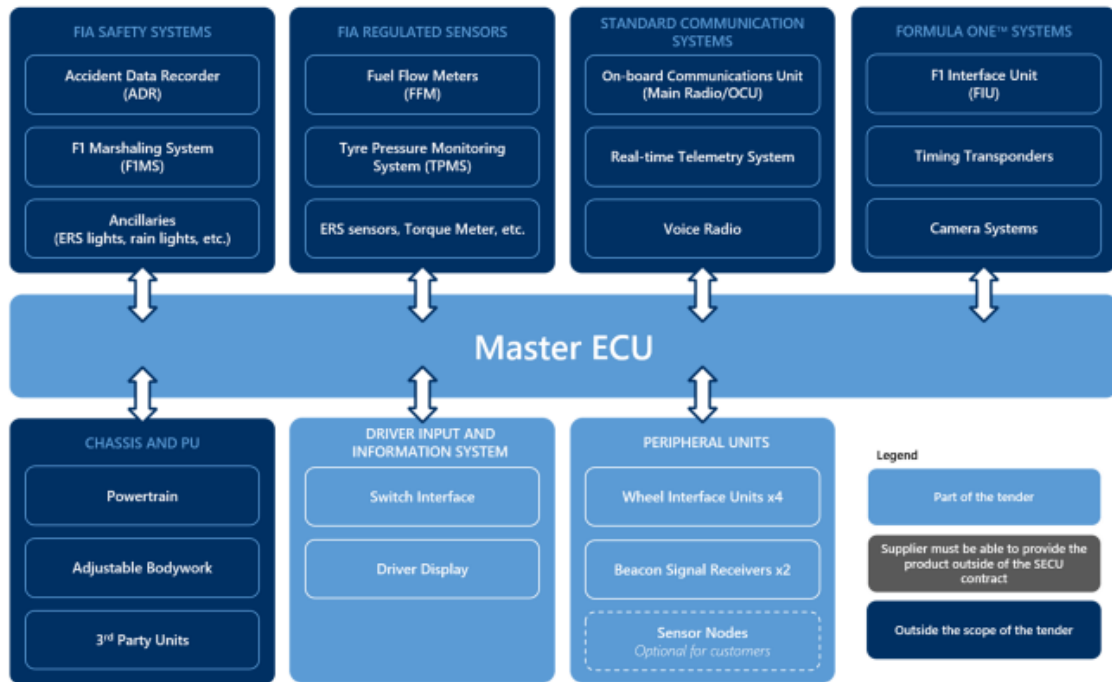
Η SECU απαιτείται κυρίως για τον έλεγχο της υβριδικής μονάδας ισχύος, του κιβωτίου ταχυτήτων, του συμπλέκτη και του διαφορικού που αποτελούν τα τρέχοντα κινητήρια σύνολα F1, καθώς και για το ρυθμιζόμενο αμάξωμα, το σύστημα πέδησης και το σύστημα παρακολούθησης ελαστικών του αυτοκινήτου.

Η ανανεωμένη ψηφιακή αρχιτεκτονική θα πρέπει να εγγυάται την ομαλή ενοποίηση με το τρέχον υλικό και λογισμικό εκτός μονοθεσίου των ομάδων, των προμηθευτών μονάδων ισχύος και της FIA, διατηρώντας ή βελτιώνοντας το τρέχον επίπεδο προστασίας δεδομένων.

Η SECU περιλαμβάνει τα ακόλουθα εξαρτήματα υλικού στο αυτοκίνητο:

- Κύρια μονάδα ηλεκτρονικού ελέγχου (Master ECU), που περιλαμβάνει ενσωματωμένο λογισμικό ελέγχου και πόρους υλικού και ένα διαμορφώσιμο καταγραφικό δεδομένων.
- Σύστημα εισαγωγής και πληροφοριών προγράμματος οδήγησης, που περιλαμβάνει διεπαφή διακόπτη και οθόνη προγράμματος οδήγησης (οθόνη + LED).
- Ένα σύνολο περιφερειακών μονάδων που περιλαμβάνει δέκτες σήματος φάρου, μονάδες διεπαφής τροχού και προαιρετικούς κόμβους αισθητήρων.

Η ηλεκτρονική αρχιτεκτονική του αυτοκινήτου δομείται φυσικά γύρω από το Master ECU όπως περιγράφεται στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 15 Ηλεκτρονική αρχιτεκτονική αυτοκινήτου F1 και Master ECU (FIA, 2022b)

Τα βασικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να υποστηρίζει η διαλειτουργικότητα με τα περιφερειακά συστήματα της Master ECU.

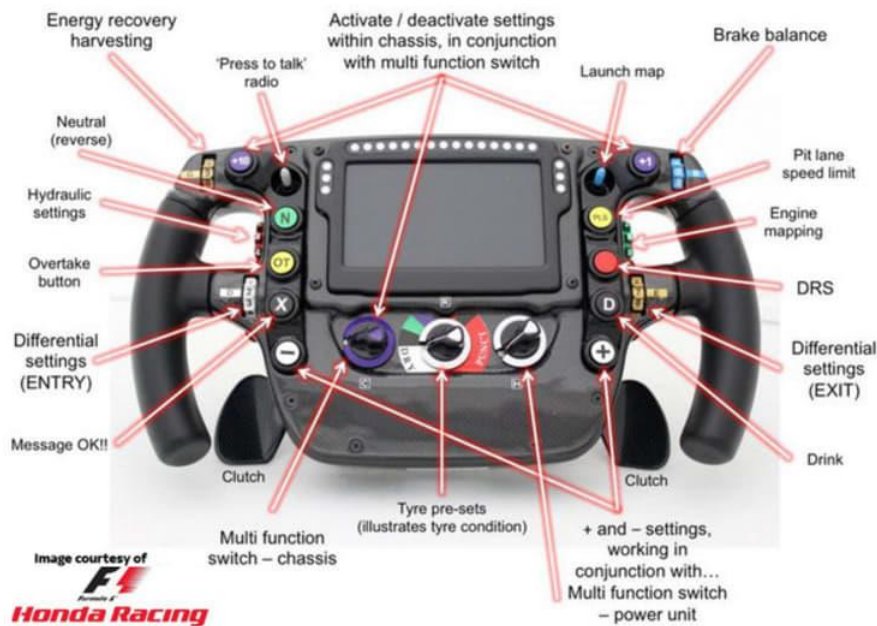
- **Συστήματα Ασφαλείας FIA: ADR και FIMS:**
  - Η SECU θα παρέχει έναν μηχανισμό για τη διαμόρφωση ενός συνόλου αποκλειστικών γραμμών CAN για τη σύνδεση της κύριας ECU με το ADR, το FIMS και τα βοηθητικά εξαρτήματά τους,
  - Τα μηνύματα CAN προς τη μονάδα ADR και FIMS θα ενεργοποιούνται μόνο με εντολή της FIA,
  - Όλα τα μηνύματα επικοινωνίας προς και από τα συστήματα ασφαλείας της FIA θα πρέπει να επικυρώνονται χρησιμοποιώντας μέθοδο εγκεκριμένη από τη FIA.
- **Αισθητήρες ελέγχου FIA: μπορεί να περιλαμβάνουν (όχι όμως υποχρεωτικά) μετρητές ροής καυσίμου, αισθητήρες ERS, σύστημα μέτρησης πίεσης ελαστικών,**

αισθητήρες πίεσης φρένων, αισθητήρες θερμοκρασίας και μετρητές ροπής.

- Η SECU πρέπει να παρέχει μια διαμορφώσιμη διεπαφή προς και από τους συγκεκριμένους αισθητήρες. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει, χωρίς όμως να περιορίζει τις επιλογές, διάυλο επικοινωνίας, αναλογικές και ψηφιακές εισόδους και εξόδους κ.α.
- Οι επικοινωνίες προς και από επιλεγμένους αισθητήρες FIA θα πρέπει να πιστοποιούνται και σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι πλήρως κρυπτογραφημένες για προστασία, χρησιμοποιώντας μεθόδους που έχουν εγκριθεί από τη FIA.
- **Τυπικό σύστημα επικοινωνίας:** η SECU πρέπει να παρέχει μια διεπαφή επικοινωνίας προς και από το Τυπικό Σύστημα Επικοινωνίας. Αυτό περιλαμβάνει, ενδεικτικά, τις επικοινωνίες CAN και Arcanet προς και από τις μονάδες του Τυπικού Συστήματος Επικοινωνίας.
- **Συστήματα Formula One:** η SECU πρέπει να παρέχει μια διεπαφή επικοινωνίας προς και από τα συστήματα Formula One. Αυτό περιλαμβάνει, ενδεικτικά, την επικοινωνία CAN προς και από τη μονάδα διεπαφής F1 (FIU). Οι επικοινωνίες προς και από τα Συστήματα Formula One ενδέχεται να επαληθεύονται και σε ορισμένες περιπτώσεις να κρυπτογραφούνται πλήρως, χρησιμοποιώντας μεθόδους που έχουν εγκριθεί από τη FIA.
- **Μονάδες τρίτων κατασκευαστών:** η SECU διασυνδέεται με μονάδες τρίτων, κατασκευαστών συμπεριλαμβανομένων, ενδεικτικά, των καταγραφών δεδομένων ομάδας, των κόμβων αισθητήρων κ.α. Για τη διασύνδεση αυτή θα πρέπει να διασφαλίζει :
  - αποτελεσματική επικοινωνία,
  - ελάχιστη χρήση πόρων στη μονάδα SECU,
  - διαμόρφωση plug and play,
  - συμβατότητα με υπάρχοντα πρότυπα,
  - δυνατότητα συγχρονισμού χρονικών σημάνσεων μεταξύ των μονάδων για την απόκτηση δεδομένων.
- **Σύστημα εισαγωγής και πληροφοριών προγράμματος οδήγησης:** είναι μια προηγμένη διεπαφή προγράμματος οδήγησης που στοχεύει στην παροχή πληροφοριών στον οδηγό σύμφωνα με τις εντολές του Master ECU, μέσω οπτικών και ακουστικών σημάτων. Το σύστημα επιτρέπει επίσης στον οδηγό να ελέγχει τις διαμορφώσιμες

εισόδους στις στρατηγικές ελέγχου μέσω ενός σετ διακοπών που συνήθως σχεδιάζονται από τις ομάδες, στο τιμόνι. Τέλος, το σύστημα αυτό θα πρέπει επίσης να παρέχει μια αμφίδρομη ραδιοδιεπαφή που χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ του συνεργείου της ομάδας και του οδηγού.

Η μονάδα οθόνης του προγράμματος οδήγησης θα πρέπει να παρέχεται ως ξεχωριστό εξάρτημα. Πρέπει να είναι μια ελαφριά μονάδα σχεδιασμένη να λειτουργεί στο σκληρό περιβάλλον μηχανοκίνητου αθλητισμού ενός μονοθεσίου ανοιχτού πιλοτηρίου. Η μονάδα μπορεί να εγκατασταθεί στο τιμόνι ή στο πιλοτήριο. Θα συνδυάζει μια οθόνη διαγωνίου τουλάχιστον 4,3 ιντσών, ένα σύνολο δεσμευμένων έγχρωμων LED (όπως ορίζεται στους κανονισμούς της Formula 1) και ένα σύνολο διαμορφώσιμων έγχρωμων LED. Όλες οι πληροφορίες πρέπει να παραμένουν πλήρως ορατές κάτω από το άμεσο ηλιακό φως και τη νύχτα, με ή χωρίς τεχνητό φως.



Εικόνα 16 Τιμόνι με ενσωματωμένη οθόνη της ομάδας McLaren Honda 2016 (Moore, 2017)

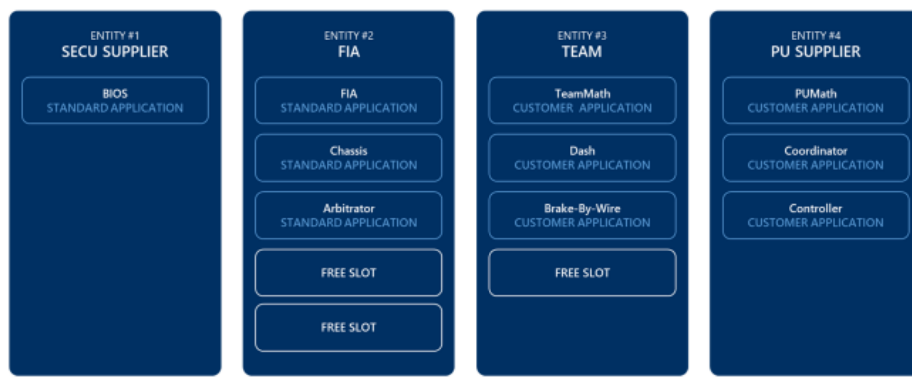


Εικόνα 17 Τιμόνι και μονάδα οθόνης της ομάδας Williams (Scarborough, 2020)

- Μονάδα διεπαφής τροχού: η μονάδα αυτή θα λειτουργεί ως ένας απομακρυσμένος, συμπαγής και ελαφρύς κόμβος αισθητήρα, εξοπλισμένος με μικροεπεξεργαστή. Αυτός ο προσαρμοσμένος κόμβος αισθητήρα θα χειρίζεται τη λήψη σήματος από μια ποικιλία αισθητήρων στους τροχούς και στα φρένα. Τα δεδομένα πρέπει να ενσωματώνονται σε πακέτα και να στέλνονται στη Master ECU μέσω CAN. Οι μονάδες διεπαφής τροχού πρέπει να είναι σε θέση να αντέχουν σε σκληρές περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία, κραδασμούς) τόσο όταν το μονοθέσιο τρέχει όσο και όταν στέκεται ακίνητο.
- Δέκτης και πομπός σήματος (Beacon): είναι ένας μικρός και ελαφρύς δέκτης με ενσωματωμένη κεραία που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση σημάτων που λαμβάνονται από πομπούς που βρίσκονται γύρω από την πίστα. Ο πάροχος θα τα παρέχει ως ξεχωριστά εξαρτήματα που θα πρέπει να εγκαταστήσουν οι ομάδες σε κάθε πλευρά του αυτοκινήτου. Συμβατοί πομποί beacon, οι οποίοι εκπέμπουν συνεχώς ένα μοναδικό αναγνωριστικό, θα τοποθετηθούν σε διαφορετικά σημεία γύρω από την πίστα. Συμπεριλαμβανομένων των σημείων εισόδου και εξόδου στο pit lane, κύριας γραμμής ελέγχου, εφεδρικού για την κύρια γραμμή ελέγχου, γραμμών αυτοκινήτου ασφαλείας και σημείων ενεργοποίησης DRS. Για την προμήθεια, τη συσκευασία, τη μεταφορά, την εγκατάσταση στην πίστα και τη συντήρηση των πομπών beacon, υπεύθυνος θα είναι ο πάροχος. Μόλις το αυτοκίνητο περάσει από τη δέσμη ενός πομπού, ο δέκτης σήματος Beacon θα πρέπει να σηκώσει και να αποκωδικοποιήσει το αναγνωριστικό και στη συνέχεια να μεταδώσει ένα ολοκληρωμένο σήμα στην κύρια ECU που αναφέρει αξιόπιστα τη θέση του μονοθεσίου στην πίστα, με ελάχιστη καθυστέρηση.

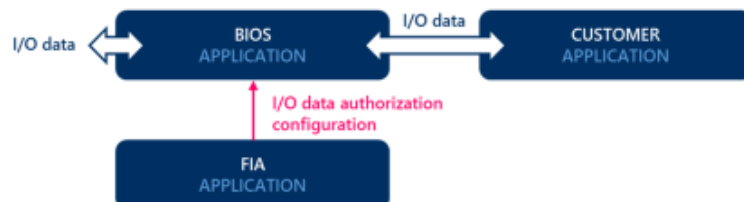
Σε ότι αφορά την επεξεργαστική ισχύ, το πλήθος των επεξεργαστών, τις διασυνδέσεις και τους πόρους τους, οι νέες προδιαγραφές δεν κάνουν καμία υπόθεση, ωστόσο η Master ECU θα πρέπει να παρέχει τη δυνατότητα κοινής χρήσης πόρων επεξεργασίας και μνήμης μεταξύ των τεσσάρων οντοτήτων που θα απαιτήσουν εκτέλεση κώδικα:

- Ο πάροχος SECU,
- Η FIA,
- Η ομάδα και,
- Ο προμηθευτής της μονάδας ισχύος.



**Εικόνα 18** Οι τέσσερις οντότητες που πρέπει να έχουν δυνατότητα για εκτέλεση κώδικα (FIA, 2022b)

Η εφαρμογή FIA θα έχει απεριόριστη πρόσβαση σε όλα τα δεδομένα και τις υπηρεσίες της εφαρμογής BIOS της SECU. Η εφαρμογή FIA θα λειτουργεί ως πύλη μεταξύ των εφαρμογών πελατών και του BIOS. Ειδικότερα, όλες οι δραστηριότητες I/O εφαρμογών ελέγχου πελατών προς και από το BIOS πρέπει να εγκρίνονται από την εφαρμογή της FIA (FIA, 2022b).



**Εικόνα 19** Ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ BIOS και λογισμικού πελατών (FIA, 2022b)

# Κεφάλαιο 4

## Τηλεμετρία και Δεδομένα

### 4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει παρουσίαση της τηλεμετρίας. Αρχικά θα γίνει μια εισαγωγή στην έννοια της τηλεμετρίας, στα χαρακτηριστικά της και στο πώς λειτουργεί. Στη συνέχεια θα γίνει εστίαση στο πώς βρίσκει εφαρμογή η τηλεμετρία στους αγώνες της Formula 1. Θα παρουσιαστούν τα δεδομένα που συλλέγονται και πώς αυτά αποστέλλονται στις ομάδες. Τέλος θα παρατεθούν τρόποι επεξεργασίας των δεδομένων για την εξαγωγή συμπερασμάτων και τη λήψη αποφάσεων.

### 4.2 Τί είναι η Τηλεμετρία

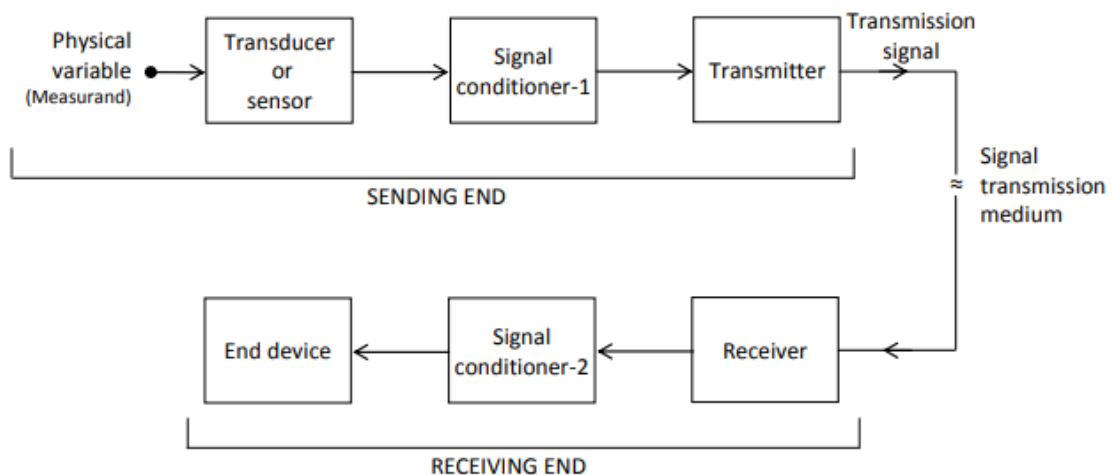
Ο όρος τηλεμετρία προέρχεται από τους δύο ελληνικούς όρους: «τηλέ» και «μέτρον», που σημαίνουν «μακριά» και «μέτρηση», αντίστοιχα. Κατά συνέπεια, η τηλεμετρία είναι η παρακολούθηση μιας διαδικασίας και η μέτρηση πληροφοριών σε κάποια απομακρυσμένη τοποθεσία και στη συνέχεια η μετάδοση αυτών των πληροφοριών σε μια κεντρική τοποθεσία. Στην τοποθεσία υποδοχής, έχει εγκατασταθεί σύστημα το οποίο παρακολουθεί τις τιμές που λαμβάνει ελέγχοντας την λειτουργία της παρακολουθούμενης διαδικασίας.

Έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα μέσα ή μέθοδοι μετάδοσης δεδομένων από τη μια τοποθεσία σε μια άλλη. Το Dataradio παρέχει μια ασύρματη μέθοδο για τη μετάδοση των πληροφοριών. Η τηλεμετρία που χρησιμοποιεί ραδιοκύματα ή ασύρματες μεθόδους προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες μεθόδους μετάδοσης, όπως:

- Δεν υπάρχει ο κίνδυνος να κοπούν ή να σπάσουν γραμμές μετάδοσης.
- Ταχύτερος χρόνος απόκρισης.
- Χαμηλότερο κόστος σε σύγκριση με τις μισθωμένες γραμμές.

- Ευκολία στη χρήση σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν είναι πρακτική ή δυνατή η χρήση καλωδίων.
- Εύκολη μεταφορά, αφού οι εργασίες εγκατάστασης είναι λιγότερες σε σχέση με την ενσύρματη μετάδοση.

Η δομή ενός βασικού συστήματος τηλεμετρίας απεικονίζεται στην εικόνα που ακολουθεί. Σε αυτή διακρίνονται δύο υποσυστήματα. Το πρώτο είναι το υποσύστημα συλλογής και αποστολής δεδομένων, στο οποίο υπάρχει η φυσική μεταβλητή που προορίζεται για παρακολούθηση και μέτρηση. Το υποσύστημα αυτό ονομάζεται Sending end. Το δεύτερο υποσύστημα, είναι το υποσύστημα που λαμβάνει τις τιμές και τις επεξεργάζεται. Το υποσύστημα αυτό ονομάζεται Receiving end.



Εικόνα 20 Δομή συστήματος τηλεμετρίας (Verma, 2017)

Στο υποσύστημα Sending end διακρίνονται τα ακόλουθα στοιχεία:

- Transducer or Sensor (μετατροπέας ή αισθητήρας): Μετατρέπει τη φυσική μεταβλητή που πρόκειται να τηλεμετρηθεί σε ηλεκτρική ποσότητα. Αυτή η ποσότητα στις περισσότερες περιπτώσεις είναι είτε ηλεκτρική παράμετρος (μεταβλητή αντίσταση, επαγωγή ή χωρητικότητα) είτε ηλεκτρικό σήμα (τάση ή ρεύμα).
- Signal Conditioner-1 (διαμορφωτής σήματος): εκτελεί όλες τις απαραίτητες μετατροπές έτσι ώστε η ηλεκτρική ποσότητα που λαμβάνει σαν είσοδο να είναι συμβατή



με τον Transmitter (πομπό).

- Transmitter (πομπός): Σκοπός του είναι να μεταδίδει το σήμα που δέχεται από τον Signal Conditioner-1 χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο σήμα φορέα στο άκρο λήψης. Μπορεί να εκτελεί μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Διαμόρφωση: Διαμόρφωση ενός σήματος φορέα από το σήμα πληροφοριών.
- Ενίσχυση: Όπως και εάν απαιτείται για το σκοπό της μετάδοσης.
- Μετατροπή σήματος: Όπως και εάν απαιτείται για το σκοπό της μετάδοσης. Για παράδειγμα, μετατροπή τάσης σε ρεύμα ή μετατροπή αναλογικού σε ψηφιακό ή μετατροπή ηλεκτρικού σήματος σε ραδιοκύμα ή μετατροπή ηλεκτρικού σήματος σε οπτική δέσμη, ανάλογα με τη φύση του φέροντος σήματος και του μέσου μετάδοσης του σήματος.
- Πολυπλεξία: Εάν χρειάζεται να τηλεμετρηθούν ταυτόχρονα περισσότερες από μία φυσικές μεταβλητές από την ίδια θέση, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποια τεχνική πολυπλεξίας όπως πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDM), πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDM), πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος (WDM).

Το υποσύστημα Receiving end αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- Receiver (δέκτης): Σκοπός του είναι να λαμβάνει τα σήματα που προέρχονται από τον πομπό μέσω του μέσου μετάδοσης σήματος και να ανακτά τις πληροφορίες από αυτόν. Μπορεί να εκτελεί μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Ενίσχυση: Ενίσχυση του ληφθέντος σήματος όπως και εάν απαιτείται για σκοπούς περαιτέρω επεξεργασίας.
- Αποδιαμόρφωση: Αποδιαμόρφωση του σήματος που έλαβε για ανάκτηση του αρχικού σήματος πληροφοριών. Η διαδικασία αποδιαμόρφωσης πρέπει να είναι συμπληρωματική της διαμόρφωσης που εκτελείται από τον πομπό.
- Αντίστροφη μετατροπή σήματος: Αυτή η μετατροπή είναι γενικά το αντίστροφο της μετατροπής που εκτελείται από τον πομπό. Έτσι, ο δέκτης απαιτείται να πραγματοποιήσει μετατροπή ρεύματος σε τάση ή μετατροπή ψηφιακού σε αναλογικό ή μετατροπή ραδιοκυμάτων σε ηλεκτρικό σήμα ή μετατροπή οπτικής δέσμης σε ηλεκτρικό σήμα, ανάλογα με τη φύση του φέροντος σήματος και του μέσου μετάδοσης του σήματος.

- Αποπολυπλεξία: Αναφέρεται στη διαδικασία διαχωρισμού διαφόρων σημάτων πληροφοριών έτσι ώστε να μπορούν να παραδοθούν στις αντίστοιχες τελικές συσκευές τους. Η διαδικασία στον δέκτη πρέπει να είναι ουσιαστικά η αντίστροφη της πολυπλεξίας που πραγματοποιήθηκε από τον πομπό.
- Signal Conditioner-2 (διαμορφωτής σήματος): Επεξεργάζεται την είσοδο που δέχεται από τον δέκτη όπως απαιτείται για να την κάνει κατάλληλη για την οδήγηση της δεδομένης τελικής συσκευής.
- End Device (τερματικό): Ανάλογα με την εφαρμογή που χρησιμοποιείται η τηλεμετρία η τελική συσκευή μπορεί να εκτελεί μία από τις ακόλουθες λειτουργίες:
  - Αναλογική απεικόνιση της τιμής μέτρησης.
  - Ψηφιακή απεικόνιση της τιμής μέτρησης.
  - Αποθήκευση της ψηφιακής τιμής για μελλοντική χρήση.
  - Επεξεργασία δεδομένων.

Ανάμεσα από τα δύο υποσυστήματα υπάρχει το μέσο μετάδοσης που συνδέει τον πομπό και τον δέκτη και μέσω του οποίου ο πομπός μπορεί να μεταδώσει το σήμα του στον δέκτη. Συνήθως ως μέσα μετάδοσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν χάλκινα καλώδια, ραδιοζεύξη και οπτική ίνα (Verma, 2017).

Η Τηλεμετρία εφαρμόστηκε πρώτη φορά το 1975 από την McLaren στους αγώνες IndyCar συλλέγοντας δεδομένα από δεκατέσσερις διαφορετικούς αισθητήρες τα οποία μεταφέρονταν από το αυτοκίνητο στην ομάδα στήριξης όταν αυτό θα έφθανε στο γκαράζ (McLaren, 2016).

## **4.3 Συλλογή και αποστολή δεδομένων**

### **4.3.1 Εισαγωγή**

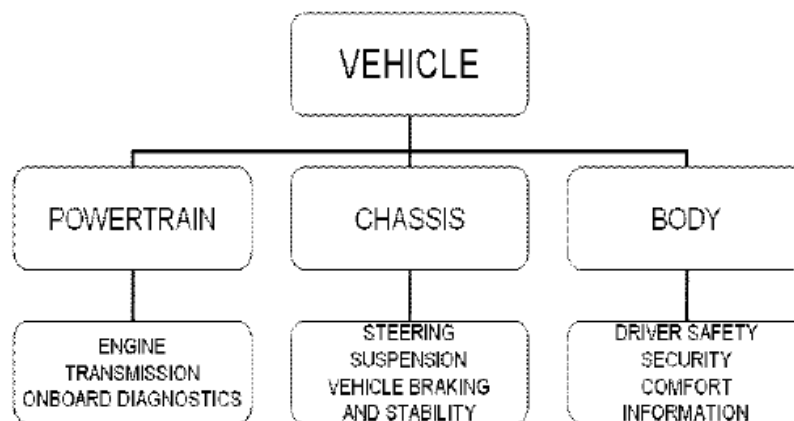
Όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο με την ECU, το 2008 θα μείνει στη μνήμη όλων όσων ασχολούνται με το μηχανοκίνητο αθλητισμό και ιδιαίτερα με τους αγώνες της Formula 1, ως η αρχή μιας ταχείας ανάπτυξης στη χρήση υπολογιστών,

αισθητήρων, ελεγκτών και συσκευών σε αγωνιστικά αυτοκίνητα. Όμως ποια δεδομένα παρακολουθούνται και συλλέγονται και πώς αυτά στέλνονται στις ομάδες; Τα δύο αυτά ερωτήματα θα απαντηθούν στην ενότητα αυτή.

#### 4.3.2 Συλλογή δεδομένων

Το ακριβές πλήθος των αισθητήρων που χρησιμοποιούν οι ομάδες για την παρακολούθηση λειτουργίας του μονοθεσίου, δεν είναι γνωστό. Σε μια συνέντευξη του ο Graeme Hackland, CIO της Williams Martini Racing το 2015, είχε αναφέρει ότι χρησιμοποιούν περισσότερους από 200 αισθητήρες για την παρακολούθηση κρίσιμων σημείων του μονοθεσίου. Οι αισθητήρες παρακολουθούν από τα φρένα και τα ελαστικά, έως τα επίπεδα καυσίμου, τη θερμοκρασία σε διάφορα σημεία του αυτοκινήτου καθώς και τη μηχανή (Krigsman, 2015).

Οι αισθητήρες αυτοί, πρέπει να ικανοποιούν ταυτόχρονα δύο βασικά στοιχεία, ακρίβεια και στιβαρότητα. Κάθε μέτρηση περιλαμβάνει αβεβαιότητες λόγω μη γραμμικότητας, υστέρησης, ευαισθησίας εξαιτίας της θερμοκρασίας ή των δονήσεων. Για να μπορέσουν να το πετύχουν αυτό, συχνά διαθέτουν τεχνολογία που προέρχεται από την αεροδιαστημική. Στην εικόνα που ακολουθεί απεικονίζονται οι κύριοι τομείς εφαρμογής του συστήματος για αισθητήρες μονοθεσίου και για κάθε περιοχή υπάρχει μια λίστα με τα στοιχεία που εμπλέκονται (Cocco & Daronte, 2008).



Εικόνα 21 Τομείς εφαρμογής συστήματος αισθητήρων (Cocco & Daronte, 2008)

Οι αισθητήρες μπορούν επίσης να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη χρήση τους:

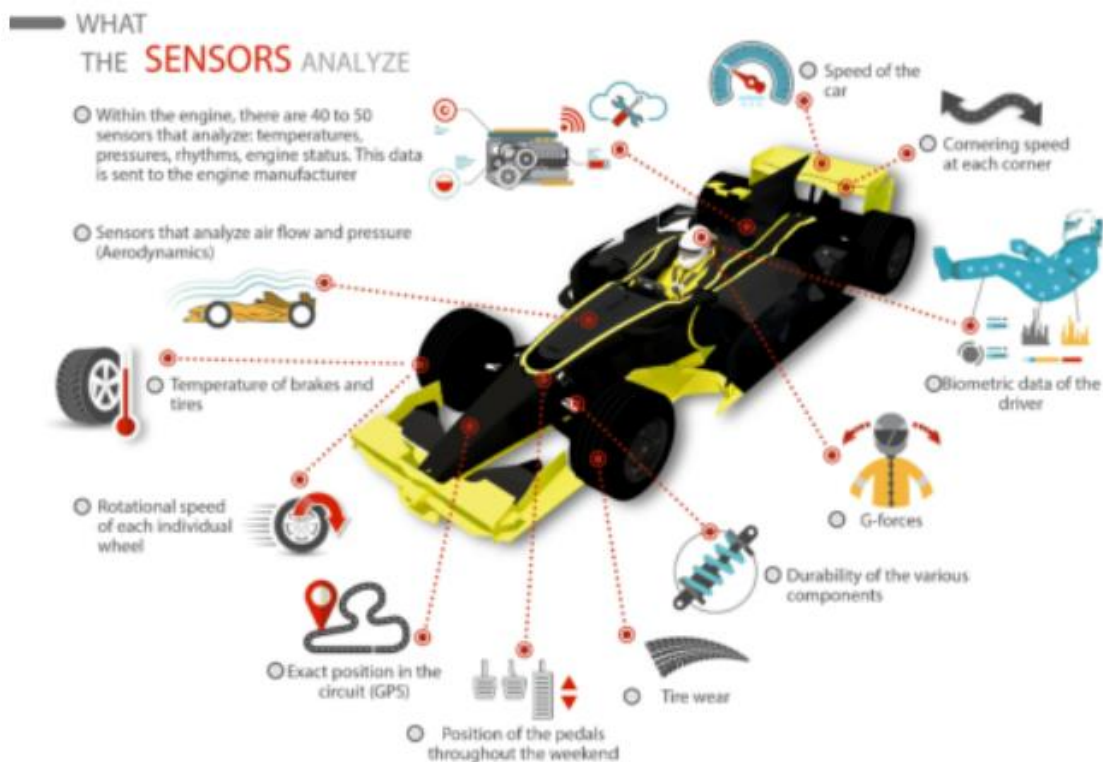
- Αισθητήρες οργάνων, όπως αισθητήρες πίεσης και ροής καυσίμου.
- Αισθητήρες παρακολούθησης, οι οποίοι ελέγχουν την αξιοπιστία και την αντοχή των συστημάτων του αυτοκινήτου στέλνοντας τα κατάλληλα δεδομένα στην ομάδα.
- Αισθητήρες ελέγχου, οι οποίοι μετρούν τα αποτελέσματα των κινήσεων του οδηγού (π.χ. επιτάχυνση ή ανάφλεξη).

Στο σημείο αυτό θα γίνει αναφορά σε αισθητήρες συγκεκριμένων περιοχών του μονοθεσίου, οι οποίοι διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη στρατηγική, στην ασφάλεια και στις επιδόσεις.

- Αισθητήρες θέσης: οι οποίοι μετρούν γραμμικές/περιστροφικές μετατοπίσεις που κυμαίνονται από λιγότερο από 1mm έως πάνω από 200mm. Οι περισσότερες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι: ποτενσιομετρική, LVDT (Linear Variable Differential Transformer - γραμμικός μεταβλητός διαφορικός μετασχηματιστής), φαινόμενο Hall και λέιζερ. Τα ποτενσιόμετρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν απλώς για τη μέτρηση μιας μετατόπισης (αναρτήσεις, γωνία διεύθυνσης, πεντάλ γκαζιού) ή για την εκτέλεση αναδρομικού ελέγχου (βαλβίδες γκαζιού). Για ορισμένες μετρήσεις (π.χ. δαγκάνες φρένων), εξαιτίας συγκεκριμένων συνθηκών (π.χ. υψηλή θερμοκρασία, δονήσεις, ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές) χρησιμοποιούνται αισθητήρες LVDT. Οι αισθητήρες λέιζερ είναι χρήσιμοι για τον καθορισμό της θέσης του πλαισίου λαμβάνοντας υπόψη το έδαφος ως αναφορά.
- Οι αισθητήρες πίεσης μετρούν τις πιέσεις (Pa) λαδιού κινητήρα, λαδιού κιβωτίου ταχυτήτων, λαδιού φρένων, ψύξης κινητήρα, ελαστικών, ανέμου, συμπλέκτη, διαφορικού, από τις δαγκάνες των φρένων κ.α.
- Αισθητήρες μέτρησης δυναμικής του οχήματος: οι αισθητήρες αυτοί περιλαμβάνουν επιταχυνσιόμετρα (ένας, δύο ή τρεις άξονες), γυροσκόπια, IMU (Inertial Measurement Units - Μονάδες Αδρανειακής Μέτρησης) και οπτικοί αισθητήρες χωρίς επαφή για δυναμικές μετρήσεις αγωνιστικών οχημάτων.
  - Τα επιταχυνσιόμετρα χρησιμοποιούν κυρίως την τεχνολογία MEMS (Micro

Electro Mechanical System). Μπορούν να είναι: πιεζοαντιστατικά, χωρητικά, πιεζοηλεκτρικά, δέσμης συντονισμού και το σφάλμα είναι μικρότερο από 1% FS (μη γραμμικότητα και υστέρηση).

- Τα γυροσκόπια πρέπει να βαθμονομούνται πριν από κάθε αγώνα για να αποφευχθούν λάθη εξαιτίας συντελεστή κλίμακας ή θορύβου. Η τυπική ευαισθησία γυροσκοπίου είναι  $7^\circ/\text{hr}/\text{g}$  και ο θόρυβος στη ζώνη είναι  $0,250/\text{s rms}$ .
- Οι μονάδες αδρανειακής μέτρησης (IMU) παρέχουν γωνιακό ρυθμό και επιτάχυνση σε σχέση με το πλαίσιο του αμαξώματος.
- Χάρη στον οπτικό αισθητήρα ταχύτητας χωρίς επαφή, είναι δυνατός ο ακριβής υπολογισμός: απόσταση, ταχύτητα εδάφους, διαμήκης επιτάχυνση, γωνία ολίσθησης και γωνία εκτροπής (Cocco & Daronte, 2008).



Εικόνα 22 Τι μετράμε με τους αισθητήρες (MAPFRE, 2020)

- Ροπή: η μέτρηση της ροπής χρησιμοποιείται για την ανάλυση της απόδοσης καυσίμου του κινητήρα, για τον χαρακτηρισμό της ποιότητας της αλλαγής ταχυτήτων και της συμπεριφοράς οδηγικής ικανότητας του οχήματος. Πλέον η ικανότητα για

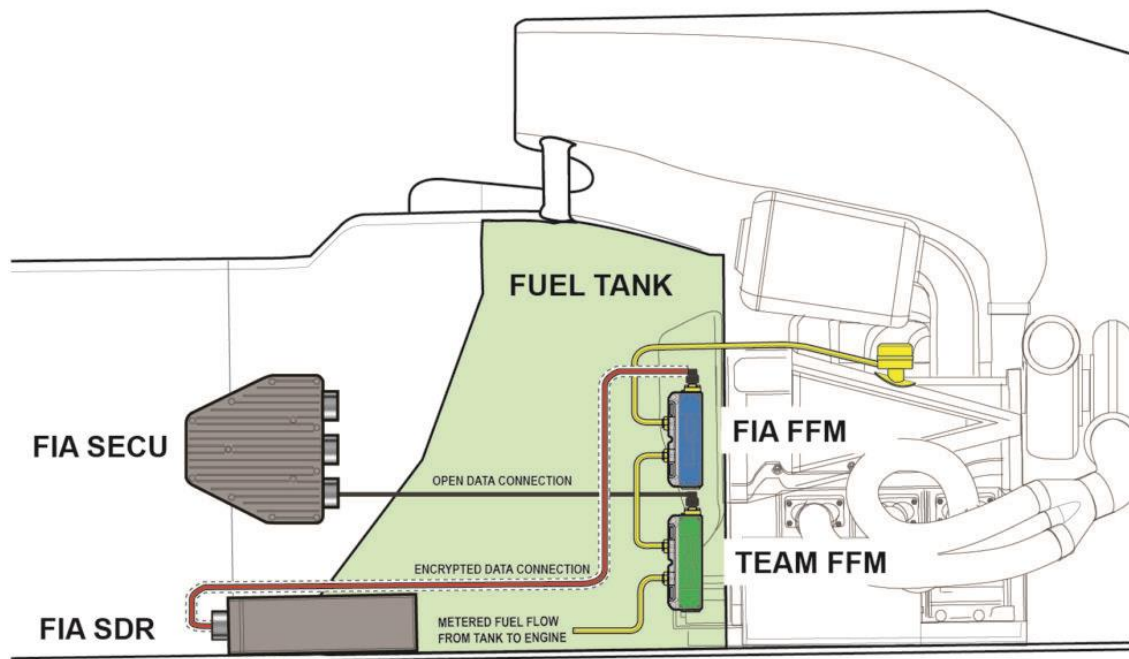
ακριβείς μετρήσεις της ροπής είναι ζωτικής σημασίας στη νέα γενιά των μηχανών της Formula 1. Τα ηλεκτρονικά του μονοθέσιου θα καθορίσουν τον τρόπο με τον οποίο παρέχεται αυτή η ροπή, καθορίζοντας τη συμβολή του κινητήρα IC και του ERS (Energy Recovery System) στη δύναμη που φτάνει στους πίσω τροχούς. Προκειμένου να εφαρμοστούν οι φαινομενικά πολύπλοκες στρατηγικές ελέγχου της μονάδας ισχύος, η ακριβής μέτρηση της ροπής σε διάφορα σημεία του συστήματος - για παράδειγμα στο MGU-K (το MGU-K μετατρέπει την κινητική ενέργεια που παράγεται κατά την πέδηση σε ηλεκτρική ενέργεια) και τους κινητήριους άξονες - είναι επιτακτικός (Groote, 2015).

- Θερμοκρασία: οι τεχνολογίες των αισθητήρων θερμοκρασίας που χρησιμοποιούνται κυρίως στον μηχανοκίνητο αθλητισμό είναι: θερμοστοιχεία, RTD (Resistance Temperature Detector), PRT (Platinum Resistance Thermometer) και υπέρυθροι (IR) αισθητήρες θερμοκρασίας. Τα θερμοστοιχεία επιστρέφουν μια διαφορική έξοδο ενώ τα PRT παράγουν μια βαθμονομημένη έξοδο. Και οι δύο συσκευές πρέπει να συνδεθούν στο προς μέτρηση εξάρτημα. Αν όμως πρέπει να γίνουν μετρήσεις χωρίς επαφή, τότε θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν αισθητήρες υπέρυθρων, οι οποίοι έχουν απόσταση μέτρησης που κυμαίνεται από 30 mm έως 70 mm και οπτικό πεδίο ίσο με 15°. Αυτό το είδος μέτρησης είναι χρήσιμο για περιστρεφόμενα στοιχεία όπως δίσκους φρένων και ελαστικά (Cocco & Daponte, 2008).

Εκτός από τους αισθητήρες που αναφέρθηκαν, υπάρχουν διάφοροι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή και παρακολούθηση διαφορετικών στοιχείων και παραμέτρων. Σε όλα αυτά θα πρέπει να προστεθούν και οι αισθητήρες που ορίζει η FIA να είναι τοποθετημένοι στο μονοθέσιο. Για παράδειγμα θα πρέπει να αναφερθεί ο επιπλέον αισθητήρας ροής καυσίμου (μάρκας Sentronics) που τοποθετήθηκε από τη FIA το 2020. Ο δεύτερος αυτός αισθητήρας ήταν αποτέλεσμα έρευνας της FIA στα μονοθέσια της Ferrari, τα οποία κατά το δεύτερο μισό του 2019 παρουσίαζαν σημαντική αύξηση της δύναμης που μπορούσαν να πάρουν από τον κινητήρα τους.

Ο πρώτος αισθητήρας συναντά το καύσιμο κατευθυνόμενο από τη δεξιά μεν καυσίμου προς τον κινητήρα. Ο αισθητήρας αυτός συνδέεται με τη μονάδα ελέγχου κινητήρα του αυτοκινήτου και οι ομάδες μπορούν να δουν τα δεδομένα του στις ροές δεδομένων της τηλεμετρίας τους. Αντί όμως το καύσιμο να πάει στη συνέχεια στον κινητήρα, περνά

μέσα από έναν δεύτερο αισθητήρα καυσίμου. Αυτός χρησιμοποιεί φίλτρο anti-aliasing για περιορισμό του εύρους σήματος όταν η συσκευή λαμβάνει δείγματα της ροής καυσίμου, κάτι που καθιστά αδύνατο τον συγχρονισμό της ροής καυσίμου έτσι ώστε να μην υπερβαίνει το όριο μεταξύ της δειγματοληψίας (Θεώρημα Nyquist). Επιπλέον, τα δεδομένα από αυτόν τον μετρητή ροής καυσίμου είναι κρυπτογραφημένα και αποστέλλονται στον ασφαλή καταγραφέα δεδομένων της FIA που κάθε αυτοκίνητο πρέπει να φέρει. Αυτά τα δεδομένα είναι απρόσιτα για τις ομάδες. Με τον τρόπο αυτό η FIA ήθελε να ελέγξει τις ομάδες για το πώς χειρίζονται τη ροή καυσίμου που αντλείται από τον κινητήρα η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 100 κιλά ανά ώρα (Gitlin. 2020).



**Εικόνα 23** Ο δεύτερος αισθητήρας ροής καυσίμου που τοποθετήθηκε από τη FIA (Gitlin. 2020)

Πριν ολοκληρωθεί όμως η ενότητα της συλλογής δεδομένων, θα πρέπει να αναφερθεί ο τρόπος που συλλέγονται τα δεδομένα κατά τις χειμερινές δοκιμές και ιδιαίτερα αυτά που σχετίζονται με την αεροδυναμική των μονοθεσίων. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών αυτών οι ομάδες δοκιμάζουν τα μονοθέσια τους σε πραγματικές συνθήκες. Μέχρι τότε έχουν δοκιμάσει το σχεδιασμό των μονοθεσίων είτε σε προσομοιωτές είτε σε αεροσήραγγες. Όμως δε γνωρίζουν πώς θα συμπεριφερθούν τα μονοθέσια τους, σε ότι

έχει σχέση με την αεροδυναμική, όταν βρεθούν σε μια πίστα μαζί με άλλα μονοθέσια.

Για το λόγο αυτό τοποθετούν τα aerodynamic rakes (aero rakes) με σκοπό να καταγράψουν την κίνηση του αέρα πάνω και γύρω από το μονοθέσιο. Αρχικά τα aero rakes είχαν χρησιμοποιηθεί μόνο σε αεροσύραγγα και ήταν σειρές από ανιχνευτές που σύρονταν πάνω – κάτω και από δεξιά προς τα αριστερά για να παρακολουθήσουν την ποιότητα της ροής του αέρα γύρω από το μονοθέσιο. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν πάνω στα μονοθέσια, έτσι ώστε να μπορούν να μετρήσουν πιο άμεσα και σε πραγματικές συνθήκες την ποιότητα του αέρα.



Εικόνα 24 Aero rakes (Smedley, 2019)

Τα aero rakes κατασκευάζονται ανάλογα με το τί θέλει η ομάδα να παρακολουθήσει. Έτσι μπορούν να υπάρξουν διάφορες μορφές, σχήματα και μεγέθη από πολύ μεγάλα μέχρι πολύ μικρά για να παρακολουθηθεί ο αέρας στο πάτωμα του μονοθεσίου. Τα aero rakes αποτελούνται από πολλούς σωλήνες pitot οι οποίοι είναι συσκευές με σπές σε



κατάλληλα σημεία έτσι ώστε να μπορούν να μετρήσουν την ταχύτητα του αέρα, μέσω της διαφοράς στατικής και ολικής πίεσης (Williams, 2022).

Όλα τα δεδομένα που συλλέγονται από τα aero rakes επιστρέφουν στις ομάδες και ιδιαίτερα στο τμήμα της αεροδυναμικής, οι οποίοι μελετώντας τα μπορεί να κατανοήσουν πώς μπορεί να επηρεάσουν οι στροβιλισμοί την απόδοση του μονοθεσίου. Με τον τρόπο αυτό, οι ομάδες παρακολουθούν την αεροδυναμική των μονοθεσίων τους και μπορούν να ελέγξουν πώς μια τροποποίηση στο στήσιμο ή στο μπροστινό φτερό μπορεί να την επηρεάσει.



Εικόνα 25 Aero rakes στον πίσω τροχό (Smedley, 2019)

#### 4.3.3 Αποστολή δεδομένων

Όπως έχει παρουσιαστεί μέχρι τώρα, τα μονοθέσια παράγουν ένα μεγάλο όγκο δεδομένων τον οποίο πρέπει να στείλουν στις ομάδες τους για μελέτη, αξιολόγηση και λήψη αποφάσεων. Ο πιο ασφαλής τρόπος αποστολής δεδομένων είναι όταν το μονοθέσιο εισέρχεται στο γκαράζ. Πώς όμως μεταδίδει τα δεδομένα όταν είναι εν κινήσει; Τα δεδομένα κρυπτογραφούνται και αποστέλλονται στις ομάδες μέσω ραδιοσυχνότητας από μια κεραία που είναι τοποθετημένη στο αυτοκίνητο. Η συλλογή, κρυπτογράφηση και μετάδοση των δεδομένων γίνεται μέσα σε κλάσματα δευτερολέπτου.

Η μετάδοση αυτή δε γίνεται σε οποιαδήποτε ραδιοσυχνότητα. Σε πίστες που βρίσκονται σε πόλεις με μεγάλη συμφόρηση όπως η Σιγκαπούρη, είναι δύσκολη η μείωση του

θορύβου την ημέρα του αγώνα. Ένα άλλο παράδειγμα πίστας που έχει «τυφλά» σημεία για τη μετάδοση δεδομένων είναι το Μονακό. Η FIA δημιούργησε ένα τυποποιημένο δίκτυο επικοινωνίας που αξιοποιεί τη σύνδεση οπτικών ινών και τα κοινά σημεία πρόσβασης που προσφέρουν κρυπτογραφημένες επικοινωνίες για κάθε ομάδα μεταξύ αυτοκινήτου και γκαράζ. Αυτό στέλνει μικρά πακέτα δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, ενώ τα αυτοκίνητα μπορούν επίσης να εκπέμπουν μια ριπή δεδομένων μικροκυμάτων όταν είναι εντός εμβέλειας κατά τη διάρκεια ενός pit stop (Wodehouse, 2021).

Ανάλογη με τη συχνότητα του καναλιού που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση των δεδομένων από το μονοθέσιο είναι και η ταχύτητα της δειγματοληψίας. Αν οι μηχανικοί αναγνωρίσουν έναν κραδασμό, προσθέτουν έναν επιπλέον καταγραφέα (logger) αυξάνοντας τη δειγματοληψία του, θέλοντας να αναγνωρίσουν την αιτία του κραδασμού (Carpentiers, 2016).

Αφού τα δεδομένα φτάσουν στις ομάδες, ξεκινά αμέσως η επεξεργασία τους (θα αναλυθεί στην επόμενη ενότητα), ενώ παράλληλα συνεχίζεται η αποστολή τους προς τα κεντρικά των ομάδων. Για παράδειγμα η Red Bull συνεργάζεται με την AT&T για την υλοποίηση των δικτύων. Η AT&T θέλοντας να διασφαλίσει υψηλή ταχύτητα μετάδοσης και αξιοπιστία, μεταφέρει συνήθως ένα συνεργείο για την υλοποίηση του δικτύου τουλάχιστον μια εβδομάδα νωρίτερα από την ημερομηνία διεξαγωγής του αγώνα. Η καθυστέρηση μετάδοσης μεταξύ της Μελβούρνης (η πιο απομακρυσμένη τοποθεσία διεξαγωγής αγώνων Formula 1) και των κεντρικών γραφείων της Red Bull στο Ηνωμένο Βασίλειο είναι 300 ms (Reichert, 2018).



Εικόνα 26 Αποστολή δεδομένων από το μονοθέσιο στα κεντρικά των ομάδων (MAPFRE, 2020)

#### 4.4 Επεξεργασία Δεδομένων

Στις προηγούμενες ενότητες παρουσιάστικαν τα δεδομένα που συλλέγονται από τα αγωνιστικά αυτοκίνητα. Διαπιστώθηκε επίσης ότι επειδή οι αισθητήρες συλλογής δεδομένων είναι πολλοί, μπορεί εύκολα να γίνει κατανοητό ότι ο όγκος των δεδομένων είναι πολύ μεγάλος. Για να μπορούν όμως οι ομάδες να πάρουν άμεσες αποφάσεις, θα πρέπει να μπορούν να επεξεργαστούν τα δεδομένα, με πολύ μεγάλη ταχύτητα.

Σύμφωνα με τον Rose (2021) οι εξελίξεις στον τομέα της πληροφορικής έχουν βελτιώσει σημαντικά τους χρόνους επεξεργασίας των δεδομένων και εξαγωγής συμπερασμάτων. Για παράδειγμα ο χρόνος εκτέλεσης ενός ερωτήματος σε μια βάση δεδομένων έχει μειωθεί κατά 95% και παράλληλα υπάρχει μείωση του χρόνου πρόσβασης σε κρίσιμα δεδομένα κατά 66%. Εκτός από το χρόνο επεξεργασίας κατά τη διάρκεια των αγώνων, είναι σημαντικός και ο χρόνος επεξεργασίας των προσομοιώσεων. Για παράδειγμα η χρήση υπολογιστικής δυναμικής ρευστών (Computational Fluid Dynamics - CFD) για τη δοκιμή εξαρτημάτων ενός αυτοκινήτου κατά την προσομοίωση των συνθηκών αγώνα, είναι μια εντατική διαδικασία επεξεργασίας δεδομένων, η οποία επιτρέπει στην ομάδα να προσαρμόζει το αυτοκίνητο σε κάθε αγωνιστική πίστα καθ' όλη τη διάρκεια της σεζόν.

Το CFD απαιτούσε περίπου 20 ώρες χρόνου επεξεργασίας ανά προσομοίωση, με τις εξελίξεις όμως στον τομέα της πληροφορικής έχει επέλθει μείωση της διαδικασίας υπολογισμών κατά 15%.

Η κάθε ομάδα της Formula 1 έχει επιλέξει να συνεργάζεται με παρόχους τεχνολογίας, αξιοποιώντας υπολογιστές υψηλής απόδοσης, μηχανική μάθηση και υπολογιστική αιχμής για να αποκτήσει πλεονέκτημα στην πίστα.

Η Mercedes συνεργάζεται με την HPE και σύμφωνα με όσα αναφέρει ο Toto Wolff, Team Principal & CEO της Mercedes-AMG Petronas Motorsport, η HPE τους βοηθά να επεξεργαστούν και να αναλύσουν καλύτερα τα δεδομένα, επιτρέποντας στα μέλη της ομάδας να κάνουν αυτό που κάνουν καλύτερα – από τα πρώτα στάδια της σύλληψης ενός ανταγωνιστικού μονοθεσίου μέχρι την τελευταία στιγμή της ρύθμισης του αυτοκινήτου σε ένα αγωνιστικό τριήμερο. Η HPE βοηθά τη Mercedes να αποκτήσει ένα «πλεονέκτημα» χρησιμοποιώντας υπολογιστές υψηλής απόδοσης, αναλυτικά στοιχεία και τεχνολογίες αισθητήρων για να συμπυκνώσει εκατομμύρια δεδομένα και να εξετάσει χιλιάδες σενάρια αγώνων, που καλύπτουν τα πάντα, από ιδανικούς χρόνους στο pit stop μέχρι την κατάλληλη επιλογή ελαστικών.

Η Red Bull συνεργάζεται με την Oracle Cloud Infrastructure (OCI) ως πάροχο υποδομής πληροφορικής. Ο επικεφαλής της ομάδας Christian Horner την αποκαλεί «μια εξαιρετικά σημαντική συνεργασία». Όπως συγκεκριμένα αναφέρει, το Oracle Cloud Infrastructure φέρνει μοναδικές δυνατότητες που επιτρέπουν στην Red Bull να επεκτείνει τη χρήση της επιστήμης δεδομένων και των αναλυτικών στοιχείων, ώστε να μπορεί να φιλοξενήσει την αυξανόμενη και διαφοροποιούμενη εργασία μηχανικής που αναλαμβάνεται στο technology campus της Red Bull, στο Milton Keynes στο Ηνωμένο Βασίλειο.

Η McLaren συνεργάζεται τώρα με την Dell Technologies, η οποία παρέχει υπολογιστές υψηλής απόδοσης (HPC) που βοηθά τη McLaren να μελετήσει, να δοκιμάσει και να δημιουργήσει πρωτότυπες αεροδυναμικές αλλαγές στο μονοθέσιό της. Το HPC προσφέρει στη McLaren τη δυνατότητα να διεξάγει μελέτες υπολογιστικής δυναμικής ρευστών (CFD) σχετικά με τις ροές αέρα γύρω από το προτεινόμενο εξάρτημα, πριν

αποφασίσει εάν θα το δοκιμάσει με ταχεία πρωτοτυποποίηση με τρισδιάστατους εκτυπωτές σε μια αεροδυναμική σήραγγα. Η McLaren συνεργάζεται επίσης με την Splunk, η οποία ειδικεύεται στην ανάλυση χρησιμοποιώντας «μη δομημένα». Η πλατφόρμα Data-to-Everything του Splunk επιτρέπει στον Όμιλο McLaren να συλλαμβάνει «μη δομημένα» δεδομένα από όλη την υποδομή, το δίκτυο και τα περιβάλλοντα διακομιστή του.

Η Scuderia Ferrari συνεργάζεται με το AWS (Amazon Web Services) για πρόσβαση σε προηγμένες αναλύσεις, μηχανική εκμάθηση και δυνατότητες βάσης δεδομένων για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και της απόδοσης του αυτοκινήτου της. Η Ferrari ανακοίνωσε ότι μπορεί να εκτελέσει χιλιάδες προσομοιώσεις ταυτόχρονα, αποκτώντας γνώσεις γρηγορότερα από πιθανές προσομοιώσεις εκτέλεσης σε φυσικό περιβάλλον. Η Ferrari σχεδιάζει επίσης να δημιουργήσει εμπειρίες εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας στο AWS που φέρνουν τους θαυμαστές στο γκαράζ για να αλληλεπιδράσουν με τους οδηγούς και το προσωπικό της ομάδας.

Η Alpine Renault επέκτεινε πρόσφατα τη συνεργασία της με το KX Insights, το οποίο παρέχει μια πλατφόρμα ανάλυσης ροής σε πραγματικό χρόνο που εκτελείται στο Microsoft Azure Cloud. Το KX Insights παρέχει ένα ενιαίο σημείο πρόσβασης σε δεδομένα σε έναν ολόκληρο οργανισμό, αξιοποιώντας την υβριδική αρχιτεκτονική cloud. Όπως αναφέρουν οι υπεύθυνοι της Alpine η χρήση του Microsoft Azure από την Alpine F1 Team είναι ένα παράδειγμα δυνατότητας λήψης αποφάσεων βάσει δεδομένων σε ένα άθλημα όπου κάθε δευτερόλεπτο έχει σημασία.



**Εικόνα 27** Οι τεχνικοί στο γκαράζ Alpine Renault χρησιμοποιούν την πλατφόρμα KX Insights για ανάλυση δεδομένων ροής (Miller, 2021)

Η Aston Martin συνεργάζεται με την εταιρεία Cognizant, που είναι πάροχος υπηρεσιών πληροφορικής. Επίσης συνεργάζεται με το NetApp, το οποίο παρέχει το κατάλληλο υπόβαθρο για την εξαγωγή δεδομένων για την καλύτερη μέτρηση της απόδοσης του μονοθεσίου και την αντιμετώπιση των βελτιώσεων πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από κάθε αγώνα.

Η Formula 1 έχει επιλέξει σαν συνεργάτη το Amazon Web Services (AWS). Με τη βοήθεια των υπηρεσιών της Amazon παρέχεται η απαραίτητη υπολογιστική ισχύς και διασύνδεση από το σχεδιασμό με τη βοήθεια υπολογιστή για μονοθέσια ως μια εκπληκτική σουίτα ανάλυσης δεδομένων και οπτικοποιήσεων για τους οπαδούς της Formula 1. Με τη βοήθεια του AWS σχεδιάστηκε το αυτοκίνητο για τη σεζόν του 2021 χρησιμοποιώντας 1.150 υπολογιστικούς πυρήνες για την εκτέλεση λεπτομερών προσομοιώσεων και συγκεντρώνοντας περισσότερα από 550 εκατομμύρια σημεία δεδομένων που μοντελοποιούν την αεροδυναμική επίδραση ενός μονοθεσίου σε αυτό που το ακολουθεί. Με τον τρόπο αυτό εξετάστηκε πώς αποδίδουν τα μονοθέσια δεχόμενα επίδραση από άλλα, σε αντίθεση με το να τρέχουν σε καθαρό αέρα.

Η F1 χρησιμοποιεί επίσης το cloud computing για να φέρει στους φιλάθλους της την εμπειρία των αγώνων με ειδησεογραφικούς τρόπους μέσω του F1 Insights, το οποίο χρησιμοποιεί μια σουίτα υπηρεσιών της AWS για να αναλύει ροές δεδομένων σε πραγματικό χρόνο – συμπεριλαμβανομένων δεδομένων από αισθητήρες μαζί με βίντεο από κάμερες και ήχο από το ραδιόφωνο των ομάδων. Χρησιμοποιώντας διαφορετικά σημεία δεδομένων για την κάθε μια ενημέρωση, η Formula 1 δίνει τη δυνατότητα στους φιλάθλους που παρακολουθούν τον αγώνα να κατανοήσουν πώς οι οδηγοί λαμβάνουν αποφάσεις σε κλάσματα δευτερολέπτου και πώς οι ομάδες επινοούν και εφαρμόζουν στρατηγικές αγώνα σε πραγματικό χρόνο που μπορούν να επηρεάσουν δραματικά το τελικό αποτέλεσμα ενός αγώνα. (Miller, 2021). Ακολουθούν ορισμένα παραδείγματα από το F1 Insights:

- Στρατηγική αγώνα: χρησιμοποιώντας δεδομένα χρονοισμού, η Formula 1 είναι σε θέση να δημιουργήσει οπτικές πληροφορίες που επιτρέπουν στους οπαδούς να αναλύουν αντικειμενικά την απόδοση της ομάδας και του οδηγού, τη στρατηγική και τις τακτικές που θα επηρεάσουν το συνολικό αποτέλεσμα του αγώνα.
  - Πρόβλεψη μάχης: χρησιμοποιώντας το ιστορικό πίστας και τον προβλεπόμενο ρυθμό οδηγού, μπορεί να προβλεφθεί σε πόσους γύρους το μονοθέσιο που ακολουθεί θα βρίσκεται σε «απόσταση κρούσης» από το προπορευόμενο μονοθέσιο.
  - Pit Strategy Battle: το undercutting και το overcutting είναι στρατηγικές που χρησιμοποιούνται από τις ομάδες της Formula 1 κατά τη διάρκεια σεναρίων αγώνων για να κερδίσουν προβάδισμα έναντι ενός αντιπάλου, με το περιθώριο μεταξύ επιτυχίας και αποτυχίας να υπολογίζεται σε δέκατα του δευτερολέπτου. Με τη βοήθεια του συγκεκριμένου γραφικού παρέχονται πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για τη θέση των δύο ανταγωνιστών οδηγών, το προβλεπόμενο κενό μετά τα αντίστοιχα pit stop και το ποσοστό πιθανότητας προσπέρασης, βοηθώντας τους να εκτιμήσουν πόσο επιτυχημένη θα είναι η στρατηγική κάθε οδηγού και τα πιθανά αποτελέσματά της.
  - Pit Window: εκτιμώμενα παράθυρα pit stop με βάση τη σύνθεση των



ελαστικών, τους χρόνους γύρων και την κατανομή των αυτοκινήτων. Οι θεατές θα δουν πώς μπορεί να αλλάξει ένας αγώνας με βάση τη δυναμική του, συμπεριλαμβανομένων των αγωνιστικών στρατηγικών άλλων ομάδων, των αυτοκινήτων ασφαλείας και των κίτρινων σημαιών.

- Predicted pit stop strategy: τα ιστορικά δεδομένα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της στρατηγικής του αγώνα κατά τη διάρκεια του γύρου σχηματισμού, συγκρίνοντας τις προβλεπόμενες στρατηγικές ελαστικών και αγώνα. Αυτή η εικόνα επιτρέπει στους θεατές να δουν πότε ένας οδηγός πρέπει να κάνει στρατηγικά το επόμενο pit stop του.
- Ανάλυση ανταγωνιστών: Η ανάλυση δεδομένων επιτρέπει στην F1 να συγκρίνει την απόδοση συγκεκριμένων μονοθέσιων, ομάδων και οδηγών σε οποιαδήποτε σχετική παράμετρο και να τα ταξινομήσει οπτικά.
  - Ανάλυση αυτοκινήτου/Ανάπτυξη αυτοκινήτου: Αυτή η εικόνα δείχνει πώς οι ομάδες αναπτύσσουν τα μονοθέσιά τους, πόσο γρήγορα τα βελτιώνουν και ποιο είναι το αποτέλεσμα εντός πίστας καθ' όλη τη διάρκεια της σεζόν. Ο αγώνας ανάπτυξης τόσο κατά τη διάρκεια της σεζόν όσο και από χρόνο σε χρόνο είναι ο κύριος δείκτης μέτρησης για μια ομάδα της Formula 1.

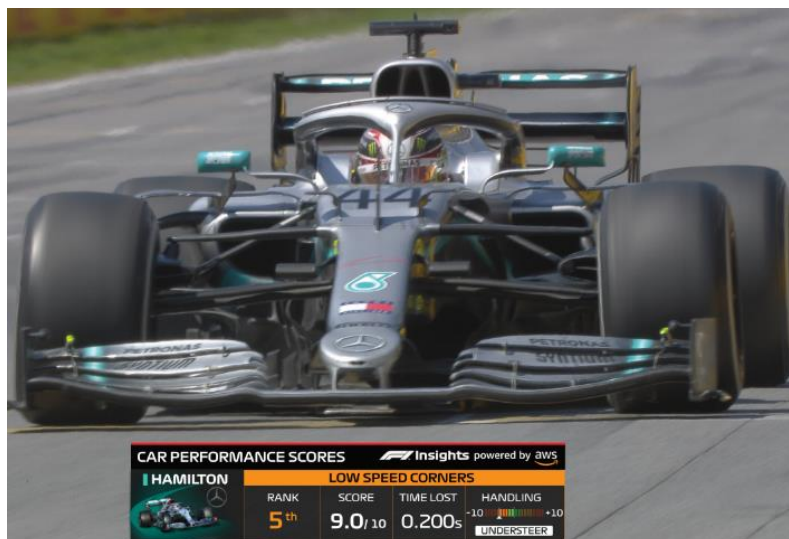


Εικόνα 28 Ανάπτυξη αυτοκινήτου (AWS, 2022)

- Βαθμολογία απόδοσης αυτοκινήτου: Αυτή η εικόνα απομονώνει την απόδοση ενός μεμονωμένου μονοθέσιου και επιτρέπει στους θεατές να τη



συγκρίνουν με εκείνη διαφορετικών οχημάτων συγκρίνοντας τα δομικά στοιχεία που τη συνθέτουν - συγκεκριμένα την απόδοση στις στροφές, στην ευθεία και την ισορροπία ή το χειρισμό του μονοθεσίου.



Εικόνα 29 Βαθμολογία απόδοσης αυτοκινήτου (AWS, 2022)

- Το Driver Performance παρουσιάζει ποιοι οδηγοί πιέζουν το αυτοκίνητό τους στο απόλυτο όριο απόδοσης σε σύγκριση με τους ομόσταβλους τους και τους ανταγωνιστές τους. Υπολογίζοντας τις δυνάμεις που δημιουργούνται από τα ελαστικά ενός αυτοκινήτου κατά τη διάρκεια ενός γύρου και συγκρίνοντάς τις με τη μέγιστη ικανότητα του αυτοκινήτου, αυτό θα δείξει πόσο από τις πιθανές επιδόσεις του αυτοκινήτου εξάγεται από τον οδηγό. Θα εμφανιστούν τρεις παράμετροι για να τονιστούν τρεις βασικοί τομείς της απόδοσης του οδηγού που έχουν σημαντική επίδραση στον τελικό στόχο: Επιτάχυνση, Φρενάρισμα, Στροφές.
- Επιδόσεις οδηγού σε μια σεζόν: παρέχει μια ανάλυση της απόδοσης του οδηγού με βάση το πιο σημαντικό υποσύνολο οδηγικών δεξιοτήτων, αναλύοντας μια πληθώρα δεδομένων σχετικά με τις επιπτώσεις του αυτοκινήτου, των ελαστικών, της κυκλοφορίας, του καυσίμου και άλλων, σε μια βαθμολογημένη απόδοση κατά τη διάρκεια της σεζόν. Οι διάφορες μετρήσεις (ρυθμός στον προκριματικό αγώνα, εκκινήσεις, 1ος γύρος, ρυθμός αγώνα, διαχείριση ελαστικών, pit stop και προσπέραση) κανονικοποιούνται

χρησιμοποιώντας ένα εύρος από 0-10 για να παρέχουν έναν τελικό βαθμό ανά μέτρηση, με τη βοήθεια των οποίων οι θεατές, μπορούν να δουν που βρίσκονται τα δυνατά και αδύνατα σημεία ενός συγκεκριμένου οδηγού και πώς συγκρίνεται με τους άλλους οδηγούς.



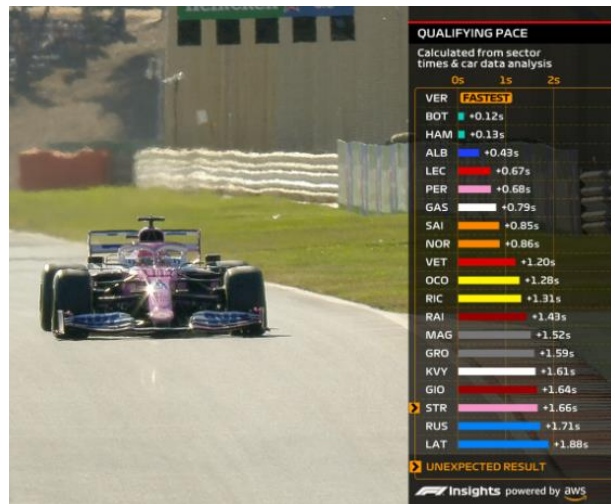
Εικόνα 30 Επιδόσεις οδηγού σε μια σεζόν (AWS, 2022)

- Pit Lane Performance: προσφέρει στους θεατές και τους ραδιοτηλεοπτικούς φορείς την ευκαιρία να αναλύσουν το σύνολο του pit stop event, να κατανοήσουν τον χρόνο που χάνεται και κερδίζεται από τη στιγμή που ο οδηγός εισέρχεται στο pit lane και βγαίνει από το άλλο άκρο.



Εικόνα 31 Pit lane performance (Miller M., 2021)

- Ρυθμός κατατακτήριων: για την δημιουργία του συγκεκριμένου γραφικού, χρησιμοποιείται μηχανική μάθηση και μια αναλυτική μεθοδολογία, λαμβάνοντας τα δεδομένα εξάσκησης και χρησιμοποιώντας ιστορικά δεδομένα για την πρόοδο των ομάδων μεταξύ των αγώνων του Σαββάτου και της Κυριακής.



Εικόνα 32 Ρυθμός κατατακτήριων (AWS, 2022)

- Ανάλυση εκκίνησης: ένα γραφικό που δίνει την ταχύτητα απόκρισης των οδηγών κατά την εκκίνηση.



Εικόνα 33 Start analysis (AWS, 2022)

- Απόδοση μονοθεσίου: Η Formula 1 εξετάζει προσεκτικά την αεροδυναμική, την

απόδοση των ελαστικών, τη μονάδα ισχύος, τη δυναμική του οχήματος και τη βελτιστοποίηση του οχήματος για να προσφέρει πληροφορίες που βοηθούν τους θεατές να ερμηνεύσουν τη συνολική απόδοση του αυτοκινήτου.

- **Breaking performance:** Η απόδοση πέδησης δείχνει πώς το στυλ πέδησης ενός οδηγού κατά τη διάρκεια ενός ελιγμού στις στροφές μπορεί να του προσφέρει ένα πλεονέκτημα. Αυτό συγκρίνει το στυλ πέδησης και την απόδοση των οδηγών μετρώντας πόσο κοντά πλησιάζουν την κορυφή μιας στροφής πριν φρενάρουν και δείχνει πώς το μονοθέσιο και ο οδηγός αποδίδουν μαζί στις στροφές, όπως στην τελική ταχύτητα κατά την προσέγγιση, την μείωση ταχύτητας μέσω πέδησης, την ισχύς πέδησης που χρησιμοποιείται, και τις δυνάμεις «G» στις οποίες υποβάλλονται οι οδηγοί στις στροφές.



Εικόνα 34 Breaking performance (AWS, 2022)

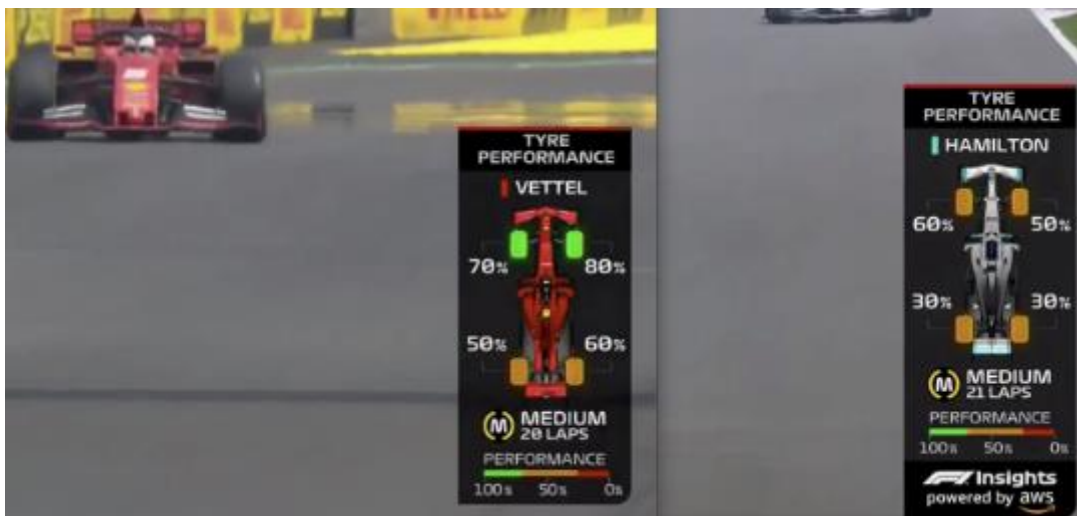
- **Ανάλυση στροφών:** ένας από τους πιο σημαντικούς τομείς απόδοσης για ένα μονοθέσιο της Formula 1, η ανάλυση στροφών χωρίζει μια στροφή σε 4 κύρια τμήματα – φρενάρισμα, στροφή, μεσαία γωνία και έξοδος – αναλύοντας και συγκρίνοντας την απόδοση μεταξύ των μονοθεσίων μέσω των κύριων τμημάτων της, με τη βοήθεια δεδομένων τηλεμετρίας.





Εικόνα 35 Corner analysis (AWS, 2022)

- Απόδοση ελαστικών: Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του μονοθεσίου, δηλαδή την ταχύτητα του αυτοκινήτου, τις διαμήκεις και πλευρικές επιταχύνσεις, η AWS μπορεί να δημιουργήσει μια εκτίμηση των γωνιών ολίσθησης και στη συνέχεια να εξάγει μοντέλα ισορροπίας οχήματος για κάθε αυτοκίνητο. Το αποτέλεσμα μας δίνει μια απόδοση ελαστικού για κάθε στροφή, η οποία υποδεικνύει πόσο έχει χρησιμοποιηθεί το ελαστικό με σεβασμό στην απόλυτη διάρκεια ζωής του (AWS, 2022).



Εικόνα 36 Tyre performance (AWS, 2022)

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί και ένα άλλο σημαντικό έργο, η μετεγκατάσταση της τεράστιας βιβλιοθήκης της Formula 1 με 70 χρόνια εικόνων, ήχου και βίντεο στο cloud. Η υπηρεσία AWS Media2Cloud επέτρεψε στην F1 να μεταφέρει 150.000 ώρες περιεχομένου από ένα αρχείο ταινιών στο AWS Cloud, επιτρέποντας στα στοιχεία να

ευρετηριαστούν και να επισημανθούν για να παρέχουν ιστορικές πληροφορίες για την ανάλυση αγώνα (Miller, 2021).

## Κεφάλαιο 5

# Επεξεργασία δεδομένων κατά τη διάρκεια και μετά τους αγώνες

### 5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η επεξεργασία των δεδομένων που γίνεται από τις ομάδες στα δεδομένα που παράγονται από τους αισθητήρες πριν και κατά τη διάρκεια των αγώνων. Η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται σε δύο φάσεις. Η πρώτη φάση είναι κατά τη διάρκεια των αγώνων με σκοπό την παρακολούθηση λειτουργίας του μονοθεσίου και τη λήψη αποφάσεων. Για παράδειγμα, εάν οι μηχανικοί διαπιστώσουν ότι οι θερμοκρασίες του κινητήρα αυξήθηκαν πάρα πολύ επειδή ο οδηγός βρίσκεται στο «βρώμικο αέρα» από το προπορευόμενο αυτοκίνητο, μπορούν να τον προειδοποιήσουν να υποχωρήσει για μερικούς γύρους μέχρι να κρυώσουν τα εξαρτήματα.

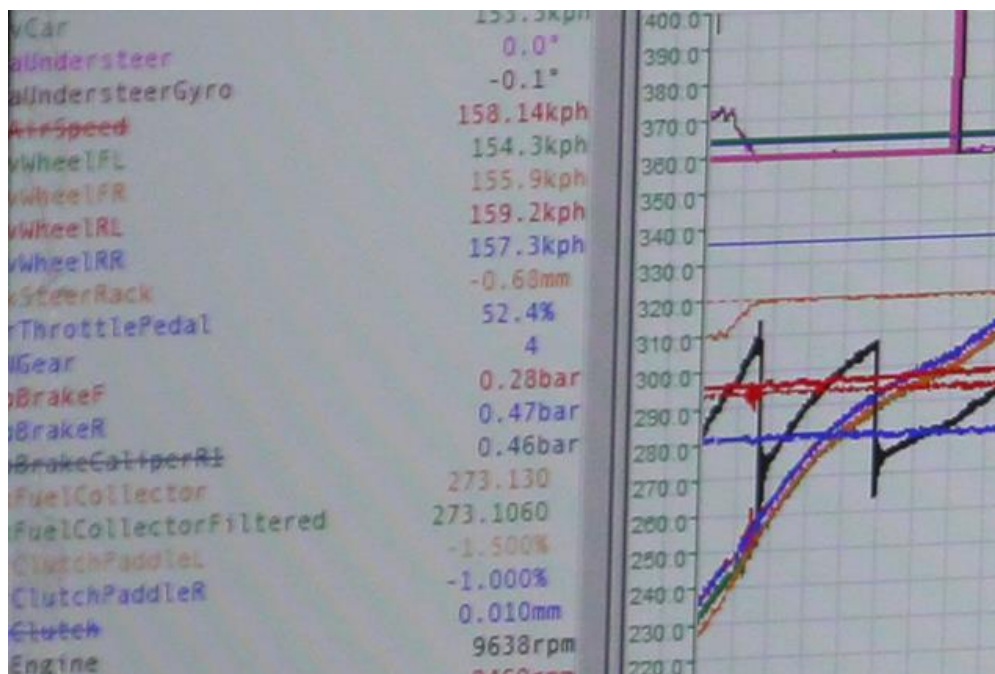
Η δεύτερη φάση ξεκινά με την ολοκλήρωση των αγώνων, έτσι ώστε οι ομάδες να διαπιστώσουν τί πήγε και τί δεν πήγε καλά με βάση όσα είχαν προγραμματίσει και να μπορέσουν να προετοιμαστούν καλύτερα για τον επόμενο αγώνα.

### 5.2 Επεξεργασία κατά τη διάρκεια των αγώνων

Στην εικόνα που ακολουθεί διακρίνεται ένας μηχανικός της Williams να κοιτάζει μια οθόνη που είναι χωρισμένη σε πολλά τμήματα. Τα τμήματα αυτά περιέχουν τις τιμές που συλλέγονται ανά πάσα στιγμή από το μονοθέσιο κατά τη διάρκεια του αγώνα. Στην αριστερή πλευρά, διακρίνονται όλες οι παράμετροι που συλλέγονται. Για να γίνει ευκολότερα κατανοητό θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι το όνομα κάθε μιας παραμέτρου αποτελείται από δύο μέρη, από ένα πρόθεμα και ένα επίθεμα. Το πρόθεμα καθορίζει τον τύπο της μονάδας μέτρησης για παράδειγμα, το “vCar” εκφράζει μια ταχύτητα (v), το “pBrake” δείχνει την πίεση (p) που εφαρμόζεται στα φρένα. Το επίθεμα περιγράφει το

αντικείμενο της μελέτης π.χ. στο vCar είναι το μονοθέσιο, ενώ στο pBrake τα φρένα.

- vCar: ταχύτητα του αυτοκινήτου. Κάθε τροχός είναι εφοδιασμένος με έναν αισθητήρα που μετρά τη δική του ταχύτητα. Αυτό μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το σπινάρισμα, τον τύπο γωνίας κ.α. Έτσι, το vWheel FL (ταχύτητα του μπροστινού αριστερού τροχού) δείχνει 154,3 km/h, ενώ το vWheel FR (μπροστά δεξιά) δείχνει 155,9 km/h.
- aUndersteer: υποστροφή, εκφρασμένη σε μοίρες (δεν υπάρχει εδώ, 0,0°)
- xSteerRack: μέτρηση τιμονιού (εδώ η σχετική θέση στη σχάρα τιμονιού: -0,68mm). Συχνά εκφράζεται ως γωνία διεύθυνσης.
- rThrottlePedal: μέτρηση επιτάχυνσης, εκφρασμένη σε ποσοστό της πίεσης που ασκεί ο οδηγός στο πεντάλ του γκαζιού. Μπορεί να πάρει τιμές από 0% έως 100%, με 0% να σημαίνει ότι δεν πατάει καθόλου το πεντάλ (εδώ 52,4%)
- NGear: Επιλογή ταχύτητας, από την πρώτη έως την όγδοη (εδώ: τέταρτη).
- pBrakeF: πίεση πέδησης που εφαρμόζεται στο μπροστινό μέρος, εκφρασμένη σε bar (εδώ: 0,28 bar)



Εικόνα 37 Απεικόνιση παραμέτρων σε οθόνη (Carpentiers, 2016)



- rBrakeR: πίεση πέδησης που εφαρμόζεται στο πίσω μέρος, μετρημένη στον πίσω κεντρικό κύλινδρο (εδώ: 0,47 bar)
- rBrakeBalDemand: ισορροπία φρένων (εδώ: 50,66%)
- nEngine: στροφές του κινητήρα, εκφρασμένες σε rpm (εδώ: 9.638 rpm)
- NLap: Αριθμός γύρου (εδώ: Γύρος 3)
- pTyrePressureSensorFL/FR/RL/RR: Πίεση ελαστικών μπροστά αριστερά, εμπρός δεξιά, πίσω αριστερά, πίσω δεξιά, εκφρασμένη σε psi για λίβρα ανά τετραγωνική ίντσα (εδώ: 20.5 psi μπροστά αριστερά, 20.2 psi μπροστά δεξιά, 19.3 πίσω αριστερά, 19.4 πίσω δεξιά)
- WStateWingEnabled: Κατάσταση ενεργοποίησης DRS, εκφρασμένη σε δυαδική μορφή (0 σημαίνει όχι, 1 σημαίνει ναι).
- NRearWing StateDriverButton: Ενεργοποίηση DRS από το πρόγραμμα οδήγησης, εκφρασμένη σε δυαδική μορφή (0 σημαίνει όχι, 1 σημαίνει ναι).
- MODE: Η λειτουργία κινητήρα ενεργοποιείται από τον οδηγό στο τιμόνι.
- TRQ: Ρυθμίσεις ροπής που επιλέγονται από τον οδηγό στο τιμόνι.
- mFuel Remaining: φορτίο καυσίμου που απομένει, εκφρασμένο σε κιλά (εδώ: 1,82 kg)

Η παραπάνω λίστα δεν περιέχει όλες τις παραμέτρους που μπορούν να παρακολουθηθούν από τις ομάδες. Οι μηχανικοί, είτε κάθονται στο pit wall, είτε στο πίσω μέρος του γκαράζ, μπορούν να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο την εξέλιξη άλλων δεδομένων που μετρούνται από τους αισθητήρες: φυγόκεντρες δυνάμεις, αεροδυναμική κάθετη δύναμη, θέση συμπλέκτη, πίεση του υδραυλικού συστήματος, πίεση λαδιού, επίπεδα θερμοκρασίας κινητήρα, κιβώτιο ταχυτήτων, ψυκτικό υγρό, και σύστημα εξάτμισης.

Οι τιμές των παραμέτρων για κάθε δεδομένη στιγμή τονίζονται με έναν κατακόρυφο δείκτη (με τη μορφή διακεκομμένης γραμμής) στην κύρια οθόνη. Στο κεντρικό γράφημα, οι καμπύλες δείχνουν την τάση εξέλιξης των παραμέτρων με την πάροδο του χρόνου. Το τμήμα που βρίσκεται στο κάτω αριστερά μέρος συγκεντρώνει όλες τις παραμέτρους που μπορεί να ρυθμίσει ο οδηγός στο τιμόνι του, ενώ στο κάτω δεξιά τμήμα εμφανίζονται τα δεδομένα σχετικά με τη χρήση καυσίμου (φορτίο, κατανάλωση κ.α.)



**Εικόνα 38** Οθόνη παρακολούθησης μηχανικού ομάδας (Carpentiers, 2016)

Οι μηχανικοί με τη βοήθεια των γραφημάτων μπορούν να δώσουν τις κατάλληλες οδηγίες στους οδηγούς της ομάδας για να βελτιώσουν το γύρο τους. Για παράδειγμα, ο επικεφαλής μηχανικός αγώνων της Force India Tom McCullough παρακολουθώντας τους οδηγούς του Nico Hülkenberg και τον Sergio Perez σε κάθε γύρο μπορεί να συγκρίνει τα τμήματα του γύρου που ήταν πανομοιότυπα και να βρει τα σημεία που κάποιος υστερεί σε σχέση με τον ομόσταβλό του. Τότε μπορεί να ενημερώσει τον οδηγό για το λάθος που κάνει και τον καθυστερεί για παράδειγμα στη στροφή 18 φρενάρεις αργά (ή νωρίς), δοκίμασε έναν άλλο συνδυασμό.

Μπορεί όμως ο οδηγός να πάρει την πρωτοβουλία και να πει στον μηχανικό του: «στον Γύρο 3, μεταξύ της στροφής 6 και 7, χρησιμοποίησα διαφορετική ταχύτητα, μπορείτε να το ρίξετε μια ματιά;» Και ο μηχανικός μελετώντας τα δεδομένα, μπορεί να του απαντήσει «ναι είναι πιο γρήγορος» ή «όχι είσαι πιο αργός» ή «το ίδιο». Με τον τρόπο αυτό οι οδηγοί μπορούν συνεχώς να βελτιώνουν τον τρόπο οδήγησής τους έτσι ώστε να πετύχουν το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα (Carpentiers, 2016).

Τί γίνεται όμως στα κεντρικά των ομάδων; Μια μεγάλη ομάδα από μηχανικούς,

χωρισμένη σε υποομάδες εξειδικευμένες σε διαφορετικούς τομείς, δέχεται τα ίδια δεδομένα (αν και με μια μικρή καθυστέρηση όπως έχουμε αναφέρει) με τους μηχανικούς που είναι στην πίστα.



**Εικόνα 39 Αίθουσα Επιχειρήσεων της Renault (Carpentiers, 2019)**

Οι θέσεις στην Αίθουσα Επιχειρήσεων της Renault κατανέμονται σε διάφορες ομάδες ή τμήματα. Ενώ εκτελούν τα συγκεκριμένα καθήκοντά τους η μια από την άλλη, εξακολουθούν να παραμένουν συνδεδεμένοι καθώς το άθροισμα των προσπαθειών επεξεργασίας τους θα βοηθήσει τελικά στη βελτιστοποίηση της απόδοσης του μονοθεσίου. Οι δύο μπροστινές σειρές στα αριστερά είναι άνθρωποι επικεντρωμένοι στην απόδοση του αυτοκινήτου. Εξετάζουν σχεδόν οτιδήποτε δεν έχει σχέση με τον κινητήρα ή την αεροδυναμική, όπως ανάρτηση, φρένα, ελαστικά κ.α. Στα δεξιά είναι η ομάδα που ασχολείται με την αεροδυναμική.

Η τελευταία σειρά είναι η ομάδα στρατηγικής. Η ομάδα είναι εκεί όλο το τριήμερο, οπότε είναι στην πίστα τα μονοθέσια. Δεν συνδέονται τόσο πολύ με τις άλλες ομάδες, αλλά ξοδεύουν πολύ χρόνο εστιασμένοι στους ανταγωνιστές. Αυτό συμβαίνει επειδή ένα

από τα σημαντικά πράγματα για τον σχεδιασμό της στρατηγικής του αγώνα είναι να κατανοήσουν όχι μόνο την απόδοση της ομάδας αλλά και την απόδοση των ομάδων με τους οποίους ανταγωνίζονται. Πρέπει να γνωρίζουν για τις στρατηγικές που είναι πιθανό να χρησιμοποιήσουν οι ανταγωνιστές τους, τα σημεία που είναι δυνατοί και σε αυτά που είναι αδύναμοι, ώστε να μπορέσουν να σχεδιάσουν τη στρατηγική τους (Carpentiers, 2019).

### **5.3 Επεξεργασία μετά τους αγώνες**

Στην ενότητα αυτή, θα αναλυθεί ποια διαδικασία ακολουθεί η Mercedes AMG Petronas, για την ανάλυση των αποτελεσμάτων των αγώνων, εστιάζοντας περισσότερο στις τεχνικές συναντήσεις. Επίσης θα αναλυθεί πώς η McLaren αξιοποιεί τα δεδομένα που έχει συλλέξει από τον αγώνα για να προετοιμαστεί για τον επόμενο αγώνα. Όλες οι ομάδες της Formula 1 ακολουθούν παρόμοιες διαδικασίες ανάλυσης και επεξεργασίας των αποτελεσμάτων.

Είτε ένα Grand Prix είναι επιτυχημένο είτε όχι, υπάρχουν πάντα πολλά για τις ομάδες της Formula 1 για να συζητήσουν, να εξετάσουν και να αναλύσουν μόλις επιστρέψουν στη βάση τους. Φυσικά, τα σημεία που η ομάδα θεωρεί ότι έχει πετύχει πρέπει να επισημαίνονται, να επαινούνται και να επιδοκιμάζονται. Όμως, για να είναι κάποιος πρωτοπόρος χρειάζεται συνεχή προσπάθεια και θα πρέπει να εξετάζει τι πήγε στραβά και πού υπάρχει περιθώριο βελτίωσης.

Τη Δευτέρα μετά τους αγώνες όλα τα τμήματα ξεκινούν με συναντήσεις και συσκέψεις έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι όλοι οι συμμετέχοντες έχουν καταλάβει τι συνέβη το Σαββατοκύριακο - τόσο στην πίστα όσο και στο εργοστάσιο. Στις 14:00 (τοπική ώρα) στο Brackley γίνεται απολογισμός όλων των ομάδων. Πάνω από 500 άτομα συγκεντρώνονται για να ακούσουν από έναν Τεχνικό Διευθυντή, τί συνέβη κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου, τί θα πρέπει να λάβει η ομάδα από αυτό και τί υπάρχει μετά. Κατά τη διάρκεια του απολογισμού οι συμμετέχοντες ενθαρρύνονται να υποβάλουν ερωτήσεις, οι οποίες απαντώνται από τον ομιλητή. Επειδή σε ένα

εργοστάσιο, δε μπορούν όλοι να είναι σε μια συνάντηση, ο απολογισμός επαναλαμβάνεται στις 21:00 (τοπική ώρα) με τον ίδιο οικοδεσπότη.

Τις επόμενες ημέρες, πραγματοποιούνται πολλές άλλες συνεδριάσεις των τμημάτων για να εξεταστεί πραγματικά η δουλειά που έγινε το Σαββατοκύριακο με κάθε λεπτομέρεια. Από τις συναντήσεις αυτές, η μεγαλύτερη είναι το Race Debrief στην οποία συμμετέχουν έως και 50 άτομα. Το debrief καλύπτει μια μεγάλη ποικιλία σημείων. Από τα στατιστικά του αγώνα μέχρι τις βασικές γνώσεις τόσο στο πλαίσιο όσο και στη μονάδα ισχύος με επίκεντρο τον επόμενο αγώνα.

Ακολουθεί μια συνάντηση για την ανάλυση της απόδοσης της ομάδας και στη συνέχεια το κάθε τμήμα πραγματοποιεί τις δικές του αξιολογήσεις εστιάζοντας στη δουλειά που πρέπει να γίνει και στις προοπτικές που μπορεί να υπάρξουν (Mercedes, 2018).

Η McLaren χρησιμοποιεί το Alteryx για ανάλυση πριν και μετά τον αγώνα. Όταν τα μονοθέσια επιστρέφουν στο γκαράζ, εκφορτώνουν όλα τα δεδομένα στον διακομιστή και την υποδομή αποθήκευσης που υπάρχει στο γκαράζ. Η McLaren, σε κάθε αγώνα έχει υπολογιστική δύναμη δύο rack 38U το κάθε ένα τα οποία συνδέονται μέσω ιδιωτικής σύνδεσης στο Διαδίκτυο με το Τεχνολογικό Κέντρο της McLaren. Τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί καθ' όλη τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου του αγώνα, θα αρχειοθετηθούν και θα τοποθετηθούν στο κατάλληλο μέρος για ανάλυση μόλις επιστρέψουν στα κεντρικά. Η ανάλυση μετά τον αγώνα συνεχίζεται για δύο έως τρεις ημέρες και στη συνέχεια η προσοχή στρέφεται στην προετοιμασία για τον επόμενο αγώνα.

Κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάλυσης μετά τον αγώνα, η ομάδα πρέπει να επιλέξει αποτελεσματικά τι είναι χρήσιμο από όλα τα συγκεντρωμένα δεδομένα και να αποφασίσει τι μπορεί να αντιμετωπίσει και τι μπορεί να είναι επωφελές να διερευνήσει (ή όχι) όταν πάει στην επόμενη πίστα. Στις συνεδρίες απολογισμού λαμβάνουν επίσης τα σχόλια των οδηγών και εξετάζουν εάν η απόδοση στον ίδιο τον αγώνα ανταποκρίνεται στις προσδοκίες πριν από τον αγώνα και εντοπίζουν τυχόν ανωμαλίες που θέλει να εξετάσει η ομάδα από την πλευρά της απόδοσης. Το λογισμικό Alteryx είναι το τελευταίο

κομμάτι του παζλ μεταξύ των δεδομένων που προέρχονται από το αυτοκίνητο και του τρόπου με τον οποίο σχετίζονται με την προσομοίωση. Έχοντας τα δεδομένα τηλεμετρίας και τα δεδομένα από τον προσομοιωτή, επιλέγουν τα σημεία συσχέτισης που έχουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον και δημιουργούν το κατάλληλο μοντέλο. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να καταλάβουν τί περίμεναν να πάρουν από το μονοθέσιο στην πίστα και τί πραγματικά κατάφεραν να πάρουν. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να κατανοήσουν λάθη που είχαν γίνει, αδυναμίες που δεν είχαν αποκαλυφθεί κατά την προσομοίωση και να βελτιωθούν για τον επόμενο αγώνα (Mitchell, 2022).

## Κεφάλαιο 6

### Συμπεράσματα και Μελλοντική Εργασία

Το **Κεφάλαιο 1** αυτής της εργασίας επισκόπησε εν συντομία τους κανόνες διεξαγωγής αγώνων της Formula 1. Λόγο της πολυπλοκότητας που υπάρχει αναφέρθηκαν κυρίως οι κανόνες που ισχύουν για το τριήμερο του κάθε Grand Prix χωρίς να αναφερθούν τεχνικές απαιτήσεις των μονοθεσίων και της πίστας. Κατόπιν έγινε παρουσίαση μιας σύντομης ιστορικής αναδρομής από τους πρώτους αγώνες αυτοκινήτων μέχρι την ίδρυση της FIA και τον πρώτο αγώνα Formula 1. Στη συνέχεια παρουσιάστηκαν οι σημαντικότεροι σταθμοί στην εξέλιξη των αγώνων της Formula 1, παρουσιάζοντας τις αλλαγές που γίνονταν με σκοπό τη μεγαλύτερη ασφάλεια των οδηγών, των ομάδων αλλά και των θεατών.

Το **Κεφάλαιο 2** αυτής της εργασίας παρουσίασε ιστορίες μηχανικών με τους οδηγούς της Formula 1 και πώς αυτοί επικοινωνούσαν με τους μηχανικούς τους για να μπορέσουν να τους μεταδώσουν την αίσθηση που ένιωθαν στο μονοθέσιο και ποιες αλλαγές πίστευαν ότι έπρεπε να γίνουν για να μπορέσει να βελτιωθεί η απόδοσή του.

Το **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζει την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου των μονοθεσίων. Ξεκινώντας με την παρουσίαση των αρχικών προδιαγραφών που τέθηκαν από τη FIA και συνεχίζοντας με τις νέες προδιαγραφές που πρέπει να ισχύουν για την καινούρια ECU.

Από τα **Κεφάλαια 4 και 5** εξήχθησαν τα παρακάτω χρήσιμα συμπεράσματα:

- 1) Κάθε μονοθέσιο διαθέτει πάρα πολλούς αισθητήρες για να μπορεί η ομάδα και η FIA να συλλέγει δεδομένα και να παρακολουθεί την απόδοση των εξαρτημάτων αλλά και του οδηγού.
- 2) Ορισμένα από τα δεδομένα που συλλέγονται μεταδίδονται άμεσα από το μονοθέσιο στις ομάδες για να τις βοηθήσουν να λάβουν αποφάσεις.
- 3) Η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται πριν, κατά τη διάρκεια αλλά και μετά τους

αγώνες από τις ομάδες.

4) Η επεξεργασία των δεδομένων και η εξαγωγή αποφάσεων είναι μια κρίσιμη διαδικασία για την εξέλιξη και τη βελτίωση των ομάδων

Το τελικό συμπέρασμα της εργασίας αυτής ήταν ότι οι αγώνες της Formula 1, πέρα από το καθαρά αγωνιστικό κομμάτι, εμπλέκουν πάρα πολλές τεχνολογίες και μπορούν να οδηγήσουν σε τεχνολογικές και επιστημονικές ανακαλύψεις σε ένα μεγάλο εύρος θεμάτων. Από την εξέλιξη των αυτοκινήτων, στη βελτίωση της ασφάλειας αλλά και σε εξέλιξη σε επιστήμες και τεχνολογίες που σχετίζονται με τη Formula 1 όπως η πληροφορική, η επεξεργασία δεδομένων αλλά και η διασύνδεση και αποστολή δεδομένων.



## Κατάλογος Αναφορών

auto123.com, (n.a). Interview with Ayrton Senna's former engineer, Steve Hallam.

<https://www.auto123.com/en/news/interview-with-ayrton-sennas-former-engineer-steve-hallam/36059/>

AWS. (2022). AWS powers F1 Insights.

<https://aws.amazon.com/fl>

Bush, S. (2012). Embedded processing at McLaren.

<https://www.electronicweekly.com/market-sectors/embedded-systems/embedded-processing-at-mclaren-2012-06/>

Carpentiers, N. (2016). F1 telemetry: The data race.

<https://f1i.com/magazine/73067-f1-telemetry-data-race.html>

Carpentiers, N. (2019). Tech F1i: A visit to Renault at Enstone - The Operations Room.

<https://f1i.com/magazine/329274-tech-f1i-a-visit-to-renault-at-enstone-the-operations-room.html>

Cocco, L., Daponte P. (2008). Metrology and Formula One Car.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/4547138>

Dale, W. (2015). F1: Michael Schumacher's former engineer shares stories from his early years at Benetton.

<https://www.foxsports.com.au/motorsport/formula-one/fl-michael-schumachers-former-engineer-shares-stories-from-his-early-years-at-benetton/news-story/0a07e4504836bd869d6019296923daeb>

Donaldson, G. (n.a.). Nino Farina.

[https://www.formula1.com/en/drivers/hall-of-fame/Nino\\_Farina.html](https://www.formula1.com/en/drivers/hall-of-fame/Nino_Farina.html)

Farell, H. (2022). Formula One CTO highlights how impressive Ayrton Senna really was.

<https://punditarena.com/other-sports/hugh-farell/ayrton-senna-pat-symonds-praise/>

FIA (2006). 2008, 2009 AND 2010 FIA FORMULA ONE WORLD CHAMPIONSHIP INVITATION TO TENDER FOR ECU SUPPLY CONTRACT.

[https://argent.fia.com/web/appelloffre.nsf/315B4A2BB4AB8B5DC125717A004FC9D4/\\$FILE/AO%20version%20finale.pdf?openelement](https://argent.fia.com/web/appelloffre.nsf/315B4A2BB4AB8B5DC125717A004FC9D4/$FILE/AO%20version%20finale.pdf?openelement)

FIA (2022a). REGULATIONS.

<https://www.fia.com/regulation/category/110>

FIA (2022b). APPENDIX II Technical Specifications.

[https://legal.fia.com/web/appelloffre.nsf/7206432D1C1153E5C12585B6004AC590/\\$FILE/Technical%20Requirements.pdf?openelement](https://legal.fia.com/web/appelloffre.nsf/7206432D1C1153E5C12585B6004AC590/$FILE/Technical%20Requirements.pdf?openelement)

Formula 1. (2018). Halo strong enough to hold a bus, say Mercedes.

<https://www.formula1.com/en/latest/article.fl-halo-strength-bus.51zS5jAngIly6okOkUKmso.html>

Gitlin, J. M. (2020). This new sensor is how F1 plans to stop teams from cheating in 2020.

<https://arstechnica.com/cars/2020/03/this-new-sensor-is-how-f1-plans-to-stop-teams-cheating-in-2020/>

Groote, S. (2015). Made to measure.

<https://www.f1technical.net/features/20003>

Hughes, M., Piola, M. (2018). TECH TUESDAY: Exploring the technological wizardry behind Williams' legendary FW15C

<https://www.formula1.com/en/latest/article.tech-tuesday-wizardry-behind->

[williams-fw15c.6IzOXYuuPYOWyaaGGS4AgS.html](https://www.formula1.com/en/latest/article.tech-tuesday-a-close-look-at-the-halo-and-how-it-saved-hamiltons-neck-in.68Ajvw12Xza2P3JvuXGRO3.html)

Hughes, M., Piola, M. (2021). TECH TUESDAY: A close look at the halo – and how it ‘saved Hamilton’s neck’ in Monza crash.

<https://www.formula1.com/en/latest/article.tech-tuesday-a-close-look-at-the-halo-and-how-it-saved-hamiltons-neck-in.68Ajvw12Xza2P3JvuXGRO3.html>

Imgur. (n.a.). The moment when the wing supports on Jochen Rindt's Lotus 49B failed, at the 1969 Spanish Grand Prix

[https://gr.pinterest.com/pin/AYtZHBQwzH0EkDawwBpvkdVtXi2-PLso\\_Nf1B8DCj5I28RPyuii-j0/](https://gr.pinterest.com/pin/AYtZHBQwzH0EkDawwBpvkdVtXi2-PLso_Nf1B8DCj5I28RPyuii-j0/)

Kammertöns, H. B. (Σκηνοθέτης), Nöcker, V. (Παραγωγός, Σκηνοθέτης, Wech, M. (Παραγωγός, Σκηνοθέτης) (2021) Schumacher [Κινηματογραφική ταινία]. Germany: B14 Film

Kew, M. (2022). The 10 biggest innovations in Formula 1 history: active suspension, halo, fan car & more

<https://www.autosport.com/fl/news/the-10-biggest-innovations-in-formula-1-history-active-suspension-halo-fan-car-more/10125979/>

Krigsman, M. (2015). Formula 1 racing: Sensors, data, speed, and the Internet of Things.

<https://www.zdnet.com/article/formula-1-racing-sensors-data-speed-and-the-internet-of-things/>

Llurba, L. (2022). Here’s what grand prix racing was like before F1.

<https://www.redbull.com/be-nl/history-of-grand-prix-racing>

Manishin, G. B. (2018). History

[https://www.f1-grandprix.com/?page\\_id=18](https://www.f1-grandprix.com/?page_id=18)

Mapfre (2020). Data analysis in Formula 1: the difference between victory and defeat.

<https://www.mapfre.com/en/insights/innovation/data-analysis-in-formula-1-the-difference-between-victory-and-defeat/>

McLaren Applied. (n.a.). Formula 1 ECU.

<https://mclarenapplied.com/solutions/formula-1-ecu>

McLaren Applied. (2009). Powertrain Control Unit TAG-310B.

<https://www.mclarenelectronics.com/Content/Products/TAG-310B/TAG-310B.pdf>

McLaren Applied. (2011). Powertrain Control Unit TAG-320.

<https://mclarenelectronics.com/Content/Products/TAG-320/TAG-320.pdf>

McLaren (2016). A brief history of computing in Formula 1.

<https://www.mclaren.com/racing/team/a-brief-history-of-computing-in-F1-1052199/>

Mercedes. (2018). Insight: how an F1 team debriefs after the race.

<https://www.mercedesamgf1.com/en/news/2018/03/insight-how-an-f1-team-debriefs-after-a-race/>

Miller, M. (2021). AWS launches Pitlane Performance graphic for F1.

<https://www.broadcastnow.co.uk/tech-innovation/aws-launches-pitlane-performance-graphic-for-f1/5165223.article>

Miller, R. (2021). How Cloud Data-Crunching Power Accelerates the F1 Racing Experience.

<https://datacenterfrontier.com/how-cloud-data-crunching-power-accelerates-the-f1-racing-experience/>

Mitchell, S. (2022). Data Analytics: Managing F1's Digital Gold.

<https://www.racecar-engineering.com/articles/data-analytics-managing-f1s->

[digital-gold/](#)

Moore, E. (2017) The Mind-Blowing Complexity of F1 Steering Wheels.

<https://www.redbull.com/us-en/formula-1-steering-wheel-breakdown-2016>

Motorlat (2022). F1 | Newey: “Modern” Verstappen provides “incredibly important” feedback for engineers.

<https://www.motorlat.com/notas/fl/24620/fl-newey-modern-verstappen-provides-incredibly-important-feedback-for-engineers>

Reichert, C. (2018). Formula 1: How sensor technology is changing the race.

<https://www.zdnet.com/article/formula-1-how-sensor-technology-is-changing-the-race/>

Rose, J. (2021). Pure Storage Fuels Mercedes-AMG Petronas Data-Driven Performance Again.

<https://blog.purestorage.com/perspectives/pure-storage-and-mercedes-amg-petronas/>

Scarborough, C. (2020). Master Control – understanding the Williams F1 steering wheel

<https://motorsport.tech/formula-1/master-control-understanding-the-williams-fw-43-steering-wheel>

Sherman, D. (2012). The Physics Of: How the HANS Device Saves Lives.

<https://www.caranddriver.com/features/a15121817/the-physics-of-how-the-hans-device-saves-lives-feature/>

Smedley, R. (2019). Testing explained: Rob Smedley on aero rakes.

<https://www.formula1.com/en/latest/article.smedley-what-are-aero-rakes.1F74d3YVUBzRRiZz9D3nZ4.html>

Tremayne, D. (2020). Why is it called Formula 1 – and 12 other questions about the

championship's origins.

<https://www.formula1.com/en/latest/article.why-is-it-called-formula-1-and-12-other-questions-about-the-championships.1GHeel6u4jga6hMpX2eFs1.html>

Verma, H.K. (2017). Telemetry Basics.

<http://profhkverma.info/wp/wp-content/uploads/2017/04/Ch-1-Telemetry-Basics.pdf>

Yusson, M. (2019). Imola '94 and the lasting safety legacy.

<https://www.formula1.com/en/latest/article.imola-94-and-the-legacy-of-improved-safety.5P8zqEzNjKzYw8qdckoYFF.html>

Williams. (2022). Aero rakes: What are they and why are they so important?

<https://www.williamsf1.com/posts/f32a920b-9e5d-4b9c-ad39-9f93e8015c24/aero-rakes-explanation-testing>

Wodehouse, C. (2021). How Formula 1 Car Sensors Create Data at Every Turn.

<https://blog.purestorage.com/perspectives/how-formula-1-car-sensors-create-data-at-every-turn/>