

ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ
ΔΙΑΧΥΤΗΣ
ΟΧΗΜΑΤΩΝ

ΤΑΜΠΟΥΡΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΠΑΠΠΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα μέσα του '50 και του '60 όπου η αεροδυναμική των οχημάτων ήταν μια επιστήμη, αν όχι άγνωστη, μη ανεπτυγμένη, θα δούμε διαφορές που θα χαρακτηρίζονταν εξωπραγματικές αλλά δραματικές στην εξέλιξη της σχεδίασης αλλά και της αεροδυναμικής απόδοσης των οχημάτων. Με τα οφέλη της αεροδυναμικής που άρχισαν να ανακαλύπτονται τα επόμενα έτη στην αναζήτηση μεγαλύτερων ταχυτήτων των οχημάτων, και κυρίως μέσω των αγώνων ταχύτητας αγωνιστικών αυτοκινήτων, άρχισε ο τομέας της αεροδυναμικής πλέον να είναι αναπόσπαστο κομμάτι του σχεδιασμού των οχημάτων.

Στα μέσα της δεκαετίας του '70, στον μηχανοκίνητο αθλητισμό και συγκεκριμένα στον χώρο της Φόρμουλα 1, πετυχημένες σχεδιαστικές καινοτομίες των ευφυέστατων αεροδυναμιστών της εποχής στα αγωνιστικά μονοθέσια της Φόρμουλα 1 άρχισαν πλέον να απασχολούν τις σκέψεις και έρευνες των σχεδιαστών των αυτοκινητοβιομηχανιών.

Φτάνοντας στα τέλη της δεκαετίας του '90 η αεροδυναμική πλέον είναι ο κύριος παράγοντας στον οποίο βασίζεται η σχεδίαση και των αγωνιστικών αλλά και των αυτοκινήτων παραγωγής. Οι αεροδυναμικές λύσεις που περνάνε συνεχώς από τους αγώνες ταχύτητας στα αυτοκίνητα παραγωγής είναι εμφανέστατες αλλά κυρίως, αποδίδουν σε τεράστιο βαθμό και κρίνονται αποτελεσματικές και απαραίτητες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, ο αεροδυναμικός διαχύτης, με τον οποίο θα ασχοληθούμε εμείς.

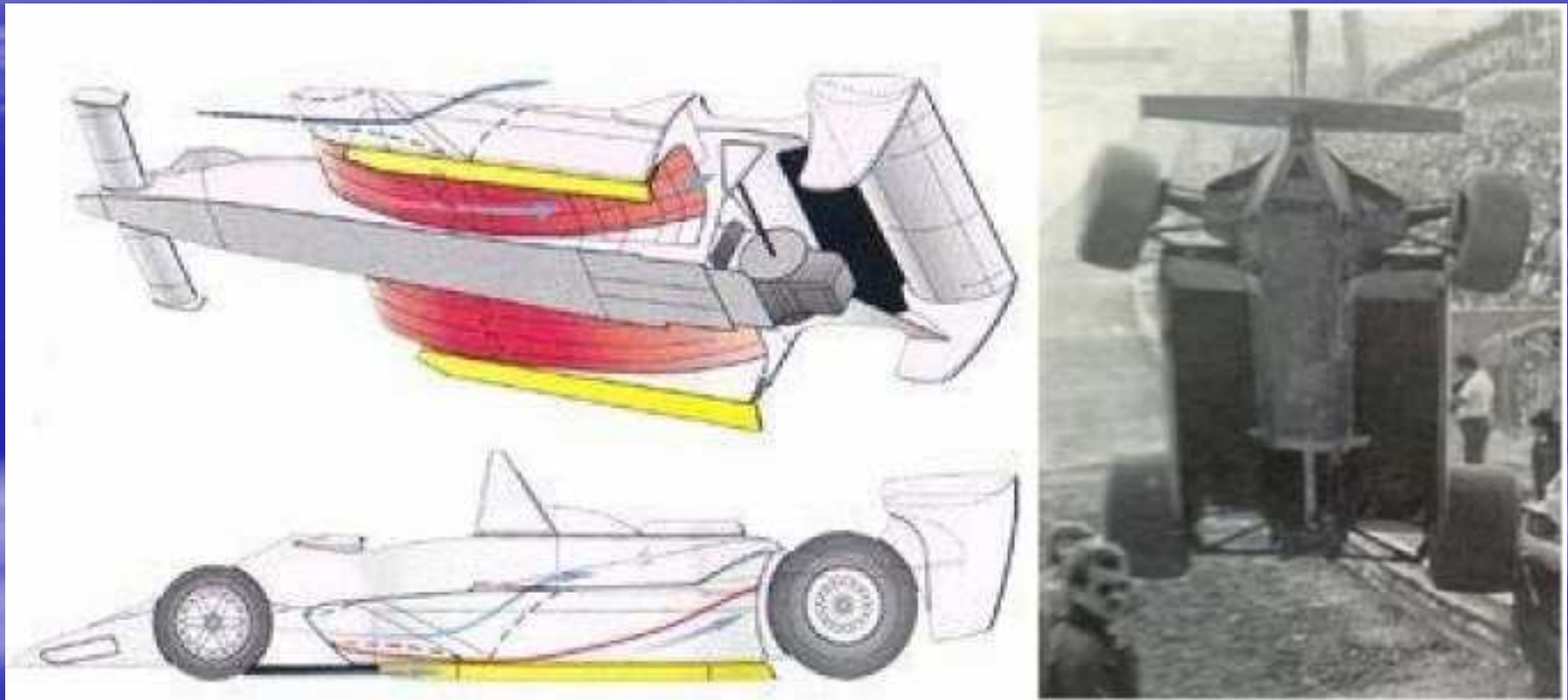
Οι αεροδυναμικές εξελίξεις διαδραματίζουν έναν ζωτικής σημασίας ρόλο στο σύγχρονο αυτοκίνητο, είτε στη μείωση της αεροδυναμικής αντίστασης είτε την παραγωγή κάθετης δύναμης. Αυτή η κάθετη δύναμη, ή αλλιώς "**αρνητική άντωση**", που παράγεται από το αυτοκίνητο, αυξάνει το κάθετο φορτίο στους τροχούς, αυξάνοντας κατά συνέπεια και τα επίπεδα της τριβής τους με το οδόστρωμα. Αυτή η αυξημένη τριβή των τροχών επιτρέπει σε ένα αγωνιστικό ή και σε ένα σπορ επιβατικό αυτοκίνητο παραγωγής, να πάρει τις στροφές του δρόμου με ταχύτητες μη επιτευκτές χωρίς την επιπλέον αυτή κάθετη δύναμη που δημιουργείται.

Το 1977, η Lotus ήταν η πρώτη εταιρεία παραγωγής αγωνιστικών αυτοκινήτων που εφάρμοσε αρχικά στα αυτοκίνητα της ένα πάτωμα ιδιαίτερου προφίλ, κάνοντας χρήση του φαινομένου του Ground Effect.

Αυτή η τεχνολογική εξέλιξη στο πάτωμα των μονοθεσίων της, που διαμορφώνεται υπό μορφή αεροτομής, οδηγούσε τα μονοθέσια στην παραγωγή πρωτοφανών ποσών κάθετης δύναμης και μιας απότομης αύξησης της ταχύτητας των αυτοκινήτων στις στροφές, κάτι που δεν είχε ξαναεπιτευχθεί σε τέτοιο επίπεδο.

Για λόγους ασφαλείας αυτού του είδους πάτωμα των μονοθεσίων απαγορεύθηκε από τις Αρχές της Φόρμουλα 1 στο τέλος του 1982, δίνοντας όμως την έμπνευση στους σχεδιαστές να διαμορφώσουν μια επίπεδη επιφάνεια πλέον μεταξύ του μπροστινού και οπίσθιου άξονα των τροχών, με έναν διαχύτη που επιτράπηκε να τοποθετηθεί πίσω από τον οπίσθιο άξονα.

Σχήμα 1: Η πρώτη διαμόρφωση πατώματος μονοθεσίου Φόρμουλα 1, καινοτομία της Lotus.



ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΔΙΑΧΥΤΗΣ ΚΑΙ ΑΓΩΝΙΣΤΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Η πιο παραγωγική συσκευή παραγωγής κάθετης δύναμης είναι ο **διαχύτης**. Ένας διαχύτης είναι μια συσκευή που επεκτείνεται στην κατεύθυνση της ροής αέρος. Αυτή η επέκταση αναγκάζει τον αέρα να κινηθεί δια μέσω του γεμίζοντας το κενό. Σε αντίθεση με αυτό που μπορεί να σκεφτείτε, αυτή η επέκταση δεν μειώνει την πίεση της ροής του αέρος. Αντιθέτως, η επέκταση επιβραδύνει τον αέρα, αυξάνοντας πραγματικά την πίεση της ροής. Πώς αυτό προκαλεί κάθετη δύναμη θα αναρωτηθεί κάποιος. Είναι ένα φαινόμενο αποκαλούμενο "**Αποκατάσταση Πίεσης**". Δεδομένου ότι ο αέρας επιβραδύνεται, τα μόρια σε αυτόν πρέπει να βρεθούν πιο κοντά προκειμένου να αυξηθεί η πίεση. Αυτή η απαίτηση, αναγκάζει τον αέρα να απορροφηθεί προς τα μέσα για να επιτρέψει αυτήν την αύξηση πίεσης να πραγματοποιηθεί. Οι αποτελεσματικότεροι διαχύτες είναι κλειστοί στις πλευρές τους από "τείχη" τα λεγόμενα κανάλια ή φράχτες-οδηγούς, που επεκτείνονται κοντά στο έδαφος, στην πραγματικότητα διαμορφώνοντας μια σφραγισμένη σήραγγα (μερικές φορές καλούμενη ως "Τούνελ Επίγειας Επίδρασης" ή Ground Effect Tunnel) ανοιχτή μόνο στις άκρες.

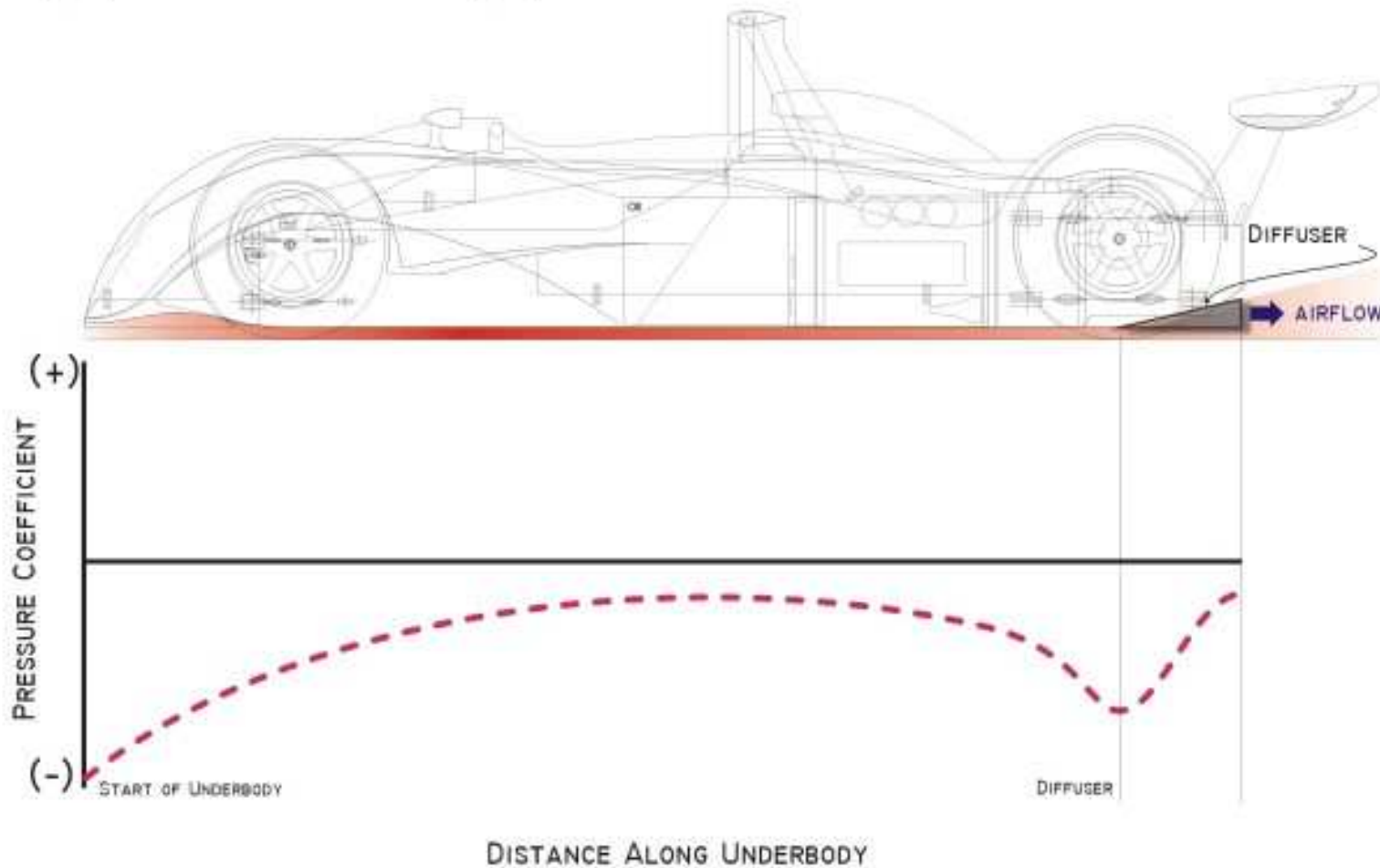
Επειδή ο αέρας δεν μπορεί να εισέλθει μέσα από τις πλευρές, αναγκάζεται να επιταχύνεται μέσω της εισόδου του διαχύτη για να τον γεμίσει. Αυτή η επιτάχυνση μειώνει την πίεση του αέρα στον χώρο εισόδου του αέρα στον διαχύτη, δημιουργώντας κάθετη δύναμη. Στην πράξη δεν είναι ο διαχύτης αυτός που παράγει την κάθετη δύναμη, αλλά είναι η περιοχή μπροστά από αυτόν.

Σύμφωνα με τις μελέτες που πραγματοποιούνται στις αεροδυναμικές σήραγγες, η βέλτιστη γωνία ενός διαχύτη είναι περίπου $9,5^\circ$ (μοίρες) προς τα πάνω, με βάση το οριζόντιο επίπεδο του πατώματος ενός αυτοκινήτου. Ένας διαχύτης που βρίσκεται στο οπίσθιο τμήμα του αυτοκινήτου, μπορεί επίσης να χρησιμεύσει, ως μια δεξαμενή πίεσης ώστε να γεμίσει το κενό αέρος που δημιουργείται κατά την ροή αέρος στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου. Οι διαχύτες μπορούν συγχρόνως όχι μόνο να παράγουν τεράστια ποσά κάθετης δύναμης, αλλά μπορούν επίσης να μειώσουν σημαντικά την αντίσταση του αέρα C_D (οπισθέλκουσα δύναμη)!

Ουσιαστικά, δημιουργεί μια επίδραση αναρρόφησης στο οπίσθιο τμήμα του αυτοκινήτου και τραβά το αυτοκίνητο προς τα κάτω, δημιουργώντας κάθετη δύναμη κατά την πορεία του στον δρόμο. Η επίδραση αναρρόφησης είναι ένα αποτέλεσμα που βασίζεται στην εξίσωση του Bernoulli, που δηλώνει ότι όπου η ταχύτητα είναι υψηλότερη, η πίεση πρέπει να είναι χαμηλότερη. Επομένως, η πίεση κάτω από το αυτοκίνητο πρέπει να είναι χαμηλότερη από την πίεση στην έξοδο του αέρα από το πάτωμα αυτού, δηλαδή στον χώρο του διαχύτη.

Σχήμα 2: Διάγραμμα μεταβολής της πίεσης στην περιοχή μεταξύ του πατώματος ενός πρωτότυπου αγωνιστικού τύπου Le Mans αυτοκινήτου και του εδάφους.

Typical Prototype



Η ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΑΧΥΤΗ ΣΤΗΝ FORMULA 1

Στη δεκαετία του '70 η ανακάλυψη του φαινομένου του "Ground Effect" από τον Colin Chapman έκανε το διαχύτη ιδιαίτερα σημαντικό στην Φόρμουλα 1. Ο διαχύτης είναι ουσιαστικά μια ανεστραμμένη αεροτομή στη βάση του οπίσθιου τμήματος των αυτοκινήτων, προστιθέμενος επιπλέον από διάφορα κανάλια τους επονομαζόμενους πολυκάναλους διαχύτες (multichannel diffusers).

Τα κανάλια (ή τούνελ) αυτά, τα οποία είναι σαν μικροί "φράχτες", βοηθούν τον αέρα που βρίσκεται κάτω από το μονοθέσιο να οδηγηθεί ομαλά πίσω στον διαχύτη δημιουργώντας μικρά ξεχωριστά ρεύματα αέρα χωρίς στροβιλισμούς. Ο διαχύτης παράγει το 40 % της πλήρους κάθετης δύναμης σε ένα μονοθέσιο Φόρμουλα 1.

Σχήμα 3: Πρόσοψη του οπίσθιου τμήματος ενός σύγχρονου μονοθεσίου Φόρμουλα 1. Διακρίνονται ο μεγάλος κεντρικός διαχύτης και οι μικρότερου μεγέθους πλευρικοί διαχύτες.



Η ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΟΠΙΣΘΙΑΣ ΑΕΡΟΤΟΜΗΣ

Η πολλαπλών στοιχείων σε δυο παράλληλες σειρές οπίσθια αεροτομή, ενεργεί στο τέλος κατά μήκος ενός αυτοκινήτου. Εκτός από την παραγωγή κάθετης δύναμης, η κάτω σειρά των στοιχείων της αεροτομής χρησιμεύει ως "αύξηση" του μεγέθους του διαχύτη και επιταχύνει τη ροή περισσότερο μέσω του διαχύτη.

Κατά συνέπεια, η ροή στο πάτωμα του μονοθεσίου επιταχύνεται λόγω της αναρρόφησης που δημιουργείται από τη κάτω σειρά στοιχείων της αεροτομής, έτσι παράγεται ως αποτέλεσμα περισσότερη κάθετη δύναμη από αυτή που παράγεται απ' την ροή του αέρα στο πάτωμα του μονοθεσίου.

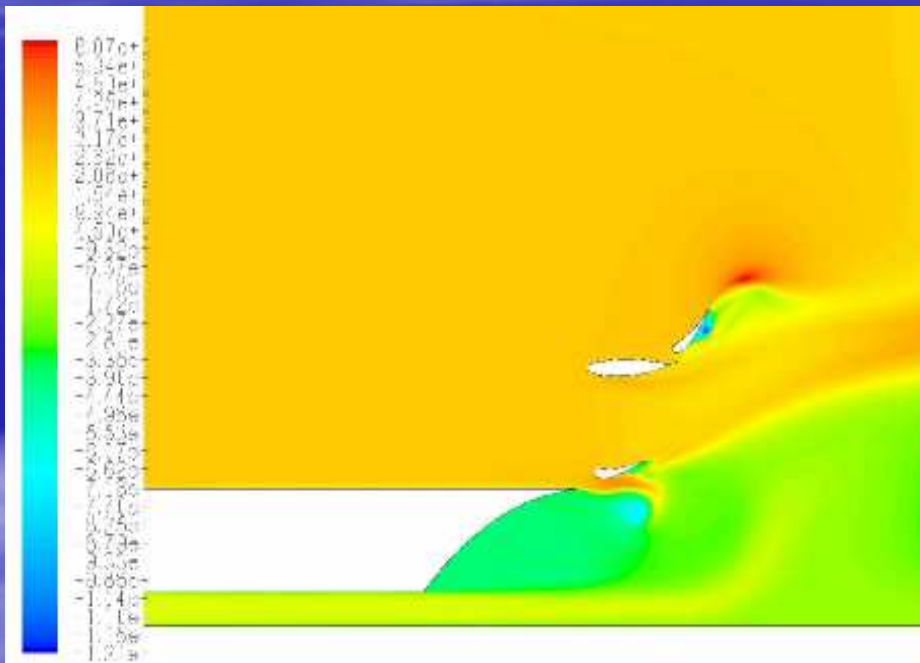
Ακόμα κι αν η ανάλυση της οπίσθιας πτέρυγας επεκτείνεται πέρα από το πεδίο αυτής της έρευνας, η επιρροή της στη ροή του ρεύματος αέρα στο κάτω μέρος του μονοθεσίου είναι σημαντική. Η παρουσία της κάτω σειράς στοιχείων αεροτομών προκαλεί πρόσθετη επιτάχυνση στο ρεύμα αέρα, προκαλώντας κατά συνέπεια μεγαλύτερη κι ευνοϊκότερη πίεση στο πίσω μέρος του μονοθεσίου.

ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΧΥΤΗ ΚΑΙ ΟΠΙΣΘΙΑΣ ΑΕΡΟΤΟΜΗΣ

Το σημαντικότερο φαινόμενο είναι το αποκαλούμενο "upwash". Στα ελληνικά θα μπορούσε να μεταφραστεί απλά, σαν τον αέρα που ανέρχεται προς τα επάνω. Επίσημη ορολογία της λέξης δεν υπάρχει στην γλώσσα μας. Πιο επιστημονικά είναι ένα απότομα ανοδικό χειμαρρώδες και μεγάλης ταχύτητας συνήθως ρεύμα αέρα που εξέρχεται κάτω από το πάτωμα του μονοθεσίου και ανακόπτει το αντίστοιχο ρεύμα αέρα που περνά μέσω του διαχύτη και πάνω από το πάτωμα, εκτρέποντας το με ορμή προς τα πάνω.

Αυτή η εξάρτηση των δυο αυτών παραγόντων, αφενός δηλαδή του φαινομένου του "upwash" και αφετέρου του ρεύματος του διαχύτη που εξέρχεται από το μονοθέσιο, αποκαλύπτεται ιδιαίτερα στην ολοκληρωτική αεροδυναμικά παραγόμενη κάθετη δύναμη που προκύπτει από αυτό το φαινόμενο. Αυτό σημαίνει ότι η κάθετη δύναμη με το "upwash" που παράγεται από το διαχύτη, στην οπίσθια αεροτομή παραδείγματος χάριν, είναι 60 % υψηλότερη από την κάθετη δύναμη που ο διαχύτης παράγει χωρίς το φαινόμενο του "upwash".

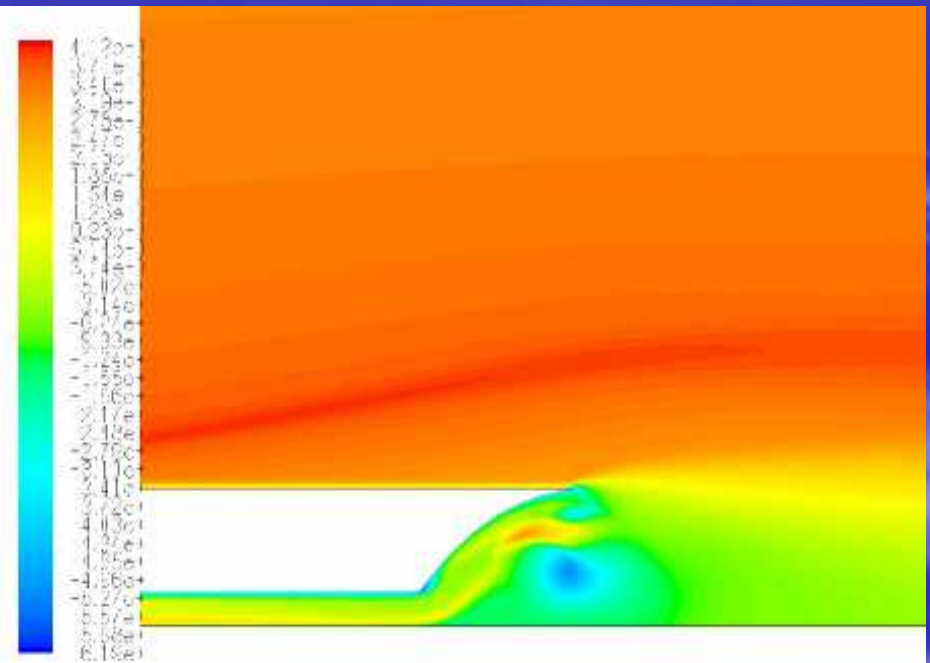
ΣΧΗΜΑ 4:
Συνολική πίεση
με αεροτομή



Contours of Total Pressure (pascal)

Oct 25, 2007
FLUENT 6.3 (2d, console)

ΣΧΗΜΑ 5:
Συνολική πίεση
χωρίς αεροτομή



Contours of Total Pressure (pascal)

Oct 25, 2007
FLUENT 6.3 (2d, pbrts, file)

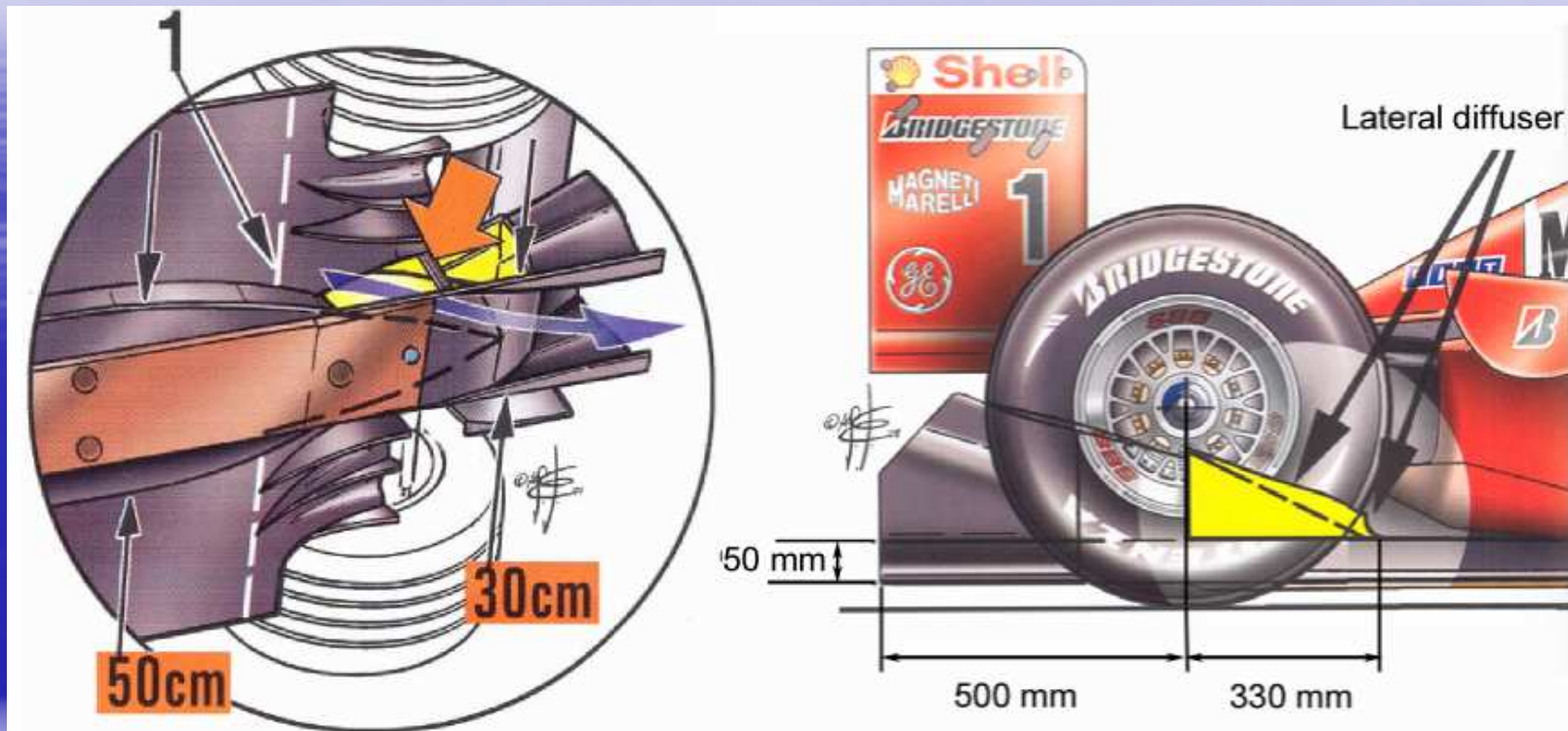
ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΠΑΤΩΜΑΤΟΣ ΕΝΟΣ ΜΟΝΟΘΕΣΙΟΥ F1

Το σύγχρονο πάτωμα ενός μονοθεσίου της Φόρμουλα 1 αποτελείται από τα ακόλουθα τέσσερα κύρια στοιχεία, που διευκρινίζονται.

- **Το πρωτεύον, επίπεδο και χαμηλότερο τμήμα** του πατώματος του μονοθεσίου, με ένα πλάτος μεταξύ 300 και 500 mm, τοποθετείται κεντρικά.
- **Το δευτερεύον τμήμα**, επίσης επίπεδο αλλά ανυψωμένο κατά 50 mm επάνω από το χαμηλότερο τμήμα του πατώματος, δημιουργώντας έτσι ένα είδος σκαλοπατιού, καλύπτει το υπόλοιπο πλάτος του αυτοκινήτου.
- **Ο κεντρικός διαχύτης**, επιτρέπεται να τοποθετείται κατά μήκος του υπόλοιπου μήκους του αυτοκινήτου, με ένα μέγιστο πλάτος 300 mm.

- **Οι πλευρικοί μικρότεροι διαχύτες** (ή μορφοποιητές ροής αέρος ή κανάλια), προσαρμοσμένοι στο δευτερεύον τμήμα του πατώματος του μονοθεσίου, τοποθετούνται περίπου κάτω από τον οπίσθιο άξονα του μονοθεσίου. Οι πλευρικοί και κεντρικοί διαχύτες συνδέονται άμεσα κυρίως με το δευτερεύον τμήμα του πατώματος απ' ότι με το πρωτεύον.

Σχήμα 6: Γεωμετρία διαχύτη και μεγέθη.



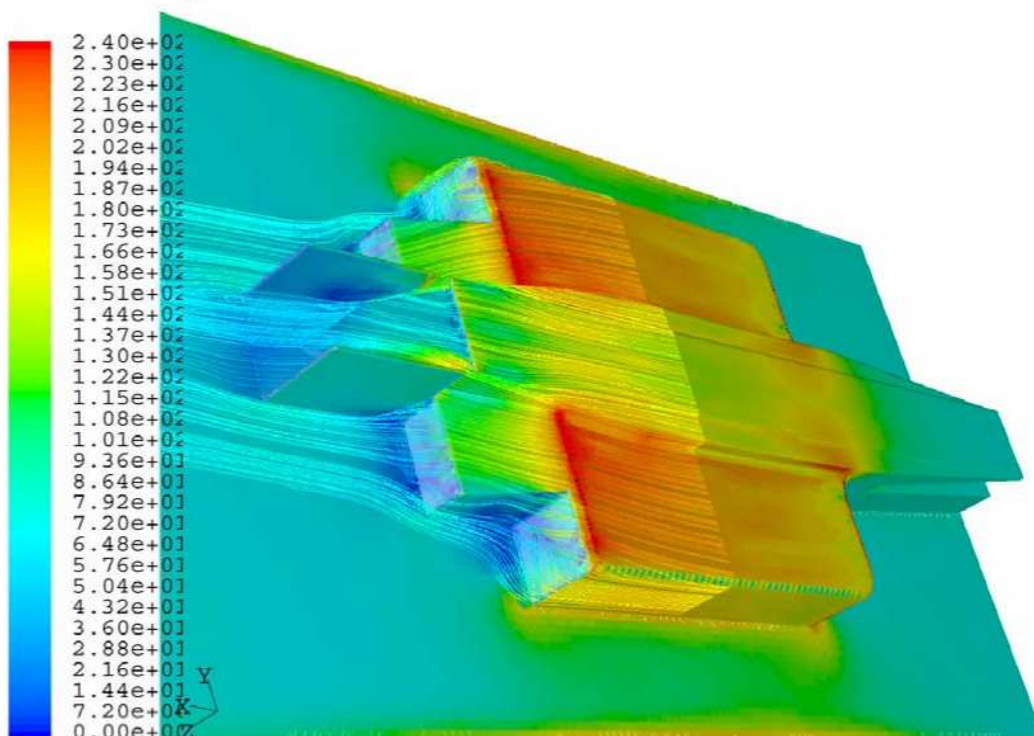
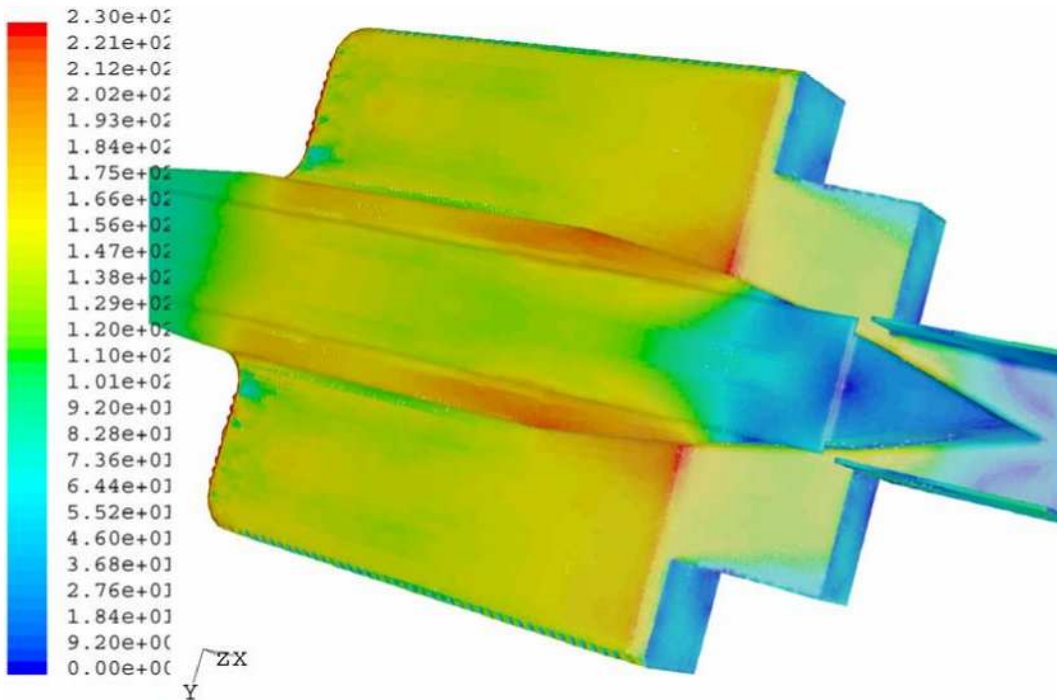
ΔΙΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΜΟΝΟΘΕΣΙΟΥ

Η ροή στο κάτω μέρος του μονοθεσίου μπορεί να διαιρεθεί σε τέσσερις κατηγορίες:

- Ροή πάνω από το πρωτεύον τμήμα του πατώματος και της σανίδας ολίσθησης.
- Ροή πάνω από το δευτερεύον τμήμα του πατώματος, επιταχυνόμενη από τον κεντρικό διαχύτη.
- Ροή πάνω από το δευτερεύον τμήμα του πατώματος, επιταχυνόμενη από τους πλευρικούς διαχύτες.
- Εξωτερική ροή πέρα από το δευτερεύον τμήμα του πατώματος, όχι άμεσα επιταχυνόμενη από τον κεντρικό ή τους πλευρικούς διαχύτες.

Η υψηλότερη ταχύτητα του αέρα στο κάτω μέρος του μονοθεσίου, επιτυγχάνεται από τη ροή που επιταχύνεται από τον κεντρικό διαχύτη, δεδομένου ότι ο κεντρικός διαχύτης ενσωματώνει τη μεγαλύτερη ανάκτηση πίεσης εξαιτίας του μήκους του. Η χαμηλότερη σειρά της οπίσθιας αεροτομής, θα δώσει μια περαιτέρω αύξηση στην ταχύτητα μέσω του πατώματος του μονοθεσίου, με παρόμοιο τρόπο όπως με την επίδραση των πτερυγίων στα φτερά των αεροσκαφών.

Η ροή επιταχύνεται πρώτιστα από τους πλευρικούς διαχύτες. Η επιτάχυνση της όμως είναι μικρότερη λόγω του μικρότερου μήκους των πλευρικών διαχυτών. Οι πλευρικοί διαχύτες είναι εξοπλισμένοι με τους οριζόντιους φράκτες (fences), για να ελαχιστοποιήσουν την επίδραση των περιστρεφόμενων τροχών στην στρωτή, καθαρή ροή του αέρα. Επίσης λειτουργούν, ως φράκτες στη ροή των πλευρικών διαχυτών ώστε να μην διαφύγει απ' την πορεία της και συγκρουστεί μ' αυτή του κεντρικού διαχύτη.



Σχήμα 7: Γραφική απεικόνιση της διανομής της ταχύτητας στο πάτωμα ενός μονοθεσίου.

$V = 70 \text{ m/s}$. Μονάδες: μέτρα/δευτερόλεπτο.

ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΔΙΑΧΥΤΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ

Επίπεδο Πάτωμα Αυτοκινήτων Παραγωγής & Διαχύτης

Μέσω μιας ενιαίας και επίπεδης διαμόρφωσης στο κατώτερο κομμάτι του πατώματος είτε από ανθρακονήματα και κέβλαρ (Kevlar) είτε από ελαφριά κράματα, η οποία καλύπτει όλες τις ανωμαλίες στο πάτωμα οι οποίες καταστρέφουν την αεροδυναμική συμπεριφορά ενός αυτοκινήτου (διαφορικά, ψαλίδια ανάρτησης κ.λ.π), μειώνουμε την τύρβη (στροβιλισμός) του αέρα, επομένως κρατάμε υψηλή την ταχύτητα του και χαμηλή την πίεση του.

Τώρα πια η τεχνική του επίπεδου πατώματος (flat-bottom), εφαρμόζεται σε όλα τα σύγχρονα σπόρ αυτοκίνητα υψηλών επιδόσεων. Προσθέτοντας και ένα διαχύτη (diffuser) στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου πετυχαίνουμε περισσότερα αποτελέσματα στην αεροδυναμική απόδοση του.

Ο διαχύτης προσομοιώνει την λειτουργία του Ground Effect αλλά χωρίς να απαιτεί τόσο αυστηρό φιλτράρισμα των πλευρικών ανέμων. Μια σειρά από τούνελ (κανάλια) των οποίων η διατομή κλείνει προς το πίσω μέρος του μονοθεσίου ενώ η απόστασή τους από το έδαφος αυξάνεται, δημιουργεί ισχυρή υποπίεση κάτω από το αμάξωμα και συνεπώς αεροδυναμικά παραγόμενη κάθετη δύναμη (downforce).

Στην πραγματικότητα η λειτουργία ενός αεροδυναμικού διαχύτη είναι πολύ πιο πολύπλοκη αφού επηρεάζει ουσιαστικά ολόκληρη τη ροή του αέρα τόσο στο κάτω όσο και στο πίσω μέρος ενός αυτοκινήτου.

Σχήμα 8: Απόληξη διαχύτη σύγχρονου σπόρ αυτοκινήτου υψηλών επιδόσεων.

