

**Α.Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
Σ.Τ.Ε.Φ.
ΤΜΗΜΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ**

ΘΕΜΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

**ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΔΙΑΧΥΤΗΣ
ΟΧΗΜΑΤΩΝ**



**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΩΝ: ΤΑΜΠΟΥΡΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΠΑΠΠΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Dr.-Ing. ΔΕΛΗΠΟΡΑΝΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	ΣΕΛ.
1. Εισαγωγή	2
2. Αεροδυναμικός διαχύτης και αγωνιστικά οχήματα.....	6
3. Η αεροδυναμική του διαχύτη στην Formula 1.....	9
3.1. Διαχύτης.....	9
3.2. Η βοήθεια της οπίσθιας αεροτομής.....	14
4. Συνθήκες του πατώματος ενός μονοθεσίου F1.....	15
4.1. Ανάλυση της γεωμετρίας του πατώματος.....	15
4.2. Διανομή της πίεσης στο κάτω μέρος του μονοθεσίου.....	19
4.3. Συνθήκες ροής του πατώματος ενός μονοθεσίου.....	24
4.4. Ρύθμιση προτύπου μοντέλου πατώματος.....	26
4.5. Αλληλεπίδραση διαχύτη και οπίσθιας αεροτομής.....	28
5. Αεροδυναμικός διαχύτης και σύγχρονο αυτοκίνητο.....	30
5.1. Ο Νόμος του Bernoulli.....	30
5.2. Το φαινόμενο του Venturi.....	30
5.3. Αριθμός Reynolds.....	31
5.4. Επίπεδο Πάτωμα Αυτοκινήτων Παραγωγής & Διαχύτης.....	31
5.5. Αεροδυναμικά Βοηθήματα.....	32
6. Φωτογραφικό Υλικό Υπαρχόντων Μορφών Αεροδυναμικών Διαχυτών Οχημάτων.....	34
7. Συμπεράσματα-παρατηρήσεις της πειραματικής διαδικασίας σχεδίασης διαχύτη οχήματος παραγωγής	41
8. Βιβλιογραφία.....	44
9. Παράρτημα Σχεδίων Fluent.....	45

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Δεκαετίες τώρα, ο όρος "Αεροδυναμική" έχει εισχωρήσει βαθειά στην ζωή και στις σχεδιαστικές σκέψεις, εμπνεύσεις αλλά και επιστημονικές και πειραματικές έρευνες σχεδιαστών αλλά και των ίδιων των αυτοκινητοβιομηχανιών. Σε σύγκριση με τις σχεδιαστικές τάσεις προηγούμενων δεκαετιών, όπως τα μέσα του '50 ή 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.

Συνεχείς έρευνες σε αεροδυναμικές σήραγγες που κατασκεύαζε πλέον κάθε αυτοκινητοβιομηχανία, παρόμοιες με αυτές των αεροπορικών και κυρίως στρατιωτικών βιομηχανιών κατασκευής εμπορικών και μαχητικών αεροσκαφών, έδιναν με το μέρος τους συνεχείς εξελίξεις και ανακαλύψεις στην επιστήμη της αεροδυναμικής.

Στα μέσα της δεκαετίας του '70, όταν στον μηχανοκίνητο αθλητισμό και συγκεκριμένα στον χώρο της Φόρμουλα 1 πρώτα άρχισε η χορήγηση μεγάλων χρηματικών ποσών από μεγάλες και φημισμένες αυτοκινητοβιομηχανίες στην συνεχή έρευνα και ανάπτυξη της αεροδυναμικής των αγωνιστικών μονοθεσίων, από τότε άρχισε και η ραγδαία ανάπτυξη του τομέα αυτού. Συγκεκριμένα, η επιρροή πλέον του μηχανοκίνητου αθλητισμού στον σχεδιασμό των αυτοκινήτων παραγωγής άρχισε να αποκτά σάρκα και οστά. Πετυχημένες σχεδιαστικές καινοτομίες των ευφύεστατων αεροδυναμιστών της εποχής στα αγωνιστικά μονοθέσια της Φόρμουλα 1, άρχισαν πλέον να απασχολούν τις σκέψεις και έρευνες των σχεδιαστών των αυτοκινητοβιομηχανιών. Νέες αεροδυναμικές λύσεις και βελτιώσεις των αυτοκινήτων παραγωγής προερχόμενες από τους σχεδιαστικούς χώρους της Φόρμουλα 1, ήταν πλέον γεγονός.

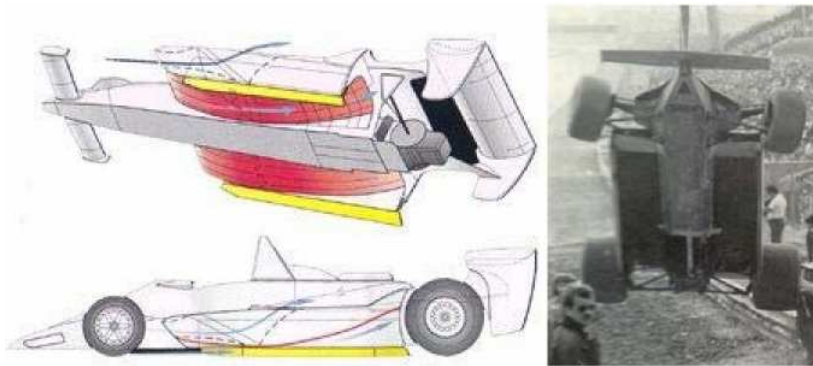
Όσο προχωράμε στην ξέφρενη αυτή πορεία ανάπτυξης της αεροδυναμικής των οχημάτων στα επόμενα έτη, θα δούμε ότι γινόταν όλο και πιο απαραίτητη στους σχεδιαστές και όλο και πιο βελτιώσιμη η ίδια. Στον χώρο της Φόρμουλα 1, η εξέλιξη

της γινόταν πλέον ασταμάτητη ώσπου αναγκάστηκε η Παγκόσμια Ομοσπονδία Αυτοκινήτου να θέσει κάποιους περιορισμούς στην εξέλιξή της διότι διαφορετικά θα έφτανε σε σημείο να μην να προσφέρει απίστευτα πλεονεκτήματα στα αγωνιστικά μονοθέσια, αλλά να θέτει σε κίνδυνο την ζωή των οδηγών τους. Η ταχύτητα των μονοθεσίων κρινόταν σε μεγάλο βαθμό από την αεροδυναμική και κάποια θανατηφόρα ατυχήματα οδήγησαν για λίγα χρόνια στο "πάγωμα" της εξέλιξής της. Τουλάχιστον στον χώρο της Φόρμουλα 1. Στους χώρους των αυτοκινητοβιομηχανιών όμως η εξέλιξη ήταν σταθερά ανοδική καθώς είχαν αποκτηθεί πολύ χρήσιμες γνώσεις από τον μηχανοκίνητο αθλητισμό, ιδιαίτερα των μεγάλων ευρωπαϊκών και ιαπωνικών εταιρειών που συμμετείχαν και σε αγώνες.

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. Υπάρχουν βέβαια και παραδείγματα απλά σχεδιαστικής τάσης στους χώρους των σχεδιαστηρίων των αυτοκινητοβιομηχανιών τα οποία κρίνονται μη αποτελεσματικά στην χρήση τους αλλά, επιλέγονται ως αποτέλεσμα της επιρροής της σημερινής εποχής στα σχέδια των ίδιων των οχημάτων.

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 σπόρ επιβατικό αυτοκίνητο παραγωγής, να πάρει τις στροφές του δρόμου με ταχύτητες μη επιτευκτές χωρίς την επιπλέον αυτή κάθετη δύναμη που δημιουργείται. Τα τελευταία χρόνια, οι κανόνες σχετικά με την αεροδυναμική έχουν αλλάξει, πρώτιστα για λόγους ασφαλείας. Προς το τέλος της δεκαετίας του '60, οι αεροτομές εμφανίστηκαν αρχικά στα αγωνιστικά αυτοκίνητα, και ενσωματώθηκαν σταδιακά στο σχέδιο της κορυφαίας κατηγορίας μηχανοκίνητου αθλητισμού, την Φόρμουλα 1. 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. Αυτό οδήγησε σε μια γρήγορη και ιστορική ανάπτυξη των πατωμάτων των αγωνιστικών αυτοκινήτων που διαμορφώνονται υπό μορφή αεροτομής, συνδιαζόμενα με πλευρικά αφαιρούμενα καλύμματα για να ασφαλίσει την συγκεκριμένη περιοχή από την εξωτερική ροή όπως φαίνεται. Αυτή η τεχνολογική εξέλιξη οδήγούσε 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.



Σχήμα 1.1: Η πρώτη διαμόρφωση πατώματος μονοθεσίου Φόρμουλα 1, καινοτομία της Lotus.

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. Αυτή η απαγόρευση μείωσε αρχικά την κάθετη δύναμη των μονοθεσίων από το τεράστιο επίπεδο που είχε επιτευχθεί με την προηγούμενη ανακάλυψη, αλλά οι προόδους στην τεχνολογία και την αεροδυναμική έφερε πάλι τα επίπεδα της κάθετης δύναμης και των μεγάλων ταχυτήτων στις στροφές στα ίδια επίπεδα με πριν. Μια από αυτές τις προόδους ήταν ενεργή ανάρτηση, ένα σύστημα στο οποίο ένας υπολογιστής έλεγχε την υδραυλική αυτή ανάρτηση που αντικαθιστούσε πλέον την παραδοσιακή παθητική ανάρτηση με τα ελατήρια και τους αποσβεστήρες. Αυτό το σύστημα ήταν σε θέση να εγγυηθεί ιδανική αεροδυναμική και ιδανικό ύψος οδήγησης του μονοθεσίου από το έδαφος υπό όλες τις συνθήκες ενός αγώνα. Αυτή η τεχνολογία απαγορεύθηκε το 1993 εντούτοις,

και μετά από μια καταστρεπτική αγωνιστική περίοδο του 1994 με πολλά θανατηφόρα ατυχήματα, ο σχεδιασμός του πατώματος των μονοθεσίων επρόκειτο να αλλάξει δραματικά. Το απολύτως επίπεδο κάτω μέρος των μονοθεσίων επρόκειτο πλέον να μορφοποιηθεί σε ένα βαθμιδωτό πάτωμα, με μια πρόσθετη ξύλινη σανίδα (σανίδα ολίσθησης) για να περιορίζει το ελάχιστο ύψος οδήγησης ακόμα περαιτέρω, όπως φαίνεται. Αυτό το μέτρο μείωσε την κάθετη δύναμη που παραγόταν με το επίπεδο πάτωμα κατά τουλάχιστον 40 %, μείωσε το ύψος οδήγησης και έριξε την ευαισθησία των μονοθεσίων σημαντικά, κάνοντας τα αυτοκίνητα πιο προβλέψιμα και ασφαλέστερα.



Σχήμα 1.2: Βαθμιδωτό πάτωμα σημερινού μονοθεσίου της Φόρμουλα 1.



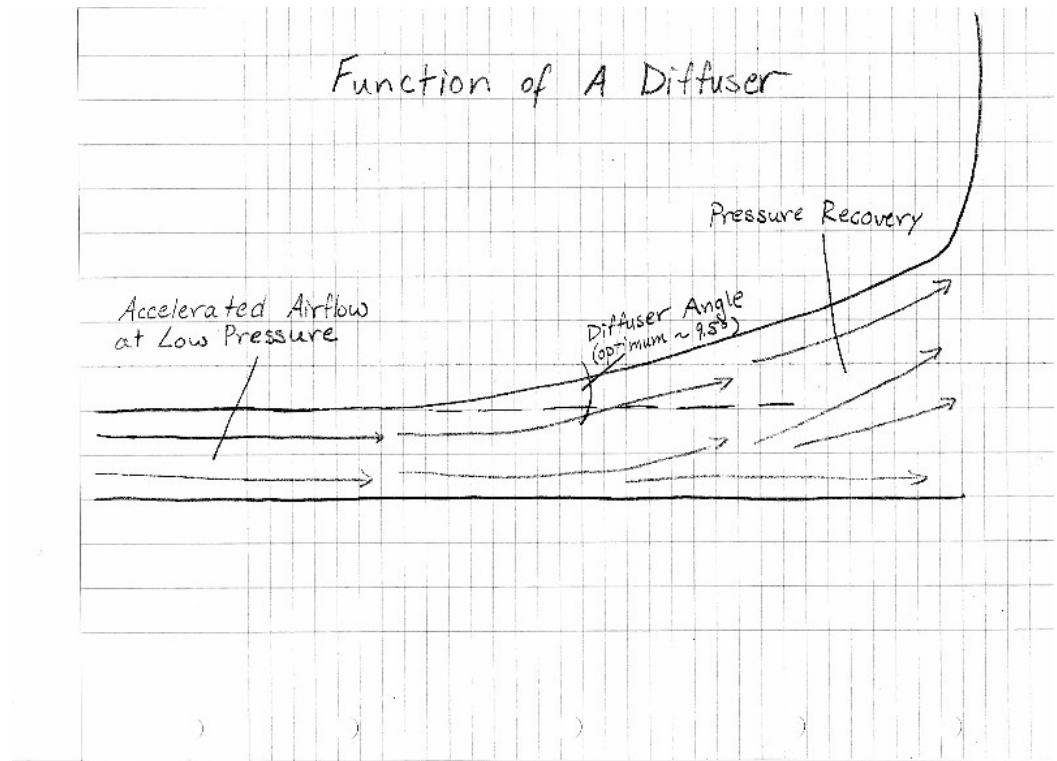
Σχήμα 1.3: Διαμόρφωση πατώματος αυτοκινήτου παραγωγής της σύγχρονης εποχής, αγωνιστικής μόνο χρήσης.

2. ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΔΙΑΧΥΤΗΣ ΚΑΙ ΑΓΩΝΙΣΤΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Η πιο παραγωγική συσκευή παραγωγής κάθετης δύναμης είναι ο διαχύτης. Είναι τόσο αποτελεσματικός που πολλές αγωνιστικές ομοσπονδίες πλέον κρίνουν βαρύνουσα τη χρήση του στα μονοθέσια και η σχεδίαση τους γίνεται με βάση κάποιους τεχνικούς κανονισμούς που έχουν θεσπιστεί. Μερικές ομοσπονδίες τους έχουν απαγορεύσει ακόμη και εντελώς, διότι η χρήση τους δίνει μεγάλο πλεονέκτημα σε όσους έχουν σχεδιάσει αγωνιστικά αυτοκίνητα με αεροδυναμικό διαχύτη. Ένας διαχύτης είναι μια συσκευή που επεκτείνεται στην κατεύθυνση της ροής αέρα. 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 αέρα. Αντιθέτως, η επέκταση επιβραδύνει τον αέρα, αυξάνοντας πραγματικά την πίεση της ροής. Πώς αυτό προκαλεί κάθετη δύναμη θα ρωτήσετε. 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° (μοίρες)** (βλ. σχήμα 2.1) 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**

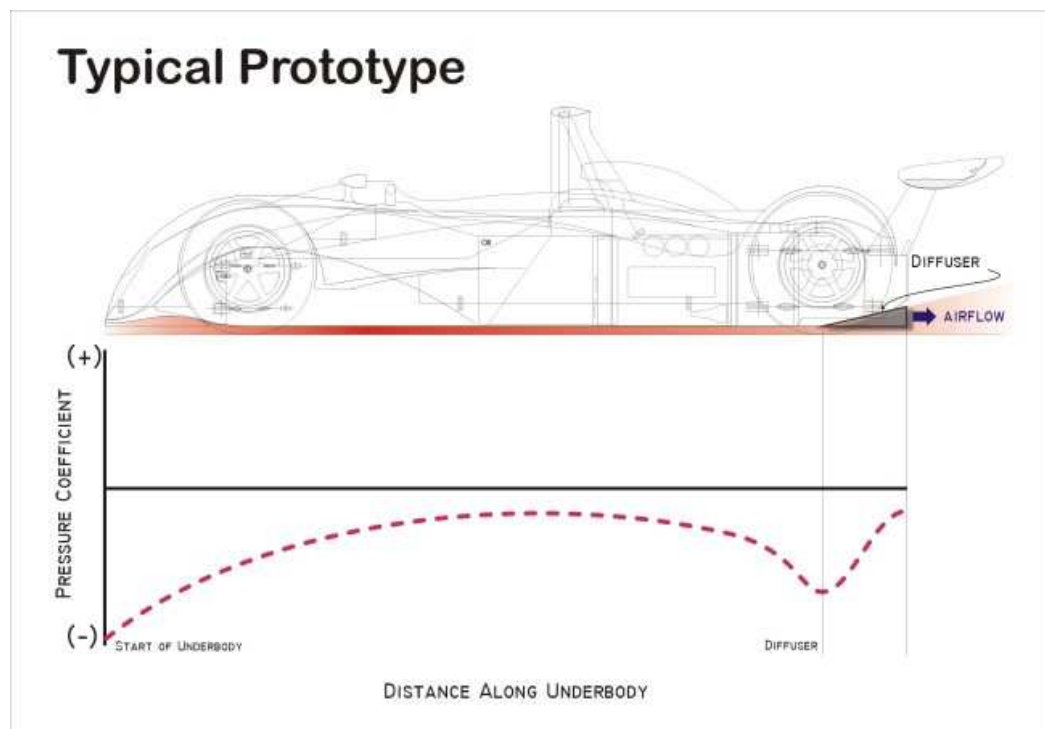
παράγουν τεράστια ποσά κάθετης δύναμης, αλλά μπορούν επίσης να μειώσουν σημαντικά την αντίσταση του αέρα C_D (οπισθέλκουσα δύναμη)!



Σχήμα 2.1: Γωνία Διαχύτη.

Οι διαχύτες βρίσκονται συνήθως στο οπίσθιο τμήμα ενός αγωνιστικού αυτοκινήτου, κάτω και πίσω από το κιβώτιο ταχυτήτων (όταν αναφερόμαστε σε αυτοκίνητο με τον κινητήρα στο πίσω μέρος του), όπου η χαμηλή πίεση που δημιουργούν μπορεί να εφαρμοστεί σε μια μεγάλη περιοχή, δηλαδή σε ολόκληρο το κάτω μέρος (πάτωμα) του αυτοκινήτου. Αποτελείται από πολλά τούνελ (κανάλια αέρος) και θραύστες. Έχει ως σκοπό να καθοδηγήσει προσεκτικά και να ελέγξει τη ροή αέρος κάτω από το πάτωμα του αυτοκινήτου. 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. Δεδομένου ότι η ταχύτητα του αέρα κάτω από τον αυτοκίνητο θα είναι υψηλότερη από την ταχύτητα του αέρα στον χώρο εξόδου του, πρέπει γι' αυτό τον λόγο να σχεδιαστεί προσεκτικά και ο διαχύτης, δεδομένου ότι οι διαστάσεις του περιορίζονται από τους κανονισμούς της Παγκόσμιας Ομοσπονδίας Αυτοκινήτου (FIA) και η γωνία σύγκλισης του είναι κάπως περιορισμένη.



Σχήμα 2.2: Διάγραμμα μεταβολής της πίεσης στην περιοχή μεταξύ του πατώματος ενός πρωτότυπου αγωνιστικού τύπου Le Mans αυτοκινήτου και του εδάφους.

3. Η ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΑΧΥΤΗ ΣΤΗΝ FORMULA 1

3.1 Διαχύτης

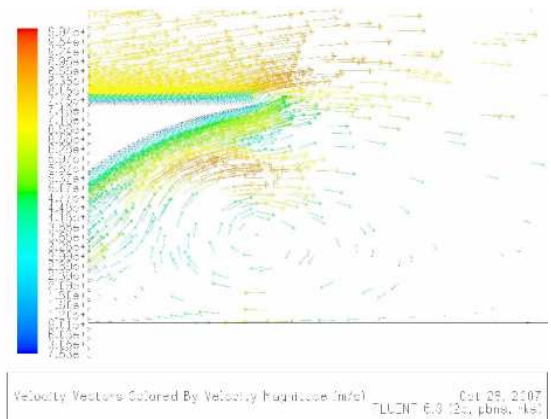
Στη δεκαετία του '70 η ανακάλυψη του φαινομένου του "Ground Effect" από τον Colin Chapman έκανε το διαχύτη (σχήμα 3.1) ιδιαίτερα σημαντικό στην Φόρμουλα 1. Ο διαχύτης είναι ουσιαστικά μια ανεστραμμένη αεροτομή στη βάση του οπίσθιου τμήματος των αυτοκινήτων, προστιθέμενος επιπλέον από διάφορα κανάλια 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. Η στρωτή και καθαρή αυτή ροή του αέρα προς τον διαχύτη, που οδηγείται εκεί από τα επιμέρους μικρότερα ρεύματα που δημιουργούν τα κανάλια, βελτιώνει δραματικά την απόδοση του. Ενδεχόμενα ρεύματα αέρα με στροβιλισμούς που έχουν δημιουργηθεί (τυρβώδη ροή αέρα), θα μείωναν την ταχύτητα του αέρα που διαπερνά το πάτωμα του μονοθεσίου και θα οδηγούσαν ένα "βρώμικο" ρεύμα αέρα στον διαχύτη, κάτι φυσικά ανεπιθύμητο για την μέγιστη απόδοση και αποτελεσματικότητα του. Έτσι, η δουλειά και ο λόγος ύπαρξης των καναλιών είναι να ομαλοποιούν την ροή του αέρα στο κάτω μέρος του μονοθεσίου.

Ο διαχύτης παράγει το 40 % της πλήρους κάθετης δύναμης σε ένα μονοθέσιο Φόρμουλα 1. Οι προσομοιώσεις δείχνουν ότι ο ίδιος ο διαχύτης παράγει στροβιλισμούς, αναταραχές στην ροή του ρεύματος αέρα. Αυτοί εντούτοις, έχουν μια ανίσχυρη επιρροή στην ξαφνική και βίαιη αντίδραση του αέρα (σχήμα 3.2). Ιδιαίτερα δύο μέτρα πίσω από τον διαχύτη, οι στροβιλισμοί είναι πολύ ισχυροί και φθάνουν μέχρι και τα δέκα μέτρα σε έκταση πίσω από το όχημα, όπου εκεί δύσκολα πλέον μπορούν να επηρεάσουν οτιδήποτε στην ροή του αέρα.



Σχήμα 3.1: Πρόσψη του οπίσθιου τμήματος ενός σύγχρονου μονοθεσίου Φόρμουλα 1. Διακρίνονται ο μεγάλος κεντρικός διαχύτης και οι μικρότερου μεγέθους πλευρικοί διαχύτες.



Σχήμα 3.2: Εικονική απεικόνιση μέσω προγράμματος CFD (Fluent) των στροβιλισμών που δημιουργούνται στην έξοδο του διαχύτη.

Η αεροδυναμική θεωρείται το σημαντικότερο μέρος του σχεδίου ενός αυτοκινήτου, υποθέτοντας ότι το αυτοκίνητο μιας αγωνιστικής ομάδας δεν είναι κάποιο απλό 150 (PS) ίππων, ή έχει την ανάρτηση ενός σκαθαριού της VW, ή την ακαμψία ενός καμπριολέ. Εάν μια ομάδα υπολείπεται σε ιπποδύναμη, ακόμη και η καλύτερη αεροδυναμική δεν θα γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ τους. Ευτυχώς, προς όφελος του θεάματος και του ανταγωνισμού μεταξύ των ομάδων, αυτό το πρόβλημα δεν έχει εμφανιστεί τα τελευταία έτη. Με την αεροδυναμική να είναι τόσο σημαντική, θα εστιάσουμε αρχικά στην εμπρός αεροτομή, το μέρος του αυτοκινήτου το οποίο πρώτο αντιμετωπίζει την επικείμενη ροή αέρος. Η εμπρός λοιπόν αεροτομή, χρησιμεύει ώστε να "ωθήσει" το αυτοκίνητο προς το έδαφος. Στα 160 km/h, ένα μονοθέσιο της Φόρμουλα 1 μπορεί "να κολλήσει" στο ταβάνι ενός υποθετικού τούνελ. Απλές αλλά προσεκτικές σχεδιαστικές σκέψεις θα μπορούσαν δηλαδή, να αφήσουν ένα αυτοκίνητο Φόρμουλα 1 ανάποδα, χάρη στις αεροδυναμικές πιέσεις που θα ασκούνταν πάνω του. Ένα μονοθέσιο τύπου Φόρμουλα 1 απαιτείται να ζυγίζει το ελάχιστο 600 kg, πάντα κατά τη διάρκεια ενός αγώνα. Κατά συνέπεια, περίπου στα 160 km/h, ένα τέτοιο όχημα παράγει πάνω από 600 kg αεροδυναμικά παραγόμενης κάθετης δύναμης (downforce). Το εμπρός φτερό (αεροτομή), παράγει το 30 % αυτής της αεροδυναμικά παραγόμενης κάθετης δύναμης. Η εμπρός αεροτομή, κι άλλα αεροδυναμικά στοιχεία παραγωγής κάθετης δύναμης πάνω σε ένα μονοθέσιο Φόρμουλα 1, (μερικά περιλαμβάνουν μικρά φτερά, έναν διαχύτη, και μια οπίσθια αεροτομή) όλα δουλεύουν παρόμοια, και στη συνέχεια, όλα μαζί συνεργαζόμενα λειτουργούν σαν ένα ανάποδο φτερό αεροπλάνων.

Οι αεροτομές που εγκαθίστανται σε αυτά τα αυτοκίνητα παράγουν την λεγόμενη "**αρνητική άντωση**", με την πρόκληση μιας χαμηλής πίεσης στην κάτω πλευρά της αεροτομής, το οποίο δημιουργείται από τη ροή αέρος υψηλότερης ταχύτητας κάτω από την επιφάνεια της αεροτομής. Αντιστρόφως, στο φτερό ενός αεροπλάνου συμβαίνει το αντίθετο. Επιταχύνεται ο αέρας επάνω από την επιφάνεια των φτερών. Γι' αυτούς χωρίς ένα βασικό τεχνικό υπόβαθρο στην Μηχανική Ρευστών πρέπει να σημειωθεί ότι, μια αύξηση στην ταχύτητα οδηγεί σε μια μείωση της πίεσης. Εντούτοις, η αρνητική άντωση έρχεται με κάποιο κόστος. Για κάθε κερδισμένο ποσό αρνητικής άντωσης, η αεροδυναμική αντίσταση (μια δύναμη τριβής) επίσης αυξάνεται. Ο στόχος οποιουδήποτε σχεδιαστή στην αεροδυναμική σήραγγα έγκειται στο να μεγιστοποιήσει την αρνητική άντωση ελαχιστοποιώντας όμως την αεροδυναμική αντίσταση. Όσο μεγαλύτερη η αναλογία αρνητικής άντωσης-αεροδυναμικής αντίστασης, τόσο

γρηγορότεροι θα είναι και οι αντίστοιχοι χρόνοι των αγωνιστικών αυτών αυτοκινήτων στην πίστα.

Ως αποτέλεσμα των μειωμένων χρόνων στην πίστα, το κυβερνών σώμα της Φόρμουλα 1 (F1) έχει θεσπίσει από το 2003 ένας πλήθος αλλαγών στους τεχνικούς κανονισμούς. Οι νέοι κανόνες για αυτό το έτος έχουν αυξήσει το ύψος της εμπρός αεροτομής κατά 50 mm, σε μια προσπάθεια να επιβραδυνθούν τα μονοθέσια στις στροφές. Όσο υψηλότερα από το δρόμο είναι η εμπρός αεροτομή, τόσο λιγότερο αποδοτική μπορεί να είναι.

Επειδή αυτή είναι που συνεισφέρει σχεδόν σε όλη την κάθετη δύναμη του αυτοκινήτου που παράγεται στους μπροστινούς τροχούς, η αύξηση της κλίσης της εμπρός αεροτομής θα μειώσει το ποσό της πρόσφυσης που είναι διαθέσιμο στους μπροστινούς τροχούς, και θα απαιτήσει στη συνέχεια μια μείωση της ταχύτητας στις στροφές.

Μια άλλη αλλαγή κανονισμού φέρνει την οπίσθια αεροτομή πιο μπροστά. Αυτή η παράμετρος χρησιμεύει στο να κινηθεί η οπίσθια αεροτομή σε "πιο βρώμικο" αέρα (σε πιο τυρβώδη ροή αέρα). Η ροή αέρος γίνεται τυρβώδης καθώς ταξιδεύει γύρω από το αμάξωμα, και όσο πιο κοντά βρίσκεται η αεροτομή σ' αυτή την αναταραχή του αέρα, τόσο λιγότερο αποδοτική είναι. Σχεδόν όλα αυτά που ισχύουν στις εμπρός αεροτομές, εφαρμόζονται και ισχύουν επίσης και για τις οπίσθιες αεροτομές. Τα εμπρός και οπίσθια "φτερά" χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν αεροδυναμικά παραγόμενη κάθετη δύναμη, και επίσης για να σταθεροποιήσουν το αυτοκίνητο. Με τέτοιες ιδιαίτερα-συντονισμένες "μηχανές", η δυναμική ισορροπία βάρους είναι πολύ σημαντική. Εάν μια εμπρός αεροτομή παράγει πολύ περισσότερη κάθετη δύναμη από την οπίσθια αεροτομή, το μονοθέσιο θα εμφανιστεί πολύ βαρύτερο στον εμπρός άξονα στις υψηλές ταχύτητες. Εάν βρεθεί σε τέτοιες συνθήκες, ο οδηγός θα έχει μια πολύ δύσκολη κατάσταση αφού θα πρέπει να προσπαθήσει να κάνει το οπίσθιο τμήμα του μονοθεσίου να συμπεριφερθεί καλύτερα και πιο προβλέψιμα.

Το τελικό σημαντικό αεροδυναμικό συστατικό είναι ο διαχύτης. Ο αέρας που διατρέχει τον διαχύτη εξέρχεται μέσω του οπίσθιου τμήματος του μονοθεσίου. Το σχήμα 3.1 απεικονίζει μια εικόνα σε πρώτο πλάνο της εξόδου ενός διαχύτη, από την όψη κάτω και πίσω από μια Ferrari F1. Αν και οι αεροτομές και οι διαχύτες λειτουργούν ομοίως, είναι βασισμένα κάτω από διαφορετικές αρχές και σχεδιαστικές σκέψεις. Ένας διαχύτης χρησιμεύει στο να εκτινάξει τον αέρα έξω από την κάτω πλευρά του μονοθεσίου. Αυτή η ενέργεια έλξης, αυξάνει την ταχύτητα του αέρα κάτω από το

αυτοκίνητο έτσι ώστε σε συνδυασμό με τον πιο αργά κινούμενο αέρα από επάνω του, να ωθηθεί σαν αποτέλεσμα το αυτοκίνητο προς το έδαφος. Οι διαχύτες, όταν λειτουργούν σωστά, μπορούν να είναι εξαιρετικά σημαντικοί στην αεροδυναμική απόδοση ενός αυτοκινήτου.

Όταν τα μονοθέσια της F1 κινούνται στο δρόμο, παράγουν το 40 % της συνολικής κάθετης δύναμης του μονοθεσίου. Όταν αντιθέτως δεν δουλεύουν σωστά, αυτές οι συσκευές μπορούν να περιπλέξουν την ροή του αέρα στο αυτοκίνητο και να δυσκολέψουν κάθε οδηγό στο χειρισμό του.

Εάν ένας οδηγός θεωρήσει ότι έχει ένα ιδιαίτερα σταθερό επίπεδο πρόσφυσης παίρνοντας μια στροφή, θα την πάρει με την υψηλότερη ταχύτητα που είναι δυνατή σε αυτό το επίπεδο πρόσφυσης. Εάν δεν σχεδιαστεί κατάλληλα, ένας διαχύτης μπορεί να χάσει ένα πολύ μεγάλο ποσοστό της αποτελεσματικότητάς του εάν ανυψωθεί έστω και κατά ένα πολύ μικρό ποσό (με την ακαμψία των αναρτήσεων των μονοθεσίων της F1, αυτό το "μικρό ποσό" είναι 1-2 mm).

Όταν αυτό συμβαίνει ένα μεγάλο ποσό κάθετης δύναμης χάνεται, και στη συνέχεια, ένα μεγάλο ποσό πρόσφυσης χάνεται. Εάν το μεγαλύτερο μέρος του 40 % του αεροδυναμικού κρατήματος που έχει στη διάθεσή του ένας οδηγός χαθεί κατά το μέσο μιας στροφής, είναι πολύ δύσκολο να κρατηθεί το αυτοκίνητο στην απότομη και ξαφνική νευρική αντίδραση που θα εμφανίσει.

Εντούτοις, όταν όλα τα αεροδυναμικά στοιχεία ενός μονοθεσίου λειτουργούν αρμονικά, το αποτέλεσμα είναι μια ομάδα των γρηγορότερων αυτοκινήτων στον κόσμο που συναγωνίζονται σε πίστες με εναλλαγές στροφών. Η θαυμάσια αυτή αεροδυναμική στην Φόρμουλα 1 είναι απαραίτητη, αλλά μη ικανοποιητική χωρίς και την συμβολή άλλων σημαντικών μηχανολογικών συστατικών (αναρτήσεις, μεγάλη ιπποδύναμη), που βοηθούν στο να κάνουν ένα αυτοκίνητο σειράς F1 κορυφαίο.



Σχήμα 3.3: Τυπικός διαχύτης σε μονοθεσίου της F1.

3.2 Η βοήθεια της οπίσθιας αεροτομής

Η πολλαπλών στοιχείων σε δυο παράλληλες σειρές οπίσθια αεροτομή, ενεργεί στο τέλος κατά μήκος ενός αυτοκινήτου εκτελώντας διαφορετικές λειτουργίες. Η πάνω σειρά, αποτελείται από ένα στοιχείο αεροτομής μεγαλύτερης χορδής και δρα με παρόμοιο τρόπο όπως ένα φτερό αεροσκάφους: η πάνω σειρά των αεροτομών παράγει κάθετη δύναμη αλλά διατρέχεται μόνο από "καθαρό αέρα" χωρίς στροβιλισμούς (στρωτή ροή). Η κάτω σειρά, που αποτελείται από δύο στοιχεία αεροτομών μικρότερης χορδής το καθένα απ' το στοιχείο της πάνω σειράς, είναι τοποθετημένη κοντά στην έξοδο του κάτω μέρος του μονοθεσίου (πατώματος) το διαχύτη. 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.

4. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΠΑΤΩΜΑΤΟΣ ΕΝΟΣ ΜΟΝΟΘΕΣΙΟΥ F1

4.1 Ανάλυση της γεωμετρίας του πατώματος

Το σύγχρονο πάτωμα ενός μονοθεσίου της Φόρμουλα 1 αποτελείται από τα ακόλουθα τέσσερα κύρια στοιχεία, που διευκρινίζονται στο σχήμα 4.1.

- **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.

Ο υπάρχων τύπος του δευτερεύοντος τμήματος του πατώματος, εισήχθη το 1995 προκειμένου να μειωθεί το γενικό επίπεδο κάθετης δύναμης, καθώς επίσης και να μειωθεί η τόσο καλή κι ακριβής κατευθυντικότητα ενός τέτοιου οχήματος στο δρόμο, που προσφέρει η τόσο μικρή απόστασή του από το έδαφος. Το βέλτιστο ύψος του κάτω τμήματος ενός μονοθεσίου Φόρμουλα 1, με επίπεδο πάτωμα πάντα, είναι περίπου 40-50 mm, ένα ύψος που δεν μπορεί να επιτευχθεί με την γεωμετρία που έχει το δευτερεύον τμήμα του πατώματος. Αυτό ισχύει γιατί, το δευτερεύον τμήμα είναι ανυψωμένο 50 mm επάνω από το πρωτεύον τμήμα, το οποίο είναι το χαμηλότερο μέρος στο πάτωμα ενός μονοθεσίου και πρέπει να βρίσκεται με την σειρά του τουλάχιστον 60 mm επάνω από το έδαφος, εξαιτίας της παρουσίας μιας λεπτής πλάκας

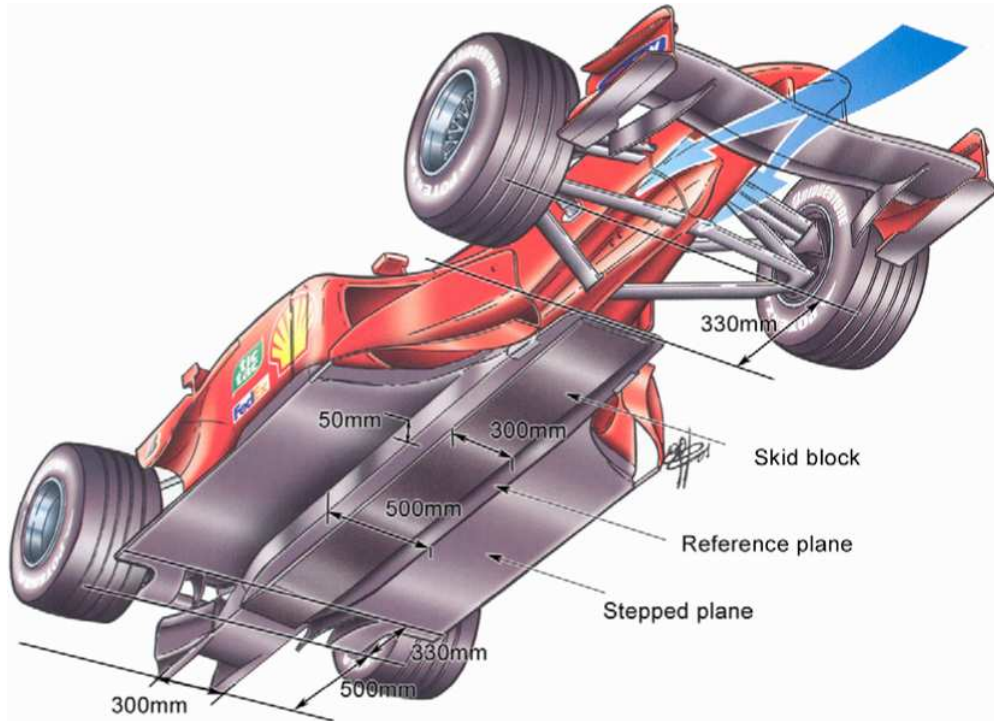
ξύλου, της σανίδας ολίσθησης όπως είναι η μηχανολογική ονομασία της, πάχους 10 mm.

Η σανίδα ολίσθησης βρίσκεται κατά μήκος του πρωτεύοντος τμήματος του πατώματος και είναι φυσικά επίπεδη. Ο ρόλος της σανίδας ολίσθησης, αποτελεί υποχρεωτικό στοιχείο του πατώματος ενός μονοθεσίου Φόρμουλα 1, με τεχνικό κανονισμό που έχει επιβληθεί στους κατασκευαστές από την εν λόγω Παγκόσμια Ομοσπονδία Αυτοκινήτου (FIA) όσον αφορά τον μηχανοκίνητο αθλητισμό.

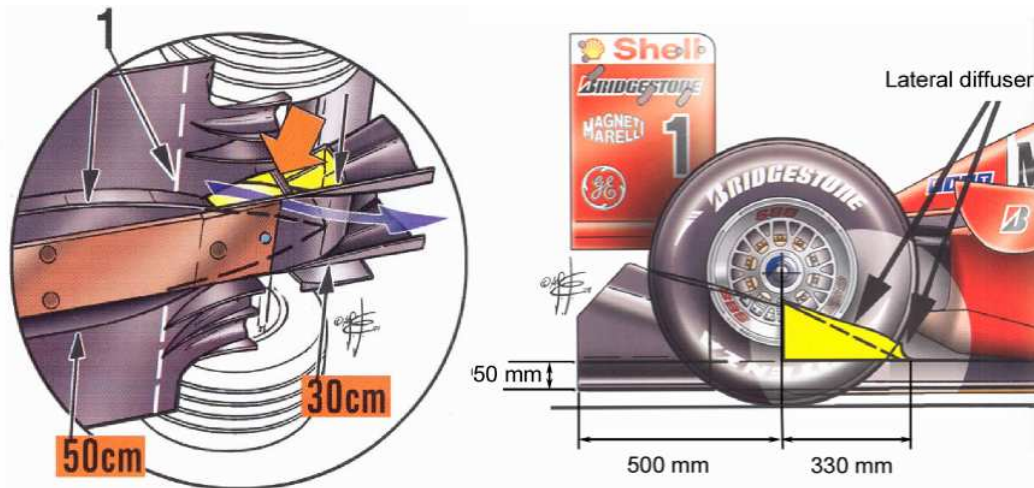
Ο λόγος που επιβλήθηκε με κανονισμό στους κατασκευαστές από την Ομοσπονδία είναι ο εξής: όσο μικρότερη είναι η απόσταση ενός μονοθεσίου από το έδαφος, τόσο μεγαλύτερο αεροδυναμικό πλεονέκτημα αποκτά λόγω του Ground Effect, δηλαδή αυξάνεται περισσότερο η ταχύτητα του αέρα που περνά από κάτω του. Με την σειρά του αυτό βελτιώνει κατά πολύ και την συνολική αεροδυναμική απόδοση ενός οχήματος τέτοιου τύπου, που αυτό βέβαια μπορεί να οδηγήσει τα οχήματα αυτά σε πάρα πολύ μεγάλες ταχύτητες. Για να μπορέσει έτσι η Ομοσπονδία να ελέγξει τυχόν παρανομίες και παράβλεψη των τεχνικών κανονισμών από τον εκάστοτε κατασκευαστή στην σχεδίαση ενός μονοθεσίου αλλά και μείωση των ταχυτήτων των μονοθεσίων, διασφαλίζοντας έτσι και την ασφάλεια σε μεγαλύτερο βαθμό των πιλότων, επιβλήθηκε η ύπαρξη της σανίδας ολίσθησης στο κάτω μέρος του μονοθεσίου οριοθετώντας έτσι την απόσταση του πατώματος από το έδαφος. Στα 50 mm περίπου απόσταση πατώματος-εδάφους, η κάθετη δύναμη που παράγει το κάτω μέρος του μονοθεσίου είναι πολύ μεγάλη. Οριοθετώντας όμως την απόσταση αυτή με την ύπαρξη της σανίδας ολίσθησης, χάνεται περίπου το 40% της κάθετης αυτής δύναμης που θα παραγόταν χωρίς την ύπαρξή της. Όπως αναφέραμε και παραπάνω, η σανίδα ολίσθησης τοποθετείται συγκεκριμένα κατά μήκος του πρωτεύοντος τμήματος του πατώματος. Με την ύπαρξη λοιπόν της σανίδας ολίσθησης, όταν κάποιο μονοθέσιο βρίσκεται χαμηλότερα από όσο ορίζουν οι κανονισμοί, σε αναπηδήσεις που θα υπάρξουν λόγω των ανωμαλιών του εδάφους θα υπάρξει και αναπόφευκτη επαφή της σανίδας με την άσφαλτο. Τότε, με την χρήση του ξύλου ως υλικό κατασκευής της, ενδεχόμενα σημάδια και εκδορές από την κρούση της στο έδαφος, θα αποτυπωθούν πάνω της. Έτσι, σε έλεγχο της από τις αγωνιστικές αρχές μετά από κάθε χρήση του μονοθεσίου, μπορεί να ελεγχθεί η νομιμότητα στην ρύθμιση του ύψους του μονοθεσίου από το έδαφος.

Οι πλευρικοί και κεντρικοί διαχύτες συνδέονται άμεσα κυρίως με το δευτερεύον τμήμα του πατώματος απ' ότι με το πρωτεύον, δεδομένου ότι η γεωμετρία των σανίδων

ολίσθησης καθιστά το πρωτεύον τμήματος του πατώματος άχρηστο για την παραγωγή σημαντικής κάθετης δύναμης, ειδικά έναντι του ανυψωμένου δευτερεύοντος τμήματος. Αυτός ο κανόνας αναγκάζει τους σχεδιαστές να σχεδιάζουν το πάτωμα και τους διαχύτες του αυτοκινήτου για το δευτερεύον τμήμα του πατώματος, με ύψος αυτών (σε συνάρτηση πάντα με το πρωτεύον τμήμα σε αυτήν την περίπτωση) περίπου 80 mm από το έδαφος. Η πρόσθετη αυτή απόσταση, συνυπολογιζόμενη με την ελάχιστη δυνατή απόσταση που απαιτείται για την διαδρομή των αναρτήσεων και το πάχος της ξύλινης σανίδας ολίσθησης, δεν πρέπει να ξεπερνά τα όρια των κανονισμών, άρα να μην ακουμπά σε καμία περίπτωση στο έδαφος. Αυτό το αυξημένο ύψος του μονοθεσίου από το έδαφος, έχει μειώσει την καλή κατευθυντικότητα και ευκολότερη οδήγηση αυτών των οχημάτων, δεδομένου ότι έχει απομακρυνθεί από το βέλτιστο ύψος. Μαζί με αυτό, η ροή πλέον μεταξύ του εδάφους και του πρωτεύοντος τμήματος πατώματος με την ενσωματωμένη σ' αυτό σανίδα ολίσθησης, θα είναι τώρα ίσως μικρότερης ταχύτητας και πιο επιρρεπής σε δημιουργία στροβιλισμών.



Σχήμα 4.1: Γεωμετρία πατώματος και μεγέθη.



Σχήμα 4.2: Γεωμετρία διαχύτη και μεγέθη.

4.2 Διανομή της πίεσης στο κάτω μέρος του μονοθεσίου

Από την περιγραφή της γενικότερης μορφής του πατώματος ενός μονοθεσίου Φόρμουλα 1 στην προηγούμενη ενότητα, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι, οι συνθήκες στο πάτωμα του μονοθεσίου και η διανομή της πίεσης σ' αυτό, δεν είναι τόσο ιδανικές όσο θα θέλαμε ώστε να έχουμε μια πολύ καλή και στρωτή ροή αέρα κάτω από αυτό.

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

- Ροή πάνω από το πρωτεύον τμήμα του πατώματος και της σανίδα 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 κατηγορία της εξωτερικής ροής, αναφέρεται για τη ροή στην άκρη του κατώτατου σημείου του δευτερεύοντος τμήματος του πατώματος, που βγαίνει άμεσα μπροστά από τους οπίσθιους τροχούς. Ακόμα κι αν όχι άμεσα συνδεδεμένη με τους πλευρικούς ή κεντρικούς διαχύτες, αυτή η περιοχή χαρακτηρίζει μια διανομή πίεσης οφειλόμενη στον επιταχυνόμενο αέρα της παρακείμενης περιοχής του πλευρικού διαχύτη. Δεδομένου ότι η επιτάχυνση της ροής είναι έμμεση, η αναρρόφηση θα είναι σημαντικά χαμηλότερη, επίσης λόγω της αλληλεπίδρασης με την εξωτερική ροή. Η ροή πέρα από το σώμα του μονοθεσίου, οι αεροτομές και οι περιστρεφόμενοι τροχοί, μπορούν να αλληλεπιδρούν με την πέρα από το πάτωμα περιοχή του μονοθεσίου ανατρέποντας αυτήν την περιοχή χαμηλής πίεσεως. Αυτό θα οδηγήσει σε μια μείωση στην αναρρόφηση στην εξωτερική περιοχή, παρόμοια με τη ροή γύρω από την άκρη ενός φτερού αεροσκάφους. Επιπλέον, η έξοδος αυτής της περιοχής είναι ακριβώς μπροστά από τους οπίσθιους τροχούς, με ένα κενό μερικών χιλιοστών ανάμεσα στους

τροχούς και την άκρη του πατώματος που φτάνει σε εκείνο το σημείο. Η ροή αέρος γύρω από τους περιστρεφόμενους οπίσθιους τροχούς ασκεί έτσι σημαντική επίδραση σε αυτήν την εξωτερική περιοχή ροής.

Η υψηλότερη ταχύτητα του αέρα στο κάτω μέρος του μονοθεσίου, επιταχύνεται 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, με τους πλευρικούς διαχύτες να επιτρέπεται να διατρέχουν διαμήκες πάντα το πάτωμα του μονοθεσίου μέχρι τον οπίσθιο άξονα των τροχών. Οι πλευρικοί διαχύτες δεν σχεδιάζονται στο μέγιστο επιτρεπόμενο πλάτος, λόγω της επιβλαβής επίδρασης των περιστρεφόμενων οπίσθιων τροχών στην απόδοση του διαχύτη και την ίδια την ροή που διατρέχει το σημείο εκείνο. Οι πλευρικοί διαχύτες είναι εξοπλισμένοι με τους οριζόντιους φράκτες (fences), για να ελαχιστοποιήσουν την επίδραση των περιστρεφόμενων τροχών στην στρωτή, καθαρή ροή του αέρα.

Συχνά αυτοί οι οριζόντιοι ως προς το πάτωμα του μονοθεσίου φράκτες-οδηγοί, είναι εξοπλισμένοι με πρόσθετα κάθετα προς αυτούς πτερύγια δημιουργώντας μικρότερα κανάλια, έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι η ροή του αέρα που κατευθύνεται πάνω από το πρωτεύον τμήμα του πατώματος προς τον κεντρικό διαχύτη, δεν θα συγκρουστεί με το ρεύμα αέρα που διατρέχει τους πλευρικούς διαχύτες. Λειτουργούν δηλαδή, ως φράκτες στη ροή των πλευρικών διαχυτών ώστε να μην διαφύγει απ' την πορεία της και συγκρουστεί μ' αυτή του κεντρικού διαχύτη, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3. Οι ίδιοι οι πλευρικοί διαχύτες είναι εξοπλισμένοι με δημιουργούς στροβιλισμών, προκειμένου να αυξηθεί η ανάμειξη μεταξύ του επιβραδυνόμενου οριακού στρώματος αέρα και της εξωτερικής ροής, με κόστος την ελαφρώς αυξανόμενη οπισθέλκουσα του μονοθεσίου ως απόρροια του γεγονότος αυτού. Η γεωμετρία και των πλευρικών διαχυτών και των κάθετων σειρών από πτερύγια-φράκτες μέσα σ' αυτούς είναι συχνά ιδιαίτερα κυρτή, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ανάμειξη μέσα στον διαχύτη, επιτρέποντας κατά συνέπεια και μια επιθετικότερη γωνία στον διαχύτη.

Τα σχέδια των κεντρικών διαχυτών είναι εξίσου σύνθετα στη μορφή, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3 με την Ferrari F2004. Και οι κεντρικοί και οι πλευρικοί διαχύτες

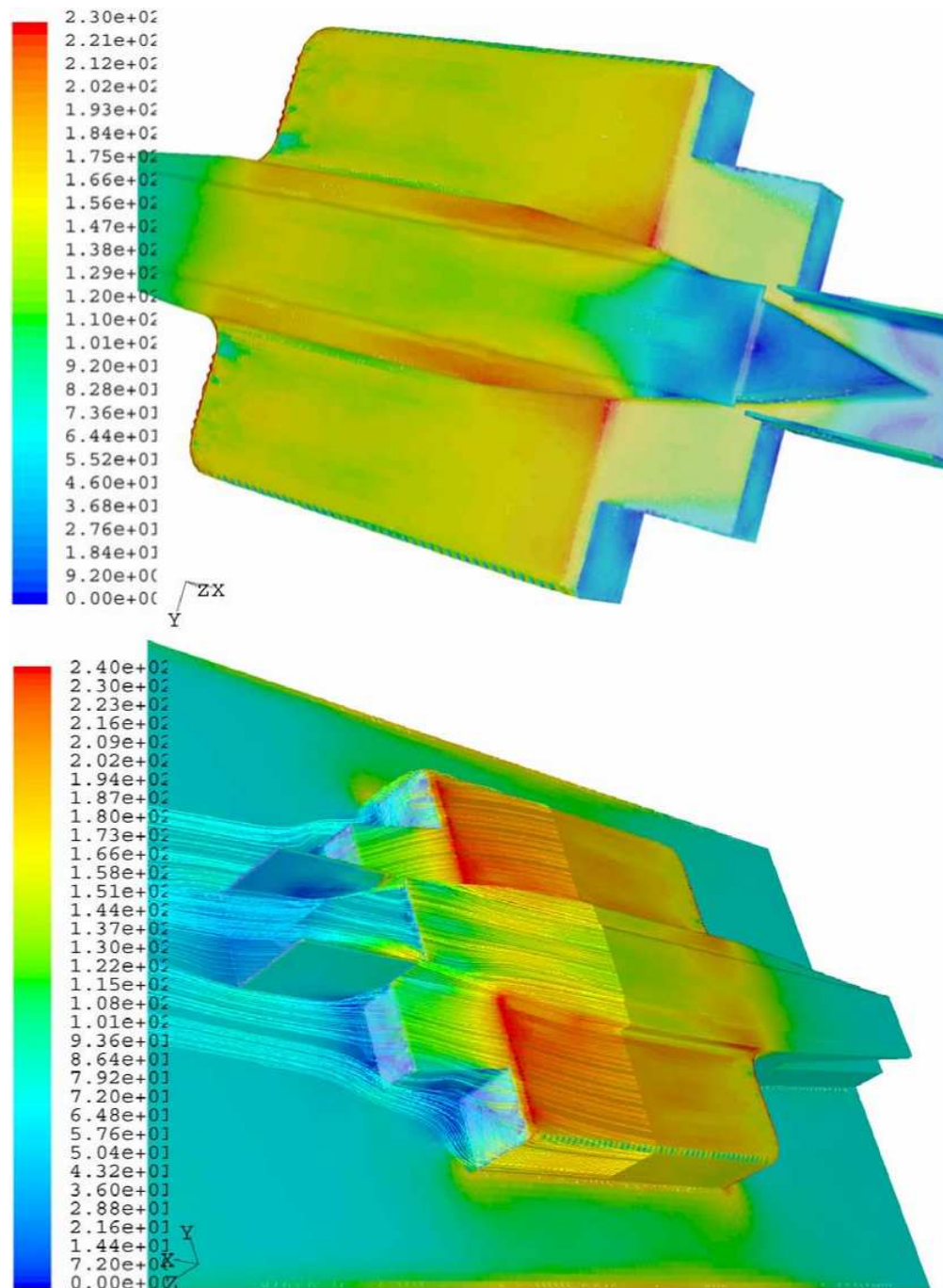
είναι ιδιαίτερα καμπυλόγραμμοι σε αυτό το σχέδιο ώστε να αυξηθεί έτσι η συνολική επιφάνειά τους, αλλά και να αυξήσουν περαιτέρω την ανάμειξη μεταξύ της ταχύτερης ροής αέρα που εξέρχεται από το πάτωμα του μονοθεσίου μέσω του διαχύτη, και της χαμηλότερης ταχύτητας και πιο ακάθαρτης ροής του άνω μέρους του μονοθεσίου που εξέρχεται από την οπίσθια αεροτομή. Κάτι τέτοιο, επιτρέπει κατά συνέπεια μεγαλύτερη ανάκτηση πίεσης και μια επιθετικότερη γωνία του διαχύτη.



Σχήμα 4.3: Οπίσθια άποψη της Ferrari F2004, που επεξηγεί τα σύνθετα σχέδια στους πλευρικούς και κεντρικούς πολυκάναλους διαχύτες. Διακρίνονται τα κυρτά κάθετα πτερύγια των πλευρικών διαχυτών.

Για να διευκρινιστούν οι διανομή της πίεσης και οι συνθήκες ροής του αέρα σε ένα βαθμιδωτό πάτωμα μονοθεσίου Φόρμουλα 1, μια τρισδιάστατη προσομοίωση της γεωμετρίας του πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Fluent 6.1, ενσωματώνοντας ένα απλουστευμένο σχέδιο διαχυτών και χωρίς τις περιστρεφόμενες ρόδες ή τα εμπρός στοιχεία του μονοθεσίου (σχήμα 4.4). Η εισερχόμενη ροή στο κάτω μέρος του μονοθεσίου είναι αμετάβλητη, κάτι το οποίο δεν είναι σαφώς πραγματική περίπτωση μετά από τις προηγούμενες αναλύσεις. Η ταχύτητα αναφοράς για αυτές τις προσομοιώσεις ήταν $V = 70 \text{ m/s}$, μια χαρακτηριστική ταχύτητα που αναπτύσσει ένα

μονοθέσιο Φόρμουλα 1 αυτοκίνητο σε επικίνδυνες αποφασιστικές στροφές: στροφές στις οποίες από αεροδυναμικής άποψης η πλευρική επιτάχυνση είναι υψηλότερη.



Σχήμα 4.4: Γραφική απεικόνιση της διανομής της ταχύτητας στο πάτωμα ενός μονοθεσίου. $V = 70 \text{ m/s}$. Μονάδες: μέτρα/δευτερόλεπτο.

Η λύση που παίρνουμε από την απεικόνιση μέσω προγράμματος CFD, διαφέρει σημαντικά απ' την πραγματικότητα στην περιοχή των διαχυτών, όπου το πρόγραμμα προβλέπει περισσότερο τυρβώδη ροή αέρα και παραμένει όπως βλέπουμε το στρώμα του ρεύματος αέρα συνδεδεμένο με την επιφάνεια του διαχύτη για μεγαλύτερη χρονική περίοδο.

Εντούτοις, πάρα πολλά στοιχεία παραλείφθηκαν για να είναι σε θέση να βγάλει το πρόγραμμα και ο υπολογιστής μέσω κατάλληλων εντολών γνήσια συμπεράσματα για κάθε μια από τις ροές που παρατηρούνται στο πάτωμα ενός μονοθεσίου. Όπως παρατηρούμε, οι κινούμενοι τροχοί, τα μπροστινά στοιχεία του μονοθεσίου, όπως είναι για παράδειγμα η εμπρός αεροτομή, και η οπίσθια αεροτομή δεν είναι παρών στο σχέδιο. Καθένα από αυτά τα στοιχεία όμως έχει μια ισχυρή επιρροή στη ροή του αέρα και τη διανομή της πίεσης στο κάτω μέρος ενός μονοθεσίου.

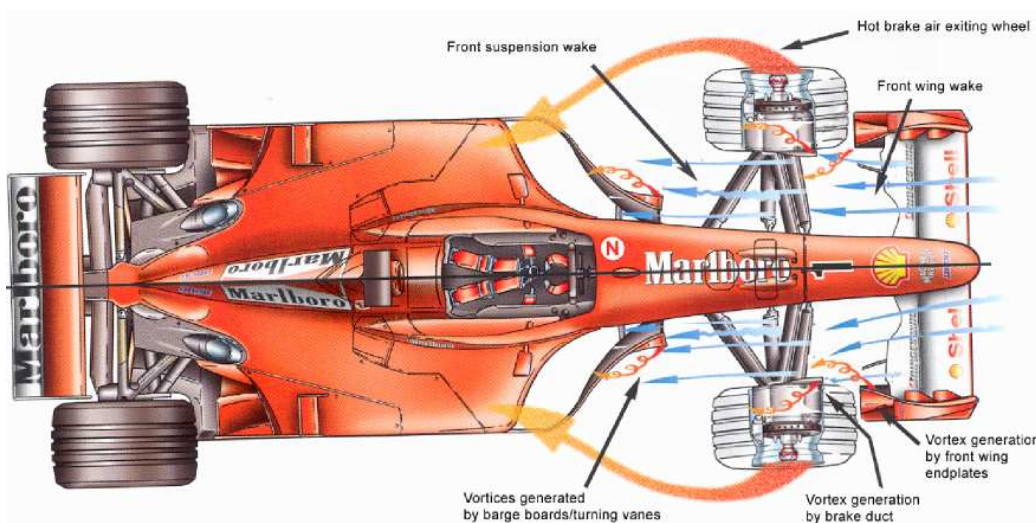
4.3 Συνθήκες ροής του πατώματος ενός μονοθεσίου

Όπως αναφέρεται παραπάνω, το κάτω μέρος των μονοθεσίων πρέπει να σχεδιαστεί προκειμένου να ταιριάζει με μια σειρά συνθηκών: βαθμός κλίσης, ύψος οδήγησης από το έδαφος, γωνίες εκτροπής και ρυθμίσεις της εμπρός αεροτομής. Εάν μια αλλαγή σε οποιοδήποτε από αυτούς τους παράγοντες προκαλεί μια ξαφνική πτώση ή μια αύξηση στην αεροδυναμικά παραγόμενη κάθετη δύναμη, ή μια ξαφνική, δραματική μετατόπιση της αεροδυναμικής ισορροπίας, το σχέδιο πρέπει να επαναξιολογηθεί. Όταν το αυτοκίνητο παρουσιάζει μεγάλη αεροδυναμική απόκλιση πάνω από την κανονική λειτουργούσα σειρά για αυτούς τους παράγοντες, το σχέδιο κρίνεται ως μη πραγματοποιήσιμο, αφού το αυτοκίνητο πρέπει να συμπεριφέρεται συνεχώς σωστά και ασφαλές έτσι ώστε ο οδηγός να έχει εμπιστοσύνη στο ίδιο το αυτοκίνητο. Η αυξημένη σκληρότητα των ελατηρίων της ανάρτησης μπορεί να περιορίσει την κλίση και το εύρος του ύψους οδήγησης του αγωνιστικού αυτοκινήτου, στην τιμή της μειωμένης οδηγισιμότητας πάνω από ανωμαλίες του εδάφους και την αυξανόμενη φθορά των ελαστικών.

Η ποιότητα της εισερχόμενης ροής αέρος είναι ζωτικής σημασίας για το κάτω μέρος του μονοθεσίου, ιδιαίτερα από την άποψη ενός σχεδιαστή-αεροδυναμιστή. Το πάτωμα είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα ολόκληρου του σχεδίου ενός μονοθεσίου, όπως κι η απόδοσή του εξαρτάται από την απόδοση πολλών άλλων στοιχείων. Το πάτωμα ενός μονοθεσίου Φόρμουλα 1 θα πρέπει έτσι να λειτουργήσει αρμονικά, να ταιριάζει με το πλήρες εύρος των μπροστινών και οπίσθιων υψών οδήγησης, καθώς επίσης και με το πλήρες εύρος των ρυθμίσεων της μπροστινής αεροτομής.

Η επίδραση των μπροστινών στοιχείων στη ροή κάτω από το πάτωμα του μονοθεσίου διαφωτίζεται στο σχήμα 4.5. Η απόδοση ενός διαχύτη μπορεί να αλλάξει εντυπωσιακά με την αλλαγή του ύψους του μονοθεσίου από το έδαφος. Αυτό περιλαμβάνει μια σημαντική απώλεια στην απόδοση στα χαμηλά ύψη οδήγησης που μπορεί επίσης να είναι ένα σοβαρό ζήτημα ασφάλειας των οχημάτων αυτών. Μια αυξημένη κατανόηση της συμπεριφοράς των διαχυτών στο φαινόμενο του "Ground Effect" απαιτείται για να βοηθήσει στις βελτιώσεις των σχεδίων τους. Μια ακριβής πειραματική βάση δεδομένων του πεδίου ροής είναι απαραίτητη για να βοηθήσει αυτήν

την κατανόηση και επίσης για να παρέχει τις πληροφορίες ενάντια στις οποίες η συνεχής ανάπτυξη των υπολογιστικών προσομοιώσεων μπορεί να αξιολογηθεί.



Σχήμα 4.5: Επίδραση των εμπρός στοιχείων ενός μονοθεσίου στην εισερχόμενη κάτω από το πάτωμα ροή αέρα.

Η εισερχόμενη κάτω από το πάτωμα του μονοθεσίου ροή αέρος θα είναι έτσι τυρβώδης, η ένταση και η κλίμακα του μήκους της αναταραχής όμως εξαρτάται από το σχέδιο και τον καθορισμό των προηγούμενων στοιχείων.

Η διανομή πίεσης στο πάτωμα του μονοθεσίου είναι συγκρίσιμη με τη διανομή πίεσης που παράγεται από την πρόσκρουση στο εμπρός μέρος αυτής της έκθεσης (μύτη του μονοθεσίου), το οποίο είναι και το πρώτο που έρχεται σε επαφή με τον αέρα.

Οι δίνες στο ευνοϊκό τμήμα της πίεσης του βαθμιδωτού πατώματος του μονοθεσίου παράγονται από τα προηγούμενα στοιχεία καθώς επίσης και την ίδια τη γεωμετρία του πατώματος. Το άλμα της πίεσης μεταξύ της παρεμποδισμένης ροής κάτω από το πρωτεύον τμήμα του πατώματος του μονοθεσίου και της χαμηλής-πίεσης ροής κάτω από το δευτερεύον τμήμα του πατώματος, θα οδηγήσει στην παραγωγή μιας δίνης κατά μήκος της άκρης της σανίδας ολίσθησης. Δεδομένου ότι η ροή επιταχύνεται σε όλη την επιφάνεια του δευτερεύοντος τμήματος του πατώματος, το άλμα πίεσης μεταξύ του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος τμήματος αυξάνεται στο μέγεθος, αυξάνοντας κατά συνέπεια τη δύναμη της παραγόμενης δίνης.

4.4 Ρύθμιση προτύπου μοντέλου πατώματος

Το πρότυπο μοντέλο ενός πατώματος είναι μια πιο ευέλικτη ρύθμιση-λύση, αφού μπορεί να απλοποιηθεί για να δημιουργήσει ένα φτηνό, απλό πρότυπο ή ακόμα και πλήρως εξοπλισμένο. Το απλούστερο πρότυπο μπορεί να αποτελείται από δύο κύρια στοιχεία:

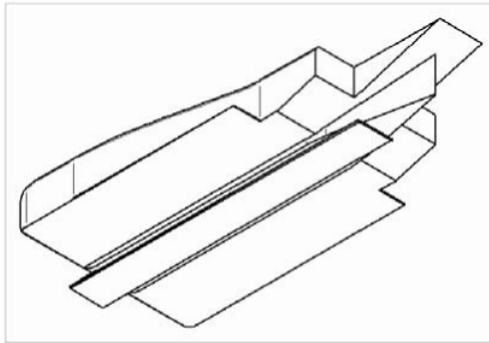
- Το επίπεδο τμήμα του πατώματος, και
- Τον ευθύ διαχύτη

Επιπλέον, απαιτείται ένα κυρτό τμήμα που θα έχει τον ρόλο ενός ιδεατού συνδέσμου, ο οποίος θα ενώσει το διαχύτη με το επίπεδο πάτωμα αποτρέποντας τον διαχωρισμό της ροής.

Εάν η κλίμακα των στοιχείων συμφωνεί με πραγματικό μονοθέσιο της Φόρμουλα 1, μαζί με τη σωστή απόσταση μεταξύ μονοθεσίου και εδάφους, η διανομή πίεσης θα μοιάζει τότε με την ζητούμενη διανομή αυτής. Η αύξηση της απόδοσης ενός διαχύτη κάτω από την οπίσθια αεροτομή, μπορεί να επιτευχθεί με την τοποθέτηση μιας ομάδας αεροτομών στα ελεύθερα ρεύματα αέρα επάνω από την έξοδο του διαχύτη. Έτσι επιτυγχάνεται κάποιου είδους "αύξησης" του μεγέθους του διαχύτη, βοηθώντας περισσότερο αυτές οι αεροτομές τον ίδιο τον διαχύτη. Ο "παραγωγός" στροβιλισμών όπως αλλιώς μπορεί να χαρακτηριστεί αυτή η ομάδα αεροτομών πάνω από τον διαχύτη, πρέπει να τοποθετηθεί κοντά στο τέλος, στην άκρη δηλαδή του μοντέλου, που ενδεχομένως προηγείται για να προκαλέσει τη μεταβολή της ροής και να αυξήσει το πάχος του οριακού στρώματος.

Για την βαθύτερη γνώση του πραγματικού πατώματος ενός μονοθεσίου Φόρμουλα 1, ενσωματώνοντας το δευτερεύον τμήμα του πατώματος, τους πλευρικούς διαχύτες, τον κεντρικό διαχύτη καθώς επίσης και την σανίδα ολίσθησης, η ρύθμιση ενός προτύπου μοντέλου πατώματος που διευκρινίζεται στο σχήμα 4.6 μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπό τον όρο ότι δεν υπάρχει κανένα στοιχείο που να παρεμποδίζει την εκτίμηση των οργάνων μέτρησης. Αυτό περιλαμβάνει και την αφαίρεση των "παραγωγών" στροβιλισμών και των φραχτών-οδηγών (fences) των πλευρικών διαχυτών καθώς επίσης και την αφαίρεση των δυο πλευρικών φραχτών-οδηγών του

κεντρικού διαχύτη, δεδομένου ότι αυτά τα αντικείμενα θα παρεμποδίσουν την είσοδο των ακτινών λέιζερ στους δαχύτες για την συλλογή δεδομένων της ροής στα σημεία μέτρησης. Εντούτοις όταν η εστίαση είναι κυρίως στην ευνοϊκή περιοχή της πίεσης, που προηγείται της περιοχής του διαχύτη, στα στοιχεία που λαμβάνονται από τις μετρήσεις της συγκεκριμένης περιοχής δίδεται περισσότερη προσοχή, δεδομένου ότι είναι ζωτικής σημασίας για την απόδοση των διαχυτών.



Σχήμα 4.6: Πρότυπο μοντέλο πατώματος αποτελούμενο από τους πλευρικούς διαχύτες, το δευτερεύον τμήμα του πατώματος και τον κεντρικό διαχύτη.

Η ευελιξία του προτύπου μοντέλου και οι ακριβείς συνθήκες της ροής κάνουν τη ρύθμιση προτύπου μοντέλου πατώματος, τη μέθοδο επιλογής για τις δοκιμές χαρτογράφησης της ροής και σε συνθήκες κινούμενου εδάφους.

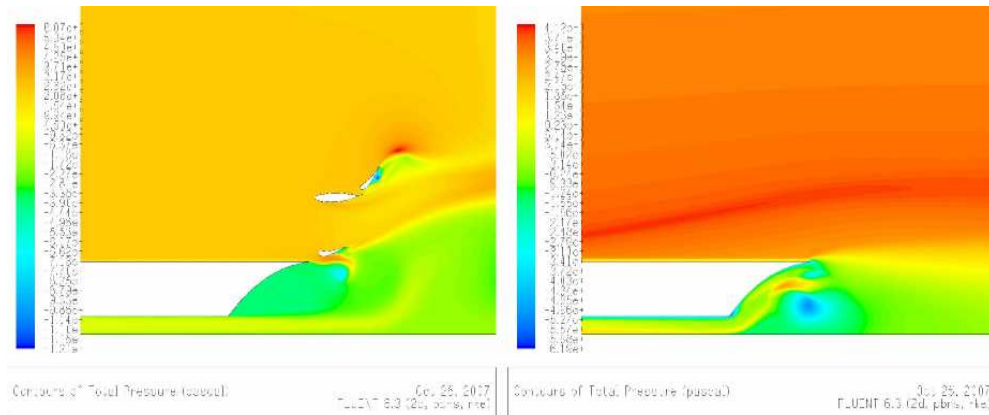
4.5 Αλληλεπίδραση διαχύτη και οπίσθιας αεροτομής

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 θα εξηγήσουμε το "upwash" ως εξής: 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. Συγχρόνως, ο αέρας που διατρέχει τα πλαϊνά του μονοθεσίου οδηγείται στο διαχύτη στη μέση του μονοθεσίου, προκαλώντας αυτό μια περαιτέρω σταθερότητα στην ροή του. Το ίδιο το ρεύμα του διαχύτη είναι αρκετά τυρβώδες και ηρεμεί μετά από μερικά μέτρα. Εντούτοις, σε αλληλεπίδραση με το "upwash" μπορεί να συνεχιστεί για αρκετά μέτρα ακόμη.

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".

Το σχήμα 4.7 παρουσιάζει καθαρά το απότομο φρενάρισμα του αέρα στον διαχύτη και τις αναταραχές που προκαλούνται από αυτήν την απότομη κίνηση στην ροή του ρεύματος αέρα. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει και οπίσθια αεροτομή. Στο σχήμα 4.8 αντιθέτως, παρουσιάζεται η σταθερή ροή του αέρα στον διαχύτη, ο οποίος σ' αυτή την περίπτωση δεν συνδυάζεται με αεροτομή στο οπίσθιο μέρος του μονοθεσίου.



Σχήμα 4.7:
Συνολική πίεση με αεροτομή

Σχήμα 4.8:
Συνολική πίεση χωρίς αεροτομή



Σχήμα 4.9: Γραφική απεικόνιση των στροβιλισμών που προκαλεί ένας διαχύτης στην ροή του ρεύματος αέρα που εξέρχεται από αυτόν.

5. ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΔΙΑΧΥΤΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ

5.1 Ο Νόμος του Bernoulli

Βασική αρχή της φυσικής είναι η αρχή διατήρησης της ενέργειας (Α.Δ.Ε). Όταν αναφερόμαστε σε ρευστά (υγρά και αέρια τα οποία θεωρούμε ως ασυμπίεστα και χωρίς σημαντικές υψομετρικές διαφορές κατά την κίνησή τους), η μορφή της ΑΔΕ είναι:

$$P + 1/2 \times \rho \times V^2 = \text{σταθερό}$$

Το P είναι η στατική πίεση και είναι ανάλογο της δυναμικής ενέργειας στην ΑΔΕ των στερεών σωμάτων.

Ο όρος $1/2 \rho V^2$ (όπου ρ = πυκνότητα και V = ταχύτητα) ονομάζεται δυναμική πίεση και είναι ανάλογη της κινητικής ενέργειας των στερεών σωμάτων. Το άθροισμα της στατικής και της δυναμικής πίεσης είναι σταθερό και ονομάζεται ολική πίεση του ρευστού. Αφού η ολική πίεση είναι σταθερή, όταν ένα από τα μεγέθη (πίεση και ταχύτητα) αυξηθεί, αυτομάτως το άλλο μειώνεται.

5.2 Το φαινόμενο Venturi

Το φαινόμενο Venturi αναφέρεται στη ροή ενός ρευστού καθώς αυτό περνά από σημείο του αγωγού που το εμβαδόν της διατομής του μεταβάλλεται. Με δεδομένο ότι στον σωλήνα δεν μπαίνει ή δεν βγαίνει επιπλέον αέρας, μεταξύ δύο σημείων του σωλήνα η παροχή μάζας παραμένει σταθερή και ίση με το γινόμενο της ταχύτητας, του εμβαδού της διατομής και της πυκνότητας αντίστοιχα κατά τον τύπο:

$$\mathbf{V} \times \mathbf{A} \times \rho = \text{σταθερό}$$

Ο αέρας κινείται ομαλά μέσα στον αγωγό μέχρι που φτάνει στο σημείο που στενεύει ο αγωγός. Τότε ο αέρας επιταχύνει καθώς μπαίνει στη μικρότερη αυτή διατομή του αγωγού. Όταν το στένωμα τελειώσει και η διατομή του σωλήνα αρχίσει να ανοίγει ξανά (διαχύτης), ο αέρας επιβραδύνεται. Έχουμε δηλαδή μεταβολή της ταχύτητας αντιστρόφως ανάλογη με το εμβαδόν της διατομής. Το συμπέρασμα που καταλήγουμε είναι ότι όταν η ταχύτητα του ρευστού αυξάνεται τότε η στατική πίεση μειώνεται και όταν αντίστοιχα η ταχύτητα του ρευστού μειώνεται τότε η στατική πίεση αυξάνεται.

5.3 Αριθμός Reynolds

Ο βαθμός Reynolds αναφέρεται στο πηλίκο των δυνάμεων αδράνειας προς τις δυνάμεις τριβής (συνεκτικότητας) και παίρνει τιμές από μηδέν μέχρι άπειρο. Η πρακτική σημασία του Reynolds είναι ότι δείχνει αν μία ροή είναι ομαλή ή τυρβώδης. Για συγκεκριμένη ροή σώματος-ρευστού ο βαθμός Reynolds αυξάνεται με την ταχύτητα της ροής. Από μηδέν μέχρι κάποια Reynolds η ροή είναι ομαλή, και έπειτα διαταράσσεται, δηλαδή μετατρέπεται σε τυρβώδη.

5.4 Επίπεδο Πάτωμα Αυτοκινήτων Παραγωγής & Διαχύτης

Οι αεροδυναμιστές δεν έμειναν με σταυρωμένα τα χέρια, έπεσαν αμέσως με τα μούτρα στη δουλειά, και αποφάσισαν να σκεπάσουν όλες τις ανωμαλίες στο πάτωμα οι οποίες καταστρέφουν την αεροδυναμική συμπεριφορά ενός αυτοκινήτου (διαφορικά, ψαλίδια ανάρτησης κ.λ.π). Μέσω μιας ενιαίας και επίπεδης διαμόρφωσης στο κατώτερο κομμάτι του πατώματος είτε από ανθρακονήματα και κέβλαρ (Kevlar) είτε από ελαφριά

κράματα, μειώνουμε την τύρβη 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 αλληλεπιδρώντας επίσης με την οπίσθια αεροτομή, αν υπάρχει οπίσθια αεροτομή.

5.5 Αεροδυναμικά Βοηθήματα

Τα αεροδυναμικά βοηθήματα έχουν ένα κοινό σκοπό: να παρεμποδίσουν τον αέρα φρενάρώντας τον κατά κάποιο τρόπο, πριν περάσει κάτω από το αυτοκίνητο. Ουσιαστικά πρόκειται για διαφορετική προσέγγιση της αντιμετώπισης του αέρα στο πάτωμα συγκριτικά με τις επιλογές που αναλύσαμε προηγουμένως: αντί να εκμεταλλευτούμε αποδοτικά τη ροή κάτω από το πάτωμα, προσπαθούμε να την διακόψουμε τελείως δημιουργώντας όσο το δυνατόν χαμηλότερες πιέσεις.

Τα μπροστινά αεροδυναμικά βοηθήματα (spoilers) του εμπρός προφυλακτήρα ενός αυτοκινήτου εμποδίζουν την είσοδο του αέρα από εμπρός, ενώ τα πλαϊνά αεροδυναμικά βοηθήματα (μαρσπιέ) την είσοδό του από τα πλάγια. Έτσι εξοπλίζονται τα αυτοκίνητα που τρέχουν σε παγκόσμια πρωταθλήματα της κατηγορίας GT, που μεταξύ του πατώματός τους και του εδάφους χωράει να περάσει με μεγάλη δυσκολία ένα μικρό αντικείμενο. Τα αεροδυναμικά τους βοηθήματα μπορούν να

χρησιμοποιούνται και χωρίς επίπεδο πάτωμα (flat-bottom), γι' αυτό και είναι τόσο διαδεδομένα στα κοινά αυτοκίνητα παραγωγής.

Φυσικά στα καθημερινά μας αυτοκίνητα παραγωγής τα περισσότερα πρόσθετα αεροδυναμικά πακέτα (body-kits) χρησιμοποιούνται καθαρά για λόγους αισθητικής με κανένα κερδοφόρο πλεονέκτημα στην αεροδυναμική απόδοση του αυτοκινήτου, μολονότι αρκετά ολοκληρωμένα και επώνυμα αεροδυναμικά πακέτα έχουν περάσει και από αεροδυναμικά τεστ.

**6. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΜΟΡΦΩΝ
ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΔΙΑΧΥΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ**



Σχήμα 6.1: Απόληξη διαχύτη από Ferrari F430.



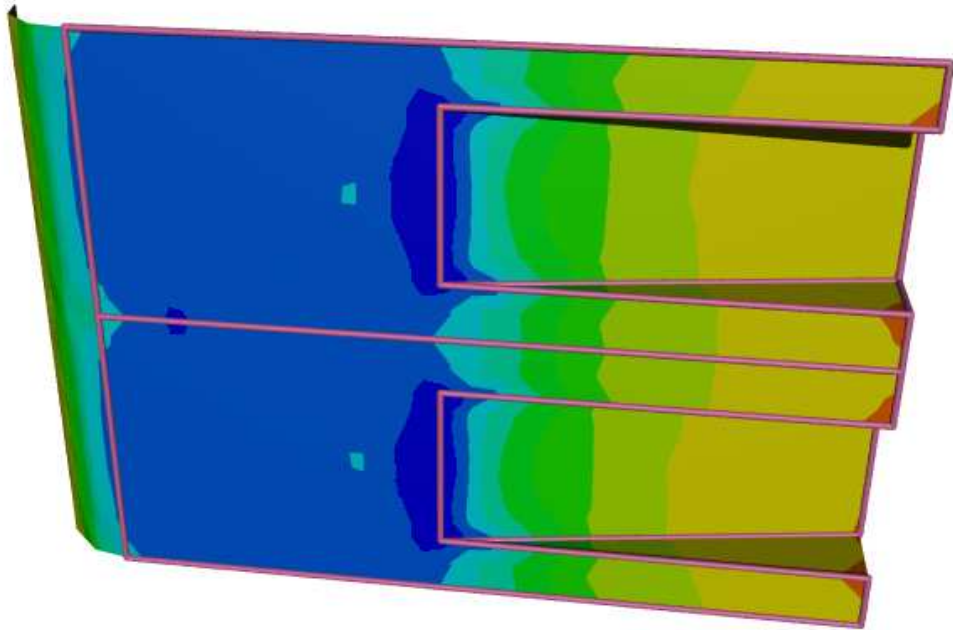
Σχήμα 6.2: Απόληξη Διαχύτη από Subaru Impreza STI.



Σχήμα 6.3: Πρόοψη απόληξης διαχύτη από Pagani Zonda.



Σχήμα 6.4: Πρόοψη απόληξης διαχύτη από Lamborghini Murcielago Reventon.



Σχήμα 6.5: Διαμόρφωση πατώματος με τα δύο κανάλια του διαχύτη αγωνιστικού αυτοκινήτου.



Σχήμα 6.6: Πρόσθετος διαχύτης σε αυτοκίνητο με εμφανή τα κανάλια του διαχύτη.



Σχήμα 6.7: Μορφή απόληξης διαχύτη από αγωνιστικό αυτοκίνητο υψηλών επιδόσεων (Pagani Zonda R).



Σχήμα 6.8: Μορφή απόληξης διαχύτη από Lamborghini Reventon.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΔΙΑΧΥΤΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.

Αρχικά για την σχεδίαση και την μελέτη του διαχύτη ενός οχήματος, χρησιμοποιήσαμε δύο προγράμματα. Πρώτα το πρόγραμμα Gridgen V.15 που είναι το κατάλληλο για την σχεδίαση δυσδιάστατων ή τρισδιάστατων αντικειμένων κι έπειτα αφού σχεδιαστεί το ζητούμενο μας, το σχέδιο περνάει από το πρόγραμμα Fluent που είναι κατάλληλο για τον υπολογισμό και την χρωματική απεικόνιση των πιέσεων και της ταχύτητας στο εκάστοτε σχέδιο. Τα σχέδια που δημιουργήθηκαν για την μελέτη αυτή περιλάμβαναν μόνο το πίσω και κάτω μέρος του οχήματος. Πρέπει να τονιστεί πως το κάτω μέρος του οχήματος που σχεδιάστηκε είναι επίπεδο, με καλυμμένες όλες τις πιθανές ανωμαλίες (π.χ. τμήματα ανάρτησης, εξάτμιση, κινητήρας, διαφορικό) που μπορούν να προκαλέσουν αναταραχή στην ροή του αέρα κάτω από αυτό.

Για την δική μας μελέτη σχεδιάστηκαν τριών ειδών διαχύτες:

- Κυρτός με μικρή γωνία και μεγάλο μήκος.
- Επίπεδος με μικρή γωνία και μεγάλο μήκος.
- Επίπεδος με μεγάλη γωνία και μικρό μήκος.

Για κάθε είδος διαχύτη υπολογίσαμε σταθερές ροές δύο ταχυτήτων. Μια ροή με μέση σχετικά για ένα αυτοκίνητο παραγωγής ταχύτητα των 40 m/s (144 km/h) και μια αρκετά υψηλότερη των 80 m/s (288 km/h).

Όπως μελετήθηκε, η ροή του αέρα στον πρώτο διαχύτη (κυρτό με μικρή γωνία και μεγάλο μήκος) με ταχύτητα αέρα 40 m/s, παρουσιάζει μια ομαλότητα και σταθερότητα στην έξοδό του δημιουργώντας μια δίνη σχετικά μακριά από το πίσω μέρος του οχήματος. Υπάρχει μεν ένας ανεπαίσθητος στροβιλισμός του αέρα ακριβώς πίσω από το όχημα αλλά αρκετά ψηλά από το έδαφος, χωρίς να επηρεάζει τη ροή στην έξοδο του διαχύτη. Η κατανομή της πίεσης κατά μήκος του διαχύτη είναι ιδανική και η απαιτούμενη για την καλύτερη αποδοτικότητα του. Παρουσιάζει μέγιστη υποπίεση στην

είσοδό του (στην περιοχή του πίσω άξονα του οχήματος) και κατά μήκος του, η πίεση αυξάνεται ομαλά. Αυτό οδηγεί στην δημιουργία αεροδυναμικά παραγόμενης κάθετης δύναμης στο πίσω μέρος του οχήματος. Ένας από τους βασικούς παράγοντες που αναζητούν οι αεροδυναμιστές για την βέλτιστη οδική συμπεριφορά του οχήματος.

Στην ταχύτητα των 80 m/s, δημιουργούνται περισσότεροι και εντονότεροι στροβιλισμοί, προκαλώντας μία ισχυρότερη αυτή την φορά δίνη και πάλι ακριβώς πίσω από το τέλος του οχήματος. Η δίνη παρουσιάζεται στο ίδιο και πάλι ύψος. Όσον αφορά την άλλη δίνη που παρατηρήθηκε σε κάποια απόσταση από το όχημα, αυτή την φορά παρουσιάζεται μεγαλύτερη. Σχετικά με την κατανομή της πίεσης, στην ταχύτητα αυτή, παρουσιάζεται μεγαλύτερη υποπίεση στην είσοδο του διαχύτη και μικρότερη υπερπίεση στο πίσω μέρος του οχήματος απ' ότι στα 40 m/s.

Στον δεύτερο διαχύτη (επίπεδος με μικρή γωνία και μεγάλο μήκος) με ταχύτητα αέρα 40 m/s, παρουσιάζει μια ομαλότητα και σταθερότητα στην έξοδό του δημιουργώντας τρεις δίνες πιο κοντά αυτή την φορά στο πίσω μέρος του οχήματος. Η κατανομή της πίεσης κατά μήκος του διαχύτη είναι ιδανική και πάλι για την καλύτερη αποδοτικότητα του, αλλά θα χαρακτηρίζαμε αυτό τον τύπο του διαχύτη λιγότερο αποδοτικό απ' ότι τον κυρτό. Παρουσιάζει μέγιστη υποπίεση στην είσοδό του (στην περιοχή του πίσω άξονα του οχήματος) και κατά μήκος του, η πίεση αυξάνεται ομαλά επίσης.

Στην ταχύτητα των 80 m/s, τα φαινόμενα είναι εντονότερα με επίσης ισχυρότερες δίνες, που έχουν σαν αποτέλεσμα μια μικρή αύξηση της οπισθέλκουσας. Σχετικά με την κατανομή της πίεσης, στην ταχύτητα αυτή, παρουσιάζεται ξανά μεγαλύτερη υποπίεση στην είσοδο του διαχύτη και μικρότερη υπερπίεση στο πίσω μέρος του οχήματος.

Στον τρίτο διαχύτη (επίπεδος με μεγάλη γωνία και μικρό μήκος) με ταχύτητα αέρα 40 m/s, παρουσιάζεται μια ομαλότητα και σταθερότητα της ροής στην έξοδό του, δημιουργείται όμως αυτή την φορά μια αρκετά έντονη και ιδιαίτερα μεγάλη σε διάμετρο δίνη πολύ κοντά στο πίσω μέρος του οχήματος. Έπειτα από τους στροβιλισμούς της δίνης αυτής η ροή ηρεμεί. Η κατανομή της πίεσης κατά μήκος του διαχύτη είναι ευνοϊκή και πάλι για την λειτουργία του δημιουργώντας όμως σ' αυτή την ταχύτητα μεγαλύτερη υποπίεση στην είσοδο του απ' ότι οι προηγούμενοι δυο τύποι διαχυτών.

Στην ταχύτητα των 80 m/s, τα φαινόμενα είναι πάρα πολύ έντονα. Δημιουργούνται περισσότεροι και μεγαλύτεροι στροβιλισμοί με μεγάλες σε διάμετρο δίνες κι αυτό λόγω της απότομης μείωσης της ταχύτητας του αέρα. Η κατανομή της

πίεσης κατά μήκος του διαχύτη τώρα είναι λιγότερο αποδοτική κι αυτό γιατί, αυτός ο τύπος μας δίνει μικρότερα ποσά υποπίεσης στην είσοδό του.

Γενικό συμπέρασμα

Για την αποδοτικότερη και αποτελεσματικότερη λειτουργία ενός διαχύτη θα επισημαίναμε πως **το πάτωμα ενός οχήματος πρέπει να είναι επίπεδο**. Οποιοιδήποτε διακοσμητικοί τύποι διαχυτών με μη επίπεδο πάτωμα οχήματος, οι οποίοι παρατηρούνται τα τελευταία έτη σε αυτοκίνητα παραγωγής, θα τους κρίναμε αμφιβόλου αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητας. Η χρήση τους συνίστανται μόνο για διακοσμητικούς σκοπούς. **Ο συνδυασμός επίπεδου πατώματος-αεροτομής-διαχύτη**, θα λέγαμε ότι είναι ο βέλτιστος, με τα μέγιστα οφέλη στην παραγωγή κάθετης δύναμης σε ένα όχημα. Τελειώνοντας, θα κρίναμε ως **ιδανικότερο για μικρές-μέσες ταχύτητες τον επίπεδο με μεγάλη γωνία και μικρό μήκος διαχύτη και για τις υψηλές ταχύτητες ενός σπορ αυτοκινήτου τον επίπεδο με μικρή γωνία και μεγάλο μήκος διαχύτη**. Απόδειξη αυτού άλλωστε, είναι η χρησιμοποίηση μεγάλου μήκους και μικρής γωνίας διαχυτών σε αγωνιστικά αυτοκίνητα υψηλών επιδόσεων.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. J. Katz, “Race Car Aerodynamics: Designing for Speed”, Bentley Publishers, 1996.
2. Fluent 6.1 manual, Fluent Corporation, 2003.
3. G. Piola, “Formula 1 2002 Technical Analysis”, Giorgio Nada Editore S.r.l., 2003.
4. P. Wright, “Formula 1 Technology”, SAE International, 2001.
5. Milad Mafi, “Investigation of Turbulence created by Formula One™ cars with the Aid of Numerical Fluid Dynamics and Optimization of Overtaking Potential”, Congress Center Dresden, ANSYS Conference & 25th CADFEM Users’ Meeting, σελ. 5, Γερμανία 21-23 Νοεμβρίου 2007.
6. C.K. van Steenbergen, “Assessment of Vortex behaviour in Formula 1 Underbody conditions”, Vortices in favorable pressure gradients, Cranfield University, PhD Thesis, σελ. 8-9, 74-85, 94-95, Αγγλία 2004.
7. Andrea Elizabeth Senior, “The Aerodynamics of a diffuser equipped bluff body in Ground Effect”, University Of Southampton, School Of Engineering Sciences, Faculty Of Engineering And Applied Sciences, PhD Thesis, Abstract of PhD Thesis, Αγγλία 2004.
8. Cooper, Bertenyi, “The Aerodynamic Performance of Automotive Underbody Diffusers”, SAE Publishing, Article No. 980030, 1998. Διαθέσιμο από: <http://images.google.gr/imgres?imgurl=http://superhachi.com/theory/downforce/diffuser.jpg&imgrefurl=http://superhachi.com/theory/downforce/&usg>
9. Michael J. Fuller, “What is a Diffuser”, Article σελ. 1, 1999. Διαθέσιμο από: <http://www.mulsannescorner.com/diffuser.htm>

Περιοδικά:

1. Γεώργιος Παύλου, Οκτώβριος 2004, “Λόγια του αέρα”: Αεροδυναμική Μέρος 1, *Power Techniques*, τεύχος 67, σελ. 98-106.
2. Γεώργιος Παύλου, Οκτώβριος 2004, “Λόγια του αέρα”: Αεροδυναμική Μέρος 2, *Power Techniques*, τεύχος 68, σελ. 148-152.

9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΧΕΔΙΩΝ FLUENT