

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΑΕΡΟΤΟΜΕΣ ΣΕ ΟΧΗΜΑΤΑ ΕΛΑΦΟΥΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ: ΑΗΔΟΝΗΣ ΠΕΤΡΟΣ
ΜΠΟΥΓΟΣ ΜΑΝΩΛΗΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΤΣΟΛΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΗΣ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΑΘΗΝΑ - 21013

787
M/X

787
M/X
ΤΡΑΚΤΟΡΑ ΜΗΧ/ΓΙΑΣ

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	3
Περιεχόμενα Εικόνων.....	5
Πρόλογος.....	13
Περίληψη.....	14
Abstract	15
Εισαγωγή.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΡΟΗΣ.....	17
1.1. Θεωρητική εισαγωγή.....	17
1.2. Χαρακτηριστικοί αριθμοί ReynoldsMach.....	17
1.3. Αρχή διατήρησης της μάζας (Εξίσωση συνέχειας).....	18
1.4. Αρχή διατήρησης της ενέργειας (Εξίσωση BERNOULLI).....	19
1.5. Σωλήνας Venturi.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ.....	22
2.1. Προσδιορισμός των ιδιοτήτων του ατμοσφαιρικού αέρα.....	22
2.2. Εξίσωση της άνωσης.....	23
2.3. Ο συντελεστής άνωσης.....	24
2.4. Παράγοντες που επηρεάζουν την άνωση.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΕΡΟΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	28
3.1. Εισαγωγή.....	28
3.2. Δυναμική οχημάτων.....	29
3.3. Αεροτομές.....	30
3.3.1. Οπίσθια αεροτομή.....	31
3.3.2. Πρόσθια αεροτομή.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΟΧΗΜΑΤΑ –	
ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	34
4.1. Βασικά θεωρητικά στοιχεία.....	35
4.2. Ιστορική εξέλιξη της αεροδυναμικής των αυτοκινήτων.....	38
4.3. Αεροδυναμικοί συντελεστές αυτοκινήτων.....	56
4.3.1. Εισαγωγή.....	56
4.3.2. Επιβατηγά αυτοκίνητα.....	56
4.3.3. Πειραματικά αυτοκίνητα.....	62

4.3.4. Αγωνιστικά αυτοκίνητα.....	64
4.4. Επίδραση των εξαρτημάτων του αυτοκίνητου στους αεροδυναμικούς συντελεστές .	68
4.5. Βελτίωση της αεροδυναμικής του αυτοκίνητου με την προσθήκη εξαρτημάτων ..	79
4.5.1. Εισαγωγή.....	79
4.5.2. Μπροστινό σπόιλερ	79
4.5.3. Οπίσθιο σπόιλερ	81
4.5.4. Ρύθμιση οπίσθιας πτέρυγας σε ένα σπορ αυτοκίνητο.....	84
4.5.5. Αγωνιστικά αυτοκίνητα.....	87
4.5.6. Φορτηγά λεωφορεία και κατανάλωση	93
ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	119
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	121

Περιεχόμενα Εικόνων

Κεφάλαιο	Σελίδα	Εικόνα
1.3.	19	Διατήρησης της μάζας – Ροϊκός σωλήνας
1.4.	19	Αρχή διατήρησης της Ενέργειας
1.5.	21	Σωλήνας VENTURI
3.1.	28	Χαρακτηριστική μορφή αεροτομής πτέρυγας
3.1.	28	Κατανομή στατικής πίεσης στην πτέρυγα
3.2.	29	Τριδιάστατη όψη του πρωτότυπου οχήματος
3.2.	30	Γραμμές ροής στο επίπεδο συμμετρίας
3.2.	30	Περιοχή όμορου (λεπτομέρεια)
4	34	Αεροδυναμικές ροπές και δυνάμεις
4	35	Η Αεροδυναμική εφαρμόζεται σε κάθε τύπο οχήματος Δείγμα από την πολύπλευρη εφαρμογή της αεροδυναμικής στην F1
4.1.	35	Ροϊκές γραμμές αυτοκινήτου
4.1.	36	Καθορισμός μετωπικής επιφάνειας
4.1.	37	Ροή του αέρα και στροβιλισμοί
4.1.	38	Ο ένας και αυτός στόχος. Καλή αεροδυναμική, που έχει σαν αποτέλεσμα διάφορες λύσεις ανάλογα με τον τύπο του οχήματος
4.2.	39	Αυτοκίνητο τύπου τορπίλης
4.2.	39	Αυτοκίνητο τύπου ανεμοπλάνου
4.2.	39	Αυτοκίνητο τύπου βάρκας
4.2.	40	Λιμουζίνα "σταγόνα" του Rumpler
4.2.	41	Ροή σκόνης γύρω από ένα συμβατικό αυτοκίνητο και ένα αυτοκίνητο Rumpler
4.2.	42	Ροϊκές γραμμές γύρω από το αυτοκίνητο του Rumpler, σχεδιασμένο από τον ίδιο
4.2.	43	Διάφορες περιπτώσεις συντελεστή C_D οχημάτων
4.2.	44	Οι δύο παραλλαγές της συνδυαστικής μορφής του Jaray
4.2.	44	Μετρήσεις οπισθέλκουσας από τον Klemperer το 1922 με μοντέλα 1:10 αεραγωγό ψύξης
4.2.	45	Ένα από τα πρώτα αυτοκίνητα τύπου Jaray, το Audi K

Κεφάλαιο	Σελίδα	Εικόνα
4.2.	45	ΜοντέλοBMW 3.28 1938 $C_D = 0.44$
4.2.	46	Δuo τυπικά αυτοκίνητα Jaray 1933-34. Επάνω: Audi2L, Κάτω: Daimler - BenzType 200
4.2.	46	Daimler-Benz Type "Stuttgart" 1928 παρ - μπριζ
4.2.	47	Το πρώτο μοντέλο του Tatra 87 (1936)
4.2.	47	Μοντέλο Tatra 87 1937
4.2.	48	Αυτοκίνητο "LangePorsche 911 Carrera "1995 $C_D = 0.33$
4.2.	48	Επίδραση των βασικών παραμέτρων του αμαξώματος στην αεροδυναμική αντίσταση αλληλεξάρτησή τους
4.2.	49	Το πρώτο αυτοκίνητο με ουρά Kamm τοEverling του 1938 στο 170 V της Mercedes - Benz. Kamm
4.2.	50	KammK3 του 1938-39 μέσα στην αεροσήραγγα της VW
4.2.	50	Σύγκριση των διαμηκών τομών των αυτοκινήτων Jaray και Kamm. (το Tatra 87 είναι χωρίς την πίσω ουρά)
4.2.	51	Το αυτοκίνητο του Persi, κατασκευάστηκε το 1923-24
4.2.	51	Αεροδυναμική των αυτοκινήτων στις Η.Π.Α. στη δεκαετία του 1930
4.2.	52	Σχέδιο του αυτοκινήτου Schlor (1938)
4.2.	52	Συντελεστής αντίστασης ως προς το ύψος από το έδαφος για το αυτοκίνητο Schlor
4.2.	53	Αμάξωματριώνόγκων, Ford Lincoln Continental 1950
4.2.	54	Συνοπτικά όλα τα μοντέλα της Porsche από το 1950
4.2.	55	Το «γενεαλογικό δέντρο» της αεροδυναμικής των αυτοκινήτων
4.3.2.	56	Πρωτότυπο χαμηλής αντίστασης FORDPROBEIV '83 $C_D = 0.15$, $A = 1.90m^2$
4.3.2.	56	Porsche 356 του 1948 $C_D = 0.46$, $A = 1.41m^2$
4.3.2.	57	PORSCHE 911 Turbo. Τυπικό αεροδυναμικό αυτοκίνητο
4.3.2.	57	GMAERO 2002 $C_D = 0.14$, $A = 1.68m^2$
4.3.2.	58	Mercedes - Benz 300SLR Le Man (1955) $C_D = 0.44$. Το πτυσσόμενο πτερύγιο αύξανε το συντελεστή σε 1.09
4.3.2.	58	Αεροδυναμικοί συντελεστές διαφόρων αυτοκινήτων μετά από ερεύνα που δημοσιεύθηκαν το 1981

Κεφάλαιο	Σελίδα	Εικόνα
4.3.2.	59	Ο σχεδιασμός του WVPASSAT μέχρι να πάρει την τελική του μορφή. $C_D = 0.29$
4.3.2.	59	Στάδια διαμόρφωσης ερευνητικού αυτοκινήτου της WV
4.3.2.	60	Αεροδυναμική της Citroen
4.3.3.	61	Ιστορία του c_d των Ευρωπαϊκών αυτοκινήτων σε σύγκριση με το FORD PROBE IV
4.3.3.	62	Mercedes - Benz T80. Αυτοκίνητο επιδόσεων του 1939 (650km/h)
4.3.3.	62	«Trophen Wagen» αυτοκίνητο σταγόνα του 1923
4.3.3.	62	Αυτοκίνητο ρουκέτα BLUE FLAME. Έσπασε το ρεκόρ ταχύτητας το 1970 με 1001,671χμ/ώρα
4.3.3.	63	Αυτοκίνητο επιδόσεων «GOLDEN ARROW» του 1929 με 372,456χμ/ώρα
4.3.3.	63	α) GM Sunracer 1987 $C_D = 0.125$, $A = 1.18m^2$ β) Spirit ofBienne II 1990 $C_D = 0.13$
4.3.3.	63	Όχημα εξοικονόμησης ενέργειας της WV
4.3.3.	63	Ερευνητικό αυτοκίνητο της WV
4.3.4.	64	Η Daimler - Benz κατασκεύασε το πρώτο ροϊκό αγωνιστικό αυτοκίνητο το 1937
4.3.4.	64	Porsche Carrera 6 LongTail του 1966. $C_D = 0.33$
4.3.4.	64	Porsche 917/30 του 1975, $C_D = 0.5$
4.3.4.	65	Porsche 962 Le Man. $C_D = 0.41$, $A = 1.84m^2$
4.3.4.	65	Mc Laren F1
4.3.4.	66	Porsche Quaker State
4.3.4.	67	Η όλο και μεγαλύτερη απαίτηση για μείωση του συντελεστή άντωσης στα αγωνιστικά αυτοκίνητα επιφέρει μια συνεχή αύξηση του συντελεστή αντίστασης
4.4.	68	Αύξηση στην οπισθέλκουσα και στην άντωση σε ένα αυτοκίνητο με την προσθήκη τροχών
4.4.	69	Δείγμα ροής τροχού που κυλάει στο έδαφος
4.4.	69	Οπισθέλκουσα και άντωση σε απομονωμένο τροχό με και χωρίς περιστροφή
4.4.	69	Η επίδραση του εξοπλισμού στην αεροδυναμική αντίσταση ενός αυτοκινήτου

Κεφάλαιο	Σελίδα	Εικόνα
4.4.	70	Επίδραση του όγκου του θόλου του τροχού στην αντίσταση και την άντωση σε εσωτερικό (κλειστό) τροχό
4.4.	70	Εισαγωγή αέρα ψύξης σε σχέση με την εγκατεστημένη ισχύ στο πέρασμα των χρόνων
4.4.	71	Επίδραση στον σχεδιασμό, π.χ. το OpelKadett
4.4.	71	Επίδραση της ταχύτητας τον οχήματος στη δύναμη Ls που ενεργεί στο πλευρικό τζάμι
4.4.	72	Υπερκρεμάμενη βάση καθρέπτη για την αποφυγή των κραδασμών
4.4.	72	ΗΛΙΟΡΟΦΗ
4.4.	72	F-355 SPIDERFERRARI
4.4.	73	Συντελεστές αεροδυναμικής αντίστασης σε ανοιχτά οχήματα
4.4.	73	Χτυπήματα αέρα σε ανοικτά αυτοκίνητα
4.4.	74	Έλεγχος της ροής του αέρα σε ανοιχτά αυτοκίνητα
4.4.	74	Αποφυγή του στροβιλισμού της ροής σε ένα ανοιχτό αυτοκίνητο με την χρήση ανακλαστήρα σε ταχύτητα 120km/h (75 mph)
4.4.	74	Αύξηση στην οπισθέλκουσα λόγω των σχαρών για τα σκι
4.4.	75	Αλλαγή στα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά από ποικίλα φορτία οροφής
4.4.	75	Ροή σε αυτοκίνητο με και χωρίς φορτίο οροφής
4.4.	76	Οπισθέλκουσα ενός ψηλού οχήματος και τρέιλερ
4.4.	76	Οπισθέλκουσα ενός συνδυασμού αυτοκινήτου-τρέιλερ, παλιά τρέιλερ και παρουσίαση των γενεών
4.4.	77	Ορολογία ενός συνδυασμού αυτοκινήτου - τρέιλερ
4.4.	77	Μείωση της οπισθέλκουσας αυτοκινήτου - τρέιλερ από τις μπροστινές κυκλικές άκρες
4.4.	78	Βέλτιστη θέση του ανακλαστήρα οροφής
4.4.	78	Οδηγώντας τη ροή πλησιάζοντας ένα κάραβαν από τα μπροστινά άκρα της οροφής ή από τον ανακλαστήρα στην κορυφή του αυτοκινήτου
4.4.	79	Αποτέλεσμα της μορφής της ροής γύρω από ένα τρέιλερ συντελεστές οπισθέλκουσας και το φορτίο του γάντζου
4.5.2.	80	Διανομή ταχύτητας κάτω από το αυτοκίνητο με ή χωρίς μπροστινό σπόιλερ

Κεφάλαιο	Σελίδα	Εικόνα
4.5.2.	80	Επίδραση του μπροστινού σπόιλερ ενός αυτοκινήτου στην διανομή πίεσης
4.5.2.	80	Επίδραση του μπροστινού σπόιλερ ενός αυτοκινήτου στο συντελεστή αεροδυναμικής αντίστασης C_d και στο συντελεστή αεροδυναμικής άντωσης μπροστινού και πίσω άξονα C_{Df} & C_{Lr}
4.5.2.	81	Στο όχημα αριστερά, παρατηρείται η μεταβολή των αεροδυναμικών συντελεστών με την χρησιμοποίηση μπροστινού σπόιλερ και στρογγυλοποίηση του χείλους του καπό του αυτοκινήτου
4.5.3.	81	Δυσδιάστατο περύγιο άντωσης σε μοντέλο προσομοίωσης για οπίσθιο σπόιλερ
4.5.3.	82	Ισοβαρής καμπύλες σε ένα Fast back αυτοκίνητο, με και χωρίς σπόιλερ
4.5.3.	82	Αύξηση της πίεσης στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου εξαιτίας του οπίσθιου σπόιλερ
4.5.3.	83	Επίδραση του ύψους της οπίσθιας πτέρυγας στην: κατανομή πίεσης και άντωση και οπισθέλκουσα σε σεντάν αυτοκίνητο
4.5.4.	84	Οπισθέλκουσα και άντωση για διάφορες ρυθμίσεις των πίσω spoiler
4.5.4.	84	Σχεδιαστικές εναλλακτικές λύσεις για οπίσθιο spoiler, παράδειγμα το VW scirocco
4.5.4.	85	Αλλαγή στην κατανομή πίεσης γύρω από ένα VW Corrado, με την προσθήκη πτυσσόμενης πτέρυγας
4.5.4.	85	Μείωση της άντωσης στον πίσω άξονα σε ένα VW Corrado, με την χρήση της οπίσθιας πτυσσόμενης πτέρυγας
4.5.4.	86	Δύο παραδείγματα του μπροστινού σπόιλερ βελτιστοποίησης με το στόχο την έλξη
4.5.4.	86	Επιρροή του μπροστινού σπόιλερ στην έλξη και άντωση στον μπροστινό άξονα
4.5.4.	86	Σχεδιασμός σπόιλερ για το Opel Calibra : α) Βέλτιστο κεντρικό διάκενο στο σπόιλερ, β) εκτεταμένο σπόιλερ «γωνιών» γ) χαμηλόμα μαρσπιδίων δ) βελτίωση του οπίσθιου διάχυτη
4.5.5.	87	Η απαίτηση για όλο και υψηλότερη αρνητική δύναμη άντωσης στα αγωνιστικά αυτοκίνητα έχει σαν αποτέλεσμα την συνεχή αύξηση του συντελεστή αντίστασης C_D
4.5.5.	87	Όσο χαμηλότερο είναι το μπροστινό μέρος τόσο χαμηλότερος ο συντελεστής άντωσης C_{Lr} στον εμπρόσθιο άξονα
4.5.5.	88	Διακύμανση του συντελεστή αεροδυναμικής αντίστασης σε συνάρτηση με το ύψος του μπροστινού τμήματος
4.5.5.	88	Όσο πιο μακρύ είναι το πίσω μέρος τόσο μικρότερος είναι ο συντελεστής C_D , πίσω μέρος με σχήμα ουράς δακρύου δημιουργεί μια αρνητική άντωση C_{Lr}

Κεφάλαιο	Σελίδα	Εικόνα
4.5.5.	89	Αυξάνοντας την αρνητική γωνία της πίσω πτέρυγας έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερη αρνητική άντωση αλλά και αύξηση της οπισθέλκουσας
4.5.5.	89	Με δεδομένο συντελεστή αντίστασης ένα υπερυψωμένο πίσω μέρος σε συνδυασμό με μία οπίσθια πτέρυγα αποδίδει μεγαλύτερες τιμές αρνητικής άντωσης από ότι το υπερυψωμένο πίσω μέρος μόνο του
4.5.5.	90	Αρνητικός συντελεστής άντωσης σε ένα αυτοκίνητο «επίδρασης εδάφους» σε συνάρτηση με την απόσταση από το έδαφος
4.5.5.	90	Η αρνητική άντωση αυξάνει με την μείωση του κενού μεταξύ των πλαϊνών ποδιών και του εδάφους
4.5.5.	91	Η αρνητική άντωση αυξάνεται όσο η απόσταση από το έδαφος μειώνεται
4.5.5.	91	Ο αέρας που ρέει κάτω από το αυτοκίνητο
4.5.5.	92	Ο συντελεστής άντωσης μειώνεται με την αύξηση της απόστασης από το έδαφος
4.5.5.	92	Η επίδραση της αεροδυναμικής από τα πρόσθετα εξαρτήματα που τοποθετούνται σε ένα σεντάν
4.5.5.	93	Επίδραση από διαφορετικές οπίσθιες πτέρυγες στην άντωση σε ένα Liftback
4.5.6.	93	Λεωφορείο «Τραμ» του F.Gaubschai, 1936
4.5.6.	94	Διαμόρφωση του πίσω μέρους ενός λεωφορείου κατά "Kamm" και "Jaray"
4.5.6.	95	Λεπτομέρεια διαμόρφωσης του VWLT 1
4.5.6.	96	Ροή με τη χρήση αεροτομής στην καμπίνα ενός τράκτορα MAN
4.5.6.	96	Εμπορικά οχήματα και τα όρια ταχυτήτων τους που ισχύουν στη Γερμανία
4.5.6.	97	Οι συνιστώσες της ελκτικής αντίστασης
4.5.6.	97	Εκατοστιαία κατανάλωση καυσίμου διαφόρων οχημάτων σε σχέση με το είδος αντίστασης
4.5.6.	98	Κατανάλωση καυσίμου σε φορτηγό 40 τόνων για διάφορες διαδρομές
4.5.6.	98	Κατανάλωση καυσίμου για τις συνιστώσες της αντίστασης για λεωφορείο
4.5.6.	99	Επίδραση της οπισθέλκουσας στην κατανάλωση ενός φορτηγού 40 τόνων και Επίδραση της οπισθέλκουσας στην κατανάλωση καυσίμου σε λεωφορεία

Κεφάλαιο	Σελίδα	Εικόνα
4.5.6.	100	Επίδραση της οπισθέλκουσας στην κατανάλωση καυσίμου για μικρά φορτηγά
4.5.6.	101	Κατανάλωση καυσίμου και μέση ταχύτητα σε μια ιδανική πορεία για ένα φορτηγό 40 τόνων
4.5.6.	102	Συντελεστής αεροδυναμικής αντίστασης για διάφορα εμπορικά οχήματα
4.5.6.	102	Επίδραση του αριθμού Reynolds στην οπισθέλκουσα
4.5.6.	103	Χαρακτηριστική ροή γύρω από αυτοκίνητο με πλάγιο άνεμο 0 και 30 μοίρες
4.5.6.	104	Μερική οπισθέλκουσα ελκυστήρα - ημι-συρομένου και φορτηγού - συρομένου
4.5.6.	104	Επίδραση τον σχήματος της καμπίνας στη μερική οπισθέλκουσα της καμπίνας και της καρότσας
4.5.6.	104	Μερική οπισθέλκουσα ελκυστήρα - ημι-συρομένου και φορτηγού - συρομένου
4.5.6.	104	Επίδραση τον σχήματος της καμπίνας στη μερική οπισθέλκουσα της καμπίνας και της καρότσας
4.5.6.	105	Παρέμβαση στη ροή της καμπίνας
4.5.6.	105	Επίδραση του σχήματος της καμπίνας στο συντελεστή αεροδυναμικής αντίστασης για διάφορες τιμές των s και h
4.5.6.	106	Επίδραση του σχήματος της καμπίνας σε πλάγιο άνεμο
4.5.6.	106	Μείωση της οπισθέλκουσας με τη χρήση συσκευών στην οροφή του φορτηγού
4.5.6.	107	Επίδραση της πτέρυγας στην κατανομή της πίεσης
4.5.6.	107	Διαμόρφωση με προσθήκες στην καμπίνα και λεπτομέρειες στην καρότσα
4.5.6.	108	Μείωση της οπισθέλκουσας με πλάγιο άνεμο και τη χρήση βοηθημάτων
4.5.6.	109	Σχεδιασμός του μπροστινού τμήματος των λεωφορείων
4.5.6.	109	Σχέση μεταξύ μπροστινής διαμόρφωσης και συντελεστή C_D
4.5.6.	110	Επίδραση της εμπρόσθιας καμπυλότητας στην οπισθέλκουσα
4.5.6.	110	Το σχέδια του Jagay για το πίσω μέρος του λεωφορείου
4.5.6.	111	Επίδραση της οπίσθιας διαμόρφωσης στην οπισθέλκουσα
4.5.6.	111	Πτυσσόμενη ουρά για λεωφορείο

Κεφάλαιο	Σελίδα	Εικόνα
4.5.6.	112	Συσκευές διαμόρφωσης ροής στη βάση της καρότσας
4.5.6.	112	Μείωση της οπισθέλκουσας με τη χρήση οδηγών πτερυγίων
4.5.6.	113	Μείωση της οπισθέλκουσας με τη χρήση κλειστής κοιλότητας
4.5.6.	113	Επίδραση των γεννητριών στροβίλων στην πτώση της πίεσης εξαρτημάτων
4.5.6.	114	Υπερψωμένο λεωφορείο σχεδιασμένο στο πανεπιστήμιο του Αμβούργου
4.5.6.	115	Σχεδιαστικές μελέτες για αεροδυναμικά «ανώτερα» φορτηγά
4.5.6.	116	Αεροδυναμικό φορτηγό της FORD
4.5.6.	116	Αεροδυναμικό φορτηγό της MAN
4.5.6.	117	Διάφοροι τύποι ελκυστήρων διαμορφωμένοι για χαμηλή οπισθέλκουσα
4.5.6.	118	Η καμπίνα ύπνου πάνω από τον οδηγό μειώνει το συντελεστή

Πρόλογος

Η σημερινή αλματώδης εξέλιξη όλων των επιστημών απαιτεί την πλήρη γνώση της ιστορίας – ιστορικής αναδρομής της επιστήμης καθώς και της εφαρμογής των νόμων – αξιωμάτων που την διέπουν. Έχοντας αυτό ως δεδομένο, στην εργασία αυτή γίνεται μία αναφορά στην θεωρία των αεροτομών, μία ιστορική αναδρομή στην σχεδιομελέτη οχημάτων καθώς και της βελτίωσης της αεροδυναμικής των οχημάτων με βοηθήματα.

Περίληψη

Η εργασία αυτή έχει σκοπό να περιγράψει τη βασική θεωρία και τους νόμους της Μηχανικής που διέπουν τις αεροτομές. Η θεωρία αυτή αποτελείται από το συνδυασμό πολλών γνωστών αξιωμάτων της Μηχανικής των Ρευστών, της Αρχής Διατήρησης της ενέργειας και της διατήρησης της μάζας. Όλα αυτά είναι εφαρμοσμένα στην θεωρία των αερίων και πιο συγκεκριμένα στην κινητική αυτού. Συγκεντρώνοντας όλα αυτά τα δεδομένα κάποιος καταλήγει στον αεροσχεδιασμό ο οποίος παίζει καθοριστικό ρόλο στην εξωτερική μορφή οποιαδήποτε κατασκευής. Έχοντας ως δεδομένο τα προαναφερθέντα γίνεται και η σχεδιομελέτη οχημάτων από το πιο απλό (αυτοκίνητο) ως το πιο μεγάλο (φορηγό - λεωφορείο) ή το πιο εξειδικευμένο (αγωνιστικό). Έπειτα γίνεται μια πλήρης περιγραφή σχεδιομελετών των οχημάτων με συγκεκριμένα παραδείγματα. Θα ήταν βασική παράλειψη αν δεν γινόταν αναφορά στην οικονομία καυσίμου που επιτυγχάνεται στα οχήματα με τη βελτίωση της αεροδυναμικής ή την τοποθέτηση κάποιων πρόσθετων αεροτομών.

Τελικά, εξάγονται κάποια συμπεράσματα που σίγουρα είναι χρήσιμα σε κάποιον που ξεκινάει να κάνει μια αεροδυναμική ανάλυση σε οποιοδήποτε όχημα .

Abstract

This paper aims to describe the basic theory and the laws of mechanics that concern spoilers. This theory is a combination of several well-known axioms of Fluid Dynamics, Conservation of Energy and Conservation of Mass. All of these are applied to the Gas Theory and particularly in Kinetics. Gathering all these data leads to air-design, which plays a major role in the external form of any construction. Having the above in mind, the Design of vehicles is done, from the simplest (car) to the hardest (truck – bus) or more specialized (racing cars). Then there is a full description of design of vehicles with specific examples. It is very important to refer to the fuel economy achieved in vehicles by improving aerodynamics or by placing some additional spoilers.

Finally, there are some conclusions that would be certainly useful to someone starting to make an aerodynamic analysis on any vehicle.

Εισαγωγή

Προκειμένου κάποιος να πετύχει τη βέλτιστη λύση στο σχεδιασμό ενός οχήματος, θα πρέπει πάντα να έχει πάντα ως γνώμονα την καλαισθησία – εξωτερική ομορφιά σε συνάρτηση πάντα με την εξοικονόμηση υλικού (για την ελάττωση του βάρους του οχήματος). Σίγουρα όμως δεν πρέπει να λησμονεί και την οικονομία του καυσίμου που επιτυγχάνεται με τον καλύτερο σχεδιασμό του οχήματος καθώς και της σταθερότητας σε μεγάλες ταχύτητες που επιτυγχάνεται και με την προσθήκη διαφόρων έξτρα εξαρτημάτων.

Όλα τα προηγούμενα επιτυγχάνονται με την πλήρη γνώση και εφαρμογή των νόμων της Μηχανικής στο πλαίσιο της σχεδιομελέτης των οχημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΡΟΗΣ

1.1. Θεωρητική εισαγωγή

Η μόνιμη ροή των ρευστών, ανάλογα με την τροχιά των κινούμενων σωματιδίων, διακρίνεται σε δύο τύπους, την στρωτή και την τυρβώδη. Στρωτή ονομάζεται η ροή κατά την οποία τα διάφορα σωματίδια κινούνται κατά μήκος παράλληλων τροχιών, ενώ τυρβώδη ροή καλούμε την ακανόνιστη κίνηση των σωματιδίων προς διάφορες κατευθύνσεις.

Παρακάτω δίνονται κάποιοι πολύ χρήσιμοι ορισμοί:

Γραμμή ροής (ή ροϊκή γραμμή) ενός πεδίου είναι η γραμμή εκείνη στην οποία εφάπτεται το διάνυσμα ταχύτητας ενός σωματιδίου του ρευστού κάθε χρονική στιγμή.

Τυρβώδης ροή είναι η κατάσταση κατά την οποία οι γραμμές ροής του ρευστού έχουν τη μορφή ακαθόριστων καμπυλών, οι οποίες αλληλοτέμνονται. Το αποτέλεσμα είναι η εικόνα της ροής με στροβιλισμούς.

Οριακό στρώμα είναι το στρώμα του υγρού που γειτονεύει άμεσα με μία οριακή επιφάνεια στην οποία το ιξώδες έχει ορατά (σημαντικά) αποτελέσματα.

1.2. Χαρακτηριστικοί αριθμοί ReynoldsMach

Ο αριθμός *REYNOLDS*, ορίζεται ως το πηλίκο των δυνάμεων αδράνειας προς τις δυνάμεις τριβής. Ο αριθμός αυτός είναι καθαρός και αποτελεί κριτήριο για τον τύπο της ροής. Ο αριθμός *REYNOLDS* έχει την μορφή:

$$Re = \frac{du}{\nu} = \frac{\rho ud}{\mu}$$

όπου

μ = δυναμικό ιξώδες

ν = κινηματικό ιξώδες

ρ = πυκνότητα

u = ταχύτητα

d = διάμετρος σωλήνα

Αν $Re \leq 2000$ τότε η ροή είναι στρωτή. Αν $Re > 2000$ τότε η ροή είναι τυρβώδης. Ο αριθμός *MACH* είναι επίσης ένας άλλος χαρακτηριστικός

αριθμός, ορίζεται από το πηλίκο της ταχύτητας του ρευστού προς την ταχύτητα του ήχου και αποτελεί κριτήριο για την συμπίεστικότητα ή μη της ροής. Ο αριθμός MACH έχει την μορφή:

$$MACH = \frac{u}{\alpha} = \frac{u}{(\gamma RT)^{\frac{1}{2}}}$$

Όπου u = ροϊκή ταχύτητα
 α = ταχύτητα ήχου στο ρευστό

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

$$R = 287,1 \text{ J/}^\circ\text{KKg}$$

$$T = ^\circ\text{K}$$

Με την βοήθεια του αριθμού MACH μπορούμε να διακρίνουμε τις παρακάτω περιοχές:

- Όταν $M > 1$, έχουμε υπερηχητική ροή.
- Όταν $M < 1$, έχουμε υποηχητική ροή.
- Όταν $M = 1$, έχουμε ηχητική ροή.
- Όταν $0,8 \leq M \leq 1,2$, έχουμε διηχητική ροή.
- Όταν $M \leq 0,4$ ή $0,3$, έχουμε ασυμπίεστη ροή.

1.3. Αρχή διατήρησης της μάζας (Εξίσωση συνέχειας)

Η εξίσωση της συνέχειας εκφράζει την διατήρηση της μάζας μέσα σε ροϊκό σωλήνα. Η ροή στον ροϊκό σωλήνα δεν μπορεί να υπάρξει κάθετη στα τοιχώματα του σωλήνα παρά μόνο κατά μήκος του άξονα του σωλήνα. Σ' αυτή την περίπτωση θα πρέπει να ισχύει ότι η μάζα που εισέρχεται στο σωλήνα στη μονάδα του χρόνου θα πρέπει να ισούται με την μάζα που εξέρχεται.

Δηλαδή θα πρέπει να ισχύει:

$$m_1 = m_2 = m = \text{σταθερό} = \frac{m}{t} = \frac{\rho V}{t} = \frac{\rho AS}{t} = \rho Au$$

$$\text{Συνεπώς } \rho_1 A_1 u_1 = \rho_2 A_2 u_2$$

Όμως $\rho = \text{σταθερό}$ για ασυμπίεστο ρευστό άρα: $A_1 u_1 = A_2 u_2$

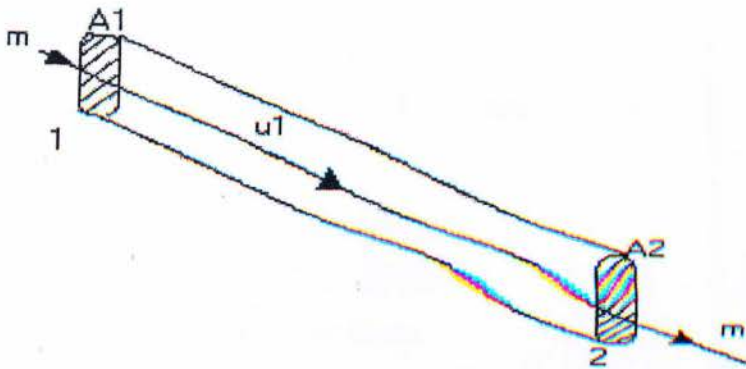
Όπου m = παροχή μάζας

V = όγκος

A = διατομή κάθετα στον άξονα του σωλήνα

S = μήκος σωλήνα

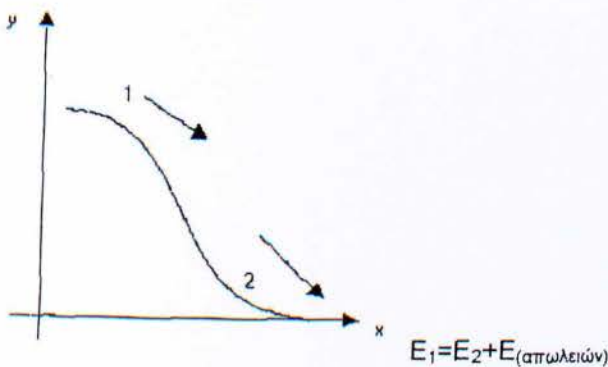
u = ταχύτητα κάθετη στην διατομή.



Εικόνα 1: Αρχή διατήρησης της μάζας – Ροϊκός σωλήνας

4. Αρχή διατήρησης της ενέργειας (Εξίσωση BERNOLLI)

Η βασική αρχή της διατήρησης της ενέργειας για την ροή ενός ρευστού εκφράζεται με την βοήθεια της εξίσωσης BERNOLLI, η οποία ορίζει την σχέση που συνδέει την δυναμική ενέργεια, την κινητική ενέργεια και το έργο ροής. Επομένως για τις δύο συγκεκριμένες θέσεις θα εξαχτεί το παρακάτω σχεδιάγραμμα:



Εικόνα 2: Αρχή διατήρησης της Ενέργειας

Γενικά

$$E_i = E_{\delta i} + E_{\kappa i} + E_{p i} = mgy_i + \frac{1}{2}mu^2 + P_iV$$

όπου

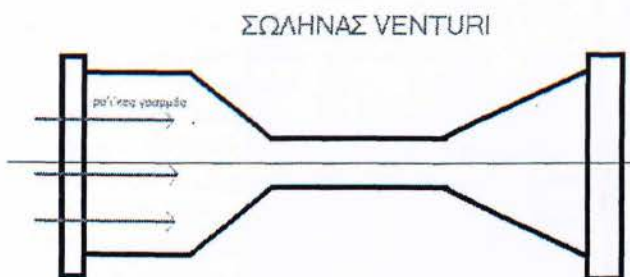
$E_{\delta i}$: Δυναμική Ενέργεια

$E_{\kappa i}$: Κινητική Ενέργεια

$E_{p i}$: Διαφορά Πίεσης

1.5. Σωλήνας Venturi

Ο σωλήνας *Venturi* είναι μια διάταξη που χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορες εφαρμογές. Αποτελείται από ένα συγκλίνοντα - αποκλίνοντα αγωγό με το ίδιο εμβαδόν διατομής στην είσοδο και στην έξοδο, όπως χαρακτηριστικά περιγράφεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3: Σωλήνας VENTURI

Η ροή επιταχύνεται στο συγκλίνον τμήμα του, αποκτώντας μέγιστη ταχύτητα στην περιοχή της ελαχίστης διατομής. Στη συνέχεια η ροή επιβραδύνεται στο αποκλίνον τμήμα, έως ότου επανέλθει στην αρχική της κατάσταση, πριν την είσοδο της στο σωλήνα Venturi. Αν η ροή θεωρηθεί ιδανική, η ροή θα επανέλθει στην αρχική της κατάσταση, δηλαδή θα έχει στην έξοδο την ίδια ταχύτητα και την ίδια στατική πίεση που έχει στην είσοδο του σωλήνα. Μια πραγματική ροή, γενικά, δεν επανέρχεται στην αρχική κατάσταση εξ αιτίας του οριακού στρώματος στα τοιχώματα του σωλήνα και πιθανώς, της απόκλισης στο αποκλίνον τμήμα. Όσο λιγότερο έντονα είναι τα φαινόμενα αυτά, τόσο περισσότερο πλησιάζει η ροή την ιδανική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

Ο αέρας είναι ένα αέριο, και τα αέρια μπορούν να μελετηθούν με την εξέταση της μικρής κλίμακας ενέργειας των μεμονωμένων μορίων ή με την εξέταση της μεγάλης ενέργειας κλίμακας του αερίου συνολικά. Μπορεί άμεσα να μετρηθεί η δράση του αερίου. Αλλά για να μελετηθεί η ενέργεια των μορίων, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα θεωρητικό μοντέλο. Το μοντέλο, που καλείται κινητική θεωρία των αερίων, υποθέτει ότι τα μόρια είναι πολύ μικρά σχετικά με την απόσταση μεταξύ των μορίων. Τα μόρια βρίσκονται σε σταθερή, τυχαία κίνηση και συγκρούονται συχνά το ένα με το άλλο και με τους τοίχους οποιουδήποτε μέσου μέσα στο οποίο είναι κλεισμένο. Τα μεμονωμένα μόρια κατέχουν την πρότυπη φυσική ιδιότητα της μάζας, της ορμής, και της ενέργειας. Η πυκνότητα ενός αερίου είναι απλά το ποσό της μάζας των μορίων δια τον όγκο που το αέριο καταλαμβάνει.

Η πίεση ενός αερίου είναι ένα μέτρο της γραμμικής ορμής των μορίων. Δεδομένου ότι τα μόρια αερίου συγκρούονται με τους τοίχους του μέσου, τα μόρια μεταδίδουν την ορμή στους τοίχους, παράγοντας μια δύναμη που μπορεί να μετρηθεί. Η δύναμη δια την περιοχή στην οποία εφαρμόζεται ορίζεται ως πίεση. Η θερμοκρασία ενός αερίου είναι ένα μέτρο της μέσης κινητικής ενέργειας του αερίου. Τα μόρια βρίσκονται σε σταθερή τυχαία κίνηση, και υπάρχει μια ενέργεια (μάζα επί το τετράγωνο της ταχύτητας) που συνδέεται με εκείνη την κίνηση. Όσο υψηλότερη η θερμοκρασία, τόσο μεγαλύτερη η κίνηση.

Σε ένα στερεό, η θέση των μορίων το ένα σχετικά με το άλλο παραμένει σχεδόν σταθερή. Αλλά σε ένα αέριο, τα μόρια μπορούν να κινηθούν ελεύθερα και να αλληλεπιδράσουν το ένα με το άλλο και με τα περίχωρα τους με διαφορετικούς τρόπους. Όπως αναφέρεται παραπάνω, υπάρχει πάντα ένα τυχαίο συστατικό της μοριακής κίνησης. Όλο το ρευστό μπορεί να κινηθεί σε μια διαταγμένη κίνηση (ροή). Η διαταγμένη κίνηση επιβάλλεται, ή προστίθεται στην κανονική τυχαία κίνηση των μορίων. Στο μοριακό επίπεδο, δεν υπάρχει καμία διάκριση μεταξύ του τυχαίου και του διαταγμένου συστατικού. Σε έναν σωλήνα ριτοί, μετριέται η πίεση που παράγεται από το τυχαίο συστατικό ως στατική πίεση, και την πίεση που παράγεται από τον τυχαίο συν το διαταγμένο συστατικό ως συνολική πίεση.

2.1. Προσδιορισμός των ιδιοτήτων του ατμοσφαιρικού αέρα

Ο αέρας είναι ένα μίγμα αερίων, αζώτου 78% και οξυγόνου 21% με ίχνη ατμού ύδατος, διοξειδίου άνθρακα, αργού, και διάφορων άλλων συστατικών. Ο αέρας συνήθως θεωρείται ομοιόμορφος (καμία παραλλαγή ή διακύμανση) αέριο με τις ιδιότητες του να υπολογίζονται ως μέσος όρος των ιδιοτήτων όλων των μεμονωμένων συστατικών του.

Οποιοδήποτε αέριο έχει ορισμένες ιδιότητες που μπορούν να ανιχνευθούν με τις αισθήσεις. Οι τιμές και οι σχέσεις των ιδιοτήτων καθορίζουν την κατάσταση του αερίου. Η πίεση ενός αερίου είναι ίση με τη δύναμη που ασκείται από το αέριο δια το εμβαδόν της επιφάνειας στην οποία η δύναμη ασκείται. Η θερμοκρασία ενός αερίου είναι ένα μέτρο του πόσο καυτό ή κρύο είναι το αέριο. Το αέριο είναι αποτελούμενο από ένα μεγάλο αριθμό μορίων, και το ποσό της μάζας όλων των μορίων είναι ίσο με τη μάζα του αερίου. Το αέριο καταλαμβάνει κάποιο όγκο σε τρισδιάστατο χώρο. Για μια δεδομένες πίεση και μια θερμοκρασία, ο όγκος εξαρτάται άμεσα από το ποσό του αερίου. Δεδομένου ότι η μάζα και ο όγκος είναι άμεσα σχετικές, μπορεί να εκφραστεί η μάζα και ο όγκος από μια ενιαία μεταβλητή.

Κατά λειτουργία με ένα στατικό (ακίνητο) αέριο, είναι πρακτικό να χρησιμοποιηθεί ο ειδικός όγκος, ο οποίος είναι ο όγκος διαιρούμενος με τη μάζα. Όταν ένα αέριο κινείται, είναι καταλληλότερο να χρησιμοποιηθεί η πυκνότητα του αερίου, η οποία είναι η μάζα διαιρούμενη με τον όγκο το αέριο καταλαμβάνει. Κάθε μία μεταβλητή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθοριστεί η κατάσταση του αερίου, δεδομένου ότι είναι ανάλογες. Η πυκνότητα (ειδικός όγκος), η πίεση, και η θερμοκρασία ενός αερίου είναι σχετικές η μια με την άλλη μέσω της καταστατικής εξίσωσης. Η κατάσταση ενός αερίου μπορεί να αλλάξει από εξωτερικές διαδικασίες, και η αντίδραση του αερίου μπορεί να προβλεφθεί χρησιμοποιώντας τους νόμους της θερμοδυναμικής.

Γνωρίζοντας ότι η πίεση και η θερμοκρασία (και η πυκνότητα) του αέρα εξαρτώνται από τη θέση του στη γη και την εποχή του έτους. Και ενώ είναι καυτότερος σε μερικές εποχές από άλλες, η πίεση και θερμοκρασία αλλάζουν καθημερινά, ώρα με την ώρα, μερικές φορές ακόμα και λεπτό με το λεπτό (κατά τη διάρκεια κακοκαιρίας). Οι τιμές που παρουσιάζονται είναι απλά μέσες τιμές που χρησιμοποιούνται από τους μηχανικούς για να σχεδιάσουν τις μηχανές. Γι' αυτό καλούνται πρότυπες τιμές. Επίσης είναι γνωστό ότι όλες οι καταστατικές μεταβλητές του αερίου θα αλλάξουν με το ύψος, αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο στις χαρακτηριστικές τιμές δίνεται το επίπεδο θάλασσας και σε στατικές συνθήκες. Επειδή η βαρύτητα της γης κρατά την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια, καθώς αυξάνεται το ύψος, η πυκνότητα του αέρα, η πίεση, και η θερμοκρασία (για τα χαμηλότερα ύψη) μειώνονται. Στο διάστημα, η πυκνότητα είναι σχεδόν μηδέν. Η παραλλαγή του αέρα από τα πρότυπα μπορεί να είναι πολύ σημαντική δεδομένου ότι έχει επιπτώσεις στις παραμέτρους ροής όπως την ταχύτητα του ήχου. Οι αεριοθούμενες μηχανές δεν παράγουν τόση ώθηση τις καυτές, υγρές ημέρες όσοις κρύες, στεγνές ημέρες, και ότι η άνωση, η έλξη, και η ώθηση ποικίλλουν πολύ με το ύψος.

2.2. Εξίσωση της άνωσης

Η *άνωση* εξαρτάται από την πυκνότητα του αέρα, το τετράγωνο της ταχύτητας, του ιξώδους του αέρα και της συμπίεστικότητας, το εμβαδόν επιφάνειας πέρα από την οποία ο αέρας ρέει, η μορφή του σώματος, και η κλίση του σώματος στη ροή.

Γενικά, η εξάρτηση στη μορφή σωμάτων, την κλίση, το ιξώδες αέρα, και τη συμπίεστικότητα είναι πολύ σύνθετη. Ένας τρόπος να εξεταστούν οι σύνθετες εξαρτήσεις είναι να χαρακτηριστεί η εξάρτηση από μια ενιαία μεταβλητή. Για την άνωση, αυτή η μεταβλητή καλείται συντελεστής άνωσης (C_L). Αυτό επιτρέπει να συλλεχθούν όλα τα αποτελέσματα, απλά και σύνθετα, σε μια ενιαία εξίσωση.

Η εξίσωση της άνωσης δηλώνει ότι η άνωση είναι ίση με τον συντελεστή άνωσης (C_L) επί την πυκνότητα (ρ) επί το μισό του τετραγώνου της ταχύτητας (V) επί το εμβαδόν των φτερών (A).

$$L = C_L \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2} \cdot A$$

Για τους δεδομένους όρους, τη μορφή, και την κλίση του αντικειμένου απέναντι στον αέρα, πρέπει να εκλεγεί μια τιμή για το C_L για να καθοριστεί η άνωση. Για μερικούς απλούς όρους ροής και γεωμετρίας και τις χαμηλές κλίσεις, οι αεροναυπηγοί μπορούν να καθορίσουν την τιμή του C_L από μαθηματική άποψη. Αλλά, γενικώς, αυτή η παράμετρος καθορίζεται πειραματικά. Στην εξίσωση που δίνεται παραπάνω, η πυκνότητα υποδεικνύεται από το γράμμα ρ . Δεν χρησιμοποιείται το d για την πυκνότητα, δεδομένου ότι το « d » χρησιμοποιείται συχνά για να διευκρινίσει την απόσταση. Σε πολλά εγχειρίδια στην αεροδυναμική, η πυκνότητα δίνεται από το ελληνικό γράμμα ρ . Ο συνδυασμός όρων "πυκνότητα επί το μισό του τετραγώνου της ταχύτητας" καλείται δυναμική πίεση και εμφανίζεται στην εξίσωση πίεσης του Bernoulli.

2.3. Ο συντελεστής άνωσης

Ο συντελεστής άνωσης είναι ένας αριθμός που οι αεροναυπηγοί χρησιμοποιούν για να διαμορφώσουν όλες τις σύνθετες εξαρτήσεις της μορφής, της κλίσης, και μερικών όρων ροής σύμφωνα με την άνωση. Αυτή η εξίσωση είναι απλά μία αναδιοργάνωση της εξίσωσης της άνωσης όπου λύνεται ως προς το συντελεστή άνωσης από την άποψη των άλλων μεταβλητών. Ο συντελεστής άνωσης (C_L) είναι ίσος με την άνωση (L) δια την ποσότητα: πυκνότητα επί το μισό του τετραγώνου της ταχύτητας επί το εμβαδόν των φτερών ($\rho \cdot \frac{V^2}{2} \cdot A$).

$$C_L = \frac{L}{\rho \cdot \frac{V^2}{2} \cdot A}$$

Παρακάτω δίνεται ένας τρόπος για να καθοριστεί η τιμή για το συντελεστή άνωσης:

Σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον, (αεροδυναμική σήραγγα) θεωρούνται γνωστά η ταχύτητα, η πυκνότητα και το εμβαδόν και μπορεί να

μετρηθεί η παραγόμενη άνωση. Μετά με την λύση της παραπάνω εξίσωσης εξάγεται μια τιμή του συντελεστή άνωσης.

Έπειτα μπορεί να προβλεφθεί η άνωση που θα παραχθεί κάτω από ένα διαφορετικό σύνολο ταχυτήτων, πυκνοτήτων (ύψους), και εμβαδών φτερών χρησιμοποιώντας την εξίσωση άνωσης.

Ο συντελεστής άνωσης περιέχει όχι μόνο τις σύνθετες εξαρτήσεις της μορφής και της κλίσης αντικειμένου περιέχει επίσης τα αποτελέσματα του ιξώδους και της συμπιεστότητας αέρα. Για να χρησιμοποιηθεί σωστά ο συντελεστής άνωσης, πρέπει τα αποτελέσματα ιξώδους και συμπιεστότητας είναι τα ίδια μεταξύ της μετρημένης περίπτωσης και της προσληφθείσας περίπτωσης. Διαφορετικά, η πρόβλεψη θα είναι ανακριβής.

Για τις πολύ χαμηλές ταχύτητες, (<200 mph) οι τιμές της συμπιεστότητας είναι αμελητέες. Με τις υψηλότερες ταχύτητες, είναι σημαντικό να ταιριάξουν οι αριθμοί mach των δύο περιπτώσεων. Ο αριθμός Mach είναι η αναλογία της ταχύτητας στην ταχύτητα του ήχου. Έτσι είναι εντελώς ανακριβές να μετρηθεί ένας συντελεστής άνωσης σε χαμηλές ταχύτητες (πέστε 200 mph) και να εφαρμοστεί σε ένα αντικείμενο που κινητέ με δύο φορές την ταχύτητα του ήχου (περίπου 1.400 mph, mach = 2.0). Η συμπιεστότητα του αέρα θα αλλάξει τη Φυσική κατάσταση αυτών των δύο περιπτώσεων.

Ομοίως, πρέπει να ταιριαχθούν οι επιδράσεις του ιξώδους του αέρα, το οποίο γίνεται πολύ δύσκολα. Η σημαντική παράμετρος για να ταιριάξουν τα ιξώδες των δύο περιπτώσεων είναι ο αριθμός Reynolds. Ο αριθμός Reynolds εκφράζει την αναλογία των αδρανών δυνάμεων στις ιξώδεις δυνάμεις. Εάν ο αριθμός Reynolds του πειράματος και της πραγματικής πτήσης είναι κοντά, μπορεί να προσομοιωθούν κατάλληλα τα αποτελέσματα των ιξωδών δυνάμεων σχετικά με τις αδρανείς δυνάμεις: Εάν είναι πολύ διαφορετικοί, δεν μπορούν να προσομοιωθεί σωστά η Φυσική του πραγματικού προβλήματος και θα προβλεφθεί μια ανακριβής άνωση.

2.4. Παράγοντες που επηρεάζουν την άνωση

Όλα τα παραπάνω είναι απαραίτητα για να δημιουργηθεί η άνωση, για να γίνει μια στροφή στη ροή του αέρα. Μια αεροδυναμική, κυρτή αεροτομή θα στρέψει την ροή. Αλλά το ίδιο θα κάνει μια απλή επίπεδη λαμαρίνα, εάν είναι κλιμένη στη ροή. Η άτρακτος ενός αεροπλάνου θα παραγάγει επίσης την άνωση εάν είναι κλιμένη στη ροή. Ένα αυτοκίνητο γυρίζει επίσης τη ροή μέσω της οποίας κινείται, παράγοντας μιá δύναμη. (Η άνωση είναι ένα μεγάλο πρόβλημα για τα αγωνιστικά αυτοκίνητα.) Τα αγωνιστικά αυτοκίνητα περιλαμβάνουν τώρα spoilers στη στέγη για να σκοτώσουν την άνωση σε μια περιστροφή). Οποιοδήποτε φυσικό σώμα που κινείται μέσω ενός ρευστού, μπορεί να δημιουργήσει άνωση εάν παράγει μια καθαρή στροφή της ροής.

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στη στροφή της ροής, η οποία δημιουργεί την άνωση. Μπορούμε να ομαδοποιήσουμε αυτούς τους παράγοντες (α) σε εκείνους που συνδέονται με το

αντικείμενο, (β) εκείνους που συνδέονται με την κίνηση του αντικειμένου μέσω του αέρα, και (γ) εκείνους που συνδέονται με τον ίδιο τον αέρα:

α. *Αντικείμενο*: Στην κορυφή, η γεωμετρία των φτερών των αεροσκαφών έχει μια μεγάλη επίδραση στο ποσό άνωση που παράγεται. Η μορφή και το μέγεθος και οι δύο αεροτομών φτερών έχουν επιπτώσεις στο ποσό άνωσης,

β. *Κίνηση*: Για να παραχθεί η άνωση, πρέπει το αντικείμενο να κινηθεί μέσα στον αέρα. Ο άνωση εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα και πώς το αντικείμενο είναι κλιμένο στη ροή.

γ. *Αέρας*: Ο άνωση εξαρτάται από τη μάζα της ροής. Η άνωση εξαρτάται επίσης σε έναν σύνθετο τρόπο από δύο άλλες τιμές του αέρα: το ιξώδες του και τη συμπίεσή του.

• ΤΟ ΣΧΗΜΑ

Το ποσό της άνωσης που παράγεται εξαρτάται από το ποσό της ροής που στρέφεται, η οποία εξαρτάται από τη μορφή του αντικειμένου. Η άνωση είναι, γενικά, μια πολύ σύνθετη λειτουργία της μορφής.

Οι αεροναυπηγοί διαμορφώνουν μαθηματικά την επίδραση από έναν συντελεστή άνωσης που καθορίζεται κανονικά μέσω της δοκιμής στις αεροδυναμικές σήραγγες.

Για ορισμένα απλουστευμένα παραδείγματα, εντούτοις, μπορούν να αναπτυχθούν οι μαθηματικές εξισώσεις για αυτήν την εξάρτηση. Ακόμη και το απλούστερο παράδειγμα της εξάρτησης μορφής (δισδιάστατη αεροτομή Kutta - Joukowski). Ένα απλό αποτέλεσμα της ανάλυσης παρουσιάζει ότι όσο μεγαλύτερη η ροή που γυρίζει, τόσο μεγαλύτερη η άνωση.

• ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ

Το ποσό της άνωσης που παράγεται από ένα αντικείμενο εξαρτάται από το μέγεθος του αντικειμένου.

Η άνωση είναι μια αεροδυναμική δύναμη και επομένως εξαρτάται από την παραλλαγή πίεσης του αέρα γύρω από το σώμα καθώς κινείται αυτό μέσω του αέρα. Η συνολική αεροδυναμική δύναμη είναι ίση με πίεση επί το εμβαδόν επιφάνειας γύρω από το σώμα, η άνωση είναι το συστατικό αυτής της καθέτου δύναμης στην κατεύθυνση πτήσης. Δεδομένου ότι η περισσότερη από την άνωση παράγεται από τα φτερά, και η άνωση είναι η κάθετος δύναμη στην κατεύθυνση πτήσης, εξάγεται ότι η άνωση είναι άμεσα ανάλογη προς την μορφή σχεδίασης φτερών.

Η αύξηση της περιοχής φτερών θα αυξήσει την άνωση. Ο διπλασιασμός της περιοχής θα διπλασιάσει τον άνωση. Η απογείωση και η προσγείωση είναι στιγμές όπου το αεροσκάφος κινείται με σχετικά χαμηλή ταχύτητα, έτσι για να κρατήσουν την άνωση υψηλά (για να αποφύγει το έδαφος) οι σχεδιαστές προσπαθούν να αυξήσουν την περιοχή φτερών. Αυτό γίνεται με το να γλιστρήσουν τα flaps προς

τα πίσω κατά μήκος των μεταλλικών διαδρόμων και να μετατοπιστούν τα slats προς τα εμπρός να αυξηθεί η περιοχή των φτερών.

• Η ΚΛΙΣΗ

Κατά την κίνηση των φτερών μέσα στον αέρα, οι αεροτομές είναι κλιμένες στην κατεύθυνση πτήσης σε μια γωνία. Η γωνία μεταξύ της γραμμής χορδών και της κατεύθυνσης πτήσης καλείται γωνία προσβολής.

Η γωνία προσβολής έχει μια μεγάλη επίδραση στην άνωση που παράγεται από ένα φτερό. Όταν ένα αεροπλάνο απογειώνεται, ο πιλότος εφαρμόζει όσο το δυνατόν περισσότερη ώθηση για να κάνει το αεροπλάνο να κυλήσει κατά μήκος του διαδρόμου. Αλλά ακριβώς πριν ανασηκωθεί, ο πιλότος "περιστρέφει" το αεροσκάφος. Η μύτη του αεροπλάνου σηκώνεται, αυξάνοντας τη γωνία προσβολής και παράγοντας την αυξανόμενη άνωση που απαιτείται για την απογείωση. Το μέγεθος της άνωσης που παράγεται από ένα αντικείμενο εξαρτάται από τη μορφή του αντικειμένου και πώς κινείται αυτό μέσα στον αέρα. Για τις αεροτομές η άνωση ποικίλλει σχεδόν γραμμικά για τις μικρές γωνίες προσβολής (μέσα σε +1 - 10 μοίρες). Για τις υψηλότερες κλίσεις, εντούτοις, η εξάρτηση είναι αρκετά σύνθετη. Καθώς ένα αντικείμενο κινείται μέσα στον αέρα, κολλούν μόρια αέρα στην επιφάνεια του. Αυτό δημιουργεί ένα στρώμα του αέρα κοντά στην επιφάνεια (αποκαλούμενη στρώμα ορίου) που στην πραγματικότητα, αλλάζει τη μορφή του αντικειμένου. Η στροφή της ροής αντιδρά στο στρώμα ορίου, ακριβώς όπως στη φυσική επιφάνεια του αντικειμένου. Για να κάνει τα πράγματα πιο πολύπλοκα, το στρώμα ορίου μπορεί να ανασηκώσει ή "να αποχωριστεί" από το σώμα και να δημιουργήσει μια αποτελεσματική μορφή πολύ διαφορετική από τη φυσική μορφή. Ο χωρισμός του στρώματος ορίου εξηγεί γιατί τα φτερά αεροσκαφών θα χάσουν απότομα την άνωση στην υψηλή κλίση στη ροή. Αυτός ο όρος καλείται κράτημα (stall).

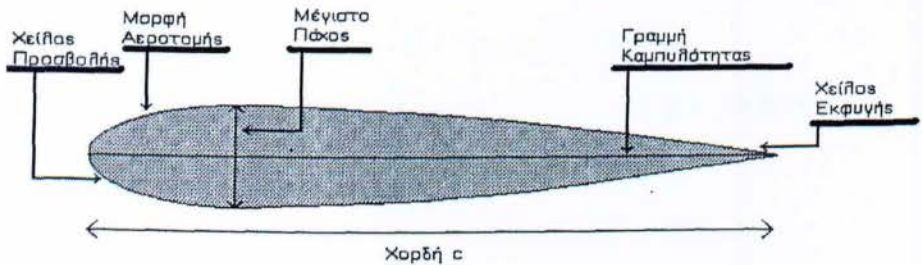
Δεδομένου ότι το ποσό άνωση που παράγεται σε μηδέν γωνία και η θέση του σημείου κράτησης πρέπει συνήθως να καθοριστούν πειραματικά, οι αεροναυπηγοί περιλαμβάνουν τα αποτελέσματα της κλίσης στο συντελεστή άνωσης.

Για μερικά απλά παραδείγματα, ο συντελεστής άνωσης μπορεί να καθοριστούν από μαθηματική άποψη για τις μικρές γωνίες. Για τις λεπτές αεροτομές με την υποηχητική ταχύτητα, ο συντελεστής άνωσης είναι 2π επί γωνία, όπου το π είναι 3.1415926...και η γωνία δίνεται σε ακτίνια. Αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις, οι αεροναυπηγοί στηρίζονται στη δοκιμή σε αεροδυναμικές σήραγγες και την πολύ περίπλοκη ανάλυση υπολογιστών για να καθορίσουν το συντελεστή άνωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΕΡΟΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

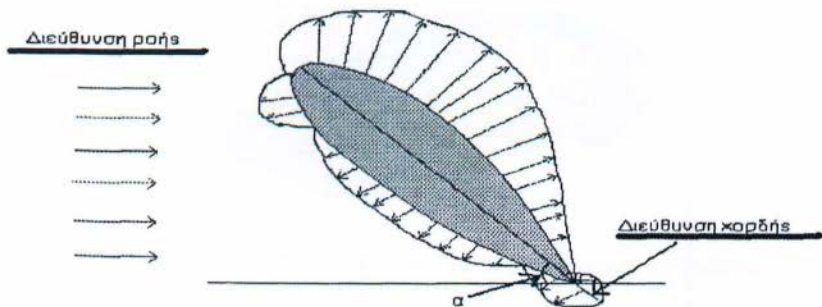
3.1. Εισαγωγή

Οι πτέρυγες ανήκουν στα λεπτά, κατά την αεροδυναμική έννοια, σώματα. Σε αντίθεση με τα ογκώδη σώματα η ροή παραμένει προσκολλημένη σχεδόν σε όλη την επιφάνια της πτέρυγας και έτσι ο ολκός που σχηματίζεται πίσω απ' αυτήν είναι πάρα πολύ περιορισμένος. Μια χαρακτηριστική μορφή αεροτομής πτέρυγας και τα κύρια γεωμετρικά στοιχεία αυτής φαίνονται παραστατικά παρακάτω.



Εικόνα 4: Χαρακτηριστική μορφή αεροτομής πτέρυγας

Η κατανομή στατικής πίεσης στην επιφάνεια μιας πτέρυγας και κατά συνέπεια, το μέτρο της άντωσης, επηρεάζεται από δύο παραμέτρους: την γεωμετρική μορφή της πτέρυγας και την γωνία προσβολής α . Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται διανυσματικά μια χαρακτηριστική κατανομή πίεσης στην επιφάνεια πτέρυγας.



Εικόνα 5: Κατανομή στατικής πίεσης στην πτέρυγα

Από την μέτρηση της στατικής πίεσης στην επιφάνεια της πτέρυγας κατά την διεύθυνση της χορδής, μπορούν να προκύψουν τα εξής χαρακτηριστικά αεροδυναμικά μεγέθη:

- α) η κατανομή της πίεσης περιμετρικά της αεροτομής της πτέρυγας σε κάθε τιμή της γωνίας προσβολής,
- β) το μέτρο της άντωσης που παράγει η πτέρυγα σε κάθε τιμή της γωνίας προσβολής και
- γ) η μεταβολή της άντωσης με την γωνία προσβολής.

Κατά τα συνήθη, ορίζεται ένας συντελεστής στατικής πίεσης

$$C_p(x) = \frac{\Delta P(x)}{\frac{1}{2} \rho U^2}$$

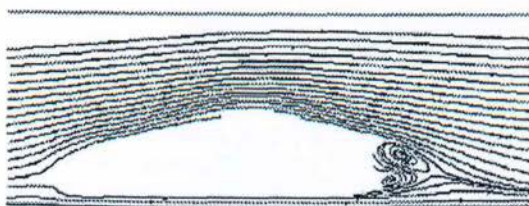
όπου $\Delta P(x)$ είναι η διαφορά της στατικής πίεσης σε κάθε οπή της πτέρυγας από την στατική πίεση της αδιατάραχης ροής.

3.2. Δυναμική οχημάτων

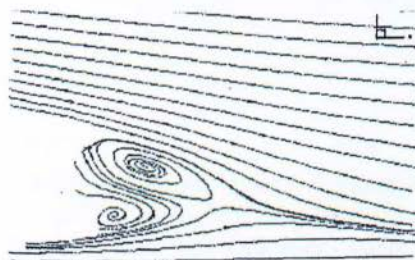
Τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά είναι κρίσιμα στο σχεδιασμό και την ευστάθεια των οχημάτων. Η μορφή της ροής, η κατανομή της πίεσης και η αεροδυναμική αντίσταση είναι ζωτικής σημασίας για τις επιδόσεις των αυτοκινήτων. Τα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζουν τη μοντελοποίηση της ροής γύρω από ένα πρωτότυπο σπορ αυτοκίνητο, του οποίου ο αεροδυναμικός συντελεστής αντίστασης (C_d) μετρήθηκε πειραματικά με τιμή 0.235.



Εικόνα 5: Τριδιάστατη όψη του πρωτότυπου οχήματος



Εικόνα 6: Γραμμές ροής στο επίπεδο συμμετρίας



Εικόνα 7: Περιοχή όμορου (λεπτομέρεια)

3.3. Αεροτομές

Αποτελούν ζωτικά μέρη των οχημάτων, καθότι σε αυτές οφείλονται ουσιαστικά το κράτημα και οι τεράστιες πλευρικές επιταχύνσεις.

Πριν αναφερθούν οι ρυθμίσεις των αεροτομών, ας γίνει μια γρήγορη αναδρομή στο τι ακριβώς κάνουν. Με λίγα λόγια, κάνουν ό,τι και τα φτερά ενός αεροπλάνου αλλά αντίστροφα. Ενώ δηλαδή ο ρόλος των φτερών είναι να ανυψώνουν το αεροπλάνο, ο ρόλος των αεροτομών είναι να "σπρώχνουν" το κάθε όχημα προς τα κάτω, κολλώντας το στην άσφαλτο. Σχεδιάζονται λοιπόν ακολουθώντας τις

ίδιες αρχές της αεροναυπηγικής, αλλά στα οχήματα τοποθετούνται με αντεστραμμένη φορά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα από ένα μονοθέσιο της Formula 1 όπου μπορεί να κινηθεί ανάποδα σε ένα ταβάνι με 240 χλμ/ώρα, ενώ στα 320 χλμ/ώρα η παραγόμενη αεροδυναμική πίεση φτάνει τους τρεις τόνους! Σε ακινησία το μονοθέσιο, μαζί με τον οδηγό, ζυγίζει 600 κιλά (σημείωση: οι παραπάνω τιμές είναι ενδεικτικές και εξαρτώνται από τις εκάστοτε ρυθμίσεις και καιρικές συνθήκες).

Είναι ευνόητο λοιπόν ότι η αεροδυναμική πίεση (που επιστημονικά ονομάζεται «άντωση» για τα αεροσκάφη και «αρνητική άντωση» για τα αυτοκίνητα) αυξάνεται με την ταχύτητα του μονοθέσιου, επειδή αυξάνεται η ποσότητα του αέρα που ρέει επάνω του. Αυξάνεται δηλαδή η δύναμη που σπρώχνει το μονοθέσιο στο δρόμο και το κάνει να "γαντζώνει" στις στροφές. Άρα, όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση των πτερύγων, τόσο μεγαλύτερη είναι η αεροδυναμική πίεση που παράγεται.

Αφού είναι έτσι λοιπόν, γιατί δε ρυθμίζονται οι αεροτομές με την μέγιστη δυνατή κλίση στις πτέρυγες τους, έτσι ώστε να παράγουν τη μέγιστη δυνατή αεροδυναμική πίεση συνεχώς και σε όλες τις πίστες; Αυτό γίνεται επειδή όσο μεγαλώνει η κλίση των πτερύγων, τόσο μεγαλώνει η επιφάνεια επαφής τους με τον αέρα και άρα τόσο μεγαλώνει και ο συντελεστής οπισθέλκουσας (aerodynamic drag): Το μέγεθος αυτό εκφράζει την αντίσταση του αέρα, η οποία όπως είναι λογικό μειώνει δραστικά τόσο τις επιταχύνσεις όσο και τη τελική ταχύτητα του μονοθέσιου. Και αυτή είναι η πρώτη «σπαζοκεφαλιά» που αντιμετωπίζουν μηχανικοί και οδηγοί όταν καλούνται να στήσουν το μονοθέσιο.

3.3.1. Οπίσθια αεροτομή

Δε θα ήταν καθόλου υπερβολικό να υποστηριχθεί πως η οπίσθια αεροτομή είναι το πλέον καθοριστικό εξάρτημα στο στήσιμο του μονοθέσιου. Με βάση τις δικές της ρυθμίσεις στήνεται και το υπόλοιπο αυτοκίνητο. Μεγαλώνοντας λοιπόν τις κλίσεις των πτερύγων τότε, το ζητούμενο είναι ο χρόνος που θα κερδίζεται στις στροφές (λόγω καλύτερου κρατήματος) να είναι περισσότερο από αυτόν που θα χάνεται στις ευθείες (λόγω χαμηλότερης τελικής ταχύτητας). Όπως και αντίστροφα, αν ελαττωθεί η κλίση των πτερύγων, τότε θέλουμε ο χρόνος που θα κερδίζεται στις ευθείες (λόγω μεγαλύτερης τελικής) να είναι μεγαλύτερος από αυτόν που θα χάνεται στις στροφές (λόγω ελλιπούς κρατήματος). Το ποιον από τους δυο δρόμους θα επιλέξει να ακολουθήσει μια ομάδα εξαρτάται από δεκάδες παραμέτρους, όπως το στυλ οδήγησης του οδηγού, τη στρατηγική που θα ακολουθηθεί στον αγώνα, τις καιρικές συνθήκες, το είδος της πίστας και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του μονοθέσιου. Από εκεί και πέρα, η ιδανική ρύθμιση για κάθε πίστα προκύπτει από την τηλεμετρία των ανεπίσημων δοκιμών (οι οποίες δοκιμές περιλαμβάνουν εκατοντάδες

χιλιόμετρα), σε συνδυασμό με την επεξεργασία δεδομένων από προηγούμενες χρονιές.

Σημειώστε επίσης ότι οι ρυθμίσεις των χρονομετρημένων δοκιμαστικών συνήθως διαφέρουν από εκείνες του αγώνα, καθότι στην πρώτη περίπτωση ο κύριος στόχος είναι η ταχύτερη δυνατή περιφορά σε έναν (και μόνο) γύρο, ενώ στον αγώνα σημαντικότερο ρόλο παίζει η διάρκεια και η προφύλαξη από πρόωρη φθορά των ελαστικών ή από άσκοπη κατανάλωση καυσίμου.

3.3.2. Πρόσθια αεροτομή

Η πρόσθια (μπροστινή) αεροτομή θα λειτουργούσε ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που λειτουργεί και η οπίσθια αν βρισκόταν ψηλότερα από το ρύγχος του μονοθέσιου. Εκεί που βρίσκεται όμως παράγει ελάχιστη οπισθέλκουσα (αντίσταση του αέρα). Το μέγεθος της οπισθέλκουσας αυξάνεται ανάλογα με το εμβαδόν της επιφάνειας που έρχεται αντιμέτωπη με τον αέρα. Επειδή λοιπόν πίσω της απλώνεται όλο το μεσαίο μέρος του μονοθέσιου, ακόμα κι αν δεν υπήρχε η πρόσθια αεροτομή το εμβαδόν επαφής θα παρέμενε ίδιο. Με άλλα λόγια, είτε υπάρχει μπροστινή αεροτομή είτε όχι η συνολική οπισθέλκουσα παραμένει ουσιαστικά αναλλοίωτη (άρα και η τελική ταχύτητα του μονοθέσιου).

Έτσι, η ρύθμιση της πρόσθιας αεροτομής "περιορίζεται" στην επίτευξη της επιθυμητής οδηγητικής συμπεριφοράς του μονοθέσιου, το γνωστό ζύγισμα. Σε αυτόν τον τομέα όμως αποτελεί ένα από τα καθοριστικότερα βοηθήματα. Μεγαλύτερη κλίση στις πτέρυγες της μπροστινής αεροτομής σημαίνει λιγότερη υποστροφή, αφού το ρύγχος και οι μπροστινοί τροχοί πατάνε καλύτερα λόγω της μεγαλύτερης αεροδυναμικήςπίεσης που δέχονται.

Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα ότι το κράτημα, η επιτάχυνση και η τελική ταχύτητα του μονοθέσιου επηρεάζονται δραστικά από τις ρυθμίσεις της οπίσθιας αεροτομής, ενώ η πρόσθια χρησιμεύει μόνο στο ζύγισμα της οδικής συμπεριφοράς του.

Κλείνοντας, αξίζει να αναφερθεί ένα σχόλιο του αεροδυναμιστή της McLaren, AdrianNewey:

«Όσοι έχουν σπουδάσει αεροδυναμική, σίγουρα γνωρίζουν το αποκαλούμενο φαινόμενο του μπάμπουρα. Δηλαδή γνωρίζουν ότι, σύμφωνα με τους νόμους της αεροδυναμικής, είναι επιστημονικά ανεξήγητο το πώς ακριβώς καταφέρνει και πετάει ο μπάμπουρας. Κάπως έτσι δουλεύουμε οι αεροδυναμιστές: εφαρμόζουμε πετυχημένες ιδέες οι οποίες όμως είναι ανεξήγητες στη θεωρία»

Οι σημαντικότερες, ίσως, αλλαγές που γίνονται κατά τη διάρκεια του στησίματος αφορούν το αεροδυναμικό προφίλ του μονοθέσιου. Αν υπάρχει ένας λόγος που τα σύγχρονα μονοθέσια είναι πολύ ταχύτερα από τα παλιότερα, δεν είναι άλλος από το γεγονός ότι στο μεσοδιάστημα έχει γίνει εκπληκτική πρόοδος στην αεροδυναμική. Τα σύγχρονα μονοθέσια παράγουν τόσο μεγάλη αεροδυναμική πίεση (downforce) που στη θεωρία τουλάχιστον μπορούν άνετα να οδηγηθούν ανάποδα σε ένα ταβάνι!

Τις πρώτες μέρες του μηχανοκίνητου αθλητισμού οι μηχανικοί έψαχναν τη ταχύτητα στην υποδύναμη, βασιζόμενοι στην αποδεδειγμένη θεωρία πως όσο μεγαλύτερη είναι η υποδύναμη τόσο μεγαλύτερη είναι και η ταχύτητα του μονοθέσιου. Καθώς όμως η χωρητικότητα των κινητήρων ολοένα και περιοριζόταν από τις διοργανώτριες αρχές το πρόβλημα των μηχανικών γινόταν ολοένα και μεγαλύτερο. Έως ότου αναγκάστηκαν τελικά να στραφούν σε άλλες λύσεις, επιχειρώντας ενίοτε να αιφνιδιάσουν και τον ανταγωνισμό. Και η κύρια εναλλακτική λύση δεν ήταν άλλη από την αεροδυναμική, αφού μειώνοντας την αεροδυναμική αντίσταση ενός οποιοδήποτε αντικειμένου η ταχύτητα του αυξάνεται. Η σχεδίαση των σύγχρονων μονοθέσιων είναι τέτοια που τους επιτρέπει να "σχίζουν τον αέρα", με ιδιαίτερα ευεργετικά αποτελέσματα.

Προφανώς η πλειονότητα του αέρα έρχεται σε επαφή με την εξωτερική επιφάνεια του αμαξώματος, αναπτύσσοντας αεροδυναμικά φορτία κάθετα προς αυτό. Με βασικούς "συμμάχους" τις αεροτομές στο εμπρός και πίσω μέρος του αμαξώματος ο αέρας πιέζει το μονοθέσιο προς τα κάτω (η κάθετη συνιστώσα των αεροδυναμικών φορτίων ονομάζεται downforce ή απλά αεροδυναμική πίεση - επιστημονικά ονομάζεται αρνητική άντωση).

Η μπροστινή αεροτομή είναι σχεδιασμένη να κατευθύνει ποσότητες αέρα προς τα πλαϊνά καπάκια [sidepods], τα οποία φιλοξενούν τα ψυγεία και το γενικότερο σύστημα ψύξης του μονοθέσιου. Κατόπιν ο αέρας κατευθύνεται προς τα επάνω (και προς τα πίσω) φτάνοντας στην πίσω αεροτομή, εξασφαλίζοντας ακόμα μεγαλύτερη αεροδυναμική πίεση στο μονοθέσιο.

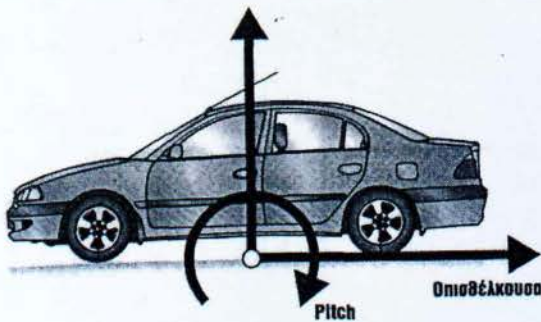
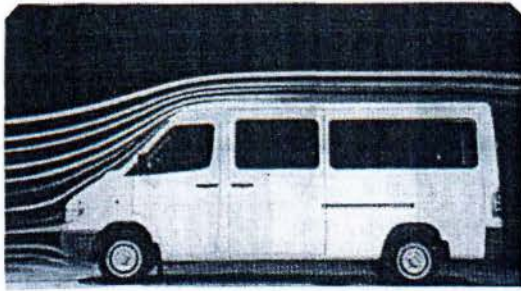
Η πίσω αεροτομή είναι εξίσου σημαντική, ιδιαίτερα σε ότι αφορά την οδηγητική συμπεριφορά του μονοθέσιου. Το είδος της επίδρασης πάνω στο μονοθέσιο καθορίζεται από τη κλίση που έχουν οι πτέρυγες της αεροτομής.

Αν οι πτέρυγες ρυθμιστούν σε μικρές ή μηδενικές γωνίες, τότε η αεροδυναμική πίεση που ασκείται στη καλή και στην ανάποδη επιφάνεια της κάθε πτέρυγας είναι σχεδόν ίδια. Αυτό σημαίνει πως στις ευθείες το μονοθέσιο θα έχει μεγαλύτερη τελική ταχύτητα.

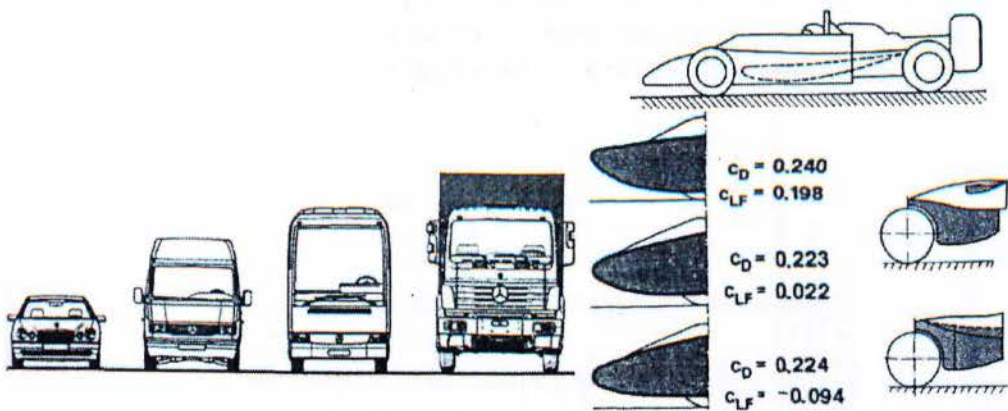
Αν οι πτέρυγες έχουν μεγάλη κλίση τότε σύμφωνα με την αρχή Bernoulli - η κάθε πτέρυγα παρήγαγε, μεγαλύτερη αεροδυναμική πίεση, διότι ο αέρας ρέει στο κάτω μέρος της ταχύτερα από ότι στο πάνω. Μεγαλύτερη αεροδυναμική πίεση σημαίνει πως το μονοθέσιο θα είναι πιο σταθερό στις στροφές, αλλά θα χάνει σε τελική ταχύτητα. Η τεχνική αυτή διαφέρει από εκείνη που χρησιμοποιούν στα αεροσκάφη μόνο στο ότι οι πτέρυγες είναι αντεστραμμένες (στα αεροπλάνα χρειάζεται άντωση να τα σπρώχνει προς τα επάνω και όχι αρνητική άντωση να τα πιέζει προς τα κάτω).

ΚΕΦΑΛΑΙΑΟ 4 – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΟΧΗΜΑΤΑ – ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Η αεροδυναμική είναι μια επιστήμη που εξετάζει τη ροή γύρω από το αυτοκίνητο. Αντικείμενο της έρευνας αυτής είναι ο προσδιορισμός και η μέτρηση των δυνάμεων και ροπών που ασκούνται πάνω στο αυτοκίνητο και καθορίζουν τη σταθερότητα, τη δυνατότητα ελέγχου και τις επιδόσεις του. Οι κυριότερες από αυτές είναι η οπισθέλκουσα, η άντωση και οι ροπές που δημιουργούν. Η αεροδυναμική εξετάζει επίσης τη ροή μέσα στο αυτοκίνητο όπως και τη ροή στα διάφορα εξαρτήματα του όπως το ψυγείο, ο κινητήρας, οι τροχοί κ.α. Πιο συγκεκριμένα θα γίνει αναφορά στην ιστορία της αεροδυναμικής, τους συντελεστές αεροδυναμικής αντίστασης, τους παράγοντες που τους επηρεάζουν και την κατανάλωση καυσίμου. Η σχέση της αεροδυναμικής και της κατανάλωσης καυσίμου έχει μεγάλη εφαρμογή στις μεταφορές και πολύ περισσότερο στα μεγάλα φορτηγά και λεωφορεία. Τέλος δεν θα μπορούσε να παραλειφθεί ο σημαντικότερος τομέα εφαρμογής της αεροδυναμικής, τα αγωνιστικά αυτοκίνητα και ιδιαίτερα την F1.



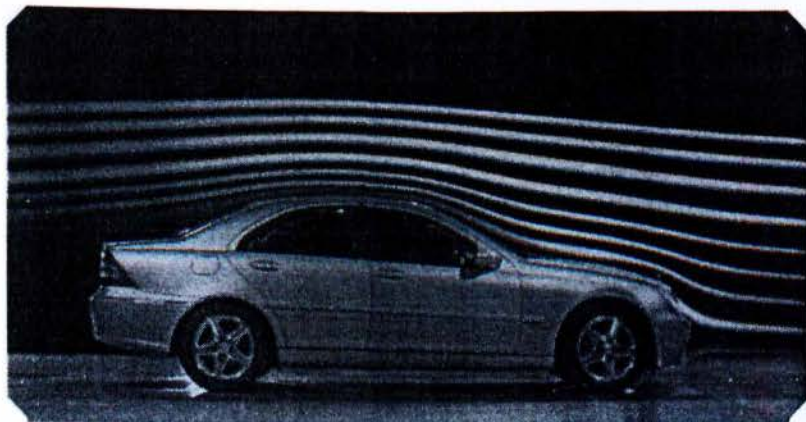
Εικόνα 8: Αεροδυναμικές ροπές και δυνάμεις



Εικόνα 9: Η Αεροδυναμική εφαρμόζεται σε κάθε τύπο οχήματος Δείγμα από την πολύπλευρη εφαρμογή της αεροδυναμικής στην F1

4.1. Βασικά θεωρητικά στοιχεία

Ένας βασικός παράγοντας που πρέπει να εξηγηθεί για την μελέτη της αεροδυναμικής είναι οι συντελεστές C_D και C_L . Όπως κάποιος παρατηρεί το ροϊκό πεδίο γύρω από ένα αυτοκίνητο για συμμετρική ροή, βλέπει καθαρά τη αεροδυναμική συμπεριφορά του. Στο πίσω μέρος φαίνεται καθαρά η αποκόλληση της ροής όπου και σχηματίζονται έντονοι στροβιλισμοί και παρατηρείται μικρή πίεση.

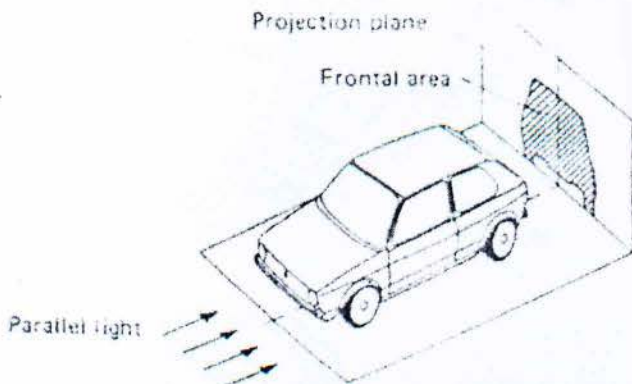


Εικόνα 10: Ροϊκές γραμμές αυτοκινήτου

Αυτή η χαμηλή πίεση σε συνδυασμό με τη μεγάλη πίεση που ασκείται στο μπροστινό μέρος του αυτοκινήτου δημιουργούν την αεροδυναμική αντίσταση. Είναι μια δύναμη με διεύθυνση ίδια με αυτή των ροϊκών γραμμών και φορά αντίθετα με την κίνηση του αυτοκινήτου (γι' αυτό λέγεται και αεροδυναμική αντίσταση). Η αντίσταση αυτή δίνεται από τη σχέση

$$W = \frac{1}{2} \rho C_D A V^2$$

Όπου C_D : αδιάστατος συντελεστής αεροδυναμικής αντίστασης
 ρ : πυκνότητα αέρα
 A : μετωπική επιφάνεια αυτοκινήτου
 V : ταχύτητα αυτοκινήτου



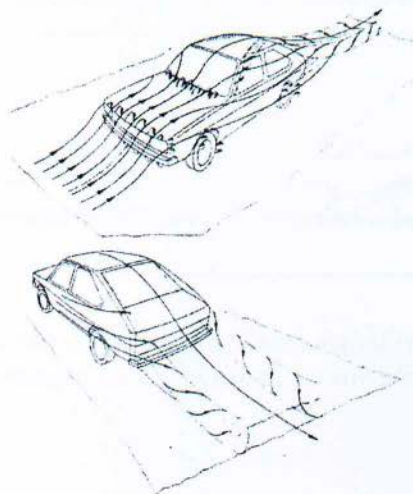
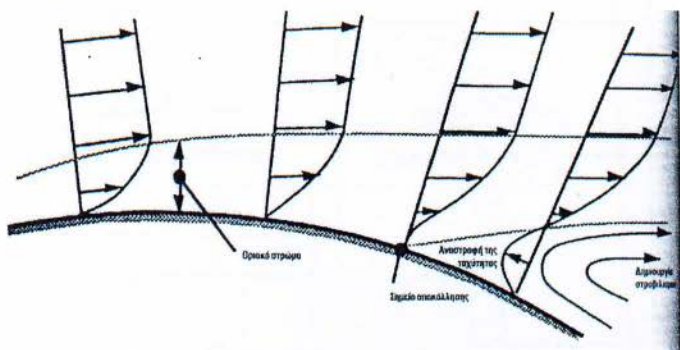
Εικόνα 11: Καθορισμός μετωπικής επιφάνειας

Η μείωση της αεροδυναμικής αντίστασης βασίζεται κυρίως στη βελτίωση του συντελεστή C_D . Οι άλλοι παράγοντες όπως η μετωπική επιφάνεια καθορίζονται από τις απαιτήσεις των χρηστών (εμπορικοί λόγοι).

Παρατηρώντας παρακάτω εικόνα, η απόσταση των ροϊκών γραμμών δίνει μια ένδειξη για τις δυνάμεις που δρουν στην κατακόρυφη διεύθυνση του οχήματος. Το πύκνωμα των ροϊκών γραμμών σημαίνει μεγάλη ταχύτητα και συνεπώς μικρή στατική πίεση. Η διαφορά πίεσης στην πάνω και στην κάτω επιφάνεια του οχήματος προκαλεί μια κατακόρυφη δύναμη, η οποία λέγεται άντωση lift. Αυτή η δύναμη τείνει να σηκώσει το όχημα προς τα πάνω με αποτέλεσμα τη μείωση του φορτίου των τροχών, με αποτέλεσμα , σε πλάγιο άνεμο ή καμπύλη

τροχιά, να αυξάνεται η γωνία ολίσθησης όσο μειώνεται το φορτίο των τροχών.

Για κατανόηση της αεροδυναμικής συμπεριφορά του αυτοκινήτου αρκεί να μελετηθεί ένα μικρό στρώμα αέρα πάνω από το αμάξωμα, το οριακό στρώμα. Το οριακό στρώμα έχει πάχος μερικών εκατοστών και η αποκόλλησή του, λόγω αύξησης της στατικής πίεσης, δημιουργεί στροβιλισμούς και κατά συνέπεια μεγάλη αντίσταση.

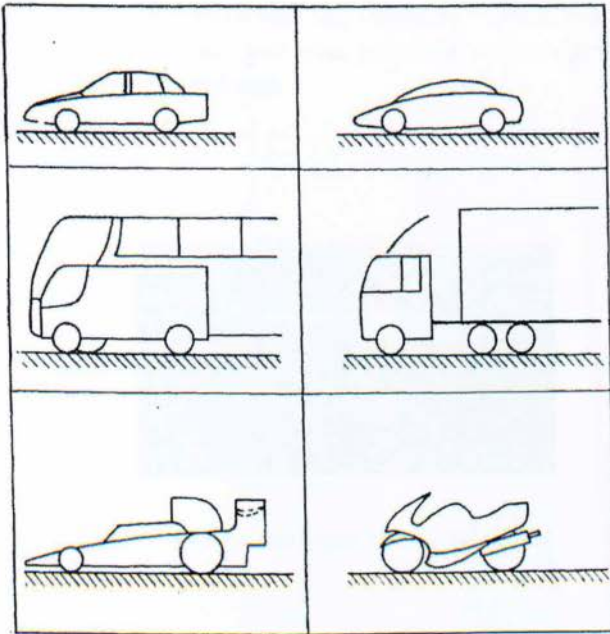


Εικόνα 12: Ροή του αέρα και στροβιλισμοί

Μια γενική μελέτη στη συμπεριφορά του αέρα γύρω από το αυτοκίνητο δείχνει τη δημιουργία στροβιλισμών στο πίσω μέρος όπου συναντάται συνήθως το σημείο αποκόλλησης του οριακού στρώματος. Χαρακτηριστικά φαίνονται και οι στροβιλισμοί που δημιουργούνται από την αποκόλληση.

Όσο η ταχύτητα του οχήματος είναι μικρή, η αεροδυναμική άντωση και αντίσταση είναι μικρές. Οι καταστάσεις όμως αλλάζουν στις μεγάλες ταχύτητες ($>100\text{km/h}$).

Εκεί η άντωση αυξάνεται πολύ και η ανάγκη για αύξηση της σταθερότητας του οχήματος είναι επιτακτική. Έτσι, ενώ αρχικά τα αεροδυναμικά βοηθήματα εφαρμόζονταν μόνο σε αγωνιστικά αυτοκίνητα, τώρα ολοένα και περισσότερο αεροδυναμικές βελτιώσεις γίνονται και στα οχήματα παραγωγής όλων των τύπων.



Εικόνα 13: Ο ένας και αυτός στόχος. Καλή αεροδυναμική, που έχει σαν αποτέλεσμα διάφορες λύσεις ανάλογα με τον τύπο του οχήματος

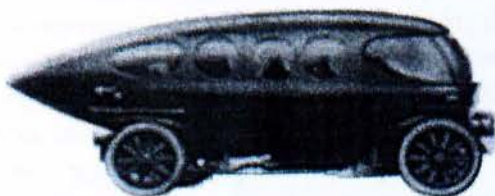
4.2. Ιστορική εξέλιξη της αεροδυναμικής των αυτοκινήτων

Στην πρώτη περίοδο της εξέλιξης της αεροδυναμικής, αρχές 20ου αιώνα χρησιμοποιήθηκαν μορφές σχημάτων που είχαν εφαρμοστεί στη ναυπηγική και είχαν τη μορφή τορπίλης ή βάρκας, ή ανεμοπλάνου. Οι πρώτες προσπάθειες να σχεδιαστούν οχήματα σύμφωνα με τις αρχές της αεροδυναμικής, περιορίστηκαν σε απλή αντιγραφή των σχημάτων που ήταν αποδοτικά στις ναυτικές εφαρμογές και στα αεροπλοΐα. Πάρθηκαν αυτά τα σχήματα και χωρίς σχεδόν καμία αλλαγή τους

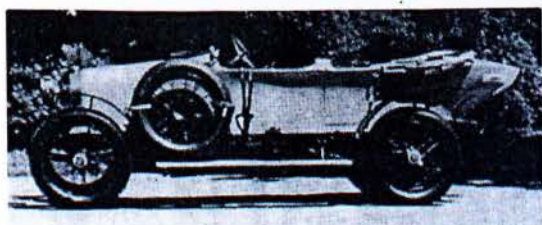
τοποθέτησαν ρόδες. Παρόλο που οι σχεδιαστές πέτυχαν πολύ χαμηλότερη οπισθέλκουσα από τα άλλα σύγχρονα αυτοκίνητα, που έμοιαζαν με άμαξες, αγνοούσαν το γεγονός ότι κοντά στο έδαφος η ροή χάνει τη συμμετρία της. Ακόμα οι εξωτερικοί τροχοί και το εκτεθειμένο αμάξωμα διατάρασσαν τη ροή και αύξαναν την οπισθέλκουσα. Το πρώτο αυτοκίνητο που σχεδιάστηκε σύμφωνα με τις αρχές της αεροδυναμικής ήταν αυτό του Camille Jenatton το 1899, Έπειτα αυτό σε σχήμα ανεμοπλάνου από τον κόμη Ricotti και την Alfa Romeo το 1913 και τέλος την ίδια χρονιά, σε αντίθεση με τα δύο προηγούμενα, το Alpensieger της Audi. Ενώ οι διαισθητικές προσεγγίσεις επικρατούσαν κατά τη διάρκεια της αρχικής φάσης μελέτης της αεροδυναμικής των οχημάτων, μια πιο μεθοδική ανάπτυξη άρχισε μετά από τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο.



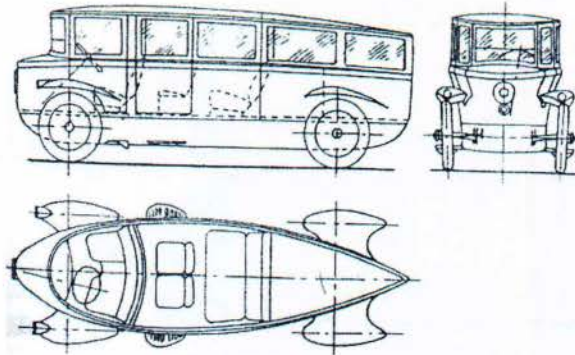
Εικόνα 14: Αυτοκίνητο τύπου τορπίλης



Εικόνα 15: Αυτοκίνητο τύπου ανεμοπλάνου



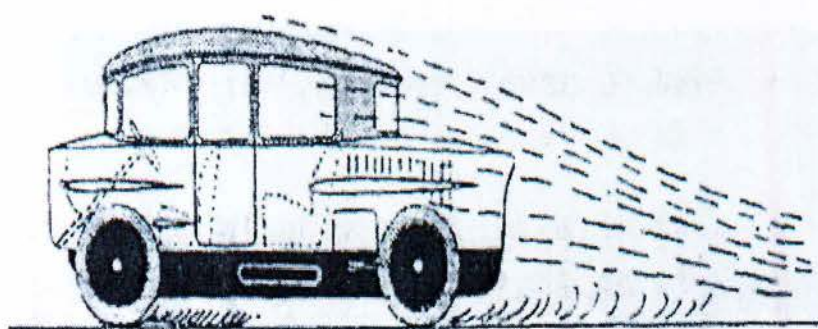
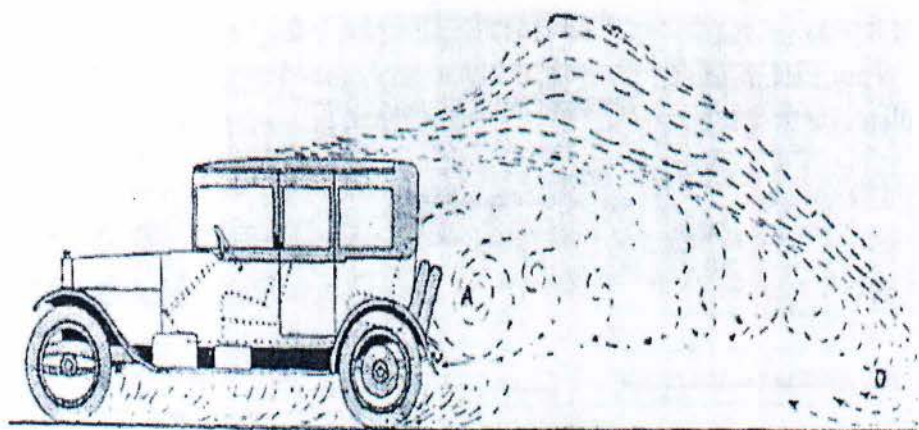
Εικόνα 16: Αυτοκίνητο τύπου βάρκας



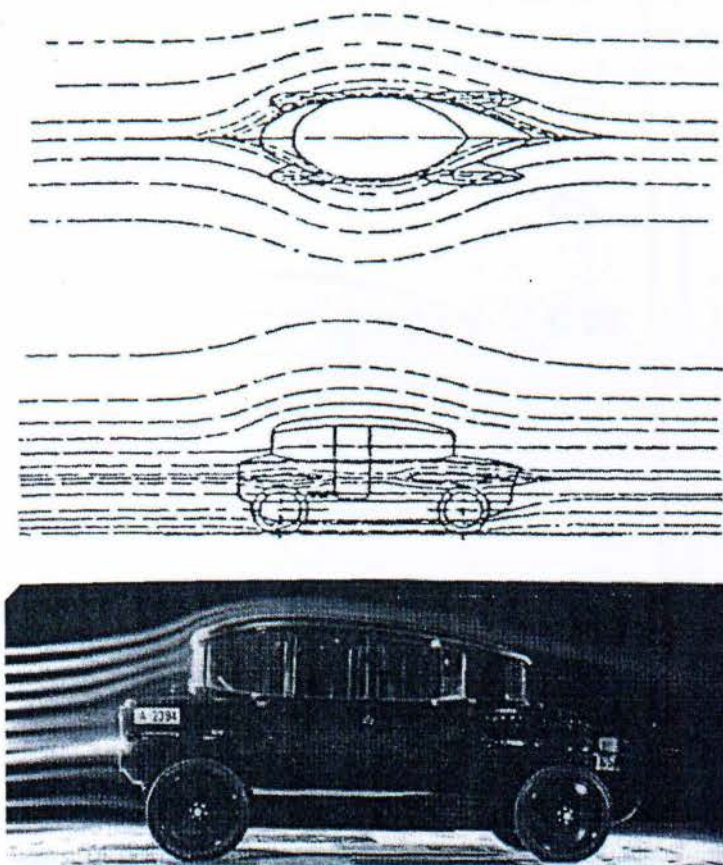
Εικόνα 17: Λιμουζίνα "σταγόνα" του Rumpler

Ξεκινώντας το 1919 ο E. Rumpler, σχεδίασε πολλά αυτοκίνητα τα οποία ονόμασε "teardrop cars", (αυτοκίνητο δάκρυ). Εκείνη την περίοδο το σχήμα της σταγόνας που πέφτει θεωρούνταν αεροδυναμικό τέλειο σχήμα. Μια τυπική λιμουζίνα τύπου Rumpler φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Στην κάτοψη του αυτό το αυτοκίνητο έχει το σχήμα πτέρυγας αεροπλάνου. Για να εκμεταλλευτεί τον κατά τα άλλα στενό χώρο στη λεπτή ουρά της πτέρυγας, ο Rumpler τοποθέτησε τη μηχανή στο πίσω μέρος. Με μοντέλο κλίμακας 1:7.5, ο Rumpler έκανε μετρήσεις σε αεροδυναμική σήραγγα που έδειξαν ότι το αυτοκίνητο του είχε το 1/3 της οπισθέλκουσας των σύγχρονων ανταγωνιστών του.

Πέραν της χαμηλής αεροδυναμικής του αντίστασης το αυτοκίνητο Rumpler σήκωνε πολύ λιγότερη σκόνη από τα άλλα αυτοκίνητα. Μέτρηση σε κανονικών διαστάσεων αυτοκίνητο Rumpler έγιναν το 1979 στην αεροσήραγγα της Volkswagen και έδωσαν τις παρακάτω τιμές: $C_D = 0.28$ $A = 2.57m^2$. Μόνο μετά από δεκαετίες επιτεύχθηκε ξανά τόσο χαμηλός συντελεστής αντίστασης από αυτοκίνητο παραγωγής, το Opel Omega, στα μέσα του 1986.



Εικόνα 18: Ροή σκόνης γύρω από ένα συμβατικό αυτοκίνητο και ένα αυτοκίνητο Rumpler



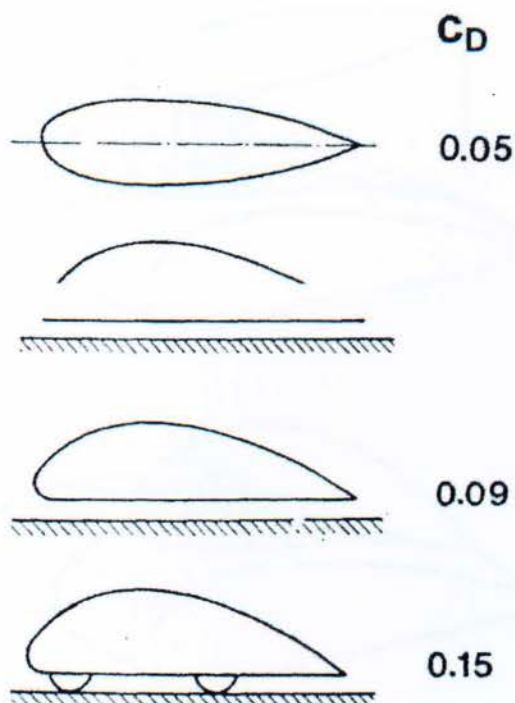
Εικόνα 19: Ροϊκές γραμμές γύρω από το αυτοκίνητο του Rumpler, σχεδιασμένο από τον ίδιο

Οι κριτικοί του Rumpler σχολίασαν ότι αυτή του η σκέψη περιοριζόταν μόνο σε δισδιάστατη ροή και ότι και αργότερα η δοκιμή στην αεροσήραγγα απέρριψαν αυτούς τους ισχυρισμούς.

Η στρογγυλή οροφή και το λείο σασί ταίριαζαν πολύ καλά στην τρισδιάστατη ροή. Την ίδια περίπου εποχή με τον Rumpler, ο P. Jaray ξεκίνησε μια ανάπτυξη η οποία στόχευε στο «ροϊκό αυτοκίνητο», ένας όρος που επινόησε ο ίδιος. Η μέθοδος για το πώς αναλύεται η ροή γύρω από αμαξώματα με απότομες κλίσεις, αποδείχτηκε αργότερα ως σημείο αναφοράς στη μοντέρνα αεροδυναμική των οχημάτων.

Μαζί με τον W. Klemperer, ο Jaray διεξήγαγε μετρήσεις στην αεροσήραγγα του κόμη Zeppelin στο Friedrichshafen της Γερμανίας, οι οποίες φαίνονται συνοπτικά στην παρακάτω εικόνα.

Στην οριακή περίπτωση της μηδενικής απόστασης από το έδαφος η εκ περιστροφής συμμετρική μπορεί να ανακτηθεί όταν το σώμα από περιστροφή αντικατασταθεί από ένα «ημί - σώμα». Αυτό μαζί με το είδωλο του - δημιουργείται με την προβολή του ημι - σώματος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους - δημιουργεί ένα αποτελεσματικό σώμα από περιστροφή. Όταν το σώμα αυτό ανυψωνόταν στο απαραίτητο για ένα αυτοκίνητο ύψος, η οπισθέλκουσα αυξανόταν ξανά.

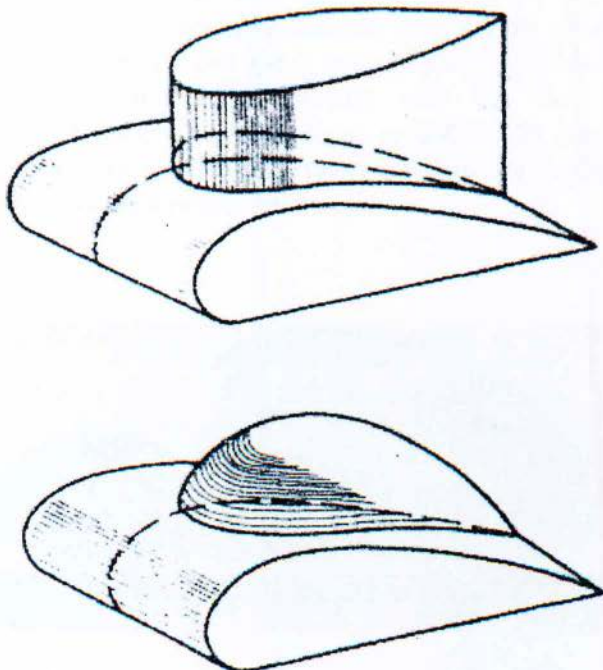


Εικόνα 20: Διάφορες περιπτώσεις συντελεστή C_D οχημάτων

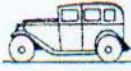


Αιτία ήταν η αποκόλληση της ροής στην κάτω απότομη μπροστινή πλευρά του σώματος. Στρογγυλεύοντας αυτό το σημείο αυτή η αύξηση αποφεύγονταν. Έτσι παίρνουμε έναν συντελεστή $C_D = 0.09$. Όταν προσθέτονταν οι τροχοί, χωρίς κοίλες φωλιές, ο C_D αυξανόταν στο 0,15.

Σε σύγκριση όμως με τα οχήματα της εποχής με μέσο όρο $C_D = 0.7$, αυτός ο αριθμός ήταν πολύ καλός. Αυτό το σχήμα χρησιμοποίησε λοιπόν ο Jaray ως σημείο αναφοράς για την ανάπτυξη των "πραγματικών" οχημάτων. Η ιδέα του ημι - σώματος δοκιμάστηκε από πολλούς σχεδιαστές και τελικά οδήγησε στο σχεδιασμό των κλειστών φορτηγών (Bav).

Για να πετύχουμε καλή αεροδυναμική πρέπει και το πίσω μέρος του σώματος να παρέχει ικανοποιητική ανάκτηση πίεσης. Επειδή όμως στα αυτοκίνητα, για πολλούς λόγους, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μακριά ουρά όπως στα αεροπλάνα, ο Jaray προσπάθησε να πετύχει ανάκτηση πίεσης με κοντύτερη ουρά διαιρώντας την σε δύο επίπεδα. Έτσι λοιπόν ανακάλυψε τη "συνδυαστική" μορφή, η οποία φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Πάνω σε μια οριζόντια πτέρυγα τοποθέτησε κάθετα μια μικρότερη πτέρυγα.



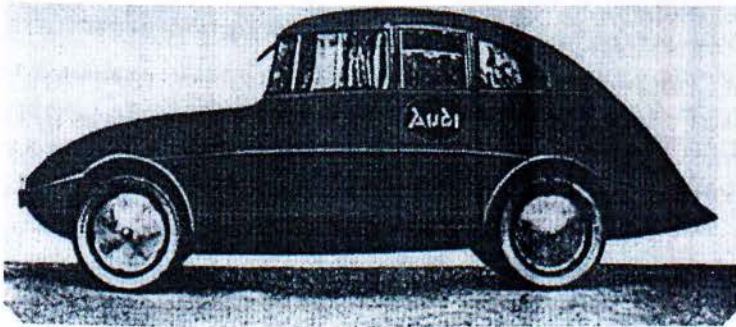
Εικόνα 21:Οι δύο παραλλαγές της συνδυαστικής μορφής του Jaray

	$A_{1,1} [m^2]$	c_D
	2.99	0.64
 large Jaray car	2.86	0.30
 small Jaray car	1.87	0.29

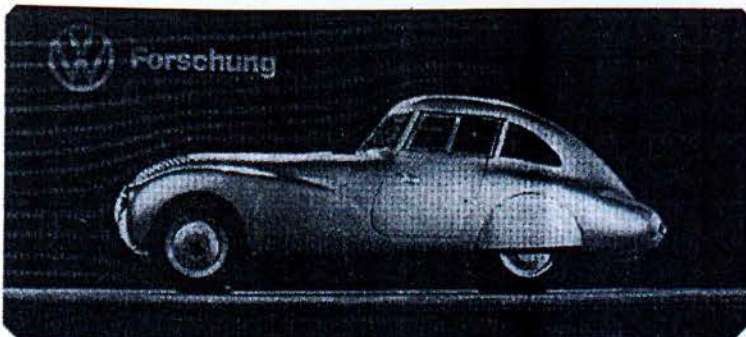
Εικόνα 22:Μετρήσεις οπισθέλκουσας από τον Klempereger το 1922 με μοντέλα 1:10 αεραγωγό ψύξης

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του Klemperegerεξήχθησαν από τα πρώτα αυτοκίνητα του Jarayείναι συγκεντρωμένα στην παραπάνω εικόνα. Σε σύγκριση με τα σύγχρονα αυτοκίνητα, με σχήμα κουτιού, η οπισθέλκουσα είναι η μισή. Από το 1922 μέχρι το 1923 οι Γερμανοί κατασκευαστές αυτοκινήτων Audi, Dixikai Leyδιαδοχικά παρουσίασαν πρωτότυπα που βασιζόνταν στη συνδυαστική μορφή. Στην Αμερική η Chrysler ακολούθησε το 1928.

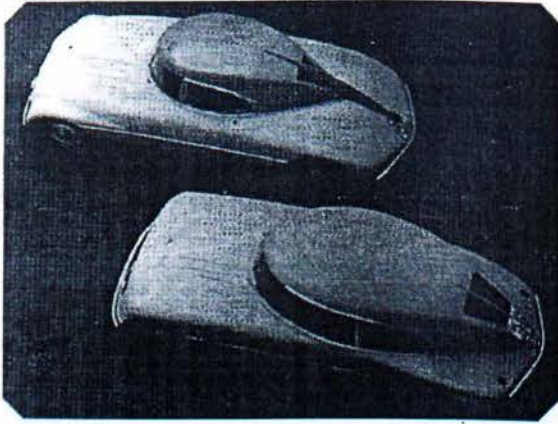
Στις αρχές του 1930, όταν άρχισε η κατασκευή της Γερμανικής Autobahn ο Jaray ξεκίνησε μια δεύτερη προσέγγιση αλλάζοντας την κατακόρυφη πτέρυγα με ένα ημι - σώμα. Αυτό το σχέδιο έδωσε στο αυτοκίνητο του μια σπορ εμφάνιση αλλά όχι και τόσο καλή αεροδυναμική. Αυτό έγινε αντιληπτό με το BMW 3.28 που παρόλη την ωραία εικόνα που είχε, η οπισθέλκουσα του ήταν υψηλή $C_D = 0.44$ ίσως λόγω του μεγάλου αεραγωγού του ψυγείου.



Εικόνα 23:Ένα από τα πρώτα αυτοκίνητα τύπου Jaray, το Audi K

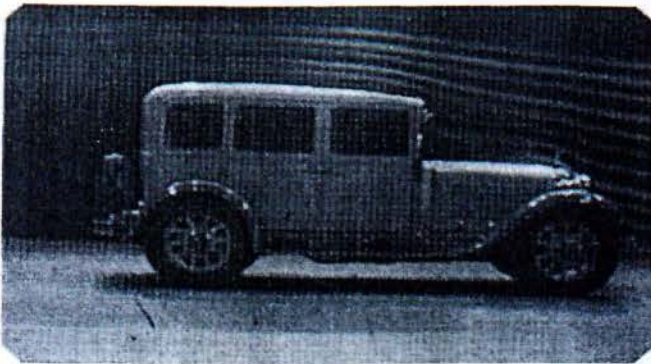


Εικόνα 24:ΜοντέλοBMW 3.28 1938 $C_D = 0.44$



Εικόνα 25: Δυο τυπικά αυτοκίνητα Jaray 1933-34. Επάνω: Audi 2L, Κάτω: Daimler - Benz Type 200

Το πόσο μπροστά από την εποχή του ήταν ο Jaray έγινε φανερό όταν κάποια πρωτότυπα σχεδιασμένα σύμφωνα με τις αρχές του συγκρίθηκαν με άλλα σύγχρονα αυτοκίνητα. Η παραπάνω εικόνα δείχνει τα πρωτότυπα της Audi και της Daimler - Benz και η ακόλουθη εικόνα, σε αντιπαράθεση, ένα μοντέλο παραγωγής της εποχής αυτής, το "Stuttgart" της Daimler - Benz.



Εικόνα 26: Daimler-Benz Type "Stuttgart" 1928 παρ - μπριζ

Τα σχήματα του Jaray ήταν επαναστατικά και προέβλεπαν αυτό που θα γινόταν τυπική πρακτική στην αεροδυναμική, μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο: λεία επιφάνεια αμαξώματος, ενσωματωμένοι προφυλακτήρες και προβολείς και καμπύλο. Κατάφερε να διαχωρίσει το σχήμα του αυτοκινήτου από αυτό της ιπήλατης άμαξας. Παρολαυτά δεν κατάφερε να ξεπεράσει το σημαντικότερο μειονέκτημα που είχαν όλα τα αυτοκίνητα χαμηλής οπισθέλκουσας που αναπτύχθηκαν εκείνη την εποχή: την πολύ μεγάλη ουρά του αυτοκινήτου.

Ξεκινώντας ήδη πριν από τον β' παγκόσμιο πόλεμο, κατασκευάστηκαν πολλά «ψευτο-Jaray» αυτοκίνητα που λεγόταν «fastbacks» όπως ο Σκαραβαίος της Volkswagen. Η κλίση στην ουρά αυτών των αυτοκινήτων ήταν απότομη και η ροή στο μέσω επίπεδο της παρέμενε προσκολλημένη σε μεγάλη απόσταση.



Εικόνα 27: Το πρώτο μοντέλο του Tatra 87 (1936)

Ένα άλλο αυτοκίνητο που ακολούθησε την ιδέα του Jaray σε μεγάλο βαθμό ήταν το Tatra 87 που σχεδιάστηκε από τον H. Ledwink και παραγόταν από το 1936 μέχρι το 1950. Ο G. Lange ερεύνησε τη ροή γύρω από το Tatra 87 και βρήκε $C_D = 0.244$. Αυτό το νούμερο αμφισβητήθηκε και από τον ίδιο τον ερευνητή και τελικά η πραγματική του τιμή μετρήθηκε το 1979 στην αεροσήραγγα της VW με ένα πραγματικό αυτοκίνητο και βρέθηκε: $C_D = 0.36$.

Μια άλλη προσπάθεια για ανάπτυξη ενός αυτοκινήτου με χαμηλή αεροδυναμική αντίσταση, με τη βοήθεια της αεροδυναμικής των αεροσκαφών ξεκίνησε από τον Ludwig Prandtl και εκπονήθηκε από τον A. Lange.



Εικόνα 28: Μοντέλο Tatra 87 1937

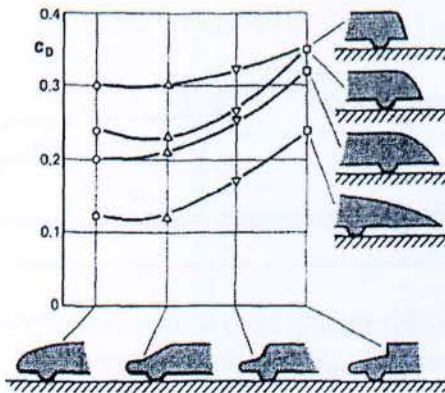
Και πάλι το αμάξωμα ήταν κατασκευασμένο από δύο τμήματα πτερυγών, όμως αυτή τη φορά η επάνω πτέρυγα ήταν τοποθετημένη οριζόντια πάνω στην κάτω πτέρυγα, η οποία ήταν επίσης οριζόντια. Το προφίλ της δεύτερης πτέρυγας ξεκινούσε από τον ανεμοθώρακα και η

ουρά του ήταν κοινή με την ουρά της πρώτης. Τέλος το μοντέλο ολοκληρωνόταν με το στρογγύλεμα των ακμών του. Το αυτοκίνητο αυτό είναι γνωστό ως "Langecar". Ο συντελεστής που έδινε ο κατασκευαστής ήταν $C_D = 0.14$ ο οποίος μετά από μετρήσεις σε μοντέλο κλίμακας 1:5 έγινε: $C_D = 0,16$. Το μοντέλο αυτό ήταν τελείως λείο χωρίς παράθυρα χωρίς θόλους και χωρίς σασί. Μετά από 60 χρόνια το αυτοκίνητο του Lange είναι ακόμα "ζωντανό" και το φαίνεται στην «Porsche 911».



Εικόνα 29: Αυτοκίνητο "LangePorsche 911 Carrera"1995 $C_D = 0.33$

Το χάσμα που χώριζε την αεροδυναμική από την τεχνολογία των οχημάτων γεφυρώθηκε μόνο όταν οι μηχανικοί των αυτοκινήτων άρχισαν οι ίδιοι να ενδιαφέρονται για την αεροδυναμική. Αυτό συνέβη ταυτόχρονα και ανεξάρτητα σε δύο τόπους. Στις Η.Π.Α. από τον Walter E. Lay, καθηγητή του πανεπιστημίου του Μίσιγκαν και στη Γερμανία από τον Wunibald Kamm, Καθηγητή του Πολυτεχνείου της Στουτγάρδης (TH).



Εικόνα 30: Επίδραση των βασικών παραμέτρων του

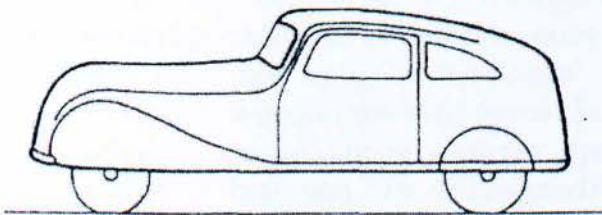
αμαξώματος στην αεροδυναμική αντίσταση αλληλεξάρτησης τους

Ο LAY ήταν ο πρώτος που μελέτησε συστηματικά ποικιλία παραμέτρων και το 1933 δημοσίευσε τα αποτελέσματα του όπως φαίνονται στην παραπάνω εικόνα. Διαμορφώνοντας συστηματικά το σχήμα του αυτοκινήτου στο εμπρός και πίσω μέρος κατάφερε να απομονώσει αρκετά μεμονωμένα αεροδυναμικά φαινόμενα. Η έρευνα του αποκάλυψε μια έντονη επίδραση μεταξύ των πεδίων ροής στο εμπρός και το πίσω μέρος του αυτοκινήτου.

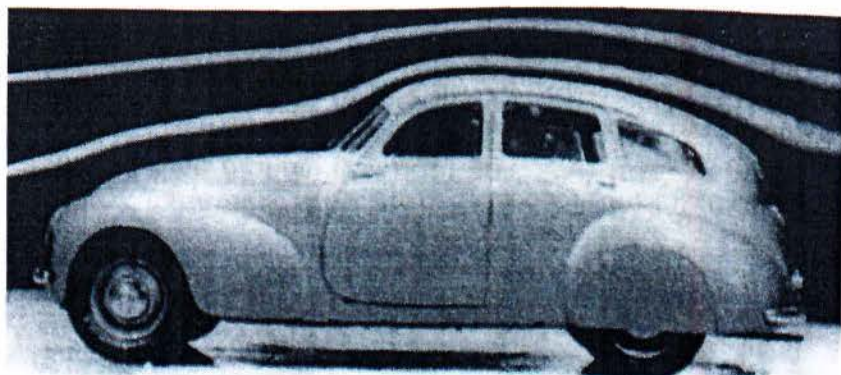
Μόνο ο Kamm με τους μαζί με τους συνεργάτες του κατάφεραν να εισάγουν το απότομο πίσω μέρος στο σχεδιασμό των αυτοκινήτων. Περιληπτικά τα αποτελέσματα της έρευνας τους ήταν η εξής: Ξεκινώντας από την μεγαλύτερη διατομή, το περίγραμμα του αμαξώματος εντός της ροής του αέρα είναι προσεκτικά διαβαθμισμένο ώστε να μην αποκολλάται η ροή. Αυτό προκαλεί μια σταθερή αύξηση της στατικής πίεσης μέχρι του σημείου που αποκολλάται ή ροή όπου και το αμάξωμα κόβεται κάθετα. Έτσι καταλήγουμε σε μια κοφή ουρά με μικρότερη διατομή από την μετωπική επιφάνεια.

Τα πλεονεκτήματα της λεγόμενης "Kamm ουράς" σε σύγκριση με το σχήμα του Lay είναι ο ψηλότερος ουρανός στο πίσω μέρος και σε σύγκριση με αυτό του Klemperer, η σημαντική μείωση του μήκους. Ο Kamm έκανε μετρήσεις και σε μοντέλα λεωφορείων με αυτήν την ουρά, οπότε και φάνηκαν τα πλεονεκτήματα της.

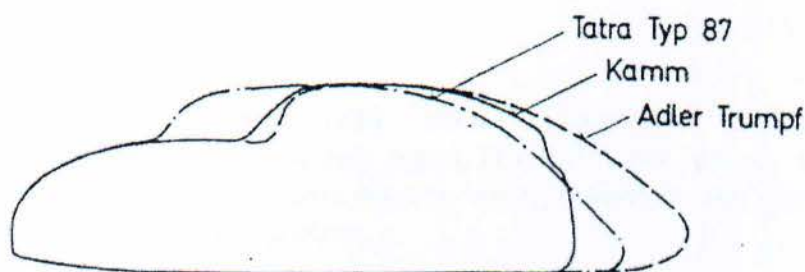
Το πρώτο αυτοκίνητο που «φόρεσε» την ουρά του Kamμήταν αυτό του E. Everting το 1938. Το πιο τυπικό όμως παράδειγμα αυτοκινήτου Kamμή είναι το K3. Η πορεία του καπνού δείχνει φανερά πόσο μακριά μπορεί η ροή να ακολουθήσει το περίγραμμα της οροφής του αυτοκινήτου. Η σύγκριση της διαμήκους τομής του αυτοκινήτου δείχνει το πλεονέκτημα του σχεδίου του σε σχέση με αυτά των Jaray και Lay.



Εικόνα 31: Το πρώτο αυτοκίνητο με ουρά Kamm το Everling του 1938 στο 170 V της Mercedes - Benz. Kamm

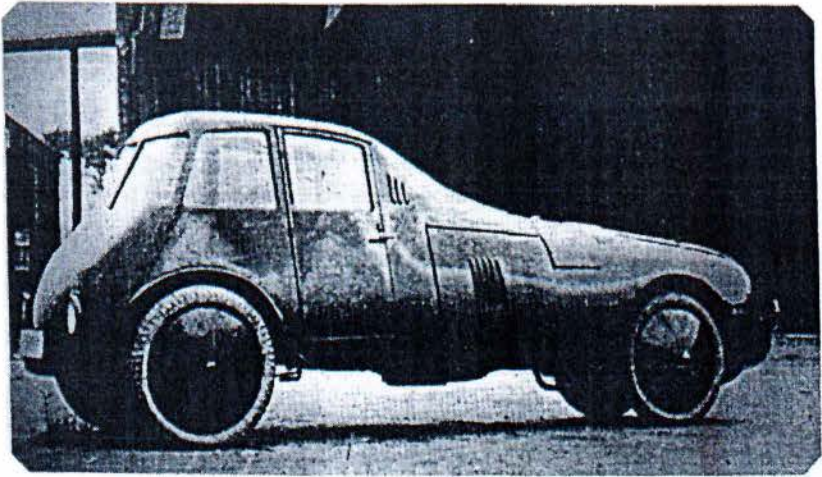


Εικόνα 32: KammK3 του 1938-39 μέσα στην αεροσήραγγα της VW





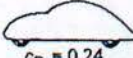
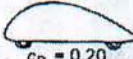
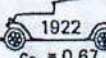
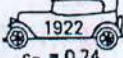
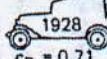
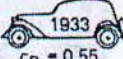


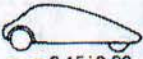

Εικόνα 33: Σύγκριση των διαμηκών τομών των αυτοκινήτων Jaray και Kamm (το Tatra 87 είναι χωρίς την πίσω ουρά).

Επειδή το $C_D = 0.30$ των ροϊκών αυτοκινήτων ήταν αρκετά μακριά από την ιδανική τιμή του $C_D = 0.15$ που υπολόγισε ο Klempereger για το ημί - σώμα, πολλοί σχεδιαστές προσπάθησαν να το βελτιώσουν περισσότερο. Πολλοί επιστήμονες και σχεδιαστές αναγνώρισαν ως ιδανική διαμόρφωση για αυτοκίνητο το σχήμα του ενός όγκου. Σε Αμερική και Ευρώπη πολλοί σχεδιαστές κατασκεύασαν ιδιαίτερα αμαξώματα που βασίζονταν στην αισθητική έμπνευση. Το 1922ο Aurel Persu σχεδίασε ένα αυτοκίνητο του οποίου το σχήμα ταίριαζε όσο το δυνατόν περισσότερο με το ημί - σώμα. Το πρωτότυπο που έφτιαξε ήταν όλο χειροποίητο από εξαρτήματα που ο ίδιος είχε.



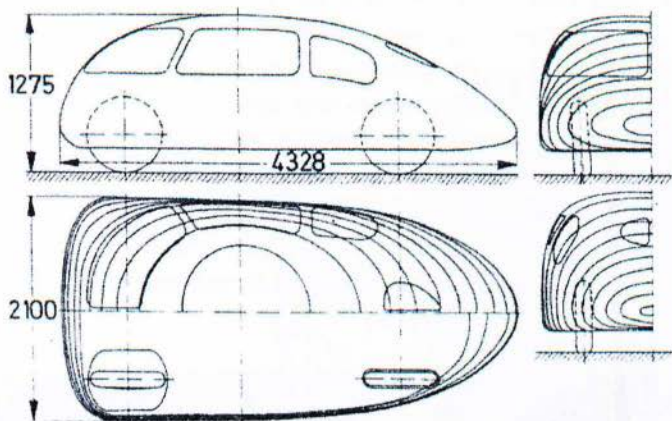
Εικόνα 34: Το αυτοκίνητο του Persu, κατασκευάστηκε το 1923-24

Αργότερα, στο 1930 πολλοί Αμερικάνοι μηχανικοί ακολούθησαν την ιδέα του ενός όγκου. Η σύνοψη των ερευνών τους έδειξε ότι όλα τα ημι - σώματα είχαν το 1/3 της αντίστασης που είχαν οι σύγχρονες της εποχής λιμουζίνες.

Author Year Scale	Optimized half-body shape	Car for comparison
W.T. Fishleigh 1931 M 1:4	 drag-ratio 1:2.6	
R. H. Heald 1933 1:15	 $c_D = 0.24$  $c_D = 0.20$	 1922 $c_D = 0.67$  1922 $c_D = 0.74$  1928 $c_D = 0.71$  1933 $c_D = 0.55$
W.E. Lay 1933 1:8	 $c_D = 0.30 \quad 0.24 \quad 0.20 \quad 0.13$	 $c_D = 0.61$
E.G. Reid 1935	 $c_D = 0.15 \div 0.20$	 $c_D = 0.61$

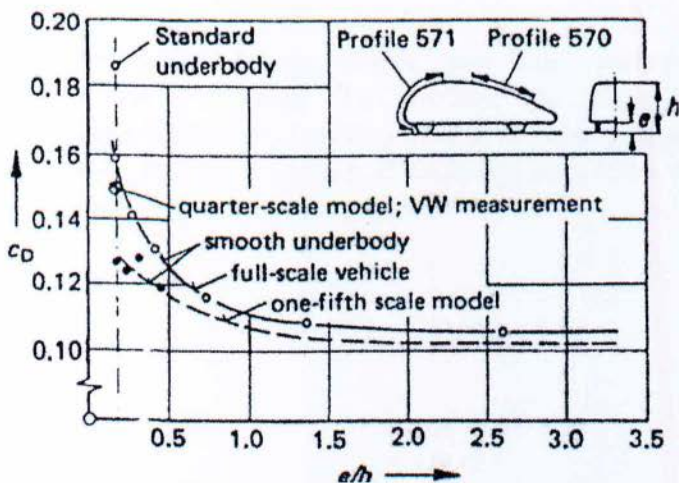
Εικόνα 35: Αεροδυναμική των αυτοκινήτων στις Η.Π.Α. στη δεκαετία του 1930

Ένα καλό αυτοκίνητο ενός όγκου ήταν αυτό του K Schlor που κατασκεύασε συνδυάζοντας δύο πτέρυγες οι οποίες είχαν χαμηλό αεροδυναμικό συντελεστή $C_D = 0.125$.



Εικόνα 36: Σχέδιο του αυτοκινήτου Schlor (1938)

Το αυτοκίνητο αυτό δοκιμάστηκε σε τρεις διαφορετικές κλίμακες: 1:5, 1:4 και σε πραγματικές διαστάσεις. Οι μετρήσεις στο πραγματικό αυτοκίνητο, παρόλη τη μεγάλη μετωπική επιφάνεια ($2,54 \text{ m}^2$) έδωσαν τον πολύ καλό αριθμό της τάξης του: $C_D = 0.186$.





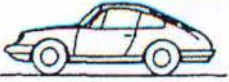



Εικόνα 37: Συντελεστής αντίστασης ως προς το ύψος από το έδαφος για το αυτοκίνητο Schlor

Μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, η παραγωγή οχημάτων διαφοροποιήθηκε σε Ευρώπη και Αμερική. Ενώ στην Ευρώπη ξεκίνησε με τα προ - πολεμικά μοντέλα, οι Αμερικάνικες εταιρίες έβγαλαν στην αγορά αυτοκίνητα βασισμένα σε ένα εντελώς καινούριο σχέδιο, τη διαμόρφωση των τριών όγκων. Ένα κουτί για τη μηχανή, ένα για τους επιβάτες και ένα για το χώρο αποσκευών. Αυτή η ιδέα αναπτύχθηκε από τις αρχές του 1940 από τον Howard Darrin και το παρατσούκλι αυτού του αυτοκινήτου ήταν «μπανιέρα». Ένα τυπικό μοντέλο αυτού του τύπου είναι το Ford Lincoln Continental που το σχήμα του δεν επέτρεπε αεροδυναμικές παρεμβάσεις, οι καλά στρογγυλεμένες άκρες, ο καμπύλος ανεμοθώρακας και άλλες σχεδιαστικές λεπτομέρειες ήταν αρκετές για να κατεβάσουν το συντελεστή γύρω στο 0,45.

















Εικόνα 38: Αμαξωματριών όγκων, Ford Lincoln Continental 1950

Ο επικρατέστερος κατασκευαστής που είχε επιτυχία στην αεροδυναμική ήταν ο Porsche. Τα μοντέλα του μέχρι το 1977 συγκεντρώνονται στο παρακάτω σχήμα και όλες οι μορφές αμαξωμάτων συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα. Η κατάταξη τους έγινε σύμφωνα με τις αρχές σχεδιασμού και τη χρονολογία.

	Model Year	A m ²	c _D
 356 A	1950	1.61	0.34
 356 B	1957	1.69	0.31
 911 S	1976	1.77	0.40
 924	1975	1.79	0.33
 944	1981	1.82	0.35
 928 S	1977	1.96	0.39

Εικόνα 39: Συνοπτικά όλα τα μοντέλα της Porsche από το 1950

Basic shapes	1900 to 1925			
Streamlined cars	1921 to 1923			
	1922 to 1939		Jaray	
	1934 to 1939			
	Since 1955			
	Since 1974			
Shape optimization	Since 1983			

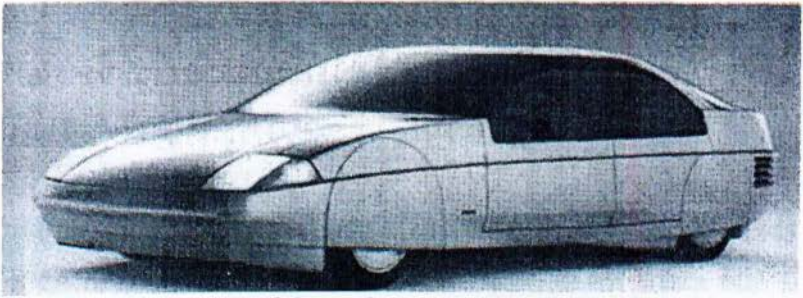
Εικόνα 40: Το «γενεαλογικό δέντρο» της αεροδυναμικής των αυτοκινήτων

4.3. Αεροδυναμικοί συντελεστές αυτοκινήτων

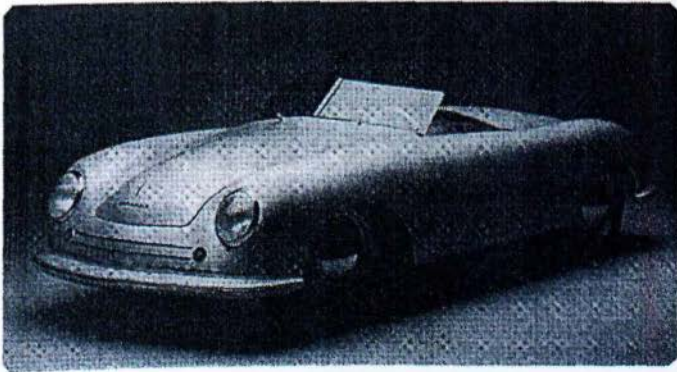
4.3.1. Εισαγωγή

Στο παρακάτω κεφάλαιο παρατίθενται οι αεροδυναμικοί συντελεστές διαφόρων αυτοκινήτων από τη δεκαετία του 1950 μέχρι σήμερα. Ακόμα συγκεντρώθηκαν συντελεστές για αγωνιστικά και πειραματικά αυτοκίνητα.

4.3.2. Επιβατηγά αυτοκίνητα



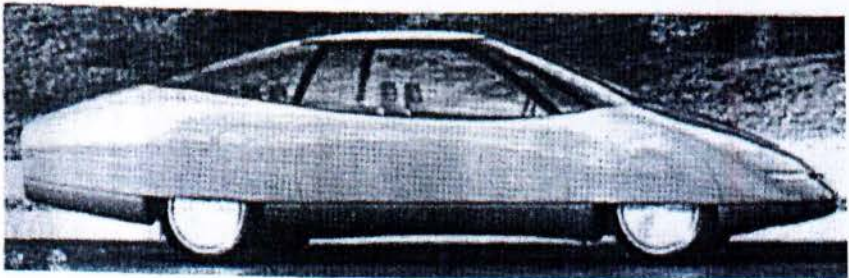
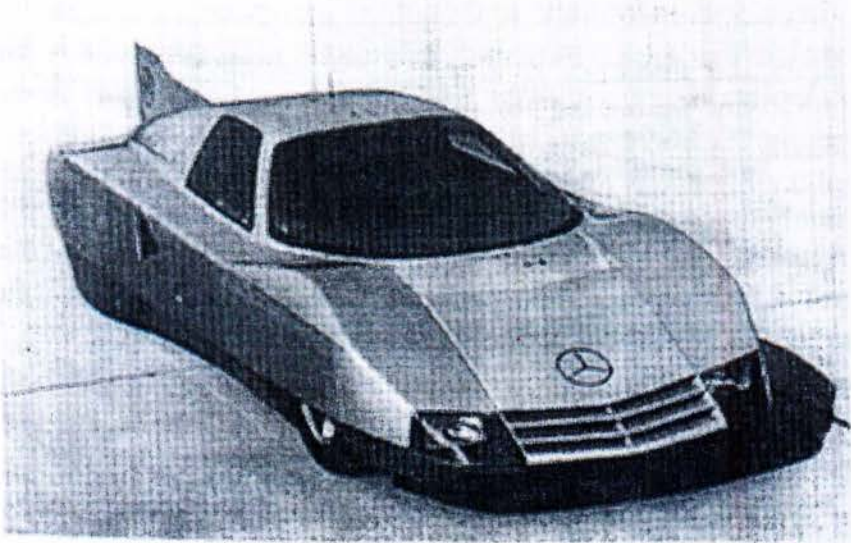
Εικόνα 41: Πρωτότυπο χαμηλής αντίστασης FORD PROBE IV '83 $C_D = 0.15$, $A = 1.90\text{m}^2$



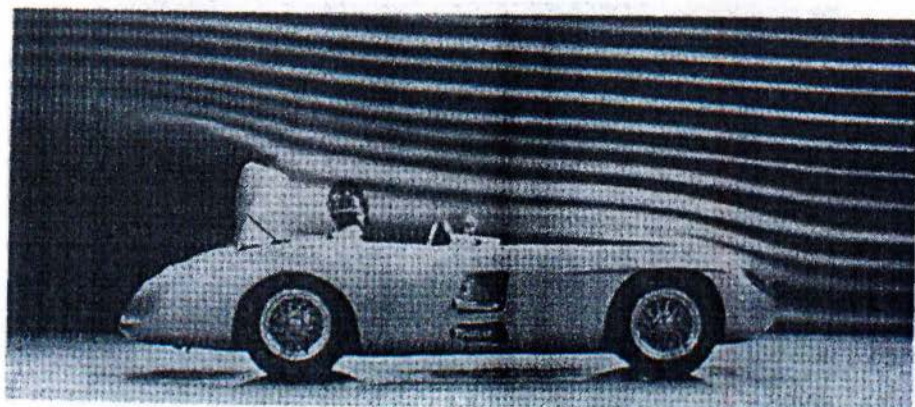
Εικόνα 42: Porsche 356 του 1948 $C_D = 0.46$, $A = 1.41\text{m}^2$









Εικόνα 43: PORSCHE 911 Turbo. Τυπικό αεροδυναμικό αυτοκίνητο με $C_D = 0.34$, $A = 1.93$



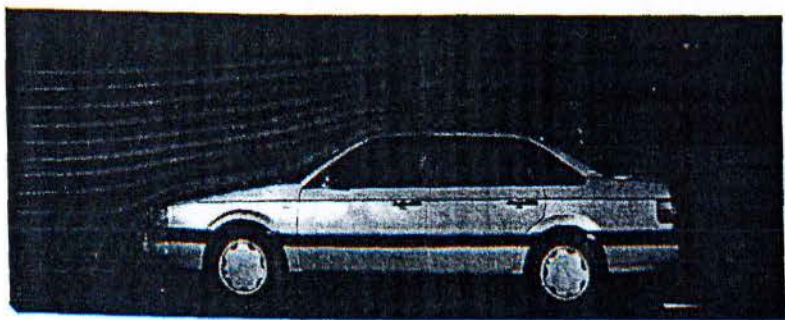
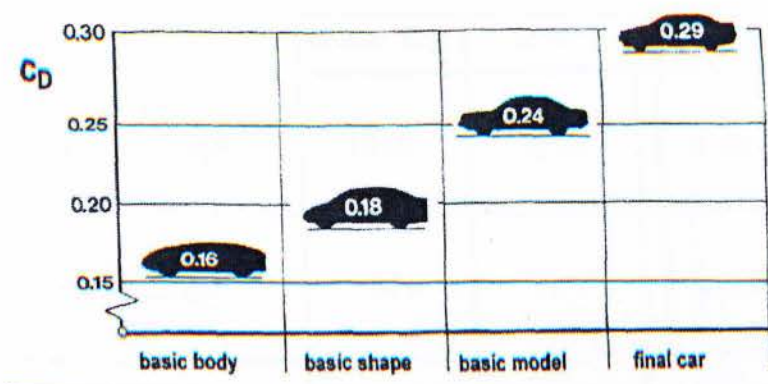
Εικόνα 44: GMAERO 2002 $C_D = 0.14$, $A = 1.68\text{m}^2$



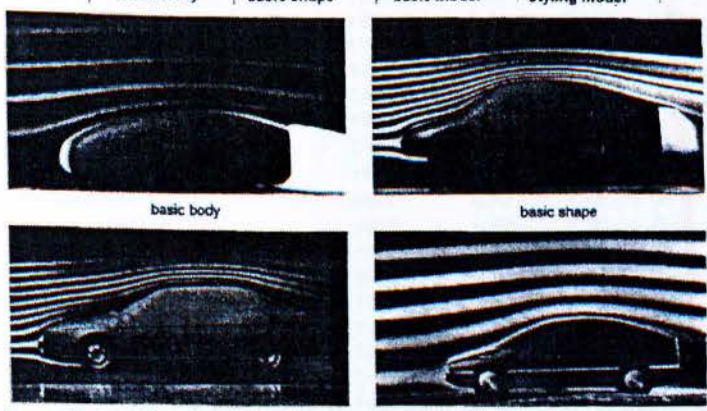
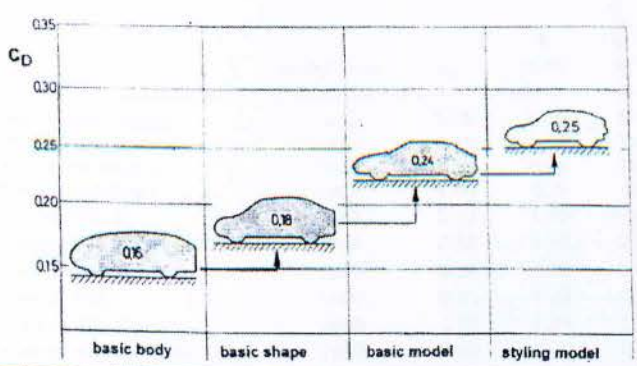
Εικόνα 45: Mercedes - Benz 300SLR Le Man (1955) $C_D = 0.44$. Το πτυσσόμενο πτερύγιο αύξανε το συντελεστή σε 1.09

	
AUDI* $c_D = 0.30$	Mercedes* $c_D = 0.30$
	
FORD Probe III $c_D = 0.22$	UNI-CAR* $c_D = 0.25$
	
OPEL Tech I $c_D = 0.24$	VW* $c_D = 0.25$





Εικόνα 46: Αεροδυναμικοί συντελεστές διαφόρων αυτοκινήτων μετά από έρευνα που δημοσιεύθηκαν το 1981



Εικόνα 47: Ο σχεδιασμός του WVPASSAT μέχρι να πάρει την τελική του μορφή. $C_D = 0.29$

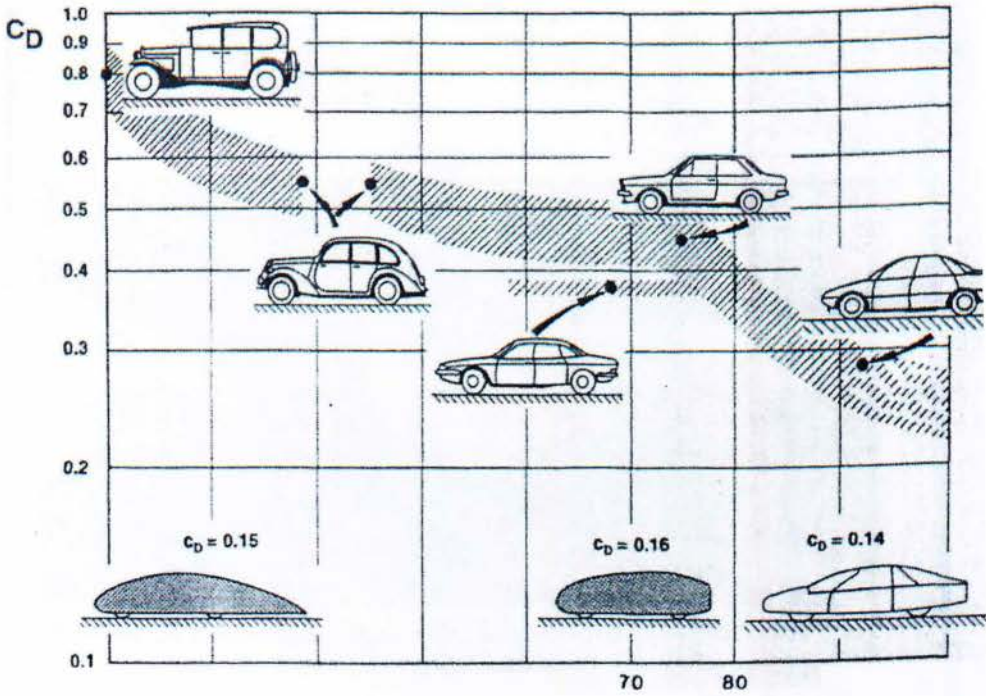


Εικόνα 48: Στάδια διαμόρφωσης ερευνητικού αυτοκινήτου της VW

	Model Year	A m ²	c _D
 DS 19	1955	2.14	0.38
 GS	1970	1.77	0.37
 CX 2000	1974	1.96	0.40
 BX	1982	1.89	0.33 – 0.34

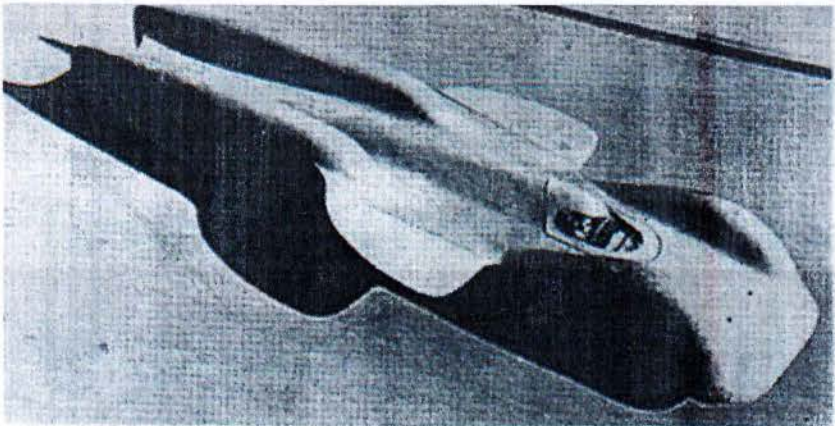
Εικόνα 49: Αεροδυναμική της Citroen

	Model Year	c _D	A (m ²)	c _D · A (m ²)
Porsche 550 Coupe	1953	0.36	1.13	0.41
Porsche 550 Spyder	1954	0.45	1.03	0.46
Porsche Formula II	1960	0.53	0.89	0.47
Porsche Formula I	1962	0.60	0.72	0.43
Porsche Abarth	1962	0.39	1.40	0.58
Porsche 904 Carrera GTS	1964	0.38	1.40	0.54
Porsche Carrera 6	1966	0.34	1.33	0.45
Porsche 910	1966	0.35	1.32	0.46
Porsche 906 Carrera	1966	0.39	1.34	0.52
Porsche 908/02 Spyder	1969	0.49	1.27	0.62
Porsche 917 (Short Tail)	1970	0.44	1.55	0.68
Porsche 914/6 GT Coupe	1970	0.45	1.66	0.75
Porsche 908/03 Spyder	1970	0.56	1.40	0.78
Porsche 917 (Long Tail)	1971	0.36	1.57	0.57
Porsche 917/10	1972	0.60	1.85	1.11
Porsche 917/30	1973	0.57	1.86	1.06
Porsche 911 Carrera GTS	1974	0.43	1.91	0.82
Porsche 936	1977	0.40	1.75	0.70
Porsche 935/78	1978	0.36	2.00	0.72
Porsche 936	1978	0.40	1.65	0.66
Porsche 924 Carrera GT	1980	0.34	1.94	0.66
Porsche 956 (Short Tail)	1982	0.54	1.80	0.97
Porsche 956 (Long Tail)	1982	0.44	1.69	0.74
Porsche 961	1987	0.43	2.11	0.91
Porsche 962 (Short Tail)	1988	0.53	1.80	0.95
Porsche 962 (Long Tail)	1988	0.40	1.69	0.68
Porsche 944 Turbo	1989	0.35	1.88	0.65
Porsche 911 Carrera 2	1990	0.31	1.77	0.55

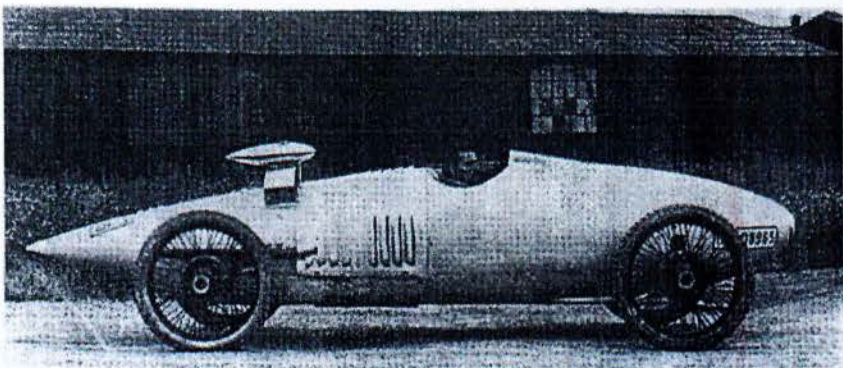


Εικόνα 50: Ιστορία του C_D των Ευρωπαϊκών αυτοκινήτων σε σύγκριση με το FORDPROBEIV

4.3.3. Πειραματικά αυτοκίνητα



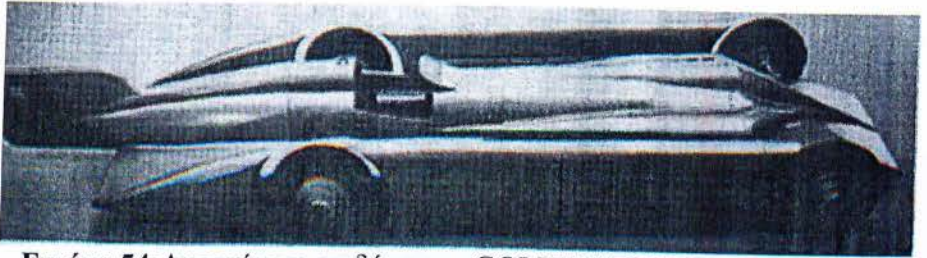
Εικόνα 51: Mercedes - Benz T80. Αυτοκίνητο επιδόσεων του 1939 (650km/h)



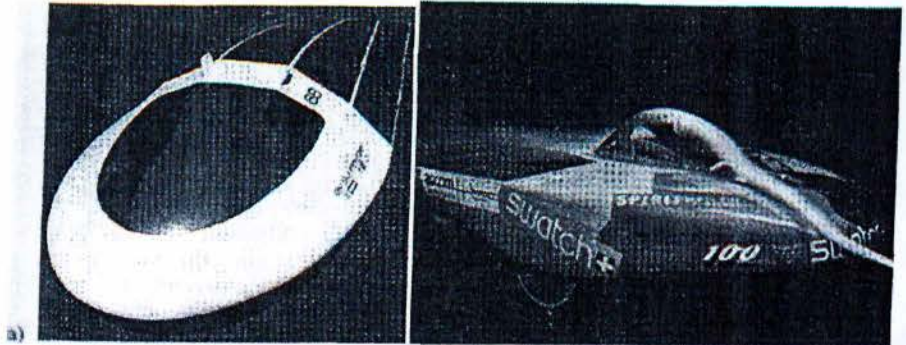
Εικόνα 52: «Tropfen Wagen» αυτοκίνητο σταγόνα του 1923



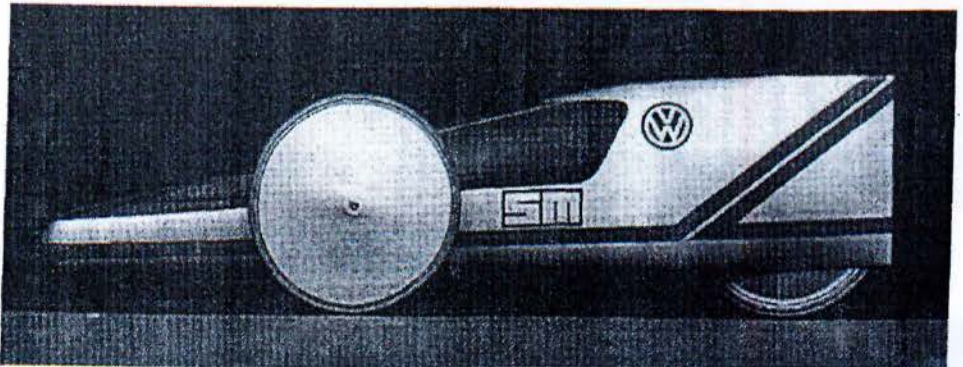
Εικόνα 53: Αυτοκίνητο ρουκέτα BLUEFLAME. Έσπασε το ρεκόρ ταχύτητας το 1970 με 1001,671 χμ/ώρα



Εικόνα 54: Αυτοκίνητο επιδόσεων «GOLDENARROW» του 1929 με 372,456χμ/ώρα



Εικόνα 55: α) GM Sunracer 1987 $C_D = 0.125$, $A = 1.18\text{m}^2$ β) Spirit of Bienne II 1990 $C_D = 0.13$

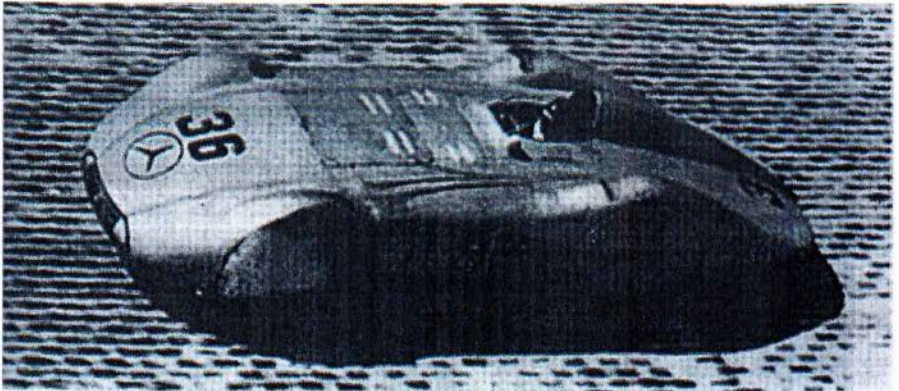


Εικόνα 56: Όχημα εξοικονόμησης ενέργειας της WV $C_D = 0.15$, $A = 0.32$



Εικόνα 57: Ερευνητικό αυτοκίνητο της WV

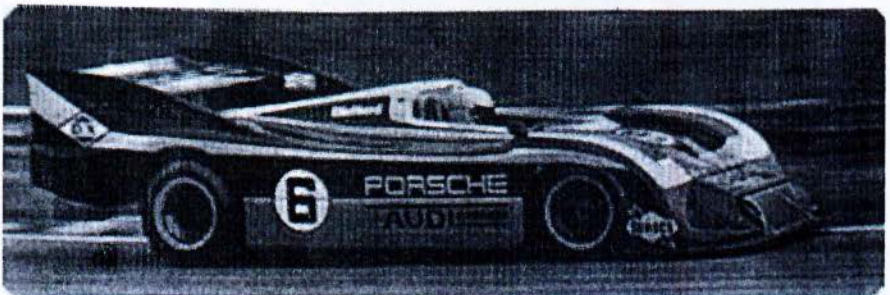
4.3.4. Αγωνιστικά αυτοκίνητα



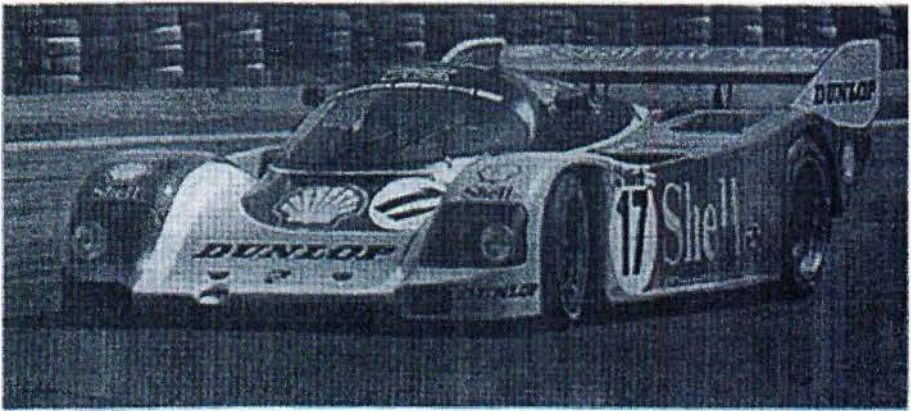
Εικόνα 58: Η Daimler - Benz κατασκεύασε το πρώτο ροϊκό αγωνιστικό αυτοκίνητο το 1937



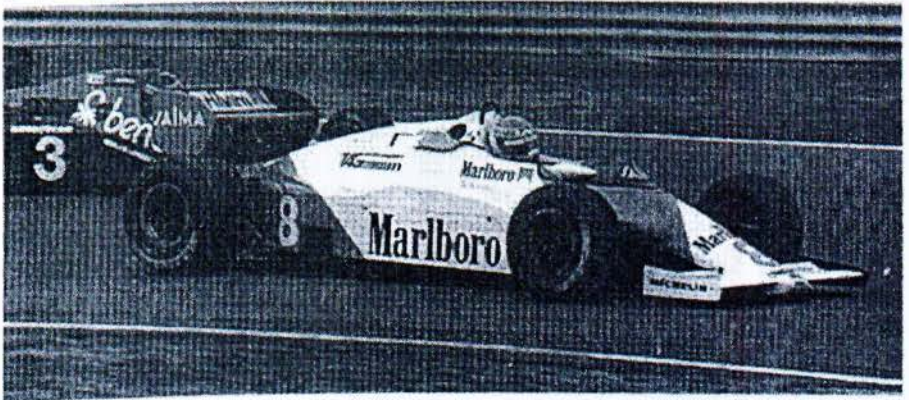
Εικόνα 59: Porsche Carrera 6 LongTail του 1966. $C_D = 0.33$



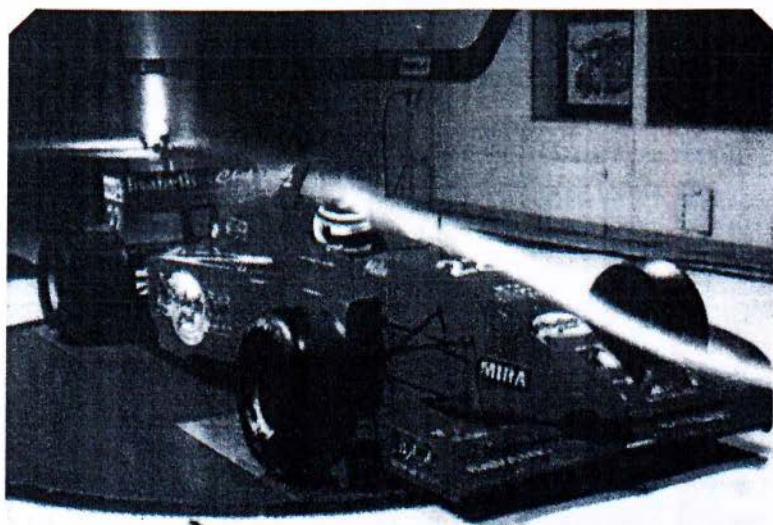
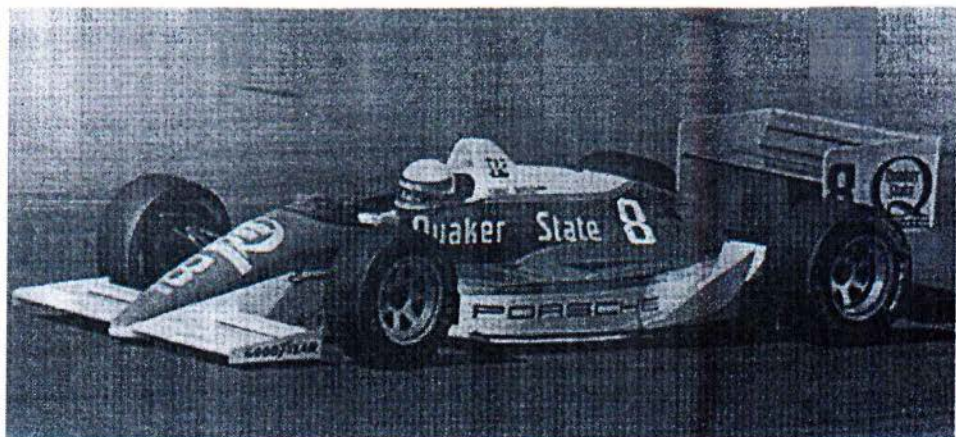
Εικόνα 60: Porsche 917/30 του 1975, $C_D = 0.5$



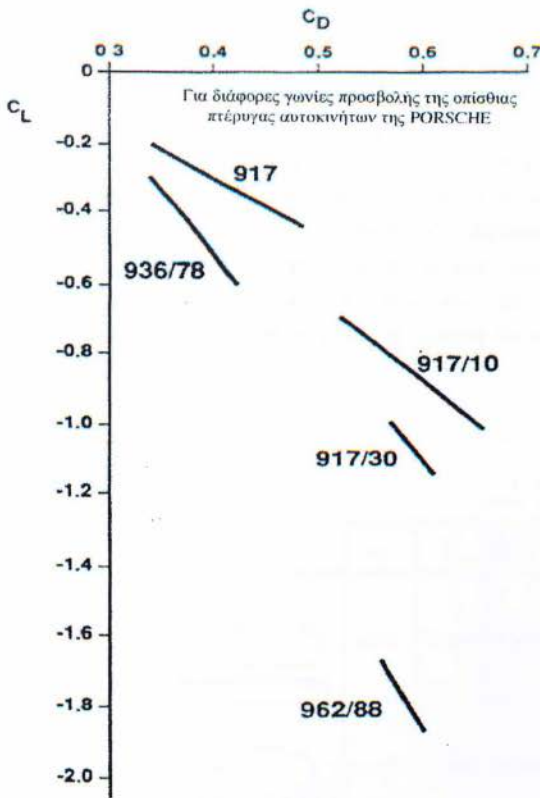
Εικόνα 61: Porsche 962 Le Man. $C_D = 0.41$, $A = 1.84\text{m}^2$



Εικόνα 62:Mc Laren F1



Εικόνα 63:Porsche Quaker State



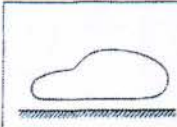
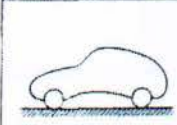
Εικόνα 64: Η όλο και μεγαλύτερη απαίτηση για μείωση του συντελεστή άντωσης στα αγωνιστικά αυτοκίνητα επιφέρει μια συνεχή αύξηση του συντελεστή αντίστασης.

Στα αγωνιστικά αυτοκίνητα περισσότερο παρουσιάζεται στη χαμηλή άντωση για να υπάρχει μεγάλη σταθερότητα, όχι η χαμηλή οπισθέλκουσα, που σημαίνει μεγάλη κατανάλωση. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται και οι τόσες διαμορφώσεις στο αμάξωμα ενός τέτοιου αυτοκινήτου. Τέτοιες παρεμβάσεις για τη διόρθωση και των δύο συντελεστών και στα επιβατικά, όπως και στα φορτηγά οχήματα, ανάλογα με τα επιθυμητά αποτελέσματα. Χαμηλή κατανάλωση ή μεγάλη σταθερότητα στις υψηλές ταχύτητες; Είναι θέματα που θα αναπτυχθούν στη συνέχεια.

4.4. Επίδραση των εξαρτημάτων του αυτοκινήτου στους αεροδυναμικούς συντελεστές

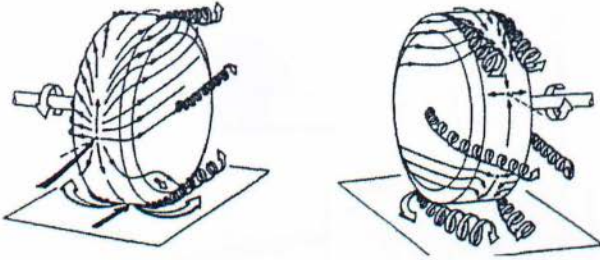
Ο σκοπός της ανάλυσης της αεροδυναμικής αντίστασης είναι να εδραιωθεί την σχέση μεταξύ αιτίας και αποτελέσματος. Πώς εξηγείτε τη συμπεριφορά των διαφόρων εξαρτημάτων και τι συνέπειες επιφέρει στην αεροδυναμική του αυτοκινήτου. Σε αυτό το κεφάλαιο συγκεκριμένα θα μελετηθεί το πώς και το γιατί, τα διάφορα αυτά εξαρτήματα και παρελκόμενα του αυτοκινήτου επηρεάζουν την αεροδυναμική του συμπεριφορά. Παράδειγμα αυτών είναι η οροφή σε αυτοκίνητα κάμπριο, το τροχόσπιτο κ.α.

- ΤΡΟΧΟΙ

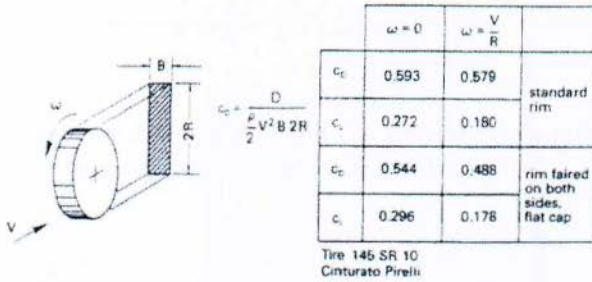
	c_D	c_L	A in m^2 M 1:2
	0.073	-0.044	0.407
	0.157	-0.009	0.462

Εικόνα 65: Αύξηση στην οπισθέλκουσα και στην άντωση σε ένα αυτοκίνητο με την προσθήκη τροχών

Με την αλλαγή ελαστικών και την τοποθέτηση άλλων ελαστικών με μεγαλύτερο πλάτος και μέγεθος η αύξηση της οπισθέλκουσας είναι πολύ μικρή της τάξης των 2Kg. Μειώνεται όμως ελαφρά και η άντωση κατά 4Kg περίπου. Αυτό το φαινόμενο εξηγείται αν λάβουμε υπόψη μας το μεγαλύτερο μέγεθος των ελαστικών που δεν επιτρέπει τους στροβιλισμούς που δημιουργούνται στους θόλους να πάρουν μεγάλες διαστάσεις, αυξάνοντας την άντωση.

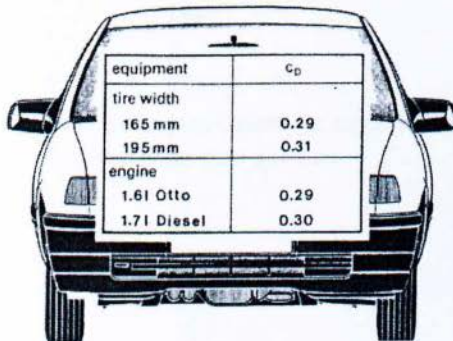


Εικόνα 66: Δείγμα ροής τροχού που κυλάει στο έδαφος

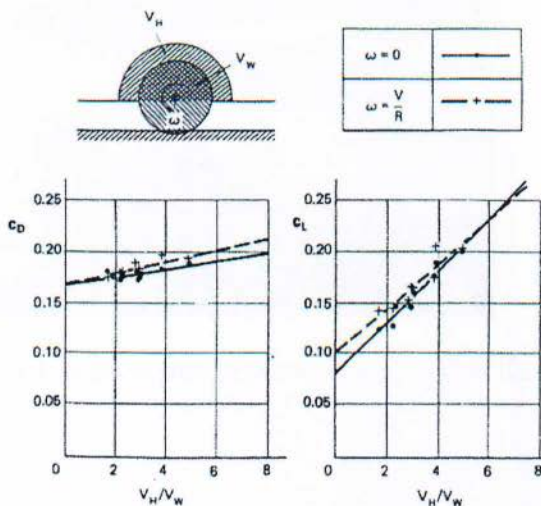


Εικόνα 67: Οπισθέλκουσα και άντωση σε απομονωμένο τροχό με και χωρίς περιστροφή

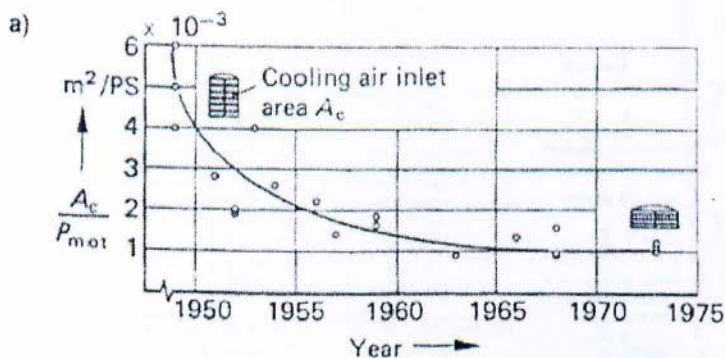
• ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΑΕΡΑ



Εικόνα 68: Η επίδραση του εξοπλισμού στην αεροδυναμική αντίσταση ενός αυτοκινήτου



Εικόνα 69:Επίδραση του όγκου του θύλου του τροχού στην αντίσταση και την άντωση σε εσωτερικό (κλειστό) τροχό



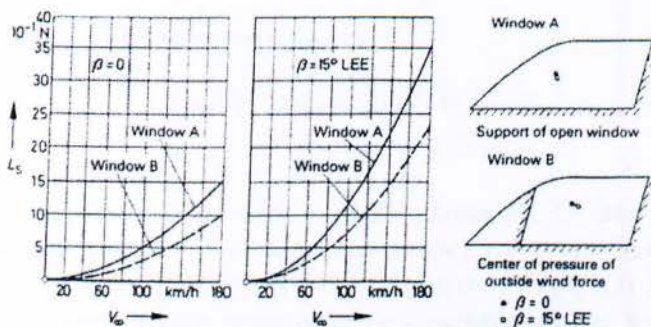
Εικόνα 70:Εισαγωγή αέρα ψύξης σε σχέση με την εγκατεστημένη ισχύ στο πέρασμα των χρόνων



Εικόνα 71: Επίδραση στον σχεδιασμό, π.χ. το Opel Kadett

• ΠΑΡΑΘΥΡΑ

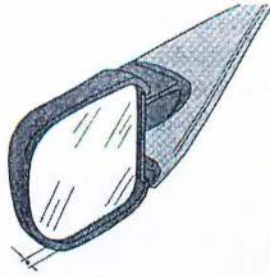
Σε γενικές γραμμές τα παράθυρα δεν αλλοιώνουν σημαντικά την αεροδυναμική και η οπισθέλκουσα που προκαλούν είναι ανεξάρτητη από το πόσο ανοιχτό είναι το παράθυρο. Στο παρακάτω σχεδιάγραμμα παρατηρούνται οι μεταβολές των διαφόρων μεγεθών σε δύο διαφορετικά



Εικόνα 72: Επίδραση της ταχύτητας του οχήματος στη δύναμη L_s που ενεργεί στο πλευρικό τζάμι

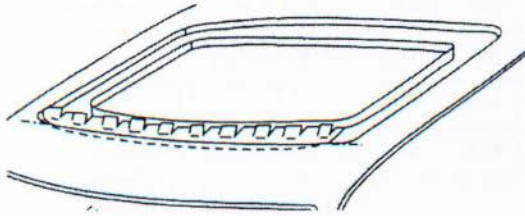
• ΚΑΘΡΕΠΤΕΣ

Η αποκόλληση της ροής στον καθρέπτη μπορεί να είναι περιοδική και έτσι προκαλείται ένα φορτίο ταλάντωσης



Εικόνα 73:Υπερκρεμάμενη βάση καθρέπτη για την αποφυγή των κραδασμών

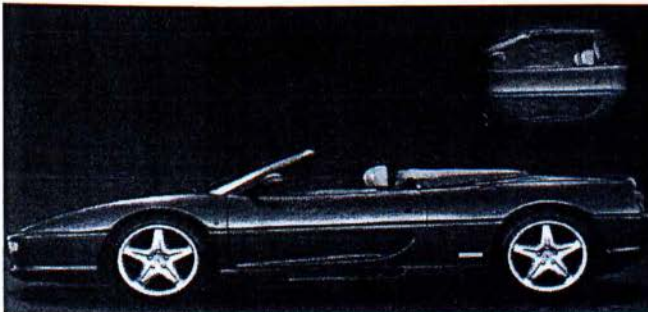
- ΗΛΙΟΡΟΦΗ



Εικόνα 74:ΗΛΙΟΡΟΦΗ

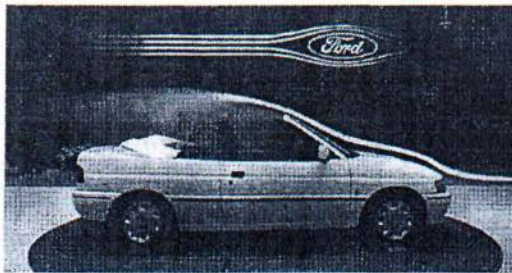
Συσκευή για μείωση θορύβου σε ανοιχτή ηλιοροφή. Ο Θόρυβος που προκαλείται από την ανοιχτή ηλιοροφή μπορεί να αντιμετωπιστεί. Ο ανακλαστήρας ροής τοποθετείται στην μπροστινή άκρη και θα πρέπει να εκτρέπει την ροή αρκετά ώστε αυτή να επιστρέφει στην πίσω άκρη του ανοίγματος της ηλιοροφής.

- ΑΝΟΙΧΤΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ



Εικόνα 75:F-355 SPIDERFERRARI

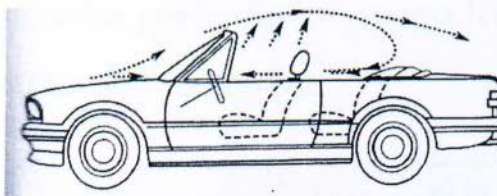
Στα ανοιχτά αυτοκίνητα υπάρχει πολύ μεγάλη αύξηση της οπισθέλκουσας όταν η οροφή είναι ανοιχτή. Από την άλλη η οπισθέλκουσα με κλειστή οροφή είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από μιας έκδοσης σεντάν.



C_D		VW-Beetle	Opel-Kadett 87	Ford-Escort 91	Mercedes-B. W 129
Limousine		0.49	0.32	0.32 ²⁾	0.32 ¹⁾
convertible	closed	0.50	0.34	0.36	0.34
	open	0.68	0.38	0.42	0.41
	+ side windows open			0.43	0.43

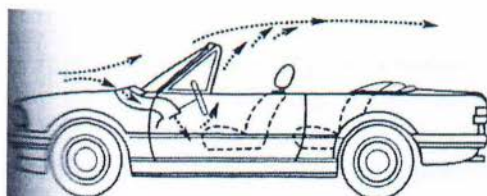
1) hardtop
2) notchback

Εικόνα 76: Συντελεστές αεροδυναμικής αντίστασης σε ανοιχτά οχήματα



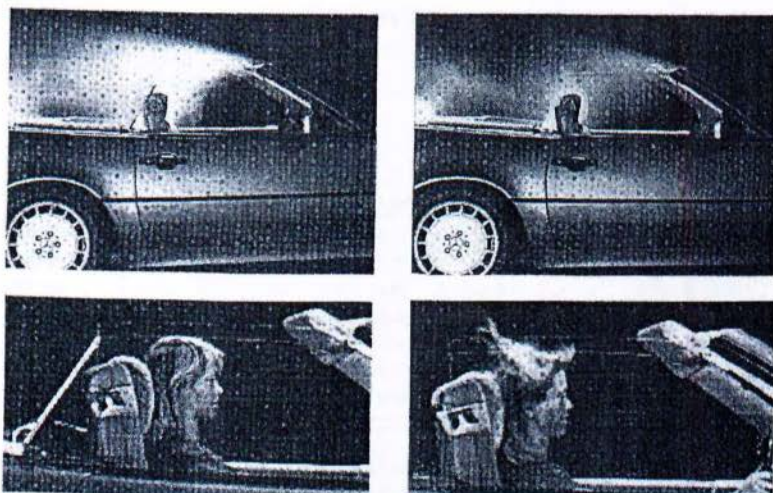
Εικόνα 77: Χτυπήματα αέρα σε ανοιχτά αυτοκίνητα.

Το γεγονός ότι η αντίσταση αυξάνεται όταν ανοίγει η οροφή είναι δευτερευούσης σημασίας γιατί σπάνια οδηγείται ανοιχτό και πάντα σε χαμηλότερη ταχύτητα. Τα προβλήματα που δημιουργούνται είναι θορύβου από τον αέρα και συχνά παρουσιάζονται με την οροφή ανοιχτή. Αυτό οφείλεται στους στροβιλισμούς που δημιουργούνται μεταξύ της εξωτερικής ροής και του θαλάμου επιβατών. Για να εξαλειφθεί το πρόβλημα του θορύβου πρέπει να προσαχθεί μια ποσότητα αέρα στο θάλαμο επιβατών από άλλη οδό. Για παράδειγμα το σύστημα κλιματισμού.



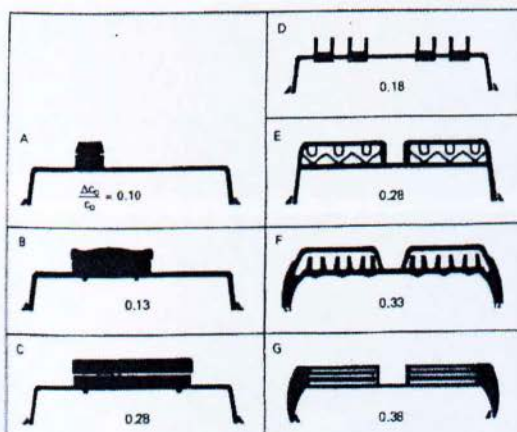
Εικόνα 78: Έλεγχος της ροής του αέρα σε ανοιχτά αυτοκίνητα

Μια άλλη λύση, για την αποφυγή των στροβιλισμών της ροής του αέρα είναι η χρησιμοποίηση ανακλαστήρα που τοποθετείται πίσω από τα προσκέφαλα των επιβατών και σε σχετικά μεγάλη κλίση.



Εικόνα 79: Αποφυγή του στροβιλισμού της ροής σε ένα ανοιχτό αυτοκίνητο με την χρήση ανακλαστήρα σε ταχύτητα 120km/h(75 mph)

• ΣΧΑΡΕΣ-ΦΟΡΤΙΟ ΟΡΟΦΗΣ

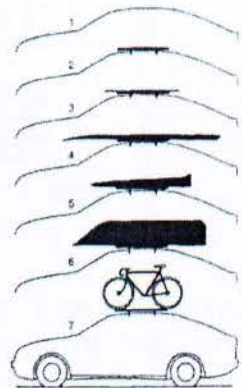


Εικόνα 80: Αύξηση στην οπισθέλκουσα λόγω των σχαρών για τα σκι

Η τοποθέτηση σχαρών για το σκι έχουν κάποιες επιπτώσεις στην αεροδυναμική του αυτοκινήτου και όχι μόνον εκεί. Όταν δεν είναι απαραίτητες πρέπει να αφαιρούνται επειδή αυξάνεται η κατανάλωση. Για παράδειγμα ένα ποδήλατο στην οροφή αυξάνει την οπισθέλκουσα γύρο στο 40% .

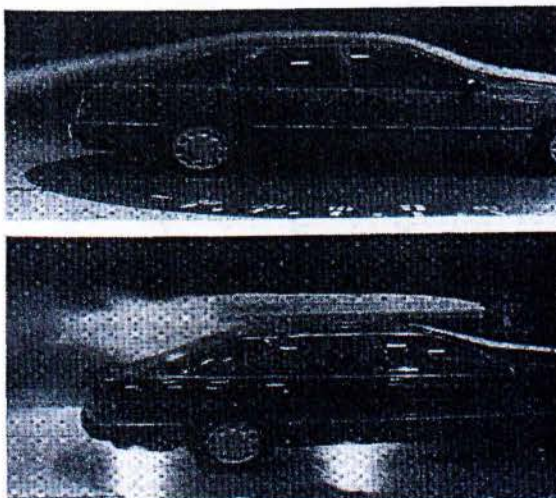
Τοποθετώντας φορτία στη σχάρα οροφής επηρεάζεται η σταθερότητα ία δυο λόγους. Απ' τη μια πλευρά το κέντρο βάρους το οχήματος - μεταφέρεται πιο ψηλά και πιο πίσω. Από την άλλη οι αεροδυναμικέςδυνάμεις τόσο δραστικά ώστε να είναι αναμενόμενη αξιοσημείωτη επίδραση στην ικανότητα οδήγησης. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει μερικά παραδείγματα τις επίδρασης αυτής.

Roof Load	C_D	$C_{L1} \beta=0^\circ$	$C_{L2} \beta=0^\circ$	$C_{Y \beta=20^\circ}$	$C_N \beta=20^\circ$	$C_M \beta=20^\circ$	$C_R \beta=20^\circ$
Base Car (1)	0.34	0.09	0.19	0.66	0.17	0.13	0.12
Roof Rack (2)	0.38	0.10	0.12	0.74	0.16	0.16	0.13
Skis (3)	0.46	0.08	0.13	0.76	0.15	0.15	0.15
Surfboard (4)	0.47	0.10	0.13	0.77	0.16	0.16	0.17
Skibox (5)	0.46	0.10	0.15	0.92	0.15	0.23	0.23
Boat (6)	0.55	0.24	-0.03	1.12	0.17	0.37	0.30
Bicycle (7)	0.55	0.19	0.03	1.00	0.12	0.32	0.38



Εικόνα 81: Αλλαγή στα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά από ποικίλα φορτία οροφής

Στο σχήμα στα αριστερά, φαίνεται η διατάραξη της ροής πάνω στην οροφή του αυτοκινήτου με αποτέλεσμα η συνολική άντωση να μειώνεται.

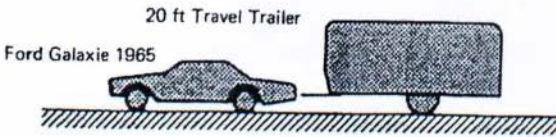


Εικόνα 82: Ροή σε αυτοκίνητο με και χωρίς φορτίο οροφής

• ΤΡΟΧΟΣΠΙΤΑ

Ο τύπος ενός συνδυασμού αυτοκινήτου-τρέιλερ παράγει διάφορες επιδράσεις. Η οπισθέλκουσα ενός συνδυασμού είναι λιγότερη από το σύνολο των οπισθελκουσών από δυο ανεξάρτητα οχήματα.

	A in ft ²	C _D	C _D ·A	C _D Car
Car without Trailer	24.6	0.53	13.0	} (= 1.9) } = 1.6
Car in front of Trailer	24.6	0.30	7.4	
Trailer without Car	54.2	0.62	33.6	
Trailer behind Car	54.2	0.59	32.0	



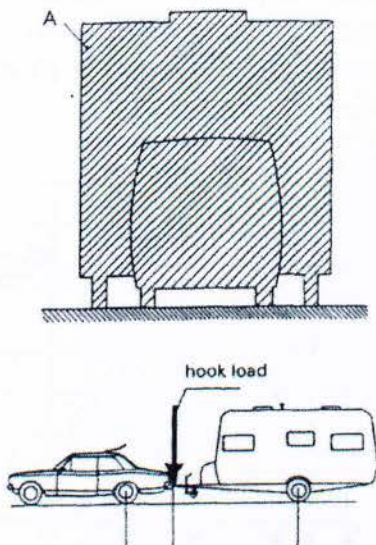
Εικόνα 83: Οπισθέλκουσα ενός ψηλού οχήματος και τρέιλερ

Η οπισθέλκουσα ενός αυτοκινήτου μειώνεται δραστικά από το τρέιλερ, ενώ η οπισθέλκουσα των τρέιλερ μειώνεται πολύ λίγο από το αυτοκίνητο. Χαποτελεσματική αλλαγή της ολικής οπισθέλκουσας στο τρέιλερ δεν είναι και τόσο ευνοϊκή. Σύμφωνα με τα τεστ αυτή η αλλαγή της οπισθέλκουσας μειώνεται όσο το ψηλό όχημα είναι αεροδυναμικό.

car towing trailer	car model	C _{D1} C _{D(1+2)}	A·C _{D1} A·C _{D(1+2)}
	Opel Rekord C	0.452	0.87 m ²
	Opel Rekord C Caravan	0.435	0.84 m ²
	UNI-CAR	0.240	0.48 m ²
trailer, "old" generation		0.764	4.10 m ²
		0.864	4.63 m ²
		0.743	3.98 m ²
trailer from today		0.605	3.24 m ²
		0.562	3.01 m ²
		0.581	3.11 m ²

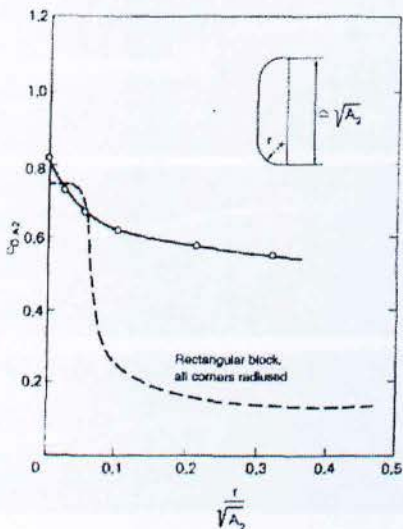
Εικόνα 84: Οπισθέλκουσα ενός συνδυασμού αυτοκινήτου-τρέιλερ, παλιά τρέιλερ και παρουσίαση των γενεών.

Στον υπολογισμό των αριθμητικών δεδομένων πρέπει να γίνει κατανοητό ότι ο συντελεστής οπισθέλκουσας εδώ δεν βασίζεται στην μπροστινή περιοχή του υψηλού οχήματος αλλά στην περιοχή του συνδυασμού. Αυτή η μπροστινή περιοχή είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από αυτή του τρέιλερ μόνο που επειδή το σασί του αυτοκινήτου προβάλλει πέραν της φηγούρας όπως επιδεικνύεται στην ακόλουθη εικόνα.



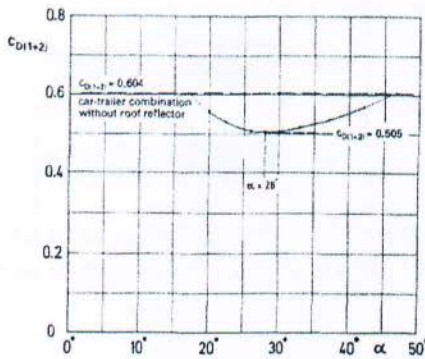
Εικόνα 85: Ορολογία ενός συνδυασμού αυτοκινήτου-τρέιλερ

Ένα παράδειγμα της αποτελεσματικότητας των σφαιρικών μπροστινών άκρων σε ένα τρέιλερ πίσω από ένα αυτοκίνητο φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.

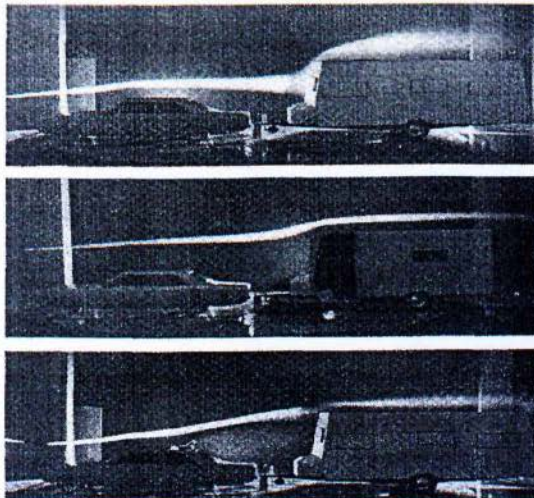


Εικόνα 86:Μείωση της οπισθέλκουσας αυτοκινήτου-τρέιλερ από τιςμπροστινές κυκλικές άκρες

Είναι επίσης πιθανόν να βελτιωθεί η ροή του αέρα γύρω από ένα συνδυασμό αυτοκινήτου-τρέιλερ προσδιορίζοντας τη ροή γύρω από το ψηλό όχημα. Ηχηρησιμότητα του ανακλαστήρα αέρα έχει μια καθαρή παράλληλη με τους η ημιρυμουλκούμενους τράκτορες. Με τον ανακλαστήρα ο αέρας μπορεί να οδηγηθεί έτσι ώστε να ρέει εφαπτομενικά στην οροφή σαν μπροστινό άκρο της οροφής. Υπάρχει μία ελάχιστη οπισθέλκουσα για τη συγκεκριμένη περίπτωση, καθώς δείχνεται στην παρακάτω εικόνα.






Εικόνα 87:Βέλτιστη θέση τουανακλαστήρα οροφής



Εικόνα 88: Οδηγώντας τη ροή πλησιάζοντας ένακάραβαν από τα μπροστινά άκρα της οροφής ή από τον ανακλαστήρα στην κορυφή του αυτοκινήτου

Η μείωση της οπισθέλκουσας με την χρήση ανακλαστήρα σχετίζεται με μια στιγμιαία κατακόρυφη πτώση με την μείωση της ταχύτητας του οχήματος, το φορτίο του ελκυσόμενου άξονα μειώνεται.

	C_D car plus trailer	change of hook load (Newton) at $V = 90 \text{ km/h}$
	0.53	-340*
	0.46	-315*
	0.53	±0

Εικόνα 89: Αποτέλεσμα της μορφής της ροής γύρω από ένα τρέιλερ συντελεστές οπισθέλκουσας και το φορτίο του γάντζου

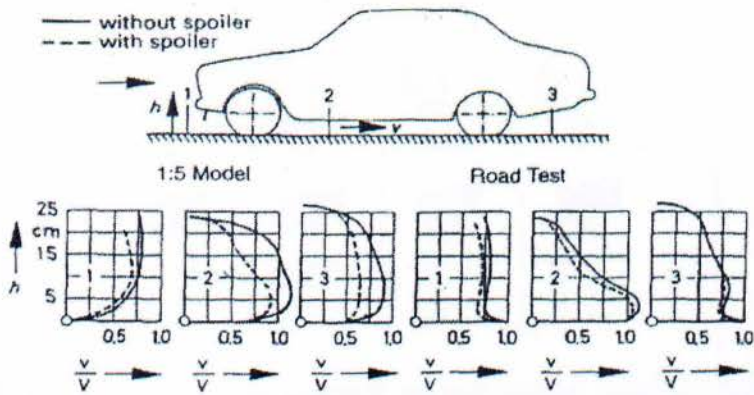
4.5. Βελτίωση της αεροδυναμικής του αυτοκινήτου με την προσθήκη εξαρτημάτων

4.5.1. Εισαγωγή

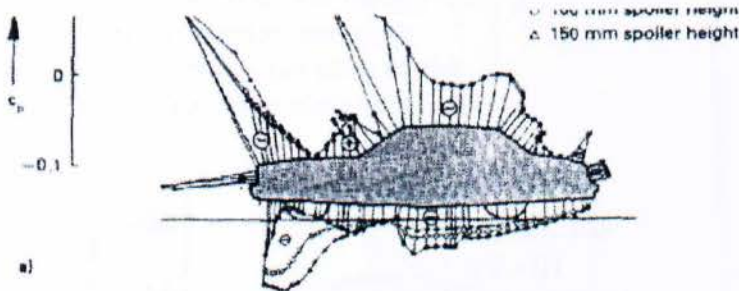
Με την χρήση διαφόρων εξαρτημάτων, όπως αεροδυναμικοί καθρέφτες, σπόιλερ μπροστά, πίσω, μαρσπιέδες, αεροτομές και άλλα παρόμοια εξαρτήματα μπορεί να γίνει εφικτή η μείωση των αεροδυναμικών συντελεστών C_D , C_L .

4.5.2. Μπροστινό σπόιλερ

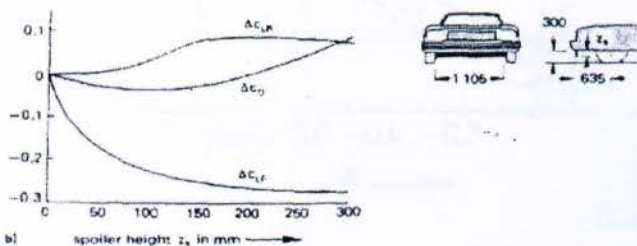
Στα παρακάτω διαγράμματα παρατηρούνται οι διάφορες εναλλαγές, με την χρήση ή χωρίς των διαφόρων εξαρτημάτων, των αεροδυναμικών συντελεστών και διαφόρων ακόμη μεγεθών.



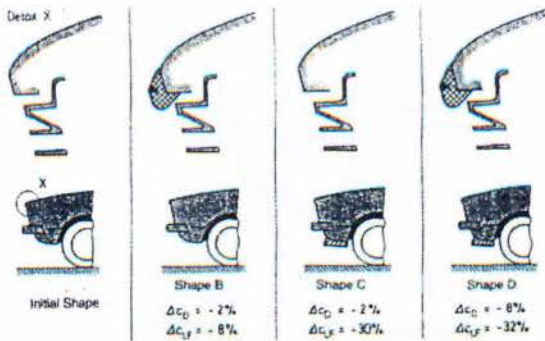
Εικόνα 90: Διανομή ταχύτητας κάτω από το αυτοκίνητο με ή χωρίς μπροστινό σπόιλερ



Εικόνα 91: Επίδραση του μπροστινού σπόιλερ ενός αυτοκινήτου στην διανομή πίεσης



Εικόνα 92: Επίδραση του μπροστινού σπόιλερ ενός αυτοκινήτου στο συντελεστή αεροδυναμικής αντίστασης C_D και στο συντελεστή αεροδυναμικής άντωσης μπροστινού και πισινού άξονα C_D & C_L



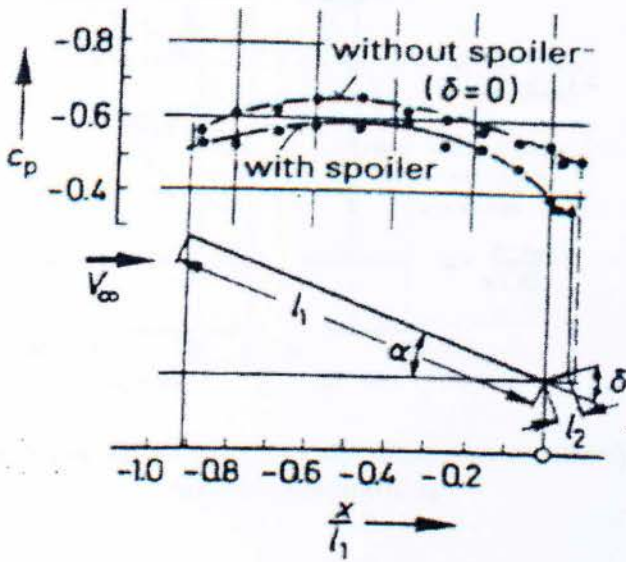
Εικόνα 93: Στο όχημα αριστερά, παρατηρείται η μεταβολή των αεροδυναμικών συντελεστών με την χρησιμοποίηση μπροστινού σπόιλερ και στρογγυλοποίηση του χείλους του καπό του αυτοκινήτου

4.5.3. Οπίσθιο σπόιλερ

Ένα οπίσθιο σπόιλερ μπορεί ακόμα να έχει τρία αποτελέσματα. Μπορεί να:

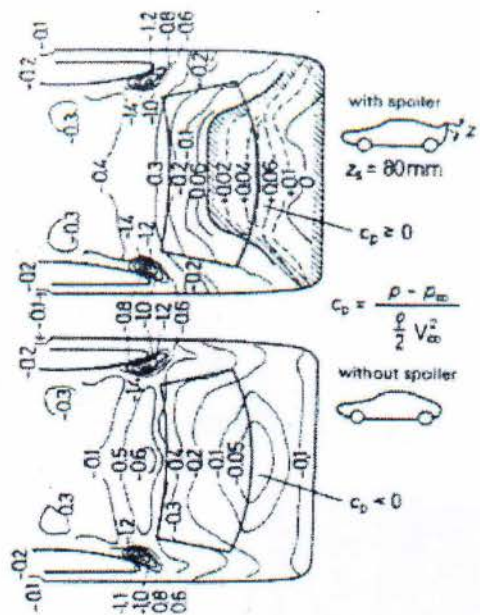
1. Ελαττώνει της αντίσταση του αέρα.
2. Ελαττώνει την άντωση του πίσω άξονα.

Ελαττώνει τις ακαθαρσίες στην πίσω επιφάνια

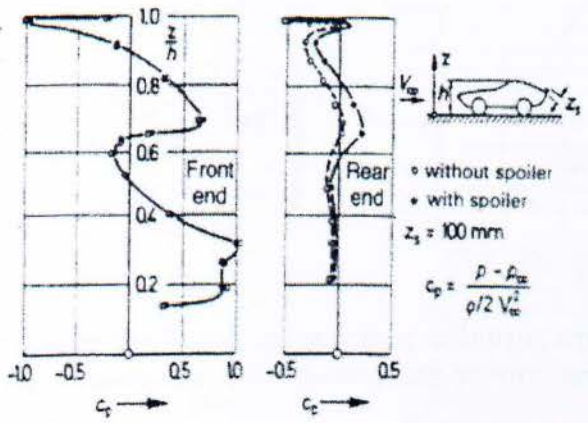


Εικόνα 94: Δυσδιάστατο πτερύγιο άντωσης σε μοντέλο προσομοίωσης για οπίσθιο σπόιλερ.

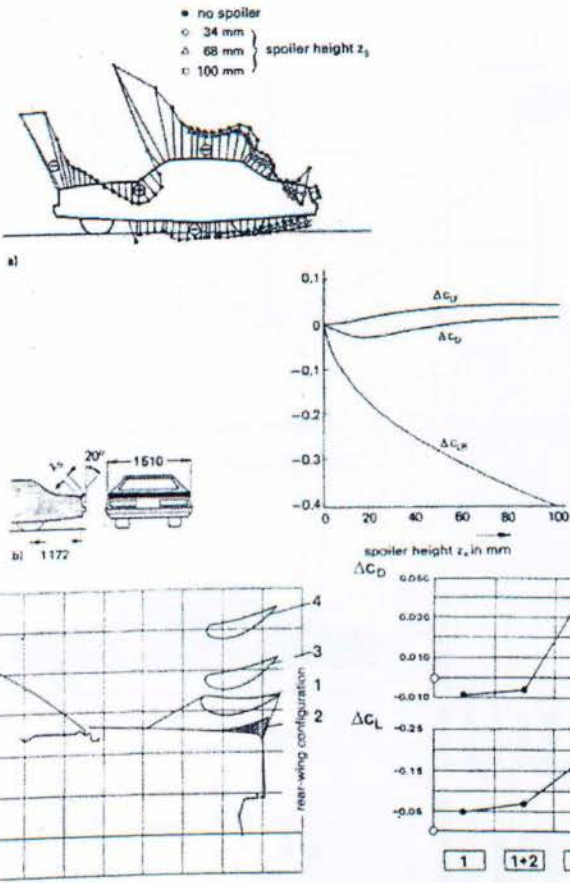
Η επίδραση του πισινού σπόιλερ είναι βασικά διαφορετική από αυτή του μπροστινού σπόιλερ. Μπορεί να συγκριθεί με την επίδραση της προεξέχουσας άκρης του πτερύγιου άντωσης ενός αεροπορικού φτερού.



Εικόνα 95: Ισοβαρές καμπύλες σε ένα Fastback αυτοκίνητο, με και χωρίς σπόιλερ

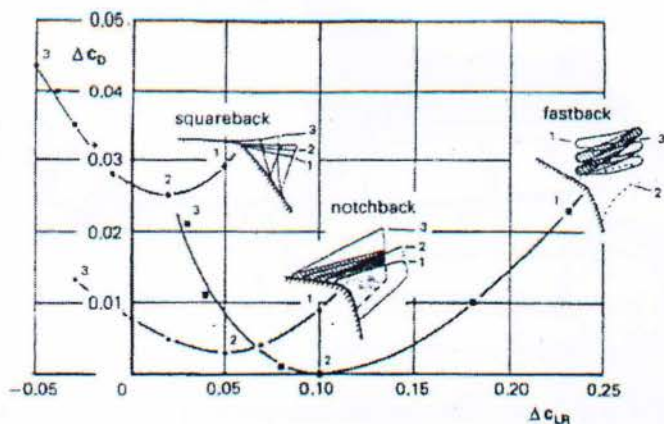


Εικόνα 96: Αύξηση της πίεσης στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου εξαιτίας του οπίσθιου σπόιλερ

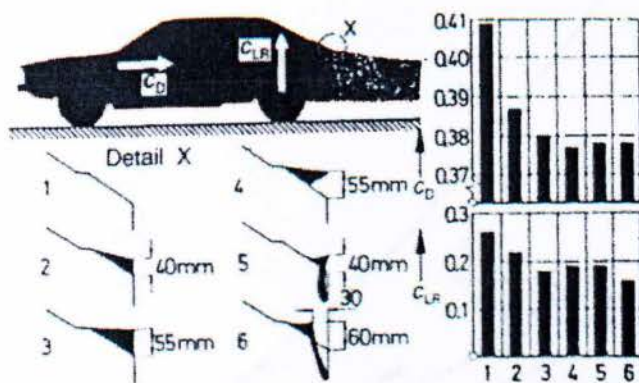


Εικόνα 97: Επίδραση του ύψους της οπίσθιας πτέρυγας στην: κατανομή πιέσεως και άντωση και οπισθέλκουσα σε σεντάν αυτοκίνητο

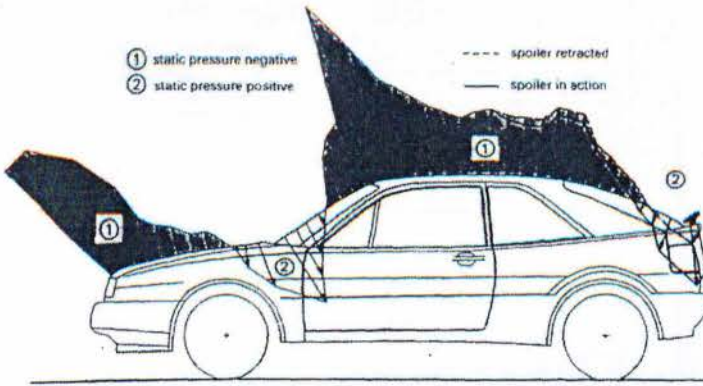
4.5.4. Ρύθμιση οπίσθιας πτέρυγας σε ένα σπορ αυτοκίνητο



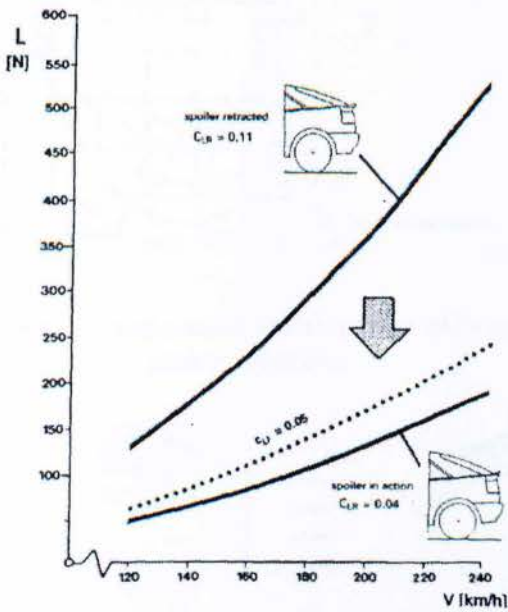
Εικόνα 98: Οπισθέλκουσα και αντωση για διάφορες ρυθμίσεις των πίσωspoiler



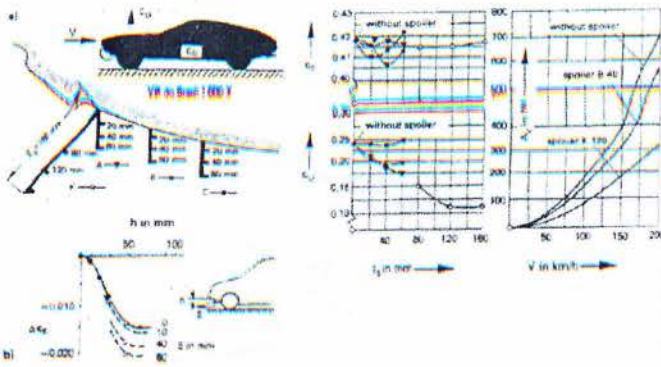
Εικόνα 99: Σχεδιαστικές εναλλακτικές λύσεις για οπίσθιο spoiler, παράδειγμα το VWscirocco



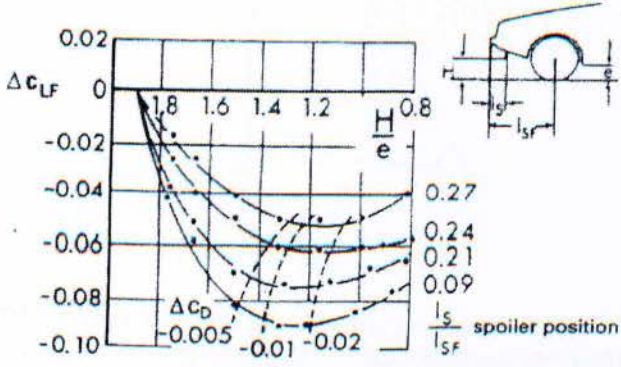
Εικόνα 100: Αλλαγή στην κατανομή πίεσης γύρω από ένα VW Corrado, με την προσθήκη πτυσσόμενης πτέρυγας



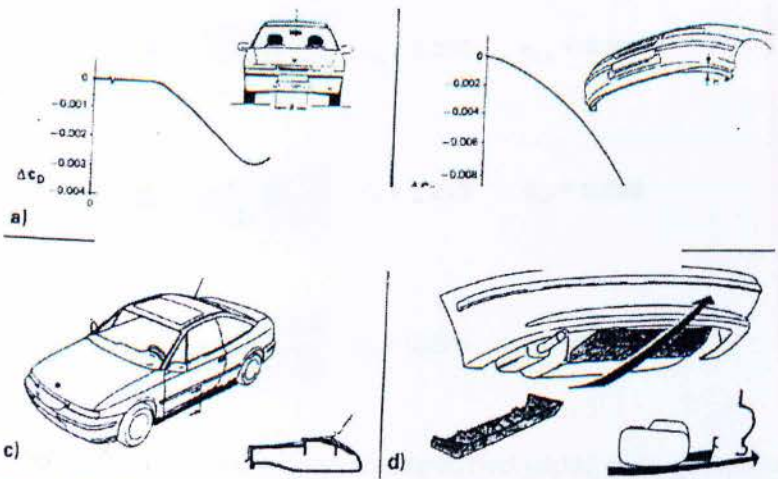
Εικόνα 101: Μείωση της άντωσης στον πίσω άξονα σε ένα VW Corrado, με την χρήση της οπίσθιας πτυσσόμενης πτέρυγας



Εικόνα 102: Δύο παραδείγματα του μπροστινού σπόιλερ βελτιστοποίησης με το στόχο την έλξη

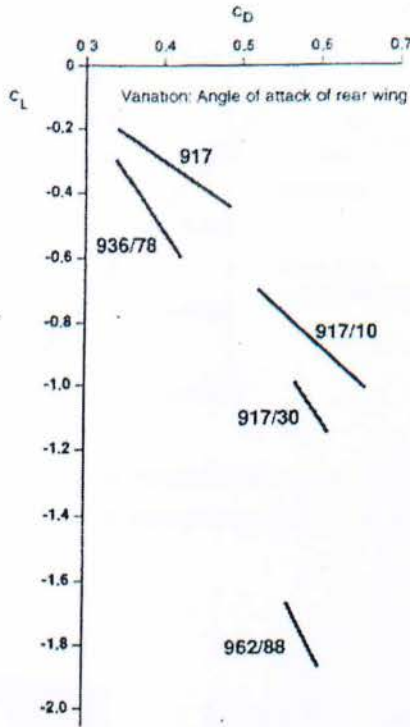


Εικόνα 103: Επίρροή του μπροστινού σπόιλερ στην έλξη και άντωση στον μπροστινό άξονα

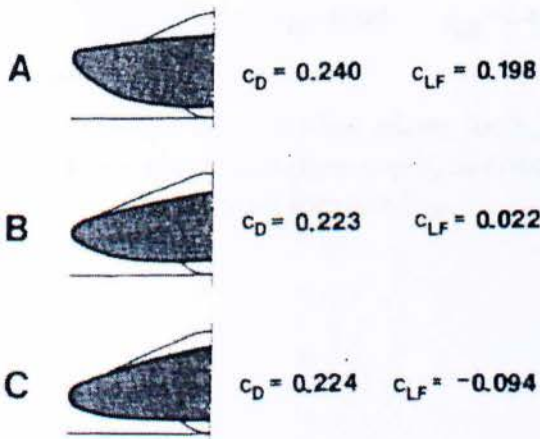


Εικόνα 104: Σχεδιασμός σπόιλερ για το Opel Calibra : α) Βέλτιστο κεντρικό διάκενο στο σπόιλερ, β) εκτεταμένο σπόιλερ «γωνιών» γ) χαμήλωμα μαρσπιεδών δ) βελτίωση του οπίσθιου διάχυτη

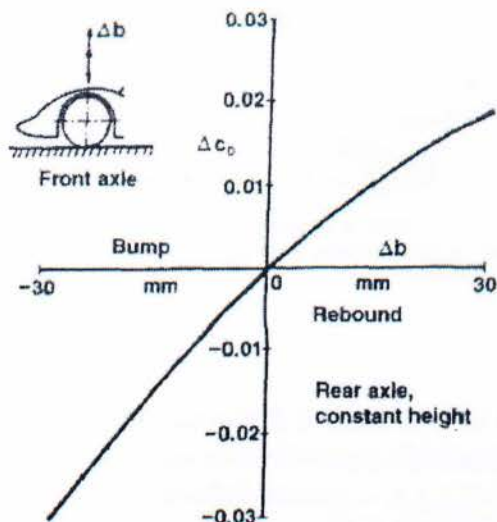
4.5.5. Αγωνιστικά αυτοκίνητα



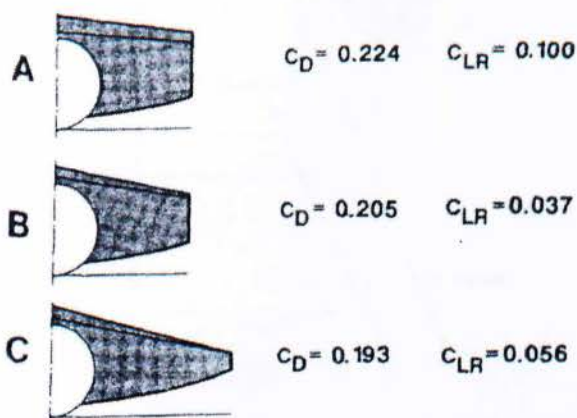
Εικόνα 105: Η απαίτηση για όλο και υψηλότερη αρνητική δύναμη άντωσης στα αγωνιστικά αυτοκίνητα έχει σαν αποτέλεσμα την συνεχή αύξηση του συντελεστή αντίστασης C_D



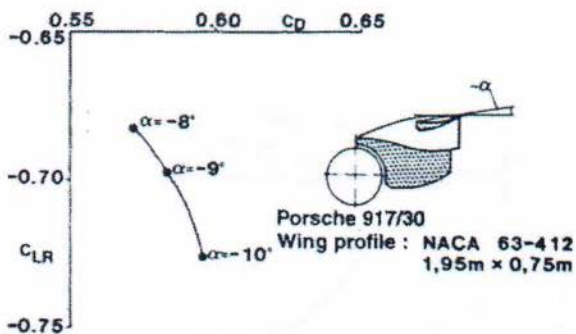
Εικόνα 106: Όσο χαμηλότερο είναι το μπροστινό μέρος τόσο χαμηλότερος ο συντελεστής άντωσης C_L στον εμπρόσθιο άξονα



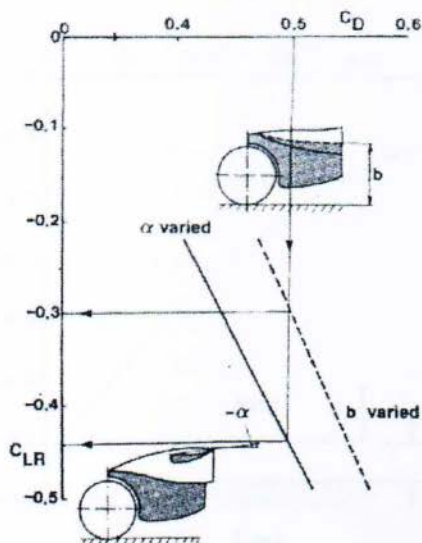
Εικόνα 107: Διακύμανση του συντελεστή αεροδυναμικής αντίστασης σε συνάρτηση με το ύψος του μπροστινού τμήματος



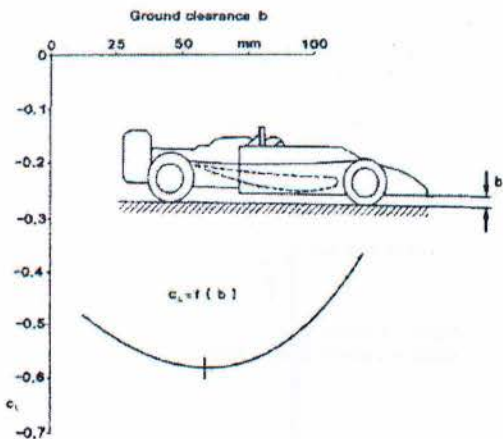
Εικόνα 108: Όσο πιο μακρύ είναι το πίσω μέρος τόσο μικρότερος είναι ο συντελεστής C_D , πίσω μέρος με σχήμα ουράς δακρύου δημιουργεί μια αρνητική άντωση C_{LR}



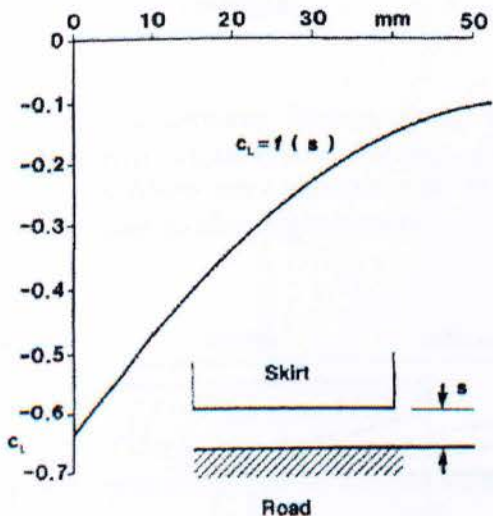
Εικόνα 109: Αυξάνοντας την αρνητική γωνία της πίσω πτέρυγας έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερη αρνητική άντωση αλλά και αύξηση της οπισθέλκουσας



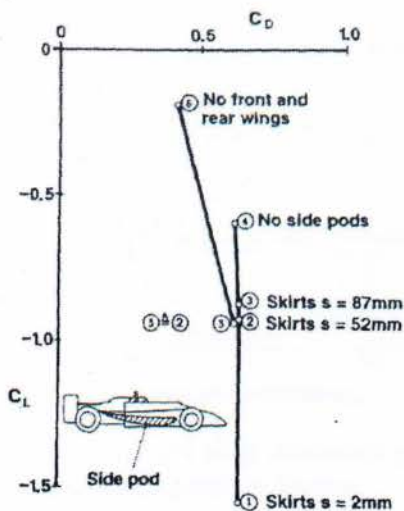
Εικόνα 110: Με δεδομένο συντελεστή αντίστασης ένα υπερυψωμένο πίσω μέρος σε συνδυασμό με μία οπίσθια πτέρυγα αποδίδει μεγαλύτερες τιμές αρνητικής άντωσης από ότι το υπερυψωμένο πίσω μέρος μόνο του



Εικόνα 111: Αρνητικός συντελεστής άντωσης σε ένα αυτοκίνητο «επίδρασης εδάφους» σε συνάρτηση με την απόσταση από το έδαφος

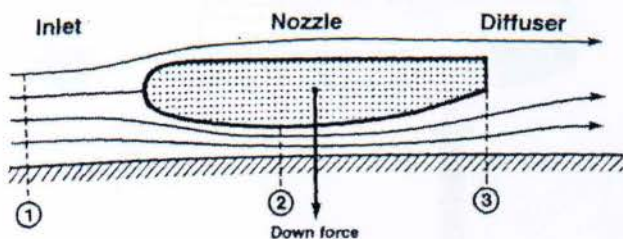


Εικόνα 112: Η αρνητική άντωση αυξάνει με την μείωση του κενού μεταξύ των πλαϊνών ποδιών και του εδάφους



Εικόνα 113: Η αρνητική άντωση αυξάνεται όσο η απόσταση από το έδαφος μειώνεται

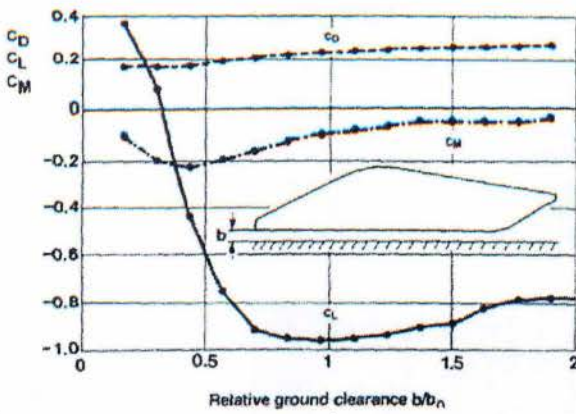
Ένα μονοθέσιο αγωνιστικό αυτοκίνητο δείχνει καθαρά ότι τα πλευρικά πτερύγια «επίδρασης εδάφους» δημιουργούν υψηλές αρνητικές δυνάμεις άντωσης χωρίς να αυξάνουν άδικα την οπισθέλκουσα. Η αρνητική άντωση αυξάνεται όσο η απόσταση από το έδαφος μειώνεται.



Εικόνα 114: Ο αέρας που ρέει κάτω από το αυτοκίνητο

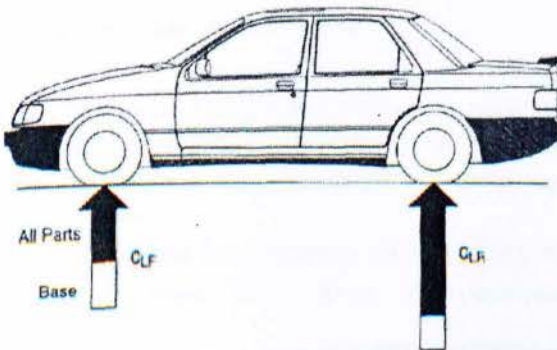
Ο αέρας που ρέει κάτω από το αυτοκίνητο σε ένα χώρο με μορφή ακροφυσίου, που σχηματίζεται από το σασί και το έδαφος, επιταχύνεται για να δημιουργήσει χαμηλή πίεση και αρνητική άντωση.

1) η ταχύτητα του αέρα αυξάνεται και η πίεση μειώνεται, 2) υψηλή ταχύτητα και χαμηλή πίεση, 3) η ταχύτητα μειώνεται και η πίεση ανακάτται.

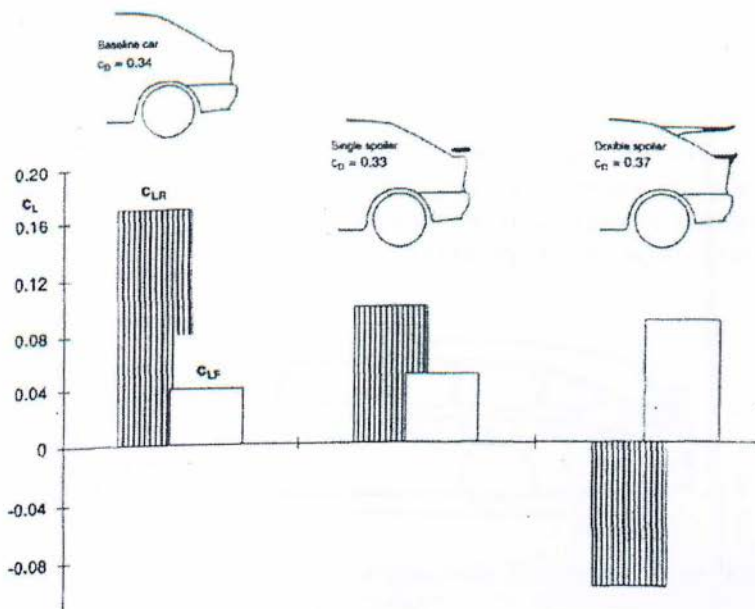


Εικόνα 115: Ο συντελεστής άντωσης μειώνεται με την αύξηση της απόστασης από το έδαφος

Ο συντελεστής άντωσης μειώνεται με την αύξηση της απόστασης από το έδαφος αλλά αρχίζει να αυξάνεται ξανά όταν φτάσει σε ένα ελάχιστο επίπεδο. Η οπισθέλκουσα αυξάνει ελάχιστα.



Εικόνα 116: Η επίδραση της αεροδυναμικής από τα πρόσθετα εξαρτήματα που τοποθετούνται σε ένα σεντάν

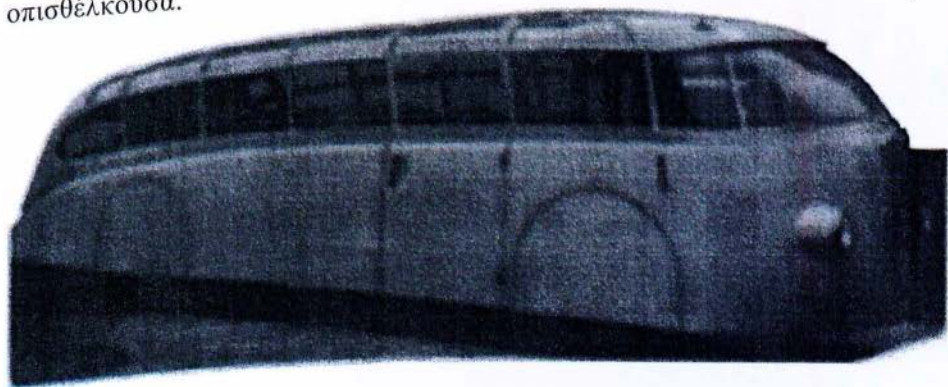


Εικόνα 117: Επίδραση από διαφορετικές οπίσθιες πτέρυγες στην άντωση σε ένα Liftback

4.5.6. Φορτηγά λεωφορεία και κατανάλωση

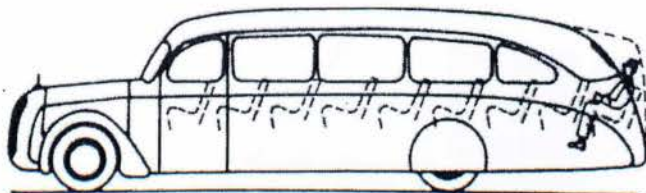
Τα πρώτα φορτηγά και λεωφορεία δεν ήταν τίποτα παραπάνω από μεγαλύτερα επιβατικά αυτοκίνητα. Μόνο μετά την παρουσίαση του λεωφορείου «Τραμ» το σχήμα των λεωφορείων κατάφερε να αποκοπεί από αυτό των αυτοκινήτων.

Το μπροστινό μέρος του λεωφορείου «Τραμ» ήταν πάρα πολύ καλά στρογγυλεμένο, περισσότερο από ήταν απαραίτητο για χαμηλή οπισθέλκουσα.



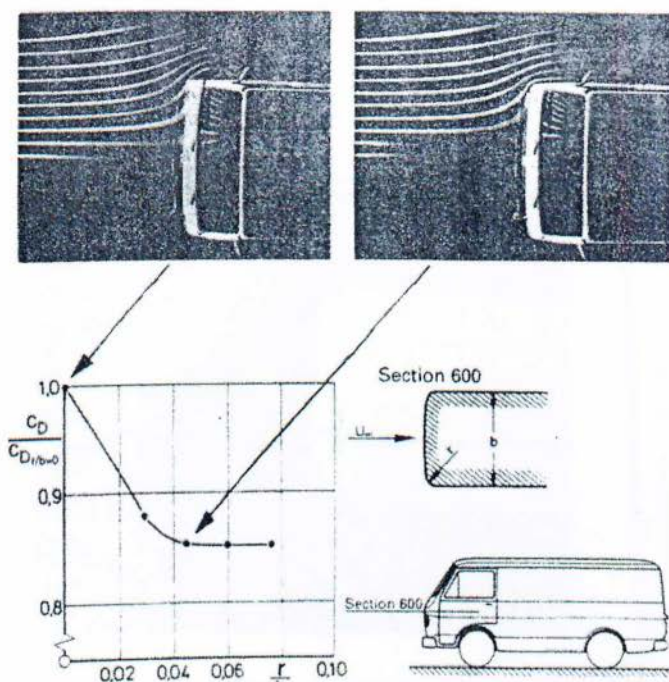
Εικόνα 118: Λεωφορείο «Τραμ» του F. Gaubsch, 1936

Το 1936 το σχέδιο του «Kamm» για το πίσω μέρος του αυτοκινήτου παρουσιάστηκε στο σχεδιασμό των λεωφορείων. Επειδή επέτρεπε την προσθήκη μίας ακόμα σειράς καθισμάτων για το ίδιο μήκος σε σύγκριση με το σχεδιασμό του «Jaray», αυτό το σχέδιο έγινε ευρέως αποδεκτό.



Εικόνα 119: Διαμόρφωση του πίσω μέρους ενός λεωφορείου κατά "Kamm" και "Jaray"

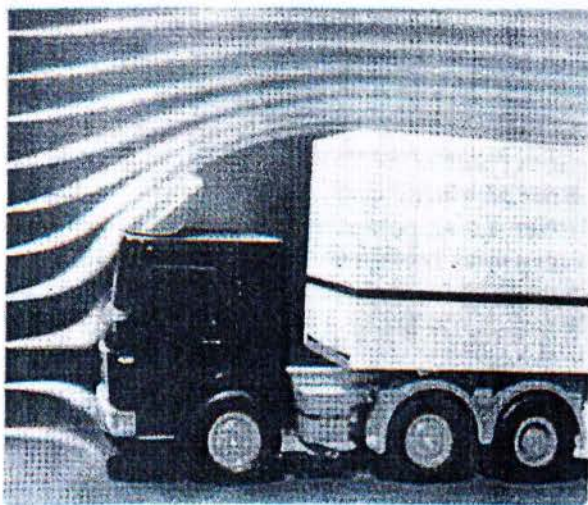
Ορόσημο στην αεροδυναμική των εμπορικών οχημάτων ήταν ο σχεδιασμός του μπροστινού μέρους του πρώτου κλειστού φορτηγού της Volkswagen από τον E Mollert το 1951. Ο σχεδιασμός που πραγματοποίησε είχε σαν αποτέλεσμα τη δραστική μείωση της οπισθέλκουσας, πράγμα που έφερε στον Mollert την αναγνώριση σε συνδυασμό με την μεγάλη θέση που κατείχε στην αγορά αυτό το φορτηγάκι. Το μπροστινό όμως τμήμα αυτού του αυτοκίνητου ήταν πολύ πιο στρογγυλεμένο από ότι χρειαζόταν για χαμηλή οπισθέλκουσα. Έτσι στη συνέχεια σχεδιάστηκε το πρώτο όχημα ελαφρού φορτίου, το Volkswagen LT (light truck). Από εκεί και πέρα η διαμόρφωση της μπροστινής καμπυλότητας έγινε δεδομένη για τα λεωφορεία και τα φορτηγά.



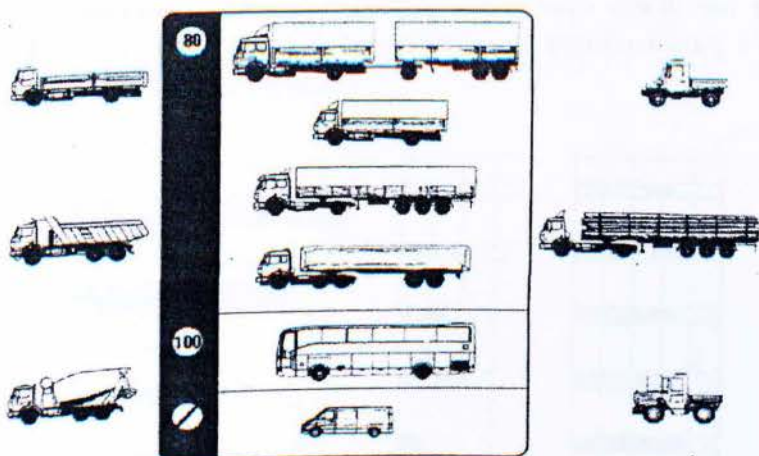
Εικόνα 120: Λεπτομέρεια διαμόρφωσης του VWLT 1

Το επόμενο βήμα στην βελτίωση της αεροδυναμικής των φορτηγών ήταν η εφεύρεση της αεροτομής της καμπίνας. Το πόσο καλά μπορεί μια τέτοια αεροτομή να οδηγήσει τη ροή στον ανοιχτό χώρο πάνω από το κενό της καμπίνας με την καρότσα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Η ευκολία με την οποία μπορεί να τοποθετηθεί μια τέτοια αεροτομή σε ένα όχημα αύξησε την ευρεία χρήση της στα φορτηγά καθημερινής χρήσης.

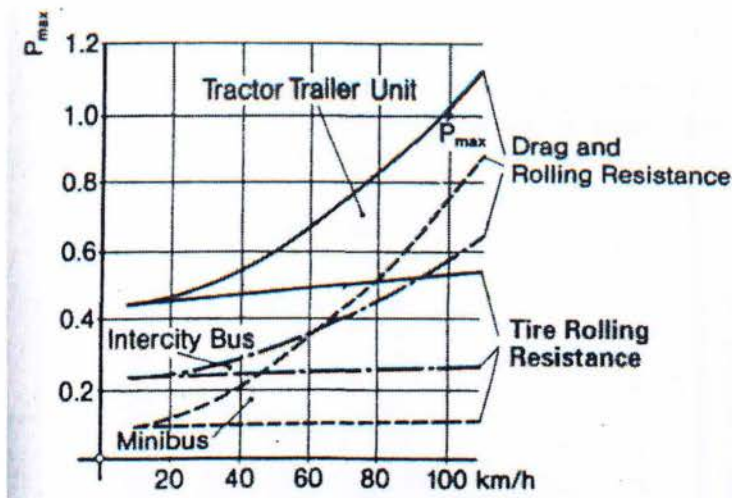
Ο σκοπός βέβαια που οι σχεδιαστές εμπορικών οχημάτων μελέτησαν την αεροδυναμική απόδοση φορτηγών και λεωφορείων είναι η ελάττωση της κατανάλωσης καυσίμων, εφόσον οι τιμές τους - αυξάνονται συνεχώς και οι μεταφορές πρέπει να γίνονται με τον οικονομικότερο τρόπο. Βέβαια η μελέτη της αεροδυναμικής αφορά μόνο ορισμένους τύπους οχημάτων όπως τα μεγάλα φορτηγά μεταφορών, τα τουριστικά λεωφορεία και τα φορτηγάκια μεταφορών.



Εικόνα 121:Ροή με τη χρήση αεροτομής στην καμπίνα ενός τράκτορα MAN

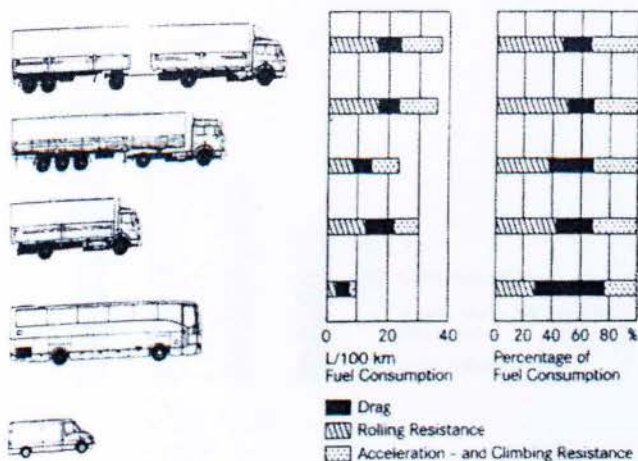


Εικόνα 122:Εμπορικά οχήματα και τα όρια ταχυτήτων τους που ισχύουν στη Γερμανία



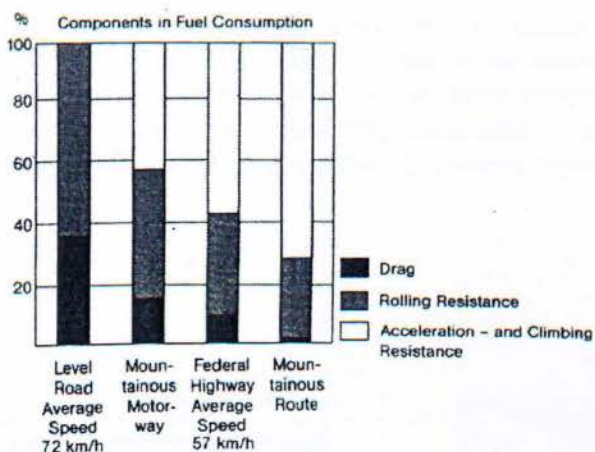
Εικόνα 123: Οι συνιστώσες της ελκτικής αντίστασης

Η οικονομία καυσίμου μέσα από την αεροδυναμική πρέπει να μελετηθεί με βάση τα διάφορα στοιχεία της αντίστασης ενός οχήματος, που είναι η αντίσταση κύλισης, η αντίσταση του αέρα και η αντίσταση αναρρίχησης. Για σταθερή ταχύτητα και επίπεδο δρόμο, η αντίσταση κύλισης συνήθως υπερβαίνει την αντίσταση του αέρα. Ακόμα και με μέτρια ταχύτητα συμβαίνει το ίδιο με εξαίρεση τα μικρά φορτηγά. Παρόλο βέβαια το μικρότερο ποσοστό που κατέχει η αεροδυναμική αντίσταση, δεν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα αφού για παράδειγμα για ένα φορτηγό με συρόμενο 40 τόνων η αεροδυναμική αντίσταση καταναλώνει ισχύ 40kW για ταχύτητα 80km/h. Έτσι είτε απόλυτα είτε σε ποσοστό, η αεροδυναμική αντίσταση είναι σημαντική σε όλα τα οχήματα.



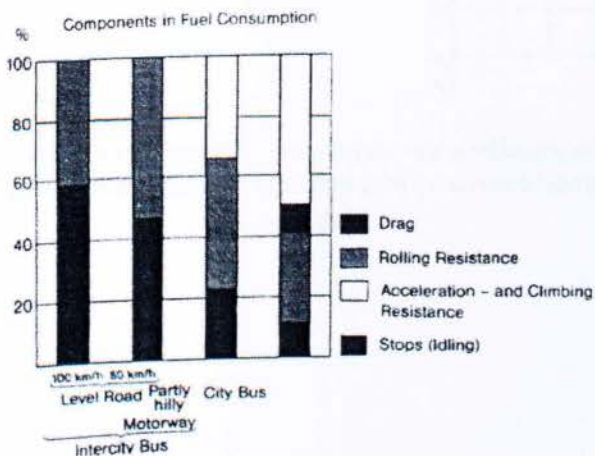
Εικόνα 124: Εκατοστιαία κατανάλωση καυσίμου διαφόρων οχημάτων σε σχέση με το είδος αντίστασης

Παρακάτω η εικόνα δείχνει ότι η αεροδυναμική αντίσταση κυμαίνεται από 2.5% μέχρι 35% ανάλογα με την ταχύτητα και το προφίλ του δρόμου σε ένα φορτηγό ημι-συρόμενο 40 τόνων.



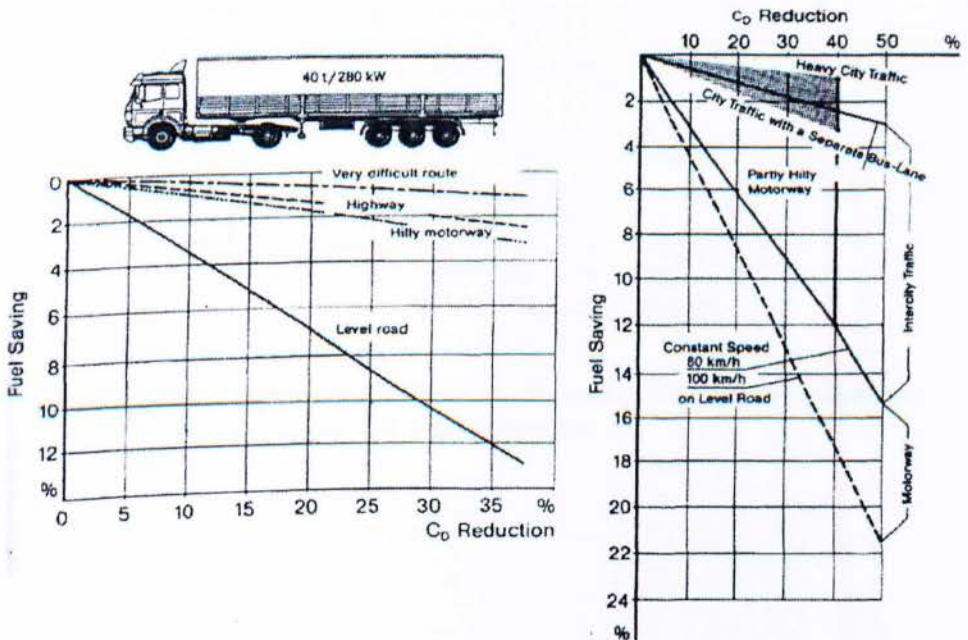
Εικόνα 125: Κατανάλωση καυσίμου σε φορτηγό 40 τόνων για διάφορες διαδρομές

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι ίδιες συνιστώσες της αντίστασης σε ένα λεωφορείο. Η δοκιμή στα 100 km/h δείχνει ότι η αεροδυναμική αντίσταση κυριαρχεί σε επίπεδο δρόμο, ενώ σε χαμηλές ταχύτητες πόλης τον κύριο λόγο παίζει η αντίσταση επιτάχυνσης.

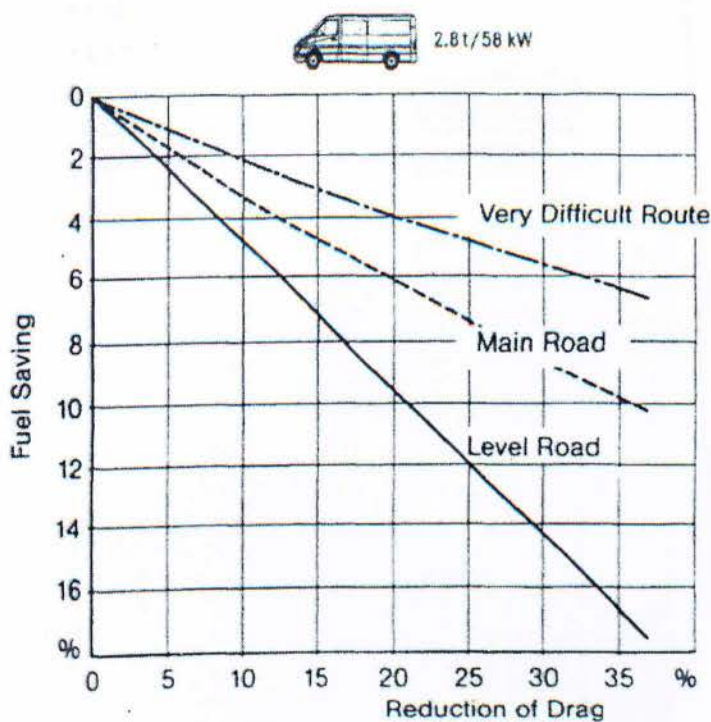


Εικόνα 126: Κατανάλωση καυσίμου για τις συνιστώσες της αντίστασης για λεωφορείο

Η επίδραση της μείωσης της οπισθέλκουσας στην κατανάλωση καυσίμου μπορεί να γίνει καλύτερα αντιληπτή με τυπικά οχήματα σε τυπικές συνθήκες οδήγησης όπως δείχνει η παρακάτω εικόνα. Η μείωση στην κατανάλωση σε λεωφορείο είναι μέτρια στην κίνηση της πόλης δεδομένου του ότι η κίνηση σε ξεχωριστές λεωφορείο - λωρίδες δίνουν σαφές πλεονέκτημα. Τα μικρά φορτηγάκια εξαρτώνται λιγότερο από τον καθορισμό διαδρομής.

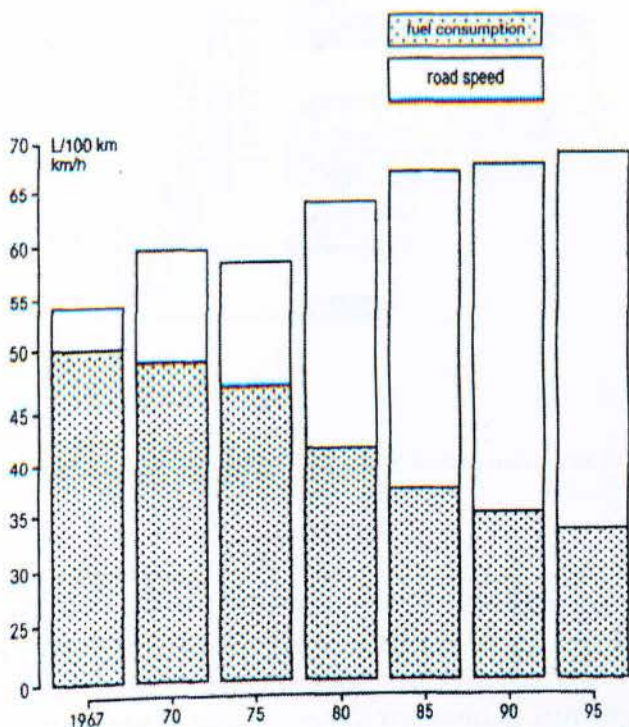


Εικόνα 127: Επίδραση της οπισθέλκουσας στην κατανάλωση ενός φορτηγού 40 τόνων και Επίδραση της οπισθέλκουσας στην κατανάλωση καυσίμου σε λεωφορεία



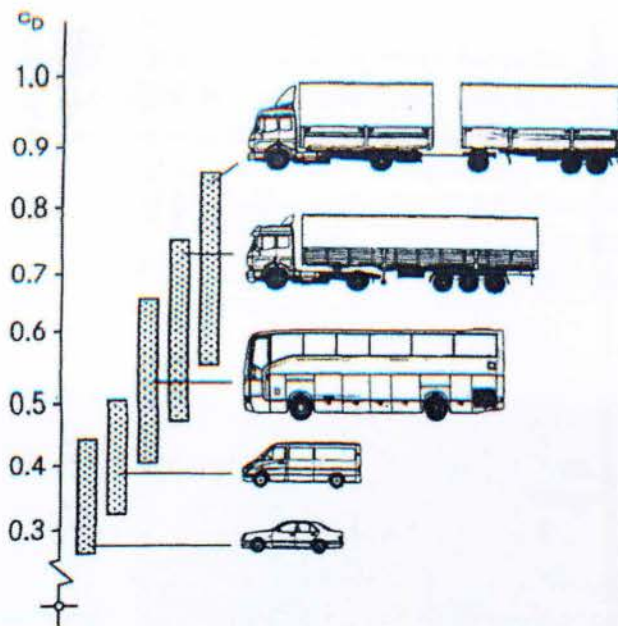
Εικόνα 128: Επίδραση της οπισθέλκουσας στην κατανάλωση καυσίμου για μικρά φορτηγά

Τα εμπορικά οχήματα σήμερα είναι πολύ πιο οικονομικά όπως δείχνει και η παρακάτω εικόνα. Τα λεωφορεία σήμερα καταναλώνουν 20% λιγότερο καύσιμο από ότι πριν 20 χρόνια και τα μεγάλα φορτηγά μέχρι και 35% λιγότερο.



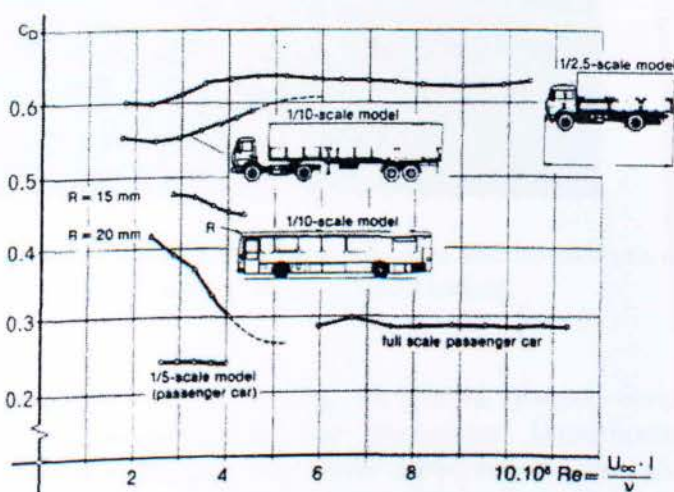
Εικόνα 129: Κατανάλωση καυσίμου και μέση ταχύτητα σε μια ιδανική πορεία για ένα φορτηγό 40 τόνων

Λόγω των πολλών διαφορετικών σχημάτων και μεγεθών τους, τα φορτηγά έχουν μεγαλύτερο εύρος διακύμανσης του συντελεστή αεροδυναμικής αντίστασης. Τα λεωφορεία έχουν συντελεστή περίπου μιάμιση φορά μεγαλύτερο από τα επιβατικά αυτοκίνητα και τα φορτηγά περίπου δύο φορές. Μόνο τα μικρά φορτηγά πλησιάζουν τους συντελεστές των επιβατικών αυτοκινήτων.



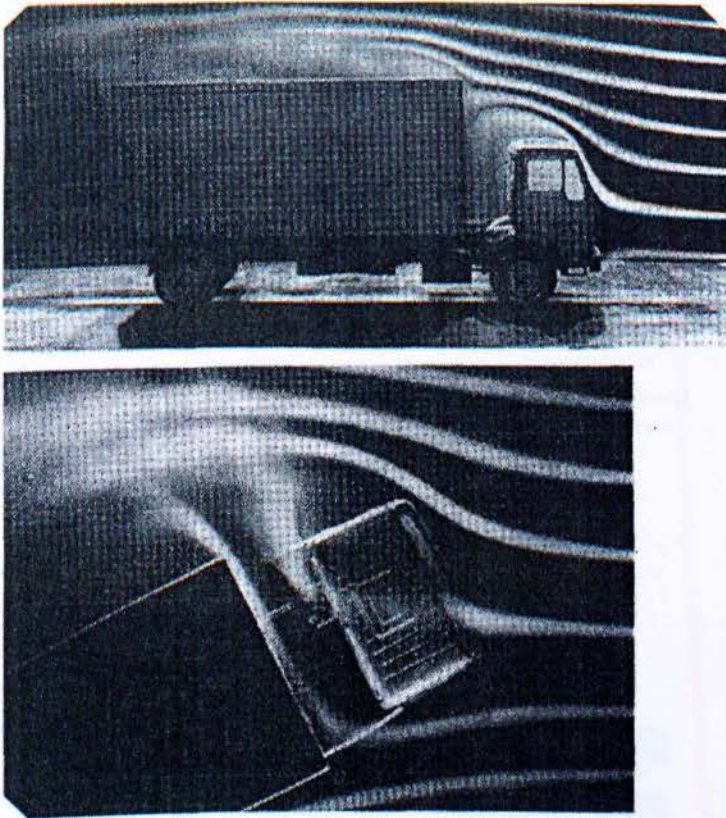
Εικόνα 130: Συντελεστής αεροδυναμικής αντίστασης για διάφορα εμπορικά οχήματα

Οι μετρήσεις που γίνονται σε μοντέλα φορτηγών υπό κλίμακα, έχουν απόκλιση από την πραγματικότητα επειδή ο αριθμός Reynoldstou αέρα είναι μικρότερος από αυτών της πραγματικής ροής. Έτσι στις μετρήσεις στα σημεία αποκόλλησης της ροής η στα σημεία μετάβασης της από στρωτή σε τυρβώδη.



Εικόνα 131: Επίδραση του αριθμού Reynolds στην οπισθέλκουσα

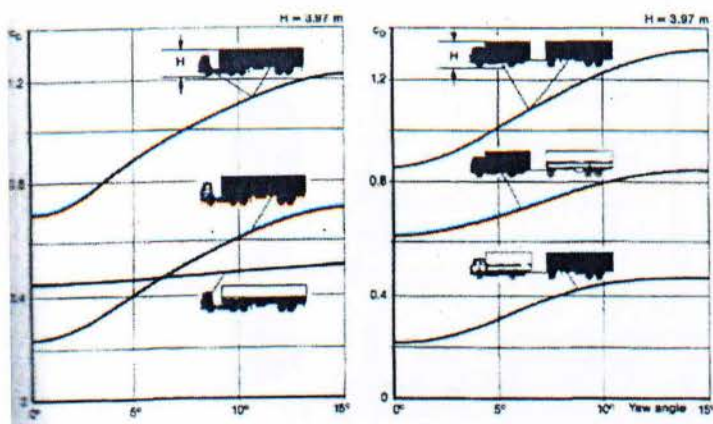
Αυτή η επίδραση της κλίμακας στον αριθμό Reynolds φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Αξιόπιστα αποτελέσματα παίρνονται με μοντέλα κλίμακας 1:2.5, μέγεθος που επιτρέπει την κατασκευή λεπτομερειών. Αν μελετηθεί το πεδίο ροής των πιο συνηθισμένων φορτηγών και συνδυασμών φορτηγών και τρέιλερ, τότε εξάγεται έντονη επίδραση της καμπίνας με την καρότσα. Το κενό s μεταξύ της καμπίνας και της καρότσας και το ύψος h της καρότσας πάνω από την καμπίνα αποτελούν ουσιώδεις παράγοντες σε αυτή την αλληλεπίδραση.



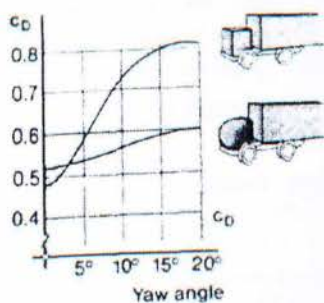
Εικόνα 132: Χαρακτηριστική ροή γύρω από αυτοκίνητο με πλάγιο άνεμο 0 και 30 μίρες

Ο συντελεστής αεροδυναμικής αντίστασης μπορεί διαιρεθεί στη συνιστώσα του ελκυστήρα και του συρομένου. Παρατηρείται ότι η οπισθέλκουσα του ελκυστήρα όταν είναι μόνος της, δεν επηρεάζεται από την κλίση του ανέμου. Αντιθέτως στο φορτηγό και το συρόμενο καθώς και στο συνδυασμό τους, η οπισθέλκουσα αυξάνεται με τον πλάγιο άνεμο. Στο συνδυασμό ελκυστήρα - συρομένου η αεροδυναμική αντίσταση είναι

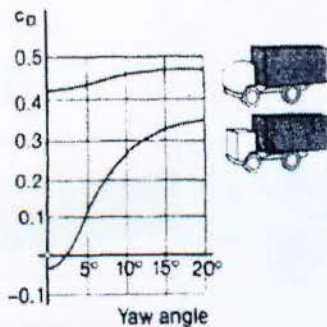
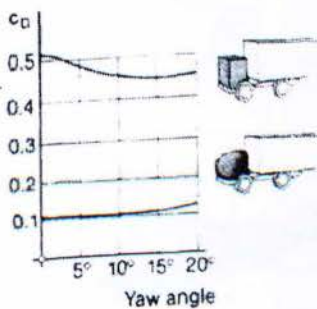
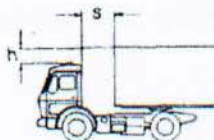
περίπου η ίδια για αιχμηρή ή στρογγυλεμένη καμπίνα για ίδιες διαστάσεις. Αν παρατηρηθεί όμως η μερική ροή τηςσυμπεραίνεται ότι η αιχμηρή καμπίνα μπροστά από την καρότσα λειτουργεί σαν ασπίδα δημιουργώντας όλη την οπισθέλκουσα μόνη της.



Εικόνα 133:Μερική οπισθέλκουσα ελκυστήρα - ημι-συρομένου και φορτηγού – συρόμενου

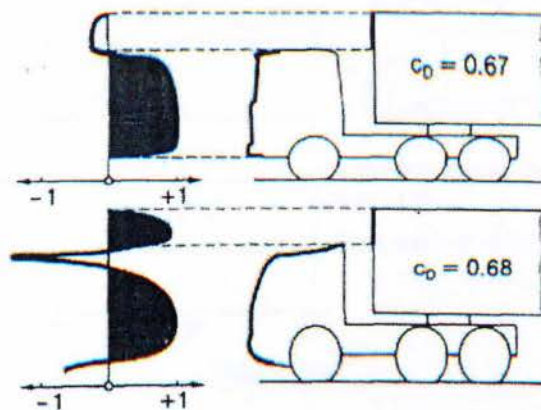


Υψος από την καμπίνα $h=1.1$
Κενό μεταξύ καμπίνας και καρότσας $s = 0.7$



Εικόνα 134:Επίδραση τον σχήματος της καμπίνας στη μερική οπισθέλκουσα της καμπίνας και της καρότσας

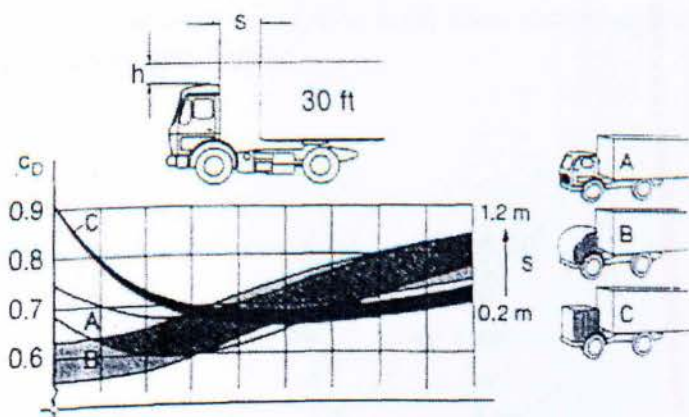
Επίδραση του σχήματος της καμπίνας στη μερική οπισθέλκουσα της καμπίνας και της καρότσας. Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται η κατανομή της πίεσης στο μέσο επίπεδο της καμπίνας και η επίδραση της συνολικής οπισθέλκουσας.



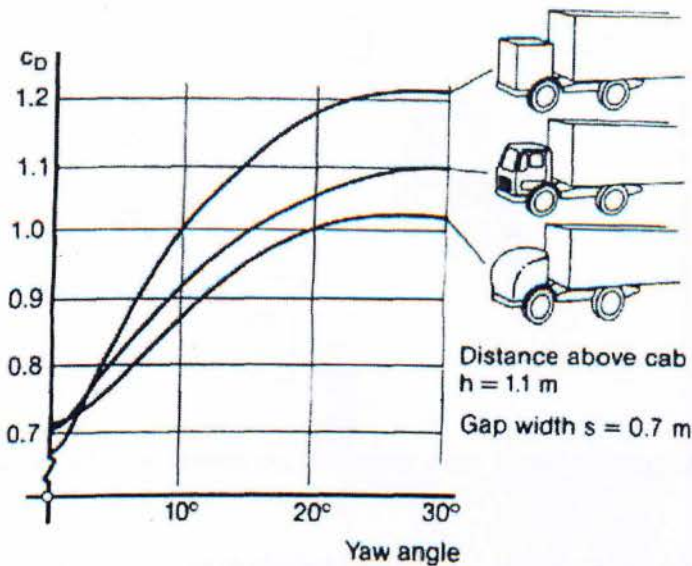
Εικόνα 135: Παρέμβαση στη ροή της καμπίνας

Διαφοροποιώντας το κενό καμπίνας - καρότσας και το ύψος της καρότσας από την καμπίνα, ο Gotzέκανε μετρήσεις και κατέληξε στα αποτελέσματα της ακόλουθης εικόνας. Οι μελέτη που έκανε βέβαια αναφερόταν σε μετωπική ροή του αέρα.

Όταν ο αέρας πέφτει πάνω στο φορτηγό υπό γωνία τα πράγματα αλλάζουν.



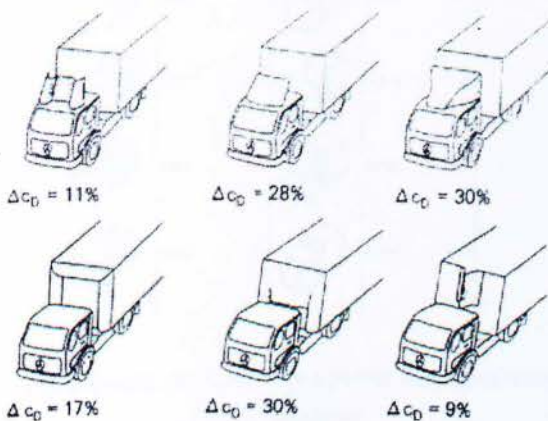
Εικόνα 136: Επίδραση του σχήματος της καμπίνας στο συντελεστή αεροδυναμικής αντίστασης για διάφορες τιμές των s και h



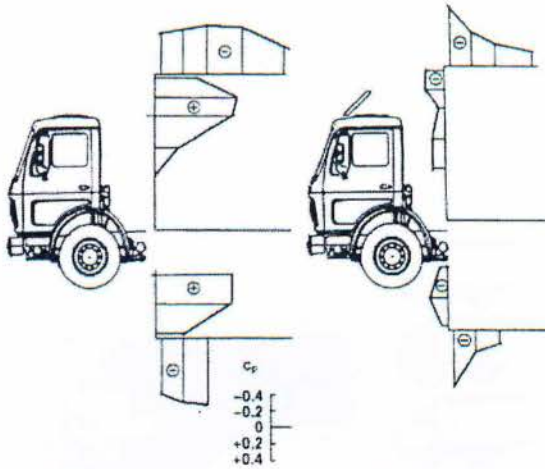
Εικόνα 137: Επίδραση του σχήματος της καμπίνας σε πλάγιοάνεμο

Επειδή οι ελκυστήρες συνεργάζονται με πολλά διαφορετικά συρόμενα, η καλή αεροδυναμική τους δεν εξασφαλίζει και τη συνολική χαμηλή οπισθέλκουσα. Για να μειωθεί η αεροδυναμική αντίσταση στα μεγάλα φορτηγά έχει αναπτυχθεί μια ολόκληρη γκάμα από προστιθέμενες συσκευές. Οι προσθήκες ανακλαστήρων αέρα εμπρός και στα πλάγια όπως και οι πτέρυγες της οροφής έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές. Η κατανομή της πίεσης στο μέσο επίπεδο του φορτηγού δείχνει την επίδραση μίας τέτοιας πτέρυγας.

Η ροή γύρω από ένα τμήμα πτέρυγας περιορισμένων διαστάσεων είναι τρισδιάστατη. Ιδιαίτερα δε όταν η πτέρυγα αυτή είναι τοποθετημένη σε γωνία 90° και πολύ κοντά στα έδαφος.



Εικόνα 138: Μείωση της οπισθέλκουσας με τη χρήση συσκευών στην οροφή του φορτηγού.



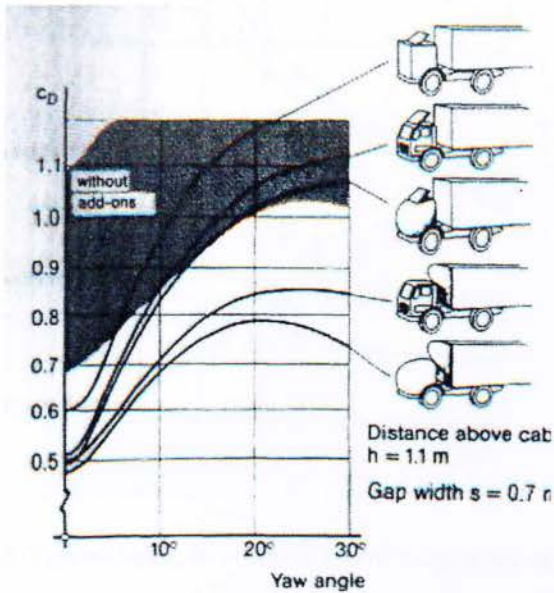
Εικόνα 139:Επίδραση της πτέρυγας στην κατανομή της πίεσης

Παρόμοιες μελέτες διεξήχθησαν και για συνδυασμό τράκτορα - επικαθήμενου με ραβδωτό κοντέινερ. Σε αυτή την περίπτωση οι διάφορες πτέρυγες στην καμπίνα είχαν την ίδια περίπου απόδοση. Περισσότερη βελτίωση μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τα λεία τοιχώματα, όπως ήταν αναμενόμενο. Για φορτηγά με αιχμηρές γωνίες ο ανακλαστήρας στην οροφή της καμπίνας μπορεί να μειώσει το συντελεστή της αεροδυναμικής αντίστασης κατά 10% περίπου, ενώ για φορτηγά χαμηλής οπισθέλκουσας περίπου 30%.

	C_D	C_D Reduction %		C_D	C_D Reduction %
	0.663			0.656	24
	0.663	23.2		0.629	27.1
	0.680	23.5		0.670	4.2
	0.657	23.8		0.673	22
	0.658	27.6		0.588	34.1
	0.680	21		0.608	29.4

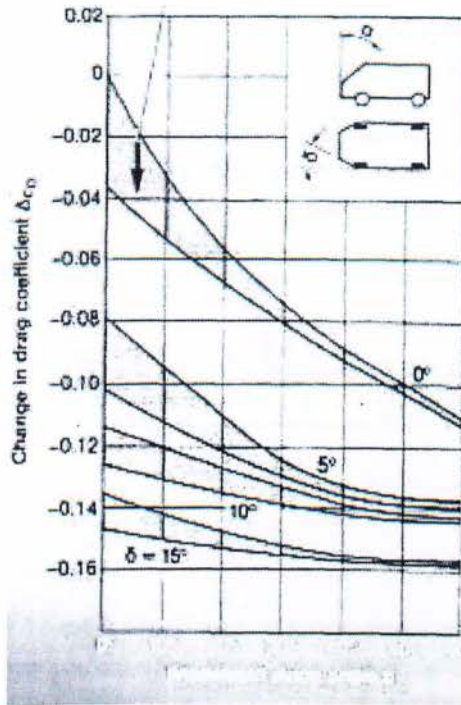
Εικόνα 140:Διαμόρφωση με προσθήκες στην καμπίνα και λεπτομέρειες στην καρότσα

Αυτοί οι συνδυασμοί φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



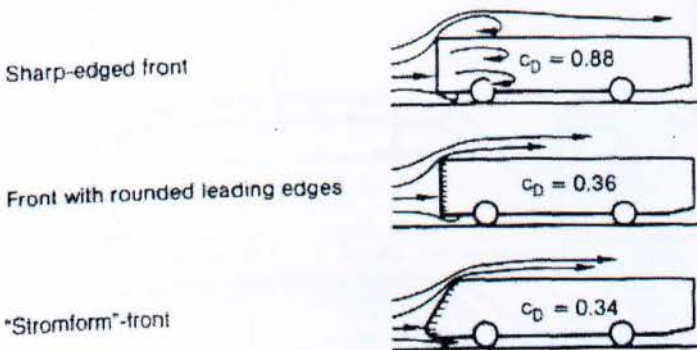
Εικόνα 141:Μείωση της οπισθέλκουσας με πλάγιο άνεμο και τη χρήση βοηθημάτων

Στα μικρά φορτηγά η βελτίωση του εμπρόσθιου τμήματος περιορίζεται στη διαμόρφωση του ίδιου του αυτοκινήτου. Η διαμόρφωση αυτή γίνεται κατά το σχεδιασμό.



Εικόνα 142: Σχεδιασμός του μπροστινού τμήματος των λεωφορείων

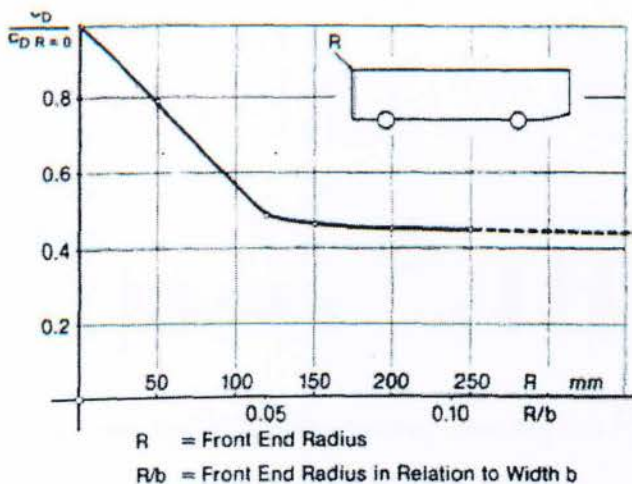
Ανάλογος είναι και ο σχεδιασμός του μπροστινού τμήματος των λεωφορείων:



Εικόνα 143: Σχέση μεταξύ μπροστινής διαμόρφωσης και συντελεστή C_D

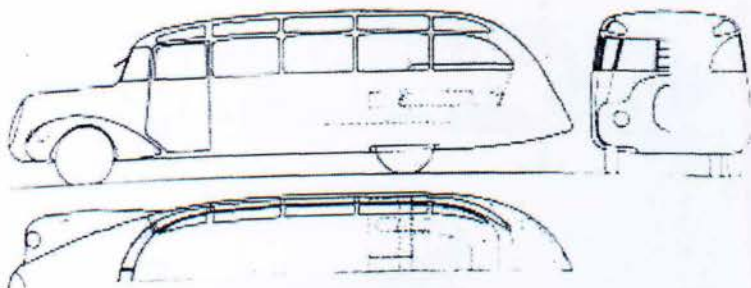
Στη δεύτερη περίπτωση μπορεί να μελετηθεί ακριβέστερα η επίδραση της γωνίας καμπυλότητας στο εμπρόσθιο τμήμα του λεωφορείου.

Το πίσω μέρος φορτηγών και λεωφορείων δεν θα πρέπει να περιορίζει τον ωφέλιμο εσωτερικό χώρο. Έτσι οι περιορισμοί στη σχεδίαση των σύγχρονων φορτηγών και λεωφορείων.



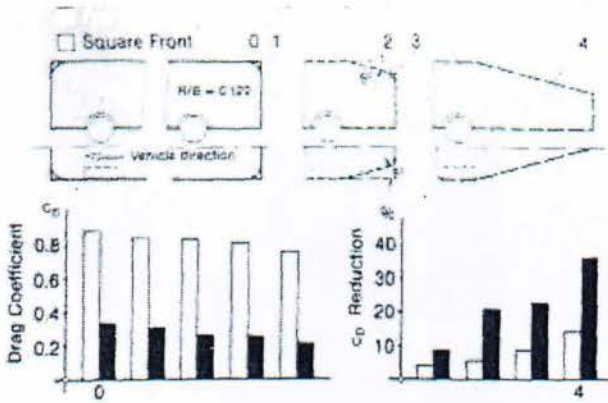
Εικόνα 144: Επίδραση της εμπρόσθιας καμπυλότητας στην οπισθέλκουσα

Τα σχέδια των λεωφορείων της δεκαετίας του '30 που βασίζονταν στα αεροδυναμικά σχέδια του Jaray και του Kammden συμβαδίζουν με τις σύγχρονες απαιτήσεις άνεσης και λειτουργικότητας.



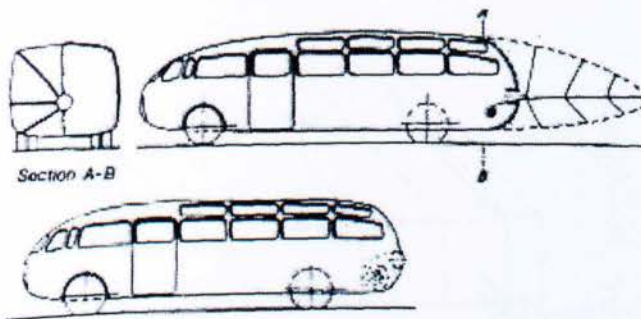
Εικόνα 145: Το σχέδια του Jaray για το πίσω μέρος του λεωφορείου

Για το σχεδιασμό του οπίσθιου άκρου των φορτηγών και λεωφορείων πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν και η διαμόρφωση του εμπρόσθιου τμήματος. Γιατί δεν θα μπορέσει να μας δώσει καμία βελτίωση στην αεροδυναμική, αν η ροή αποκολλάται πολύ νωρίς.



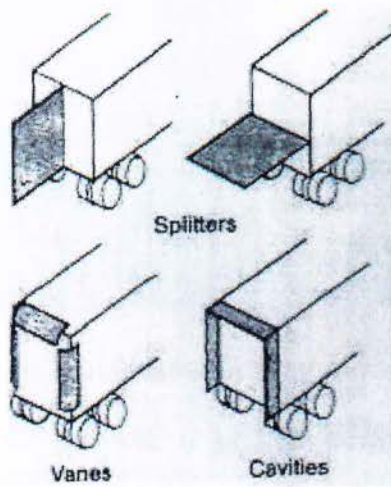
Εικόνα 146: Επίδραση της οπίσθιας διαμόρφωσης στην οπισθέλκουσα

Ένα σημαντικό ποσοστό κέρδους 14-35% μπορεί να υπάρξει στην αεροδυναμική με τη χρήση της ουράς τύπου βάρκας. Αυτή όμως η λύση είναι πρακτικά ασύμφορη γιατί μειώνει κατά πολύ την ωφέλιμη χωρητικότητα του οχήματος. Ίσως μια πιθανή λύση να ήταν η μελέτη της πρότασης του '30 για τη χρήση μίας πτυσσόμενης ουράς, η οποία εκτείνεται και φουσκώνει στις μεγάλες ταχύτητες και τυλίγεται πάλι μόλις η ταχύτητα πέσει.



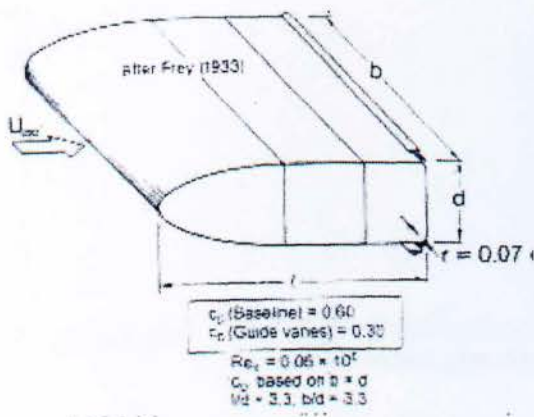
Εικόνα 147: Πτυσσόμενη ουρά για λεωφορείο

Τέλος, εκτός από τις σχεδιαστικές παρεμβάσεις, μια άλλη μέθοδος για τη βελτίωση της αεροδυναμικής είναι η προσθήκη βοηθητικών συσκευών, με σκοπό τη μείωση της πίεσης. Η προσθήκη κάθετων ή οριζόντιων επίπεδων πτερυγίων στην πίσω επιφάνεια του οχήματος, αποδείχτηκε ελάχιστα αποτελεσματική.



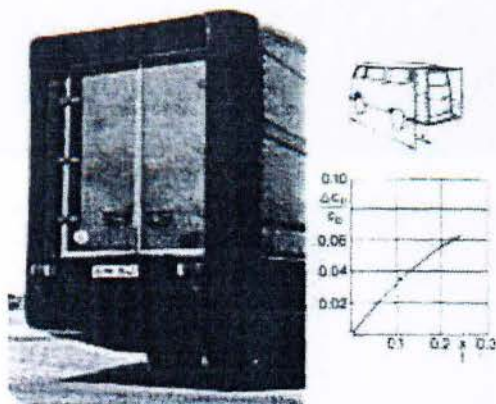
Εικόνα 148:Συσκευές διαμόρφωσης ροής στη βάση της καρότσας

Μια άλλη μέθοδος ήταν η προσθήκη οδών πτερυγίων στις πίσω γωνίες του σώματος. Η πρόσθετη όμως οπισθέλκουσα αυτών των πτερυγίων ήταν μεγαλύτερη από τη μείωση που δημιουργούσαν λόγω πτώσης της πίεσης.



Εικόνα 149:Μείωση της οπισθέλκουσας με τη χρήση οδηγών πτερυγίων

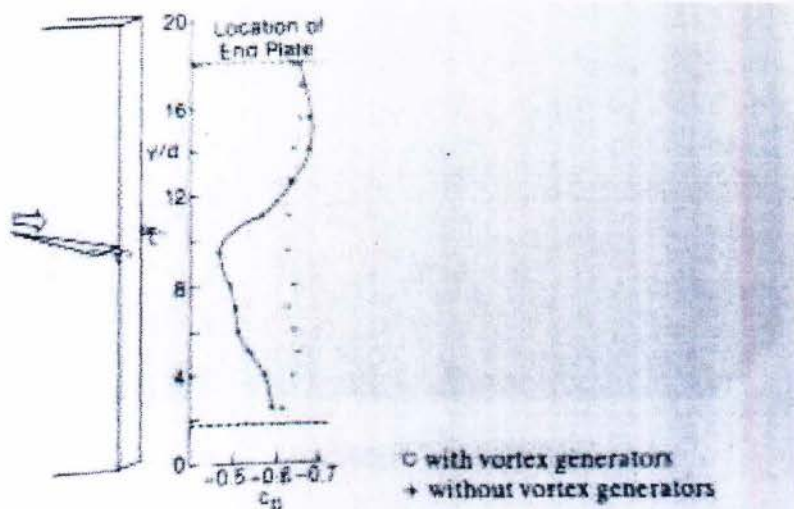
Η μόνη μείωση που μπορεί να επιτευχθεί είναι με την προσθήκη κλειστών κοιλοτήτων. Η καλύτερη γεωμετρία με βάθος κοιλότητας 1.3d, μειώνει το συντελεστή αεροδυναμικής αντίστασης κατά 5%. Τέτοιες προσθήκες εφαρμόζονται σε μεγάλα και μικρά φορτηγά.



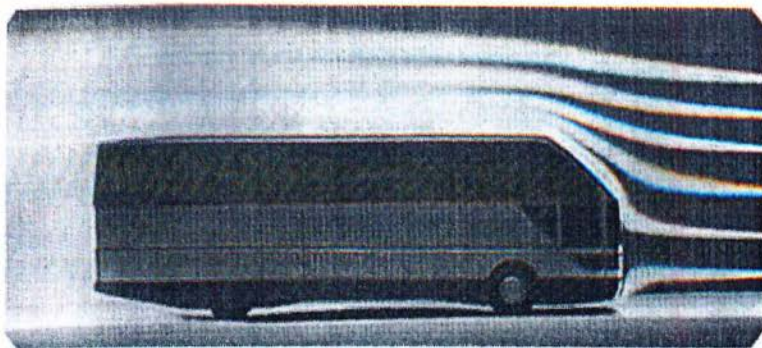
Εικόνα 150: Μείωση της οπισθέλκουσας με τη χρήση κλειστής κοιλότητας

Ακόμα έχει μελετηθεί και η χρήση γεννητριών στροβίλων που τοποθετούνται πλευρικά του οχήματος στο πίσω μέρος. Αυτά τα εξαρτήματα προκαλούν μια πτώση πίεσης στο πίσω μέρος με αποτέλεσμα να μειώνεται η οπισθέλκουσα.

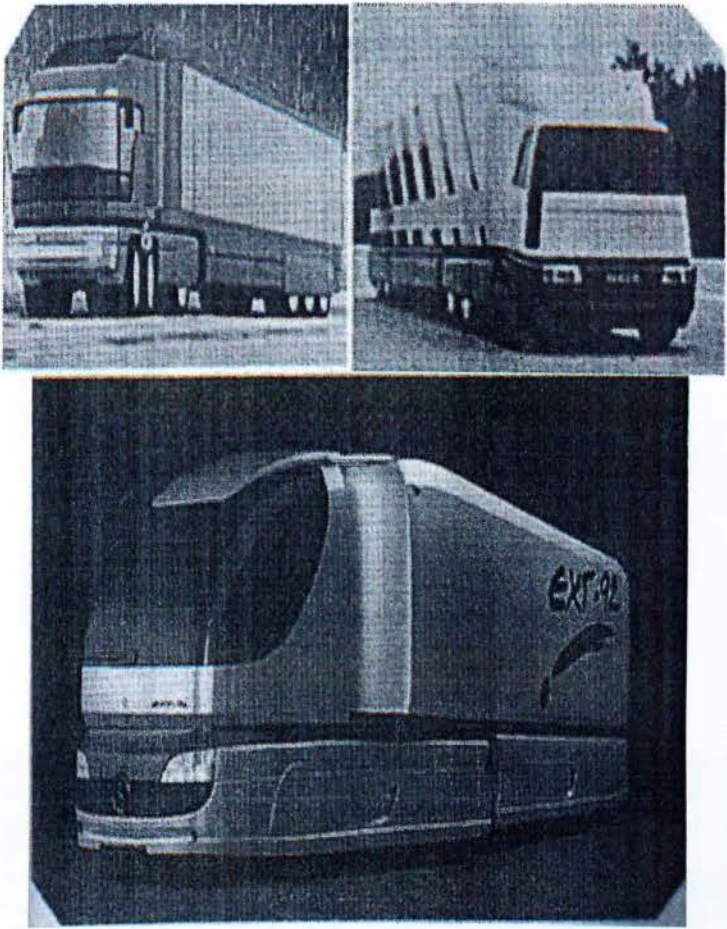
Έτσι τα μελλοντικά λεωφορεία και φορτηγά θα βασίζονται στον κατάλληλο σχεδιασμό για τη βελτίωση της αεροδυναμικής και όχι στην προσθήκη βοηθητικών.



Εικόνα 151: Επίδραση των γεννητριών στροβίλων στην πτώση της πίεσης εξαρτημάτων



Εικόνα 152: Υπερυψωμένο λεωφορείο σχεδιασμένο στο πανεπιστήμιο του Αμβούργου



Εικόνα 153: Σχεδιαστικές μελέτες για αεροδυναμικά «ανώτερα» φορτηγά

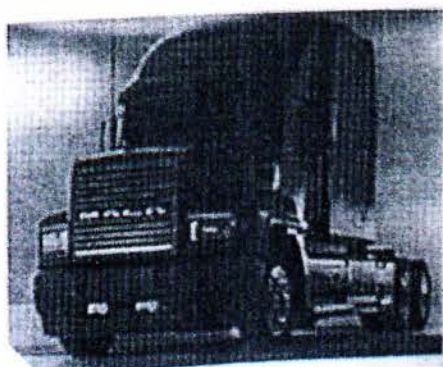
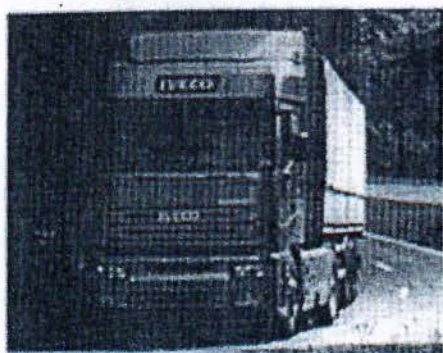
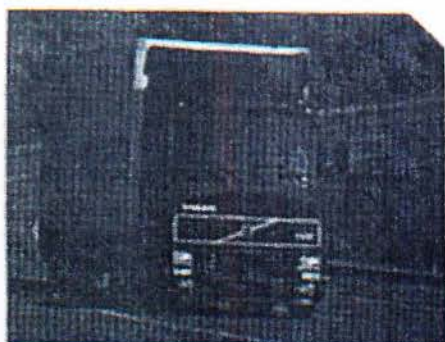
Παρακάτω ακολουθούν εικόνες από φορτηγά που χρησιμοποιούν διάφορες λύσεις για να βελτιώσουν την αεροδυναμική τους.



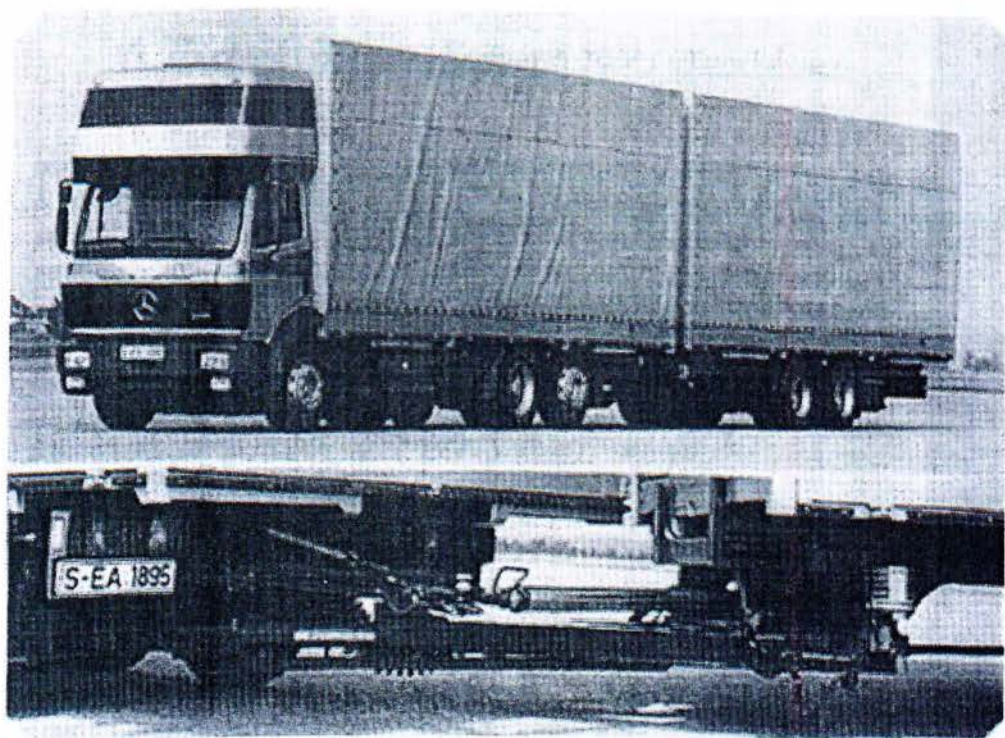
Εικόνα 154: Αεροδυναμικό φορτηγό της FORD



Εικόνα 155: Αεροδυναμικό φορτηγό της MAN



Εικόνα 156: Διάφοροι τύποι ελκυστήρων διαμορφωμένοι για χαμηλή οπισθέλκουσα



Εικόνα 157: Η καμπίνα ύπνου πάνω από τον οδηγό μειώνει το συντελεστή

ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας και τη μελέτη γύρω από την αεροδυναμική του αυτοκινήτου μπορεί να πει κάποιος ότι κατανοήθηκε σε ικανοποιητικό βαθμό η συμπεριφορά του αυτοκινήτου σε σχέση με την επίδραση του ανέμου πάνω σε αυτό.

Διαπιστώθηκε ότι η αεροδυναμική εξέλιξη των οχημάτων ήταν σχεδόν ταυτόχρονη με την μηχανολογική εξέλιξη τους. Αυτό βεβαιώνει την σπουδαιότητα της αεροδυναμικής στο σχεδιασμό του αυτοκινήτου. Στα πρώτα χρόνια της ανάπτυξης της η αεροδυναμική ερευνούσε μόνο τη δημιουργία οπισθέλκουσας αγνοώντας την αεροδυναμική άντωση. Αυτό ήταν αναμενόμενο μιας και οι πρώτες αεροδυναμικές μελέτες αποσκοπούσαν στην βελτίωση των επιδόσεων του αυτοκινήτου μειώνοντας την αντίσταση τους στον αέρα. Αργότερα όμως και με την εφαρμογή της στους αγώνες αυτοκινήτων ο συντελεστής αεροδυναμικής άντωσης έγινε σημαντικός παράγοντας της μελέτης της.

Στη σημερινή εποχή είναι διαπιστωμένο ότι στα σύγχρονα αυτοκίνητα η αεροδυναμική συμπεριφορά τους εξαρτάται πάντοτε από την εκάστοτε χρήση τους. Το ερώτημα που γεννάτε είναι: *θέλει κάποιος υψηλή τελική ταχύτητα ή μεγάλη σταθερότητα στο δρόμο;* Γιατί, όπως έγινε ξεκάθαρο, η μείωση του συντελεστή αεροδυναμικής άντωσης επιτυγχάνεται με την προσθήκη πτερύγων οι οποίες αυξάνουν την αεροδυναμική αντίσταση. Έτσι πάντα αναζητείται η χρυσή τομή μεταξύ C_D και C_L σε κάθε σχεδιασμό αυτοκινήτου ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται.

Μια ακόμα σπουδαία παρατήρηση που έγινε αφορά την αεροδυναμική των εμπορικών οχημάτων, φορτηγών και λεωφορείων. Μέχρι σήμερα γινόταν αναφορά στην αεροδυναμική μόνο των επιβατηγών και αγωνιστικών αυτοκινήτων αγνοώντας ένα σημαντικό κεφάλαιο αυτής, την άμεση επίδραση της στην κατανάλωση καυσίμου. Αυτή η σχέση παίρνει μεγάλες διαστάσεις στις μεταφορές όπου οι αποστάσεις είναι μεγάλες και η μεγάλη επιφάνεια αυτών των οχημάτων δημιουργεί μεγάλη αντίσταση και συνεπώς μεγαλύτερη κατανάλωση. Σημαντική βοήθεια στην κατανόηση της αεροδυναμικής στην πράξη προσέφεραν οι πληροφορίες που βρέθηκαν από τις μετρήσεις υπό πραγματικές συνθήκες σε αεροσήραγγα μεγάλων διαστάσεων.

Κλείνοντας, είναι σίγουρο ότι αυτή η εργασία έδωσε σημαντικές πληροφορίες που αφορούν την αεροδυναμική με εικόνες και διαγράμματα και την έκαναν άμεσα αντιληπτή. Παρόλα αυτά δεν μπορεί να ισχυριστεί κάποιος ότι κατανόησε πλήρως τη συμπεριφορά του αυτοκινήτου

στη ροή του αέρα, αλλά έκανε μια πρώτη προσέγγιση όλου του προβλήματος της Αντίστασης του αέρα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Περιοδικό DRIVE, Φεβρουάριος 2000
2. Βιβλίο εργαστηρίου Αεροδυναμική του Α.Τ.Ε.Ι
3. Η πτήση LIFE Επιστημονική βιβλιοθήκη
4. Πάπυρος LAROYSSE BRITANNICA Εγκυκλοπαίδεια
5. Περιοδικά
 - a) Πτήση
 - b) MANUAL Αερομοντελισμού
 - c) Ημερήσια
6. INTERNET
 - a) www.aerodyn.org
 - b) www.aerodelismos.gr
 - c) www.pthsh.gr
 - d) πηγές από www.google.gr
7. Aerodynamics of Road Vehicles, Syed.R.Ahmed. Edited by Walf-Heinrich Hucho, SAE International 4 edition, 1998.
8. Η αεροδυναμική του αυτοκινήτου, Κ. Ρώσσης, Γ. Αγερίδης, Γ.Μπεργελές.
9. Σημειώσεις Αεροδυναμικής, Μιχ. Ακριβέλλης
10. Περιοδικό 4 ΤΡΟΧΟΙ, τεύχος 252, Σεπτέμβριος 1991
11. Στροβιλοαντιδραστήρες αεροσκαφών ΚΑΚΑΤΣΙΟΣ Ξ