



Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ
Σ.Τ.Ε.-ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΟΔΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
ΕΠΙΒΑΤΗΓΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ ΦΟΙΤΗΤΗ : ΣΤΡΑΤΗ ΑΝΤΩΝΙΟΥ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :
Κ. ΧΡΗΣΤΟΣ ΠΑΠΑΛΥΜΠΕΡΗΣ

ΠΑΤΡΑ , ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2004

ΑΡΙΘΜΟΣ	7138
ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο	Σελίδα
Πρόλογος	1-4
Κεφάλαιο 1: Βάρος	5-38
1.1 Το βάρος ως απόλυτο μέγεθος	5
1.2 Απόσταση κέντρου βάρους από το έδαφος	7
1.3 Κατανομή βάρους στους δύο άξονες	9
1.4 Ροπή αδράνειας - Θέση κεντήρα	10
1.5 Από τη θεωρία στην πράξη	20
1.6 Η εξίσωση του βάρους	33
Κεφάλαιο 2: Τροχοί	39-82
2.1 Εισαγωγή	39
2.2 Τύποι ελαστικών και τοποποίηση τους	39
2.3 Γωνία ολίσθησης	44
2.4 Ροπή επαγωγής M_e	49
2.5 Η θεωρία του Τεμπλέ	50
2.6 Κατά μήκος ολίσθηση των ελαστικών	55
2.7 Συνδυασμένη φόρτιση	61
2.8 Η θεωρία του Duval	65
2.9 Ανταπαιχτή κούραση	65
2.10 Τελεινούς αξελάξεις	70
2.11 Πίσση και θερμκρασία	77
2.12 Κατηγορίες ζωντων	79
2.13 Ζυροστάθμιση	81
Κεφάλαιο 3: Διατάξεις και συστήματα διεύθυνσης	85-88
3.1 Μπαζόνιο και επαλάμια	85
3.2 Μπαζιρόγιο	84
3.3 Η σπείρη των Ακέρμιν	84
3.4 Τύποι συστημάτων διεύθυνσης	85
3.5 Υποβληθόμενα συστήματα διεύθυνσης	87
Κεφάλαιο 4: Αναρτήσεις	89-130
4.1 Τα μέρη της ανάρτησης	89
4.2 Διατάξεις αναρτήσεων	91
4.3 Το κέντρο περιστροφής της ανάρτησης και ο ρόλος του	98
4.4 Βαθμοί ελαστικής και αποσπώμενα μοντέλα τριλινιώντων	102
4.5 Διαφορικές εξισώσεις αναπήθησης και καλάρηση	107
4.6 Κέντρο τριλινιώντων	109
4.7 Αντιστρεπτικές δοκοί	111
4.8 Υδροκλυματική ανάρτηση	111
4.9 Ελαστικές αναρτήσεις	116
4.10 Τετραδίκαιωση	121
4.11 Στην πράξη	124

Κεφάλαια	Σελίδα
Κεφάλαιο 5: Γεωμετρία	131-146
5.1 Γωνία	131
5.2 Γωνία camber	131
5.3 Γωνία castor	133
5.4 Offset	135
5.5 Σύγκλιση	136
5.6 Τελειότερες εξελίξεις	137
Κεφάλαιο 6: Πλαίσιο	147-152
6.1 Ο ρόλος του πλαισίου	147
6.2 Τύπος πλαισίου	148
6.3 Διαθεσιμότητες ελαστών	150
Κεφάλαιο 7: Μετάδοση	153-183
7.1 Μετάδοση Ο ρόλος της και η δομή της	153
7.2 Διαφορικά	157
7.3 Στοιβαρισμός	164
7.4 Στην πράξη	172
7.5 Έκτατα διαφορικά	170
Κεφάλαιο 8: Συστήματα πέδησης	184-193
8.1 Παραγωγή συστημάτων πέδησης	184
8.2 Κατανομή πέδησης - σύστημα ABS	186
8.3 Τελειότερες εξελίξεις (BAS - Κεραιμικά διακόφρανα)	190
Κεφάλαιο 9: Αεροδυναμική	194-204
9.1 Αποστολή στη ροή του αέρα	194
9.2 Αρνητικά αντίοση	196
9.3 Κέντρο αεροδυναμικών πιέσεων	202
Κεφάλαιο 10: Ηλεκτρονικά βοηθήματα	205-207
10.1 Συστήματα έλεγχου της πρόσφυσης	205
10.2 Σύστημα έλεγχου της υστερότητας	206
Επίλογος	208-209
Βιβλιογραφία	210-211

Πρόλογος

Το 1769 ένας ευφυής μηχανικός του γαλλικού στρατού, ο Nicholas Joseph Cugnot,



Εικόνα 1.

Το όχημα του Cugnot του 1770.

εφηύρε το "αυτοκίνητο". Το τρίτροχο αυτοκινούμενο όχημα που κατασκεύασε ήταν ένας ατμοκίνητος τράκτορας που βοηθούσε στην έλξη των, πολύ βαριών, κανονιών της εποχής. Είχε τη δυνατότητα να μεταφέρει τέσσερα άτομα και μπορούσε να αναπτύξει τελική ταχύτητα 2,25 miles/h. Το 1770 ο Κουνιό έφτιαξε και δεύτερο πανομοιότυπο όχημα. Δυστυχώς η καριέρα του πρωτοπόρου αυτού ανθρώπου τελείωσε άδοξα πέντε χρόνια αργότερα, όταν ένα από τα οχήματά του ανατράπηκε,



Εικόνα 2.

Το όχημα του Benz του 1885.

ενώ έστριβε στους δρόμους του Παρισιού με την τελική του ταχύτητα, σκοτώνοντας τον χειριστή του. Ο Κουνιό θεωρήθηκε υπάιθνος και κλείστηκε στη φυλακή!

Χρειάστηκαν να περάσουν πολλά χρόνια για να ξαναασχοληθεί κάποιος με το αυτοκίνητο. Το 1837 ο Robert Davidson παρουσίασε ένα ηλεκτροκίνητο όχημα που έπαιρνε κίνηση από μια μπαταρία σιδήρου - ψευδαργύρου. Μόλις το 1881 εμφανίζεται στην αγορά το πρώτο αυτοκίνητο. Ήταν ηλεκτρικό και κατασκευαζόταν από την εταιρεία Paris Omnibus. Η πραγματική πρόοδος όμως γίνεται το 1876.

Είναι η χρονιά που ο Γερμανός μηχανικός Nikolaus Otto εφευρίσκει τον κινητήρα εσωτερικής καύσεως. Εκμεταλειόμενοι τον καινούριο κινητήρα, αλλά εργαζόμενοι ανεξάρτητα ο Karl Benz και ο Gottlieb Daimler παρήγαγαν τα πρώτα, σε παγκόσμια κλίμακα, αυτοκίνητα, με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Το μοντέλο του Benz

παρουσιάστηκε το 1885 και ήταν ένα τρίτροχο όχημα με σωληνωτό πλαίσιο και ανοιχτό ξύλινο αμάξωμα. Ο κινητήρας ήταν μονοκύλινδρος, τεράχρονος, είχε ηλεκτρική ανάφλεξη, υδρόψυξη και ήταν οριζόντια τοποθετημένος



Εικόνα 3.

Daimler του 1897.



Εικόνα 4.

Ένα από τα πρώτα Peugeot.

πάνω από τον άξονα των πίσω τροχών. Η ιπποδύναμη του έφτανε τους 0,5 Hp στις 250 με 300 rpm και έδινε στο όχημα τελική ταχύτητα της τάξης των 13 με 16 km/h.

Το όχημα του Daimler κατασκευάστηκε το 1886 και ήταν το πρώτο τετράτροχο



Εικόνα 5.

Το Benz-Motocyclette του 1886.



Εικόνα 6.

Ford Model T. Το πρώτο αυτοκίνητο μαζικής παραγωγής.

αυτοκίνητο με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ο μονοκύλινδρος κινητήρας του παράγγαγε ισχύ 1,5 Hp στις 900 rpm.

Στα πρώτα αυτά βήματα της αυτοκίνησης οι κατασκευαστές ελάχιστη σημασία έδιναν στην οδική συμπεριφορά των μοντέλων τους. Έννοιες όπως χαμηλό κέντρο βάρους ήταν παντελώς αγνώστες, αν κρίνουμε από την εικόνα 7. Οι αναρτήσεις τους ήταν απαράδεκτες, η γεωμετρία της όρους ανυπαρκτος, τα ελαστικά τους σωμαγή, το πλαίσιο ξύλινο, τα φρένα υποτυπώδη. Με την πάροδο, όμως, των χρόνων άρχισαν να κατασκευάζονται αυτοκίνητα πραγματικά κομψοτεχνήματα, με προδιαγραφές που εντυπωσιάζουν ακόμα και σήμερα. Χαρακτηριστικά δείγματα είναι τόσο η Mercedes 300 SL Gullwing, όσο και η Citroen SM.



Εικόνα 7.

Mercedes 300SL Gullwing.



Εικόνα 8.

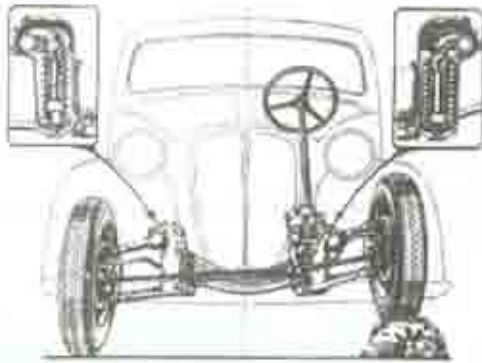
Citroen SM. Ένα μηχανοτεχνικό θαύμα.

Η Gullwing βγήκε στην παραγωγή το 1955. Βασιζόταν στην αγωνιστική 300SLR και είχε ένα τριπλό κινητήρα που απέδιδε 240 Hp/6100 rpm. Επιτάχυνε από 0-100 km/h σε 8,8 sec και η τελική της, ανάλογα με την τελική σχέση μετάδοσης, έφτανε τα 225 με 260 km/h! Το εσωτερικό της φυσικά ήταν υπερπολυτελές και με κορυφαία ποιότητα κατασκευής. Η τιμή μιας Gullwing σήμερα ξεπερνάει τα 900.000€ (300.000.000δρχ.)!

Η Citroen SM, που παρουσιάστηκε το 1968, εντυπωσιάζει

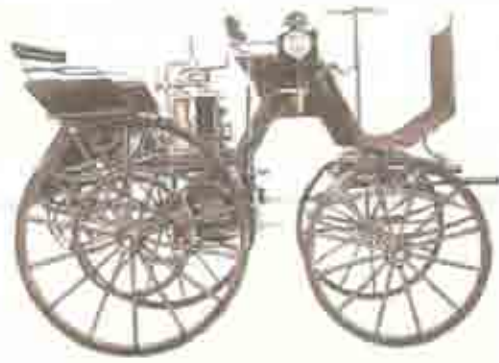
με το συνολικό σχεδιασμό της. Ο κινητήρας προερχόταν από τη Maserati και ήταν V6 2,7lt και είχε σύστημα ψεκασμού της Bosch. Ήταν τοποθετημένος κατά το διαμήκη άξονα πίσω από το κιβώτιο, που ήταν πάνω από τους μπροστινούς τροχούς, προσφέροντας καλύτερη κατανομή βάρους. Η ανάρτηση ήταν υδροπνευματική, με ρυθμιζόμενη σε τέσσερα επίπεδα σκληρότητα! Το τιμόνι ήταν κοφτερό, με μόλις δύο στροφές από άκρη σε άκρη. Τα φώτα έστριβαν μαζί με τους τροχούς, οι οποίοι ήταν από ανθρακονήματα και ζύγιζαν μόλις 4,6 κιλά! Τέλος, ο αεροδυναμικός συντελεστής του αμαξώματος ήταν στο 0,25, τιμή που δεν έχει καταρριφθεί μέχρι και σήμερα!

Καθώς όμως οι επιδόσεις των αυτοκινήτων βελτιωνόντουσαν, τα ατυχήματα αυξανόνταν. Αυτό ώθησε τους μηχανικούς να στραφούν προς την αιτία που τα



Εικόνα 9.

Ένα από τα πρώτα Fiat με ανεξάρτητη ανάρτηση.



Εικόνα 10.

Ο Benz συνεργάζεται με τον Daimler δημιουργώντας τη Mercedes - Benz. Mercedes λέγεται η κόρη του Daimler.



Εικόνα 11.

Mercedes 300SL R

δημιουργούσε. Η πρόοδος που έχει πραγματοποιηθεί μέχρι τις μέρες μας είναι πράγματι εντυπωσιακή. Χρειάστηκε, όμως, τον ιδρώτα, το αίμα και κυρίως το πάθος πολλών ανθρώπων για να φτάσουμε σε αυτό το σημείο. Παρ' όλα αυτά η έρευνα συνεχίζεται ακόμα. Οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις της αγοράς στον τομέα της ασφάλειας δεν αφήνουν τις εταιρείες να εφησυχάσουν. Όμως και αυτές έχουν κέρδος από αυτήν τους την έρευνα. Βλέπετε, με όποιο τρόπο και να κινούνται τα αυτοκίνητα σε λίγα χρόνια, πάντα θα υπάρχει η ανάγκη για το σωστό τους στήσιμο.



Εικόνα 12.

Citroën SM.

Με το σκεπτικό, λοιπόν, ότι η εργασία μας δε θα πάει χαμένη, διότι θα έχει ξεπεραστεί σε λίγα χρόνια, αρχίζουμε αυτό το πόνημα, προσπαθώντας να αποκαλύψουμε τα μυστικά της οδικής συμπεριφοράς. Ας ορίσουμε, όμως πρώτα μερικούς όρους για να μπορούμε να συννενοηθούμε καλύτερα σ'αυτό μας το ταξίδι.

Με τον όρο μελέτη της οδικής συμπεριφοράς εννοούμε τον καθορισμό όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν την οδική συμπεριφορά ενός αυτοκινήτου, αλλά και το πώς η

μεταβολή της κάθε παραμέτρου αλλάζει τα δυναμικά χαρακτηριστικά του οχήματος.

Λέγοντας **οδική συμπεριφορά** εννοούμε το πως συμπεριφέρεται ένα αυτοκίνητο μέχρι να φτάσει στα όρια της πρόσφυσης του, αλλά και πέρα από αυτά.

Πρόσφυση είναι η ονομασία της τριβής που αναπτύσσεται ανάμεσα στο ελαστικό και το δρόμο.

Κράτημα είναι η μέγιστη πρόσφυση που μπορεί να πετύχει ένα αυτοκίνητο σε μια στροφή.

Οι όροι οδική συμπεριφορά και κράτημα, συχνά συγχέονται μεταξύ τους. Για να κατανοήσουμε καλύτερα τη σημασία τους ας δούμε κάποια παραδείγματα.

Ένα αγωνιστικό μονοθέσιο Formula 1 έχει πολύ καλό κράτημα αφού η πλευρική επιτάχυνσή του σε μία στροφή αγγίζει τα 4g! Δεν έχει όμως και καλή οδική συμπεριφορά, αφού οι αντιδράσεις του στα όρια της πρόσφυσης του είναι τόσο απότομες που ελάχιστοι άνθρωποι στον κόσμο μπορούν να τις ελέγξουν. Ο όρος κράτημα είναι αντικειμενικός και μετρήσιμος. Αντιθέτως, η οδική συμπεριφορά είναι καθαρά υποκειμενική. Το ίδιο αυτοκίνητο δύο διαφορετικοί οδηγοί μπορεί να το κρίνουν αρκετά διαφορετικά ανάλογα με την ικανότητα, τις προτεραιότητες και τις προτιμήσεις τους. Μία Ferrari μπορεί να είναι ιδανική και φιλική, για κάποιον οδηγό με την ικανότητα και την εμπειρία του Michael Schumacher, στα χέρια όμως ενός άπειρου μπορεί να γίνει φονικό όπλο. Για τον τελευταίο καλύτερη θα ήταν μια Mercedes τελευταίας γενιάς, γεμάτη "ηλεκτρονικούς σωτήρες".

Δύο όροι που θα χρησιμοποιηθούν ευρέως είναι η **υπερστροφή** και η **υποστροφή**. Αναφέρονται και οι δύο στη συμπεριφορά ενός αυτοκινήτου σε μια στροφή. Ο πρώτος υποδηλώνει ότι το πίσω μέρος του οχήματος διαγράφει τροχιά μεγαλύτερης ακτίνας από το εμπρός ("φεύγει" η ουρά), ενώ ο δεύτερος το αντίθετο ("φεύγει" το εμπρός μέρος).

Οι εταιρείες σήμερα κάνουν έρευνα αγοράς, προκειμένου να καθορίσουν το προφίλ των αγοραστών τους. Προσπαθούν να κατανοήσουν τις ανάγκες και τις απαιτήσεις τους και να τις καλύψουν, όσο το δυνατόν καλύτερα. Όπως όμως θα δούμε, η οδική συμπεριφορά δεν μπορεί να καθοριστεί επακριβώς από εξισώσεις. Δεν υπάρχει η μία και μοναδική λύση. Για το λόγο αυτό είναι πάρα πολύ σημαντικό η κάθε εταιρεία να πραγματοποιεί δοκιμές και να κρατάει μια βάση δεδομένων, ώστε να μπορεί συνεχώς να βελτιώνεται. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν επτασφράγιστο μυστικό και πολύ δύσκολα φτάνουν στο ευρύ κοινό. Εμείς θα προσπαθήσουμε να αποκαλύψουμε όσο μπορούμε περισσότερα!



Κεφάλαιο 1: Βάρος

► 1.1 Το βάρος ως απόλυτο μέγεθος

Το βάρος είναι ο χειρότερος εχθρός ενός αυτοκινήτου. Η αδράνεια αποτελεί σοβαρό ανασταλτικό παράγοντα σε κάθε αλλαγή της κινητικής κατάστασής του. Ας δούμε το γιατί.

Κάθε φορά που ένα όχημα καλείται να διαγράψει μια στροφή πρέπει τα ελαστικά του να παράγουν τριβή T ίση με την κεντρομόλο δύναμη F_c . Το μέτρο της δύναμης αυτής δίνεται από τη σχέση:

$$F_c = m \cdot \frac{u^2}{R}, \text{ Σχίσμα 1-1.}$$



Σχίσμα 1.

Διεύθυνση, φάρα και σημείο εφαρμογής της κεντρομόλου δύναμης.

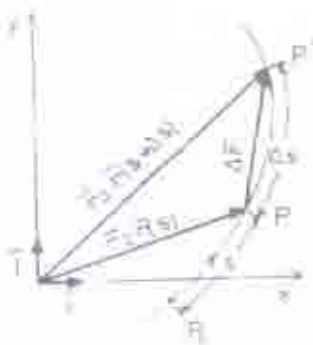
όπου m είναι η μάζα του οχήματος, u είναι η ταχύτητά του και r είναι η ακτίνα του κύκλου, τόξο του οποίου διαγράφει. Η διεύθυνσή της είναι κάθετη στην εφαπτομένη της τροχιάς, η φορά της προς το εσωτερικό της στροφής και σημείο εφαρμογής της το κέντρο βάρους του οχήματος (σχίσμα 1). Αφού $B = mg$, δηλαδή το βάρος ενός σώματος ισούται με το γινόμενο της μάζας του επί την επιτάχυνση της βαρύτητας, είναι εύλογο ότι όσο μεγαλύτερο είναι το βάρος ενός οχήματος, τόσο δυσκολότερα αυτό θα μπορεί να αλλάξει διεύθυνση, αφού τόσο μεγαλύτερη κεντρομόλος θα απαιτείται:

$$F_c = \frac{B}{g} \cdot \frac{u^2}{R}$$

Η δύναμη αυτή (F_c) είναι η συνισταμένη όλων των δυνάμεων. Λεχόμεστε, δηλαδή, ότι προκειμένου να εκτελέσει ένα σώμα κυκλική κίνηση, πρέπει η συνισταμένη όλων των δυνάμεων που δρουν πάνω στο σώμα να έχουν το μέτρο, τη διεύθυνση, τη φορά και το σημείο εφαρμογής της δύναμης F_c .

Ας δούμε, όμως, πως βγαίνει αυτή η σχέση. Κατ' αρχήν να διευκρινίσουμε ότι η σχίσμα 1-1 μας δίνει το μέτρο του διανύσματος της κεντρομόλου δύναμεις. Η διανυσματική σχέση είναι:

$$\vec{F}_c = m \frac{u^2}{R} \vec{n}, \text{ Σχίσμα 1-2.}$$



Σχίσμα 2.

όπου \vec{n} είναι το μοναδιαίο διάνυσμα με διεύθυνση κάθετη στην εφαπτομένη. Η σχέση αυτή είναι ουσιαστικά μια άλλη διατύπωση του δεύτερου αξιώματος του Νεύτωνα:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{\gamma}, \text{ Σχίσμα 1-3.}$$

που λέει ότι ένα σώμα μάζας m , που δέχεται δύναμη F , θα κινείται με επιτάχυνση γ .

Προκειμένου να αποδείξουμε τη σχίσμα 1-2 θεωρούμε την ομαλή καμπύλη C του επιπέδου XY στην οποία ορίζουμε τη φορά διαγραφής της και ένα σταθερό σημείο P_0 (σχίσμα 2). Αν s είναι το τόξο που διαγράφει το σημείο P , μετρούμενο από το σταθερό σημείο P_0 και επί της τροχιάς C , θα είναι

$$\vec{r} = \vec{r}(s), \text{ Σχίσση 1-4,}$$

δηλαδή, το διάνυσμα θέσης του P είναι μια συνάρτηση του μήκους του τόξου s . Παραγωγίζοντας τη σχέση 1-4 ως προς το χρόνο, έχουμε:

$$\vec{r} = \vec{r}(s) \Rightarrow \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}(s)}{dt} \Rightarrow \vec{u} = \frac{d\vec{r}}{ds} \cdot \frac{ds}{dt}, \text{ Σχίσση 1-5}$$

Το διάνυσμα $\frac{d\vec{r}}{ds}$, το οποίο σε κάθε σημείο της καμπύλης C μας δίνει τη διεύθυνση της

εφαπτομένης, έχει μέτρο: $\left| \frac{d\vec{r}}{ds} \right| = \frac{ds}{ds} = 1$. Είναι, δηλαδή, μια διανυσματική μονάδα κατά

τη διεύθυνση της τροχιάς και συμβολίζεται με $\vec{\varepsilon}$. Αν τώρα θέσουμε $\frac{ds}{dt} = u$, όπου u το μέτρο της ταχύτητας, η σχέση 1-5 γίνεται

$$\vec{u} = u \cdot \vec{\varepsilon}, \text{ Σχίσση 1-6}$$

Για να βρούμε την επιτάχυνση $\vec{\gamma}$ παραγωγίζουμε τη σχέση 1-6 ως προς το χρόνο και έχουμε:

$$\vec{\gamma} = \frac{d\vec{u}}{dt} = \frac{du}{dt} \cdot \vec{\varepsilon} + u \cdot \frac{d\vec{\varepsilon}}{dt}, \text{ Σχίσση 1-7}$$

Θα εξετάσουμε τώρα πως μεταβάλλεται το διάνυσμα $\vec{\varepsilon}$ με το τόξο s . Έστω η καμπύλη C του σχήματος 3 με διανυσματική εξίσωση $\vec{r} = \vec{r}(s)$, όπου s το τόξο της καμπύλης μετρούμενο από το σημείο P_0 . Στην τιμή s του τόξου αντιστοιχεί το σημείο P με κατεύθυνση εφαπτομένης

$$\vec{\varepsilon}(s) = \frac{d\vec{r}}{ds}$$

Στην τιμή $s + \Delta s$ της παραμέτρου αντιστοιχεί το σημείο P' της καμπύλης με κατεύθυνση εφαπτομένης

$$\vec{\varepsilon}'(s) = \vec{\varepsilon}(s + \Delta s)$$

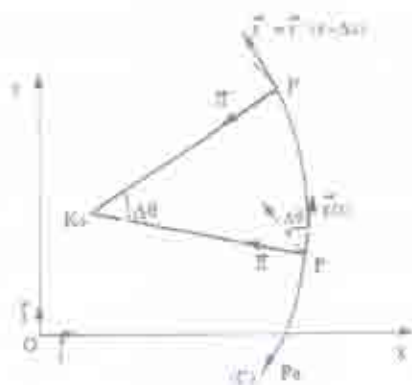
Έστω $\Delta\theta$ η γωνία των κατευθύνσεων των εφαπτομένων. Το $\lim_{\Delta s \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta\theta}{\Delta s} \right|$, μετρά την ταχύτητα

μεταβολής της διεύθυνσώς της εφαπτομένης της καμπύλης, στο σημείο P . Το όριο του λόγου αυτού ονομάζεται καμπυλότητα της καμπύλης στο P και παριστάνεται με το k

$$k = \left| \frac{d\vec{\varepsilon}}{ds} \right| = \left| \frac{d^2\vec{r}}{ds^2} \right| = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta\theta}{\Delta s} \right|$$

Το αντίστροφο του k καλείται ακτίνα καμπυλότητας και παριστάνεται με το R . Είναι δηλαδή:

$$R = \frac{1}{k}$$



Σχίσση 3.

Το διάνυσμα $\frac{d\vec{\varepsilon}}{ds}$ κείται στο εγγύτατο επίπεδο της καμπύλης στο P και είναι κάθετο στο διάνυσμα $\vec{\varepsilon}$, σε διάνυσμα σταθερού μέτρου. Αν με $\vec{\eta}$ συμβολίσουμε την κατεύθυνση του διανύσματος αυτού ($\frac{d\vec{\varepsilon}}{ds}$), τότε θα είναι:

$$\frac{d\vec{\varepsilon}}{ds} = \left| \frac{d\vec{\varepsilon}}{ds} \right| \vec{\eta} = k \cdot \vec{\eta} = \frac{\vec{\eta}}{R}, \quad \text{Σχ/ση 1-8.}$$

Εχοντας υπόψη ότι: $\frac{d\vec{\varepsilon}}{dt} = \frac{d\vec{\varepsilon}}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = \frac{u}{R} \cdot \vec{\eta}$, η [εξίσωση 1-7](#) γράφεται:

$$\vec{\gamma} = \frac{du}{dt} \cdot \vec{\varepsilon} + \frac{u^2}{R} \cdot \vec{\eta}, \quad \text{Σχ/ση 1-9.}$$

Παρατηρούμε, δηλαδή, ότι η επιτάχυνση αναλύθηκε σε δύο συνιστώσες την $\frac{du}{dt} \cdot \vec{\varepsilon}$, κατά τη διεύθυνση της εφαπτομένης της τροχιάς, που ονομάζεται επιτρόχιος $\gamma_{\text{επ}}$, και την $\frac{u^2}{R} \cdot \vec{\eta}$, η οποία κατευθύνεται προς το κέντρο καμπυλότητας της καμπύλης, στο θεωρούμενο σημείο, και ονομάζεται κεντρομόλος επιτάχυνση γ_c .

Ας ξαναγυρίσουμε τώρα πίσω στο παράδειγμα με το όχημα. Ας υποθέσουμε ότι αυτό κινείται διαγράφοντας μια καμπύλη τροχιά σταθερής ακτίνας, με σταθερή ταχύτητα, όπως φαίνεται και στο [σχήμα 1](#). Εφόσον παρατηρείται κεντρομόλος επιτάχυνση, σύμφωνα με το δεύτερο αξίωμα του Νεύτωνα, θα παρατηρείται και κεντρομόλος δύναμη. Άρα η [εξίσωση 1-7](#)

παιρνει τη μορφή: $\vec{F}_c = m \cdot \vec{\gamma}_c \Rightarrow \vec{F}_c = m \cdot \frac{u^2}{R} \cdot \vec{\eta}$,

δηλαδή, καταλήγουμε στη [εξίσωση 1-7](#).

► 1.2 Απόσταση κέντρου βάρους από το έδαφος.

Είδαμε την επίδραση του βάρους στην κεντρομόλο, αν θεωρήσουμε το αυτοκίνητο σαν υλικό σημείο. Δηλαδή, αν θεωρήσουμε ότι όλη η μάζα του είναι συγκεντρωμένη στο κέντρο μάζας του (ή κέντρο βάρους του, ότι προτιμάτε) και ότι όλες οι δυνάμεις που του ασκούνται εφαρμόζονται σε αυτό το σημείο. Η θεώρηση αυτή είναι αρκετά χρήσιμη για μια πρώτη προσέγγιση στο θέμα. Μία μακροσκοπική προσέγγιση. Αν, όμως, θέλουμε να εμβαθύνουμε πρέπει να δούμε το αυτοκίνητο ως στερεό σώμα και τις δυνάμεις να τις εξετάσουμε ανάλογα με το σημείο στο οποίο εφαρμόζονται.



Εικόνη 1.

Παρακάτω θα ασχοληθούμε με τη σημασία της θέσης του κέντρου βάρους Κ.Β. Ως Κ.Β. ενός σώματος θεωρούμε το σημείο εκείνο το οποίο αν κρεμούσαμε το σώμα θα ισορροπούσε σε οποιαδήποτε θέση.

Εξαιτίας της θέσης του Κ.Β. ως προς το έδαφος δημιουργείται ροπή, η οποία τείνει να περιστρέψει το όχημα προς το εξωτερικό μέρος της στροφής. Η ροπή αυτή συμπιέζει τα ελατήρια της ανάρτησης των εξωτερικών τροχών αυξάνοντας την αντίδρασή τους, όπως φαίνεται και στην εικόνα 1.

Στην εικόνα 2 παριστάνονται οι δυνάμεις που δέχεται ένα αυτοκίνητο, ενώ διαγράφει



Εικόνα 2

Οι δυνάμεις που ασκούνται σε ένα αυτοκίνητο όταν αυτό στρίβει.

μα καμπύλη τροχιά. Εδώ οι δυνάμεις F_1 και F_2 έχουν αντικατασταθεί από τις κάθετες αντιδράσεις του εδάφους A_1 και A_2 , αφού μας ενδιαφέρουν οι δυνάμεις που δέχεται ένα όχημα και όχι αυτές που ασκεί. Επίσης η κεντρομόλος δύναμη F_c έχει

αντικατασταθεί με την φυγόκεντρο F_g , που έχει την ίδια διεύθυνση, το ίδιο μέτρο και το ίδιο σημείο εφαρμογής με την κεντρομόλο αλλά αντίθετη φορά. Βλέπετε, όταν εξετάζουμε μακροσκοπικά το πρόβλημα δουλεύουμε καλύτερα με την κεντρομόλο, αλλά μικροσκοπικά βολικότερη είναι η φυγόκεντρος. Με B συμβολίζεται το βάρος, με L το μετατρόχιο (η απόσταση μεταξύ των κέντρων των πελμάτων των ελαστικών του ίδιου άξονα), με a το ύψος του Κ.Β. από το έδαφος, με O το σημείο αναφοράς που θα χρησιμοποιήσουμε για τις ροπές και τέλος με T_1 και T_2 οι τριβές που αναπτύσσονται στο δεξιό και το αριστερό (όπως κοιτάμε την εικόνα) ελαστικό, αντίστοιχα.

Αφού το αυτοκίνητο τη συγκεκριμένη στιγμή ισορροπεί, θα έχουμε ισορροπία δυνάμεων τόσο στον οριζόντιο x , όσο και στον κατακόρυφο άξονα y , αλλά και ισορροπία ροπών:

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow T_1 + T_2 = F_g, \text{ Σχ/ση 1-10}$$

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow B = A_1 + A_2, \text{ Σχ/ση 1-11}$$

$$\Sigma M_O = 0 \Rightarrow A_1 \cdot L = B \cdot \frac{L}{2} + F_g \cdot a \Rightarrow A_1 = \frac{B}{2} + F_g \cdot \frac{a}{L}, \text{ Σχ/ση 1-12}$$

Από τη σχέση 1-10 φαίνεται ότι όσο πιο μεγάλη είναι η φυγόκεντρος, τόσο πιο μεγάλη θα πρέπει να είναι η τριβή που θα αναπτυχθεί από τα ελαστικά. Η τριβή, όμως, αυτή έχει κάποιο όριο.

Από τη σχέση 1-11 βλέπουμε ότι σε συνθήκες ηρεμίας θα έχουμε $A_1 = A_2 = \frac{B}{2}$

Από τη σχέση 1-12 έχουμε ότι η A_1 είναι ίση με $\frac{B}{2}$ συν κάτι θετικό. Δηλαδή,

$A_1 > A_2$ και μάλιστα κατά ένα ποσοστό της F_g που εξαρτάται από το λόγο $\frac{a}{L}$. Όσο, λοιπόν, πιο μεγάλο είναι το ύψος του Κ.Β. a ή όσο πιο μικρό το μετατρόχιο L , τόσο μεγαλύτερη θα

είναι η A_1 από την A_2 . Αντίθετα, όσο μικρότερο είναι το a ή όσο μεγαλύτερο το L , τόσο οι δύο δυνάμεις θα τείνουν να εξισωθούν. Σε τι χρησιμεύει όμως η εξίσωση των δύο αυτών αντιδράσεων;

Η τριβή T ισούται με $T = \mu \cdot A$, όπου μ είναι ο συντελεστής τριβής που εξαρτάται από τις επιφάνειες που έρχονται σε επαφή και A είναι η κάθετη αντίδραση του δαπέδου. Αυτό σημαίνει ότι αν η $A_2 < A_1$, τότε και η τριβή T_2 θα είναι μικρότερη της T_1 . Με λίγα λόγια, ο εσωτερικός τροχός δεν εκμεταλλεύεται στο έπακρο την πρόσφυση του, συνεισφέροντας λιγότερο από αυτό που θα μπορούσε στην ολική πλευρική πρόσφυση του αυτοκινήτου.



Εικόνα 3.

Ferrari F2003-GA

παράδειγμα, οι κανονισμοί είναι αυστηρότατοι και καθορίζουν με ακρίβεια το μέγιστο επιτρεπόμενο πλάτος (και μετατρόχιο). Οπότε το μόνο που μένει στους μηχανικούς είναι να χαμηλώσουν, όσο περισσότερο γίνεται, το Κ.Β. Όμως κανονισμοί υπάρχουν και για το ελάχιστο επιτρεπόμενο βάρος. Έτσι, μαζί με τον πιλότο και τα καύσιμα δε θα πρέπει να είναι κάτω από 600 kgf. Οι μηχανικοί, λοιπόν, κάνουν ό,τι μπορούν για να κάνουν το αυτοκίνητο όσο γίνεται ελαφρύτερο και στη συνέχεια προσθέτουν το βάρος, που απομένει μέχρι το όριο των 600 kgf, σαν έρμα στο κάτω μέρος του μονοθεσίου. Τα πρωτεία εδώ λέγεται ότι τα κατέχει η Ferrari. Σύμφωνα με δημοσιογραφικές πληροφορίες το βάρος του μονοθεσίου είναι κάτω από τα 500 kgf(!), δίνοντας μεγάλα περιθώρια για στήσιμο στο αυτοκίνητο, ανάλογα με την πίστα. Λέγεται, μάλιστα ότι έχουν προχωρήσει ένα βήμα παραπάνω και μεταβάλλουν με το έρμα και την κατανομή του βάρους, επηρεάζοντας τη ροπή αδράνειας ως προς τον κατακόρυφο άξονα. Αυτό κάνει το μονοθέσιο περισσότερο ευέλικτο ή περισσότερο φιλικό, ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε πίστας. Για αυτά, όμως, θα μιλήσουμε αργότερα.



Εικόνα 4.

Formula1: Η κορονοίδα της τεχνολογίας.

► 1.3 Κατανομή Βάρους στους δύο άξονες

Είδαμε, λοιπόν, τη σημασία που έχει η θέση του κέντρου βάρους. Και αυτή η θεωρήση, όμως, απέχει αρκετά από την πραγματικότητα. Το βάρος είναι κατανομημένο σε ολόκληρο τον όγκο του σώματος και όχι συγκεντρωμένο σε ένα σημείο του. Η κατανομή αυτή παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά του οχήματος.

Προκειμένου να απλοποιηθούν λίγο τα πράγματα, θεωρούμε κατ' αρχήν ότι το βάρος κατανέμεται στους δύο άξονες του αυτοκινήτου. Αυτό είναι μια καλή προσέγγιση γιατί στην πράξη το βάρος του οχήματος παραλαμβάνεται από τους τροχούς του. Θετούμε ως A_1 την

αντίδραση του μπροστινού άξονα και ως A_1 την αντίδραση του πίσω άξονα, όπως φαίνεται και στην [εικόνα 5](#).



Εικόνα 5.

Κατανομή του βάρους στους δύο άξονες ενός αυτοκινήτου.

Εφόσον το αυτοκίνητο ισορροπεί, θα έχουμε:

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow A_f + A_r = B, \text{ Σχέση 1-13}$$

$$\sum M_O = 0 \Rightarrow A_f \cdot L_a = B \cdot x \Rightarrow A_f = \frac{x}{L_a} \cdot B, \text{ Σχέση 1-14,}$$

όπου x η απόσταση του φορέα του βάρους B από το φορέα της αντίστασης A_f και L_a το μεταξόνιο, όπως φαίνεται και στην [εικόνα 5](#).

Συνδυάζοντας τις σχέσεις 1-13 και 1-14 έχουμε:

$$A_r = B - \frac{x}{L_a} \cdot B \Rightarrow A_r = \frac{L_a - x}{L_a} \cdot B \Rightarrow A_r = \left(1 - \frac{x}{L_a}\right) \cdot B, \text{ Σχέση 1-15}$$

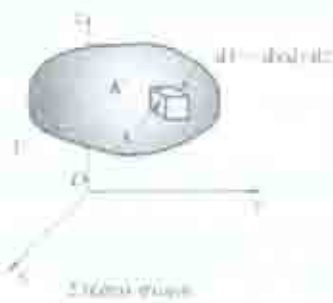
Βλέπουμε, δηλαδή, ότι το πόσο βάρος θα φορτίζει κάθε άξονα εξαρτάται από το λόγο $\frac{x}{L_a}$.

στην περίπτωση που $x = \frac{L_a}{2}$ από τις σχέσεις 14 και 15 θα έχουμε $A_f = A_r = \frac{B}{2}$. Η περίπτωση αυτή συχνά ονομάζεται ως ιδανική κατανομή βάρους. Η εξήγηση είναι ακριβώς η ίδια με της προηγούμενης παραγράφου και στηρίζεται στο ότι το κάθε ελαστικό θα μπορεί να αξιοποιήσει στο έπακρο την τριβή που αυτό παράγει.

► 1.4 Ροπή αδρανείας-Θέση κινήτρου.

Θα περιμέναμε, λοιπόν, δύο αυτοκίνητα με ίδιο βάρος, ίδιο ύψος Κ.Β και ίδιο φορτίο σε κάθε άξονα να έχουν και την ίδια συμπεριφορά. Τα πράγματα, όμως, δεν είναι και τόσο απλά. Βλέπετε, τα αυτοκίνητα δεν κινούνται συνεχώς πάνω σε τόξο κύκλου. Στο τέλος κάθε ευθείας χρειάζεται να αλλάξουν κατεύθυνση. Σε αυτό το κρίσιμο σημείο καθοριστικό ρόλο παίζει η κατανομή του βάρους σε ολόκληρο τον όγκο του οχήματος. Η κατανομή αυτή περιγράφεται από τη σχέση

$$I_p = m \cdot r^2, \text{ Σχέση 1-16,}$$



Σχήμα 4

όπου I_p είναι η πολική ροπή αδράνειας, m είναι η μάζα και r είναι η απόσταση του κέντρου μάζας από το κέντρο περιστροφής. Πιο σωστά η σχέση αυτή γράφεται:

$$I_p = \int_V r^2 dm = \int_V r^2 \rho dV, \quad \text{Σχίστη 1-17,}$$

όπου V είναι ο όγκος ολόκληρου του σώματος, dm η μάζα ενός στοιχειώδους κομματιού του, ρ η πυκνότητά του και r η απόσταση της στοιχειώδους μάζας από το κέντρο περιστροφής, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.

Δεδομένου ότι το πιο βαρύ κομμάτι σε ένα αυτοκίνητο είναι ο κινητήρας, σημαντικότατο ρόλο στην κατανομή αυτή παίζει η θέση που έχει επιλέξει ο κατασκευαστής, για να τον τοποθετήσει. Ας πάρουμε, όμως, τα πράγματα από την αρχή.

Αν εξαιρέσουμε τον Cugnot (βλ. προώτρο) όλοι οι υπόλοιποι κατασκευαστές της εποχής εκείνης ξεκίνησαν τοποθετώντας τον κινητήρα κάτω από το πάτωμα του αυτοκινήτου. Αφθονούσε, άλλωστε, ο χώρος γι' αυτή την επιλογή. Ας μην ξεχνάμε ότι εκατό χρόνια πριν τα αυτοκίνητα αποτελούσαν τη φυσική εξέλιξη της υπηλατης άμαξας, διαθέτοντας ανάλογη απόσταση από το έδαφος.

Όταν οι επιδόσεις βελτιώθηκαν, το κέντρο βάρους χρειάστηκε να κατεβεί, για να αναζητήθηκε μια πιο πρόσφορη θέση. Αυτή δεν ήταν άλλη από το εμπρός μέρος του αυτοκινήτου, ίσως όχι τόσο για πρακτικούς, αλλά περισσότερο για ψυχολογικούς λόγους. Τα άλογα έπρεπε να συνεχίσουν να έλκουν την άμαξα και όχι να αρχίσουν να την σπρόχνουν.

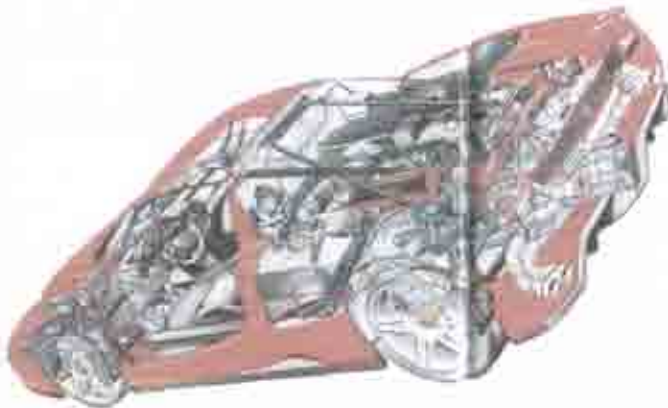
Φυσικά, υπήρχαν στη διάταξη αυτή και δύο μειονεκτήματα, που δεν μπορούσαν να περάσουν απαρατήρητα. Το ένα ήταν η ανάγκη για έναν κεντρικό άξονα, που έπρεπε να μεταφέρει την κίνηση από το εμπρός στο πίσω μέρος. Το δεύτερο ήταν το υπερβολικά βαρύ τιμόνι, που προέκυπτε από την ύπαρξη ενός



Εικόνα 6

Vauche 911. Ένα από τα καλύτερα σπορ αυτοκίνητα όλων των εποχών (όχι και σήμερα περίπου χιόνια) έχει τον κινητήρα πίσω από τον πίσω άξονα.

επιτευχθεί μια στοιχειώδης ευστάθεια. Ο κινητήρας δε χωρούσε πια κάτω από το δάπεδο και



Εικόνα 7

Ferrari Formula 1. Το απόλυτο σπορ αυτοκίνητο οι Φι μπορούσαν πια να έλκουν τον κινητήρα τοποθετημένο στο κέντρο.

μαντεμένιου κινητήρα, πάνω, σχεδόν, από τον εμπρόσθιο άξονα.

Τα χρόνια περνούσαν και κανείς δεν μπορούσε να σκεφτεί τίποτα καλύτερο από τη διάταξη κινητήρα μπροστά - κίνηση πίσω. Όσο μάλιστα εξελίσσονταν τα αμαξώματα, όλο και περισσότερο γινόταν φανερό ότι ο κινητήρας δεν μπορούσε να είναι πουθενά αλλού, αν ο κατασκευαστής ήθελε να προσφέρει έναν ελαρκή χώρο αποσκευών στο πίσω μέρος. Εκτός,



Εικόνα 8.

Ferrari 575M Maranello. Τίπος το καλύτερο αυτοκίνητο παραγωγής στον κόσμο, πρώτη της κλασική αθροιστική κινητήρας μπροστά-κίνηση πίσω. Για καλύτερη κατανομή, το σύστημα μετάδοσης έχει τοποθετηθεί στην πίσω άξονα.



Εικόνα 9.

Το 1966 παρουσιάζεται η Citroen DS. Κινητήρας μπροστά, αλλά πίσω από τον εμπρός άξονα.



Εικόνα 10.

Το 1939 παρουσιάζεται το VW Beetle, το θηλυκό σκαθάρι με τον κινητήρα πίσω από τον πίσω άξονα.

τροχούς. Στην περίπτωση, όμως, αυτή, για καθαρά πρακτικούς και χωροταξικούς λόγους, ο

όμως, από αυτό δεν ήταν λίγοι εκείνοι που υποστήριζαν ότι η διάταξη αυτή ήταν ό,τι καλύτερο για τα δυναμικά χαρακτηριστικά του αυτοκινήτου. Παράλληλα εκείνη την εποχή διατυπώθηκε η θεωρία ότι η μέγιστη πρόσφυση επιτυγχάνεται αν οι μπροστινοί τροχοί αφαιρούν ανεπηρέαστοι να κάνουν τη δουλειά για την οποία είναι προορισμένοι. Να στρίβουν,

δηλαδή, χωρίς να μεταφέρουν την ισχύ του κινητήρα στο δρόμο. Η θεωρία αυτή ισχύει μέχρι και τις μέρες μας.

Θα περνούσε αρκετό χρονικό διάστημα μέχρι να συνειδητοποιήσει η ανθρωπότητα ότι τα αυτοκίνητα δεν κινούνται συνεχώς πάνω σε τόξο κύκλου αλλά χρειάζεται να αλλάζουν κατεύθυνση, στο τέλος της κάθε ευθείας.

Υπήρχαν όμως και μηχανικοί που θεωρούσαν ανόητο, από κοστολογικής κυρίως απόψεως, να υπάρχει ένας τεράστιος άξονας που να μεταφέρει την κίνηση από το ένα μέρος του αυτοκινήτου στο άλλο. Κατ' αυτούς, ο κινητήρας θα έπρεπε να βρίσκεται διπλά ακριβώς από τους τροχούς που κινεί. Βρισκόμαστε ήδη στα τέλη της δεκαετίας του '30 και οι Γάλλοι, δια του Αντρέ Σιερον κυρίως, έχουν κατασταλάξει στο ότι ο κινητήρας πρέπει να βρίσκεται μπροστά και να μεταφέρει την κίνηση στους μπροστινούς τροχούς.

Ο στόχος ήταν η πιστή προσομοίωση της αποσταθεροποιητικής έλξης της υπήλατης άμαξας, αλλά και η απαλλαγή του πλαισίου από τα φορτία που προέκυπταν από την ανάγκη μεταφοράς της ροπής στους πίσω

κινητήρας βρισκόταν όχι μόνο στο εμπρός μέρος αλλά και μπροστά από τους εμπρός τροχούς, με το κιβώτιο και το διαφορικό ανάμεσά τους. Όπως είναι προφανές το τιμόνι βάρυνε ακόμα περισσότερο ενώ, επιπρόσθετα, στα χέρια του οδηγού έφταναν και οι αντιδράσεις των ημιαξονίων, που μετέφεραν την ισχύ του κινητήρα στους τροχούς, οι οποίοι ως τότε ως μόνο προορισμό τους είχαν να στρίψουν.

Στο ακριβώς αντίθετο άκρο βρέθηκαν οι Γερμανοί, αρχής γενομένης με την πρόταση του Δρ. Πόρσε, στο αυτοκίνητο του λαού, γνωστότερο ως VW.



Εικόνα 11.

Μία από τις τελευταίες εκδόσεις του σκαρφαλαίου της VW.

κινητήρας έπρεπε να βρίσκεται πίσω, έτσι ώστε το τιμόνι να μπορεί να είναι τόσο ελαφρύ που να μπορεί να το γυρίζει κανείς ακόμα και με το ένα δάκτυλο. Στη συγκεκριμένη, όμως, εφαρμογή ο κινητήρας βρέθηκε όχι απλώς πίσω, αλλά και πίσω από τους πίσω τροχούς. Αυτό έγινε αφ' ενός μεν για να διευκολύνει τους μηχανικούς στις τυχόν επισκευές και αφ' ετέρου για να αφήνει χώρο για μια δεύτερη σειρά καθισμάτων. Η αρχιτεκτονική αυτή, αλλά και η γενικότερη σχεδιαστική γραμμή του σκαρφαλαίου, πέρασαν αυτούσια μέχρι τις μέρες μας, χάρη στην Porsche 911. Το γεγονός ότι το βάρος στους μπροστινούς τροχούς ήταν πλέον τόσο μικρό ώστε τα αυτοκίνητα με τη διάταξη αυτή να γίνονται έρμιαια των πλευρικών ανέμων, ήταν κάτι που έδειξε να μην απασχολεί ιδιαίτερα ούτε τους

κατασκευαστές, αλλά ούτε και τους χρήστες.

Το περίεργο της ιστορίας είναι ότι, από τη δεκαετία του '50 μέχρι και τις αρχές της δεκαετίας του '70, η γαλλική (πλην Citroen) αυτοκινητοβιομηχανία υιοθέτησε σχεδόν πλήρως τη γερμανική άποψη, βασίζοντας την γκάμα της σε αυτοκίνητα με τον κινητήρα να κρέμεται πίσω από τους πίσω τροχούς.



Εικόνα 12.

VW Golf. Οι γερμανοί επισημαζούν ένα αυτοκίνητο με κινητήρα και κίνηση μπροστά.

Αντιστρόφως, η μεγαλύτερη γερμανική αυτοκινητοβιομηχανία, στη δεκαετία του '70, έβαλε τις βάσεις για το μετέπειτα λαμπρό μέλλον της καταργώντας οριστικά σκαρφαλαίους και NSU και παρουσιάζοντας το Golf που υιοθετούσε πλήρως τη διάταξη όλα μπροστά. Μια διάταξη η οποία αποτελούσε μια αμφοβητήσιμη αρχικά γαλλική πατέντα!

Θα πρέπει πάντως να αναφέρουμε ότι το πρώτο αυτοκίνητο που είχε κινητήρα

τοποθετημένο μπροστά αλλά εγκάρσια, εκμεταλλευόμενο άριστα το διαθέσιμο χώρο του, δεν ήταν άλλο από το Mini Cooper. Η διάταξη αυτή (κινητήρας εγκάρσια μπροστά-κίνηση εμπρός) επινοήθηκε και εκτελέστηκε από ένα συμπατριώτη μας, ονόματι σερ Άλεκ Ισγόνη. Το ότι χρησιμοποιείται κατά κόρον μέχρι τις μέρες μας από τους περισσότερους κατασκευαστές, μας κάνει εθνικά υπερηφάνους. Το Mini εκτός από εξαιρετικούς για το μεγέθός του, χώρους είχε πολύ καλό στήσιμο, χάρη στην εξαιρετική



Εικόνα 13.

Mini Cooper. Κινητήρας εγκάρσιος τοποθετημένος εγκάρσια, μικρό βήρος, ποσοστό στήσιμο. Παρά και τη δουλειά του του σερ Άλεκ Ισγόνη!

υδροπνευματική του ανάρτηση και το εξαιρετικά μικρό βάρος, που δεν ξεπερνούσε τα 650 kg. Όταν τα παραπάνω συνδυάστηκαν με κινητήρες εξελιγμένους από την Abarth, που απέδιδαν έως και 120 Hp από 1,3 lt, δημιούργησαν ένα σύνολο που αμφοιβήτησε τη χρησιμότητα ύπαρξης μεγαλύτερων αυτοκινήτων. Οι επιδόσεις του στο παγκόσμιο πρωτάθλημα ράλι έκανε όλους τους άλλους κατασκευαστές της εποχής του να παραμιλάνε. Αποτελεί ένα πρώτης τάξεως παράδειγμα για τα πλεονεκτήματα του μικρού βάρους στην αυτοκίνηση. Το Mini πέρασε στην ιστορία ως ένα από τα πιο επιτυχημένα, αλλά και



Εικόνα 14.
Fiat GT 40.

αγαπημένα αυτοκίνητα που βγήκαν ποτέ. Εμείς έχουμε έναν επιπλέον λόγο για να το θυμόμαστε. Τον Αλεκ Ιστογόνη!

Στους αγώνες GP, πάντως, ο κινητήρας είχε προ πολλού βρει την τέλεια θέση του και αυτή δεν ήταν άλλη από το χώρο που μεσολάβουσε από την πλάτη του οδηγού μέχρι τους πίσω τροχούς. Κάπως έτσι, άρχισε να αναπτύσσεται μία φιλοσοφία με βάση τον όρο κινητήρας στο



Εικόνα 15.
Alfa Romeo 156. Πιπέρισμα, μπροστιάβαρη, αλλά και άψογα επιμένει!

κέντρο, δημιουργώντας λανθασμένες εντυπώσεις. Στην ουσία, αυτό που είχαμε (και εξακολουθούμε να έχουμε) είναι ένας πίσω κινητήρας, τοποθετημένος μπροστά από τους πίσω τροχούς, σε αντίθεση με την μέχρι τότε παράδοση που ήθελε τον πίσω κινητήρα να βρίσκεται αποκλειστικά πιο πίσω και από τους πίσω τροχούς. Κάπου εκεί, όμως, ο κόσμος άρχισε να μιλά για μια νέα οδηγική παράμετρο δίπλα στην υποστρόφη, την υπέρστρόφη και την κατανομή μάζας. Η παράμετρος αυτή δεν ήταν άλλη από την Πολική Ροπή αδρανείας.

Κάπου εκεί, όμως, ο κόσμος άρχισε να μιλά για μια νέα οδηγική παράμετρο δίπλα στην υποστρόφη, την υπέρστρόφη και την κατανομή μάζας. Η παράμετρος αυτή δεν ήταν άλλη από την Πολική Ροπή αδρανείας.



Εικόνα 16.
BMW 5 Series. Η γερμανική εταιρεία είναι γνωστή για την εμμονή της στην κατανομή βάρους 50-50.

και στρίβει με κεντρομόλο επιτάχυνση ίση με $1g$, σημαίνει ότι, για να κρατηθεί στην τροχιά του, οι δύο μπροστινοί τροχοί πρέπει να παράγουν κεντρομόλο επιτάχυνση ίση με το 60 % του συνολικού βάρους του αυτοκινήτου και οι δύο πίσω, αντίστοιχα, κεντρομόλο επιτάχυνση ίση με το 40 % του βάρους του. (Αφού $F_c = m \cdot \gamma_c$, αν $\gamma_c = 1g$ θα συνεπάγεται ότι $F_c = B$. Να τονίσουμε ότι η κεντρομόλος θα είναι **μόνο αριθμητικά ίση** με το βάρος και **όχι διανυσματικά**.)



Εικόνα 17.

Η Chrysler Viper αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα μπροστόβαρου αυτοκινήτου με κίνηση πίσω.



Εικόνα 18.

Smart Roadster. Στόχος είναι πίσωβαρο αυτοκίνητο με κίνηση πίσω.



Εικόνα 19.

Η Jaguar XJ220. Κλασικό υπεραυτοκίνητο με τον κινητήρα στο κέντρο.

επιτευχθεί σε ένα μπροστόβαρο αυτοκίνητο με κίνηση στους μπροστινούς τροχούς. Ένα

Αν, τώρα, κάνουμε την υπόθεση ότι το αυτοκίνητο κινείται με νεκρά στο κιβώτιο και κανείς τροχός δεν μεταφέρει την ισχύ του κινητήρα στο όρομο, οι εμπρός τροχοί θα φθάσουν πολύ πιο γρήγορα από τους πίσω στο όριο της πρόσφυσης τους, οπότε το αυτοκίνητο θα εκδηλώσει υποστροφική συμπεριφορά. Αν βέβαια η κατανομή ήταν 50-50, τότε, στην περίπτωση αυτή, το αυτοκίνητο μας θα ήταν απολύτως ουδέτερο. Όλα αυτά, βέβαια, σε θεωρητικό επίπεδο, καθώς δεν είναι δυνατόν να κινούμαστε στις στροφές με νεκρά.

Ας επιστρέψουμε, όμως στο αρχικό μας παράδειγμα του 60-40, υποθέτοντας ότι βρισκόμαστε στην πραγματικότητα. Άρα δεν κινούμαστε με νεκρά, αλλά χρειάζεται και η ισχύς του κινητήρα για να διατηρήσει την ταχύτητά μας σταθερή. Αν το αυτοκίνητό μας έχει μπροστινή κίνηση, οι αντίστοιχοι τροχοί θα φορτιστούν τώρα ακόμα περισσότερο εξαιτίας των διαμηκών φορτίων, τα οποία θα προστεθούν διανυσματικά στα εγκάρσια, που ήδη παράγει το πέλμα τους και η υποστροφή θα γίνει ακόμη πιο έντονη. Αν, όμως, η κίνηση μεταδίδεται στους πίσω τροχούς, η αθροιστική τους καταπόνηση θα πλησιάσει τα μεγέθη της εγκάρσιας καταπόνησης των μπροστινών και θα έχουμε μια σχεδόν ουδέτερη συμπεριφορά, με τους δύο άξονες να έχουν παραπλήσιες γωνίες ολίσθησης. Αυτός ακριβώς είναι και ο λόγος που, κάτω από ορισμένες συνθήκες ταχύτητας - ακτίνας στροφής - γκαζιού, ένα μπροστόβαρο αυτοκίνητο με κίνηση στους πίσω τροχούς μπορεί να εμφανίσει μια απολύτως ουδέτερη συμπεριφορά, έχοντας και στους τέσσερις τροχούς τις ίδιες διαστάσεις ελαστικών.

Όπως καταλαβαίνετε η ουδετερότητα δεν μπορεί να

τέτοιο αυτοκίνητο δεν μπορεί ποτέ να είναι ουδέτερο, εκτός και αν ο κατασκευαστής έχει φροντίσει να “χαλάσει”, λίγο ή πολύ, την πρόσφυση των πίσω τροχών, είτε χρησιμοποιώντας μια “κακή” γεωμετρία ανάρτησης, είτε συνιστώντας χαμηλότερες πιέσεις στα πίσω ελαστικά.

Το ακριβώς αντίστροφο θα συμβεί στην περίπτωση που έχουμε ένα πίσωβαρο (π.χ. 40-60) αυτοκίνητο με τον κινητήρα και την κίνηση πίσω. Στην περίπτωση αυτή, θα έχουμε μόνιμη υπερστρόφη, εκτός και αν ο κατασκευαστής έχει φροντίσει να “χαζέψει” ελαφρώς την μπροστινή ανάρτηση, ή να χρησιμοποιήσει φαρδύτερα ελαστικά πίσω.

Η περίπτωση του κινητήρα στο κέντρο είναι, όπως είπαμε, μια περίπτωση κινητήρα πίσω αλλά με κατανομή μαζών πολύ καλύτερη από την “παραδοσιακή” και η οποία μάλιστα



Εικόνα 20.

Lamborghini Countach. Δεξιμή υπερμυτοκίνητου της προηγούμενης δεκαετίας με τον κινητήρα στο κέντρο.

μπορεί να πλησιάσει αρκετά την ιδανική 50-50. Συνήθως βρίσκεται κάπου κοντά στο 45-55, πράγμα που σημαίνει ότι εξακολουθούμε να έχουμε ένα πίσωβαρο αυτοκίνητο στο οποίο, αν ρυθμίσουμε τέλεια την μπροστινή ανάρτηση θα χρειαστούμε φαρδύτερα ελαστικά πίσω από ότι μπροστά, αν δε θέλουμε να δούμε την ουρά μας να μας προσπερνά! Γεγονός πάντως, είναι ότι το φαινόμενο αυτό είναι λιγότερο έντονο στα αυτοκίνητα με τον κινητήρα στο κέντρο από ότι στα αυτοκίνητα με τον κινητήρα πίσω. Αυτός ακριβώς είναι και ο λόγος που στα μικρής ισχύος αυτοκίνητα με αυτή τη διάταξη μπορούμε να έχουμε τέσσερα ίδια ελαστικά χωρίς να

χρειαστεί να υποβαθμιστεί σημαντικά η γεωμετρία του μπροστινού συστήματος.

Τα εκ πρώτης όψεως πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του κεντρικά



Εικόνα 21.

Η Porsche Carrera GT είναι ό,τι πιο σύγχρονο έχει επιδείξει η αυτοκινητοβιομηχανία. Ένα υνιμικό υπερμυτοκίνητο με τον κινητήρα στο κέντρο.

τοποθετημένου κινητήρα, είναι εμφανή.

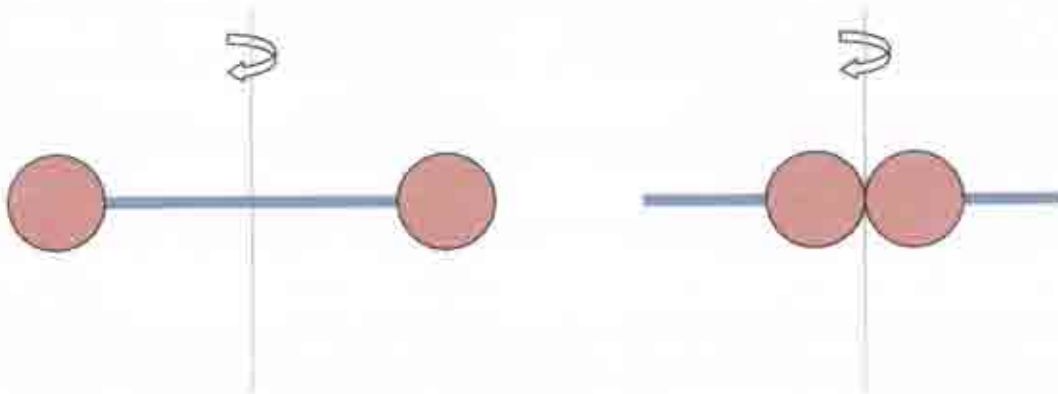
Κατ' αρχήν, η απουσία κινητήρα από το εμπρός μέρος, σημαίνει χαμηλότερο κατό, άρα καλύτερη αεροδυναμική. Σημαίνει, όμως, και ένα τιμόνι τόσο ελαφρύ, που δε χρειάζεται υποβοήθηση ακόμα και αν η σχέση της κρεμαγιέρας του είναι εξαιρετικά γρήγορη. Ένα αυτοκίνητο που προορίζεται για απόλυτη οδική απόλαυση, πρέπει να ξεκινά από ένα σύστημα διεύθυνσης το οποίο να μεταφέρει στα χέρια μας όλες τις πληροφορίες από το δρόμο, αλλά και να μας δίνει τη δυνατότητα να κάνουμε αστραπιαίες διορθώσεις, χωρίς να χρειάζεται να σταυρόνουμε τα χέρια μας. Αυτή ακριβώς τη δυνατότητα προσφέρουν, στο ύψιστο βαθμό, τα αυτοκίνητα με τον κινητήρα στο κέντρο. Μόνο που, ως γνωστόν, τα

αυτοκίνητα με υπερβολικά ζωντανά τιμόνια προορίζονται αποκλειστικά για εκείνους που ξέρουν να τα χειριστούν.

Τα πλεονεκτήματα, όμως, δε σταματούν στις στροφές, αλλά συνεχίζονται και στις ευθείες, ιδιαίτερα στις επιταχύνσεις από στάση. Η συγκεκριμένη θέση του κινητήρα προσφέρει άφθονη κατακόρυφη φόρτιση των πίσω τροχών, ελαχιστοποιώντας σημαντικά το σπινάρισμά τους. Εξ ου και οι δυσανάλογα καλύτεροι χρόνοι για το 0-100, σε σύγκριση με ισοδύναμα αυτοκίνητα με τον κινητήρα μπροστά. Επίσης, η κατακόρυφη φόρτιση των μπροστινών τροχών σε ένα φρενάρισμα, όσο και αν είναι μεγαλύτερη από αυτή ενός αυτοκινήτου με τον κινητήρα τοποθετημένο τελείως πίσω, δεν παύει να είναι σημαντικά μικρότερη από αυτή ενός αυτοκινήτου με τον κινητήρα μπροστά. Αυτό επιτρέπει καλύτερη εκμετάλλευση των ελαστικών, με αποτέλεσμα μικρότερη απόσταση ακινητοποίησης. Τα πρωτεία, πάντως, τα κατέχουν τα αυτοκίνητα με τον κινητήρα πίσω. (Δεν είναι τυχαίο ότι η Porsche 911 θεωρείται ότι έχει το καλύτερο σύστημα πέδησης στον κόσμο.)

Έχοντας πλέον περάσει στην αντίθετη πλευρά, αυτή των μειονεκτημάτων, θα αναφέρουμε ότι ο συγκεκριμένος χώρος που καταλαμβάνει ο δύσκολα επισκέψιμος κινητήρας περιορίζει σημαντικά το ελεύθερο μήκος της καμπίνας. Εδώ, θα πρέπει να επισημάνουμε το γεγονός ότι, για να περάσει το αυτοκίνητο από τα crash-tests, χρειάζονται εκτεταμένες ενισχύσεις στον υποτιπώδη σε μέγεθος χώρο αποσκευών, που βρίσκεται στο εμπρός μέρος. Από την άλλη, αυτές ακριβώς οι ενισχύσεις είναι που με το βάρος τους βελτιώνουν σημαντικά την κατανομή μαζών. Μια που μιλάμε για συγκρούσεις ας λάβουμε υπ' όψιν μας ότι σε μια γερή μεταβολή, όλα τα αυτοκίνητα με τον κινητήρα πίσω καταπονούν το πλαίσιο τους, πολύ περισσότερο από ότι τα αυτοκίνητα με τον κινητήρα μπροστά. Προφανώς η αδράνεια του κινητήρα που "θέλει να περάσει" μέσα από το θάλαμο επιβατών, εναποθέτει στο συνολικό μήκος του αμαξώματος, πολύ μεγαλύτερα φορτία, από ότι αν ο κινητήρας ήταν τοποθετημένος μπροστά, που ακινητοποιείται πάνω στο ίδιο το εμπόδιο. Όσο για τις οπισθομετωπικές, η έλλειψη ελεύθερων παραμορφωσίμων ζωνών, στο χώρο του κινητήρα, ήταν ιδιαίτερα εμφανείς στα αυτοκίνητα μικρού κυβισμού, των περασμένων δεκαετιών.

Για να γίνουν πιο κατανοητά όσα θα πούμε στη συνέχεια, ας ξεχάσουμε για λίγο τα αυτοκίνητα και ας ασχοληθούμε με την αδράνεια απλούστερων κατασκευών. Ενός μολυβιού, για παράδειγμα. Πάρτε νοερά ένα μολύβι και δύο όμοια μπαλάκια από πλαστελίνη.



Σχήμα 5

Στην πρώτη περίπτωση οι δύο μάζες από πλαστελίνη είναι στα άκρα του μολυβιού, ενώ στη δεύτερη οι μάζες είναι μεζεμένες κοντά στο κέντρο περιστροφής.

Ας θεωρήσουμε στην πρώτη περίπτωση ότι προσαρμόζουμε τις δύο μικρές σφαίρες από πλαστελίνη στα άκρα του μολυβιού. Πιάστε το μολύβι από το κέντρο του και προσπαθήστε να το περιστρέψετε ως προς άξονα που να περνά από το κέντρο του και να είναι κάθετος στο φορέα του μολυβιού. Πάρτε, τώρα, τις δύο σφαίρες από πλαστελίνη και προσπαθήστε να τις

προσαρμόσετε κοντά στο κέντρο περιστροφής. Εκτελέστε και πάλι το πείραμα. Σε ποια από τις δύο περιπτώσεις το σύστημα φέρνει μικρότερη αντίσταση στην επιτάχυνσή του; Η εμπειρία μας έχει δείξει ότι όταν οι μάζες είναι συγκεντρωμένες στο κέντρο φέρνουν λιγότερη αντίσταση σε αλλαγή της κινητικής τους κατάστασης. Πάρτε τώρα το πρώτο σύστημα που κινείται και προσπαθήστε να το ακινητοποιήσετε. Επαναλάβετε το ίδιο με το δεύτερο σύστημα. Πιο φέρνει μικρότερη αντίσταση στην ακινητοποίησή του; Και πάλι το δεύτερο.

Όλα αυτά οφείλονται στο ότι το δεύτερο σύστημα έχει μικρότερη πολική ροπή αδρανείας από το πρώτο. Η πολική ροπή αδρανείας είναι για την περιστροφική κίνηση, ότι και η δύναμη αδρανείας για την ευθύγραμμη. Μας δίνει ένα μέτρο της αντίστασης ενός στερεού σώματος, κατά την προσπάθεια περιστροφής του γύρω από έναν άξονα. Λέξει να σημειωθεί ότι η πολική ροπή αδρανείας δεν είναι ένα μέγεθος σταθερό και χαρακτηριστικό για κάθε σώμα, αλλά εξαρτάται άμεσα από τον άξονα ως προς τον οποίο την υπολογίζουμε. Η πολική ροπή αδρανείας δίνεται από τη σχέση $I = I_{cm}$, της σελίδας 10, ή σωστότερα από τη σχέση $I = I_{cm} + Md^2$, της σελίδας 11.



Εικόνα 22.

Η McLaren F1 ήταν ένα αυτοκίνητο τόσο σημαντικό γεγονός ώστε να έχει κωδικό και τη θέση οδηγού στο κέντρο.

από ένα διθέσιο με τον κινητήρα του τοποθετημένο ακριβώς πίσω από τις πλάτες των καθισμάτων.

Μιλώντας για μικρή πολική ροπή αδρανείας, ως προς κατακόρυφο άξονα που περνά από το κέντρο μάζας, δεν πρέπει να παραλείψουμε να αναφέρουμε και την αντίστοιχα πολική ροπή αδρανείας, ως προς τον οριζόντιο άξονα που περνά από το κέντρο μάζας. Με δεδομένο ότι η άνεση εξαρτάται από το λόγο φερόμενης προς μη φερόμενης μάζας καθενός τροχού, αλλά και τη στιγμιαία φόρτιση καθενός ελατηρίου, σε σχέση με τη σκληρότητά του, αντιλαμβανόμαστε ότι ένα αυτοκίνητο με μικρότερη πολική αδρανείας, ως προς τον εγκάρσιο άξονα, θα έχει πιο σκληρές αντιδράσεις από τις αναρτήσεις του, σε σύγκριση με ένα αυτοκίνητο ίσου βάρους, ίδιας κατανομής μαζών, αλλά μεγαλύτερης ροπής αδρανείας.

Πάμε τώρα, σε ένα αυτοκίνητο, το οποίο κοιτάμε από ψηλά να κινείται σε τόξο κύκλου. Αν απομονώσουμε τις επιμέρους κινήσεις του, θα διαπιστώσουμε ότι το αυτοκίνητο αυτό, εκτός από την προς τα εμπρός μετακίνησή του, αλλάζει και προσανατολισμό, περιστρεφόμενο γύρω από κατακόρυφο άξονα, που περνάει από το κέντρο της μάζας του. Το φαινόμενο αυτό είναι τόσο περισσότερο έντονο, όσο υψηλότερη είναι η ταχύτητα κίνησης του αυτοκινήτου και όσο μικρότερη η ακτίνα του κύκλου, πάνω στον οποίο κινείται το αυτοκίνητο, όπως είδαμε και στην περίπτωση 1.1.

Από την εμπειρία μας, αλλά και από το παράδειγμα με το μολύβι που προαναφέραμε, αντιλαμβανόμαστε ότι όσο περισσότερο μαζεμένη είναι η μάζα του αυτοκινήτου προς το κέντρο περιστροφής του, τόσο ευκολότερα το αυτοκίνητο θα αλλάξει προσανατολισμό, ακριβώς εξ' αιτίας της μικρής του πολικής ροπής αδρανείας. Το φαινόμενο αυτό είναι ανεξάρτητο της συνολικής μάζας του σχήματος, ή του ποσοστού κατανομής της στους δύο άξονες. Και δεν υπάρχει αυτοκίνητο με περισσότερο συγκεντρωμένη τη μάζα του στο κέντρο,

Είπαμε ήδη ότι ένα αυτοκίνητο με μικρή πολική ροπή αδρανείας έχει την ικανότητα να αλλάζει προσανατολισμό ταχύτερα από οποιοδήποτε άλλο με μεγαλύτερη. Το ίδιο, όμως, μπορεί να συμβεί και στην περίπτωση που γλιστρήσει το πίσω μέρος του. Στην περίπτωση αυτή η ουρά του θα “εκτοξευτεί” προς τα έξω, επίσης ταχύτερα από οποιοδήποτε άλλου αυτοκινήτου με μεγαλύτερη πολική ροπή αδρανείας. Το σημείο αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

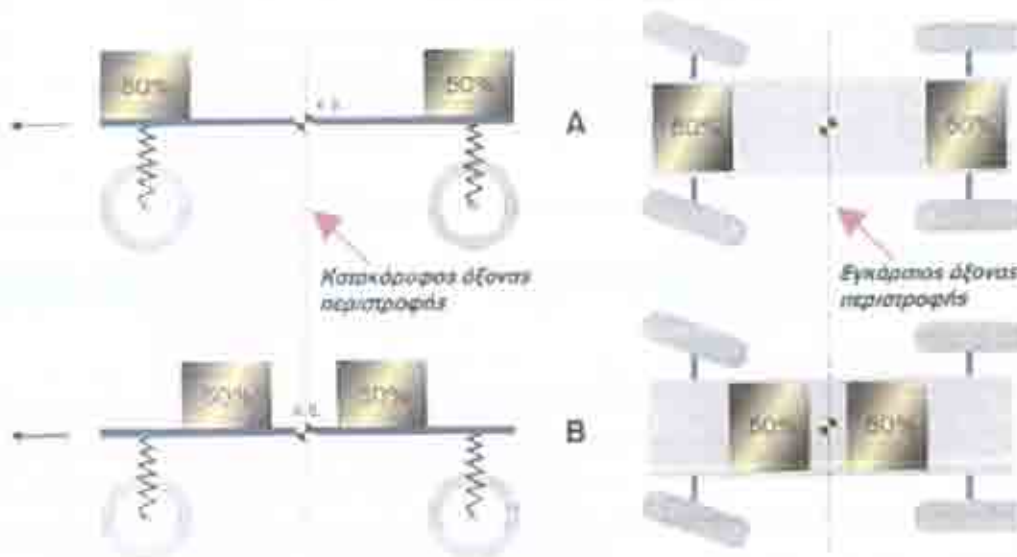
Στην περίπτωση που το αυτοκίνητο έχει τον κινητήρα πίσω από τους πίσω τροχούς, η ουρά έχει μεγάλη μάζα και το αυτοκίνητο μεγάλη πολική ροπή αδρανείας. Το πίσω μέρος θα ανοίξει την τροχιά του με αργό ρυθμό, δίνοντας το χρόνο σε έναν έμπειρο οδηγό να διορθώσει την πορεία του αυτοκινήτου, με ανάποδο τιμόνι. Λόγω, όμως, του μεγάλου μεγέθους της κινητικής ενέργειας της ουράς, το ανάποδο τιμόνι θα είναι παρατεταμένο, οδηγώντας το αυτοκίνητο σε τόξο κύκλου μεγαλύτερης ακτίνας.

Στην περίπτωση ενός αυτοκινήτου με τον κινητήρα τοποθετημένο μπροστά, το αυτοκίνητο έχει σχετικά μεγάλη πολική ροπή αδρανείας και η ουρά μικρή μάζα και άρα μικρή κινητική ενέργεια. Αν η ουρά φύγει, το μαζεμά της δε χρειάζεται ιδιαίτερη προσπάθεια, ιδιαίτερα αν το αυτοκίνητο είναι σωστά στημένο. Αυτός είναι και ο λόγος που τα αυτοκίνητα με τον κινητήρα μπροστά και την κίνηση πίσω είναι τα ευκολότερα να οδηγηθούν στο όριο της πρόσφυσης τους.

Στην περίπτωση που ο κινητήρας είναι τοποθετημένος στο κέντρο του οχήματος, τα πράγματα είναι αρκετά δύσκολα. Η ουρά έχει σχετικά μεγάλη μάζα και το αυτοκίνητο μικρή ροπή αδρανείας. Το “μάζεμα” του αυτοκινήτου πρέπει να γίνει αστραπιαία, ενώ αποκλείεται, στις περισσότερες περιπτώσεις, να γίνει ανάκτηση, αν ο οδηγός κάνει το λάθος να αφήσει το πόδι του από το γκάς. Το ίδιο δύσκολα είναι τα πράγματα στην περίπτωση που ο οδηγός διαπιστώσει ότι ετοιμάζεται να μπει σε στροφή με ταχύτητα υψηλότερη από τη μέγιστη ανεκτή και αναγκαστεί να συνεχίσει το φρενάρισμα με στριμμένους τους τροχούς.

Αυτοί ακριβώς είναι και οι λόγοι που τα αυτοκίνητα με τον κινητήρα στο κέντρο, όπως αυτά που εικονίζονται στις φωτογραφίες αυτής της παραγράφου, αξίζουν και με το παραπάνω τα λεφτά τους, σε γνωστές διαδρομές με οδόστρωμα υψηλής πρόσφυσης, ή μέσα σε πίστες, κατά τη διάρκεια “track days”.

Συνοψίζοντας ας υποθέσουμε ότι έχουμε δύο οχήματα με ίδιο βάρος, ίδια κατανομή μαζών και ίδιο κέντρο βάρους, αλλά διαφορετική πολική ροπή αδρανείας, όπως φαίνεται



Εικόνα 2.1

Δύο αυτοκίνητα με ίδιο βάρος, κέντρο βάρους, ίδια κατανομή στας δύο άξονες, αλλά διαφορετική πολική ροπή αδρανείας.

στην εικόνα 23. Το επάνω όχημα (A) έχει τη μάζα του μοιρασμένη στα άκρα του, εμφανίζοντας μεγάλη πολική ροπή αδρανείας, τόσο στον κατακόρυφο, όσο και στον εγκάρσιο άξονα που περνά από το κέντρο βάρους του. Το κάτω (B) έχει τη μάζα του συγκεντρωμένη κοντά στο κέντρο βάρους του, εμφανίζοντας μικρή πολική ροπή αδρανείας. Και τα δύο αυτοκίνητα θα φτάσουν ταυτόχρονα στο όριο της πρόσφυσης τους, αν κινούνται στην ίδια στροφή, με την ίδια ταχύτητα. Το (B), όμως, θα αλλάζει πορεία από ευθεία σε στροφή πολύ πιο εύκολα από το (A), χάρη στην ευελιξία που του παρέχει η μικρή πολική ροπή αδρανείας, ως προς τον κατακόρυφο άξονα. Για τον ίδιο λόγο, το (B) είναι πιθανώς ευπαθέστερο στους πλάγιους ανέμους και λιγότερο ευσταθές από το (A), αν συνεχίσει τα φρένα του μέσα στη στροφή. Αν τα δύο αυτοκίνητα διαθέτουν τα ίδια ελατήρια στις αναρτήσεις τους και βρεθούν σε δρόμο με ανωμαλίες, τότε το (B) είναι αυτό που θα κοιράσει περισσότερο τους επιβάτες του, αφού θα αρχίσει να σκαμπανεβάζει νωρίτερα από το (A), εξ' αιτίας της μικρής του πολικής ροπής αδρανείας, ως προς τον εγκάρσιο άξονα. Τέλος, το (B) είναι αυτό που θα έχει καλύτερο σύστημα διεύθυνσης, καθώς η έλλειψη βάρους πάνω από τους διεθυντήριους τροχούς δίνει τη δυνατότητα για μια κρεμαγιέρα με μικρότερη σχέση μετάδοσης, δηλαδή γρηγορότερη και αμεσότερη, εναρμονισμένη με τον ευέλικτο χαρακτήρα του αυτοκινήτου.

► 1.5 Από τη θεωρία στην πράξη.

Ας δούμε, τώρα, πόση σημασία δίνουν οι κατασκευαστές στον τομέα του βάρους και



Εικόνα 24.

Το πλαίσιο της τελευταίας BMW 5 Series με τα δύο υλικά κατασκευής, προσαρμόζον να επιτευχθεί η κατανομή βάρους 50:50.

της κατανομής του, αλλά και τις διαφορές ορισμένων μοντέλων, ανάλογα με τη διάταξη που έχει χρησιμοποιηθεί.

Η BMW είναι μια εταιρεία που δίνει πολύ μεγάλη σημασία στην κατανομή του βάρους στους δύο άξονες των αυτοκινήτων της. Σύμφωνα με τους μηχανικούς της η ιδανική κατανομή είναι 50 - 50, ανάμεσα στον μπροστά και τον πίσω άξονα.

Σχεδιάζοντας την τελευταία 5 Series ήρθαν αντιμέτωποι με ένα πρόβλημα. Το



Εικόνα 25.

Audi A8

αυτοκίνητο είχε πολύ πλούσιο εξοπλισμό, μεγάλο μέρος του οποίου φόρτωνε το εμπρός μέρος του. Προκειμένου να διατηρηθεί το βάρος όσο γίνεται χαμηλά και να επιτευχθεί η ζητούμενη κατανομή του, προσέφυγαν σε μία πραγματικά ριζοσπαστική λύση. Έτσι, κατασκεύασαν το πλαίσιο από δύο υλικά. Το εμπρός μέρος, έως και τις μπροστινές κολόνες, είναι από αλουμίνιο και το υπόλοιπο αμάξωμα από ατσάλι πολύ υψηλής αντοχής. Αλουμινένιος είναι και ο κεντρικός άξονας μετάδοσης, ενώ, σε μια ακόμα προσπάθεια εξοικονόμησης βάρους, τα ημιαξόνια είναι κοίλα!

Το αποτέλεσμα όλων αυτών είναι ένα αυτοκίνητο που κινείται και συμπεριφέρεται με έναν τρόπο πραγματικά εντοπωσιακό. Το

αυτοκίνητο, σύμφωνα με αυτούς που το οδήγησαν, κρύβει θαυμάσια τον όγκο και το βάρος του και γίνεται παιχνίδι στα χέρια του οδηγού του, κάτι ιδιαίτερα σπάνιο για την κατηγορία του.

Μιλώντας για αλουμινένια αμαξώματα (θα ήταν παράλειψη να μην αναφέρουμε την Audi. Η γερμανική εταιρεία ήταν η πρώτη που είδε ότι η τάση για όλο και πλουσιότερο εξοπλισμό, σε συνδυασμό με την απαίτηση για πολύ καλή ποιότητα κατασκευής, αλλά και παθητική ασφάλεια, θα οδηγούσε σε μια γιγάντωση του βάρους. Η λύση θα έπρεπε να αναζητηθεί στην εφαρμογή νέας, πρωτοπόρας τεχνολογίας. Ο αρχικός στόχος δεν ήταν η μείωση του βάρους, αλλά η διατήρησή του σε λογικά πλαίσια, χωρίς καμία παραχώρηση σε θέματα ασφάλειας και εξοπλισμού. Το αντίθετο μάλιστα!

Προκειμένου να επιτύχει αυτό της το στόχο η Audi σκέφτηκε να κατασκευάσει ένα αυτοκίνητο εξ' ολοκλήρου από αλουμίνιο. Μέχρι τότε το αλουμίνιο είχε χρησιμοποιηθεί σε κάποια τμήματα, αλλά ποτέ ως δομικό υλικό κατασκευής του πλαισίου. Το κόστος έστω και μιας μελέτης σκοπιμότητας πάνω στο θέμα ήταν δυσθεώρητο. Για το λόγο αυτό η Audi συνεργάστηκε με τον μεγαλύτερο προμηθευτή πρώτων υλών αλουμινίου στον κόσμο, την πολυεθνική Aluminum Company of America, γνωστότερη ως Alcoa.

Καρπός της συνεργασίας των δύο εταιρειών ήταν αρχικά το εντυπωσιακό πρωτότυπο



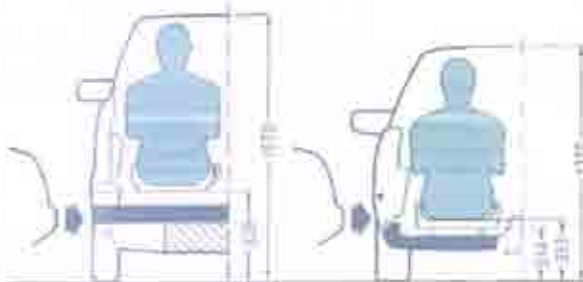
Εικόνα 26.

Το εντυπωσιακό πρωτότυπο Avus.



Εικόνα 27.

Audi A2.



Εικόνα 28.

Σχόδιο της A-έτασης του 1998 από τα πρώτα βήματα του project της.

ήταν αρχικά το εντυπωσιακό πρωτότυπο Avus. Αργότερα, στα μέσα του 1994, μπήκε στην παραγωγή το πρώτο A8. Η τεχνογνωσία που αποκτήθηκε μέχρι τις μέρες μας είναι αξιοσημείωτη. Αυτή τη στιγμή η Audi μπορεί να καυχάται ότι είναι τουλάχιστον πέντε χρόνια μπροστά από οποιονδήποτε ανταγωνιστή της, στο θέμα της κατασκευής πλαισίων από αλουμίνιο.

Σήμερα η γκάμα της Audi περιέχει δύο μοντέλα που χρησιμοποιούν ως δομικό τους υλικό το αλουμίνιο. Αυτά είναι η ναυαρχίδα της το A8 και ο Βενιαμίν της, το A2. Το ότι τα δύο αυτά μοντέλα τοποθετούνται στα άκρα της γκάμας της, δεν είναι τυχαίο. Στόχος της εταιρείας είναι, στο απώτερο μέλλον, όλα τα μοντέλα της γκάμας της να αποτελούνται από αμιγώς αλουμινένια αυτοκίνητα.

Και τα δύο αυτά πρωτοποριακά μοντέλα χαρακτηρίζονται από την άψογη ποιότητα κατασκευής τους, την χαμηλή για την κατηγορία τους, κατανάλωση και τα πολύ καλά δυναμικά χαρακτηριστικά τους. Το ότι είναι από τα πιο ελαφριά αυτοκίνητα της κατηγορίας τους, χωρίς κανένα

συμβιβασμό σε θέματα ποιότητας και ασφάλειας είναι σίγουρα αξιοσημείωτο.

Η Mercedes A-Class είναι το πρώτο μικρό αυτοκίνητο που παρουσίασε η γερμανική εταιρεία. Το project ήταν αρκετά δύσκολο. Το αυτοκίνητο έπρεπε να πληρεί τα πολύ αυστηρά στάνταρ ασφαλείας που έχουν όλα τα αυτοκίνητα του γερμανού κατασκευαστή, αλλά, ταυτόχρονα, να προσφέρει και επαρκείς χώρους για τους επιβάτες του. Προκειμένου να επιτευχθεί ο διττός αυτός στόχος, οι μηχανικοί της εταιρείας υιοθέτησαν τη λύση του πατώματος σάντουιτς. Το πάτωμα του αυτοκινήτου θα ήταν διπλό, προσφέροντας επαρκή αντοχή στις συγκρούσεις και επίπεδο πάτωμα. Παράλληλα, όμως, τοποθετούσε αρκετά υψηλότερα το κέντρο βάρους του οχήματος, όπως φαίνεται και στην [εικόνα 28](#). Προκειμένου να περιοριστεί το πρόβλημα αυτό, κατασκευάστηκε ένας εντελώς νέος κινητήρας που τοποθετήθηκε υπό κλίση εν μέρει κάτω από το πάτωμα του αυτοκινήτου, κατεβάζοντας το κέντρο βάρους του οχήματος, βοηθώντας παράλληλα και στην καλή εκμετάλλευση του διαθέσιμου χώρου. Ως αποτέλεσμα προέκυψε ένα αυτοκίνητο με αρκετά καλή συμπεριφορά, παρά το, σχετικά με τις υπόλοιπες διαστάσεις του, μεγάλο ύψος.



[Εικόνα 28.](#)

Ο κινητήρας που δημιουργήθηκε ειδικά για την A-Class

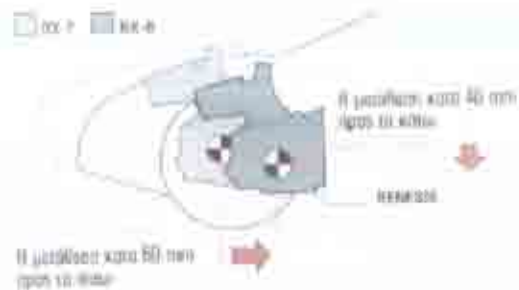
Ας πάμε, τώρα, σε μια άλλη εταιρεία. Όταν λίγα χρόνια πριν η Ford άρχισε να εξαγοράζει τη Mazda, ένα από τα πρώτα πράγματα που έκανε η διοίκηση της αμερικανικής εταιρείας ήταν να κόψει κάθε διάθεση στους Ιάπωνες για δημιουργία νέων σπορ μοντέλων με περιστροφικό κινητήρα. Τα στελέχη της Mazda μάταια προσπαθούσαν να τους μεταπεισουν.

Τότε, πήραν την κατάσταση στα χέρια τους οι αρχιμηχανικοί της. Αν προλάβαιναν να παρουσιάσουν ένα νέο πρωτότυπο, έτοιμο να μπει στην παραγωγή, πριν την πλήρη εξαγορά της εταιρείας τους, τότε ίσως η Ford να ξανασκεφτόταν το ζήτημα. Έτσι, στις ώρες που είχαν ελεύθερες, μετά τη λήξη της βάρδιάς τους, κατάφεραν να δημιουργήσουν ένα πρωτότυπο, το RX-Evoln, το οποίο ήταν τόσο καλό που ανάγκασε τη Ford να το βγάλει σε μαζική παραγωγή, με το όνομα RX-8. Αυτή είναι εν συντομία η ιστορία ενός από τα καλύτερα προσιτά σπορ αυτοκίνητα των ημερών μας. Ένα από παράδειγμα του τι μπορεί να καταφέρει το μεράκι και το πάθος μερικών δραστήριων και ικανών ανθρώπων.



[Εικόνα 30.](#)

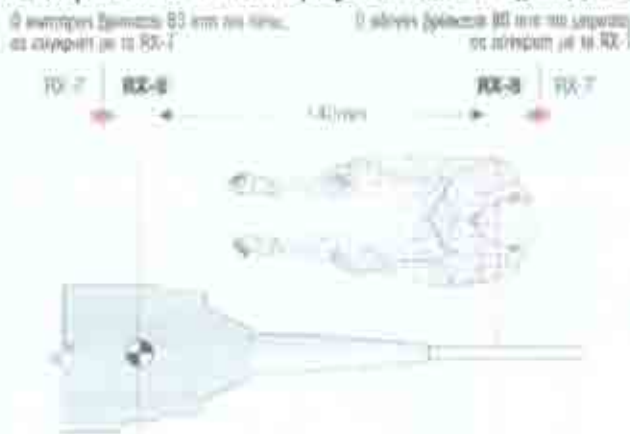
Mazda Rx8. Ένα αυτοκίνητο που γεννήθηκε από το πάθος και το πείσμα των μηχανημάτων της εταιρείας.



[Εικόνα 31.](#)

Ο κινητήρας στο RX-8 τοποθετήθηκε χαμηλότερα και πιο πίσω σε σχέση με το RX-7.

Ας δούμε και την τεχνική σκοπιά του θέματος. Στο RX-8 ο κινητήρας έχει τοποθετηθεί κατά 60 mm προς τα πίσω, σε σχέση με το RX-7. Επίσης η θέση οδήγησης έχει μετατοπιστεί κατά 80 mm προς τα εμπρός. Έτσι, έχουμε μια εμφανέστατη προσπάθεια να συγκεντρωθούν οι πιο βαριές μάζες όσο πιο κοντά γίνεται στο κέντρο περιστροφής, για τον περιορισμό της πολικής ροπής αδρανείας. Σε αυτά έρχεται να προστεθεί και το χαμηλόμα του κινητήρα κατά 40 mm.



Εικόνα 32.

Στο RX-8 εκτός από τη μετατόπιση του κινητήρα προς τα πίσω, έχουμε και τον σύγχρονη προσθήκη της θέσης οδήγησης προς τα εμπρός, με αποτέλεσμα τη σημαντικά μικρότερη πολική ροπή αδρανείας.

έχει απίστευτα μικρές διαστάσεις για τη δύναμή του. Το συνολικό ύψος του είναι μόλις 338 mm και είναι ελάχιστα μεγαλύτερο από το κέλυφος της μετάδοσής του, το οποίο με τη σειρά του καθορίζεται από τη διάμετρο του συμπλέκτη! Αν ακόμα δεν εντυπωσιαστήκατε να πούμε ότι οι διαστάσεις αυτές αφορούν ένα κινητήρα 1308 cm³, με δύο ρότορες που αποδίδει 231 Hp στις 8.200 rpm!

Οι αλλαγές αυτές που έκαναν οι μηχανικοί, είχαν ως αποτέλεσμα το αυτοκίνητο να αποκτήσει κατανομή βάρους στους δύο άξονες 50-50. Εκτός όμως από ένα πολύ ενδιαφέρον οδηγικά αυτοκίνητο το RX-8 θα έπρεπε να είναι και πολύ πρακτικό. Προκειμένου να εξασφαλιστούν άνετοι χώροι για τέσσερις επιβάτες, έπρεπε να υιοθετηθεί ένα μεγάλο μεταξόνιο. Αυτό, θεωρητικά μειώνει την ευελιξία του αυτοκινήτου στις στροφές. Από την άλλη, όμως, προσφέρει και πολύ περισσότερη σταθερότητα, όταν το αυτοκίνητο κινείται με μεγάλη ταχύτητα.

Η συμπεριφορά όμως ενός αυτοκινήτου εξαρτάται από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες. Η επιτυχία των μηχανικών της Mazda είναι ότι πήραν τα πλεονεκτήματα από κάθε έναν από αυτούς. Έτσι, εξ' αιτίας του πολύ χαμηλού κέντρου βάρους, το αυτοκίνητο γέρνει ελάχιστα στις στροφές και είναι σχεδόν ανεπηρέαστο από τη μεταφορά βάρους. Λόγω του μεγάλου του μεταξονίου είναι σταθερότατο στις ανοικτές καμπές των υψηλών ταχυτήτων. Ταυτόχρονα, όμως είναι και ευέλικτο στις κλειστές στροφές εξ' αιτίας της μικρής του πολικής ροπής αδρανείας! Η κατανομή βάρους 50-50 προσφέρει ιδανικό ζύγισμα και πολύ καλή αίσθηση στον οδηγό για τα δρώμενα. Ακόμα και μετά τα όρια της πρόσφυσης του η συμπεριφορά του



Εικόνα 33.

Ο Wankel κινητήρας του RX-8 στην τελευταία του έκδοση Renesis.

είναι φιλική και ελεγχόμενη. Η θεωρία, λοιπόν, επιβεβαιώνεται στην πράξη και το αυτοκίνητο συμπεριφέρεται όπως περιμέναμε.

Η κορυφαία μορφή του μηχανοκίνητου αθλητισμού δεν είναι άλλη από τη Formula 1. Εκεί, όπως έχουμε ήδη πει, υπάρχουν αυστηρότατοι κανονισμοί για το ελάχιστο



Εικόνα 34.

Εμπρός πιτ-βόξ της ομάδας της Sauber.



Εικόνα 35.

Στη Formula 1 ακόμα και η πιο μικρή λεπτομέρεια μπορεί να κάνει τη διαφορά.



Εικόνα 36.

Στο Μονακό οι προβιβάσεις είναι άκρως σημαντικές, αφού οι μπατιέρες κερδίζουν.

υπάρχει κέρδος χρόνου στο γύρο. Σε μία τέτοια περίπτωση οι υπολογισμοί θα έχουν δείξει

επιτρεπόμενο βάρος. Συγκεκριμένα, μαζί με τον πιλότο, δε θα πρέπει να ξεπερνάει τα 600 kgr. Οι μηχανικοί των ομάδων κάνουν ότι μπορούν για να κάνουν τα μονοθέσια τους όσο ελαφρύτερα γίνεται. Η διαφορά αυτή, των 600 kgr από το καθαρό βάρος του μονοθεσίου, προστίθεται σαν έρμα σε διάφορα μέρη στο πάτωμα του αυτοκινήτου.

Το έρμα αποτελεί τουλάχιστον το 10% του βάρους του μονοθεσίου. Στις κορυφαίες ομάδες, όπως η Ferrari, λέγεται ότι το έρμα πλησιάζει τα 100 kgr (16.67% του βάρους του). Με την κατάλληλη τοποθέτηση του έρματος το ύψος του κέντρου βάρους του οχήματος χαμηλώνει σημαντικά, ενώ παρέχεται και η δυνατότητα να μεταβληθεί η κατανομή

του βάρους στους δύο άξονες. Παράλληλα, οι "μικρομετρικές" μετακινήσεις των θέσεων του έρματος, μπροστά και πίσω, μπορούν να επιδράσουν στην εικαισθησία της κατευθυντικότητας του μονοθεσίου, ανάλογα με την πίστα.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αρχίσει να αξιοποιούνται μαθηματικές αναλύσεις που προβλέπουν τη βελτίωση στο χρόνο γύρου ενός αυτοκινήτου με την τοποθέτηση του έρματος σε μη συμμετρική θέση, ως προς το διαμήκη άξονα του αυτοκινήτου. Για παράδειγμα, τοποθετώντας το έρμα δεξιότερα από τον άξονα συμμετρίας, σε μία δεξιόστροφη πίστα, είναι δυνατό να κερδηθεί χρόνος στις δεξιές στροφές, να χαθεί χρόνος στις αριστερές και το τελικό αποτέλεσμα να είναι θετικό. Κανείς φυσικά, δεν αποκλείει και την πιθανότητα να τοποθετηθεί το έρμα αριστερότερα από τον άξονα συμμετρίας σε μία συγκεκριμένη δεξιόστροφη πίστα και παρ' όλα αυτά να

ότι η ωφέλεια από τη βελτίωση της απόδοσης του αυτοκινήτου σε δύο σημαντικές αριστερές στροφές, μπορεί να είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα των απωλειών σε όλες τις υπόλοιπες δεξιές στροφές!

Το έρμα, κατά κανόνα, τοποθετείται στο κατώτερο σημείο του αυτοκινήτου, στην περιοχή μεταξύ κόκπιτ και κινητήρα. Ο κανόνας, όμως, έχει και τις εξαιρέσεις του. Η Ferrari τα τελευταία χρόνια ανακάλυψε μία νέα θέση, για μεγάλο μέρος του έρματος. Κάτω από το πάτωμα, στην περιοχή των ποδιών του οδηγού.

Η επιλογή αυτή έγινε προκειμένου να αυξηθεί η πολιική ροπή αδρανείας του αυτοκινήτου περί τον κατακόρυφο άξονα. Παρ' όλο που κάτι τέτοιο αντίκειται στη θεωρία που θέλει το αυτοκίνητο όσο γίνεται περισσότερο ευέλικτο, με συγκεντρωμένες τις μάζες του κοντά στο κέντρο βάρους του. Εντούτοις η επιλογή αυτή της Ferrari είχε θετικά αποτελέσματα, καθώς μείωσε τη νευρικότητα του μονοθέσιου κάνοντάς το πιο φιλικό προς τον οδηγό του.

Η ιδέα αυτή προχώρησε σε άλλες διαστάσεις από τη στιγμή που υιοθετήθηκε από κάποιες από τις υπόλοιπες ομάδες. Έτσι, την επόμενη φορά που θα δείτε ένα μονοθέσιο να κατευθύνεται στα πιτ προκειμένου να αντικαταστήσει την τραυματισμένη, ύστερα από

σύγκρουση, πρόσθια πτέρυγά του μην παραξενευτείτε αν δείτε τα πλαστικά που σέρνονται στην πίστα να βγάζουν σπίθες από την τριβή. Αυτό που τριβεταιί είναι το καλά κρυμμένο στο εσωτερικό των πλαστικών μεταλλικό έρμα, που τοποθετήθηκε εκεί για να μειώσει τη νευρικότητα του εμπρός μέρους, αυξάνοντας την πολική ροπή αδρανείας του!

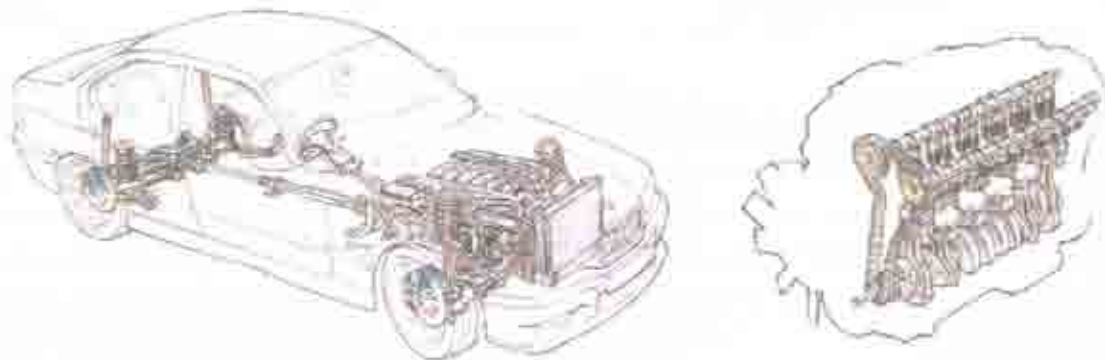
Μιλώντας για ροπή αδρανείας, ας δούμε τι διαφορές έχουν στο δρόμο ορισμένα αυτοκίνητα που έχουν τον κινητήρα τοποθετημένο σε διαφορετικές θέσεις, αλλά την κίνηση στον ίδιο άξονα, τον πίσω.

Στο πρώτο συγκριτικό θα δούμε τις διαφορές τριών κορυφαίων, πολύ γρήγορων μοντέλων. Η δοκιμή έγινε από το εγκυρότατο περιοδικό Quattroruote και αναδημοσιεύτηκε από το Auto Motor und Sport

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ			
Μοντέλο	BMW M3	Ferrari 355 Spider	Porsche 911 Turbo
Έτος	2000	1995	2000
Έκδοση	2 α. άξονα	18	4 α. άξονα
Κιλόγραμμα	1310	1015	1305
Επιτάχυνση 0-100 (sec)	7,2	3,7	4,1
Μέγιστη ταχύτητα (km/h)	211	267	266
Μέγιστη ταχύτητα (km/h)	201	261	261
Μέγιστη ταχύτητα (km/h)	186	188	188
Μέγιστη ταχύτητα (km/h)	171	167	178
Απόσταση στάσης	30m	24m	30m
Απόσταση στάσης	24m	24m	24m
Απόσταση στάσης	24m	24m	24m
Απόσταση στάσης	24m	24m	24m

Πίνακας 1

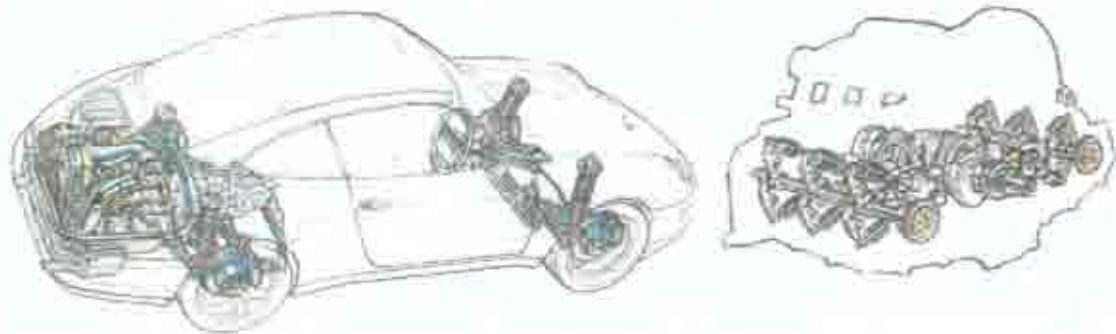
εγκυρότατο περιοδικό Quattroruote και αναδημοσιεύτηκε από το Auto Motor und Sport



Εικόνα 3*

BMW M3, Ελακτοβάρος (ν. περιρ. κινητήρας τοποθετημένος μπροστά), 1310 kg, 321 HP για 1592 kg.

(τεύχος 15, 1 Σεπτεμβρίου 1996). Μπορεί το συγκριτικό να είναι παλιό, αλλά τα αποτελέσματά της ισχύουν και σήμερα, αφού τα αυτοκίνητα που έλαβαν μέρος κάθε άλλο παρά ξεπερασμένα είναι.



Εικόνα 38.

Porsche 911. Εξακύλιτμος Βύιερ τοποθετημύς πίσω από τον πίσω άξονα, 3600 cc, 286 Ηπ για 1518 kg.

Την κλασική διάταξη του κινητήρα μπροστά και της κίνησης πίσω εκπροσωπεί η BMW M3. Στο ακριβώς αντίθετο άκρο βρίσκεται η Porsche 911, στην έκδοση Targa, που δε



Εικόνα 39.

Ferrari F355 Spider. Οκτακύλιτμος με διάταξη V τοποθετημύς πίσω από τις πλάτες των εμπρός καθισμάτων, 3495 cc, 381 Ηπ για 1614 kg.

θα μπορούσε να έχει πουθενά αλλού τον κινητήρα, παρά πιο πίσω και από τον πίσω άξονα. Το πιο σκληροπυρηνικό αυτοκίνητο από τα τρία είναι η Ferrari F355, στην έκδοση Spider με μαλακή, ανοιγόμενη οροφή, και με κινητήρα τοποθετημένο πίσω από τις πλάτες των εμπρός καθισμάτων. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των τριών αυτοκινήτων φαίνονται στον πίνακα 1 και εντυπωσιάζουν ακόμα και με τα σημερινά δεδομένα.

Η δοκιμή περιελάμβανε οδήγηση σε πίστα μήκους 960 m σε στεγνό και 620 m σε βρεγμένο οδόστρωμα, κυκλική πορεία διαμέτρου 110 m και σλάλομ 300 m, με απόσταση κορινθών 30 m. Τα συμπεράσματα της δοκιμής είναι ενδιαφέροντα και θα μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε το διαφορετικό χαρακτήρα που προσοδίδει στα αυτοκίνητα η διαφορετική αρχιτεκτονική τους.



Εικόνα 40.

Η M3 στη δοκιμάση του κίνησης.

Η BMW M3 είναι ένα αυτοκίνητο που συνδυάζει τις υψηλές επιδόσεις με την άνεση και την πολυτέλεια ενός ακριβού τετράθυρου sedan. Δε θα ενοχλήσει και δε θα κουράσει ποτέ τον οδηγό του. Το σύστημα διεύθυνσης είναι ακριβές και γρήγορο και η συμπεριφορά του αυτοκινήτου είναι σχεδόν τέλεια σε στεγνό οδόστρωμα. Σε

βρεγμένο χρειάζεται κάποια προσοχή, γιατί εύκολα μπορεί να παρουσιαστεί υπερτροπή, η οποία όμως εμφανίζεται προοδευτικά και μπορεί να ελεγχθεί σχετικά εύκολα. Με λίγη προσοχή στο γκάζι, σε καταστάσεις μειωμένης πρόσφυσης, δεν παρουσιάζεται κανένα πρόβλημα.

Το πολύ μικρό βάρος στον μπροστινό άξονα, ήταν υπαίτιο για τη δύστροπη συμπεριφορά των πρώτων εκδόσεων της 911. Κατά την είσοδο στη στροφή παρουσιαζόταν έντονη υποτροπή, που με το παραμικρό άφημα του γκαζιού μετατρέποταν σε έντονη υπερτροπή. Επίσης, στις υψηλές ταχύτητες το εμπρός μέρος είχε την τάση να ελαφραίνει και να είναι ευπαθές στους πλευρικούς ανέμους. Στην έκδοση της δοκιμής, μετά από τριάντα χρόνια εξέλιξης, είχαν εξαλειφθεί πολλά από τα μειονεκτήματα αυτά. Παρουσιάστηκε, για πρώτη φορά, μια πίσω ανάρτηση πολλαπλών συνδέσεων, που βοήθησε καθοριστικά στο στήσιμο του αυτοκινήτου. Το αυτοκίνητο έχει πολύ υψηλά περιθώρια πρόσφυσης. Ως σύνολο, παρουσιάζεται ιδιαίτερα αρμονικό και ισορροπημένο, όντας φιλικό και χρηστικό. Μόνο στο όριο παρουσιάζονται υπερτροφικές τάσεις, που ελέγχονται εύκολα. Μπορεί στην πίστα οι πλαγιολισθήσεις διαρκείας να κοστίζουν αρκετά σε χρόνο, όμως σε καθημερινές συνθήκες αυτό που έχει μεγαλύτερη σημασία είναι η φιλικότητα. Σε αυτόν τον τομέα η Porsche είναι πραγματικά ένα παιχνίδι.

Η F355 ήταν και παραμένει ένα από τα καλύτερα σπορ αυτοκίνητα που παρουσιάστηκαν ποτέ. Σε αντίθεση με τα άλλα δύο δεν είναι ένα αυτοκίνητο που προορίζεται για καθημερινή χρήση. Οι σχεδιαστές της ως στόχο είχαν να δημιουργήσουν ένα σύνολο συγκλονιστικό, ένα απόλυτο, καθαρόαιμο σπορ μοντέλο. Πραγματικά, η Ferrari είναι



Εικόνα 42.

Η F355 Spider στη διαδικασία των γύρων πίστας π βρεγμένο οδόστρωμα.

αναμφισβήτητο το πιο γρήγορο και το πιο απόλυτο από τα τρία και μάλιστα με διαφορά. Μπορεί να είναι πολύ σωστά ζυγισμένο για αυτοκίνητο με τον κινητήρα στο κέντρο, όμως δεν παύει να έχει πολύ απόλυτες αντιδράσεις στο όριο. Αυτή ακριβώς η κοφτερή συμπεριφορά είναι που το κάνει τόσο ποθητό, αλλά και τόσο ακατάλληλο για καθημερινή χρήση. Εκεί που τα άλλα δύο προειδοποιούν και συγχωρούν λάθη,

η F355 τιμωρεί. Μπορεί να κινηθεί απίστευτα γρήγορα, αν στο τιμόνι της βρίσκεται ένας πολύ ικανός οδηγός. Θα τον δυσκολέψει όμως σαφώς παραπάνω από τα άλλα δύο, αφού οι αντιδράσεις της στα όρια της πρόσφυσης της είναι ακαριαίες και μπορεί να τον αιφνιδιάσουν. Αυτή, βέβαια, είναι και η γοητεία αυτού του αυτοκινήτου.

Εκτός από τη γενική εικόνα των αυτοκινήτων, που είναι πολύ σημαντική, καλό θα είναι να δούμε και τους χρόνους στις επιμέρους δοκιμασίες. Ο πίνακας 2 παρουσιάζει αναλυτικά τα αποτελέσματα όλων των μετρήσεων. Όπως είναι φυσικό, η Ferrari πρότεινε σε όλες τις μετρήσεις. Για να γίνει όμως αυτό χρειάστηκε τη μεγαλύτερη προσπάθεια, ιδιαίτερα στο βρεγμένο οδόστρωμα. Στο σλάλομ αξιολογείται η ευελιξία του αυτοκινήτου. Το πολύ χαμηλό κέντρο βάρους της F355, σε συνδυασμό με τη μικρή πολική ροπή αδρανείας, δεν αφήνουν περιθώρια για αμφισβήτηση. Τα δύο γερμανικά αυτοκίνητα ακολουθούν σε μικρή απόσταση. Η διαφορά είναι μικρότερη από αυτή που θα περιμέναμε βλέποντας την αναλογία ισχύος-βάρους. Η εξήγηση πρέπει να αναζητηθεί στη δυσκολία ελέγχου της Ferrari, σε οριακές καταστάσεις. Από τα άλλα δύο η



Εικόνα 41.

Η Porsche 911 στη δοκιμασία του σλάλομ.

Porsche εκμεταλλεύεται το χαμηλότερο κέντρο βάρους του Boxer της και αποδεικνύεται ελάχιστα αργότερη της κατά 40 άλογα ισχυρότερης BMW. Η καλή επίδοση της 911 οφείλεται κατά ένα μέρος και στην εγγενή τάση της για υπερτροφή, που τη βοηθάει ιδιαίτερα σε αυτή τη δοκιμασία. Η M3 μπορεί να είναι πιο δυσκίνητη στο σλάλομ, όμως είναι η πιο ισορροπημένη, φύλικη και προβλεψιμη. Τα χαρακτηριστικά αυτά αρκούν για να της δώσουν τη δεύτερη θέση, στη συγκεκριμένη δοκιμασία.

Στην κυκλική πορεία μετρήθηκε η μέγιστη δυνατή ταχύτητα και η μέγιστη κεντρομόλος επιτάχυνση (εκφρασμένη σε κλάσμα της επιτάχυνσης της βαρύτητας g), κατά την οποία δε χρειάστηκε ο οδηγός να προβεί σε καμία διόρθωση με το τιμόνι. Σε αυτή τη δοκιμασία αξιολογούνται τα περιθώρια της πλευρικής πρόσφυσης των αυτοκινήτων, το κράτημα δηλαδή. Επειδή εδώ δεν παίζει κανένα ρόλο ο οδηγός, αλλά μόνο τα χαρακτηριστικά του αυτοκινήτου, η F355 ξεχώρισε περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη δοκιμασία. Τα 1,06g είναι τιμή πραγματικά κορυφαία και οφείλεται κυρίως στο χαμηλό κέντρο βάρους της. Στον ίδιο λόγο οφείλεται και η πολύ καλή επίδοση της Porsche, που πέτυχε 1,01g. Η BMW έχει πολύ καλό κράτημα για οικογενειακό αυτοκίνητο. Τα 0,97g δεν είναι καθόλου κακή τιμή. Μοιραία, όμως, μένει πίσω από τα άλλα δύο, αφού το κέντρο βάρους της είναι σαφώς ψηλότερο.

Ο γύρος πίστας είναι μια συνολική αξιολόγηση του αυτοκινήτου. Η Ferrari βρίσκεται στο στοιχείο της και έρχεται πρώτη τόσο σε στεγνό, όσο και σε βρεγμένο. Στο δεύτερο, πάντως, ελάχιστοι οδηγοί μπορούν να την οδηγήσουν πραγματικά γρήγορα. Porsche και BMW αποδεικνύονται σχεδόν ισοδύναμες. Στο στεγνό η 911 είναι ελάχιστα πιο γρήγορη κάτι που σημαίνει ότι έχει καλύτερο στήσιμο, αφού έχει πιο αδύναμο κινητήρα. Στο βρεγμένο η M3 περνάει στη δεύτερη θέση εκμεταλλευόμενη τις προβλεψιμες αντιδράσεις της. Η Porsche, κάτω από αυτές τις συνθήκες είναι η πιο υπερτροφοική. Ελέγχεται εύκολα, αλλά χάνει χρόνο.

Και τα τρία αυτοκίνητα της δοκιμής είναι εξαιρετικά. Μπορεί οι διαφορές σε χρόνο στις διάφορες δοκιμασίες να είναι μικρές, αλλά είναι υπαρκτές. Πολύ μεγαλύτερες, όμως, είναι οι διαφορές στον τρόπο που συμπεριφέρονται στα όρια της πρόσφυσής τους. Διαφορές θεμελιώδεις, που, σε πολύ μεγάλο βαθμό, σχετίζονται με την αρχιτεκτονική τοποθέτησης του κινητήρα τους.

Σε παραλληλία συμπεράσματα καταλήγει και η σύγκριση των Lotus Esprit V8 και Maserati Ghibli. Και τα δύο αυτοκίνητα είναι εφοδιασμένα με πολύ ισχυρούς υπερτροφοδοτούμενους κινητήρες. Η Maserati χρησιμοποιεί έναν V6 τοποθετημένο μπροστά, που από 1996cc με τη βοήθεια δύο τούρμπο αποδίδει 330Hp. Η Lotus έχει καταφέρει να χωρέσει έναν τεράστιο V8 χωρητικότητας 3506cc πίσω από τα εμπρός καθίσματα. Ο κινητήρας αυτός, επίσης με δύο τούρμπο, αποδίδει 354Hp.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΙΣΤΑ			
Μοντέλο	BMW M3	Ferrari 355 Spider	Porsche 911 Targa
Τιμή πωλητή (χ.φ.α. + ε.π.σ.)	2505.900	288.840	373.150
Επιτάχυνση (0-100)			
0-100 γ.α.μ.	5,3	5,9	5,3
0-110 γ.α.μ.	6,2	7,8	6,9
0-120 γ.α.μ.		7,7	7,1
0-130 γ.α.μ.	8,1	11,4	10,0
0-140 γ.α.μ.	10,2	15,1	13,7
0-150 γ.α.μ.	11,9	18,7	17,0
0-160 γ.α.μ.	17,4	23,8	24,5
Επιβράδυνση (0-100)			
100-0 γ.α.μ.	6,1	6,1	6,7
100-80 γ.α.μ.	10,8	10,1	11,7
Σλάλομ (300 μέτρα, 10 κορνέες)			
0-1	22,75	18,85	21,03
0-2	38,4	39,9	41,9
Καλήσ στεγνό (δύο γύροι, 100 μέτρα)			
0-1	0,97	1,06	1,05
0-2	83,7	85,9	81,9
Χρόνος γύρου 90 μ. (στεγνό)			
0-1	29,306	30,271	19,171
0-2	87,9	90,3	88,0
Χρόνος γύρου 670 μ. (βρεγμένο)			
0-1	77,00	81,48	82,2
0-2	148	159	151

Πηνικα, 2

Παρά την παραπλήσια ισχύ, τα δύο αυτοκίνητα δεν έχουν καμία σχέση στο δρόμο. Η Esprit είναι πολύ απόλυτη και κοφτερή. Δε συγχωρεί λάθη πάνω στη στροφή. Χρειάζεται γνώση της διαδρομής και προσχεδιασμό των κινήσεων, για να πάει κανείς πραγματικά γρήγορα. Αν το κάνει θα ανταμειφθεί και με το παραπάνω. Αν όχι, η έξοδος από το δρόμο είναι σχεδόν βέβαιη. Η Maserati, από την άλλη, παρουσιάζεται πολύ πιο φιλική. Δεν είναι βέβαια δυνατόν ένα τόσο ισχυρό αυτοκίνητο να είναι ευκολοδύνητο. Ωστόσο, απαιτεί σαφώς λιγότερη προσοχή και ικανότητες από τον οδηγό του. Οι αντιδράσεις του στα όρια της πρόσφυσης είναι πολύ πιο γραμμικές και προοδευτικές και αυτό είναι κάτι που βοηθάει πολύ, τόσο σε μια άγνωστη διαδρομή, όσο και σε καθημερινές συνθήκες.

Συνήθως τα αυτοκίνητα με τον κινητήρα τοποθετημένο στο κέντρο είναι πανάκριβα,



Εικόνα 44.

MG-TF και MR2 στα άκρα με κινητήρα στο κέντρο και MX-5 στη μέση της φωτόγραμμίας με κινητήρα μπροστά.

εδώ και αρκετά χρόνια στην κατηγορία. Και τα τρία αυτοκίνητα προσφέρονται με κινητήρες 1800cc, με παραπλήσια ιπποδύναμη και έχουν κίνηση στους πίσω τροχούς. Οι όποιες διαφορές, λοιπόν, θα προκύψουν κυρίως από τη θέση του κινητήρα.

Το MG-TF είναι η τελευταία έκδοση του MGF, της παλαιάς Rover, μετά την εξαγορά της τελευταίας και τη μετονομασία της σε MG. Το MG-TF είναι αρκετά απόλυτο. Λόγω του αρκετά μεγάλου βάρους πίσω, οι ισορροπίες είναι πολύ λεπτές και απαιτεί εξαιρετικά επιδέξιους χειρισμούς. Η συμπεριφορά του μπορεί να παραλληλιστεί με αυτή ενός ακροβάτη που προσπαθεί να περπατήσει πάνω σε τεντωμένο σχοινί. Το αυτοκίνητο βέβαια δεν είναι και τόσο δύσκολο, όμως απαιτεί μεγάλη εξοικείωση για να μπορέσει κάποιος να το οδηγήσει γρήγορα. Το μυστικό στη συμπεριφορά του βρετανικού μοντέλου είναι να γίνονται όλα νωρίτερα. Πλησιάζοντας στη στροφή ο καλύτερος τρόπος είναι να αφήσει κανείς στιγμιαία το γκάζι. Λόγω της τοποθέτησης του κινητήρα, το πίσω μέρος αντιδρά πολύ πιο έντονα και νειρικά στο φαινόμενο της μεταφοράς



Εικόνα 43.

Maserati Ghibli με κινητήρα μπροστά, εναντίον Lotus Esprit V8 με κινητήρα στο κέντρο.

με θηριώδεις κινητήρες, απρόσιτα στη μεγαλύτερη μερίδα του αγοραστικού κοινού. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν δύο μοντέλα που προσφέρονται στην αγορά με τον κινητήρα στο κέντρο, επαρκείς κινητήρες και λογικό κόστος. Αυτά δεν είναι άλλα από το MG-TF της ομώνυμης MG και το MR2 της Toyota. Τα μοντέλα αυτά έρχονται αντιμέτωπα με το MX-5 της Mazda, ένα αυτοκίνητο που έχει αποδείξει την αξία του έχοντας πολύ ισχυρή παρουσία



Εικόνα 45.

MG-TF. Ένα μικρό, στιλπ. προσικό αυτοκίνητο με κινητήρα στο κέντρο.

βάρους. Πριν το καταλάβει κανείς το αυτοκίνητο θα έχει πλασαριστεί στην είσοδο της στροφής. Εκεί ακριβώς βρίσκεται το κρίσιμο σημείο. Το ανάποδο τιμόνι θα πρέπει να γίνει αμέσως και μάλιστα με ακρίβεια εκατοστού. Αν υπάρξει καθυστέρηση, είναι σχεδόν σίγουρο ότι το αυτοκίνητο θα οδηγηθεί σε τει-α-κέ. Αν γίνει περισσότερο ανάποδο τιμόνι απ' όσο χρειάζεται ή υπάρξει καθυστέρηση στην επαναφορά των τροχών στην ευθεία, υπάρχει ο φόβος να γυρίσει από την άλλη πλευρά, σαν εκκρεμές.

Κατά το σχεδιασμό του MR2 τέθηκαν δύο στόχοι. Ο πρώτος ήταν το βάρος του



Εικόνα 46.

Το MR2 της Toyota είναι το έτηρ μικρό, πρωτότυπο μοντέλο με κεντρίμα στο κέντρο.

Στην πράξη το MR2 θυμίζει στο δρόμο ένα μεγάλο kart, απαιτώντας από τον οδηγό του απόλυτη προσήλωση, κυρίως όταν οδηγείται γρήγορα. Η τοποθέτηση του κινητήρα στη μέση συγκεντρώνει μεγάλο μέρος της μάζας στο κέντρο του αυτοκινήτου και μπορεί να προξενήσει μερικές περίεργες και απότομες αντιδράσεις. Πρέπει και αυτό να οδηγείται αποφασιστικά, με τοποθέτηση πριν από τη στροφή, ώστε να μην εμφανίσει υποστροφή στην είσοδό της. Τα γλιστερά κομμάτια απαιτούν οικονομία στο γκάζι μιας και η άφθονη ροπή είναι πανταχού παρούσα και οι υπερστροφικές τάσεις μπορούν να γίνουν πολύ έντονες. Σε τέτοια περίπτωση ο οδηγός πρέπει να κατευθύνει το αυτοκίνητο με το τιμόνι και με το γκάζι, ώστε το μπλοκέ διαφορικό να κάνει τη δουλειά του. Σε περίπτωση που ο οδηγός αφήσει το



Εικόνα 47.

Το MX-5 της Mazda ζαναδομιούργησε την κατηγορία των μικρών, πρωτίτων ροαδστερ.

γκάζι, χρειάζονται γρήγορες και αποφασιστικές κινήσεις, για να αποφευχθεί το τει-α-κέ. Οι αντιδράσεις του, πάντως, είναι πιο ήπιες από του MG-TF.

Η διαφορά της συμπεριφοράς του MX-5 από τα άλλα δύο είναι τεράστια. Το μικρό της Mazda είναι ένα πολύ καλοστημένο αυτοκίνητο. Είναι πολύ στιβαρό, δίνοντας την εντύπωση ότι πατάει καλά στο δρόμο και πως οι δυνατότητές του είναι τεράστιες. Χάρη στο πολύ καλό του ζύγισμα, παραμένει πάντα φιλικό και ελεγχίμο. Με το ιαπωνικό roadster ο

έλεγχος της υπερστροφής μοιάζει τόσο απλός και εύκολος, σαν παιχνίδι. Είναι πάντα προοδευτικό στις αντιδράσεις του και δίνει την εντύπωση ότι δε θα προδώσει ποτέ τον οδηγό του.

Βλέπουμε, λοιπόν, ότι ανεξαρτήτως κατηγορίας τιμής και ισχύος, τα αυτοκίνητα με τον κινητήρα τοποθετημένο στο κέντρο κατά κανόνα προσφέρουν περισσότερες συγκινήσεις στον οδηγό τους, όντας πιο απότομα στις αντιδράσεις τους και πολύ λιγότερο προβλέψιμα. Αυτός ακριβώς είναι και ο λόγος που είναι η καλύτερη επιλογή, αν το ζητούμενο είναι μια γρήγορη βόλτα σε μια πίστα. Αυτός, όμως, είναι και ο λόγος που δεν είναι και η καλύτερη επιλογή για καθημερινές μετακινήσεις, ή για μια εκδρομή σε άγνωστη διαδρομή. Στις

συνθήκες αυτές τα αυτοκίνητα με τον κινητήρα μπροστά, ή ακόμα και πίσω, αποδεικνύονται σαφώς πιο φιλικά. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδειχτεί σαφώς στην περίπτωση που ο οδηγός κάνει λάθος εκτίμηση στην είσοδο της στροφής, είτε από άγνοια του δρόμου, είτε από κόπωση, μετά από αρκετές ώρες οδήγησης.

Σε κάθε κανόνα, όμως, υπάρχει και μια εξαίρεση. Το ζευγάρι των αυτοκινήτων που ακολουθεί φιλοδοξεί να το επιβεβαιώσει.



Εικόνα 48.

Honda S2000 και Porsche Boxster. Η εξαιρέση στον κανόνα:

όσον αφορά την ειδική ισχύ ανά λίτρο (120HP ανά λίτρο!). Ο κινητήρας αυτός τοποθετήθηκε μπροστά, αλλά πίσω από τον μπροστινό άξονα, σε μια προσπάθεια ελέγχου της κατανομής του βάρους.

Η Porsche Boxster είναι μια προσπάθεια της γερμανικής εταιρείας να καθιερωθεί στο χώρο των φτηνών roadster. Το αυτοκίνητο αυτό ήταν άκρως σημαντικό για το μέλλον της εταιρείας, γι' αυτό και δε χωρούσαν λάθη στη σχεδίασή του. Ο κινητήρας είναι ένας εξακύλινδρος Boxer με ισχύ παραπλήσια με αυτή του Honda και βρίσκεται τοποθετημένος πίσω από τα εμπρός καθίσματα.

Στο δρόμο τα δύο αυτοκίνητα έχουν ένα εντελώς διαφορετικό πρόσωπο. Οι όποιες διαφορές τους, τόσο σε αίσθηση, όσο και σε συμπεριφορά, δεν έχουν να κάνουν μόνο με τη διάταξη των μηχανικών μερών, αλλά και με το χαρακτήρα των δύο μοντέλων, που είναι τελείως διαφορετικός. Η Boxster σχεδιάστηκε ως ένα roadster μεγάλων αποστάσεων, ικανό να μεταφέρει τους επιβάτες του αταλάκωτους κάτω από οποιοδήποτε συνθήκες. Το S2000 σχεδιάστηκε χωρίς κανένα συμβιβασμό με αποτέλεσμα να ταλαιπωρεί τους επιβάτες του



Εικόνα 49.

Porsche Boxster. Έτσι: το πιο φιλικό κεντρομήχινο αυτοκίνητο.

κινηθεί, ακόμα και σε γρήγορους ρυθμούς, αποτελεί παράδειγμα προς μίμηση για όλους τους επιδοξούς κατασκευαστές αυτοκινήτων με κινητήρα στο κέντρο. Όταν ο ρυθμός ανέβει πολύ και φτάσει σε οριακά επίπεδα, οι νόμοι της φυσικής ξεπερνούν την πολύ καλή δουλειά που έχουν κάνει οι μηχανικοί της Porsche στο σχεδιασμό του πλαισίου και της ανάρτησης. Τότε χρειάζεται προσοχή μιας και εμφανίζεται, όπως σε όλα τα αυτοκίνητα με τον κινητήρα τοποθετημένο στο κέντρο, η έμφυτη τάση της απότομης μετάβασης από την υποστροφή σε

Το Honda S2000 κατασκευάστηκε ως επετειακό μοντέλο. Θέλοντας οι μηχανικοί να παρουσιάσουν κάτι το μοναδικό έβαλαν τα δυνατά τους. Το αποτέλεσμα ήταν ο ισχυρότερος ατμοσφαιρικός κινητήρας παραγωγής, στον κόσμο,

τόσο με το θόρυβο του κινητήρα του, όσο και με τη σκληρότητα της ανάρτησής του.

Σε ρυθμούς βόλτας η φιλικότητα της Porsche δε συγκρίνεται με κανενός άλλου κεντρομήχανου. Η συμπεριφορά της χαρακτηρίζεται από παντελή απουσία έστω και τάσεων υποστροφής ή υπερστροφής, ακόμα και σε σβέλτους ρυθμούς. Το μόνο που έχει να κάνει ο οδηγός της είναι να στρίβει το τιμόνι και το αυτοκίνητο υπακούει, ειδικά αν το σύστημα ελέγχου της πρόσφυσης βρίσκεται σε λειτουργία. Η ευκολία και η άνεση με την οποία μπορεί να

υπερστροφή. Ακόμη και σε αυτή την περίπτωση, πάντως, οι αντιδράσεις της είναι αρκετά ήπιες και προβλέψιμες, γεμιζοντας εμπιστοσύνη τον οδηγό της.



Εικόνα 50.

Το S2000 είναι ένα από τα πιο απόλυτα αυτοκίνητα με τον κινητήρα τοποθετημένο μπροστά.

Οδηγός θα πρέπει να κατεβάσει μια σχέση στο κιβώτιο ακριβώς πριν τη στροφή, να ελέγξει την ουρά με το τιμόνι και να κρατήσει σταθερό το πόδι του στο γκάζι, σηματοδοτώντας την έξοδο της στροφής. Στη θεωρία είναι όλα τέλεια. Στην πράξη, όμως, ο πανίσχυρος κινητήρας μπορεί ανά πάσα στιγμή να χαλάσει την ιδανική τροχιά.

Το συγκεκριμένο ζευγάρι προσπαθεί να ανατρέψει όλες τις θεωρίες μας. Η θεωρητικά, με βάση τη διάταξη των μηχανικών της μερών, άγρια, σπαρτιάτικη και δύστροπη Porsche αποδεικνύεται πολύ πιο ήπια στις αντιδράσεις της, ευρύχωρη και εύκολη, όταν οδηγείται ένα κλικ κάτω από τα όριά της.



Εικόνα 51.

Η McLaren F1 στην αγωνιστική έκδοση GT.

των αγώνων. Το απόγειο απόδοσης και οδικής συμπεριφοράς στα χρόνια που πέρασαν, υλοποιήθηκε στη μορφή της McLaren F1, ενός υπεραυτοκινήτου με κινητήρα V12 της BMW στο κέντρο. Στην αγωνιστική του μορφή αυτό το αυτοκίνητο έμοιαζε αγίκητο στους αγώνες αντοχής, αν λάβουμε υπ' όψιν τα δυναμικά χαρακτηριστικά που προέκυπταν από τη σχεδίασή του.

Τελικά, το αυτοκίνητο αυτό κατατροπώθηκε από τον ανθρώπινο παράγοντα, χάρις σε κάποια αυτοκίνητα με τον κινητήρα μπροστά και την κίνηση πίσω. Τα Rapos διαθέτουν και αυτά τον κινητήρα τους στο κέντρο, μόνο που αυτός βρίσκεται μπροστά από

Το S2000 είναι μια πολεμική μηχανή που προκαλεί τον οδηγό του από τη στιγμή που θα πατήσει το κόκκινο μπουτόν, για να θέσει σε λειτουργία τον κινητήρα. Το Honda είναι αμιγώς υπερστροφικό. Η συνήθης αντίδραση του αυτοκινήτου στο επιπλέον πάτημα του πεντάλ του γκαζιού είναι να βρεθεί κάθετα στην έξοδο της στροφής. Σε οριακούς ρυθμούς τα πράγματα γίνονται ακόμα πιο δύσκολα. Η συμπεριφορά του, σε σχέση με την Porsche, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί άκρως "αντρική". Το εμπρός μέρος μοιάζει βιδωμένο στο δρόμο και το μπλοκέ πίσω διαφορετικό προδιαθέτει για παρατεταμένες πλαγιολισθήσεις. Ο

Από την άλλη το θεωρητικά καλύτερα διευθετημένο, από πλευράς μηχανικών μερών, S2000 στο δρόμο μοιάζει με χειρουργικό νυστέρι, έτοιμο να ματώσει τον οδηγό του, στην πρώτη στραβοτιμονιά. Να λοιπόν πως οι διαφορετικές προτεραιότητες, κατά το σχεδιασμό ενός μοντέλου, μπορούν να κάνουν το άσπρο να δείχνει μαύρο και το αντίθετο.

Το τελευταίο μας παράδειγμα δε θα μπορούσε παρά να είναι από το χώρο



Εικόνα 52.

Η Rapos έχει τον κινητήρα στο κέντρο, μέσα εμπρός από τον οδηγό.

τον οδηγό! Ο οδηγός, με τη σειρά του, βρίσκεται ελάχιστα πιο μπροστά από τον πίσω άξονα, έχοντας άμεση πληροφόρηση για το καθεστώς πρόσφυσης των πίσω τροχών, πράγμα που αποσιωπάει από τη McLaren εξ' αιτίας της τεράστιας απόστασης που χωρίζει τον οδηγό από τους πίσω τροχούς.

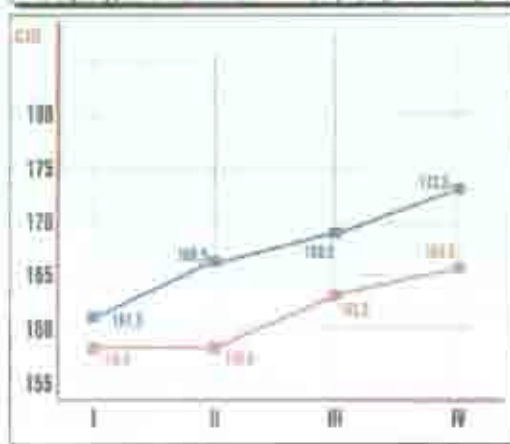
Με άλλα λόγια, το τέλειο αυτοκίνητο ρομπότ ηττήθηκε από μια τεχνοτροπία ηλικίας μεγαλύτερης του μισού αιώνα, εξ' αιτίας του ανθρώπινου παράγοντα!

► 1.6 Η εξέλιξη του βάρους

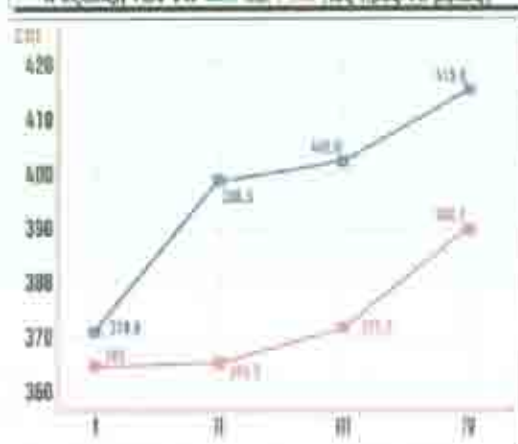
Από όλα τα παραπάνω θα περίμενε κανείς το βάρος των αυτοκινήτων να μειώνεται συνεχώς, με την πάροδο των χρόνων. Τα πράγματα, όμως, δεν είναι ακριβώς έτσι και γι' αυτό φέρουν ευθύνη και οι καταναλωτές. Ας πάρουμε, όμως, τα πράγματα από την αρχή.

“Μεγάλο αυτοκίνητο σημαίνει ευρύχωρο αυτοκίνητο, ενώ βαρύ αυτοκίνητο σημαίνει γερό, που πατάει καλά στο δρόμο”. Κάπως έτσι αντιμετώπιζε η απλοϊκή κοινή γνώμη τα αυτοκίνητα πριν από τρεις δεκαετίες, λόγω της έλλειψης πληροφόρησης. Όμως, από τη μια μεριά οι πετρελαϊκές κρίσεις και από την άλλη το κυκλοφοριακό κομφούζιο των μεγαλουπόλεων επέβαλαν στους καταναλωτές τον περιορισμό τόσο του όγκου, όσο και του

Η εξέλιξη των VW Pass και Polo (ως προς το βάρος)



Η εξέλιξη των VW Golf και Polo (ως προς το μήκος)



Εικόνα 53

Ένα ζυμκτηριακό παράδειγμα μετατόπισης των ορίων των κατηγοριών. Μήκη π. 25 χρόνια το σημερινό Polo είναι όχι μόνο μακρύτερο, αλλά και φορτωτικότερο από το πρώτο Golf!

βάρους των οχημάτων τους. Σήμερα, ευρύχωρο δε σημαίνει υποχρεωτικά τεράστιο. Γερό δε σημαίνει υποχρεωτικά βαρύ.

Κατηγορίες & Μήκος (mm)			
Segment	Μέσος Όρος	Ελάχιστο	Μέγιστο
Μικρό	3380	2500	3540
Συμπακτική	3767	3606	3897
Μικρομεσαία	4163	4075	4285
Μεσαία	4540	4400	4731
Μεγάλη	4794	4720	4898
Πολύ Μεγάλη	5058	4995	5390

Εικόνα 54

Οι κατηγορίες και οι διαστάσεις τους.

Ένα μήκος γύρω στα 3,30-3,40 m κατατάσσει ένα αυτοκίνητο στη μικρή κατηγορία, τα επονομαζόμενα mini. Βασικοί εκπρόσωποι της κατηγορίας είναι τα Scicento, Matiz, Atos. Τα εξαιρετικά δημοφιλή super mini είναι κατά μέσο όρο 40 εκατοστά περίπου μακρύτερα. Χαρακτηριστικά, στην περίπτωση των ομόσταβλων Scicento και Punto η διαφορά είναι, ούτε λίγο ούτε πολύ 51,5 cm. Με ένα άλμα και πάλι περίπου 40 εκατοστών, βρισκόμαστε στα

μικρομεσαία (Astra, Golf, 307, Corolla, Almera, Xsara...), που έχουν ένα μέσο μήκος γύρω στα 4,15 m. Προσθέτοντας και πάλι κάτι λιγότερο από 40 εκατοστά έχουμε την μεσαία κατηγορία (156, Avensis, Vectra, Mondeo, C5, 406, Passat...) με μέσο όρο μήκους γύρω στα 4,5 m. Από εκεί και πάνω η ψαλίδα κλείνει, αφού η διαφορά ανάμεσα σε μεσαία και μεγάλο (Mercedes E-Class, BMW 5 Series, Alfa 156, Peugeot 607...) που έχουν μήκος 4,8 m, είναι γύρω στα 25 εκατοστά, ενώ από αυτά μέχρι και τα πολύ μεγάλα (Mercedes S-Class, BMW 7 Series, Audi A8) η απόσταση είναι περίπου 20 εκατοστά.

Βέβαια, ο διαχωρισμός σε κατηγορίες είναι σαφώς κάτι συμβατικό. Τα όρια κάθε κατηγορίας είναι μια έννοια σχετική, που μεταβάλλεται χρόνο με το χρόνο. Το καινούριο Mondeo, για παράδειγμα, θα μπορούσε άνετα να ανήκει και στην μεγάλη κατηγορία, αφού όντας το μεγαλύτερο μεσαίο είναι πιο μακρινό από κάποια μεγάλα. Ωστόσο, το Mondeo παραμένει στα μεσαία, αφού και ο φέρων το ίδιο όνομα προκάτοχός του ανήκε εκεί. Είναι πάντως γεγονός ότι υπάρχει μια γενική τάση αύξησης του μεγέθους των αυτοκινήτων.

Το ερώτημα γιατί μεγαλώνουν τα αυτοκίνητα είναι ίσως πιο εύκολο να απαντηθεί, από ότι φαίνεται εκ πρώτης όψεως. Μπορεί ο μέσος καταναλωτής να θέλει να βρίσκει εύκολα χώρο για παρκάρισμα, αλλά σίγουρα δε θέλει να βρίσκουν τα πόδια του στο τιμόνι. Ούτε θέλει να νιώθει τα πόδια του φίλου του, που βρίσκεται στο



Εικόνα 55.

Μέχρι τα 15 χρόνια αξιολογήθηκαν όλες οι διαστάσεις των αυτοκινήτων. Η συγκριτικά μεγαλύτερη αύξηση του μεταξονίου δείχνει την προσπάθεια για βελτίωση των εσωτερικών χώρων.

πίσω κάθισμα, να του πιέζουν απειλητικά την πλάτη. Ακόμα, δε θέλει να ψάχνει χώρο στο πορτ-μπαγκάζ για τις σακούλες του σούπερ μάρκετ. Με άλλα λόγια θέλει ένα αυτοκίνητο που να είναι "μικρό στο μάτι", αλλά να είναι ειρηνόχωρο.



Εικόνα 56.

Παρό τη σημαντική αύξηση των βαρών τα τελευταία 15 χρόνια, η αποτελεσματικότητα από όπου βέλτιστη λύση στην ακόμη μεγαλύτερη αύξηση της ισχύος.

εσωτερικούς χώρους. Ένας παράγοντας είναι σίγουρα το εξωτερικό μέγεθος, οι εξωτερικές διαστάσεις. Όμως δεν είναι ο μοναδικός, καθώς γνωρίζουμε πως ίσων μήκους και πλάτους αυτοκίνητα δεν διαθέτουν ίσων μεγέθους χώρους. Εδώ μπαίνει η έννοια της εκμετάλλευσης του χώρου που έχει να κάνει από τη μια με το μεταξόνιο και από την άλλη με το ύψος. Έχει επίσης να κάνει και με τις ιδιαιτερότητες της διαμόρφωσης του εσωτερικού.

Όσο μεγαλύτερο είναι το μεταξόνιο, τόσο μεγαλύτερος είναι ο χώρος που μένει ελεύθερος προς εκμετάλλευση μεταξύ των δύο αξόνων και τόσο μεγαλύτερος είναι τελικά ο χώρος που μένει ελεύθερος για τους επιβάτες. Να λοιπόν γιατί τα στοιχεία δείχνουν ότι το μεταξόνιο όχι απλώς αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου, αλλά αυξάνεται αναλογικά περισσότερο από το μήκος.

πίσω κάθισμα, να του πιέζουν απειλητικά την πλάτη. Ακόμα, δε θέλει να ψάχνει χώρο στο πορτ-μπαγκάζ για τις σακούλες του σούπερ μάρκετ. Με άλλα λόγια θέλει ένα αυτοκίνητο που να είναι "μικρό στο μάτι", αλλά να είναι ειρηνόχωρο.

Πάντως, αν κρίνουμε από το πως λανσάρουν οι εταιρείες τα προϊόντα τους, το πρωταρχικό είναι οι διαθέσιμοι χώροι και όχι ο εξωτερικός όγκος. Θυμηθείτε, για παράδειγμα την αντιπαράθεση χώρων για τους πίσω επιβάτες μεταξύ Twingo και S-Class, στη γνωστή διαφήμιση της Renault. Σκεφθείτε, επίσης, πόσες φορές έχετε δει σε παρουσιάσεις νέων μοντέλων να γίνεται λόγος για αύξηση του χώρου για τα γόνατα των πίσω επιβατών, του εσωτερικού ύψους, του εσωτερικού πλάτους και του χώρου αποσκευών.

Τι καθορίζει, όμως, τους

Το αυξημένο ύψος μας επιτρέπει να αλλάζουμε τον τρόπο που κάθονται οι επιβαίνοντες στο αυτοκίνητο. Ένας άνθρωπος που κάθεται σε πιο όρθια θέση χρειάζεται λιγότερο σε μήκος χώρο, από αυτόν που χρειάζεται κάποιος που κάθεται χαμηλά και είναι αναγκασμένος να έχει απλωμένα προς τα εμπρός τα πόδια του. Να λοιπόν και το μυστικό της πρακτικότητας των πολυμορφικών, που διακρίνονται για το αυξημένο ύψος τους.



Εικόνα 57.

Τη πολυμορφική διακρίνεται για το μεγάλο ύψος τους. Οι πλάι μαζικές τρύπατες επιφάνειες συνεισφέρουν όπαστη οριζοντιότητα, φωτεινότητα, αλλά και αυξημένο βάρος.

Η ανθρωπομετρία, που είναι η επιστήμη που ασχολείται με το μέγεθος του ανθρώπινου σώματος και την εξέλιξη του, έχει παίξει και αυτή τον ρόλο της στη διαμόρφωση των αυτοκινήτων. Από τη μια είναι η γενική τάση που παρουσιάζεται σήμερα στον κόσμο και έχει να κάνει με την αύξηση του ύψους των ανθρώπων. Από την άλλη, η συλλογή αξιοπιστων δεδομένων από όλο τον κόσμο αλλά και

Ύψος Ελλήνων στρατιωτών		
Ποσοστό επί του συνόλου (%)		
Ύψος / Έτος	1990	2000
<1,65 μ.	1,5	0
1,61-1,73 μ.	29,3	16,1
1,73-1,79 μ.	30,1	30,72
1,79-1,85 μ.	25,6	32,01
1,85-1,97 μ.	13,4	20,47
>1,97 μ.	0,2	0,7
ΣΥΝΟΛΟ	100	100

Εικόνα 58.

Η τάση αύξησης του μέσου ύψους των Ελλήνων στρατιωτών.

αυξηθεί συνολικά το ποσοστό των ψηλών και πολύ ψηλών, ενώ των γιγάντων (άνω των 1,97 m) έχει τριπλασιαστεί. Πιο συγκεκριμένα:

- Το μέσο ποσοστό αύξησης του ύψους είναι περίπου 3,7 %, που σε ένα άτομο ύψους 1,75 m αντιστοιχεί σε αύξηση 5,7 cm.
- Οι ψηλοί (άνω των 1,79 m), ενώ στις αρχές της δεκαετίας του '90 ήταν μόνο το 39,1 % του δείγματος, στο τέλος της δεκαετίας αποτελούσαν το 53,18 %.
- Οι πολύ ψηλοί (άνω των 1,85 m) από το 13,6 % στο παλιό δείγμα, στο τελευταίο φτάνουν το 21,17 %.
- Οι γίγαντες (άνω των 1,97 m) από μόλις 0,2 % στο παλιό δείγμα, τώρα είναι στο 0,7 %, δηλαδή υπερτριπλασιάστηκαν.
- Οι πολύ κοντοί (κάτω από 1,61 m) ενώ στο παλιό δείγμα ήταν στο 1,5 %, τώρα έχουν μηδενιστεί (δεν καταγράφεται καν η κατηγορία αυτή).
- Οι μετρίου ύψους (1,61 - 1,73 m), ενώ στο παλιό δείγμα ήταν στο 29,3 %, τώρα είναι περίπου οι μισοί (16,10 %).
- Περίπου σταθερό (30,1 % στο παλιό, 30,72 % στο νέο δείγμα) είναι το ποσοστό των κανονικού ύψους νέων (1,73 - 1,79 m).

Η τάση αυτή του πληθυσμού οδήγησε τους κατασκευαστές στην κατασκευή μεγαλύτερων αυτοκινήτων. Δεν χρειάζονται ειδικές γνώσεις για να καταλάβει κανείς ότι ένα μεγάλο αυτοκίνητο είναι βαρύτερο από ένα μικρό και ότι, καθώς περνάμε από μικρότερα

μοντέλα σε μεγαλύτερα, το βάρος αυξάνεται, εφ' όσον φυσικά δεν αλλάζει κάτι στην τεχνολογία κατασκευής.

Μεγαλύτερο πλαίσιο, μεγαλύτερο αμάξωμα, περισσότερο μέταλλο, πολύ περισσότερο όταν το πλαίσιο οφείλει κάθε φορά που αλλάζει το μοντέλο, να είναι πιο ενισχυμένα, καθώς οι απαιτήσεις στον τομέα της παθητικής ασφάλειας χρόνο με τον χρόνο εμφανίζονται και αυτές αυξημένες. Προσθέστε τώρα τους απαραίτητους, πλέον, ακόμη και σε αυτοκίνητα πόλης αερόσακους, προσθέστε και τον εξοπλισμό που βελτιώνει την ενεργητική ασφάλεια, όπως το ABS και το ESP και το βάρος αυξάνεται κι άλλο. Όλα αυτά που αναφέραμε δεν είναι πια κάποια εξεζητημένα αξεσουάρ, αλλά στοιχεία που συναντάμε ακόμα και σε αυτοκίνητα των 15.000 € (πολλές φορές και σε φτηνότερα).

Όμως, δεν έχουμε τελειώσει με την αύξηση του βάρους. Υπάρχει ακόμη το air condition, που μπορεί να είναι και ηλεκτρονικά ελεγχόμενος κλιματισμός, οι διάφορες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές ευκολίες



Εικόνα 60.

Το μεγαλύτερο αυτοκίνητο πουσφίριμας πλαισίωσης χρήσης

Μπορούμε επίσης να θυμηθούμε τη Citroen ZX, που όταν πρωτοπαρουσιάστηκε (1992) διέθετε μόνο ηλεκτρικά παράθυρα, έναν ηλεκτρικό καθρέπτη και κεντρικό κλειδωμα, ενώ η διάδοχος Xsara είχε από την πρώτη στιγμή (1998) επιπλέον υδραυλικό τιμόνι και αερόσακο οδηγού.

Ωστόσο, η αύξηση του βάρους, κάθε άλλο παρά επιθυμητή είναι, καθώς επηρεάζει αρνητικά όχι μόνο τις επιδόσεις και την κατανάλωση, αλλά και την οδική συμπεριφορά. Συγκεκριμένα, το βάρος ευθύνεται για το 23 % της κατανάλωσης μέσα στην πόλη. Από αυτό το 17 % είναι το απαιτούμενο για την επιτάχυνση του αυτοκινήτου, ενώ το υπόλοιπο 6 % χρειάζεται για την υπερνίκηση της τριβής κύλισης, το μέγεθος της οποίας επίσης εξαρτάται από το βάρος. Με άλλα λόγια, μια μείωση του βάρους κατά 100 κλά θα επέφερε μείωση της κατανάλωσης κατά 0,3 έως 0,6 lt για κάθε 100 km κίνησης, ανάλογα φυσικά με το στιλ οδήγησης. Έτσι, το κυνήγι



Εικόνα 59.

Οι αυξημένες απαιτήσεις παθητικής ασφάλειας επιβάδισαν την ενίσχυση του πλαισίου σε κρίσιμα σημεία, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο βάρος. Στο παράδειγμα το πλαίσιο της Citroen C5.

(ηλεκτρικά παράθυρα,

κεντρικό κλειδωμα, ηλεκτρικοί καθρέπτες, ηλεκτρικά ρυθμιζόμενα καθίσματα, ηχοσυστήματα, συστήματα πλοήγησης), που σε μεγάλο βαθμό περιλαμβάνονται στο στάνταρ εξοπλισμό των βασικών εκδόσεων.

Για να μιλάμε με χειροπιαστά παραδείγματα, θυμηθείτε ότι ενώ το 1400άρι Golf III στην καλύτερή του (από άποψη εξοπλισμού) φάση, λίγο πριν αντικατασταθεί, διέθετε στη βασική έκδοση μόνο υδραυλικό τιμόνι, δύο αερόσακους και κεντρικό κλειδωμα. Ο αντικαταστάτης του διέθετε, από την πρώτη στιγμή, όλα τα παραπάνω και επιπλέον ABS και ηλεκτρικά παράθυρα.

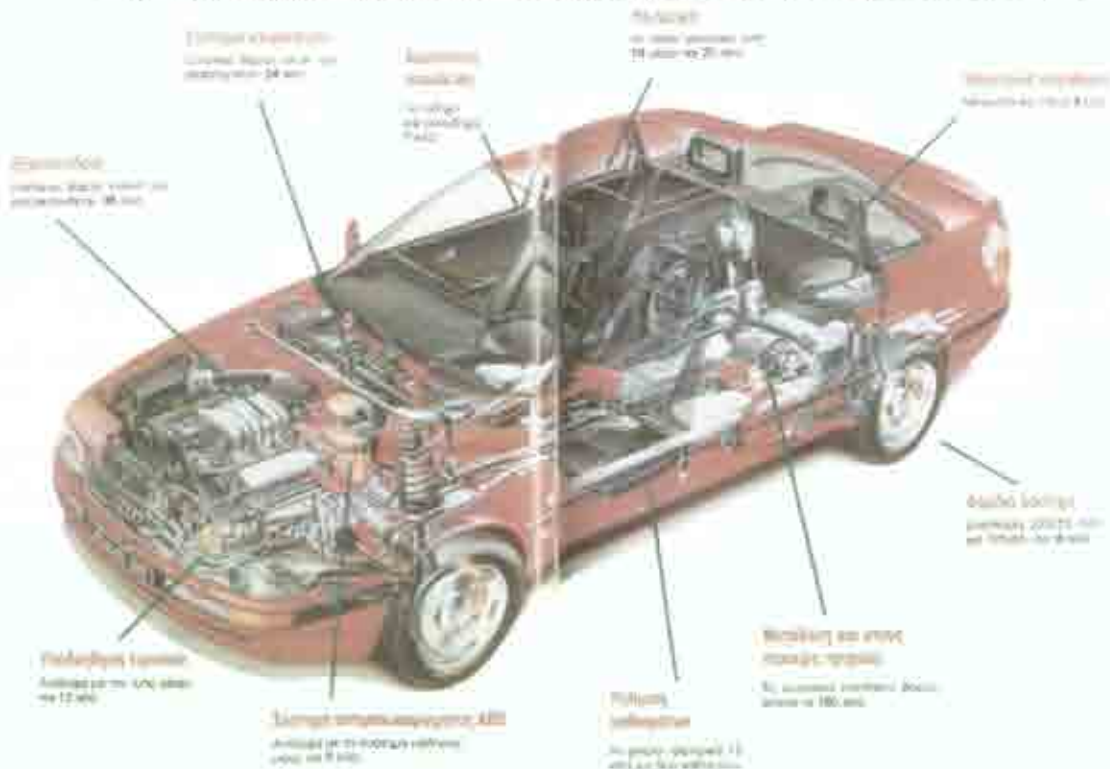


Εικόνα 61.

Οι σύγχρονες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές ευκολίες παίζουν το ρόλο τους στην αύξηση του βάρους.

του βάρους είναι κάτι που θα πρέπει να θεωρούμε, πλέον, δεδομένο. Δεν υπάρχει παρουσίαση νέου μοντέλου στην οποία οι δημοσιογράφοι να μην ακοΐν για τα μέτρα που ελήφθησαν προκειμένου να περιοριστεί το βάρος.

Στην περίπτωση, για παράδειγμα, του Laguna η αύξηση των διαστάσεων (το μήκος



Εικόνα 62.

Ο υπερόλογ εξοπλισμός σημαίνει και υπερόλογ βάρος. Εδώ παράδειγμα από το Audi 80. Τα μεγάλια χείματα διαφέρουν, ακόμη και σήμερα.

αυξήθηκε κατά 7 εκατοστά) επιβάρυνε το μοντέλο 25 κιλά, η αναβάθμιση της ασφάλειας και της ηχομόνωσης με άλλα 85 κιλά, ενώ η βελτίωση της ποιότητας των υλικών με 10 ακόμη κιλά. Από την άλλη μεριά, οι μηχανικοί κατάφεραν να μειώσουν το βάρος των αναρτήσεων κατά 10 κιλά, των αμαξώματος κατά 15 κιλά, των θυρών κατά 10 κιλά και των καλωδιώσεων κατά 6 κιλά. Έτσι, συνολικά, το νέο μοντέλο είναι μόνο κατά 60 κιλά βαρύτερο από το προηγούμενο.



Εικόνα 63.

Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται εδώ και καιρό στην κινηματική διαφόρων τμημάτων των αυτοκινητών.

Το ατσάλι ανέκαθεν έπαιζε και εξακολουθεί να παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στην κατασκευή των σύγχρονων αυτοκινήτων. Βέβαια, με τη βοήθεια των υπολογιστών αλλά και την εξέλιξη της τεχνολογίας (νέες πρεσές, υδρομεταλλουργία κ.α.) τα σημερινά ατσάλινα πλαίσια-αμαξώματα είναι ελαφρύτερα (αναλογικά) από τα παλαιότερα. Ωστόσο, η ανάγκη για εισαγωγή στην αυτοκινητοβιομηχανία ελαφρύτερων υλικών έχει γίνει προφανής από καιρό.

Το αλουμίνιο, για παράδειγμα, που με μία σχετική πυκνότητα κατά 65% μικρότερη από του ατσαλιού (2,7 έναντι 7,9) χρησιμοποιείται από καιρό, αλλά όχι τόσο για την κατασκευή πλαισίων σε μαζική παραγωγή, όσο για την κατασκευή άλλων εξαρτημάτων (κυλινδροκεφαλές και

στροφαλοθάλαμοι κινητήρων, σκελετοί καθισμάτων, επιμέρους τμήματα του αμαξώματος). Αυτό όχι μόνο επειδή είναι σαφώς ακριβότερο από το ατσάλι αλλά και λόγω των ιδιομορφιών των επισκευαστικών εργασιών των αλουμινένιων εξαρτημάτων, που μόνο η Audi έχει καταφέρει να αντιμετωπίσει. Το μαγνήσιο είναι όχι μόνο ελαφρύτερο (σχετική πυκνότητα 1,75), αλλά και φτηνότερο από το αλουμίνιο, ενώ είναι και πιο εύκολο στην επεξεργασία του. Για παράδειγμα, ο κατασκευασμένος από μαγνήσιο σκελετός του καθίσματος της Mercedes CL ζυγίζει μόνο 20 kg! Ακόμη ελαφρύτερα είναι, φυσικά, τα διάφορα πλαστικά, που με πυκνότητα της τάξης του 1,1 αποτελούν τα ελαφρύτερα υλικά, που χρησιμοποιούνται στην αυτοκινητοβιομηχανία. Συνήθως από πλαστικό κατασκευάζονται τα εμπρός φτερά (π.χ. Renault Clio) και οι προφυλακτήρες (στα περισσότερα αποκίνητα). Τα εξαρτήματα αυτά είναι όχι μόνο είναι κατά 25 % ελαφρύτερα από τα αντίστοιχα ατσάλινα, αλλά παρουσιάζουν και ενδιαφέρουσα αντοχή στις μικροσυγκρούσεις.

Πάντως, εκείνο που πρέπει να τονίσουμε είναι ότι ακόμα και με τη χρήση όλων αυτών των ελαφρύτερων υλικών το βάρος των αυτοκινήτων διαρκώς αυξάνεται, κάτι που φαίνεται να είναι αναπόφευκτο, καθώς αυξάνονται όχι μόνο οι διαστάσεις των αυτοκινήτων, αλλά και πληθαίνουν τα διάφορα, περισσότερο ή λιγότερο χρησιμα, αξεσουάρ με τα οποία φορτώνονται τα αυτοκίνητα.



Κεφάλαιο 2: Τροχοί

► 2.1 Εισαγωγή

Οι τροχοί παραλαμβάνουν όλο το βάρος του αυτοκινήτου. Είναι, επίσης, υπεύθυνοι για την ομαλή μετακίνησή του, αλλά και για τη μεταφορά των όποιων ροπών, τόσο κατά το διαμήκη, όσο και κατά τον εγκάρσιο άξονα. Οι ροπές αυτές, με τη σειρά τους, ειθίζονται για την ευθύγραμμη, αλλά και για την περιστροφική κίνηση του οχήματος.



Εικόνα 1.

Οι τροχοί αποτελούνται από τη ζάντα και το ελαστικό. Το τελευταίο είναι και το μοναδικό σημείο επαφής του αυτοκινήτου με το δρόμο.

Οι τροχοί αποτελούνται από τις ζάντες και τα ελαστικά, που τις περιβάλλουν. Οι μεν πρώτες κατασκευάζονται από κράματα του σιδήρου, του αλουμινίου, ή του μαγνησίου, τα δε δεύτερα έχουν ως βάση το φυσικό καουτσούκ. Ζάντες και ελαστικά είναι άμεσα συνδεδεμένα με την οδική συμπεριφορά και κατά συνέπεια με την ενεργητική ασφάλεια που παρέχει ένα αυτοκίνητο. Καμία αναφορά ή συζήτηση δεν μπορεί να γίνει για συστήματα ανάρτησης, γεωμετρία, ή συστήματα

μετάδοσης, εάν πρώτα δε γνωρίσουμε καλά τα ελαστικά και την πραγματική τους σημασία στη συμπεριφορά του αυτοκινήτου. Για το λόγο αυτό, χωρίς να θέλουμε να παραγκωνίσουμε τη σημασία των ζαντών, θα ασχοληθούμε πρώτα με αυτά.

► 2.2 Τύποι ελαστικών και τετοποίηση τους

Τα ελαστικά αποτελούν το συνδετικό κρίκο του αυτοκινήτου με το δρόμο, οπότε προφανώς είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες ενεργητικής ασφάλειας του αυτοκινήτου. Είναι αξιοθαύμαστο το πως λειτουργούν τα ελαστικά. Αρκεί να φανταστεί κανείς ότι αρκούν τέσσερα σημεία επαφής με το δρόμο, λίγο μεγαλύτερα από τις παλάμες του οδηγού, για να κρατήσουν το αυτοκίνητο στην πορεία του. Κάθε τετραγωνικό χιλιοστό της περιφέρειας του ελαστικού είναι προσεκτικά σχεδιασμένο, ώστε να φροντίζει για την απρόσκοπτη επαφή του αυτοκινήτου με το δρόμο. Όσο και αν κάτι τέτοιο φαίνεται απλό, οι απαιτήσεις από ένα σύγχρονο ελαστικό είναι τόσο πολλές και πολύπλοκες, που η κατασκευή του είναι πράγματι μια ολόκληρη επιστήμη.

Σύμφωνα με μια από τις μεγαλύτερες εταιρείες ελαστικών στον κόσμο, τη γαλλική Michelin, οι λειτουργίες ενός ελαστικού είναι πολλές και σημαντικές. Πρώτα απ' όλα ένα ελαστικό κυλάει στο οδόστρωμα. Αυτό θα πρέπει να γίνεται με όσο το δυνατό λιγότερη τριβή αντίστασης. Ταυτόχρονα, όμως, τα ελαστικά μεταφέρουν ροπή, που ειθίζεται τόσο για την επιτάχυνση, όσο και για την επιβράδυνση. Αυτή θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερη. Επίσης, τα ελαστικά είναι υπεύθυνα και για το ότι το αυτοκίνητο στρίβει. Μαζί με όλα τα άλλα τα ελαστικά μεταφέρουν το φορτίο του αυτοκινήτου, αλλά και αποσβένουν μέρος των ανωμαλιών του οδοστρώματος. Τέλος, όλα αυτά πρέπει να συνοδεύονται με μια μεγάλη διάρκεια ζωής.

Ανάλογα με τη δομή του σκελετού τους, τα ελαστικά διαχωρίζονται σε τρεις τύπους: Τα συμβατικά ελαστικά διαγώνιων λινών, τα ακτινικά ή ράντιαλ με μεταλλική ή νηματώδη ζώνη και τα διαγώνια με ζώνη.

Στην πρώτη (και παλαιότερης σχεδίασης) περίπτωση, οι στρώσεις των λινών τοποθετούνται διαγώνια μεταξύ των δύο μεταλλικών δακτυλίων, που πιέζουν τα χείλη της ζάντας, υπό γωνία $30^\circ - 45^\circ$. Η γωνία αυτή παίζει σημαντικό ρόλο στην ισορροπία μεταξύ



Διαγώνια ή σταυρωτά



Ακτινικά



Διαγώνια με ακτινικές ζώνες

Εικόνα 2. Οι τύποι των ελαστιδίων, ανάλογα με την κατασκευαστική δομή τους.

κατευθυντικότητας και άνεσης, αφού ελέγχει τον τρόπο παραμόρφωσης του ελαστικού.

Τα τελευταία είκοσι χρόνια η πιο διαδεδομένη μορφή είναι τα ράντιαλ ελαστικά. Σε αυτά οι στρώσεις των λινών ακολουθούν τη διεύθυνση των νοητών ακτίνων του ελαστικού. Σε αυτή τη διάταξη υπάρχει και μια ζώνη από ατσάλινες νάιλον, ή ίνες από κέβλαρ που



περιβάλλει το σκελετό στο πλάτος του πέλματος. Η ζώνη αυτή επιτρέπει τη μεταφορά μεγαλύτερων φορτίων, βελτιώνει την κατευθυντικότητα, μειώνει τις φθορές και φέρει μικρότερη αντίσταση στην κύλιση. Λόγω όλων αυτών των πλεονεκτημάτων, ο τύπος αυτός έχει επικρατήσει σχεδόν ολοκληρωτικά στην κατασκευή ελαστικών επιβατικών οχημάτων.

Ο τρίτος τύπος είναι υβριδικός και συνδυάζει τις διαγώνιες στρώσεις με τη ζώνη. Δεν έχει τύχει ευρείας αποδοχής και χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά στις Η.Π.Α.

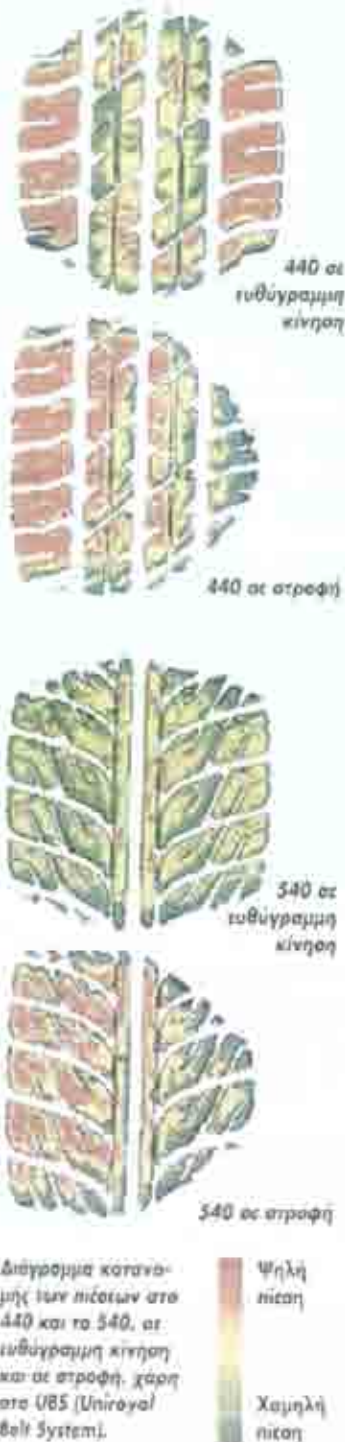
Στο διπλανό σχήμα βλέπουμε αναλυτικά τη δομή ενός σύγχρονου ράντιαλ.

Εικόνα 3.

Το μέρη ενός σύγχρονου ράντιαλ ελαστικού.

1: Σκελετός, 2: Στιμνήνη, 3: Ζώνη, 4: Πέλμα.

ελαστικού. Τα κύρια τμήματά του είναι ο σκελετός (που στο σχήμα έχει το νούμερο 1), η στεφάνη (νούμερο 2), η ζώνη (νούμερο 3) και το πέλμα (νούμερο 4).



Εικόνα 4.

Το Uniroyal Rallye 540, σε σχέση με τον προκάτοχό του, φθάνονται καθαρά οι απαιτήσεις στην τροπή ωστόσο του πέλατος.

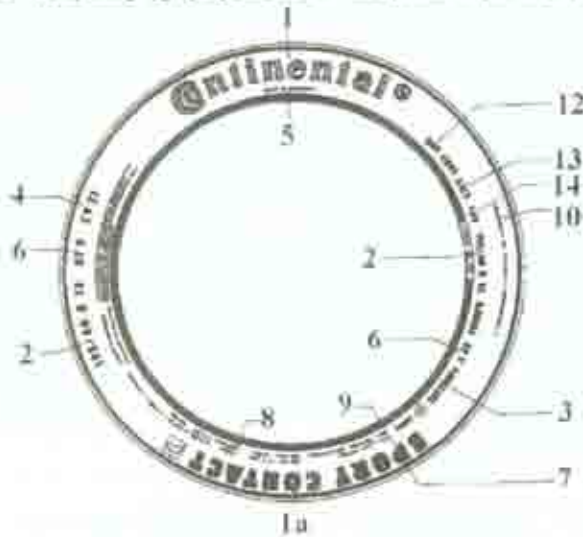
Η στεφάνη αποτελείται από μεταλλικούς δακτυλίους. Χρησιμεύει για να σταθεροποιείται το ελαστικό στην περιφέρεια της ζάντας. Στα σύγχρονα ελαστικά, που είναι tubeless, δηλαδή χωρίς σαμπρέλα, η στεφάνη είναι αναγκαία για να προσφέρει και την απαραίτητη στεγανότητα. Ακόμα, όμως, και στην περίπτωση ολικής απώλειας του αέρα θα πρέπει να εξασφαλίζεται η κατά το δυνατόν καλύτερη εφαρμογή του ελαστικού με τη ζάντα, αφού το αντίθετο μπορεί να αποβεί μοιραίο, για τους επιβάτες του οχήματος.

Ο σκελετός, όπως λέει και το όνομά του, είναι η βάση του ελαστικού. Αποτελείται από επάλληλες στρώσεις λινών μέσα στο καουτσούκ. Η κατεύθυνση των στρώσεων, στα ράντια, είναι ακτινική και εκεί οφείλει την ονομασία της ο συγκεκριμένος τύπος (radial στα αγγλικά σημαίνει ακτινικός). Τα λινά είναι ένα πλέγμα από ίνες που ανάλογα με τον κατασκευαστή είναι από βαμβάκι, ατσάλι, νάιλον, κέβλαρ, άλλα συνθετικά υλικά, ή ακόμα και συνδυασμό αυτών. Ο σκελετός πρέπει να προσφέρει υψηλή αντοχή, ομοιομορφία στην εφαρμογή της πίεσης στο πέλμα και σωστή ακαμψία στα πλευρικά τοιχώματα. Ακόμα θα πρέπει να έχει κατασκευαστεί πολύ προσεκτικά, ώστε να έχει απόλυτα ισοκατανομημένη τη μάζα του. Σε όλα τα παραπάνω θα πρέπει να προσθέσουμε την ανάγκη για όσο το δυνατό μικρότερο βάρος, αλλά και λιγότερη αντίσταση, κατά την κύλιση.

Οι ζώνες είναι πολύ σημαντικές. Συνήθως είναι δύο ή περισσότερες. Κατασκευάζονται και αυτές από ατσάλι, νάιλον ή κέβλαρ και εμβαπτίζονται μέσα στο καουτσούκ. Τοποθετούνται επάνω από το σκελετό. Σκοπός τους είναι να ενισχύσουν το πέλμα. Στις ζώνες οφείλει το ελαστικό την ικανότητά του να διατηρεί το επίπεδο σχήμα του πέλατός του και να μην παραμορφώνεται σε μπλόκι, όταν έχει στο εσωτερικό του αέρα υπό πίεση. Μία σωστά κατασκευασμένη ζώνη θα πρέπει να εντείνει όσο το δυνατό περισσότερο αυτό το φαινόμενο, ώστε να επιτυγχάνεται ισοκατανομή της πίεσης στο πέλμα. Και σε αυτή την περίπτωση ο σχεδιασμός της ζώνης θα πρέπει να γίνει με προσοχή ώστε να εξασφαλίζεται τόσο το μικρό βάρος, όσο και η ελάχιστη δυνατή αντίσταση κατά την κύλιση.

Το τελευταίο μέρος του ελαστικού είναι το πέλμα του. Αυτό είναι ορατό και αποτελείται από το μίγμα του καουτσούκ που έχει επιλέξει ο κατασκευαστής. Το μίγμα αυτό ονομάζεται και γόμα. Το πέλμα φέρει επάνω του χαραξη. Πρόκειται για ορισμένα αυλάκια, ένα συνδυασμό διαφόρων εναλλακτικών καναλιών, που μπλέκονται μεταξύ τους. Σκοπός όλων αυτών των χαραξιών είναι να διοχετεύουν την ποσότητα του νερού που τυχόν να υπάρχει στο οδόστρωμα. Ο σχεδιασμός του πέλατος είναι πολύ δύσκολος. Όσο περισσότερο σκάλισμα έχει ένα ελαστικό, τόσο καλύτερη συμπεριφορά θα έχει στο βρεγμένο, αλλά σε βάρος της συμπεριφοράς στο στεγνό.

Οι εταιρείες χρησιμοποιούν υπερυπολογιστές με πολύ εξελιγμένα προγράμματα για να



Εικόνα 5. Αποκρυπτογράφηση ελαστικού.

- 1) Όνομα κατασκευαστή
- 1a) Όνομα προϊόντος
- 2) Λειτουργική ελαστικότητα
- 3) Τ. ή tubeless = χωρίς αεροθάλαμο (σπασίρα)
- 4) Εμπειρικό όνομα
- 5) Χώρα παραγωγής
- 6) 87 δείκτης φορτίου
V= σύμβολο ανώτατης επιτρεπόμενης ταχύτητας
- 7) Δείκτης μέγιστου φορτίου
- 8) Λειτουργική κατασκευή (είδος και ύψος λειτουργικής λειτουργίας ζωνών)
- 9) Μέγιστη πίεση αέρα
- 10) Στοιχια ποσότητας του ελαστικού
- 11) Αριθμός και τύπος έγκρισης της E.O.K.
- 12) DOT σύμβολο κατάληξη του υπηρέτησης μεταφορών της Γερμανίας
- 13) Κωδικός κατασκευαστή
- 14) Ημερομηνία κατασκευής

ελαστικού

Η διάσταση αυτή έχει με τη σειρά της μια τυποποίηση. Αποτελείται από μια σειρά αριθμών, π.χ. 195/60 R15. Το πρώτο νούμερο υποδηλώνει το πλάτος του πέλματος σε mm (εδώ 195). Το εύρος του είναι από 135 ως 335 mm και ανεβαίνει πάντα κατά 10 mm. Το δεύτερο, που ακολουθεί μετά την κάθετο, εκφράζει το ποσοστό επί τοις εκατό του πλάτους, που αναλογεί στα ύψος. Στο παράδειγμά μας, δηλαδή, το ύψος του ελαστικού, από το χεῖλος του ως το πέλμα, θα είναι: $195 \cdot 0,6 = 117$ mm. Το ύψος αυτό αναφέρεται και ως προφίλ του ελαστικού. Το προφίλ δεν εκφράζεται τυχαία με αναλογία του ύψους. Έχει παρατηρηθεί ότι μπορεί όσον αφορά την τελική σχέση μετάδοσης να έχει σημασία το απόλυτο μέγεθος του ύψους του ελαστικού, αλλά όσον αφορά τα χαρακτηριστικά του ελαστικού (απόκριση στο τιμόνι, γωνία ολίσθησης) πρωταρχικό ρόλο παίζει αυτή ακριβώς η αναλογία. Το προφίλ είναι τόσο σημαντικό που κατηγοριοποιεί τα ελαστικά στις λεγόμενες σειρές. Η κάθε σειρά παίρνει το όνομά της από το νούμερο του προφίλ. Υπάρχουν σειρές από 82 μέχρι και 20. Με εξαίρεση την 82, όλες οι άλλες χωρίζονται μεταξύ τους από πέντε ποσοστιαίες μονάδες.

εξομοιώσουν την κίνηση του νερού μέσα στα αυλάκια του πέλματος, προσπαθώντας να πετύχουν ένα σχήμα με τον ιδανικό συμβιβασμό, τη χρυσή τομή, ανάμεσα στη συμπεριφορά σε στεγνό και βρεγμένο, ανάλογα βέβαια και την κατηγορία του ελαστικού. Τέλος, δε θα πρέπει να ξεχνάμε ότι, εκτός από όλα τα άλλα, ένα ελαστικό θα πρέπει να είναι εμφανίσιμο, ώστε να προσελκύει αγοραστές. Βλέπετε, οι περισσότεροι αγοραστές κρίνουν βάσει της εμφάνισης ενός προϊόντος, γνωρίζοντας ελάχιστα για τις τεχνικές του προδιαγραφές.

Η συνεργασία όλων των μερών του ελαστικού είναι καθοριστική για τη συμπεριφορά και το χαρακτήρα του ελαστικού στους τομείς του κρατήματος σε στεγνό και βρεγμένο, του φρεναρίσματος, της μακροζωίας, του θορύβου και της οικονομίας καυσίμου. Πριν προχωρήσουμε, όμως, καλό θα ήτανε να δούμε λίγο την τυποποίηση που υπάρχει στα ελαστικά.

Στα παλιά κάθε ελαστικού υπάρχουν ανάγλυφα χαραγμένα πολλά χαρακτηριστικά. Αναλυτικά το καθένα φαίνονται στο διπλανό σχήμα. Πρώτα απ' όλα αναγράφεται με μεγάλα γράμματα το όνομα του κατασκευαστή. Αντιδιαμετρικά ως προς αυτό, με επίσης ευδιάκριτη γραμματοσειρά, βρίσκουμε το όνομα του προϊόντος. Περιστρέφοντας το βλέμμα μας αριστερόστροφα συναντάμε τη μέτριο μέγεθος αναγραφόμενη διάσταση του

Ακολουθεί ένα κενό και μετά το γράμμα R που είναι το αρχικό της λέξης radial, που σημαίνει ότι το ελαστικό είναι ακτινικής κατασκευής όπως είδαμε παραπάνω. Το τελευταίο νοούμερο αναφέρεται στη διάμετρο της ζάντας. Παραδόξως, ενώ το πλάτος δίνεται πάντα στο μετρικό σύστημα, η διάμετρος δίνεται στο αγγλοσαζονικό. Έτσι, το 15 σημαίνει ότι το συγκεκριμένο ελαστικό εφαρμόζει σε ζάντα διαμέτρου 15 ιντσών. Η διάμετρος ξεκινάει από

ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ-ΖΑΝΤΑΣ

Μονοκίνητα	ΣΕΡΑ 03		ΣΕΡΑ 19		ΣΕΡΑ 65		ΣΕΡΑ 90		ΣΕΡΑ 95		ΣΕΡΑ 50-55	
	Αριθμός	ΔΙΑΜ. (")	Αριθμός	ΔΙΑΜ. (")	Αριθμός	ΔΙΑΜ. (")	Αριθμός	ΔΙΑΜ. (")	Αριθμός	ΔΙΑΜ. (")	Αριθμός	ΔΙΑΜ. (")
K	100R0	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0L	33A	14	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
C	100R0	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0L	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
W	100R0	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0L	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
M	100R0	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0L	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
W	100R0	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0L	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
	100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1
100R0R	37	13.1	100R0R0	30K	37	100R0R1	37	13.1	100R0R0	30K	13.1	

Εικόνα θ.

Οι περισσότερες διαστάσεις των ελαστικών της αγροτιάς, η συχνοτική τους διάμετρος και το πλάτος της ζάντας, στην ουσία μαρτυρούν για ταυοηχηθιάς.

ως 10 και φτάνει μέχρι τις 22 ιντσες (σε ακραίες εφαρμογές), προκειμένου για επιβατικά αυτοκίνητα, ανεβαίνοντας πάντα κατά 1 ίντσα.

Συνεχίζοντας να περιμετροζόμαστε την πλευρά ενός ελαστικού λίγο αριστερότερα από τη διάσταση θα συναντήσουμε το δείκτη φορτίου. Ο δείκτης αυτός είναι ένας αριθμός, π.χ. 87, που σύμφωνα με μία τοποποίηση ανάγεται στο μέγιστο φορτίο που μπορεί να αντέξει

ένα ελαστικό. Ο δείκτης αυτός είναι σημαντικός για τους κατασκευαστές, όταν επιλέγουν το λάστιχο πρώτης τοποθέτησης. Για τους καταναλωτές έχει ελάχιστη σημασία, αφού δεν παρουσιάζονται αξιολογές διαφορές ανάμεσα σε ελαστικά ίδιων διαστάσεων και δείκτη ταχύτητας, ανεξαρτήτως κατασκευαστή. Πάντως, γενικά όσο μεγαλύτερο είναι το νούμερο, τόσο περισσότερο φορτίο αντέχει το ελαστικό.

Τυποποιημένες Διαβαθμίσεις Ταχύτητας Ελαστικού	
Συμβολισμός με το γράμμα	Μένιτη Ταχύτητα
F	80 km/h
D	90 km/h
J	100 km/h
K	110 km/h
L	120 km/h
M	130 km/h
N	140 km/h
P	150 km/h
Q	160 km/h
R	170 km/h
S	180 km/h
T	190 km/h
U	200 km/h
H	210 km/h
V	240 km/h
Z	+240 km/h

Εικόνα 7.

Η αντιστοιχία του γράμματος με τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα που αντέχει το ελαστικό, κινούμενο με σταθερή ταχύτητα.

αυτά υπάρχει ένα τριψήφιο νούμερο, που υποδηλώνει την ημερομηνία κατασκευής, π.χ. 453. Τα πρώτα δύο ψηφία αναφέρουν την εβδομάδα κατασκευής και το τελευταίο, το τελευταίο ψηφίο της χρονιάς. Εδώ, δηλαδή, έχουμε ημερομηνία κατασκευής την τεσσαρακοστή πέμπτη εβδομάδα του 1973, 1983, 1993, ή 2003. Φυσικά, ένα λάστιχο δέκα χρόνων ξεχωρίζει εύκολα από ένα καινούριο. Παρ' όλα αυτά, για αποφυγή τυχόν παρερμηνειών, τα τελευταία χρόνια πολλές εταιρείες έχουν αλλάξει λίγο την κωδικοποίηση χρησιμοποιώντας τετραψήφιο κωδικό, κρατώντας τα δύο τελευταία ψηφία της χρονιάς κατασκευής. Η χρονολογία είναι πολύ σημαντική και είναι κρίμα που περνάει, στην κυριολεξία, στα ψιλά γράμματα. Ένα ελαστικό είναι απ' ενός οργανικό προϊόν και απ' ετέρου προϊόν πολυμερισμού. Αυτό σημαίνει ότι έχει ένα χρόνο ζωής, πέρα από τον οποίο υπόκειται σε γήρανση, σκληραίνει και είναι ακατάλληλο για χρήση. Ο ωφέλιμος χρόνος ζωής ενός ελαστικού είναι συνήθως τρία με τέσσερα χρόνια. Αυτό σημαίνει ότι ένα λάστιχο που έχει κατασκευαστεί πριν από τέσσερα χρόνια, ακόμα και αν είναι στο ράφι και δεν έχει φορευθεί ποτέ σε αυτοκίνητο, είναι άχρηστο. Αυτό ίσως να εξηγεί την πολύ μικρή γραμματισειρά, αλλά και την κωδικοποίηση στην ημερομηνία!

► 2.5 Γωνία ολίσθησης

Μπαινοντας σε μια στροφή ο οδηγός ορίζει την επιθυμητή πορεία με το τιμόνι. Η κίνηση αυτή αρχίζει μια σειρά διαδικασιών, που ίσως να μην έχει καν φανταστεί. Τα

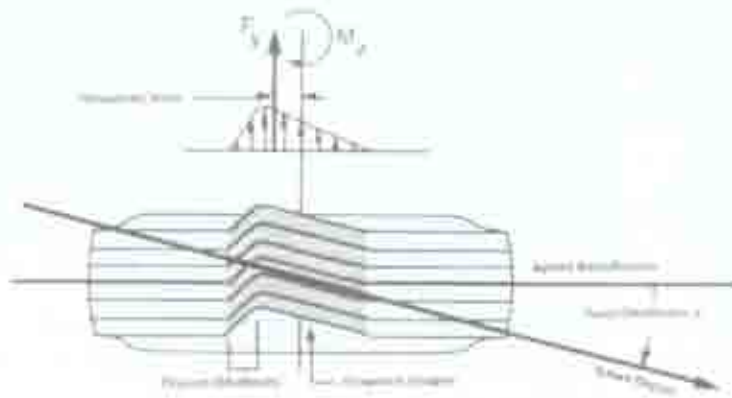
Ο δείκτης φορτίου ακολουθείται από τον δείκτη ταχύτητας. Πρόκειται για ένα γράμμα από το F μέχρι το Z και αντιπροσωπεύει τη μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει το αυτοκίνητο που είναι εφοδιασμένο με αυτά τα λάστιχα, κινούμενο με σταθερή ταχύτητα. Η αντιστοιχία φαίνεται στο διπλανό πίνακα.

Παραδίπλα, στην επιφάνεια του ελαστικού, αναφέρεται ένας κωδικός που είναι για διευκόλυνση του τμήματος ανταλλακτικών. Είναι η εμπορική ονομασία του ελαστικού. Περνώντας στην άλλη μεριά συναντάμε τα αρχικά DOT που υποδηλώνουν ότι πληρούνται οι προδιαγραφές του υπουργείου μεταφορών της Γερμανίας. Ακολουθεί ο αριθμός και ο τύπος έγκρισης της ευρωπαϊκής ένωσης.

Δίπλα ακριβώς σε

ελαστικά του δίνουν μια πραγματική μάχη, προκειμένου να τον κρατήσουν μέσα στο δρόμο. Η γνώση των μηχανισμών και των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα είναι απαραίτητη στον μηχανικό - κατασκευαστή ενός αυτοκινήτου, αλλά, ταυτόχρονα, πολύ χρήσιμη, για τον οποιοδήποτε οδηγό.

Έχετε αναρωτηθεί τι είναι τελικά αυτό που κάνει το αυτοκίνητο να στρίβει; Η



απάντηση έρχεται από δύο αγγλικούς χαρακτήρες F_x .

Πρόκειται για μία δύναμη που εμφανίζεται στο ελαστικό, όταν αυτό παραμορφωθεί. Η παραμόρφωση αυτή συμβαίνει στο πέλημα του ελαστικού και χαρακτηρίζεται από τη γωνία ολίσθησης α .

Λέγοντας ολίσθηση δε θα πρέπει να την μερδεύουμε με το γλίστρημα. Για να γίνει κατανοητή η διαφορά ας

Εικόνα 8.

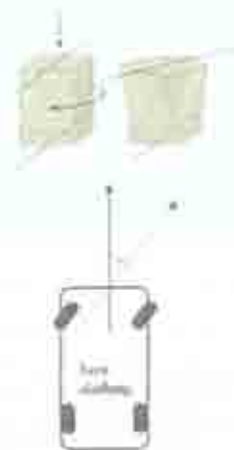
Η παραμόρφωση του ελαστικού υπό γωνία ολίσθησης, α είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη της πλευρικής δύναμης F_x .

πάρουμε ένα απλό παράδειγμα. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε μία γόμα σαν αυτές που χρησιμοποιούμε για να σβήνουμε. Πιέζοντας και συγχρόνως περιστρέφοντας τη γόμα πάνω στο γραφείο θα δούμε ότι το κομμάτι που είναι σε επαφή με την επιφάνεια του γραφείου διατηρεί τον προσανατολισμό του (κοιτάει μπροστά), ενώ όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια το υπόλοιπο υλικό υπόκειται σε μία περιστροφή.



Εικόνα 10.

Η γωνία ολίσθησης α ορίζεται ως η γωνία που σχηματίζει η κορυφή του ελαστικού με την αρχική κατεύθυνση.



Εικόνα 9.

Για ελαστικό προσπαθεί να διατηρήσει τον προσανατολισμό του, όπως η γόμα στο γραφείο.

Τα πράγματα είναι λίγο πιο περίπλοκα από αυτή τη στατική κατάσταση, όταν έχουμε να κάνουμε με ένα ελαστικό, σε ένα αυτοκίνητο που κινείται. Η βασική αρχή, όμως, παραμένει ίδια και το ελαστικό προσπαθεί να διατηρήσει τον προσανατολισμό του στο κομμάτι που βρίσκεται σε επαφή με το δρόμο, αφήνοντας, ωστόσο, το υπόλοιπο τμήμα του να περιστραφεί ανάλογα με τις εντολές που δίνει το τιμόνι. Μια βιαστική ερώτηση θα ήταν γιατί τελικά στρίβουμε αφού το κομμάτι που βρίσκεται σε επαφή με το δρόμο προσπαθεί να διατηρήσει τον αρχικό προσανατολισμό του. Η απάντηση βρίσκεται στη λέξη **προσπαθεί**. Τελικά, οι δυνάμεις που αναπτύσσονται (δυνάμεις στο επίπεδο του δρόμου και δυνάμεις από την κρεμαγιέρα) αναγκάζουν το ελαστικό να παραμορφωθεί και τελικά να στρίψει. Το αυτοκίνητο, όμως, έχει αδράνεια και δεν του επιτρέπει να κυλήσει ελεύθερα προς τη νέα αυτή κατεύθυνση. Το αποτέλεσμα είναι να κυλάει μεν, αλλά υπό

γωνία, ως προς το επίπεδο συμμετρίας του. Με άλλα λόγια, κυλάει και ολισθαίνει μαζί, εξ' ου και η γωνία αυτή της κίνησής του λέγεται γωνία ολίσθησης. Και η ολίσθηση αυτή είναι η αιτία που αναπτύσσεται η πλευρική πρόσφυση. Πρακτικά, δηλαδή, κάθε φορά που στρίβουμε ο τροχός σημαδεύει τη στροφή πάντα πιο μέσα από εκεί που πραγματικά κατευθύνεται το αυτοκίνητο. Η γωνία μεταξύ της πραγματικής κατεύθυνσης του αυτοκινήτου και της κατεύθυνσης των τροχών (προσοχή της κατεύθυνσης και όχι της γωνίας στροφής του τιμονιού) ονομάζεται γωνία ολίσθησης. Πρόκειται ουσιαστικά, για τη γωνία παραμόρφωσης του πέλματος, ως προς την αρχική κατεύθυνση του ελαστικού.

Στρίβουν, λοιπόν, οι μπροστινοί τροχοί και αναπτύσσεται πλευρική πρόσφυση, δηλαδή μια δύναμη που τους τραβάει προς το εσωτερικό της στροφής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ολόκληρο το αυτοκίνητο να τείνει να περιστραφεί γύρω από το κέντρο βάρους του (ή, πιο σωστά, γύρω από τον κατακόρυφο άξονα που περνά από το κέντρο βάρους του). Στην περιστροφή αυτή αντιστέκονται τα πίσω ελαστικά, άρα αναπτύσσουν και αυτά πλευρική πρόσφυση, καθώς παύουν να κυλάνε ελεύθερα, όπως πριν στην ευθεία, αλλά αρχίζουν να ολισθαίνουν ελαφρά. Κινούνται, δηλαδή, υπό μια μικρή γωνία ολίσθησης.

Σε μικρές ταχύτητες, οι γωνίες ολίσθησης των μπροστινών και των πίσω τροχών είναι πρακτικά ίσες. Για να συμβαίνει το ίδιο και σε μεγάλες ταχύτητες, πρέπει η κατανομή βάρους να είναι 50:50. Αν το αυτοκίνητο είναι μπροστόβαρο, όπως είναι τα περισσότερα προσθιοκίνητα, τότε οι μπροστινοί τροχοί αναγκάζονται να κινούνται υπό μεγαλύτερη γωνία ολίσθησης από τους πίσω, ώστε να αναπτύξουν μεγαλύτερη πλευρική πρόσφυση και να συγκρατούν σε τροχιά τη μεγαλύτερη μάζα που τους αναλογεί. Τότε λέμε ότι το αυτοκίνητο συμπεριφέρεται υποστροφικά, δηλαδή τείνει να στρίβει λιγότερο απ' όσο του υπαγορεύει το τιμόνι. Αντίθετα, αν είναι πίσωβαρο, όπως η Porsche 911, τότε οι πίσω τροχοί είναι αυτοί που κινούνται υπό μεγαλύτερη γωνία ολίσθησης και λέμε ότι το αυτοκίνητο συμπεριφέρεται υπερστροφικά, στρίβει δηλαδή περισσότερο από όσο του υπαγορεύουμε.

Η παραμόρφωση που εμφανίζεται στο ελαστικό είναι καθαρά εσωτερική υπόθεση και οφείλεται κατά κύριο λόγο στη δομή του ελαστικού. Παράμετροι που συντελούν στην αντίσταση της παραμόρφωσης (cornering stiffness) είναι η γωνία που σχηματίζουν τα λινά, το προφίλ του ελαστικού, το πλάτος του πέλματος και η σκληρότητα της γόμας. Από αυτούς, πολύ σημαντικός παράγοντας είναι ο πρώτος, αφού μία διαφοροποίηση μίας μοίρας μεταξύ των λινών είναι ικανή να επηρεάσει κατά πολύ τη συμπεριφορά του ελαστικού στο δρόμο.

Γιατί τόση εμμονή στην παραπάνω περιγραφή; Διότι θα εκπλαγούμε όταν συνειδητοποιήσουμε πόσα στηρίζονται στο πόσο γρήγορα ένα ελαστικό αποκρίνεται, στο πόσο γρήγορα αναπτύσσεται η γωνία ολίσθησης σε κάθε τροχό και στο πόσο διαφορετικά, σε σχέση με τους άλλους, χρονικά και ποσοτικά. Έτσι, σιγά-σιγά θα αρχίσουμε να καταλαβαίνουμε το γιατί μερικά αυτοκίνητα αρέσουν περισσότερο από άλλα, βάσει της οδικής τους συμπεριφοράς.



Εικόνα 11.

Σχέση μεταξύ γωνίας ολίσθησης και πλευρικής δύναμης.

Η πλευρική δύναμη F_y

που αναπτύσσεται στο κομμάτι του ελαστικού που βρίσκεται σε επαφή με το δρόμο, σχετίζεται άμεσα με τη γωνία ολίσθησης, όπως φαίνεται και στην εικόνα 11. Τι κάνει όμως, αυτή την πλευρική δύναμη τόσο σημαντική; Χωρίς αυτή το αυτοκίνητο δε θα μπορούσε να στρίψει. Το άθροισμα των δυνάμεων F_y , από το σύνολο των ελαστικών του αυτοκινήτου, αντιστέκεται στη φυγόκεντρο δύναμη, που ασκείται στο όχημα όταν αυτό στρίβει. Όπως είδαμε και στο

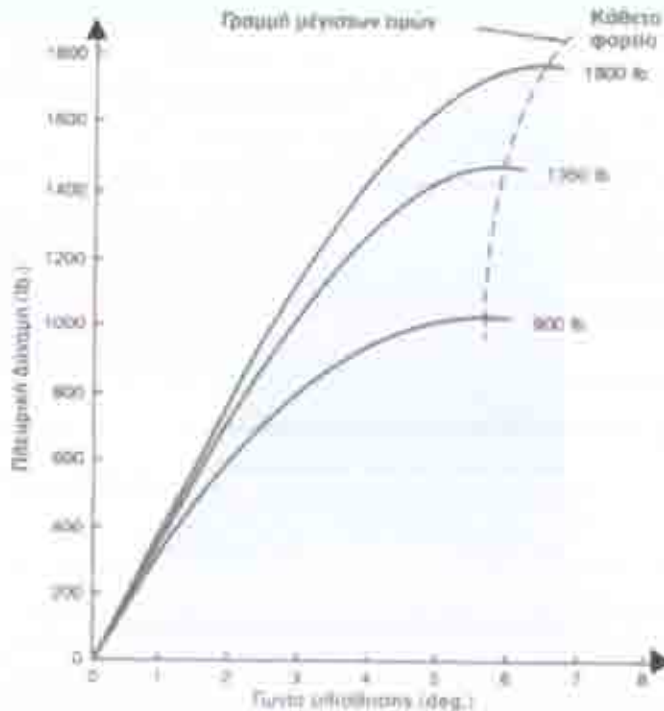
κεφάλαιο), όσο μεγαλύτερες είναι οι δυνάμεις αυτές, τόσο πιο μεγάλες θα είναι οι τιμές της πλευρικής επιτάχυνσης που θα μπορεί να αναπτύξει το αυτοκίνητο, δηλαδή θα έχει καλύτερο κράτημα.

Στην **εικόνα 11** φαίνεται ένα τριγωνικό διάγραμμα της σχέσης ανάμεσα στη γωνία ολίσθησης α και την πλευρική δύναμη F_y . Για μικρές τιμές της γωνίας ολίσθησης η σχέση αυτή είναι γραμμική (περιοχή Α). Σε αυτή την περιοχή μπορούμε και να τομήσουμε να συσχετίσουμε τη γωνία ολίσθησης, με τη γωνία περιστροφής του τιμονιού. Αυτός ο συσχετισμός μπορεί να μην είναι απόλυτα ορθός, αλλά βοηθά στην κατανόηση των όσων διαδραματίζονται.

Για μικρές γωνίες περιστροφής, οι δυνάμεις που μπορεί να αναπτύξει ένα ελαστικό εξαρτώνται από τη γωνία ολίσθησης / περιστροφής του τιμονιού. Οι γωνίες για τις οποίες μιλάμε κυμαίνονται μεταξύ 0° και 10° . Αφού, λοιπόν, η σχέση στην περιοχή Α, που αντιπροσωπεύει το 99 % των μετακινήσεών μας, είναι γραμμική, ξέρουμε πάντα τι να περιμένουμε. Στους αγώνες και τη γρήγορη οδήγηση, όμως, τα πράγματα είναι διαφορετικά.

Μετά τη γραμμική περιοχή, μπαίνουμε στην περιοχή ετοιμότητας (Β). Εδώ τα πράγματα δεν είναι και τόσο ξεκάθαρα. Σε αυτή την περιοχή το ελαστικό αναπτύσσει μεν τη μέγιστη πλευρική δύναμη, αλλά δεν ξέρουμε πότε ακριβώς θα γίνει αυτό. Στο σχήμα φαίνεται καθαρά ότι στην κορυφή της καμπύλης έχουμε τη μέγιστη δύναμη. Για τα περισσότερα ελαστικά η κορυφή αυτή βρίσκεται μεταξύ 10° και 15° . Εκεί, για μικρές περιστροφές του τιμονιού γύρω από την κορυφή, οι δυνάμεις δε μεταβάλλονται σημαντικά. Σε αυτή την περιοχή έχουμε και το μέγιστο συντελεστή τριβής. Αυτό το σημείο καθορίζει και το όριο του ελαστικού, καθώς πέρα από αυτό ο συντελεστής τριβής μειώνεται και προσεγγίζει την τιμή του συντελεστή τριβής ολίσθησης, με αποτέλεσμα το ελαστικό (και κατά συνέπεια το αυτοκίνητο) να αρχίσει να γλιστράει.

Έτσι, εάν το παρακάνουμε, μπαίνουμε στην περιοχή Γ στην οποία η δυνατότητα του ελαστικού να μεταφέρει πλευρικές δυνάμεις μειώνεται δραματικά. Το αποτέλεσμα σε αυτή την περίπτωση θα είναι η έξοδος από το δρόμο, εκτός και αν διορθώσουμε το λάθος και επιστρέψουμε στην περιοχή Β, ή ακόμα και στην περιοχή Α.



Εικόνα 12.

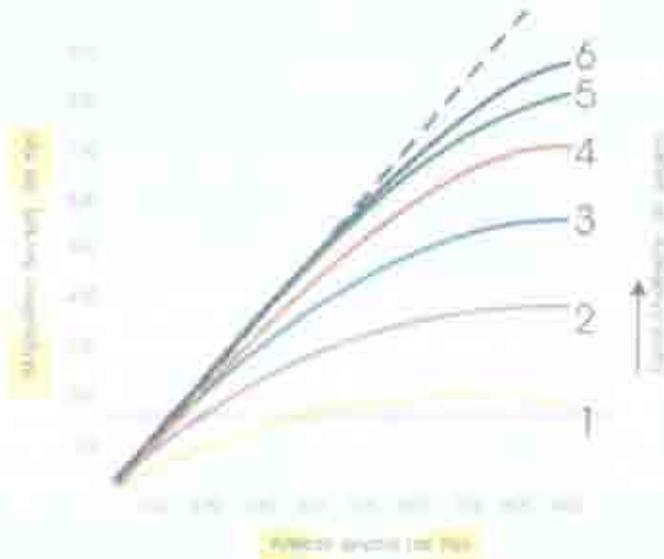
Η πλευρική δύναμη F_y ως συνάρτηση της γωνίας ολίσθησης α για διάφορες τιμές του κατακόρυφου φορτίου.

Η F_y είναι ουσιαστικά η τριβή που αναπτύσσεται ανάμεσα στο ελαστικό και το δρόμο. Σκοπίμως εδώ δε συμβολίζεται με T , όπως στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αυτό γίνεται για να τις ξεχωρίζουμε. Η T μας βοηθάει στην μακροσκοπική ανάλυση, ενώ η F_y στην μικροσκοπική.

Εκτός όμως από τη γωνία ολίσθησης, η F_y εξαρτάται και από το κατακόρυφο φορτίο, που έχει ο τροχός. Η σχέση και εδώ δεν είναι γραμμική. Με την αύξηση του φορτίου, αυξάνεται και η πλευρική δύναμη, αλλά όχι αναλογικά. Οι **εικόνας 12** και **13** μας δείχνουν αυτή την εξάρτηση της πλευρικής δύναμης από το φορτίο και τη γωνία ολίσθησης. Από το πρώτο διάγραμμα βλέπουμε ότι με μεγαλύτερο φορτίο μπορούμε να επιτύχουμε την ίδια τιμή της πλευρικής

δύναμης με μικρότερη γωνία ολίσθησης. Από το δεύτερο συμπεραίνουμε ότι με μικρές γωνίες ολίσθησης όσο και να αυξηθεί το φορτίο ελάχιστα συνεισφέρει στη δημιουργία πλευρικής δύναμης.

Πως όμως εξηγείται η απόκλιση της τιμής της $T = \mu \cdot \Lambda$, (όπου μ ο συντελεστής



Εικόνα 13

Η πλευρική δύναμη F_s ως συνάρτηση του κατακόρυφου φορτίου, για διάφορες τιμές της γωνίας ολίσθησης.

$F_s = m \cdot \frac{v^2}{r}$, δηλαδή η κεντρομόλος είναι ανάλογη της μάζας, δύο γεωμετρικώς ίδια

αυτοκίνητα, ένα ελαφρύ και ένα βαρύ, θα έπρεπε να στρίβουν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Η πράξη μας διαψεύδει, αφού είναι γνωστό και αποδεδειγμένο ότι το ελαφρύ έχει σαφώς καλύτερο κράτημα. Ακόμα, αφού $F_s = T \Rightarrow \eta \cdot m \cdot g = m \cdot \gamma_x \Rightarrow \gamma_x = \eta \cdot g$, με $\eta \leq 1$, θα έπρεπε η κεντρομόλος επιτάχυνση γ_x να μην ξεπερνά ποτέ το $1g$, χωρίς αεροδυναμικά βοηθήματα. Στην πράξη ένα "γιμνό" καρτ μπορεί άνετα να ξεπεράσει τα $1.25g$.

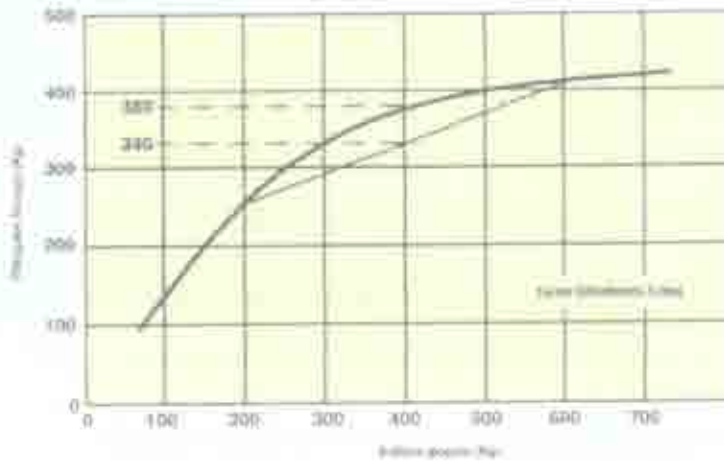
Τι σημαίνουν όλα αυτά. Ότι απλά τα ελαστικά ακολουθούν, εν μέρει, δικούς τους κανόνες, εξ' αιτίας της επιλεκτικής παραμορφωσιμότητας που έχουν το υλικό και η δομή τους. Ακόμα, συμβαίνει κάτι που έρχεται σε αντίθεση με τον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε την πραγματικότητα. Με την αύξηση του κατακόρυφου φορτίου, μειώνεται ο συντελεστής τριβής του ελαστικού! Με άλλα λόγια, αν διπλασιάσουμε το κατακόρυφο φορτίο, με το οποίο πιέζεται ο τροχός στο οδόστρωμα, δε θα έχουμε και διπλάσια δύναμη τριβής, αλλά κατά κάτι μικρότερη από αυτή που περιμέναμε. Επιπλέον, το φαινόμενο δεν είναι ενιαίο σε όλες τις περιπτώσεις, αλλά εξαρτάται και από τη γωνία ολίσθησης στην οποία βρίσκεται εκείνη τη στιγμή το λάστιχο, όπως είπαμε και πιο πάνω.

Τα παραπάνω εξηγούν και αυτό που λέγαμε στην παράγραφο 1.2 για το ότι οι εξωτερικοί τροχοί δεν εκμεταλλεύονται πλήρως την πρόσφυση τους. Κατά τη διάρκεια μιας στροφής το κατακόρυφο φορτίο στους εξωτερικούς τροχούς αυξάνεται, κάτι που οδηγεί σε αύξηση της πλευρικής δύναμης. Ταυτόχρονα, όμως, όπως είπαμε, με την αύξηση του φορτίου μειώνεται ο συντελεστής τριβής με αποτέλεσμα η αύξηση αυτή να μην είναι αναλογική. Στους εσωτερικούς τροχούς έχουμε μια μη αναλογική μείωση της πλευρικής

τριβής και Λ το κατακόρυφο φορτίο), από την F_s . Η T είναι η τριβή που προκύπτει από την κλασική Νευτώνεια φυσική. Μας βοηθάει να αντιλαμβανόμαστε σωστά πολλά από τα φαινόμενα του καθημερινού μας βίου. Από την άλλη, όμως, μας δημιουργεί τεράστιες συγχύσεις όταν προσπαθούμε, με τη βοήθειά της, να ερμηνεύσουμε καταστάσεις που προέρχονται από μη Νευτώνεια στερεά, σαν τα ελαστικά των αυτοκινήτων. Σύμφωνα με τη Νευτώνεια φυσική η κεντρομόλος δύναμη F_s θα ισούται με την τριβή T . Ακόμα, ο συντελεστής τριβής μ παραμένει σταθερός, εξαρτώμενος μόνο από το είδος των δύο επιφανειών που έρχονται σε επαφή.

Σύμφωνα, όμως, με αυτή τη λογική, θα έπρεπε να συμβαίνουν τα παρακάτω. Αφού

δύναμης. Το τελικό αποτέλεσμα είναι μια μείωση της ολικής πλευρικής δύναμης που μπορεί να παράγει ο άξονας.



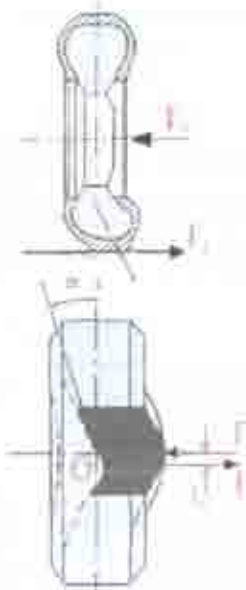
Εικόνα 14.

Το φορτίο στον ελαστικό τροχό αυξάνεται, πιασ ελαστικό μειώνεται, αλλά η μέση τιμή είναι μικρότερη από αυτή που είχε το ένα ελαστικό σε ημερία.

Επομένως, αν ο άξονας στον οποίο αναφερόμαστε είναι ο μπροστινός το αυτοκίνητο θα τείνει σε υποστρόφη, ενώ αν είναι ο πίσω θα εμφανίζει τάσεις υπερστρόφης.

Στο παράδειγμα που φαίνεται στην εικόνα 14 το κάθε ελαστικό του μπροστινού άξονα, στην ιδανική περίπτωση που θα είχε το ίδιο φορτίο, θα μπορούσε να αναπτύξει πλευρική δύναμη 380 kN. Στην πραγματικότητα το φορτίο στον άξονα είναι ασύμμετρο, με αποτέλεσμα η μέση τιμή της πλευρικής δύναμης του κάθε ελαστικού να είναι 340 kN. Αυτό σημαίνει ότι τα ελαστικά, προκειμένου να επιτύχουν την απαιτούμενη τιμή των 380 kN, θα πρέπει να βρεθούν σε μεγαλύτερη γωνία ολίσθησης.

► 2.4 Ροπή επαναφοράς M_z



Η παραμόρφωση του ελαστικού ευθύνεται για τη δημιουργία της πλευρικής δύναμης F_y . Η παραμόρφωση, όμως, αυτή ευθύνεται για την ανισοκατανομή των τάσεων στο σημείο επαφής, με αποτέλεσμα το σημείο εφαρμογής της δύναμης F_y να έχει μετατοπιστεί σε απόσταση l_p από το κέντρο του πέλματος O , όπως φαίνεται στις εικόνες 8 και 15. Το l_p ονομάζεται πνευματικό ίχνος. Πολλαπλασιάζοντας το πνευματικό ίχνος με την πλευρική δύναμη βρίσκουμε τη ροπή επαναφοράς M_z .

$$M_z = F_y \cdot l_p \quad \text{Σχίστη 2.1.}$$

Πρόκειται για τη ροπή εκείνη που τείνει να επαναφέρει το ελαστικό στην αρχική του θέση, δηλαδή παράλληλα με το διαμήκη άξονα του αυτοκινήτου.

Στην εικόνα 16 βλέπουμε ένα τυπικό διάγραμμα μεταβολής της ροπής επαναφοράς ως προς τη γωνία ολίσθησης.

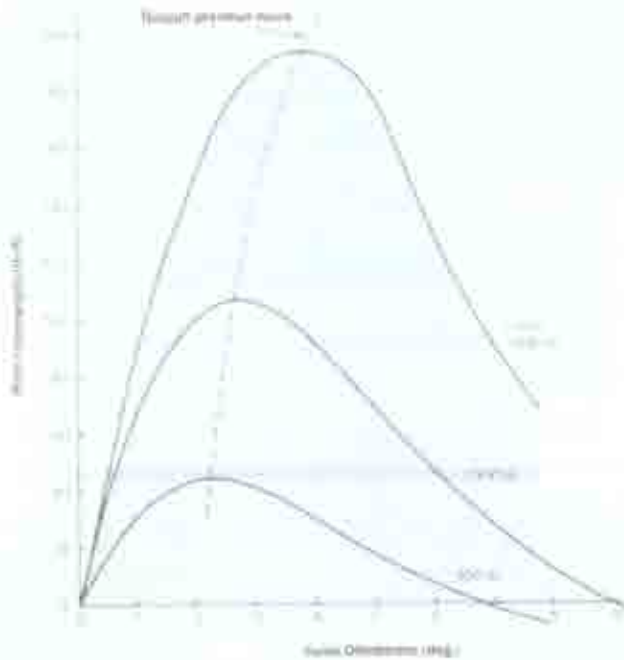
Εικόνα 15.

Η ασύμμετρη της F_y στη πλάμη γίνεται ένθετο, με αποτέλεσμα τη δημιουργία της ροπής επαναφοράς M_z .

για διαφορετικά φορτία. Είναι εμφανές από το διάγραμμα ότι το κάθετο φορτίο επηρεάζει σημαντικά την τιμή της ροπής. Τι σημαίνει όμως, αυτό για τον

οδηγό; Η επαναφορά που έχει το τιμόνι εξαρτάται από δύο στοιχεία.

Το πρώτο έχει να κάνει με το μηχανικό ίχνος, που οφείλεται στη γεωμετρία της ανάρτησης και το δεύτερο από το πνευματικό ίχνος του ελαστικού.

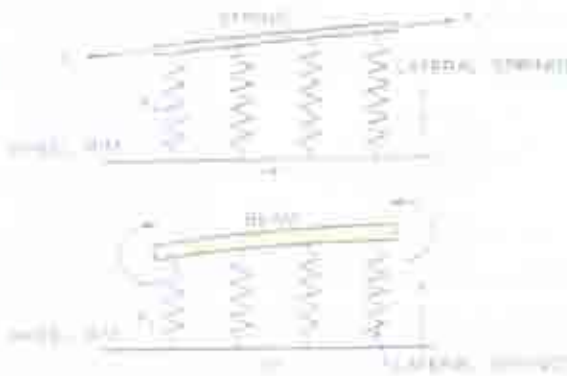


Εικόνα 16.

Γραφικό διάγραμμα μεταβολής της ροπής επαναφοράς ως προς τη γωνία οπισσώστιας για τρία διαφορετικά φορτία.

Εάν το πνευματικό ίχνος κυριαρχεί αναλογικά ως προς το μηχανικό, ο οδηγός έχει άμεση πληροφόρηση από τα ελαστικά του μπροστινού άξονα για το τι διαδραματίζεται εκεί μέσω της ροπής επαναφοράς. Η ροπή επαναφοράς πληροφορεί άμεσα τον οδηγό για το εάν και το πότε θα χάσουν την επαφή τους τα μπροστινά λάστιχα με το δρόμο και θα αρχίσουν να γλιστράνε. Όταν το τιμόνι πάνω στη στροφή αρχίζει και ελαφραίνει, δηλαδή η αντίστασή του σε εντολές είναι μικρή, το λάστιχο βρίσκεται στην περιοχή της κορυφής του διαγράμματος (της εικόνας 16) και αρχίζει να κινείται προς τη δεξιά μεριά. Οι έμπειροι οδηγοί είναι ικανοί, όταν στρίβουν στο όριο, να δουλεύουν τα λάστιχα του μπροστινού άξονα πολύ κοντά στην περιοχή της μέγιστης τιμής της ροπής επαναφοράς, από την αίσθηση που αυτή τους δίνει. Αυτό σημαίνει (από τη σχέση 2-1) ότι βρίσκονται και στη μέγιστη τιμή της πλευρικής δύναμης F_{μ} .

► 2.5 Η θεωρία του Temple.



Εικόνα 17.

Μοντέλα για την πλευρική συμπεριφορά των ελαστικών.

Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για την ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων που να περιγράφουν την πλευρική συμπεριφορά των πνευματικών ελαστικών. Βασικά, υπάρχουν δύο σχολές. Η μία βασίζεται στην υπόθεση ότι το πέλμα του ελαστικού είναι το ισοδύναμο μιας τεντωμένης χορδής περιορισμένης από πλευρικά ελατήρια, τα οποία αντιπροσωπεύουν τα τοιχώματα του ελαστικού. Η περιφέρεια της ζάντας αποτελεί τη βάση των ελατηρίων αυτών, όπως φαίνεται και στην εικόνα 17. Η άλλη θεωρεί το πέλμα σαν το ισοδύναμο

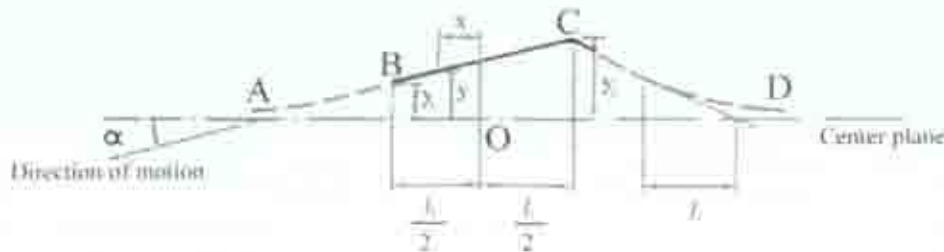
μιας ελαστικής δοκού, με συνεχή πλευρική ελαστική στήριξη.

Τόσο στη μία θεώρηση, όσο και στην άλλη γίνεται η υπόθεση ότι τα πλευρικά χαρακτηριστικά ενός ελαστικού μπορούν να αναχθούν στη συμπεριφορά της ισημερινής γραμμής. Ως ισημερινή γραμμή ορίζεται η τομή του अपαραμόρφωτου ελαστικού με το επίπεδο του τροχού. Το τμήμα της ισημερινής γραμμής που βρίσκεται στην επιφάνεια επαφής, καλείται γραμμή επαφής.

Μια από τις μεγαλύτερες διαφορές αυτών των δύο βασικών μοντέλων είναι ότι σε αυτό της τεταμένης χορδής οι ασυνέχειες της κλίσης της ισημερινής γραμμής είναι επιτρεπτές, ενώ στο μοντέλο της ελαστικής δοκού κάτι τέτοιο δε συμβαίνει. Έχει αποδειχθεί ότι τα δύο αυτά μοντέλα μπορούν να δώσουν μια βασική κατανόηση της πλευρικής συμπεριφοράς ενός πνευματικού ελαστικού. Στη συνέχεια θα παραθέσουμε εκτενέστερα το μοντέλο της τεταμένης χορδής, όπως προτάθηκε από τους Temple και Von Schlippe.

Ας θεωρήσουμε ένα ελαστικό σε ομαλή κύλιση, με σταθερή γωνία ολίσθησης. Το σχήμα της ισημερινής γραμμής BC, στην επιφάνεια επαφής, στην *εικόνα 18*, είναι η τροχιά του ελαστικού και είναι σταθερό σε σχέση με το έδαφος, αν δε λαμβάνει χώρα γλίστρημα. Ας υποθέσουμε πως η διακεκομμένη γραμμή AB στο σχήμα παριστάνει την προβολή του τμήματος της ισημερινής γραμμής έξω και μπροστά από την επιφάνεια επαφής. Καθώς το ελαστικό κυλά προς τα εμπρός, τα σημεία του AB γίνονται σημεία του BC. Αυτό σημαίνει ότι τα AB και BC πρέπει να έχουν κοινή εφαπτομένη στο B. Στο πίσω μέρος της επιφάνειας επαφής τέτοιες συνθήκες δεν υπάρχουν και ασυνέχεια είναι δυνατό να υπάρχει στο σημείο C. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι, για ένα κυλιόμενο ελαστικό, η κλίση της ισημερινής γραμμής είναι συνεχής στην μπροστινή αιχμή της επιφάνειας, αλλά όχι απαραίτητα και στην πίσω.

Ας θεωρήσουμε το στοιχείο της παραμορφωμένης ισημερινής γραμμής, που φαίνεται στην *εικόνα 18*. Έστω ότι η πλάγια μετατόπιση από το επίπεδο του τροχού είναι y και η



Εικόνα 18.

Η συμπεριφορά της ισημερινής γραμμής ενός ελαστικού σε ομαλή κύλιση, που υπόκειται σε πλευρική δύναμη.

απόσταση κατά μήκος της απαραμόρφωτης ισημερινής γραμμής είναι x , με αρχή το κέντρο O της επιφάνειας πρόσφυσης. Υποθέτουμε ότι η στοιχειώδης πλευρική δύναμη dF_{y1} , που εφαρμόζεται σε ένα στοιχειώδες σημείο του πέλατος που απέχει απόσταση y από το O και έχει μήκος dx , δίνεται σε διαφορική μορφή από τη σχέση 2-2:

$$dF_{y1} = k_y y dx, \quad \text{Σχέση 2-2,}$$

όπου k_y η πλευρική ακαμψία του ελαστικού. Η εξίσωση αυτή εφαρμόζεται σε όλα τα σημεία της περιφέρειας.

Σε ένα στοιχείο της ισημερινής γραμμής, υπάρχει άλλη μία συνιστώσα dF_{y2} , που δρα πλευρικά και η οποία οφείλεται στην τάση της χορδής. Αυτή η συνιστώσα είναι ανάλογη της καμπυλότητας της ισημερινής γραμμής και με μικρή απόκλιση δίνεται από τη σχέση 2-3:

$$dF_{y2} = -F_1 \frac{d^2 y}{dx^2} dx, \text{ Σχίσση 2-3.}$$

όπου F_1 είναι η τάση στη χορδή. Η τάση αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$F_1 = k_y l_r^2, \text{ Σχίσση 2-4.}$$

όπου k_y είναι και πάλι η πλευρική ακαμψία του ελαστικού και l_r είναι το "μήκος ανακούφισης", στο οποίο η πλευρική βύθιση, που περιγράφεται από μια εκθετική συνάρτηση, μειώνεται στο $\frac{1}{e}$ της προηγούμενης τιμής της, όπως φαίνεται στην εικόνα 18.

Με βάση τις σχέσεις 2-3, 2-4 και 2-5, η συνολική στοιχειώδης δύναμη dF_y , σε κάθε σημείο, θα είναι:

$$dF_y = dF_{y1} + dF_{y2} = k_y \left(y - l_r^2 \frac{d^2 y}{dx^2} \right) dx, \text{ Σχίσση 2-6.}$$

Εστώ ότι l_1 είναι το μήκος επαφής, το σημείο αναφοράς των x το σημείο O και y_1 , y_2 οι αποκλίσεις της ισημερινής γραμμής στο εμπρός και το πίσω μέρος της επιφάνειας επαφής, όπως φαίνεται και πάλι στην εικόνα 18. Στο μέρος του ελαστικού, που δε βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος, τη λεγόμενη και "ελεύθερη περιοχή", το οποίο έχει συνολικό μήκος $l_{\text{ολ}}$, δε δρουν εξωτερικά φορτία. Επομένως η σχέση 2-6 παίρνει τη μορφή:

$$k_y \left(y - l_r^2 \frac{d^2 y}{dx^2} \right) = 0, \text{ Σχίσση 2-6.}$$

Η λύση της διαφορικής αυτής εξίσωσης θα δώσει την εξίσωση που δίνει τη μορφή της ισημερινής γραμμής, στην ελεύθερη περιοχή:

$$y = \frac{y_2 \sin \left(\frac{x - \frac{l_1}{2}}{l_r} \right) + y_1 \sin \left(\frac{\frac{l_1}{2} + l_{\text{ολ}} - x}{l_r} \right)}{\sin \left(\frac{l_{\text{ολ}}}{l_r} \right)}, \text{ Σχίσση 2-7.}$$

όπου υπενθυμίζεται ότι l_1 είναι το μήκος επαφής, l_r το μήκος ανακούφισης, $l_{\text{ολ}}$ το συνολικό μήκος της περιφέρειας της ελεύθερης περιοχής, ενώ τα y_1 και y_2 φαίνονται στο σχήμα της εικόνας 18.

Αν r είναι η ακτίνα του ελαστικού, κάτω από κανονικές συνθήκες, το μήκος $l_{\text{ολ}}$ θα κυμαίνεται από $4,5 r$ ως $6 r$. Το μήκος l_r , κατά προσέγγιση θεωρείται ίσο με r . Έτσι, η σχέση 2-7 μπορεί να προσεγγιστεί από μία εκθετική συνάρτηση.

Για την ελεύθερη περιοχή, κοντά στο εμπρός μέρος της επιφάνειας επαφής, θα ισχύει $x \gg \frac{l_1}{2}$. Η σχέση 2-7 παίρνει τη μορφή:

$$y = y_1 e^{-\frac{x - \frac{l_1}{2}}{l_r}}, \text{ Σχίσση 2-8.}$$

όπου l_1 είναι το μήκος επαφής και l_r το μήκος ανακούφισης.

Για την περιοχή κοντά στο πίσω μέρος της πρόσφυσης ισχύει $x < \frac{l_e}{2} + l_{\text{ολ}}$. Οπότε η σχέση 2-7 γράφεται:

$$y = y_2 e^{-\frac{\left(\frac{l_e}{2} - l_{\text{ολ}} - x\right)}{l_e}}, \quad \text{σχίσση 2-9.}$$

όπου και πάλι l_e είναι το μήκος επαφής, l_e το μήκος ανακούφισης και $l_{\text{ολ}}$ το συνολικό μήκος της περιφέρειας της ελεύθερης περιοχής. Έτσι, στην ελεύθερη περιοχή, που δε βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος, αλλά κοντά στις άκρες της επιφάνειας επαφής το σχήμα της ισημερινής γραμμής είναι μια εκθετική καμπύλη.

Οι εξισώσεις για την πλευρική απόκλιση και τις πλευρικές δυνάμεις, που δρουν σε ένα στοιχείο του πέλματος και περιγράφηκαν πιο πάνω, επιτρέπουν τον υπολογισμό της πλευρικής δύναμης και της ροπής επαναφοράς μέσω των σταθερών k_y , l_e και του μήκους επαφής l_e . Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους:

α) Με ολοκλήρωση της πλευρικής δύναμης, που εφαρμόζεται στο ελαστικό από το έδαφος πάνω στο μήκος επαφής, εμπεριέχοντας ένα μικρό μήκος της ισημερινής γραμμής στην ελεύθερη περιοχή, σε κάθε άκρο, όπως προτάθηκε από τον Temple.

β) Ολοκληρώνοντας την πλευρική δύναμη που εφαρμόζεται στη ζάντα, από το λάστιχο, πάνω σε όλη την περιφέρεια, περιλαμβανομένης και της επιφάνειας επαφής, όπως προτάθηκε από τον Schlippe.

Ακολουθώντας τη μέθοδο του Temple και υποθέτοντας ότι η ισημερινή γραμμή, στην περιοχή επαφής, είναι ευθεία γραμμή, μπορεί να προκύψει η ολική πλευρική δύναμη F_y , που θα είναι:

$$F_y = k_y \int_{-\frac{l_e}{2}}^{\frac{l_e}{2}} \left(y - l_e^2 \frac{d^2 y}{dx^2} \right) dx = k_y \int_{-\frac{l_e}{2}}^{\frac{l_e}{2}} y dx - k_y l_e^2 \left(\frac{dy}{dx} \right) \Big|_{-\frac{l_e}{2}}^{\frac{l_e}{2}} = \frac{k_y (y_1 + y_2) l_e}{2} + k_y l_e (y_1 + y_2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F = k_y (y_1 + y_2) \left(l_e + \frac{l_e}{2} \right), \quad \text{σχίσση 2-10,}$$

όπου υπενθυμίζεται ότι k_y είναι η πλευρική ακαμψία του ελαστικού, l_e είναι το μήκος επαφής, l_e το μήκος ανακούφισης ενώ τα y_1 και y_2 είναι οι αποκλίσεις της ισημερινής γραμμής στο εμπρός και το πίσω μέρος της επιφάνειας επαφής, όπως φαίνεται και πάλι στην **Παράση 18**.

Για ένα μη κυλιόμενο ελαστικό, που υπόκειται σε καθαρά πλάγια δύναμη, θα είναι $y_1 = y_2 = y_n$. Άρα, η πλάγια δύναμη παίρνει τη μορφή:

$$F_x = 2k_y y_n \left(l_e + \frac{l_e}{2} \right), \quad \text{σχίσση 2-11.}$$

Η ροπή της πλάγιας δύναμης γύρω από κάθετο άξονα που περνά από το κέντρο της επιφάνειας επαφής, δηλαδή η ροπή επαναφοράς M_z , θα είναι:

$$M_z = k_y \int_{-\frac{l_e}{2}}^{\frac{l_e}{2}} \left[x \left(y - l_e^2 \frac{d^2 y}{dx^2} \right) \right] dx = k_y \int_{-\frac{l_e}{2}}^{\frac{l_e}{2}} x y dx - k_y l_e^2 \left(x \frac{dy}{dx} - y \right) \Big|_{-\frac{l_e}{2}}^{\frac{l_e}{2}} \Rightarrow$$

$$M_z = k_y (y_2 - y_1) \frac{\left(\frac{l_1}{2}\right)^2}{3} + k_y l_r \left(l_r + \frac{l_1}{2}\right) (y_2 - y_1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M_z = k_y (y_2 - y_1) \left[\frac{\left(\frac{l_1}{2}\right)^2}{3} + l_r \left(l_r + \frac{l_1}{2}\right) \right], \text{ Σχέση 2-12.}$$

όπου k_y είναι η πλευρική ακαμψία του ελαστικού, l_1 είναι το μήκος επαφής, l_r το μήκος ανακούφισης, ενώ τα y_1 και y_2 είναι οι αποκλίσεις της ισημερινής γραμμής στο εμπρός και το πίσω μέρος της επιφάνειας επαφής, όπως φαίνεται και πάλι στην [εικόνα 18](#).

Ακολουθώντας κάποιοι την προσέγγιση του Schlippe, μπορεί να οδηγηθεί στις ίδιες εξισώσεις.

Για ένα κυλιόμενο ελαστικό, με γωνία ολίσθησης α , η κλίση της ισημερινής γραμμής στην επιφάνεια επαφής, θα είναι ίση με $\tan \alpha$, αν το πέλμα στην περιοχή της επιφάνειας επαφής δε γλιστρά. Αφού η γωνία ολίσθησης είναι συνήθως μικρή, μπορεί περίπου να ταυτιστεί με την εφαπτομένη της. Από το σχήμα, της [εικόνας 18](#), έχουμε:

$$\alpha = \tan \alpha = \frac{y_2 - y_1}{l_1} = \frac{y_1}{l_r}, \text{ Σχέση 2-13.}$$

Αντικαθιστώντας τη σχέση 2-13 στις [σχέσεις 2-10](#) και 2-12, θα έχουμε τη σχέση της γωνίας ολίσθησης με την πλευρική δύναμη και τη ροπή επαναφοράς, αντίστοιχα:

$$F_y = 2k_y \alpha \left(l_r + \frac{l_1}{2}\right)^2, \text{ Σχέση 2-14 και}$$

$$M_z = \alpha k_y l_1 \left[\frac{\left(\frac{l_1}{2}\right)^2}{3} + l_r \left(l_r + \frac{l_1}{2}\right) \right], \text{ Σχέση 2-15.}$$

Από τις [σχέσεις 2-14](#) και 2-15 συμπεραίνουμε ότι το πνευματικό ίχνος i_p , θα είναι:

$$i_p = \frac{M_z}{F_y} = \frac{l_1 \left[\frac{\left(\frac{l_1}{2}\right)^2}{3} + l_r \left(l_r + \frac{l_1}{2}\right) \right]}{\left(l_r + \frac{l_1}{2}\right)^2}, \text{ Σχέση 2-16.}$$

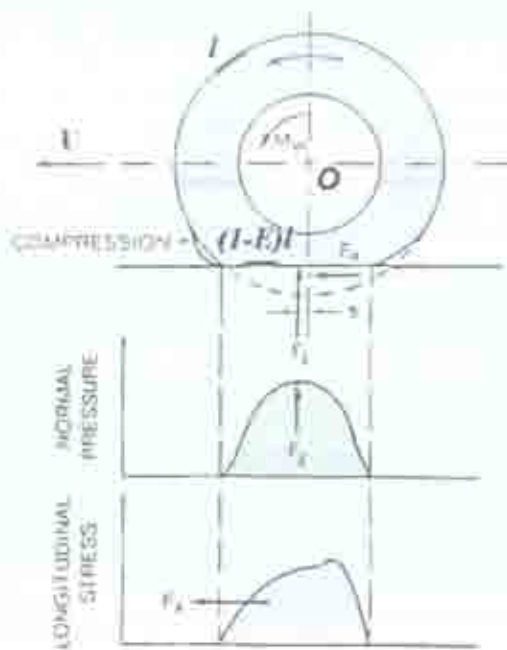
όπου k_y είναι η πλευρική ακαμψία του ελαστικού, l_1 είναι το μήκος επαφής, l_r το μήκος ανακούφισης, ενώ τα y_1 και y_2 είναι οι αποκλίσεις της ισημερινής γραμμής στο εμπρός και το πίσω μέρος της επιφάνειας επαφής, όπως φαίνεται και πάλι στην [εικόνα 18](#).

Οι εξισώσεις 2-14 και 2-15 δείχνουν ότι, αν δεν υπάρχει ολίσθηση μεταξύ της ζώνης του πέλματος και του εδάφους, η πλευρική δύναμη και η ροπή επαναφοράς αυξάνουν γραμμικά με τη γωνία ολίσθησης. Αυτό συμβαίνει για μικρές γωνίες ολίσθησης και ανταποκρίνεται στην περιοχή Α του διαγράμματος της [εικόνας 11](#), στη σελίδα 46. Καθώς η

γωνία ολίσθησης αυξάνει, λαμβάνει χώρα γλίστρημα του πέλματος πάνω στο έδαφος. Έτσι, η υπόθεση ότι η ισήμερινη γραμμή στην περιοχή της επιφάνειας επαφής είναι ευθεία, δεν ισχύει. Αυτό σημαίνει ότι η θεωρία του Temple (όπως και αυτή του Schlippe) ισχύει μόνο για μικρές γωνίες ολίσθησης.

► 2.6 Κατά μήκος ολίσθηση των ελαστικών.

Τα ελαστικά, εκτός από τις πλευρικές, καλούνται να αναπτύξουν και διαμήκεις δυνάμεις, θετικές όταν επιταχύνονται και αρνητικές όταν επιβραδύνονται.



Εικόνα 19.

Η περιγραφή ενός ελαστικού, υπό ροπή στρέψης: longitudinal stress είναι η οριακή τάση, ενώ normal pressure η πίεση του ελαστικού. Παρατηρούμε ότι παρ' όλο που η μέγιστη κάθετη δύναμη F_z αντιστρέφεται του O , η τάση στην περιοχή αυτή είναι μικρή εξ' αιτίας της μεγάλης παραμόρφωσης.

αναπτύσσεται στην επιφάνεια επαφής, μεταξύ ελαστικού και εδάφους, όπως φαίνεται και στην εικόνα 19. Ταυτόχρονα, το πέλμα του ελαστικού μπροστά και μέσα στην επιφάνεια επαφής υποβάλλεται σε συμπίεση. Μια αντίστοιχη διαμήκη παραμόρφωση του πλαϊνού τοιχώματος του ελαστικού λαμβάνει ταυτόχρονα χώρα. Όλα τα παραπάνω συντελούν στο να αναπτύσσονται τα φορτία εκκεντρα, σε σχέση με το κέντρο του τροχού O , με αποτέλεσμα τη δημιουργία της ροπής επαναφοράς, που αναλύσαμε στην προηγούμενη παράγραφο.

Καθώς τα στοιχεία του πέλματος συμπιέζονται, προτού γίνουν μέρος της επιφάνειας επαφής, η απόσταση, η οποία θα διανύει το ελαστικό, όταν ταξιδεύει υπό την επίδραση κινητήριας στρέψης, θα είναι μικρότερη από αυτή που θα διένυε αν βρισκόταν σε ελεύθερη κύλιση. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται ολίσθηση παραμόρφωσης, ή κατά μήκος ολίσθηση και συμβολίζεται με l . Η ολίσθηση αυτή ορίζεται ως:

Κατ' αναλογία με τη γωνία ολίσθησης α , όταν το αυτοκίνητο κινείται σε μια στροφή, μπορούμε να ορίσουμε ολίσθηση και στην ευθεία. Οι διαμήκεις δυνάμεις που μπορεί να αναπτύξει ένα ελαστικό εξαρτώνται από αυτή την ολίσθηση. Η ισορροπία είναι πολύ ευαίσθητη, αφού αν υπερβούμε μια συγκεκριμένη τιμή, το ελαστικό γλιστράει πλέον επάνω στην ασφαλτο και έχουμε σπινάρισμα, ή μπλοκάρισμα του τροχού, ανάλογα με την κατάσταση. Ωστόσο, ένα ποσοστό ολίσθησης είναι απαραίτητο. Για παράδειγμα, η μέγιστη δύναμη επιβραδύνσης σε στεγνό οδόστρωμα επιτυγχάνεται με ποσοστό ολίσθησης 15% - 20%.

Και εδώ χρειάζεται προσοχή ο διαχωρισμός των εννοιών ολίσθησης και γλίστρηματος. Με απλά λόγια μπορούμε να πούμε ότι ολίσθηση είναι αυτό που δε γίνεται αντιληπτό, ενώ γλίστρημα είναι αυτό που είναι ορατό και από (σπινάρισμα ή μπλοκάρισμα). Ας δούμε, όμως τα πράγματα λίγο πιο αναλυτικά.

Όταν μια κινητήρια στρέψη εφαρμόζεται σε ένα πνευματικό ελαστικό, μια ελκτική δύναμη

$$i = \frac{U_T - U_a}{U_T} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{U_a}{U_T}\right) \cdot 100\%, \text{ Σχέση 2-17,}$$

όπου U_T είναι το μέτρο της γραμμικής ταχύτητας του πέλματος του τροχού και U_a το μέτρο της γραμμικής ταχύτητας του αυτοκινήτου. Όταν ο τροχός κυλάει ελεύθερα, είναι $U_a = U_T$, οπότε έχουμε μηδενική ολίσθηση ($i=0\%$). Όταν ο τροχός σπινάρει τρελά και το αυτοκίνητο μένει ακίνητο, τότε $U_a = 0$ και άρα $i=100\%$.

Καθώς η ελκτική δύναμη, που αναπτύσσεται από ένα ελαστικό είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης στρέψης του τροχού, κάτω από σταθερές συνθήκες, η ολίσθηση είναι συνάρτηση της ελκτικής δύναμης. Η σχέση αυτή, ανάμεσα στην ελκτική δύναμη και την ολίσθηση, ακολουθεί μια συμπεριφορά σαν αυτή του διαγράμματος της εικόνας 20, που έχει παρθεί πειραματικά. Η συμπεριφορά αυτή παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με αυτή της πλευρικής δύναμης ως προς τη γωνία ολίσθησης, που είδαμε στο διάγραμμα της εικόνας 11.

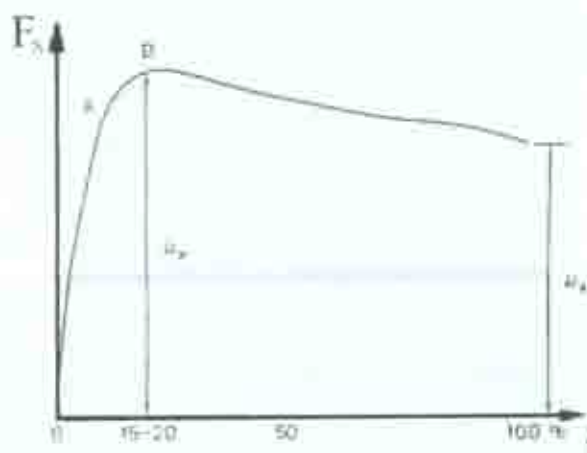
Αρχικά, η στρέψη του τροχού και η ελκτική δύναμη αυξάνονται γραμμικά με την ολίσθηση, επειδή αρχικά η ολίσθηση υπάρχει εξ' αιτίας της ελαστικής παραμόρφωσης του πέλματος του ελαστικού. Αυτό

αντιστοιχεί στο τμήμα ΟΑ του διαγράμματος. Περαιτέρω αύξηση της στρέψης στον τροχό οδηγεί τμήμα του πέλματος του ελαστικού να ολισθαίνει στο δρόμο. Αυτό έχει ως συνέπεια η σχέση να είναι μη γραμμική και αντιστοιχεί στο τμήμα ΑΒ του διαγράμματος. Η μέγιστη τιμή της πλευρικής δύναμης (που αντιστοιχεί στην κορυφή της καμπύλης, το σημείο Β) παρουσιάζεται σε αυτή την περιοχή, αλλά και εδώ δεν ξέρουμε το πότε ακριβώς. Βασιζόμενοι σε πειραματικά στοιχεία παρατηρούμε ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η



Εικόνα 21.

Η ποιότητα ρύθμιση των αντιστημάτων ελέγχου της πρόσφυσης των μονοκλιτύλων, προβάλλεται γρηγορά της συμπεριφοράς του ελαστικού, ως προς το οδόστρωμα της συγκεκριμένης πίστας.



Εικόνα 20.

Η σχέση ανάμεσα στη πλευρική δύναμη F_y και την κατά μήκος ολίσθηση i .

μέγιστη δύναμη λαμβάνεται με ένα ποσοστό ολίσθησης μεταξύ 15 % - 20 %. Κάθε περαιτέρω αύξηση της ολίσθησης καταλήγει σε ασταθείς καταστάσεις, με το συντελεστή τριβής να ακολουθεί φθίνουσα πορεία, ανάλογη του διαγράμματος.

Εδώ να ανοίξουμε μια παρένθεση και να πούμε ότι η ακριβής γνώση της συμπεριφοράς του ελαστικού, ως προς τη γωνία ολίσθησης, είναι άκρως απαραίτητη στη σημερινή μορφή της Formula 1. Τα μονοθέσια σήμερα είναι εφοδιασμένα με traction control (έλεγχος της πρόσφυσης) και launch control (έλεγχος σπιναρισματος στην εκκίνηση). Και τα δύο συστήματα σκοπό δεν έχουν να προστατέψουν τον οδηγό από πιθανό λάθος του, αλλά να

φροντίζουν ώστε τα ελαστικά να δουλεύουν συνεχώς στην περιοχή της μέγιστης απόδοσής τους, δηλαδή με την ολίσθηση να κυμαίνεται οριακά γύρω από το 20 %. Ένα σύστημα που ενεργοποιείται πιο πριν από ότι πρέπει κοστίζει αρκετά σε χρόνο μέσα στην πίστα, ενώ ένα άλλο που ενεργοποιείται αργότερα μπορεί να οδηγήσει σε ξαφνική υπερστρόφη και έξοδα, με ό,τι αυτό συνεπάγεται.

Για το λόγο αυτό έγιναν πολλές προσπάθειες να διατυπωθεί μια γενική θεωρία που να προβλέπει με ακρίβεια τη σχέση μεταξύ της ελκτικής δύναμης και της διαμήκουσ ολίσθησης. Μέχρι τώρα κάτι τέτοιο δεν έχει γίνει εφικτό. Όμως υπάρχουν αρκετές θεωρίες που μπορούν να προσφέρουν πολλά, για την κατανόηση της όλης διαδικασίας. Μία από τις πρώτες και απλούστερες θεωρητικές προσεγγίσεις έγινε από τον Julien.

Στη θεωρία του ο Julien υποθέτει ότι το πέλμα του ελαστικού μπορεί να θεωρηθεί σαν μια ελαστική ταινία, η επιφάνεια επαφής έχει το σχήμα παραλληλογράμμου και η κάθετη πίεση είναι ομοιόμορφα κατανομημένη.

Έστω ότι μια προωθητική ροπή στρέψης εφαρμόζεται σε ένα ελαστικό. Στην περιοχή μπροστά από την επιφάνεια επαφής η ροπή στρέψης παράγει μια διαμητική παραμόρφωση E στο πέλμα. Η συμπίεση αυτή παραμένει σταθερή στην περιοχή της επιφάνειας επαφής, όπου δε λαμβάνει χώρα ολίσθηση μεταξύ του πέλματος και του εδάφους, όπως φαίνεται και στην *εικόνα 19*. Αν e_0 είναι η διαμήκης παραμόρφωση του πέλματος του ελαστικού, μπροστά από την επιφάνεια επαφής και e η διαμήκης παραμόρφωση του πέλματος, σε ένα σημείο με απόσταση x πίσω από την μπροστινή αιχμή της επιφάνειας επαφής, θα ισχύει:

$$e = e_0 + xE', \quad \text{Σχίσση 2-18.}$$

Ο Julien υποθέτει ότι το e_0 είναι ανάλογο του E , δηλαδή $e_0 = \lambda E$, οπότε η σχέση 2-18 γράφεται:

$$e = (\lambda + x)E, \quad \text{Σχίσση 2-19.}$$

Υποθέτει ακόμα ότι μέσα στην επιφάνεια επαφής, όπου δεν έχουμε ολίσθηση, η ελκτική δύναμη ανά μονάδα μήκους είναι ανάλογη με την παραμόρφωση του πέλματος:

$$\frac{dF_x}{dx} = k_t \cdot e = k_t (\lambda + x)E, \quad \text{Σχίσση 2-20.}$$

όπου k_t είναι η εφαπτόμενη ακαμψία του πέλματος του ελαστικού και F_x η ελκτική δύναμη. Εφόσον η ελκτική δύναμη αναπτύσσεται σε ολόκληρο το πέλμα, μεταξύ 0 και x , θα έχουμε:

$$F_x = \int_0^x \frac{dF_x}{dx} dx = \int_0^x k_t (\lambda + x)E dx = k_t \lambda x E \left(1 + \frac{x}{2\lambda} \right), \quad \text{Σχίσση 2-21.}$$

Έστω P η κάθετη πίεση, b το πλάτος της επιφάνειας επαφής και μ_p η μέγιστη τιμή του συντελεστή τριβής μεταξύ ελαστικού και δρόμου. Τότε, η προϋπόθεση για να μην έχουμε ολίσθηση θα είναι:

$$\frac{dF_x}{dx} = k_t (\lambda + x)E < P b \mu_p, \quad \text{Σχίσση 2-22.}$$

Επιλύοντας την παραπάνω σχέση ως προς x έχουμε:

$$k_t \lambda E + x k_t E < P b \mu_p \Rightarrow x < \frac{P b \mu_p - \lambda}{k_t E} \Rightarrow x < \frac{P b \mu_p}{k_t E} - \lambda, \quad \text{Σχίσση 2-23.}$$

Η σχέση 2-23 σημαίνει ότι αν ένα σημείο x πίσω από την εμπρός αιχμή βρίσκεται στην περιοχή συνοχής, τότε το x πρέπει να είναι μικρότερο ενός χαρακτηριστικού μήκους l_c , το οποίο καθορίζει το μήκος της περιοχής με καθόλου ολίσθηση. Δηλαδή:

$$x \leq l_c = \frac{Pb\mu_p}{k_s E} - \lambda, \text{ Σχίσση 2-24.}$$

Εφόσον $P = \frac{W}{bl_c}$, όπου W είναι το κάθετο φορτίο του ελαστικού και l_c το μήκος της επιφάνειας επαφής, η σχέση 2-24 γράφεται:

$$x \leq l_c = \frac{W\mu_p}{l_c k_s E} - \lambda, \text{ Σχίσση 2-25.}$$

Αν $l_c < l_c$, τότε ολόκληρη η επιφάνεια επαφής βρίσκεται στην περιοχή συνοχής. Θέτοντας $x = l_c$ στη σχέση 2-21 η ελκτική δύναμη παίρνει τη μορφή:

$$F_x = k_s \lambda l_c E \left(1 + \frac{l_c}{2\lambda} \right) = K_s E, \text{ Σχίσση 2-26,}$$

όπου $K_s = k_s \lambda l_c \left(1 + \frac{l_c}{2\lambda} \right)$. Εφόσον η διαμήκης ένταση E αποτελεί ένα μέτρο της ολίσθησης παραμόρφωσης του ελαστικού, συμπεραίνουμε ότι αν η επιφάνεια επαφής βρίσκεται ολόκληρη στην περιοχή συνοχής, η σχέση μεταξύ της ελκτικής δύναμης F_x και της ολίσθησης l είναι γραμμική. Αυτό αντιστοιχεί στην περιοχή OA του διαγράμματος της εικόνας 20.

Η ολίσθηση αρχίζει στην πίσω στην πίσω άκρη της επιφάνειας επαφής, όταν $l_c = l_c$. Αυτό σημαίνει ότι όταν η ολίσθηση και η ελκτική δύναμη φτάσουν στις κρίσιμες τιμές l_c και $F_{x,c}$ αντίστοιχα, η ολίσθηση στο πίσω μέρος της επιφάνειας μόλις αρχίζει. Οι κρίσιμες τιμές σύμφωνα με τον Julien είναι οι:

$$l_c = \frac{\mu_p W}{l_c k_s (l_c + \lambda)}, \text{ Σχίσση 2-27 και}$$

$$F_{x,c} = \frac{\mu_p W \left(1 + \frac{l_c}{2\lambda} \right)}{1 + \frac{l_c}{\lambda}}, \text{ Σχίσση 2-28.}$$

Μία περαιτέρω αύξηση της ολίσθησης, ή της ελκτικής δύναμης, πάνω από αυτές τις τιμές καταλήγει σε διάδοση της περιοχής της ολίσθησης από την πίσω προς την εμπρός άκρη της επιφάνειας επαφής. Η ελκτική δύναμη $F_{x,del}$, που αναπτύσσεται στην περιοχή ολίσθησης δίνεται, κατά Julien πάντα, από τη σχέση:

$$F_{x,del} = \mu_p W \left(1 - \frac{l_c}{l_c} \right), \text{ Σχίσση 2-29.}$$

Η ελκτική δύναμη $F_{x,adv}$, που αναπτύσσεται στην περιοχή συνοχής θα δίνεται από τη σχέση:

$$F_{x,adv} = k_s \lambda l_c E \left(1 + \frac{l_c}{2\lambda} \right), \text{ Σχίσση 2-30.}$$

όπου το l_c δίνεται από τη σχέση 2-25. Η σχέση μεταξύ της ολικής ελκτικής δύναμης F_x και της ολίσθησης, όταν ένα μέρος του πέλματος του ελαστικού ολισθαίνει πάνω στο έδαφος δίνεται από τη σχέση

$$F_x = F_{x,act} + F_{x,min} = \mu_p W - \frac{\lambda(\mu_p W - K_1 E)^2}{2l_c K_1 E} = \mu_p W - \frac{\lambda(\mu_p W - K_1 l)^2}{2l_c K_1 l} \quad \text{, Σχίσση 2-31.}$$

όπου $K_1 = k, \lambda l_c$. Η παραπάνω εξίσωση (σχίσση 2-31) δείχνει καθαρά τη μη γραμμική συμπεριφορά της ελκτικής προσπάθειας, ως προς τη διαμήκη ολίσθηση, όταν λαμβάνει χώρα ολίσθηση σε τμήμα της επιφάνειας επαφής. Αυτό αντιστοιχεί στο τμήμα AB της καμπύλης της *εικόνας 20*.

Όταν έχουμε απώλεια πρόσφυσης η ελκτική δύναμη είναι ίση με $F_x = \mu_p W$. Η τιμή της μέγιστης ολίσθησης παραμόρφωσης l_{max} είναι:

$$l_{max} = \frac{\mu_p W}{l_c k, \lambda} \quad \text{, Σχίσση 2-32.}$$

Η τιμή της ολίσθησης αυτής αντιστοιχεί στο σημείο B της καμπύλης της *εικόνας 20* και είναι η τιμή που μας ενδιαφέρει περισσότερο. Μια αύξηση της ολίσθησης πέρα από αυτή την τιμή οδηγεί σε ασταθείς καταστάσεις, με το συντελεστή τριβής ελαστικού-οδοστρώματος να ακολουθεί φθίνουσα πορεία από τη μέγιστη τιμή μ_p (που αντιστοιχεί στο σημείο B), στην τιμή του συντελεστή τριβής ολίσθησης μ_s (στο τέλος του διαγράμματος).

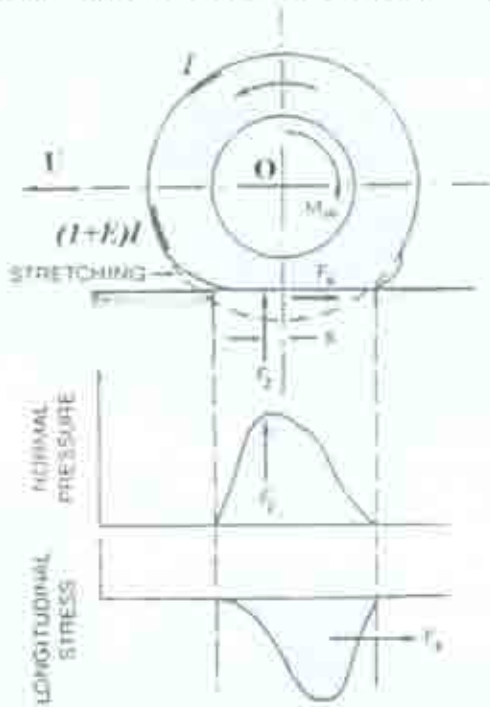
Αυτά όσον αφορά τη θεωρία του Julien, που είναι αρκετά χρήσιμη ως μια καλή προσέγγιση. Στην πραγματικότητα, όμως, η κατανομή της κάθετης πίεσης δεν είναι ομοιόμορφη πάνω στο ίχνος του ελαστικού, αλλά υπάρχει μια σταδιακή πτώση της πίεσης κοντά στις άκρες. Επομένως, μια μικρή περιοχή ολίσθησης θα αναπτυχθεί στο πίσω μέρος της επιφάνειας επαφής, ακόμα και σε πολύ μικρές ελκτικές δυνάμεις.

Παρ' όλη την απόκλισή τους από την πραγματικότητα, θεωρίες σαν αυτή του Julien έχουν μεγάλη χρησιμότητα. Για παράδειγμα, οι τελικές ρυθμίσεις των ηλεκτρονικών συστημάτων ελέγχου της πρόσφυσης ενός μονόθεσιου, θα γίνουν μέσα στην πίστα, μία ώρα πριν από τον αγώνα. Αρχίζοντας, όμως, τις δοκιμές αυτές θα πρέπει οι μηχανικοί να έχουν ένα σημείο αναφοράς, να είναι όσο πιο κοντά στο επιθυμητό αποτέλεσμα γίνεται. Μια σωστή θεωρία βοηθάει πολύ την ομάδα να φτάσει στις βέλτιστες ρυθμίσεις το γρηγορότερο δυνατό. Οι αγώνες, όμως, είναι μόνο η μία πτυχή χρησιμότητας. Έτσι και στο σχεδιασμό των καθημερινών επιβατικών αυτοκινήτων λαμβάνονται πολύ σοβαρά υπ' όψιν ανάλογες θεωρίες, από τους μηχανικούς της εκάστοτε εταιρείας. Και σε αυτή την περίπτωση χρησιμεύουν ως μια πρώτη προσέγγιση, ως ένα αρχικό σημείο. Όσο πιο κοντά στο βέλτιστο είναι οι αρχικές ρυθμίσεις του αυτοκινήτου (με δεδομένα παρμένα από παρόμοιες θεωρίες), τόσο ευκολότερο είναι το έργο των μηχανικών, με ό,τι αυτό συνεπάγεται σε χρόνο και χρήμα!

Ανάλογα με τη διαμήκη ολίσθηση, που λαμβάνει χώρα όταν μια κινητήρια ροπή στρέψης εφαρμοστεί σε ένα τροχό, μπορεί να οριστεί και διαμήκης ολίσθηση πέδησης i_b . Συγκεκριμένα, όταν μια ροπή πέδησης εφαρμόζεται στο ελαστικό, θα λαμβάνει χώρα έκταση των στοιχείων του πέλματος του, πριν την είσοδο στην επιφάνεια επαφής, όπως φαίνεται στην *εικόνα 22*. Έτσι, η απόσταση που θα διανύει το ελαστικό, υπό την επίδραση της ροπής πέδησης, θα είναι μεγαλύτερη από αυτή της ελεύθερης κύλισης. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται διολίσθηση πέδησης. Η ολίσθηση αυτή χαρακτηρίζει τη σοβαρότητα της πέδησης και ορίζεται ως:

$$i_b = \frac{U_a - U_r}{U_a} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{U_r}{U_a}\right) \cdot 100\% \quad \text{, Σχίσση 2-33.}$$

όπου υπενθυμίζεται ότι U_r είναι το μέτρο της γραμμικής ταχύτητας του πέλματος του τροχού



Εικόνα 22

Η συμπεριφορά ενός ελαστικού υπό την επίδραση μιας πέδησης.

ελαστικό, σε φρενάρισμα από αρχική ταχύτητα 32,2 km/h, πάνω σε λεία επιφάνεια πάγου. Βλέπουμε ότι η πρόσφυση είναι μηδενική, ανεξάρτητα από το ποσοστό ολίσθησης, αφού σε κάθε περίπτωση η μέγιστη τιμή του συντελεστή τριβής, κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες του πειράματος, δε ξεπερνά το 0,1! Αυτό εξηγεί και το γιατί η οδήγηση πάνω σε πάγο θεωρείται άκρως επικίνδυνη, αφού η παραμικρή κίνηση μπορεί να αποσταθεροποιήσει το αυτοκίνητο.

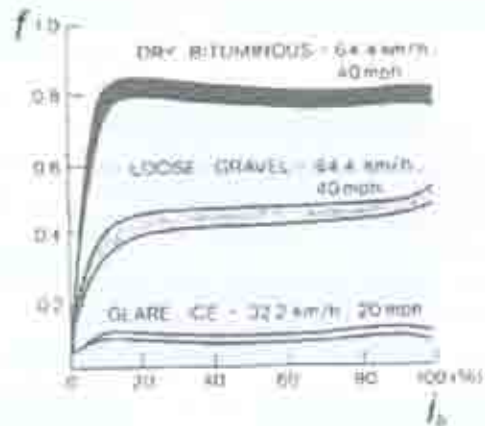
Χαρακτηριστικά, πολύ έμπειροι οδηγοί λένε πως, κάτω από αυτές τις συνθήκες, οι κινήσεις στο τιμόνι πρέπει να είναι απαλές και σίγουρες, ενώ τα πεντάλ πρέπει να χρησιμοποιούνται με τόση ευλάβεια, σα να ήταν τοποθετημένο ένα αυγό ανάμεσα σε αυτά και τη σόλα του παπουτσιού μας!

Στην προσπάθεια να βρεθεί κάποιο ίχνος πρόσφυσης, πολλές φορές τοποθετούνται γύρω από τα ελαστικά ειδικές αλυσίδες, ή τοποθετούνται ειδικά ελαστικά με καρφιά στην περιφέρεια του πέλματός τους. Τόσο οι αλυσίδες, όσο και τα ελαστικά με καρφιά πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο κάτω από ακραίες καταστάσεις (ικανό στρώμα χιονιού ή πάγου, τόσο ώστε να μην τραυματίζεται η ασφάλτος του δρόμου). Σε αντίθετη περίπτωση η χρήση τους

και U_a το μέτρο της γραμμικής ταχύτητας του αυτοκινήτου. Όταν ο τροχός κυλάει ελεύθερα, θα έχουμε $U_a = U_r$ και άρα $i_b = 0$. Όταν ο τροχός έχει μπλοκάρει θα είναι $U_r = 0$, ενώ $U_a \neq 0$. Άρα η ολίσθηση σε αυτή την περίπτωση θα είναι: $i_b = 100\%$.

Και εδώ δεν υπάρχει μια ακριβής γενική θεωρία που να περιγράφει τη σχέση μεταξύ της διαμήκου δύναμης F_s και της ολίσθησης πέδησης i_b . Τα περισσότερα συμπεράσματα βγαίνουν από πειραματικά δεδομένα. Ένα τέτοιο διάγραμμα μεταβολής του συντελεστή τριβής (στο διάγραμμα αναφέρεται σαν f) σε σχέση με το ποσοστό ολίσθησης φαίνεται στην εικόνα 23. Στο διάγραμμα αυτό, βλέπουμε τη συμπεριφορά ενός ελαστικού στο φρενάρισμα, σε διαφορετικά οδοστρώματα. Η ανάλυση του διαγράμματος παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Κάτω-κάτω φαίνεται η συμπεριφορά, του υπό δοκιμή



Εικόνα 23

Η επίδραση της ολίσθησης πέδησης στο συντελεστή τριβής f , σε διάφορα οδοστρώματα.

δίνεται ποινικά, αφού εκτός από τη ζημιά που μπορεί να προκληθεί τόσο στο δρόμο, όσο και στο αυτοκίνητο (ανάρτηση), προσφέρουν ελάχιστη πρόσφυση σε καθαρό δρόμο.

Ας ξαναγυρίσουμε στο διάγραμμα. Ακριβώς από πάνω φαίνεται η συμπεριφορά του ίδιου ελαστικού σε φρενάρισμα, από αρχική ταχύτητα 64,4 km/h, πάνω σε επιφάνεια από μη συνεκτικό χωματόδρομο. Εδώ, ο συντελεστής τριβής παρουσιάζει μια απότομη αύξηση στην περιοχή από 0-20 % της ολίσθησης, διατηρείται σχεδόν σταθερός σ' αυτή την τιμή μέχρι και σε ποσοστό 80 % και κορυφώνεται στο 100 %. Επειδή ο χωματόδρομος είναι μη συνεκτικός, κατά το μπλοκάρισμα έχουμε εισχώρηση του ελαστικού μέσα σε αυτόν, με αποτέλεσμα τη συσσώρευση αρκετής μάζας χώματος στην μπροστινή πλευρά του ελαστικού, που τελικά συνεισφέρει στην ακινητοποίηση του οχήματος, εμποδίζοντας την προς τα εμπρός κίνηση του ελαστικού.

Το φαινόμενο αυτό είναι υπεύθυνο για την πολύ δύσκολη ρύθμιση των συστημάτων ABS (θα αναλυθούν στην § 2.7) των εκτός δρόμου οχημάτων. Σε περίπτωση που το ABS έχει ασφαλίσιμους προσανατολισμούς, το φρενάρισμα σε σαθρά εδάφη θα αποτελεί μια οδυνηρή εμπειρία, για τον οδηγό του οχήματος. Αυτό γιατί το σύστημα θα ενεργοποιείται συνέχεια, μην αφήνοντας το σύστημα πέδησης να λειτουργήσει! Για το λόγο αυτό σήμερα οι περισσότεροι κατασκευαστές τέτοιων οχημάτων είτε έχουν τοποθετήσει διακόπτη απενεργοποίησης του συστήματος, είτε έχουν προγραμματίσει το σύστημα να βγαίνει αυτόματα εκτός λειτουργίας, μόλις επιλεγεί το κοντό διαφορικό.

Πάνω-πάνω στο διάγραμμα φαίνεται η συμπεριφορά, του ίδιου πάντα ελαστικού, σε φρενάρισμα και πάλι από αρχική ταχύτητα 64,4 km/h, πάνω σε επιφάνεια αποτελούμενη από στεγνή άσφαλτο. Εδώ η συμπεριφορά είναι πιο κοντά στα αποτελέσματα που έχουμε συνηθίσει, με τη μέγιστη τιμή του συντελεστή τριβής να εμφανίζεται σε ποσοστό ολίσθησης περίπου 20 %. Πέρα από αυτό το ποσοστό, η τιμή του συντελεστή τριβής (και άρα και η ικανότητα πέδησης του οχήματος) πέφτει σημαντικά. Αυτός είναι και ο λόγος που η μέγιστη επιβραδύνση επιτυγχάνεται χωρίς μπλοκάρισμα των τροχών.

Ένα σωστό σύστημα πέδησης θα πρέπει εκτός από την κατάλληλη ισχύ, να διαθέτει και ανάλογη αίσθηση στον οδηγό του οχήματος, για τα αποθέματα πρόσφυσης των τροχών. Αυτό βοηθά σημαντικά τον οδηγό να "ζυγίζει" τη δύναμη που βάζει με το πόδι του, ώστε να διατηρεί το επιθυμητό ποσοστό ολίσθησης. Φυσικά απαιτείται μεγάλη εμπειρία και ικανότητα από την πλευρά του οδηγού. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες αναγνωρίζοντας τη δυσκολία ελέγχου, κάτω από οριακές καταστάσεις εξέλιξαν το σύστημα ABS, που δεν αφήνει τους τροχούς του οχήματος να μπλοκάρουν. Περισσότερα, όμως, για το σύστημα αυτό θα πούμε στο § 2.7 κεφάλαιο.

► 2.7 Συνδυασμένη φάρτιση.

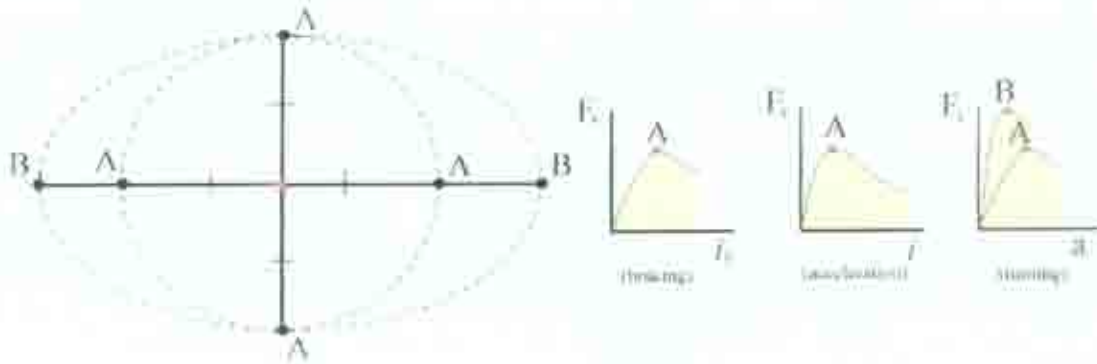
Μετά από τις ξεχωριστές αναφορές σε στροφή και ευθεία πορεία, γεννιέται το εύλογο ερώτημα του τι γίνεται στην πράξη, όταν ένα αυτοκίνητο στρίβει και επιταχύνει, ή επιβραδύνει, συγχρόνως. Πώς συμπεριφέρονται τα ελαστικά του σε αυτή την περίπτωση και σε ποιους νόμους υπακούουν;

Το κάθε ελαστικό συμπεριφέρεται όπως και εμείς, όταν μας ζητηθεί να κάνουμε πολλά πράγματα συγχρόνως. Δυσκοινασχετεί. Γενικά, η ταυτόχρονη επίδραση ελκτικών (ή επιβραδυντικών) δυνάμεων θα μειώσουν την πλευρική δύναμη, που είναι δυνατό να αναπτυχθεί, για μια συγκεκριμένη γωνία ολίσθησης. Η πλευρική δύναμη μειώνεται σταδιακά με την αύξηση της ελκτικής (ή της επιβραδυντικής) προσπάθειας.

Για χαμηλές τιμές της ελκτικής δύναμης, η μείωση στην πλευρική δύναμη οφείλεται, κυρίως, στην πλευρική ακαμψία του ελαστικού. Μια περαιτέρω, όμως, αύξηση της οδηγεί σε δραματική μείωση της πλευρικής δύναμης, με δεδομένη γωνία ολίσθησης. Αυτό συμβαίνει γιατί η κατανάλωση μέρους της διαθέσιμης τοπικής σινάφειας, από την ελκτική προσπάθεια, μειώνει τα πλευρικά αποθέματα πρόσφυσης. Το ελαστικό φτάνει στο σημείο να γλιστράει πάνω στο δρόμο, όταν η συνισταμένη της ελκτικής και της πλευρικής δύναμης φτάσει στη

μέγιστη τιμή της, που καθορίζεται από το συντελεστή τριβής του δρόμου και το κάθετο φορτίο.

Τα παραπάνω φαίνονται πολύ καλά στον κύκλο πρόσφυσης, όπου αποτυπώνει τα

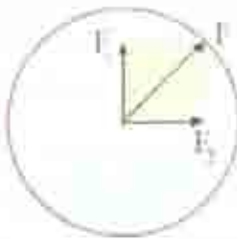


Εικόνα 24.

Τη διεγερόμενη ελαστική, ελκτική και πλευρική δύναμη, με την αίσθηση και η αντίστοιχία τους με τον κύκλο πρόσφυσης.

όρια της επίδοσης ενός ελαστικού. Τι ακριβώς, όμως, είναι αυτός ο κύκλος της πρόσφυσης και ποια η σημασία του; Ας επιστρέψουμε, για λίγο, στα διαγράμματα φόρτισης-ολίσθησης που παριστάνονται στις εικόνες 11, 20 και 23. Η περιφέρεια του κύκλου εκφράζει το ύψος της κορυφής των διαγραμμάτων. Στην περίπτωση που οι μέγιστες τιμές των διαγραμμάτων αυτών είναι ίσες (στην εικόνα 24 η μέγιστη αυτή τιμή είναι Α) προκύπτει ο κύκλος της πρόσφυσης. Σε αντίθετη περίπτωση, προκύπτει έλλειψη (όπως αυτή που αντιστοιχεί σε μέγιστη πλευρική δύναμη Β). Ο κύκλος αυτός είναι ένα βοήθημα, που μας δίνει τη δυνατότητα να αντιληφθούμε ποια είναι τα όρια της πρόσφυσης ενός ελαστικού, όταν αυτό βρίσκεται υπό καθεστώς απλής ή συνδυασμένης φόρτισης.

Ως απλή φόρτιση εννοείται η περίπτωση που ένα ελαστικό δέχεται μόνο επιτάχυνση, επιβράδυνση, ή πλευρική δύναμη. Ως συνδυασμένη φόρτιση εννοείται η περίπτωση εκείνη, όπου το πέλαμα του ελαστικού δέχεται, ταυτόχρονα, δυνάμεις από δύο διευθύνσεις. Με άλλα λόγια, όταν το αυτοκίνητο στριβει και ταυτόχρονα είναι πατημένο το γκαζί, το φρένο, ή το αυτοκίνητο στριβει με το γκαζί "αφημένο", όπου φρενάρει ο κινητήρας.



Εικόνα 25.

Ο κύκλος πρόσφυσης.

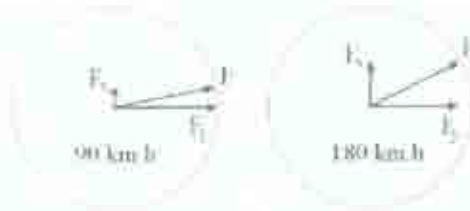
πίστας, αφού έτσι μπορεί να καθορισθεί το σημείο αρχής του φρεναρίσματος.

Ας πάμε τώρα, σε ένα άλλο παράδειγμα. Έστω ότι ένα αυτοκίνητο κινείται σε κυκλική τροχιά, με σταθερή ταχύτητα 90 km/h. Διατηρώντας την ταχύτητα σταθερή, ο οδηγός του, αρχίζει να μειώνει σταδιακά την ακτίνα του κύκλου, μέχρι να φτάσει το αυτοκίνητο στη μέγιστη δυνατή επιτάχυνση. Έστω ότι η μέγιστη αυτή επιτάχυνση είναι 1g.

Πάμε τώρα σε ένα πολύ μεγαλύτερο κύκλο, ίδιου συντελεστή τριβής, και επαναλαμβάνουμε το πείραμα, με σταθερή ταχύτητα 180 km/h. Διαπιστώνουμε ότι η μέγιστη εγκάρσια επιτάχυνση, που μπορεί να επιτευχθεί, είναι αισθητά μικρότερη. Για να

απλουστευθούν τα πράγματα, δεχόμαστε ότι μεταξύ 90 και 180 km/h δεν υπάρχουν μεταβολές στα φορτία των τροχών, που να έχουν αεροδυναμική προέλευση.

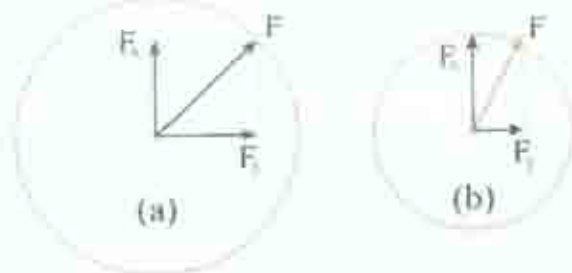
Η εξήγηση θα δοθεί μέσα από του κύκλους πρόσφυσης. Το αυτοκίνητο που κινείται



Εικόνα 26.

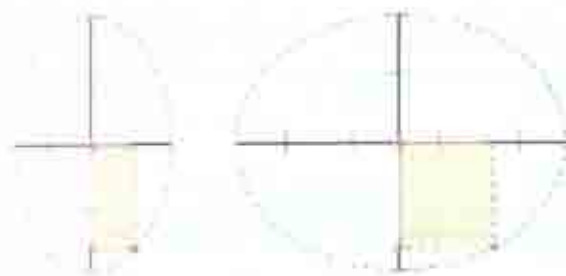
Οι κύκλοι πρόσφυσης για 90 και 180 km/h.

ταχύτερα, πρέπει να υπερνικήσει μεγαλύτερη αντίσταση, αεροδυναμικής και τριβής. Άρα και η δύναμη, που ασκείται από το δρόμο στο ελαστικό, θα είναι μεγαλύτερη. Συνεπώς, η διαθέσιμη δύναμη για την κεντρομόλο είναι μικρότερη, αφού το διανυσματικό τους άθροισμα παραμένει, κατά μέτρο, σταθερό. Στην [εικόνα 27](#), μπορούμε να δούμε τις δύο περιπτώσεις. Ειδικά η δεύτερη περίπτωση, μας δίνει ένα πολύ χρήσιμο συμπέρασμα. Όταν, για οποιοδήποτε λόγο, η διαμήκης δύναμη είναι μεγάλη, έστω και χωρίς επιτάχυνση, τότε τα συνολικά περιθώρια εγκάρσιας πρόσφυσης, στενεύουν επικίνδυνα.



Εικόνα 27.

Ο κύκλος της πρόσφυσης, σε περίπτωση που το οδόστρωμα είναι λείο, μικραίνει υπερεκπαικτικά.



Εικόνα 28.

Τις περισσότερες φορές, ο κύκλος είναι... ΓΛΩΣΣΑ!

Αυτός είναι και ο λόγος που, στις υψηλές ταχύτητες της εθνικής οδού, ο οδηγός που "πέζει" ένα αυτοκίνητο στις στροφές, μπορεί να χάσει τον έλεγχο, χωρίς να υπάρχουν σαφή προειδοποιητικά σημάδια για το τι πρόκειται να συμβεί.

Η απώλεια της πρόσφυσης, ή απλά το ξεπέραςμα της μέγιστης "ανεκτής" γωνίας ολίσθησης των ελαστικών, μπορεί να συμβεί την ώρα που η αίσθηση της φυγόκεντρο που φτάνει στον οδηγό είναι αρκετά μικρότερη από την εμπειρία που αυτός έχει από τις στροφές χαμηλότερης ταχύτητας. Η κατάσταση χειροτερεύει, αν σκεφτούμε ότι, στα κοινά αυτοκίνητα, με την αύξηση της ταχύτητας αυξάνεται η θετική αεροδυναμική άντωση και άρα μειώνεται η πρόσφυση, αντίθετα με ότι συμβαίνει στα αγωνιστικά, τα οποία διαθέτουν τα ανάλογα αεροδυναμικά βοηθήματα.

Ακόμα χειρότερα είναι τα πράγματα σε περίπτωση που υπάρχει υψόβροχο σε λείο οδόστρωμα. Κλασικό παράδειγμα τέτοιου οδοστρώματος αποτελεί η πλειοψηφία του οδικού δικτύου της χώρας μας. Στην περίπτωση αυτή, ο κύκλος πρόσφυσης έχει μικρύνει υπερβολικά και το πέλμα των ελαστικών έχει σχεδόν εξαντλήσει τα όρια της πρόσφυσης ακόμα και στην ευθεία, αν το αυτοκίνητο κινείται με υπερβολική ταχύτητα.

Είδαμε παραπάνω την αρχή με την οποία δημιουργείται ο κύκλος. Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι μάλλον απίθανο να παρουσιάζουν και τα τρία διαγράμματα την ίδια κορυφή και άρα το πιο σωστό θα ήταν να μιλάγαμε για έλλειψη και όχι για κύκλο. Ποιος θα είναι όμως ο μεγάλος άξονας της έλλειψης αυτής; Εξαρτάται από τη χρήση την οποία προορίζονται τα ελαστικά.

Η συμπεριφορά ενός ελαστικού εξαρτάται από το σχήμα που παίρνει το ίχνος του πέλματός του (footprint), όταν βρίσκεται σε επαφή με το οδόστρωμα. Ένα στενό ελαστικό

μεγάλης διαμέτρου, όπως αυτό που χρησιμοποιούμε στα αυτοκίνητά μας, σχηματίζει ένα ίχνος μακρόστενο, το οποίο ειναι ελαφρά τις διαμήκεις φορτίσεις, εις βάρος της εγκάρσιας φόρτισης στις στροφές. Η έλλειψη, που θα δημιουργείται θα είναι παρόμοια με αυτή του αριστερού σχήματος της [εικόνας 28](#). Αντιθέτως, ένα ελαστικό μεγάλου πλάτους, ως προς τη διάμετρό του, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται στη Formula 1, θα διαθέτει ένα φαρδύ ίχνος, το οποίο θα ειναι τις εγκάρσιες φορτίσεις, εις βάρος των διαμηκών. Η “έλλειψη πρόσφυσης” ενός τέτοιου ελαστικού θα μοιάζει με αυτήν του δεξιού σχήματος της [εικόνας 28](#). Γιατί, όμως γίνεται αυτό;

Αν παρακολουθήσετε προσεκτικά έναν αγώνα Formula 1, θα δείτε ότι οι οδηγοί συνεχίζουν το φρενάρισμα, ακόμα και μετά την είσοδο, φτάνοντας σε ορισμένες περιπτώσεις μέχρι και την κορυφή της στροφής, έχοντας τον εμπρός εσωτερικό τροχό μπλοκαρισμένο και να βγάζει καπνούς. Υποτίθεται ότι η κίνηση αυτή αποσταθεροποιεί το αυτοκίνητο. Γιατί



[Εικόνα 29.](#)

Στη Formula 1 καπνός δε σημαίνει απαραίτητα και μπλοκάρισμα...

λοιπόν, κάνουν κάτι τέτοιο οι κορυφαίοι οδηγοί του κόσμου, δεδομένου ότι θεωρητικά θα έπρεπε να ολοκληρώνονταν τα φρένα στην ευθεία, πριν την είσοδο στη στροφή.

Πριν δώσουμε μια απάντηση, καλό είναι να κάνουμε μια διευκρίνιση. Όταν ένας μπροστινός τροχός, ενός μονοθεσίου F1 καπνίζει, δε σημαίνει απαραίτητα ότι έχει μπλοκάρει. Όπως είπαμε και στην προηγούμενη ενότητα, σε αυτή τη μορφή του μηχανοκίνητου αθλητισμού, επιδιώκεται συνεχώς

το όριο της πρόσφυσης, μιας και οι διαφορές έγκεινται σε μόλις λίγα δέκατα του δευτερολέπτου. Ευρισκόμενος, λοιπόν, ο τροχός στο όριο της πρόσφυσης του (λόγω και της στροφής που έχει ήδη αρχίσει ο οδηγός), θα αρχίσει να βγάζει καπνούς πολύ προτού μπλοκάρει, ιδιαίτερα αν λάβουμε υπ’ όψιν μας και τα τεράστια ποσά ενέργειας που έχει διαχειριστεί, επιβραδύνοντας το αυτοκίνητο από τα 300 km/h στα 100 km/h, μέσα σε ελάχιστο χρονικό διάστημα.

Πάμε, τώρα και πάλι στην [εικόνα 28](#), όπου βλέπουμε δύο ακραίες μορφές “κύκλων πρόσφυσης”, ελλειπτικού σχήματος. Όπως



[Εικόνα 30.](#)

...ενώ το αριστερό σχήμα συνεχίζεται μέχρι και την κορυφή της στροφής!

Όπως είπαμε, αριστερά έχουμε ένα ελαστικό επιβατικού αυτοκινήτου και δεξιά αυτό μιας F1. Παρατηρούμε ότι στο πρώτο λάστιχο, ακόμα και η παραμικρή στροφή στη διάρκεια της πέδησης, προκαλεί υπέρβαση του ορίου της πρόσφυσης και αποσταθεροποίηση του αυτοκινήτου. Αντίθετα, στο δεξιό σχήμα, με μια ελάχιστη μείωση της έντασης φρεναρίσματος, παρέχεται η δυνατότητα ανάπτυξης πολύ μεγάλης πλευρικής πρόσφυσης, στην είσοδο της στροφής.

Εκμεταλλούμενοι αυτή την ιδιότητα των ελαστικών τους, οι πιλότοι F1,

κερδίζουν σημαντικό χρόνο, συνδυάζοντας το πέρας του φρεναρίσματος με την ολοκλήρωση της πρώτης φάσης αλλαγής κατεύθυνσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτός ο συνδυασμός των δύο κινήσεων σε μία διευκολύνει σημαντικά τη δεύτερη, με ελάχιστο κόστος εις βάρος της πρώτης. Αυτό, επειδή η αλλαγή κατεύθυνσης, υπό ταυτόχρονο καθεστώς έντονης πέδησης, αυξάνει το “yaw” (την τάση δηλαδή για περιστροφή γύρω από τον κατακόρυφο, κεντροβαρικό άξονα) του αυτοκινήτου, εξ’ αιτίας της έντονης μεταφοράς φορτίου από το

πίσω μέρος στο εμπρός. Φυσικά, παράλληλα αυξάνεται και ο κίνδυνος να αρχίσει το αυτοκίνητο να κάνει σβούρες, από την ευθεία. Έτσι, για να γίνει κάτι τέτοιο σωστά, ο οδηγός πρέπει να διαθέτει τις ικανότητες του Μοντογιά και το μονοθέσιο να είναι εξοπλισμένο με τα τελειότερα συστήματα συνεχώς ρυθμιζόμενης κατανομής της πέδησης, μεταξύ του εμπρός και του πίσω μέρους.

► 2.8 Η θεωρία του Dugoff.

Βασίζόμενοι πάντα σε πειραματικά δεδομένα, πολλοί ερευνητές προσπάθησαν να διατυπώσουν μια αναλυτική έκφραση για τη σχέση μεταξύ της ελκτικής δύναμης F_x , της πλευρικής δύναμης F_y , της διαμήκους ολίσθησης l , και της γωνίας ολίσθησης α . Ο Dugoff πρότεινε τις παρακάτω εκφράσεις:

Για τη διαμήκη δύναμη:

$$F_x = \frac{C_s \cdot l}{1-l} f(s), \quad \text{Σχ/ση 2-34.}$$

Και για την πλευρική δύναμη:

$$F_y = \frac{C_a \cdot \tan(\alpha)}{1-l} f(s), \quad \text{Σχ/ση 2-35.}$$

$$\text{όπου } f(s) = \left\{ \frac{s(2-s)^{s+1}}{1+s} \right\}, \quad \text{Σχ/ση 2-36.}$$

$$\text{με } s = \frac{\mu_s W \left(1 - \varepsilon U \sqrt{l^2 + \tan^2 \alpha} \right) (1-l)}{2 \sqrt{C_s^2 l^2 + C_a^2 \tan^2 \alpha}}, \quad \text{Σχ/ση 2-37.}$$

Η παράμετρος C_s ονομάζεται διαμήκης ακαμψία του ελαστικού και ορίζεται ως:

$$C_s = \left. \frac{\partial F_x}{\partial l} \right|_{l=0}, \quad \text{Σχ/ση 2-38.}$$

Ομοίως η παράμετρος C_a ονομάζεται πλευρική ακαμψία του ελαστικού και ορίζεται ως:

$$C_a = \left. \frac{\partial F_y}{\partial \alpha} \right|_{\alpha=0}, \quad \text{Σχ/ση 2-39.}$$

Με μ_s συμβολίζεται ο ονομαστικός συντελεστής τριβής του δρόμου, που είναι αντίστοιχος αυτού που επιτυγχάνεται σε κίνηση με χαμηλές ταχύτητες, με W συμβολίζεται το κάθετο φορτίο του τροχού και με U η ταχύτητα του οχήματος. Τέλος, το ε είναι ένας συντελεστής που αναφέρεται στη μείωση του συντελεστή τριβής, λόγω της επίδρασης της ταχύτητας.

Οι σχέσεις του Dugoff, αν και εμπειρικές, μπορούν να αποτελέσουν ένα χρήσιμο εργαλείο, για περαιτέρω έρευνα.

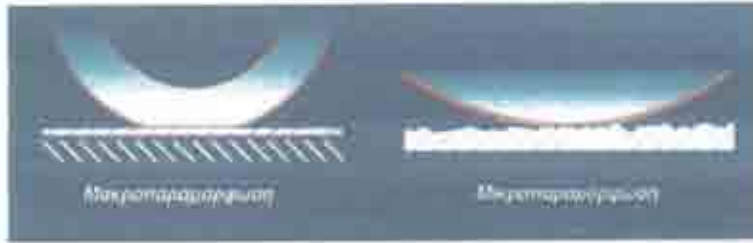
► 2.9 Αντίσταση κύλισης.

Η αντίσταση κύλισης είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη μορφή του πέλματος, τη δομή του ελαστικού, τη σύσταση της γόμας, τις διαστάσεις του, την ταχύτητα και το φορτίο του

αποκινήτου, την αεροδυναμική αντίσταση, την ποιότητα της ασφάλτου και την πίεση του ελαστικού.

Κύρια αιτία της αντίστασης κύλισης είναι η μακροπαραμόρφωση και η μικροπαραμόρφωση του ελαστικού. Πειραματικά αποτελέσματα, σε ένα εύρος 128-152 km/h, έδειξαν μία κατανομή των απωλειών σαν 90-95 % εξ' αιτίας της υστέρησης του υλικού, 2-10 % εξ' αιτίας της τριβής μεταξύ ελαστικού και εδάφους και 1,5-3,5 % εξ' αιτίας της αντίστασης του αέρα, που εμφανίζει η επιφάνεια του ελαστικού.

Μακροπαραμόρφωση είναι η ορατή με το μάτι παραμόρφωση, που κυμαίνεται από 15-20 χιλιοστά και επαναλαμβάνεται με συχνότητα ανάλογη της ταχύτητας του αυτοκινήτου και της διάστασης του τροχού. Για παράδειγμα, αν ένα αυτοκίνητο κινείται με 100 km/h και



Εικόνα 31.

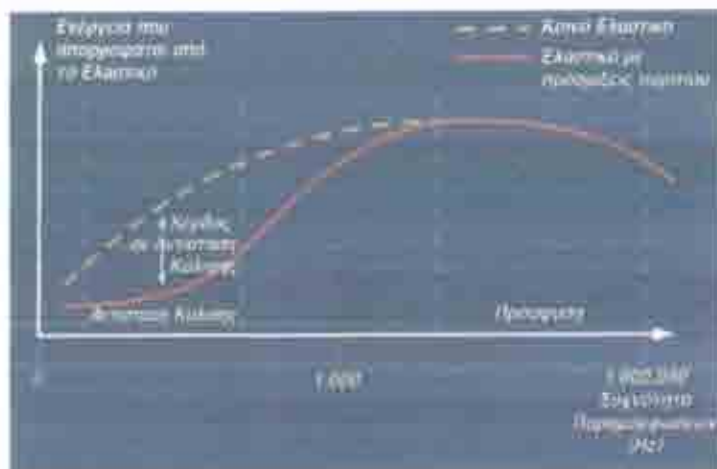
Τα δύο είδη παραμόρφωσης, που ευθύνονται για την αντίσταση κύλισης,

ανωμαλίες και προεξοχές του οδοστρώματος, αφού η επιφάνειά του δεν είναι εντελώς λεία. Το εν λόγω φαινόμενο είναι επιθυμητό, καθώς χάρη σ' αυτό επιτυγχάνεται η πρόσφυση, όταν το λάστιχο "αγκαλιάζει" τις προεξοχές της ασφάλτου. Αντίθετα, η μακροπαραμόρφωση είναι ανεπιθύμητη, γιατί η απορρόφηση ενέργειας, που αυτή συνεπάγεται είναι αρνητική για τις επιδόσεις και την κατανάλωση καυσίμου.

Θα ήταν, λοιπόν, λογικό τα ελαστικά να κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην απορροφούν μεγάλα ποσοστά ενέργειας και να επανέρχονται γρήγορα στην αρχική τους θέση, μετά από κάθε παραμόρφωση, έτσι ώστε να μειώνεται η αντίσταση κύλισης. Με λίγα λόγια, να κατασκευάζονται από υλικά χαμηλής υστέρησης. Κάτι τέτοιο θα σήμαινε, όμως, ταυτόχρονη μείωση της πρόσφυσης, αφού όσο πιο αργά αντιδρά και όσο περισσότερη ενέργεια απορροφά ένα ελαστικό, τόσο καλύτερα μπορεί να "γαντζωθεί" στις μη ορατές προεξοχές και ανωμαλίες του οδοστρώματος.

Αυτό επιτυγχάνουν τα "μαλακά", υψηλής υστέρησης ελαστικά, τα οποία εκτός από το προαναφερθέν μειονέκτημα (της υψηλής αντίστασης κύλισης), παρουσιάζουν και γρήγορη φθορά.

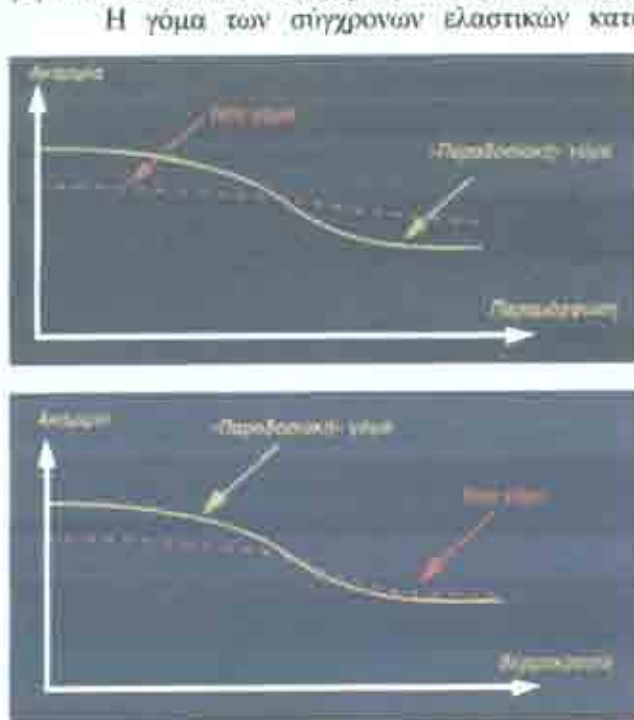
Για τον συμβιβασμό των αντικρουόμενων αυτών απαιτήσεων, οι κατασκευαστές αρχικά χρησιμοποίησαν δύο διαφορετικά στρώματα γόμας στο πέλμα του ελαστικού: Ένα στρώμα υψηλής υστέρησης εξωτερικά, για καλύτερο κράτημα, και ένα στρώμα χαμηλής υστέρησης εσωτερικά, για καλύτερη συμπεριφορά στην αντίσταση κύλισης. Όμως,



Εικόνα 32.

Μία γόμα με πρόσφυξη πατητή συμπεριφέρεται σαν χαμηλής υστέρησης στις μακροπαραμορφώσεις και ως υψηλής υστέρησης στις μικροπαραμορφώσεις.

πριν μερικά χρόνια, όλα άλλαξαν όταν κάποιος κατασκευαστής σκέφτηκε να προσθέσει στην γόμα των ελαστικών ενώσεις πυριτίου (silica compounds).



Εικόνα 33.

Η γόμα με πρόσμιξη πυριτίου αντιδρά καλύτερα στις αλλαγές θερμοκρασίας και παραμορφώσης. Επίσης, φαίνεται η καλύτερη πρόσφυση που προσφέρει η νέα γόμα σε χαμηλές θερμοκρασίες, αφού είναι περισσότερο εύκαμπτη από την παραδοσιακή.

να εγκλωβίζεται στο αμάξωμα ο στατικός ηλεκτρισμός που αναπτύσσεται κατά την κίνηση του αυτοκινήτου, αφού δεν μπορεί να μεταφερθεί στο έδαφος μέσω των ελαστικών. Η μοναδική διόδος είναι οι επιβάτες κατά την αποβίβασή τους! Μια γνωστή λύση γι' αυτό το πρόβλημα είναι η τοποθέτηση μιας στρώσης υλικού με πολύ μεγάλη αγωγιμότητα κάτω από το πέλμα, που σε κάποιο σημείο να φτάνει ως την εξωτερική επιφάνεια. Εκεί σχηματίζεται ένα αγωγίμο δακτυλίδι, πάτους λίγων χιλιοστών, που διατρέχει ολόκληρη την επιφάνεια του ελαστικού. Άλλες λύσεις του προβλήματος δεν είναι γνωστές, καθώς ορισμένες εταιρίες αρνούνται να αποκαλύψουν τα μυστικά τους, ενώ άλλες υποστηρίζουν ότι τα μειονεκτήματα της κακής αγωγιμότητας του πυριτίου δεν είναι σημαντικά, ώστε να εξελίσουν κάποιο ειδικό σύστημα αποβολής του στατικού ηλεκτρισμού.

Εκτός όλων αυτών των προϋποθέσεων, το ελαστικό πρέπει να πληροί και ορισμένες προδιαγραφές όσον αφορά στον θόρυβο κύλισης. Οι τριβές μεταξύ



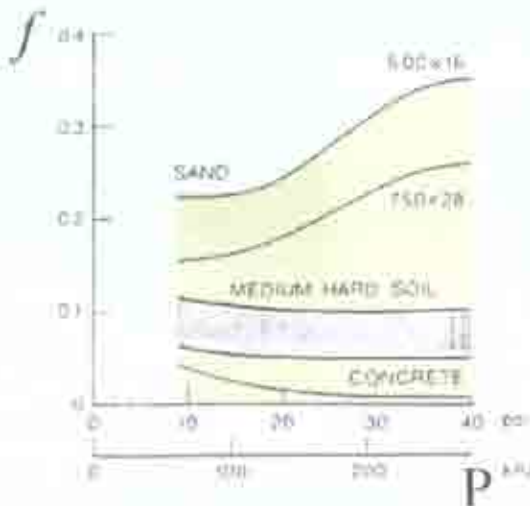
Εικόνα 34.

Η κακή αγωγιμότητα των ελαστικών με πυρίτιο, μπορεί να παρακαμφθεί με την προσθήκη ενός αγωγίμου δακτυλιδιού.

πέλματος και οδοστρώματος, οι ταλαντώσεις των “τακουνιών” και η γεωμετρία του σχεδίου του πέλματος δημιουργούν ανεπιθύμητα ακουστικά κύματα. Με την κατάλληλη σύνθεση της γόμας, αλλά και τη σωστή τοποθέτηση των τακουνιών, υπό σχετικά μεγάλη γωνία, ο θόρυβος μειώνεται στο ελάχιστο.

Τέλος, τα μείγματα σχεδιάζονται έτσι ώστε να προσφέρουν προστασία και από τα στοιχεία που προσβάλλουν τη δομή της γόμας. Τέτοιοι παράγοντες είναι η θερμοκρασία (για παράδειγμα σε πολύ μεγάλες θερμοκρασίες κρυσταλλοποιείται η μοριακή δομή της γόμας και μειώνεται η ελαστικότητά της και κατά συνέπεια η διάρκεια ζωής της), το όζον, το οξυγόνο και η υπεριώδης ακτινοβολία. Τελευταία, έχει εξελιχθεί ένα νέο υλικό (Eckro), το οποίο βρίσκεται στο μείγμα της γόμας των πλευρικών τοιχωμάτων και τα προστατεύει από το ξεθώριασμα του χρώματος που προκαλείται λόγω της έκθεσης στην υπεριώδη ακτινοβολία. Μια άλλη περίπτωση είναι αυτή των ειδικών συνθέσεων των ενώσεων πυριτίου (extended performance compound), που έχουν την ικανότητα να επιβραδύνουν την φυσιολογική σκλήρυνση του πέλματος, που προκαλείται από ένωση των μορίων θείου που περιέχονται στη γόμα του ελαστικού.

Εκτός από τη σύσταση της γόμας, η αντίσταση κύλισης επηρεάζεται από έναν αριθμό άλλων παραγόντων. Η κατασκευή του ελαστικού έχει σημαντική επίδραση, με τα radial ελαστικά να παρουσιάζουν χαμηλότερη αντίσταση κύλισης από τα διαγωνίων λινών. Όσο πιο χοντρά σύρματα έχουν χρησιμοποιηθεί και όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των στρωμάτων στο σώμα του ελαστικού, τόσο μεγαλύτερες απώλειες, λόγω υστέρησης, θα έχουμε.



Εικόνα 35.

Η αντίσταση κύλισης εξαρτάται από την πίεση P και την επιφάνεια κύλισης.

Εκτός, όμως, από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του ελαστικού, σημαντικό ρόλο παίζουν και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνεται η κύλιση του ελαστικού. Έτσι, εξαρτώμενη από την επιφάνεια του εδάφους, η εσωτερική πίεση επηρεάζει την αντίσταση κύλισης με διαφορετικούς τρόπους.

Στην εικόνα 35 βλέπουμε την εξάρτηση του συντελεστή τριβής κύλισης f από την εσωτερική πίεση του ελαστικού P , σε διάφορες επιφάνειες. Σύμφωνα με το διάγραμμα, σε σκληρές επιφάνειες (τσιμέντο μέτρια και σκληρή ασφάλτο), αύξηση της πίεσης οδηγεί σε μικρή μείωση του συντελεστή τριβής ολίσθησης και άρα της αντίστασης κύλισης. Αυτό γίνεται διότι το ελαστικό με την αύξηση της πίεσης, μειώνει την υστέρηση του. Δηλαδή μειώνει την αντίστασή του, αλλά χειροτερεύει την πρόσφυση του.

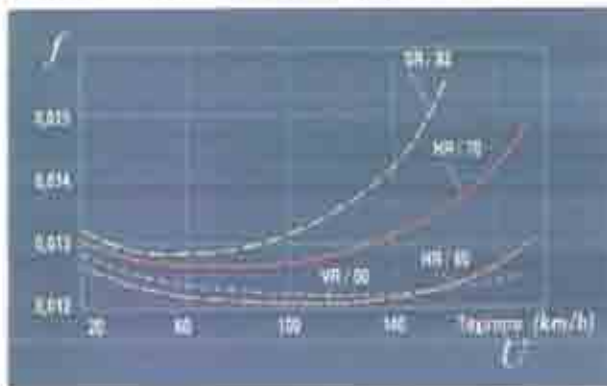
Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μια βέλτιστη πίεση, για ένα συγκεκριμένο συνδυασμό ελαστικού, εδάφους και αυτοκινήτου. Οι κατασκευαστές, με εξαντλητικές δοκιμές, επί παντός είδους εδάφους, έχουν καθορίσει μια τιμή πίεσης για τα ελαστικά των μοντέλων τους, που συνήθως αποτελεί τη χρυσή τιμή άνεσης και οδικής συμπεριφοράς, για τη συγκεκριμένη διάσταση ελαστικών. Επειδή ακριβώς η τιμή αυτή είναι προϊόν εκτεταμένης μελέτης πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπ' όψιν από τους οδηγούς και οι όποιες αποκλίσεις να είναι της τάξεως των 4-5 psi.

Σε πιο μαλακές επιφάνειες, όπως η άμμος, αύξηση της πίεσης οδηγεί σε μεγαλύτερη βύθιση των τροχών και συσσώρευση άμμου στο εμπρός μέρος της επιφάνειάς τους, κάτι που συνεπάγεται αυξημένη αντίσταση κύλισης. Σε τέτοιες οριακές καταστάσεις, καλό είναι να μειώνεται η πίεση των ελαστικών αρκετά, ώστε να περιορίζεται η βύθιση, αλλά όχι σε βαθμό που να μην μπορεί να οδηγηθεί το αυτοκίνητο με ασφάλεια, μετά την είσοδο του οχήματος

σε ασφάλτινα κομμάτια. Με την πρώτη ευκαιρία πρέπει να αποκαθίσταται η πίεση στα φυσιολογικά επίπεδα.

Εκτός από την εσωτερική πίεση, σημαντικό ρόλο φαίνεται να παίζει τόσο η συνολική διάμετρος του τροχού, όσο και το προφίλ του ελαστικού. Στην **εικόνα 36** βλέπουμε ότι μια μεγαλύτερη διάμετρος τροχού προκαλεί μικρότερη αντίσταση, ανεξαρτήτως της επιφάνειας στην οποία κινείται. Ωστόσο, το φαινόμενο αυτό είναι τόσο πιο έντονο, όσο σαθρότερο είναι το έδαφος. Έτσι, στην άμμο υπάρχει δραστική μείωση, στην ασφάλτο σημαντική, ενώ στο τσιμέντο ανεπαίσθητη. Αυτό εξηγεί την επιλογή των κατασκευαστών να τοποθετούν τροχούς μεγάλης διαμέτρου (μεγαλύτερης από ότι στα αντίστοιχης ιπποδύναμης και βάρους επιβατικά), στα οχήματα εκτός δρόμου.

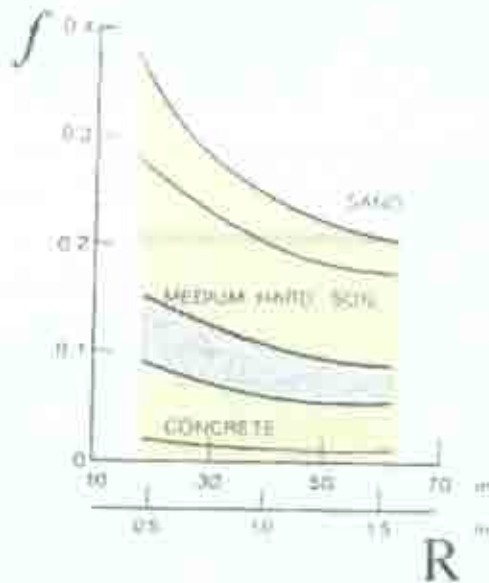
Στην **εικόνα 37** βλέπουμε την εξάρτηση του συντελεστή τριβής κύλισης f από την ταχύτητα κίνησης U , για διαφορετικά προφίλ ελαστικού. Παρατηρούμε ότι, στις μικρές και στις μεγάλες ταχύτητες, όλα τα ελαστικά παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντίσταση κύλισης, από ότι στις μεσαίου μεγέθους. Τα ελαστικά σειράς 82, μετά τα 140 km/h, παρουσιάζουν μια δραματική αύξηση της αντίστασής τους. Σε αυτά της σειράς 70 το φαινόμενο αυτό είναι λιγότερο έντονο, αλλά και πάλι αξιοσημείωτο. Τα σειράς 60 έχουν μια σχεδόν συμμετρική συμπεριφορά, ενώ τα σειράς 50 έχουν μικρότερη αντίσταση κύλισης στις υψηλές από ότι στις χαμηλές ταχύτητες. Έτσι, ενώ στις χαμηλές ταχύτητες κίνησης τα διαφορετικού προφίλ ελαστικά παρουσιάζουν μικρές διαφορές, ως προς την αντίστασή τους, με την άνοδο της ταχύτητας η ψαλίδα μεγαλώνει συνεχώς, με αποτέλεσμα στις υψηλές ταχύτητες να έχουμε μια πολύ σημαντική διαφορά. Αυτός είναι και ο λόγος που τα ελαστικά υψηλού προφίλ χρησιμοποιούνται



Εικόνα 37.

Η εξάρτηση του συντελεστή τριβής κύλισης f από της ταχύτητα κίνησης U , για διαφορετικού προφίλ ελαστικού.

σκληρές επιφάνειες.



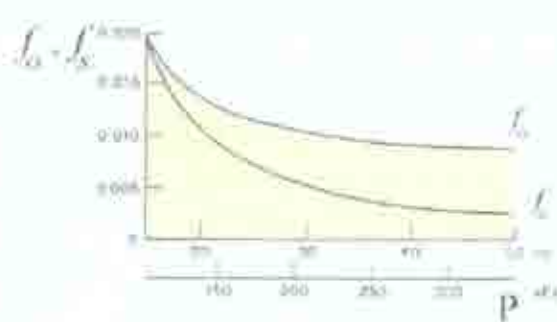
Εικόνα 36.

Η εξάρτηση του συντελεστή τριβής κύλισης f από τη διάμετρο του τροχού R , για διάφορες επιφάνειες.

κατά κόρον από τους κατασκευαστές εκτός δρόμου οχημάτων, ενώ τα χαμηλού προφίλ από τους κατασκευαστές σπορ, υψηλών επιδόσεων αυτοκινήτων.

Οι περίπλοκες σχέσεις ανάμεσα στις σχεδιαστικές και τις λειτουργικές παραμέτρους του ελαστικού και της αντίστασης κύλισης, καθιστούν εξαιρετικά δύσκολη, αν όχι αδύνατη, την επίτευξη μιας αναλυτικής μεθόδου, για την πρόβλεψη της αντίστασης κύλισης των ελαστικών. Η όλη προσπάθεια, λοιπόν, επικεντρώνεται σε ανάπτυξη μεθόδων, βασισμένες σε πειραματικά δεδομένα. Πολλές εμπειρικές φόρμουλες έχουν προταθεί για τον υπολογισμό της αντίστασης κύλισης των ελαστικών, πάνω σε

Μία από αυτές τις φόρμες είναι και η σχέση 2-40, που δίνει το συντελεστή τριβής κύλισης f_c για κίνηση σε σκληρές επιφάνειες, σε συνάρτηση της ταχύτητας κίνησης U .



Εικόνα 38.

Οι συντελεστές f_c και f_s ως συνάρτηση της πίεσης P .

$$f = f_s + f_c \cdot \left(\frac{U}{100} \right)^{2.3}, \text{ Σχίσση 2-40.}$$

Η ταχύτητα U , στον παραπάνω τύπο, είναι εκφρασμένη σε km/h , ενώ οι συντελεστές f_s και f_c δίνονται από το διπλανό διάγραμμα, σε συνάρτηση της εσωτερικής πίεσης του ελαστικού P .

Πολλές φορές είναι δυνατό να ληφθεί ο συντελεστής αντίστασης κύλισης σε γραμμική συνάρτηση της ταχύτητας κίνησης. Για τη συνήθη πίεση των ελαστικών των επιβατικών αυτοκινήτων (γύρω στα 179 kPa, ή 26 psi), πάνω σε σκληρές επιφάνειες, έχουμε:

$$f = 0,01 \cdot \left(1 + \frac{U}{160} \right), \text{ Σχίσση 2-41.}$$

Η σχέση 2-41, δίνει τιμές για το f_c με αποδεκτή ακρίβεια, για ταχύτητες U ως και 128 km/h .

Τύπος ελαστικού	Συντελεστής αντίστασης στην κύλιση f_c
Ελαστικό επιβατικού αυτοκινήτου σε	
Άσφαλτος	0,015
Κόκκοι	0,013
Χάλυ	0,02
Καυσιόξυδα	0,05
Καύσι	0,1 - 0,15
Διατεταγμένα ελαστικά σε οχημάτια	0,006
Τρένα Αεροπλάνου σε αεροδρόμια	0,001 - 0,002

Εικόνα 39.

Οι μέσες τιμές του f_c .

χαμηλότερη αντίσταση παρουσιάζεται στο τρένο! Τα φορτηγά έχουν μικρότερη αντίσταση από τα επιβατικά, στην άσφαλτο, αφ' ενός διότι έχουν πολύ μεγαλύτερους τροχούς και αφ' ετέρου διότι τα ελαστικά τους είναι πολύ ανθεκτικά και σκληρά, με αποτέλεσμα να μην ευνοούν την ανάπτυξη δυνάμεων πρόσφυσης. Εξ' άλλου, στα φορτηγά η πρόσφυση δημιουργείται περισσότερο λόγω του βάρους τους (κάθετο φορτίο) και λιγότερο από την ικανότητα του ελαστικού.

► 2.10 Τελευταίες εξελίξεις

Οι εταιρείες κατασκευής ελαστικών έχουν επενδύσει σημαντικά ποσά σε έρευνα και εξέλιξη τα τελευταία χρόνια, είτε μέσω της εμπλοκής τους σε διάφορες μορφές αγώνων, είτε στα δικά τους ερευνητικά κέντρα. Σε κάθε περίπτωση η τεχνολογία που έχει αποκτηθεί

περνάει σιγά-σιγά στην παραγωγή, με αποτέλεσμα τα ελαστικά των επιβατικών αυτοκινήτων του σήμερα να έχουν πάρα πολύ καλά χαρακτηριστικά.

Η αρχή έγινε πριν από μερικά χρόνια από τη Michelin. Η γαλλική εταιρεία λανσάρισε στην αγορά τα οικολογικά, "πράσινα" ελαστικά της με την επωνυμία Energy. Τα ελαστικά αυτά υπόσχονταν μειωμένη αντίσταση κύλισης και άρα μείωση της κατανάλωσης. Συγκεκριμένα, επισταμένες μελέτες είχαν δείξει ότι τα ελαστικά είναι υπεύθυνα για το 20-25 % της κατανάλωσης σε καύσιμο. Αυτό σημαίνει ότι μια μείωση της αντίστασης, που ασκούν στην κίνηση του αυτοκινήτου, κατά 20 %, δίνει αυτόματα μια μείωση της συνολικής κατανάλωσης κατά 4-5 %, η οποία είναι αρκετά σημαντική. Η όλη προσπάθεια είχε στηριχτεί σε υλικά που παραμορφώνονταν λιγότερο, έχοντας μικρότερη υστέρηση. Τα ελαστικά της σειράς αυτής είχαν πράγματι μικρότερη αντίσταση στην κύλιση, αλλά δεν είχαν και αντίστοιχα καλές επιδόσεις στο κράτημα, κυρίως σε βρεγμένο οδόστρωμα.



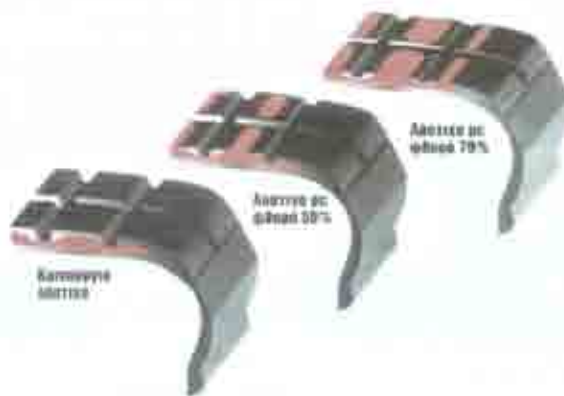
Εικόνα 40.

Το νέο Michelin Energy.

αυτό είναι ότι την τεχνολογία αυτή την ακολουθούν και άλλοι κατασκευαστές, όπως η Goodyear, η Continental και η Pirelli.

Πριν από λίγους μήνες η Michelin παρουσίασε την τελευταία εξέλιξη στα πράσινα ελαστικά της. Πρόκειται για το νέο Michelin Energy, που υπόσχεται βελτίωση των δυναμικών του χαρακτηριστικών. Το νέο ελαστικό φαίνεται ότι εξασφαλίζει καλύτερο κράτημα στις στροφές και μικρότερες αποστάσεις ακινητοποίησης. Παράλληλα παρουσιάζει ακόμα μικρότερη αντίσταση κύλισης και έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Το αν το νέο Energy είναι τόσο καλό, όσο υπόσχεται η Michelin θα το δείξει ο χρόνος. Το μόνο σίγουρο είναι ότι είναι καλύτερο από το προηγούμενο. Σε κάθε περίπτωση αξίζουν συγχαρητήρια στους Γάλλους, που τόλμησαν να βγάλουν στην παραγωγή μια επαναστατική τεχνολογία, με οποιοδήποτε κόστος. Με την εξέλιξη που παρουσιάζουν από γενιά σε γενιά σε λίγα χρόνια θα μπορούμε να απολαμβιάσουμε ελαστικά με κορυφαία δυναμικά χαρακτηριστικά και μικρή αντίσταση κύλισης. Απόδειξη για



Εικόνα 41.

Η τεχνολογία δύο στρώσεων της Bridgestone.

περιέχει ενώσεις πυριτίου σε ποσοστό αντίστοιχο ενός κοινού ελαστικού. Κάτω από αυτήν υπάρχει μια δεύτερη στρώση η οποία εμφανίζεται σταδιακά, όσο φθείρεται το ελαστικό, εξ' αιτίας της κυματοειδούς μορφής της. Η δεύτερη αυτή στρώση είναι μαλακότερη από την εξωτερική και περιέχει μεγαλύτερο ποσοστό πυριτίου. Έτσι, η απόδοση του ελαστικού παραμένει σταθερή, ακόμη και όταν ξεπεράσει

Ο ιαπωνικός κολοσσός της Bridgestone έδωσε περισσότερο βάρος στη βελτίωση του κρατήματος τόσο σε στεγνό, όσο και σε βρεγμένο οδόστρωμα. Παράλληλα, όμως ήθελε να εξασφαλίσει τη διατήρηση αυτών των επιδόσεων, για όλη τη διάρκεια ζωής των ελαστικών.

Όσον αφορά στον τομέα της σύστασης του πέλματος, εκτός βέβαια από τη χρησιμοποίηση νέων υλικών, όπως ενώσεις πυριτίου στο μίγμα και τη χρήση κέβλαρ στο σκελετό, η Bridgestone χρησιμοποίησε μία τεχνολογία δύο στρώσεων.

Η πρώτη στρώση, που έρχεται σε επαφή με το οδόστρωμα όταν το ελαστικό είναι καινούριο,

Εικόνα 42.

Bridgestone
Patent
RF 720.



το 50 % της επιτρεπόμενης φθοράς του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της διάρκειας ζωής του ελαστικού, αφού το πέλμα του δεν ξεραίνεται με την πάροδο του χρόνου.



Εικόνα 43

P Zero Giallo System

Zero Giallo (τα δύο της κορυφαία ελαστικά) διεκδικούν τον τίτλο του καλύτερου ελαστικού του κόσμου. Και οι δύο τύποι προσφέρονται και σαν P Zero System. Το System ξεχωρίζει τα εμπρός από τα πίσω ελαστικά και τα κατανέμει σε δύο κατηγορίες. Τα Direzioneale και τα Asimmetrico.

Το κυρίως ελαστικό είναι το Asimmetrico. Πρόκειται για ένα ελαστικό με ασύμμετρη χάραξη πέλμα, με πολύ καλά δυναμικά χαρακτηριστικά. Το ελαστικό αυτό φαίνεται στο δεξιό μέρος της διπλής φωτογραφίας και μπορεί να τοποθετηθεί τόσο στον μπροστινό, όσο και στον πίσω άξονα αυτοκινήτων υψηλών επιδόσεων.

Ειδικά, όμως, για τα αυτοκίνητα πολύ υψηλών επιδόσεων με την κίνηση στον πίσω άξονα, η Pirelli προτείνει την τοποθέτηση των Direzioneale μπροστά, σε συνδυασμό με τα Asimmetrico πίσω. Τα Direzioneale φαίνονται στο αριστερό μέρος της προηγούμενης φωτογραφίας, μπορούν να τοποθετηθούν μόνο στον μπροστινό άξονα και σκοπό έχουν να απομακρύνουν όσο το δυνατό μεγαλύτερη ποσότητα νερού, ώστε να πατάνε τα πίσω ελαστικά σε στεγνότερο έδαφος. Η εξειδίκευση του ελαστικού, ανάλογα με τη θέση που πρόκειται να τοποθετηθεί, δίνει άριστα αποτελέσματα τόσο σε στεγνό, όσο και σε βρεγμένο οδόστρωμα. Δεν είναι άλλωστε τυχαίο ότι στη Formula1, εδώ και πολλά χρόνια, χρησιμοποιείται αυτή η τακτική.



Εικόνα 45

Το ισογύσιο απόδοσης των P Zero Rosso, Goodyear Eagle F1 και Bridgestone S02.

Με τον τρόπο αυτό αντιμετωπίζεται και η γρήγορη φθορά της εξωτερικής γόμας των ελαστικών υψηλών επιδόσεων, αφού με τον παραδοσιακό τρόπο η γόμα θα έπρεπε να είναι αρκετά μαλακή και άρα ευπαθής. Σε κάθε περίπτωση, πάντως, η εξωτερική στρώση είναι πάντα σαφώς σκληρότερη από την εσωτερική, για να μην επιτρέπεται μεγάλη παραμόρφωση των τακουνιών του πέλματος. Όταν το ελαστικό χάσει το 50 % από το βάθος του πέλματος του, η σταθερότητα της δομής του είναι δεδομένη, ακόμα και με πολύ μαλακότερη σύνθεση γόμας.

Η Pirelli θεωρείται από τους κορυφαίους κατασκευαστές ελαστικών πολύ υψηλών επιδόσεων. Τόσο το P Zero Rosso, όσο και το P



Εικόνα 44

Ο συνδυασμός των Direzioneale και Asimmetrico.

Το System, όμως, δεν είναι η μοναδική καινοτομία των P Zero. Στα μέσα του 2000 η Pirelli παρουσίασε το P Zero Rosso. Πρόκειται ίσως για το πιο ολοκληρωμένο ελαστικό, πολύ

χαμηλές θερμοκρασίες και τη βρεγμένη ασφάλτο, ελαττώνοντας παράλληλα τις τριβές κύλισης στο στεγνό. Στην ευρύτητα του φάσματος της απόδοσης, βέβαια, παίζει βασικό ρόλο και το "Zero concept", δηλαδή η μικτή μορφή του πέλματος που λανσάρισε το P Zero. Η ζώνη "ημι-σλικ", στο κέντρο, εξασφαλίζει κατευθυντικότητα στην επιτάχυνση και το φρενάρισμα. Τα φαρδιά και ισχυρά "τακούνια", στο εξωτερικό μέρος του πέλματος, παρέχουν υψηλή πρόσφυση στις στροφές, ενώ τα φαρδύτερα αιλιάκια στο εσωτερικό μέρος αποχτετεύουν γρήγορα το νερό, ώστε να αποφεύγεται η υδρολίσθηση.

Η Continental εστίασε το ενδιαφέρον της στα ελαστικά της μεσαίας κατηγορίας, που



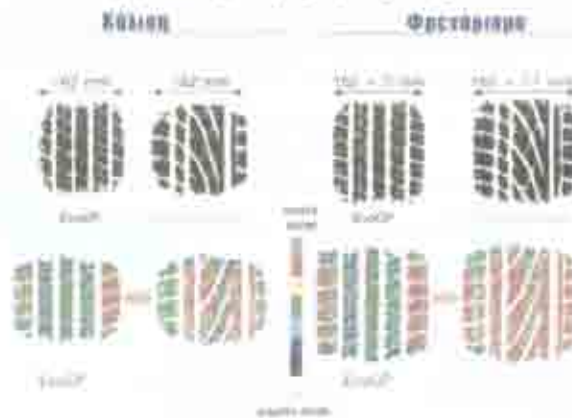
Εικόνα 48.

Οι αγρόμιστές του Premium Contact εμπνεύστηκαν από τις πατούσες των αιλουροειδών.

έχουν τις περισσότερες πωλήσεις και ενδιαφέρουν πολύ περισσότερους οδηγούς. Η βασική ιδέα για τη δημιουργία του νέου Conti-Premium Contact προήλθε από την φύση και πιο συγκεκριμένα από το πάτημα των αιλουροειδών. Οι μηχανικοί της εταιρίας προσπάθησαν να δώσουν στο νέο ελαστικό τους τη συμπεριφορά του "πέλματος της γάτας". Το πέλμα της γάτας έχει την ιδιότητα να αυξομειώνει την επιφάνεια επαφής με το έδαφος ανάλογα με τις συνθήκες. Όταν η γάτα βαδίζει η επιφάνεια παραμένει μικρή, ενώ όταν προσγειώνεται, μετά από άλμα, το πέλμα της φαρδαίνει, επιτρέποντάς της να ελέγχει καλύτερα την κινητική της κατάσταση. Κατά την διάρκεια της επίσημης παρουσίασης του ελαστικού οι άνθρωποι της εταιρίας πραγματοποίησαν μία επίδειξη συγκρίνοντας το Conti-Premium Contact με τον προκάτοχό του, το Eco CP. Αρχικά, τα ελαστικά φορτίστηκαν μέσω μιας υδραυλικής πρέσας με 5.000 Νt, φορτίο που αναλογεί σε συνθήκες οδήγησης με

σταθερή ταχύτητα. Η πρώτη μέτρηση του πλάτους ήταν 162 mm και για τα δύο ελαστικά. Όταν όμως τα ελαστικά φορτίστηκαν με 7.500 Νt προσομοιώνοντας συνθήκες φρεναρίσματος, το μεν Eco CP μετρήθηκε να έχει πλάτος 167 mm, το δε Premium Contact 174 mm. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι τα δύο ελαστικά έχουν την ίδια αντίσταση στην υδρολίσθηση, αλλά το καινούριο αυξάνει την επιφάνεια επαφής του με το οδόστρωμα στο φρενάρισμα, με όλα τα πλεονεκτήματα που αυτό συνεπάγεται.

Σύμφωνα με μετρήσεις της Continental, με ένα μοντέλο της μικρομεσαίας



κατηγορίας το Premium Contact ακινητοποιεί το αυτοκίνητο από τα 100 km/h μέσα σε 36 μέτρα. Το Eco CP, στην ίδια δοκιμασία, πετυχαίνει



Εικόνα 49.

Το αποτέλεσμα του αειρήματος της Continental, στην επίσημη παρουσίαση του Premium Contact και η πειραματική διάταξη, με την οποία έγινε η επίδειξη.

επίδοση 40 μέτρα. Αυτό σημαίνει ότι όταν το μοντέλο με τα Premium Contact έχει ακινητοποιηθεί, το μοντέλο με τα Eco CP εξακολουθεί να κινείται με ταχύτητα 30 km/h.



Εικόνα 50.

Το αποτέλεσμα των μετρήσεων φημιγμίσμματος.

τακούνια. Παράλληλα, έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην υψηλή περιφερειακή ακαμψία του ελαστικού, για να έχει βελτιωμένη απόδοση κατά το φρενάρισμα. Το εξωτερικό μέρος του πέλματος έχει σχεδιαστεί ειδικά για να βρίσκεται όσο το δυνατόν περισσότερη γόμα σε επαφή με τον δρόμο, έτσι ώστε να υπάρχει η απαραίτητη πρόσφυση και η αναγκαία ακρίβεια στις στροφές.

Στη σύνθεση του Premium Contact περιλαμβάνονται πυριτιούχες προσμίξεις, οι οποίες

Οι υπεύθυνοι εξέλιξης της γερμανικής εταιρείας δεν αρκέστηκαν μόνο στο να υιοθετήσουν το πάτημα της γάτας για το νέο τους ελαστικό. Έδωσαν στο πέλμα του ασύμμετρη σχεδίαση, προκειμένου να μεγιστοποιήσουν την απόδοσή του σε ποικιλία συνθηκών. Το εσωτερικό μέρος του πέλματος έχει χάραξη σχεδιασμένη με κύριο στόχο τη μέγιστη δυνατή αποστράγγιση του νερού, όταν ο δρόμος είναι βρεγμένος, έχοντας φαρδιές διαμήκεις αυλακώσεις. Το μεσαίο τμήμα έχει ρομβοειδή

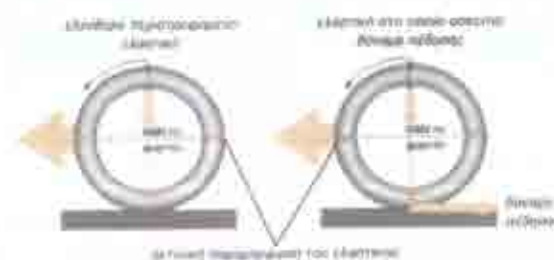


Εικόνα 51.

Οι περιωχές του σχεδίου με τρίτανο χρομή δείχνει τη σημαία του πέλματος που χάνουν την επαφή τους με το οδόστρωμα, κατά το φρενάρισμα.



SWT: βασική αρχή



Εικόνα 52.

Τρώπος λειτουργίας και βασική αρχή του SWT.

έχουν την ιδιότητα να δένουν χημικά με τα πολυμερή της φυσικής ελαστικής γόμας.

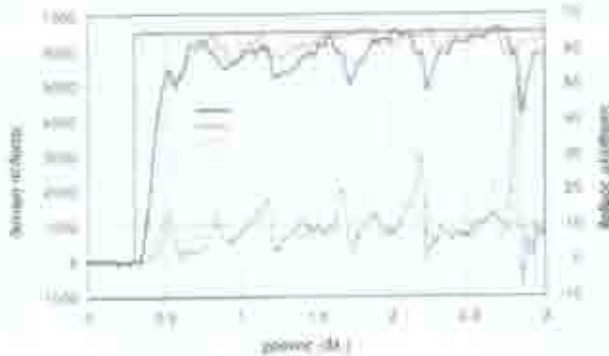
Οι ενώσεις πυριτίου βοηθούν το ελαστικό να έχει μειωμένη αντίσταση κύλισης και καλύτερη πρόσφυση, ειδικά σε βρεγμένο οδόστρωμα. Η Continental ονομάζει το μίγμα αυτό πυριτιούχο μείγμα τρίτης γενιάς, καθώς κατά την διαδικασία πρόσμιξης χρησιμοποιείται μια νέα κατασκευαστική μέθοδος υψηλότερης θερμοκρασίας, η οποία επιτρέπει καλύτερη κατανομή του υλικού μέσα στο μίγμα της γόμας.

Στο πλαίσιο της παρουσίασης του νέου Premium Contact, οι άνθρωποι της Continental μίλησαν και για το σύστημα που εξελίσσουν και το οποίο αναμένεται να μειώσει θεαματικά τις αποστάσεις φρεναρίσματος στα μελλοντικά αυτοκίνητα. Προς το παρόν το ονομάζουν

SWT (Side Wall Torsion Sensor, δηλαδή αισθητήρας ροπής στρέψης των πλαϊνών

τοιχωμάτων του ελαστικού). Το σύστημα αυτό εξελίσσεται από τρεις εταιρίες. Την

Φρενάρισμα με ABS τεχνολογίας SWT



Εικόνα 53.

Οι πρώτες μετρήσεις φρεναρίσματος με SWT.

“διαβάζει” το μπλοκάρισμα των τροχών, θα “διαβάζει” την ακτινική παραμόρφωση του ελαστικού και όταν τα δεδομένα που λαμβάνει θα δείχνουν ότι επικείται μπλοκάρισμα του τροχού, το ABS θα μειώνει την ένταση των φρένων. Η αποτελεσματικότητα του συστήματος φαίνεται σε κάποιες πρώτες μετρήσεις, που πραγματοποιήσαν οι υπεύθυνοι εξέλιξης του συστήματος. Η υπεροχή του συστήματος είναι ξεκάθαρη και οι τρεις εταιρίες που το εξελίσσουν ελπίζουν να μειώσουν την απόσταση ακινητοποίησης από τα 100km/h σε μόλις 30 μέτρα!

Αξίζει να αναφέρουμε ότι ένα παρόμοιο σύστημα εξελίσσει και η Pirelli. Μέχρι στιγμής, όμως δεν έχει διαρρεύσει καμία πληροφορία για τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος. Η βασική αρχή πάντως πρέπει να είναι η ίδια. Φαίνεται ότι η ιταλική εταιρεία έχει πάρει πολύ σοβαρά το εν λόγω “project”. Σύμφωνα με δηλώσεις των αρχιμηχανικών της, η μη είσοδος της Pirelli στη Formula 1 οφείλεται στην επικέντρωσή της στην εξέλιξη αυτού του συστήματος, αφού τέτοιου είδους ηλεκτρονικά βοηθήματα απαγορεύονται από τους κανονισμούς.



Εικόνα 54.

Michelin Pilot Sport.

Η τελευταία καινοτομία, που παρουσιάστηκε στο χώρο των ελαστικών, είναι η τεχνολογία μεταβλητού ίχνους επαφής, το Variable Contact Patch System (VCP), που εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στο καινούριο Michelin Pilot Sport. Πρόκειται για μία τεχνολογία που αρχικά προοριζόταν για χρήση στη Formula 1.

Πέρυσι η Michelin ήταν έτοιμη να λανσάρει ελαστικά, για το στεγνό, με νέο είδος χάραξης, όπου τα τέσσερα αυλάκια που επιβάλουν οι κανονισμοί, ήταν μετατοπισμένα προς το κέντρο του πέλματος. Η Bridgestone, όμως, αντέδρασε και τελικά η FIA αποφάνθηκε ότι αυτού του είδους η χάραξη ήταν εκτός κανονισμών. Για να μην πάει στράφι όλη αυτή η έρευνα, έπρεπε να περάσει στην παραγωγή. Έτσι, η φιλοσοφία σχεδιασμού του νέου Pilot Sport διαποτίστηκε από όλη αυτή τη μελέτη. Η παρουσίαση αυτού του πρωτοποριακού ελαστικού έγινε στην ιταλική πίστα του Βαράνο, όπου εδρεύει η ιδιόκτητη σχολή σπορ οδήγησης του πρώην πιλότου της Formula 1, Αντρέα Ντε Ανταμίτς.

Σκοπός της Michelin ήταν να αυξήσει την επιφάνεια επαφής του εξωτερικού μέρους του πέλματος με την ασφάλτο, αυτού δηλαδή που φορτίζεται περισσότερο στις στροφές. Για το σκοπό αυτό οι ραβδώσεις είχαν μετατοπιστεί προς το εσωτερικό στα πειραματικά ελαστικά της Formula 1 που δοκίμασε. Στο Pilot Sport αυτό πετυχαίνεται με τη σχεδίαση ενός ασύμμετρου πέλματος, με λιγότερες αυλακώσεις στην εξωτερική πλευρά (30 % της επιφάνειας), καθώς και με τη χρήση μιας πιο σκληρής γόμας. Έτσι, το φορτίο μεταφέρεται

Continental Tyres, την Continental Teves και την ContiTech. Πρόκειται για ένα συνδυασμό “ηλεκτρονικού ελαστικού” και εξελιγμένου ABS. Το ελαστικό θα φέρει περιφερειακά, στα πλάινά του, ακτινικούς ηλεκτρομαγνητικούς αισθητήρες, οι οποίοι θα τροφοδοτούν το ABS με δεδομένα. Έτσι το ABS θα μπορεί να διαβάζει τις τάσεις του ελαστικού πολύ πιο έγκαιρα, ώστε να μπορεί να προσαρμόζει κατάλληλα τη λειτουργία του συστήματος πέδησης για να επιτυγχάνει τη μικρότερη δυνατή απόσταση ακινητοποίησης. Ουσιαστικά το σύστημα αντί να

πιο ομοιόμορφα στην άσφαλτο, ενώ ταυτόχρονα φθείρεται λιγότερο το ελαστικό. Στο εσωτερικό μέρος, αντίθετα, οι ραβδώσεις είναι πιο έντονες (40 % της επιφάνειας), για την αποτελεσματική αποβολή του νερού. Έτσι λόγω της νέας σχεδίασης του σκελετού, η επιφάνεια επαφής είναι μεταβλητής γεωμετρίας, ώστε στις στροφές να φορτίζεται περισσότερο η εξωτερική, ενισχυμένη πλευρά του ελαστικού.



Εικόνα 55.

Ο τρόπος φόρτισης του πέλματος, για διαφορετικές πλευρικές επιταχύνσεις.

Η Michelin, δηλαδή, ακολούθησε εντελώς διαφορετικό δρόμο από όλους τους άλλους κατασκευαστές που προσπαθούν να φορτίσουν το πέλμα του ελαστικού, όσο πιο ομοιόμορφα γίνεται (για παράδειγμα δείτε την [εικόνα 4](#) στη σελίδα 41, όπου δείχνει ότι η Υπιογαί κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση). Οι γάλλοι μηχανικοί θέλησαν να σχεδιάσουν τα ελαστικά τους κατ' αυτόν τον τρόπο, ώστε να είναι εντελώς κάθετα στο δρόμο στην ευθεία προσφέροντας μεγάλα περιθώρια διαμήκους πρόσφυσης και μικρότερη φθορά. Παράλληλα, όμως, ήθελαν στις στροφές τα ελαστικά να συμπεριφέρονται σαν να είχαν μια γωνία κάμπερ, χωρίς αυτό να συμβαίνει λόγω της γεωμετρίας της ανάρτησης! Πραγματικά η γωνία κάμπερ (για την οποία θα μιλήσουμε εκτενέστερα σε άλλο κεφάλαιο) δίνει στο ελαστικό μια κωνικότητα, το κάνει να κυλάει σαν κώνος και όχι σαν κύλινδρος. Αυτό ακριβώς επιτυγχάνεται με το σχεδιασμό του σκελετού του Pilot Sport, χωρίς τη συμβολή της ανάρτησης!

Στην πίστα, το νέο ελαστικό δοκιμάστηκε σε Alfa Romeo 156 GTA, των 250 hp. Το κράτημα, σε βρεγμένο οδόστρωμα, ήταν σαφώς καλύτερο από το Pilot Sport της προηγούμενης γενιάς. Σε στεγνό υπήρχε μεγάλη διαφορά στην ελιβράδωση και στη δοκιμασία του σλάλομ. Το προηγούμενο Pilot ήταν πιο προοδευτικό και φιλικό στο όριο, στις στροφές, αλλά αυτό είναι ίσως αναμενόμενο από τη στιγμή που η πλευρική επιτάχυνσή του ήταν χαμηλότερη. Ίσως, πάλι, να ευθύνεται για αυτή τη διαφορά και το VCP System του νέου Pilot, το οποίο δείχνει να δουλεύει ιδανικά μέχρι τα 0,8 g, αλλά στη συνέχεια το φράγμα της πρόσφυσης "σπάει" απότομα.

Μέχρι στιγμής δεν έχει δημοσιευτεί δοκιμή του νέου Pilot Sport σε πολύ δυνατό πιωκίνητο, εκεί δηλαδή όπου κυρίως απευθύνεται. Αυτό ίσως να δείχνει ένα διαταγμό της εταιρείας για το κατά πόσον ανταποκρίνεται το συγκεκριμένο ελαστικό σε τέτοιες απαιτήσεις. Από την άλλη όμως, η τεχνολογία VCP βρίσκεται σε νηπιακό στάδιο και αξίζουν πολλά συγχαρητήρια στη Michelin, που δε διστάζει να βγάζει στην παραγωγή ό,τι πιο σύγχρονο έχουν να επιδείξουν τα ερευνητικά της κέντρα. Είναι σίγουρο πως αν η τεχνολογία αυτή εξελιχτεί ακόμα περισσότερο, θα δώσει εντυπωσιακά αποτελέσματα.

► 2.11 Πίεση και θερμοκρασία

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν τη συμπεριφορά ενός ελαστικού είναι η πίεση στην οποία αυτό βρίσκεται. Σε κάθε αυτοκίνητο υπάρχει μια ετικετα στο κατώφλι της πόρτας του οδηγού, στο ντουλαπάκι, ή στο βιβλίο οδηγιών που δείχνει την κατάλληλη πίεση για τον εμπρός και τον πίσω άξονα. Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχουν και εναλλακτικές προτάσεις, ανάλογα με το αν το αυτοκίνητο είναι φορτωμένο, αν ρυμουλκεί τρέιλερ, ή αν πρόκειται να οδηγηθεί σε υψηλές ταχύτητες. Η πίεση καθορίζει το ίχνος

επαφής του ελαστικού με το δρόμο, αλλά και την μακροπαραμόρφωση. Συγκεκριμένα, όσο μικρότερη είναι η πίεση, τόσο μεγαλύτερα είναι τα άλλα δύο μεγέθη.

Το μέγεθος και το σχήμα του ίχνους είναι ζωτικής σημασίας για την απόδοση του ελαστικού, αφού από αυτά εξαρτάται η πρόσφυση, όπως είπαμε και παραπάνω. Ο αέρας στο εσωτερικό του ελαστικού τεντώνει το σώμα του, για να μπορεί το πέλμα του να μεταφέρει τις δυνάμεις στο δρόμο. Ισχύει:



$$P = \frac{F}{A}, \text{ Σχίστη 2-42,}$$

όπου P είναι η πίεση, F είναι το κάθετο φορτίο και A είναι το εμβαδόν της επιφάνειας επαφής. Εφ' όσον το κάθετο φορτίο μένει αμετάβλητο (αφού εξαρτάται από το βάρος του οχήματος), με τη μείωση της πίεσης P θα έχουμε αύξηση της επιφάνειας επαφής A , ώστε να ικανοποιείται η σχίστη 2-42.

Αυτό σημαίνει ότι μείωση της πίεσης οδηγεί σε αύξηση του ίχνους. Η αύξηση, όμως, δεν είναι ομοιόμορφη σε όλη την επιφάνεια. Συγκεκριμένα, το πλάτος της επιφάνειας επαφής αυξάνεται ανεπαίσθητα σε σχέση με το μήκος που μεταβάλλεται σαφώς

Εικόνα 56.

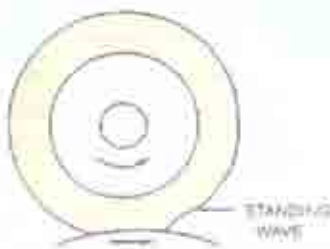
Η μείωση της πίεσης επηρεάζει το ίχνος του ελαστικού.

περισσότερο. Επομένως, το συνολικό σχήμα της επιφάνειας επαφής αλλάζει, με το λόγο του μήκους προς το πλάτος να αυξάνεται.

Η μακροπαραμόρφωση, με τη σειρά της, εκτός από την αντίσταση κύλισης, επηρεάζει και έναν άλλο πολύ σημαντικό παράγοντα. Τη θερμοκρασία. Όσο μεγαλύτερη είναι η μακροπαραμόρφωση, τόσο περισσότερο κάμπτονται τα πλαϊνά του ελαστικού, με αποτέλεσμα η εσωτερική τριβή να οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας. Η υπερθέρμανση είναι από τους χειρότερους εχθρούς της ελαστικής γόμας, αφού την "καίει", καταστρέφοντάς την.

Η πίεση μετράται πάντα με κρύα ελαστικά, όταν το αυτοκίνητο βρίσκεται άδειο σε ευθύ δρόμο. Αφού το αυτοκίνητο διανύσει μερικά χιλιόμετρα, τα λάστιχα έχουν ζεσταθεί αρκετά, ώστε η θερμότητα να μεταδοθεί στον αέρα που βρίσκεται στο εσωτερικό τους, με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης.

Τα παραπάνω σημαίνουν ότι όσο μικρότερη είναι η πίεση, τόσο μεγαλύτερο είναι το ίχνος (και άρα ευνοείται η πρόσφυση), αλλά τόσο μεγαλύτερη είναι και η αντίσταση κύλισης και ελλοχεύει ο κίνδυνος υπερθέρμανσης. Υπάρχει δηλαδή μια βέλτιστη πίεση για κάθε τύπο ελαστικού, σε κάθε αυτοκίνητο, ανάλογα με τον άξονα τοποθέτησης, αλλά και τις συνθήκες (εξωτερική θερμοκρασία, φορτίο, ταχύτητα κίνησης, κατάσταση οδοστρώματος). Οι κατασκευαστές έχουν σπαταλήσει πολλές ώρες σε πειράματα προκειμένου να βρουν έναν ιδανικό συμβιβασμό. Η τιμή αυτή θα πρέπει να λαμβάνεται πολύ σοβαρά υπ' όψιν και σε καμία περίπτωση να μην μεταβάλλεται παραπάνω από ± 4 psi.



Γενικά, μείωση της πίεσης προσφέρει βελτίωση της άνεσης και προοδευτικότερες αντιδράσεις στο όριο, ενώ αύξηση προσφέρει αμεσότερες αντιδράσεις λιγότερες αντιστάσεις (άρα και καλύτερη κατανάλωση), αλλά και πιο απότομες αντιδράσεις, κοντά στα όρια της πρόσφυσης.

Εικόνα 57.

Ο σπληνισμός του στάσιμου κύματος.

Η σωστή πίεση είναι πρωταρχικής σημασίας για την ασφάλεια των επιβατών. Συγκεκριμένα, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας, υπάρχει ένα κατώφλι ταχύτητας, πάνω από το οποίο, ένα φαινόμενο

γνωστό σαν στάσιμο κύμα, θα παρατηρηθεί όπως φαίνεται στην [εικόνα 57](#). Η ενδεικτική τιμή αυτής της περιοχής ταχυτήτων U_{st} δίνεται από την σχέση:

$$U_{st} = \sqrt{\frac{F_t}{\rho}} \quad \text{Σχ/ση 2-43,}$$

όπου F_t είναι η περιφερειακή τάση στο ελαστικό και ρ είναι η πυκνότητα του υλικού του πέλματος, ανά μονάδα επιφάνειας. Τα στάσιμα κύματα σχηματίζονται από την παραμένουσα παραμόρφωση του ελαστικού (από την επαφή του με το έδαφος), εξ' αιτίας της υψηλής ταχύτητας. Το πλάτος του κύματος είναι μέγιστο αμέσως μετά την επαφή με το έδαφος και αποσβένεται με εκθετικό τρόπο στην περιφέρεια του ελαστικού. Η μόρφωση στάσιμου κύματος αυξάνει δραματικά τις απώλειες ενέργειας, οι οποίες με την σειρά τους προκαλούν αυξημένη παραγωγή θερμότητας, η οποία τελικά μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία του ελαστικού. Τα παραπάνω θέτουν ένα άνω όριο ταχυτήτων ασφαλιούς λειτουργίας, αλλά και ένα κατώτατο όριο πίεσης στα ελαστικά.

► 2.12 Κατηγορίες ζαντών.

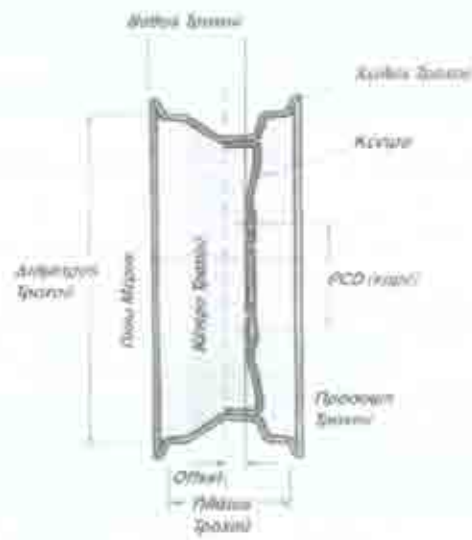
Οι ζάντες κατασκευάζονται από κράματα μετάλλων. Σκοπός τους είναι να μεταφέρουν τα φορτία και τις ροπές από τους άξονες στα ελαστικά και αντίστροφα. Τα μέρη

Ζάντο-ελαστικό

1. Ξυλόξυ Ζάντας
2. Στεφανία ελαστικού
3. Αιχμές στήριξης



Ορολογία Τροχού



της ζάντας φαίνονται στην [εικόνα 58](#).

Αρχίζοντας από το μπροστινό μέρος διακρίνουμε το καρέ. Βρίσκεται στην πλήμη του τροχού. Πρόκειται για τη διάμετρο του κύκλου, που σχηματίζουν τα μπουλόνια στήριξης του τροχού, στο αυτοκίνητο. Η κάθε εταιρεία χρησιμοποιεί ένα δικό της σύστημα τυποποίησης. Έτσι, όλες οι ζάντες με τον ίδιο αριθμό μπουλονιών (π.χ. 4 μπουλόνια) δεν έχουν το ίδιο καρέ.

Στο εμπρός και το πίσω μέρος του τροχού σχηματίζονται δύο στεφάνια.

Εικόνα 58.

Τα μέρη της ζάντας και η τριπλή "αγκύστρωση," του ελαστικού πη αυτήν.

Πρόκειται για τα χείλη της ζάντας. Αυτά σκοπό έχουν να συγκρατούν τα χείλη του ελαστικού μέσα στη ζάντα. Η διάμετρος της ζάντας δεν μετριέται στα χείλη της, αλλά στο σημείο εφαρμογής του ελαστικού με αυτή, που, όπως φαίνεται και στο σχήμα, είναι λίγο μικρότερη.

Το μέσο της απόστασης, ανάμεσα στα δύο χείλη, ορίζει το κέντρο της ζάντας. Η απόσταση ανάμεσα σε αυτό και την πλήμη ονομάζεται *offset* και έχει τεράστια σημασία, αφού από αυτήν εξαρτώνται, σε μεγάλο βαθμό, το "βάρος" που θα έχει το τιμόνι, αλλά και ο

βαθμός των πληροφοριών, που θα φτάνουν στον οδηγό, από το σύστημα διεύθυνσης. Εξ

Κέντρο Ζάντας Κέντρο Ζάντας Κέντρο Ζάντας



Θετικό offset Μηδενικό offset Αρνητικό offset

Εικόνα 59

Ο ορισμός του offset.

Σε περίπτωση αλλαγής ζαντών, θα πρέπει απαραίτητα να προσεχτεί ώστε οι καινούριες να έχουν το ίδιο offset. Σε αντίθετη περίπτωση, μπορεί το αυτοκίνητο να χάσει εντελώς το στήσιμό του με όποια δυσάρεστη συνέπεια αυτό συνεπάγεται. Θα πρέπει, επίσης, οι καινούριες ζάντες να έχουν το ίδιο καρέ, αφού σε αντίθετη περίπτωση δε θα μπορούν να βιδώσουν επάνω στην πλήμη του άξονα.

Υπάρχει διάχυτη η αντίληψη ότι οι ζάντες αλουμινίου είναι ελαφρύτερες από τις σιδερένιες. Η αλήθεια είναι διαφορετική. Το αλουμίνιο, μπορεί να είναι ελαφρύτερο από το χάλυβα, αλλά έχει και μικρότερη αντοχή. Αυτό καθιστά επιτακτική την ανάγκη χρησιμοποίησης κραμάτων αλουμινίου, που συχνά ανεβάζουν το ειδικό του βάρος. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τη μικρότερη αντοχή αυτών των κραμάτων, σε σχέση με το χάλυβα, έχει ως αποτέλεσμα το βάρος των ζαντών αλουμινίου να είναι, πολλές φορές, μεγαλύτερο από αυτό των αντίστοιχων σιδερένιων!

Φυσικά, υπάρχει και η επιλογή ζαντών κατασκευασμένων από κράματα μαγνησίου και τιτανίου. Σε αυτή την περίπτωση, υπάρχει πραγματικά μεγάλη μείωση του μη αναρτώμενου βάρους. Ωστόσο, το πολύ αυξημένο κόστος κτήσης τους, τις καθιστά απαγορευτικές, για τη μεγαλύτερη μερίδα του αγοραστικού κοινού.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα, πάντως, που έχουν όλες οι ζάντες ελαφρού κράματος, είναι ότι το υλικό τους είναι πολύ καλύτερος αγωγός της θερμότητας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πολύ γρηγορότερη και αυξημένη



Εικόνα 61

Ζάντες αλουμινίου.

ορισμού έχουμε μηδενικό offset, όταν η κατακόρυφος που περνάει από την πλήμη του τροχού, βρίσκεται στο μέσο της ζάντας. Κοιτώντας μια ζάντα από την εξωτερική της πλευρά, αν το σημείο έδρασης της είναι στο βάθος (προς το εσωτερικό του αυτοκινήτου), τότε το offset είναι αρνητικό. Αν το σημείο έδρασης είναι προς το εξωτερικό μέρος, τότε το offset είναι θετικό. Το offset μετριέται πάντα πάνω στη ζάντα και δε θα πρέπει να συγχέεται με την "ακτίνα τριβής", που μετριέται στο ίχνος του ελαστικού. Αναλυτικότερα για αυτά θα μιλήσουμε στο κεφάλαιο "γεωμετρία αναρτήσεων".

Σε περίπτωση αλλαγής ζαντών, θα



Εικόνα 60

Ζάντα από κράμα τιτανίου.

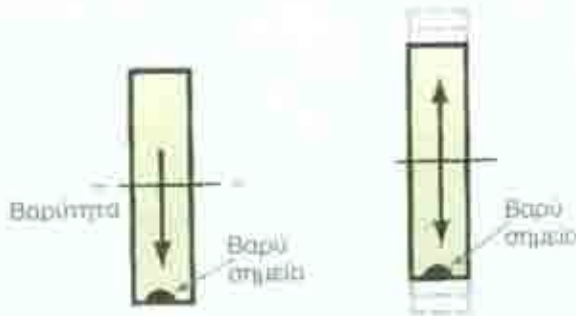
απαγωγή της θερμότητας, που προέρχεται από τα ελαστικά και τα φρένα. Το φαινόμενο αυτό επιτείνεται από το σχεδιασμό των ζαντών αυτών, που συνήθως αφήνουν πολύ περισσότερο χώρο για τον αέρα που κατευθύνεται στο σύστημα πέδησης. Η ιδιότητα αυτή είναι πολύ σημαντική σε συνθήκες αγώνα, όπου η θερμοκρασία ελαστικών και φρενών είναι πρωταρχικής σημασίας. Πολύ σπάνια, όμως, χρησιμοποιείται στα καθημερινά αυτοκίνητα. Εκεί η επιλογή ζάντας ελαφρού κράματος γίνεται συνήθως με αισθητικά

κριτήρια. Εξαιρέση αποτελούν μόνο τα αυτοκίνητα πολύ υψηλών επιδόσεων.

Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι οι ζάντες, εκτός από το να ανεβοκατεβαίνουν, επηρεάζοντας την ανάρτηση, περιστρέφονται και μάλιστα με διαρκώς μεταβαλλόμενο ρυθμό. Αυτό σημαίνει ότι εκτός από τη μάζα, αυτή καθ' αυτή, σπουδαίο ρόλο παίζει η κατανομή της και συγκεκριμένα η ροπή αδράνειας της.

Με δεδομένη τη διάμετρο του τροχού, η επιλογή ζάντας μεγαλύτερης διαμέτρου (με ελαστικό χαμηλότερου προφίλ) θα δώσει μεγαλύτερη αμειότητα στο τιμόνι, καλύτερη πλευρική πρόσφυση και τη δυνατότητα τοποθέτησης μεγαλύτερης διαμέτρου δισκόφρενων, προσφέροντας και περισσότερο χώρο για την ψύξη τους. Ταυτόχρονα όμως θα κάνει το αυτοκίνητο πιο ευάλωτο στο να ακολουθήσει τις διάφορες ανωμαλίες του δρόμου, θα επιφέρει μείωση της άνεσης και θα αυξήσει τη ροπή αδράνειας του τροχού. Επομένως, αν δεν συντρέχει σοβαρός λόγος, δε θα πρέπει να μεγαλώνει η διάμετρος της ζάντας, αφού εκτός των άλλων, οι ζάντες αυτές είναι και σημαντικά ακριβότερες.

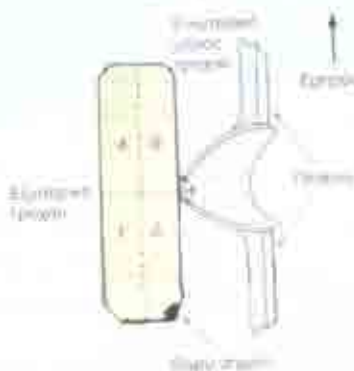
► 2.13 Ζυγοστάθμιση.



Εικόνα 62.

Στατικά μη ζυγοσταθμισμένος τροχός και οι πιεστικές τσιπς.

περιστροφής της. Όταν ο τροχός κινείται υπόκειται σε πολύ ισχυρές επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις. Αν ο τροχός δεν είναι ζυγοσταθμισμένος στατικά, επηρεάζεται από τη φυγόκεντρο, με αποτέλεσμα το σημείο του τροχού, που έχει συγκεντρωμένη περισσότερη μάζα, να τείνει να ανυψωθεί από το οδόστρωμα.



Εικόνα 64.

Δυναμική ζυγοστάθμιση.

Η ζάντα και το ελαστικό μαζί, ως σύνολο, αποτελούν τον τροχό. Ο τροχός θα πρέπει να είναι στατικά και δυναμικά ζυγοσταθμισμένος.

Όταν ο τροχός είναι στατικά ζυγοσταθμισμένος, έχει ομοιόμορφα κατανομημένη τη μάζα του σε όλη την περιφέρειά του και η βαρύτητα δεν μπορεί να τον περιστρέψει από οποιαδήποτε θέση ηρεμίας.

Η φυγόκεντρος, ως γνωστόν, είναι η δύναμη εκείνη που τείνει να απομακρίνει μια περιστρεφόμενη μάζα από τον άξονα.



Εικόνα 63.

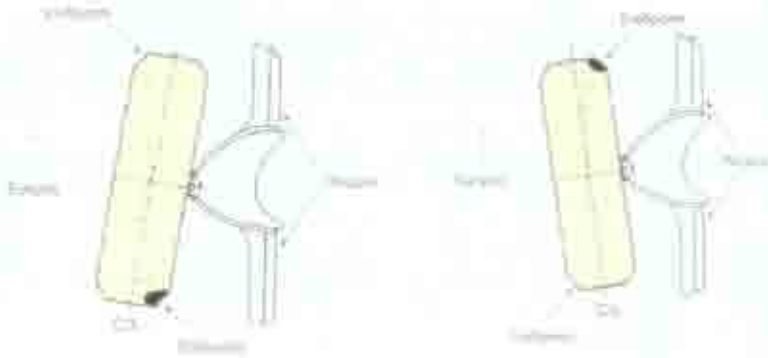
Απομάκρυνση.

Σε περίπτωση σοβαρής αζυγοσταθμίας, είναι δυνατό να έχουμε αναπηδήσεις του τροχού, με αποτέλεσμα την "αποψίλωση" του ελαστικού. Πρόκειται για φθορά του πέλματος, όπου αποκολλούνται κομμάτια από την επιφάνειά του. Φυσικά, εκτός από τα ελαστικά, κάτι τέτοιο καταπονεί ιδιαίτερα όλο το σύστημα μετάδοσης και ανάρτησης (ιδιαίτερα τα σινεμπλόκ), αποτελώντας κίνδυνο, για την ασφάλεια των επιβατών.

Όταν ένας τροχός είναι δυναμικά ζυγοσταθμισμένος, το βάρος του πρέπει να είναι ομοιόμορφα κατανομημένο και στις δύο πλευρές του, σε σχέση με το κέντρο, όπως φαίνεται από πάνω. Η δυναμική ζυγοστάθμιση μπορεί να εξηγηθεί με τη διαίρεση του

ελαστικού σε τέσσερις τομείς. Για να είναι δυναμικά ζυγοσταθμισμένος ο τροχός, πρέπει οι τομείς Α και Γ να έχουν το ίδιο βάρος με τους τομείς Β και Δ.

Αν ένας μη ζυγοσταθμισμένος σωστά τροχός περιστρέφεται, η φυγόκεντρος δύναμη



ωθεί το βαρύ σημείο προς την κεντρική αξονική γραμμή (η κεντρική αξονική γραμμή σχηματίζει γωνία 90° με το ημιαξόνιο). Η ενέργεια αυτή δημιουργεί μία ταλάντωση του τροχού γύρω από την ευθεία. Αυτό έχει ως συνέπεια τη πρόκληση ταλαντώσεων και κραδασμών στο σύστημα διεύθυνσης με αποτέλεσμα την μειωμένη άνεση των επιβατών και την κακή

Εικόνα 65.

Ταλάντωση μη ζυγοσταθμισμένου δυναμικά τροχού.

οδική συμπεριφορά του οχήματος.

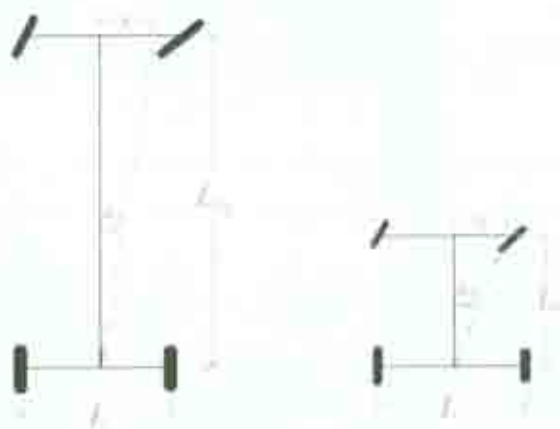
Συμπερασματικά, η σωστή ζυγοστάθμιση διατηρεί σε καλή κατάσταση τα ελαστικά, την οδική συμπεριφορά, την ασφάλεια και την άνεση των επιβατών. Η κακή ζυγοστάθμιση εγκυμονεί κινδύνους τόσο για τα μηχανικά μέρη του οχήματος, όσο και για τους ίδιους τους επιβάτες.



Κεφάλαιο 3: Διαστάσεις και συστήματα διεύθυνσης.

► 3.1 Μεταξόνιο και ευελιξία.

Το μεταξόνιο παίζει σπουδαίο ρόλο, επηρεάζοντας κυρίως την ευελιξία του οχήματος. Τα αυτοκίνητα με μεγάλο μεταξόνιο είναι πολύ σταθερά, όταν κινούνται σε ευθεία, με μεγάλη ταχύτητα. Είναι, όμως, και αρκετά δύσκινητα, σε όρους με αρκετές στροφές. Ας δούμε το γιατί.



Σχήμα 3-1.

οχήματα.

Από τα τρίγωνα που σχηματίζουν η εγκάρσια μετατόπιση x , το μεταξόνιο L , και η τελική διεύθυνση της κίνησης, συμπεραίνουμε ότι η γωνία της τελικής, ως προς την αρχική κατεύθυνση α είναι διαφορετική. Συγκεκριμένα, ισχύει $\alpha_1 > \alpha_2$.

Η απόδειξη είναι απλούστατη. Έχουμε:

$$\tan \alpha_1 = \frac{x}{L_{a_1}}, \text{ Σχίσμα 3-1 και } \tan \alpha_2 = \frac{x}{L_{a_2}}, \text{ Σχίσμα 3-2.}$$

Από τις σχέσεις 3-1 και 3-2 έχουμε ότι:

$$\tan \alpha_1 > \tan \alpha_2, \text{ Σχίσμα 3-3.}$$

Επειδή, όμως, $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$ θα έχουμε ότι και $\alpha_1 > \alpha_2$.



Σχήμα 3-2.

Εστω ότι δύο αυτοκίνητα έχουν το ίδιο μετατρόχιο L , αλλά διαφορετικό μεταξόνιο L_a , όπως φαίνεται στο σχήμα 3-1.

Θεωρούμε ότι τα δύο οχήματα είναι πανομοιότυπα, με μοναδική τους διαφορά το μήκος του μεταξονίου τους. Με το δείκτη 1 συμβολίζουμε το όχημα με το μικρό μεταξόνιο και με το δείκτη 2 αυτό με το μεγαλύτερο.

Εστω ότι και στα δύο οχήματα έχουμε την ίδια γωνία στροφής του τιμονιού, για τον ίδιο χρόνο. Εφ' όσον τα συστήματα διεύθυνσης είναι πανομοιότυπα, θα έχουμε την ίδια εγκάρσια μετατόπιση x και στα δύο

Με παρόμοιο σκεπτικό συμπεραίνουμε ότι για να αποκτήσουν τα δύο αυτά οχήματα την ίδια γωνία α θα πρέπει το όχημα με το μεγαλύτερο μεταξόνιο να διανύσει πολύ μεγαλύτερη εγκάρσια απόσταση x . Αυτό, για να επιτευχθεί στον ίδιο χρόνο, θα πρέπει ο οδηγός του να στρίψει περισσότερο το τιμόνι, με αποτέλεσμα τα ελαστικά του να βρεθούν σε μεγαλύτερη γωνία ολίσθησης και να φτάσουν πιο

γρήγορα στα όρια της πρόσφυσής τους. Η απόδειξη και εδώ είναι απλούστατη.

Στο σχήμα 3-2 βλέπουμε τα δύο όμοια τρίγωνα που δημιουργούνται σε αυτή την περίπτωση. Τα τρίγωνα ορίζονται από την εγκάρσια μετατόπιση x_1 , το μεταζόνιο L_{m1} και την τελική διεύθυνση της κίνησης. Εφ' όσον τα τρίγωνα είναι όμοια, θα ισχύει:

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{L_{m1}}{L_{m2}} \Rightarrow x_2 = \frac{L_{m2}}{L_{m1}} x_1, \text{ Σχ/ση 3-4.}$$

Δηλαδή, η απόσταση x_2 θα είναι τόσες φορές μεγαλύτερη της x_1 , όσος είναι και ο λόγος $\frac{L_{m2}}{L_{m1}}$ των μεταζονίων.

Η γωνία α είπαμε ότι δείχνει το πόσο στρίβει το όχημα, γύρω από τον κατακόρυφο άξονα. Από τα παραπάνω είναι εμφανές το γιατί τα οχήματα με μικρό μεταζόνιο έχουν την τάση να αλλάζουν πολύ εύκολα κατεύθυνση. Αυτό τα κάνει ιδανικά σε δρόμους με συνεχείς στροφές, όπου ελέγχονται εύκολα, ταλαιπωρώντας λιγότερο τα ελαστικά τους. Από την άλλη, βέβαια, στις συνθήκες οδήγησης των μεγάλων αυτοκινητοδρόμων, όπου τα οχήματα κινούνται συνεχώς με μεγάλες ταχύτητες, το μικρό μεταζόνιο προσδίδει μια νευρικότητα στις αντιδράσεις του οχήματος, κουράζοντας τον οδηγό του, που καλείται να βρίσκεται σε διαρκή ετοιμότητα. Εκεί προτιμότερο είναι ένα όχημα με μεγάλο μεταζόνιο, όπου αλλάζει δυσκολότερα κατεύθυνση, με αποτέλεσμα να μένει ανεπηρέαστο από τους πλευρικούς ανέμους, τις μικροδιορθώσεις του οδηγού, αλλά και από τις μικρομετατοπίσεις του μπροστινού μέρους, εξ' αιτίας των ανωμαλιών του εδάφους.

► 3.2 Μετατόχιο.

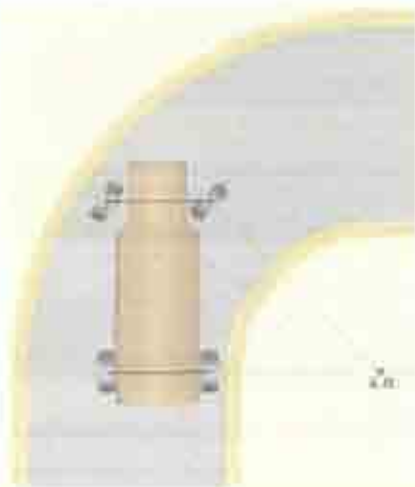
Η συμβολή του μετατόχιου στη μεταφορά βάρους σε μια στροφή είναι σημαντικότερη. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερο είναι το μετατόχιο, τόσο μικρότερη είναι η μεταφορά βάρους κάτι που βοηθάει τα ελαστικά να αποδώσουν το μέγιστο της διαθέσιμης πρόσφυσής τους. Το πως συμβαίνει αυτό έχει δείξει αναλυτικά στην § 1.2.

Αξίζει να τονίσουμε ότι είναι πολύ σημαντικό να βρίσκεται όλο το βάρος του αυτοκινήτου εντός του ορθογωνίου, που ορίζεται από το μεταζόνιο και τα μετατόγια. Σε αντίθετη περίπτωση, οι στοιχειώδεις ροπές, που αναπτύσσονται ως προς τον κατακόρυφο άξονα περιστροφής, έχουν μεγάλο μοχλοβραχίονα και τείνουν να αποσταθεροποιήσουν το όχημα.

► 3.3 Η συνθήκη του Άκερμαν.

Το 1820 τα ιππλάτα "αμαζάκια" είχαν σιδερένιους τροχούς, οι μπροστινοί τροχοί των οποίων εστρίβαν. Στην αρχή οι τροχοί τοποθετούνταν παράλληλα. Εκείνη τη χρονιά, όμως κατοχυρώθηκε από τον Ρούντολφ Άκερμαν μία πατέντα, που άλλαξε αυτή την αντίληψη, για πάντα.

Ο Άκερμαν ήταν ένας Γερμανός, που είχε αποκτήσει φήμη ως καλλιτεχνικός εκδότης, βιβλιοπώλης και ανθρωπιστής. Εκτός αυτών, όμως, ήταν και εραστής της τεχνολογικής προόδου και είχε τη συνήθεια να αγοράζει πατέντες. Έτσι, κατόρθωσε να κάνει γνωστή ως "αρχή του Άκερμαν" τη γεωμετρική έννοια της οποίας η πατρότητα ανήκει σε κάποιον άλλο, επ' ονόματι Λανκενσπέργκερ!



Εικόνα 1.

Η συνθήκη του Άκερμαν.

πρέπει να αποκλίνουν και μάλιστα τόσο περισσότερο, όσο πιο κλειστή είναι η στροφή. Η συνθήκη αυτή, που απεικονίζεται στην εικόνα 1, αποτελεί τη "συνθήκη του Άκερμαν".

Στην εικόνα 2 βλέπουμε το πως μπορεί να επιτευχθεί η γεωμετρία του Άκερμαν.

Το αρθρωτό τετράπλευρο ΑΒΓΔ, το οποίο ορίζεται:
α) από τους δύο βασιλικούς πείρους Α, Β και
β) από τις δύο αρθρωτές συνδέσεις Γ, Δ των ακρόμακρων του συστήματος διεύθυνσης με τους βραχίονες των ακραζονίων,

είναι το περίφημο "τετράπλευρο του Άκερμαν". Ικανή και αναγκαία συνθήκη, ώστε η μεταβαλλόμενη απόκλιση των πρόσθιων τροχών να ακολουθεί την ακτίνα στροφής, ώστε να ικανοποιείται η "συνθήκη του Άκερμαν" είναι: "οι προεκτάσεις των πλευρών ΑΔ και ΒΓ να τέμνονται ακριβώς στο μέσο του του πίσω άξονα ΚΑ".

Στην πράξη, βέβαια, τα πράγματα είναι πιο πολύπλοκα, όμως η συνθήκη του Άκερμαν είναι πάντα η αφετηρία κάθε προσπάθειας στησίματος ενός οποιουδήποτε συστήματος διεύθυνσης.

Η αρχή του Άκερμαν (ή μάλλον του Λανκενσπέργκερ) λέει ότι οι μπροστινοί τροχοί ενός οχήματος πρέπει να είναι παράλληλοι μόνο όταν βρίσκονται σε ευθεία θέση. Στις στροφές, ο εσωτερικός τροχός πρέπει να διαγράφει μικρότερο τόξο, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι τριβές.

Συγκεκριμένα, η συνθήκη αυτή λέει ότι προκειμένου να αποφευχθεί η ολίσθηση των τροχών ενός οχήματος όταν αυτό στρίβει, θα πρέπει όλοι οι τροχοί του να διαγράφουν τόξα κύκλων, με κοινό κέντρο, το κέντρο περιστροφής Κ.Π. Αυτό σημαίνει ότι και οι ακτίνες, που ξεκινούν από το Κ.Π., θα πρέπει να είναι κάθετες ως προς τους τροχούς, στους οποίους αντιστοιχούν. Με λίγα λόγια, οι πρόσθιοι τροχοί, οι οποίοι στην ευθεία ήταν παράλληλοι μεταξύ τους, τώρα θα



Εικόνα 2.

Ο τρόπος επίτευξης της γεωμετρίας Άκερμαν.

► 3.4 Τύποι συστημάτων διεύθυνσης.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά ενός αυτοκινήτου είναι η δυνατότητα αλλαγής πορείας, και' επιθυμία του οδηγού, μέσω του συστήματος διεύθυνσης. Το στρίψιμο ενός αυτοκινήτου είναι μια φαινομενικά απλή υπόθεση. Μια προσεκτική ματιά φανερώνει ακριβώς το αντίθετο. Ας πάρουμε, όμως, τα πράγματα με τη σειρά, αρχίζοντας με τις απαιτήσεις, που πρέπει να πληρεί το σύστημα διεύθυνσης.

α) Η κινηματική λειτουργία πρέπει να ικανοποιεί τη συνθήκη του Άκερμαν. Για μία κινηματικά σωστή λειτουργία (απαλλαγμένη από ολίσθησεις) οι νητοί άξονες και των

τεσσάρων τροχών πρέπει να συναντώνται σε ένα σημείο. Γι' αυτό το λόγο, ο εσωτερικός προς τη στροφή τροχός, υποχρεούται να στρίβει περισσότερο από τον εξωτερικό.

β) Πρέπει να είναι σε θέση να αντιδρά σε ακαριαίες αλλαγές πορείας.

γ) Όταν το τιμόνι αφηθεί ελεύθερο, πρέπει να επιστρέφει στην ευθεία κατεύθυνση και να τη διατηρεί.

δ) Η σχέση μετάδοσης πρέπει να επιλέγεται έτσι ώστε να είναι εύκολος ο χειρισμός, αλλά, ταυτόχρονα, και γρήγορος. (Μεγάλη σχέση μετάδοσης σημαίνει και μεγάλος αριθμός περιστροφών από άκρη σε άκρη.)

ε) Οι προερχόμενοι από ανωμαλίες του οδοστρώματος κραδασμοί, πρέπει να αποσβένονται όσο το δυνατόν περισσότερο και να μη φθάνουν στο τιμόνι, χωρίς, όμως, να χάνεται η αίσθηση της επαφής με το δρόμο.

Ας δούμε, τώρα, μερικά κατασκευαστικά στοιχεία των συστημάτων διεύθυνσης. Η



Εικόνα 3.

Σύγχρονο σύστημα διεύθυνσης.

περιστροφή του τιμονιού μεταφέρεται στο μηχανισμό διεύθυνσης, όπου συντελείται σε κατάλληλα επιλεγμένους οδοντωτούς τροχούς, η μείωση των στροφών. Έχουμε πάντα μείωση, αφού το τιμόνι στρίβει από την ευθεία θέση μέχρι το τέλος της διαδρομής του, περίπου 550° , ενώ οι τροχοί στρέφονται κατά 35° περίπου. Ταυτόχρονα πολλαπλασιάζεται και η δύναμη, που ασκείται από τον οδηγό, αφού στους τροχούς απαιτούνται σαφώς μεγαλύτερες δυνάμεις.

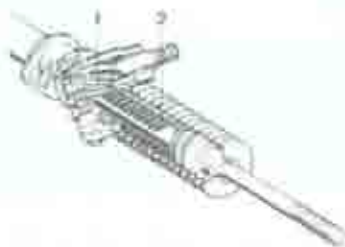
Στο μηχανισμό διεύθυνσης, μέσω ενός συστήματος άρθρώσεων και ράβδων, ανάλογο κάθε φορά με τον χρησιμοποιούμενο μηχανισμό διεύθυνσης, η κίνηση μεταφέρεται στα ακρόμπαρα και στις πλήμνες των τροχών. Σ' αυτό το σημείο να σημειώσουμε ότι η κολόνα του τιμονιού, στα

σύγχρονα αυτοκίνητα, αποτελείται από δύο τμήματα, με άρθρωση, για να υποχωρεί σε περίπτωση σύγκρουσης.

Όσον αφορά τους μηχανισμούς διεύθυνσης υπάρχουν τρεις κατασκευαστικές λύσεις, οι οποίες έχουν επικρατήσει, στα σύγχρονα αυτοκίνητα. Αυτές είναι οι εξής:

Κρεμαγιέρα

- 1 Γρανάζι
- 2 Οδοντωτός κανόνας



Εικόνα 4.

Τα μέρη της κρεμαγιέρας.

1) Η κρεμαγιέρα. Αποτελείται από ένα γρανάζι, τοποθετημένο στην κατάληξη της κολόνας του τιμονιού, και έναν οδοντωτό κανόνα, ο οποίος έχει την ικανότητα να μετακινείται δεξιά-αριστερά. Η κίνηση μεταδίδεται στους τροχούς μέσω των ακρόμπαραν, δύο ράβδων που ενώνουν την κρεμαγιέρα (τον κανόνα) με τις πλήμνες των τροχών.

Η σχέση μετάδοσης ισούται με το πηλίκο των στροφών του τροχού, προς τη διαδρομή του κανόνα. Η κατάλληλη διαμόρφωση, των δοντιών του κανόνα, επιτρέπει την επίτευξη μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης και έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της δύναμης, που πρέπει να ασκηθεί στο τιμόνι, ή τη μείωση της διαδρομής του τιμονιού.

Το σύστημα αυτό είναι απλό σε κατασκευή, έχει μικρό βάρος, πολύ καλή απόκριση, σε σχέση με τα υπόλοιπα, και προτιμάται κατά κόρον από τους κατασκευαστές.

ii) Ατέρμονας κοχλίας. Ένας ατέρμονας κοχλίας, στην κατάληξη της κολόνας του τιμονιού, κινεί έναν οδοντωτό τροχό (κορόνα), με τέτοιο τρόπο ώστε η συνεργασία τους να μοιάζει με την εμπλοκή ενός κοχλίου με το περικόχλιό του. Από τον οδοντωτό τροχό η κίνηση μεταδίδεται στους βραχίονες διεύθυνσης και από εκεί στα ακρόμπαρα και στις πλήμνες των τροχών.

Είναι η ιδανική λύση για τη μεταφορά μεγάλων φορτίων, καθώς και για μεγάλες σχέσεις μετάδοσης. Εξ' αιτίας των μεγάλων, σχετικά, γραναζιών που χρησιμοποιεί, δεν παρέχει καλή απόκριση του τιμονιού, εμφανίζοντας τζόγους. Είναι επίσης βαρύ και δαπανηρό στην κατασκευή.



Χρησιμοποιείται κυρίως στα οχήματα εκτός δρόμου, λόγω των προαναφερθέντων προτερημάτων και της ικανοποιητικής απόσβεσης των κραδασμών, από τις ανωμαλίες του εδάφους.

Ατέρμονας κοχλίας με επανακυκλοφορούντα σφαιρίδια

- 1 Κοχλίας
- 2 Σφαιρίδια
- 3 Οδοντωτός άξονας
- 4 Οδόντωση γραναζιού



Εικόνα 5.

Τα μέρη του ατέρμονα κοχλίου.

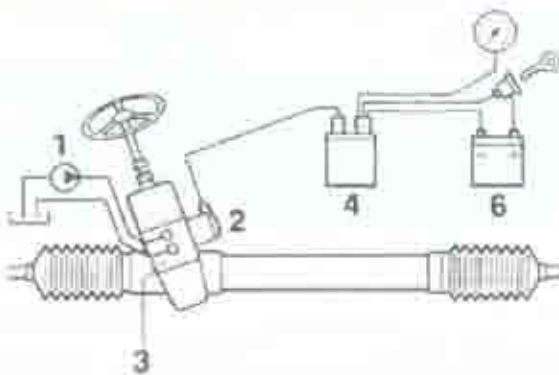
καταλαμβάνεται από ατσάλινα σφαιρίδια, τα οποία κυλούν, σε κάθε περιστροφή του τιμονιού, με σκοπό να περιορίσουν τις τριβές του συστήματος.

Είναι σίγουρα ο πιο σύνθετος μηχανισμός διεύθυνσης και λόγω του μεγάλου κατασκευαστικού κόστους χρησιμοποιείται σπάνια στα επιβατικά αυτοκίνητα. Ακόμα και η Mercedes, που ήταν η τελευταία εταιρεία, που επέμενε στη χρήση αυτού του συστήματος, στα τελευταία της μοντέλα έχει αρχίσει να το εγκαταλείπει, προς χάριν της κρεμαγιέρας.

Εικόνα 6.

Τα μέρη του ατέρμονα με επανακυκλοφορούντα σφαιρίδια.

► **3.5 Υποβοηθούμενα συστήματα διεύθυνσης.**



Μεταβλητή υδραυλική υποβοήθηση

- 1 Αντίλη υδραυλικού υγρού
- 2 Ηλεκτρουδραυλικός μετατροπέας
- 3 Βαλβίδα
- 4 Μικροελεγκτής
- 3 Ηλεκτρονικός ταχυμτρη
- 6 Μотор

Εικόνα 7.

Σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές κατασκευής συστημάτων διεύθυνσης, η δύναμη, που ασκείται στο τιμόνι από τον οδηγό, δεν πρέπει να ξεπερνά τα 250 Νt. Τι γίνεται όμως, όταν ένας κατασκευαστής επιλέξει συνειδητά μια μικρή σχέση μετάδοσης για να έχει "γρήγορο τιμόνι" (δηλαδή λίγες στροφές του τιμονιού απ' άκρη σ' άκρη);

Η συνέπεια μιας τέτοιας επιλογής θα ήταν ένα "βαρύ τιμόνι", του οποίου η χρήση σε καθημερινές συνθήκες (παρκάρισμα, ελιγμοί) θα γινόταν πραγματικά δύσκολη. Για το λόγο αυτόν, τοποθετούνται πλέον στα περισσότερα αυτοκίνητα

συστήματα υποβοήθησης, τα οποία επιτρέπουν στον οδηγό να ασκεί μικρότερη δύναμη στο τιμόνι. Τα συστήματα αυτά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Με υδραυλική και με ηλεκτρική υποβοήθηση.



Εικόνα 8.

Τα μέρη ενός συστήματος διεύθυνσης.

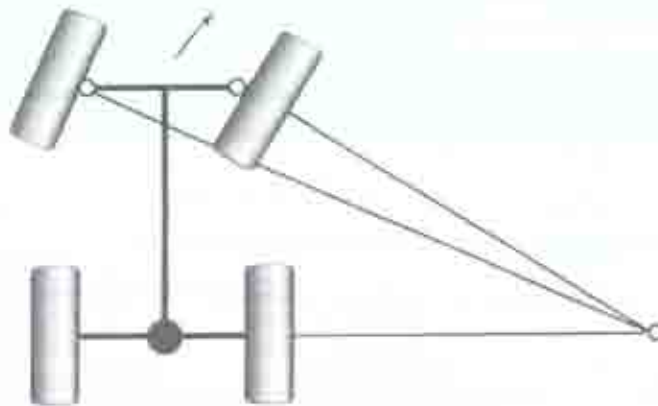
- 1) Διφράκτης, 2) Ραβδίον σιζιέζης, 3) Λαβή της βραχίσιας,
- 4) Εγκάρσια ραβδίον, 5) Τιμόνι, 6) Καλάμη τιμονιού,
- 7) Μηχανισμός άπυρροιστο, 8) Βραχίσιας διεύθυνσης.

αυξάνοντας τη δύναμη, που ασκεί σε αυτό ο οδηγός. Σε σπορ, κυρίως αυτοκίνητα, ένα ηλεκτρονικό σύστημα μειώνει προοδευτικά την πίεση του υγρού, με την αύξηση της ταχύτητας, έτσι ώστε να μη χάνεται η αίσθηση του τιμονιού, στις υψηλές ταχύτητες.

Στην περίπτωση της ηλεκτρικής υποβοήθησης η αύξηση της δύναμης γίνεται μέσω ενός ηλεκτρικού μοτέρ, το οποίο βοηθάει τον οδοντωτό κανόνα, στην κίνησή του. Και εδώ, τέλος, είναι εφικτή η μεταβολή της δύναμης υποβοήθησης, δια της ηλεκτρονικής οδού.

Στην πράξη, τα δύο συστήματα διαφέρουν σημαντικά, ως προς την αίσθηση που μεταφέρουν στον οδηγό τους. Τα υδραυλικά υποβοηθούμενα συστήματα έχουν εξελιχτεί αρκετά, συνδυάζοντας ικανοποιητική υποβοήθηση, με πολύ καλή πληροφόρηση. Είναι χαρακτηριστικό ότι χρησιμοποιούνται ακόμα και στη Formula 1.

Στον αντίποδα, μετρημένα στα δάκτυλα του ενός χεριού είναι τα ηλεκτρικά συστήματα υποβοήθησης, που έχουν παρουσιαστεί μέχρι σήμερα και είναι αξιόλογα, με αυτό της BMW Z4 να ξεχωρίζει. Τα περισσότερα πάσχουν κυρίως στην αίσθηση που μεταφέρουν στον οδηγό. Στις περισσότερες περιπτώσεις αυτή είναι εντελώς τεχνητή, θυμίζοντας ηλεκτρονικό παιχνίδι. Παρόλα αυτά χρησιμοποιούνται κατά κόρον στα περισσότερα καινούρια μοντέλα, λόγω της μικρότερης κατανάλωσης ενέργειας, που έχουν κατά τη λειτουργία τους.



Κεφάλαιο 4: Ανάρτηση

► 4.1 Το μέση της ανάρτησης

Το βάρος του αυτοκινήτου παραλαμβάνεται από τους τροχούς μέσω της ανάρτησης



Εικόνα 1.

Σχέδιο φάντασμα, από την οποία φαίνεται η ανάρτηση της BMW M3.

Η διάταξη και οι ρυθμίσεις της παίζουν προταρχικό ρόλο στην οδική συμπεριφορά, αλλά και την άνεση που θα προσφέρει το αυτοκίνητο, αφού αυτή είναι ο συνδετικός κρίκος ανάμεσα στο δρόμο και το αμάξωμα.

Ο πρωταρχικός ρόλος της ανάρτησης είναι να διατηρεί την επαφή των τροχών με το έδαφος, σε περίπτωση που οι τελευταίοι συναντήσουν κάποια ανωμαλία. Όμως, όπως θα δούμε στη συνέχεια, καθορίζει και πλήθος άλλων πολύ σημαντικών παραμέτρων, αφού διαχειρίζεται τις δυνάμεις που εμφανίζονται κάθε φορά που το αυτοκίνητο βρίσκεται σε μία στροφή, ή



Εικόνα 2.

Το είδος των απορροφητών των ελικοειδών ελατηρίων.



Εικόνα 3.

Μη γεωμετρικά ελατήρια.

Η ανάρτηση αποτελείται από ένα σύνολο από βραχιόνες, οι οποίοι είναι διατεταγμένοι έτσι ώστε να ελέγχουν όσο το δυνατό καλύτερα την κίνηση του τροχού, ως προς το αμάξωμα, καθώς και από τα ελατήρια και τα αμορτισέρ, που διαχειρίζονται και απορροφούν τις δυνάμεις που δέχεται το σύστημα.

Τα ελατήρια είναι υπεύθυνα για την ενδοτικότητα του μηχανισμού και δρουν ως "αποθήκες ενέργειας". Η δράση τους, όμως, θα πρέπει να περιορίζεται, προκειμένου να αποφευχθούν ανεπιθύμητες ταλαντώσεις. Αυτό γίνεται από τους "αποσβεστήρες ταλαντώσεων", γνωστότερου ως αμορτισέρ.

Υπάρχουν τρία είδη ελατηρίων, που χρησιμοποιούνται σήμερα. Τα ελικοειδή ελατήρια, τα φύλλα σούστας και οι ράβδοι στρέψης.

Τα ελικοειδή ελατήρια είναι το περισσότερο χρησιμοποιούμενο είδος ελατηρίου, σήμερα. Αποτελείται από μια ράβδο, που έχει τυλιχτεί ελικοειδώς, σχηματίζοντας μια σπείρα. Κατασκευάζονται από κράματα χάλυβα, με ποικιλία προσμίξεων, όπως είναι το πυρίτιο και το

χρόμιο. Πολλές φορές φέρουν επικάλυψη από Βινύλιο, το οποίο αυξάνει την αντίσταση κατά της οξείδωσης και μειώνει το θόρυβο λειτουργίας.

Υπάρχουν δύο είδη ελικοειδών ελατηρίων. Τα γραμμικής ελαστικότητας και τα μεταβλητής ελαστικότητας. Στα πρώτα, τόσο το βήμα της έλικας, όσο και η διάμετρος της



είναι σταθερά, ενώ στα δεύτερα μεταβαλλονται. Όπως είναι φανερό, τα πρώτα έχουν γραμμική συμπεριφορά, υπακούοντας στο νόμο του Hooke, ενώ τα δεύτερα είναι έτσι κατασκευασμένα, ώστε με αύξηση της συμπίεσης να αυξάνουν και τη δύναμη που ασκούνε. Τα μη γραμμικά ελατήρια χρησιμοποιούνται

Εικόνα 4.

Το ημιελλειπτικό ελατήριο υψηλής πίεσης.

συνήθως σε σπορ αυτοκίνητα. Η επιλογή αυτή γίνεται όταν θέλει ο κατασκευαστής να έχει μια άνετη ανάρτηση, όταν το αυτοκίνητο κινείται με χαμηλές ταχύτητες, που όμως να μην αφήνει το αυτοκίνητο να "πλέει" στις υψηλές. Αντιθέτως, τα γραμμικά ελατήρια προτιμώνται περισσότερο στα "καθημερινά" οικογενειακά αυτοκίνητα.



Λόγω του μικρού βάρους και του ελάχιστου απαιτούμενου χώρου τα ελικοειδή ελατήρια έχουν καθιερωθεί και χρησιμοποιούνται στη συντριπτική πλειοψηφία των επιβατικών αυτοκινήτων, ιδίως στα μπροστινά συστήματα ανάρτησης.

Η πρώτη μορφή ελατηρίου που εφευρέθηκε ήταν το ημιελλειπτικό, γνωστότερο και ως φύλλα σούστας. Επρόκειτο για επάλληλα χαλύβδινα ελάσματα, συνδεδεμένα μεταξύ τους με ειδικούς συνδετήρες. Πρόκειται για ένα σύστημα απλούστατο στην κατασκευή, που έχει την ικανότητα ανάρτησης πολύ μεγάλων φορτίων. Παρ' όλα αυτά, το μεγάλο βάρος, ο επίσης μεγάλος απαιτούμενος για τη λειτουργία του χώρος και η μη ικανοποιητική άνεση που παρέχει έχουν εξωθήσει τη χρήση του σε μικρά και μεγάλα φορτηγά. Σπανιότατα

Εικόνα 5.

Η ράβδος στρέψης.

χρησιμοποιείται πια σε επιβατικά αυτοκίνητα.

Η ράβδος στρέψης

είναι μια τετράγωνη, επίπεδη, ή στρογγυλή ράβδος, που το ένα άκρο της είναι σταθερό και το άλλο συστρέφεται από ένα μοχλό. Μπορούν να τοποθετηθούν τόσο εγκάρσια, όσο και κατά μήκος. Απαιτούν λιγότερο χώρο από οποιοδήποτε άλλο ελατήριο.

Χρησιμοποιούνται σε πίσω συστήματα ανάρτησης μικρών και μεσαίων αυτοκινήτων, αλλά και ως αντιστρεπτικές δοκοί.

Τα αμορτισέρ αποσβένουν τις ταλαντώσεις των



Εικόνα 6.

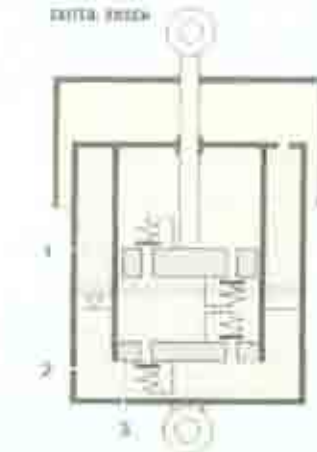
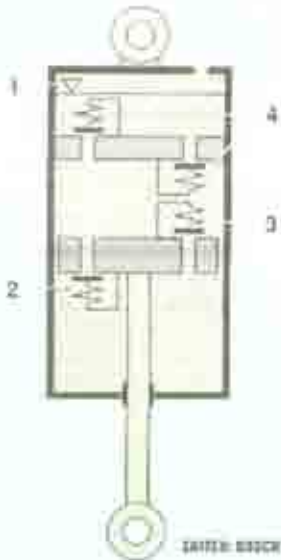
1. Διωστήρας τριβών.
2. Εμβόλο.
3. Οδηγός τριβών.
4. Φλάντζα στεγανοποίησης.
5. Κομβός κύλινδρος.
6. Χώρος λαδιού.
7. Ρυθμιζόμενη βαβίδια βάση.
8. Έμβολο στεγανοποίησης.
9. Χειριστήριο ρύθμισης σκληρότητας.
10. Ρυθμιστής σκληρότητας.
11. Κομβός ρύθμισης σκληρότητας.
12. Αέριος αέριο υπό πίεση.

ελατηρίων, μετατρέποντάς την ενέργεια των ελατηρίων σε θερμότητα. Για το λόγο αυτό, η επιλογή των αμορτισέρ πρέπει να γίνεται βάσει της ιδιοσυχνότητας κάθε ελατηρίου. Σήμερα χρησιμοποιούνται κυρίως τηλεσκοπικά αμορτισέρ λαδιού, ή αερίου-λαδιού.

Τα σύγχρονα τηλεσκοπικά υδραυλικά αμορτισέρ αποτελούνται από ένα σωλήνα με

Αποσβεστήρας μονού σωλήνα

- 1 Ατμοσφαιρική πίεση
- 2 Βαλβίδα τριπλής ελάτηρας
- 3 Βαλβίδα τοίχου ελατηρίου
- 4 Βαλβίδα ανακούφισης



Αποσβεστήρας διπλού σωλήνα

- 1 Ατμοσφαιρική πίεση
- 2 Αποθηκευτικός χώρος
- 3 Βαλβίδα

Εικόνα 7:

Αμορτισέρ μονού και διπλού σωλήνα.

“άφρισμα του λαδιού”. Έτσι αποσβεφείται η ανάπτυξη του λαδιού με τον αέρα, αλλά παράλληλα γίνεται και καλύτερη ψύξη, με αποτέλεσμα την μακροβιότητα και την καλύτερη απόδοση του συνόλου.

Στην περίπτωση των ρυθμιζόμενων αμορτισέρ, η συμπεριφορά τους μεταβάλλεται με το κλείσιμο, ή άνοιγμα, συγκεκριμένων βαλβίδων.

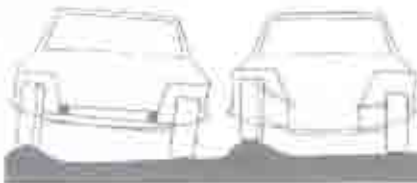
ένα εσωτερικό εμβόλο, το οποίο μετατοπίζει, κατά την κίνησή του και προς τις δύο κατευθύνσεις, λάδι. Το λάδι έτσι αναγκάζεται να διαφύγει ελεγχόμενα, με υψηλή πίεση, από τις μικρές οπές των βαλβίδων, επιτηγχνόνοντας έτσι τον επιθυμητό βαθμό απόσβεσης. Ο αριθμός και ο τύπος των ελατηρίων των βαλβίδων ευθύνεται για τη σκληρότητα του αμορτισέρ.

Η υψηλή πίεση, όμως με την οποία διέρχεται το λάδι από τις μικροσκοπικές αυτές οπές, δημιουργεί τριβές, άρα και αύξηση της θερμοκρασίας του λαδιού, η οποία σε πολλές περιπτώσεις φτάνει και τους 140°C, με αποτέλεσμα το λάδι να αναμιγνύεται με τον αέρα που υπάρχει μέσα, να δημιουργεί φυσαλίδες και να χάνει έτσι μεγάλο μέρος της αποτελεσματικότητάς του.

Έτσι δημιουργήθηκαν τα αμορτισέρ αερίου, τα οποία

χρησιμοποιούν αδρανές αέριο (άζωτο) υπό πίεση, χάρη στο οποίο εξαλείφεται ο κίνδυνος των φυσαλίδων αέρα, το γνωστό

► 4.2 Διατάξεις αναρτήσεων.



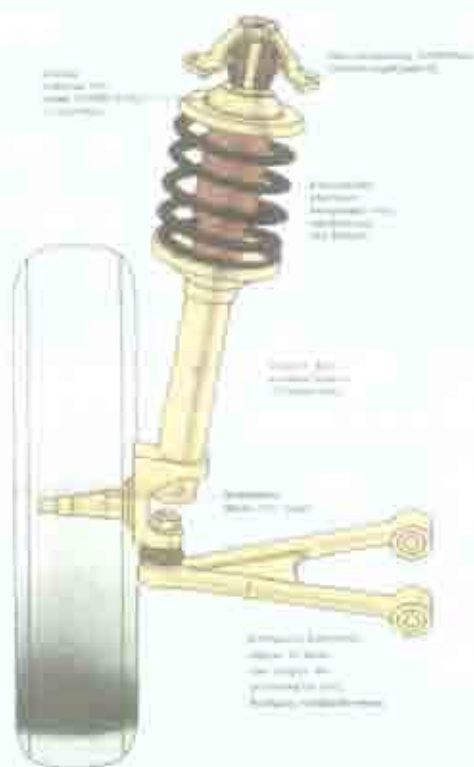
Εικόνα 8:

Ανεξάρτητη και μη ανεξάρτητη.

Τα ελατήρια και τα αμορτισέρ αποτελούν τα ελαστικά στοιχεία της αναρτήσεως. Τα δομικά της μέρος είναι ένα σύνολο μοχλών και βραχιόνων, που δημιουργούν ένα κινηματικό σύστημα. Η διάταξη αυτού του συνόλου έχει πρωτεύοντα ρόλο στον καθορισμό της συμπεριφοράς του αυτοκινήτου.

Κατ' αρχήν μπορούμε να ξεχωρίσουμε τα συστήματα σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στα ανεξάρτητα και στα μη ανεξάρτητα συστήματα ανάρτησης. Στα πρώτα, οι κινήσεις του ενός τροχού δεν επηρεάζουν άμεσα την κίνηση του άλλου τροχού, του ίδιου άξονα. Αυτό προσδίδει πολύ καλύτερη οδική

συμπεριφορά και άνεση σε σχέση με το δεύτερο, παλαιότερο και ξεπερασμένο πια σύστημα. Ας δούμε αναλυτικά ορισμένες διατάξεις αναρτήσεως.



Εικόνα 9.

Γόνατο McPherson και συνδεδεμένος τύπος "μπάλα".

Η πιο διαδεδομένη μορφή ανεξάρτητης ανάρτησης σήμερα, είναι τα γόνατα McPherson. Πρόκειται για μια διάταξη εξαιρετικά απλή στην κατασκευή της, με πολύ συμπαγείς διαστάσεις, μικρό κόστος κατασκευής, που παράλληλα είναι και πολύ αποτελεσματική.

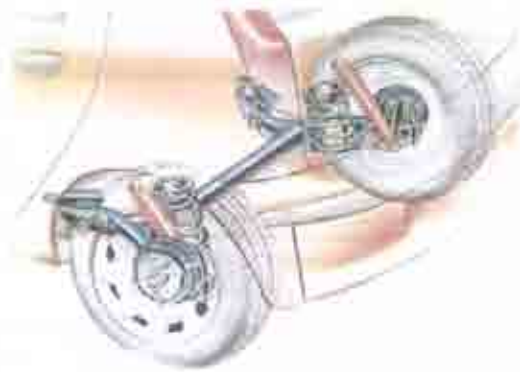
Κατασκευαστικά, αποτελείται από ένα τηλεσκοπικό αμορτισέρ, επάνω στο οποίο είναι ενσωματωμένο το γόνατο με το ακραζόνιο. Ενσωματωμένες στο αμορτισέρ είναι και οι βάσεις ανάμεσα στις οποίες τοποθετείται ένα ελικοειδές ελατήριο. Το γόνατο αρθρώνεται στο κάτω μέρος του με "μπάλακι" σε ένα τριγωνικό ψαλίδι. Η επάνω άκρη του αμορτισέρ στηρίζεται στο θόλο του αμαξώματος μέσω ενός ελαστικού συνδέσμου.



Η μορφή των ψαλιδιών είναι τριγωνική, ώστε να παραλαμβάνονται με ικανοποιητικό τρόπο τα φορτία, που δέχεται ο τροχός σε πιθανές επιταχύνσεις-επιβραδύνσεις. Τα ψαλιδία αρθρώνονται με τη σειρά τους στο υποπλαίσιο της

ανάρτησης και πάλι με ελαστικούς συνδέσμους γνωστότερους ως σινεμπλόκ (παράφραση του σάιλεντμπλόκ από την αγγλική φράση silent block), προς αποφυγή μετάδοσης δυσάρεστων, αλλά και επικίνδυνων για την αντοχή του πλαισίου κραδασμών, στους επιβάτες.

Η ανάρτηση αυτή χρησιμοποιείται από τη συντριπτική πλειοψηφία των μικρών και μεσαίων προσθιοκίνητων επαγγελματικών αυτοκινήτων σαν μπροστινή ανάρτηση, χωρίς να λείπουν και οι εφαρμογές της στο πίσω μέρος.



Εικόνα 10.

Ημιάκαμπτος άξονας.

Όπως τα γόνατα McPherson έχουν επικρατήσει στα μπροστινά συστήματα ανάρτησης, έτσι και στα πίσω συστήματα τείνει να καθιερωθεί ο ημιάκαμπτος άξονας.

Πρόκειται για μία μορφή ημανεξάρτητης ανάρτησης, αφού οι τροχοί του ενός άξονα αλληλοεπηρεάζονται σε κάποιο βαθμό, αλλά όχι και καθολικά.

Κατασκευαστικά, πρόκειται για δύο υστερούντες (ή ημιυστερούντες) βραχίονες που ενώνονται περίπου στο μέσο τους από έναν άξονα διατομής ανεστραμμένου \cup . Ο άξονας αυτός δρα ουσιαστικά σα μια ενσωματωμένη και ενισχυμένη αντιστρεπτική δοκός, αφού έχει μεγάλη αντίσταση σε κάμψη, αλλά όχι και σε

στρέψη. Η άρθρωση των βραχιόνων στο αμάξωμα γίνεται και εδώ με σινεμπλόκ. Συνήθως αυτό το σύστημα συνεργάζεται με ελικοειδή ελατήρια και τηλεσκοπικά αμορτισέρ.

Το σύστημα έχει ελάχιστες απαιτήσεις χώρου, μικρό κόστος κατασκευής και πολύ εύκολη συναρμολόγηση, προσδίδοντας και αξιοπρεπή δυναμικά χαρακτηριστικά. Μοναδικά παράπονα η κάπως μειωμένη άνεση, σε σχέση με ένα πλήρως ανεξάρτητο σύστημα, και η εμφάνιση κάποιων αναπηρήσεων σε εγκάρσιες ανωμαλίες του οδοστρώματος, όταν το πίσω μέρος είναι άδειο. Τα προβλήματα αυτά περιορίζονται με προσεκτική επιλογή σινεμπλόκ, σχέσης ελατηρίων-αμορτισέρ, αλλά και με την κατάλληλη διατομή του άξονα, που παίζει το ρόλο της αντιστρεπτικής.

Χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε συστήματα πίσω ανάρτησης προσθιοκίνητων αυτοκινήτων μικρού και μεσαίου κυβισμού. Εκπλήξη αποτέλεσε η χρησιμοποίησή του στο Renault Laguna (αυτοκίνητο της μεσαίας-μεγάλης κατηγορίας) και μάλιστα με πολύ καλά αποτελέσματα.

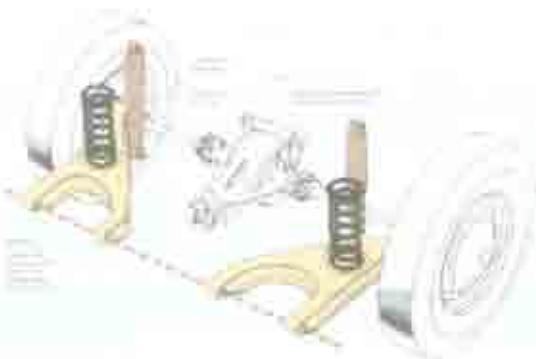
Ένα επίσης πολύ διαδεδομένο σύστημα αποκλειστικά πίσω ανάρτησης είναι οι υστερούντες (ή οδηγούμενοι) βραχιόνες. Πρόκειται για ένα ανεξάρτητο σύστημα ανάρτησης.

Αποτελείται από δύο βραχιόνες, που άρθρώνονται στο πλαίσιο του αυτοκινήτου. Ο



Εικόνα 11.

Οι υστερούντες βραχιόνες μπορεί να συνδυάζονται είτε με ράβδους στρέψης (αριστερά), είτε με ελικοειδή ελατήρια. Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιούνται τηλεσκοπικά αμορτισέρ.



Εικόνα 12.

Υστερούντες και ημιυστερούντες βραχιόνες

αισθητή μεταβολή του μεταξονίου.

Έχει πολύ καλά δυναμικά χαρακτηριστικά συνδυαζόμενα με ελάχιστο απαιτούμενο χώρο, λογικό κόστος και εύκολη συναρμολόγηση. Παλιότερα είχε χρησιμοποιηθεί και σε πίσωκίνητα, αλλά σήμερα χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά σε προσθιοκίνητα μικρού, μεσαίου και μεγάλου κυβισμού, γαλλικής κυρίως κατασκευής.

Μια παραλλαγή των υστερούντων βραχιόνων είναι οι ημιυστερούντες βραχιόνες. Η μόνη διαφορά σε αυτό το σύστημα είναι ότι τα κέντρα περιστροφής των βραχιόνων, στο

κάθε ένας από αυτούς στηρίζει και από ένα τροχό. Οι δύο βραχιόνες στηρίζονται στο πλαίσιο (ή το υποπλάισιο) με σινεμπλόκ. Ο νοητός άξονας, στη στήριξη των βραχιόνων, σχηματίζει ορθή γωνία με το διαμήκη άξονα του αυτοκινήτου.

Το σύστημα συνεργάζεται τόσο με ελικοειδή ελατήρια, όσο και με ράβδους στρέψης, πάντα με τηλεσκοπικά αμορτισέρ. Προσφέρει αμυδρή μεταβολή της γωνίας κάμπερ, κατά τη λειτουργία του, αλλά

σημείο της άρθρωσής τους με το αμάξωμα, σχηματίζουν αμβλεία γωνία με το διαμήκη άξονα του αυτοκινήτου. Αυτό επιτρέπει στους σχεδιαστές να προκαθορίσουν τη μεταβολή της γωνίας κάμπερ, αλλά και τη γωνία σύγκλισης του τροχού, καθώς αυτός θα ανεβόκατεβαίνει.



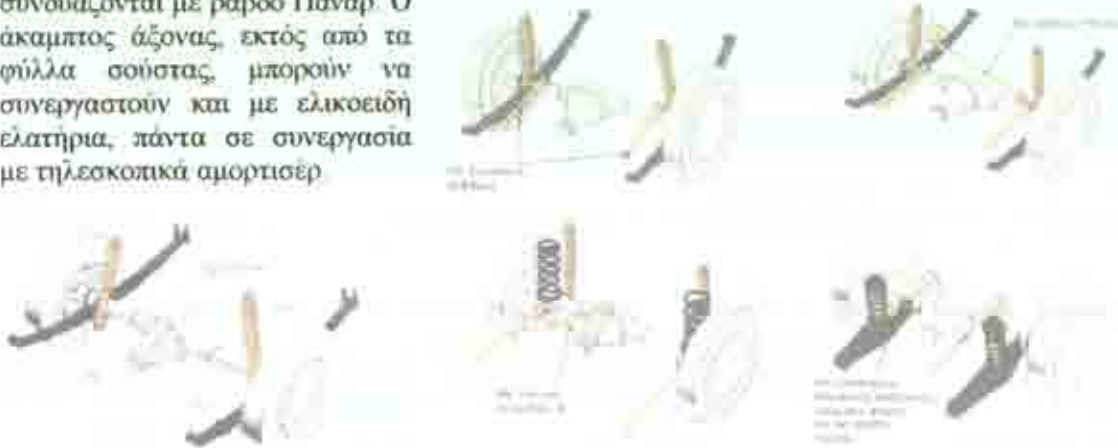
Εικόνα 13.
Άκαμπτος άξονας.

Η αρχαιότερη μορφή ανάρτησης που έφτιαξε ο άνθρωπος είναι ο άκαμπτος άξονας, όπου φυσικά είναι μη ανεξαρτητό σύστημα.

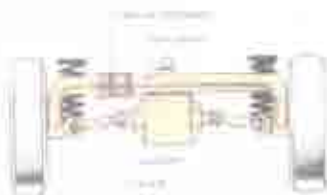
Πρόκειται για έναν άξονα που ενώνει τις πλήμνες των δύο τροχών, στις οποίες και μεταφέρει ροπή. Στο κέντρο του βρίσκεται τοποθετημένο το διαφορικό (άρα ουσιαστικά πρόκειται για δύο ημιαξόνια σταθερά συνδεδεμένα μεταξύ τους).

Η στήριξη του άξονα γίνεται με πολλούς τρόπους, μερικοί από τους οποίους φαίνονται παρακάτω. Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή είναι η απευθείας στήριξη του άξονα πάνω στις οούστες, μια διάταξη που είναι γνωστή σαν άξονας Hotchkiss.

Δε λείπουν όμως και εφαρμογές με διαμήκεις ράβδους, που πολλές φορές συνδυάζονται με ράβδο Πανάρ. Ο άκαμπτος άξονας, εκτός από τα φύλλα οούστας, μπορούν να συνεργαστούν και με ελικοειδή ελατήρια, πάντα σε συνεργασία με τηλεσκοπικά αμορτισέρ.



Εικόνα 14.
Διάφοροι τρόποι στήριξης του άκαμπτου άξονα.



Εικόνα 15.
Άξονας Ντε Ντιόν.

Γενικά, πρόκειται για τη διάταξη που έχει τις περισσότερες παραλλαγές, κάτι το φυσιολογικό, αφού είναι και η πιο παλιά απ' όλες, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο στον εμπρός, όσο και στον πίσω άξονα, σε κινητήριο ή μη.

Μία τέτοια παραλλαγή είναι και ο άξονας Ντε Ντιόν. Ο άξονας εδώ ενώνει τους τροχούς, αλλά δε φέρει το διαφορικό και τα ημιαξόνια, άρα δε μεταφέρει ροπή. Αυτά είναι τοποθετημένα ξεχωριστά, αφήνοντας ανεπηρέαστο τον άξονα από τις στρεπτικές δυνάμεις του άξονα μεταδόσεως της κίνησης στους τροχούς.

Ο άκαμπτος άξονας έχει τα περισσότερα

μειονεκτήματα. Συγκεκριμένα, δεν έχει καλά δυναμικά χαρακτηριστικά, ενώ παρουσιάζει και τη χειρότερη άνεση, μεταξύ όλων των διατάξεων. Οι αναπηδήσεις του άξονα, στις ανωμαλίες του εδάφους, αλλά και η θορυβώδη λειτουργία του είναι συχνά φαινόμενα. Ακόμα, έχει μεγάλο βάρος και απαιτεί πολύ χώρο. Για όλους αυτούς τους λόγους, έχει αρχίσει να παραγκονίζεται, από την πλειοψηφία των κατασκευαστών, όσον αφορά την ανάρτηση των επιβατικών μοντέλων τους.

Παρά τα μειονεκτήματά έχουν και δύο πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα. Έτσι, οι άκαμπτοι άξονες μπορούν να μεταφέρουν πολύ μεγάλα φορτία και, το σημαντικότερο, διατηρώντας σταθερό το ύψος του αυτοκινήτου από το έδαφος, αφού οι τροχοί είναι σταθερά συνδεδεμένοι μεταξύ τους και το αμάξωμα ταλαντώνεται πάνω από τον άξονα. Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι ανεκτίμητα τόσο στα φορτηγά, όσο και στα εκτός δρόμου οχήματα, γι' αυτό και χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε αυτά.



Εικόνα 16.

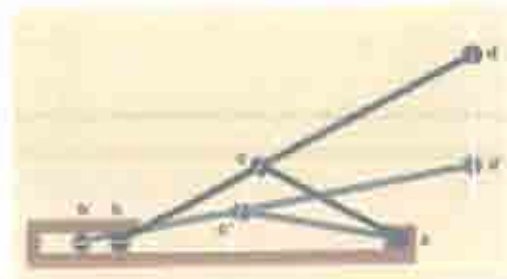
Ο σπινθητικός άξονας του Δρ. Ρόπερ.

Το 1994 έγινε μια ενδιαφέρουσα μελέτη από ένα Βρετανό ερευνητή, ονόματι Τιμ Ρόπερ. Σύμφωνα με τον ερευνητή, εύκαμπτοι άξονες ελλειψοειδούς διατομής, φτιαγμένοι από ανθρακονήματα θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν τους χαλύβδινους, υποκαθιστώντας ταυτόχρονα τη λειτουργία των αναρτήσεων. Οι άξονες αυτοί προορίζονταν για χρήση σε μικρά ηλεκτρικά αυτοκίνητα και ζύγισαν μόλις 2 kg, δηλαδή το $\frac{1}{10}$ ενός

αντίστοιχου χαλύβδινου, μαζί με το σύστημα ανάρτησης που τον υποστηρίζει. Η ελλειψοειδής διατομή καθιστά τον άξονα παραμορφώσιμο στην κατακόρυφη, αλλά όχι και στην διαμήκη κατεύθυνση. Στην περίπτωση

που ο άξονας πρέπει να μεταφέρει ροπή κίνησης, είναι απαραίτητη η χρήση χαλύβδινων ημιαξόνων. Η έρευνα αυτή συγχρηματοδοτήθηκε, τόσο από την εταιρεία στην οποία εργαζόταν ο ερευνητής, όσο και το Πανεπιστήμιο του Plymouth, με 15.000 £. Τα αποτελέσματα της έρευνας δεν έχουν γίνει ακόμη γνωστά, αλλά δεν αποκλείεται να δούμε αυτή τη λύση να εφαρμόζεται σε μερικά χρόνια από τώρα, όταν θα αρχίσουν να παράγονται μικρά ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα.

Μια ακόμα παραλλαγή του άκαμπτου άξονα είναι και αυτή που χρησιμοποιεί στις πίσω αναρτήσεις της η Nissan. Η απαραίτητη σταθερότητα κατά το



Εικόνα 17.

Ο πίσω άκαμπτος άξονας της Nissan με σύνδεσμο Scott-Russell και ο τρόπος λειτουργίας του.

διαμήκη άξονα επιτυγχάνεται μέσω δύο βραχιόνων.

Η καινοτομία του συστήματος είναι ο τρόπος στήριξης του άξονα στο αμάξωμα. Αντί για ράβδο Πανάρ, έχει χρησιμοποιηθεί ένας σύνδεσμος Scott-Russell. Ο μηχανισμός αυτός μετατρέπει την ευθύγραμμη κίνηση προς μία διεύθυνση, σε ευθύγραμμη κίνηση προς

διεύθυνση κάβλητη στην προηγούμενη. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η ζητούμενη πλευρική στήριξη, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα την απόλυτα παράλληλη κατακόρυφη μετατόπιση του άξονα. Έτσι, διατηρούνται τα πλεονεκτήματα του άκαμπτου άξονα, ενώ βελτιώνονται τα δυναμικά του χαρακτηριστικά.

Στην πράξη, το σύστημα δουλεύει αρκετά καλά δίνοντας ισορροπημένη οδική συμπεριφορά, αλλά μειωμένη άνεση.



Εικόνα 18.

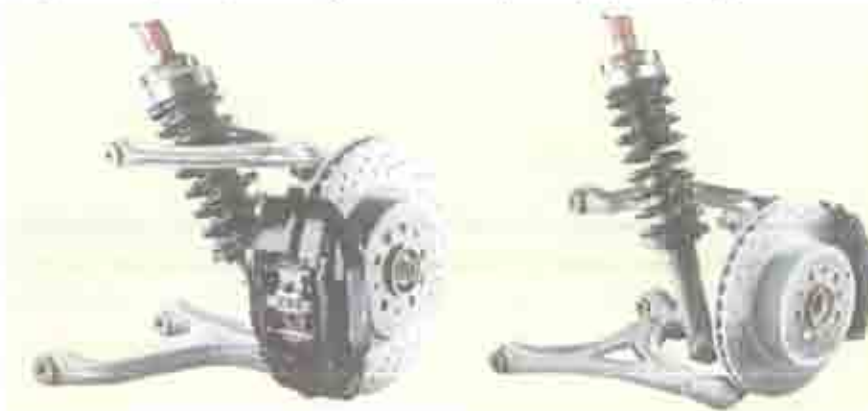
Η όψη των διπλών ψαλιδιών.

το ίδιο μήκος και ήταν τοποθετημένα παράλληλα το ένα στο άλλο. Η διάταξη αυτή διατηρούσε σταθερή τη γωνία *camber* των τροχών, ως προς το αμάξωμα. Αυτό δεν ήταν απαραίτητα καλό, αφού γέρνοντας το αυτοκίνητο σε μια στροφή, συμπαρασύρει και τους τροχούς του. Άρα στις στροφές ο εξωτερικός τροχός πρέπει να αποκτά μεγαλύτερη γωνία *camber* (με τη γεωμετρία της ανάρτησης θα ασχοληθούμε αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο). Ταυτόχρονα, κατά την κίνηση των τροχών πάνω-κάτω, μεταβαλλόταν το



Εικόνα 19.

Ισομεγέθη και ανισομεγέθη ψαλιδιά



Εικόνα 20.

Το εμπρός και το πίσω σύστημα ανάρτησης της Mercedes 3200 GT αποτελούνται από διπλά ψαλιδιά.

κατασκευαστή, που έχει χρησιμοποιήσει τη διάταξη, να έχει δώσει και μια διαφορετική λύση. Η γεωμετρία, πάντως, της διάταξης των ψαλιδιών καθορίζει την επιφάνεια επαφής των

Μια από τις ακριβότερες και καλύτερες διατάξεις ανεξάρτητης ανάρτησης είναι αυτή των διπλών ψαλιδιών.

Αποτελείται από δύο τριγωνικά ψαλιδιά που ανάμεσά τους φέρουν τη βάση της πλήμνης. Τα ψαλιδιά αρθρώνονται με τη φαρδιά τους άκρη στο πλαίσιο και με τη στενή τους στη βάση της πλήμνης.

Τα ψαλιδιά έχουν τριγωνική μορφή, προκειμένου να αντιστέκονται στις φορτίσεις από τις δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια επιταχύνσεων, επιβραδύνσεων, κατά τη διάρκεια μιας στροφής, αλλά και όταν ο τροχός συναντήσει κάποια ανωμαλία.

Παλαιότερα, τα δύο ψαλιδιά είχαν

μετατροχίο, κάτι το καταστροφικό για τη ζωή των ελαστικών.

Για τους δύο αυτούς λόγους σήμερα τα δύο ψαλιδιά είναι ανισομεγέθη, με το πάνω να είναι κοντότερο από το κάτω. Πολλές φορές, μάλιστα, δεν

τοποθετούνται καν παράλληλα. Δεν υπάρχει κάποιο σάνταρ, με τον κάθε

ελαστικών με το δρόμο, που με τη σειρά της επηρεάζει τη διαμήκη και εγκάρσια πρόσφυση του αυτοκινήτου, αλλά και τη φθορά των ελαστικών.



Εικόνα 21

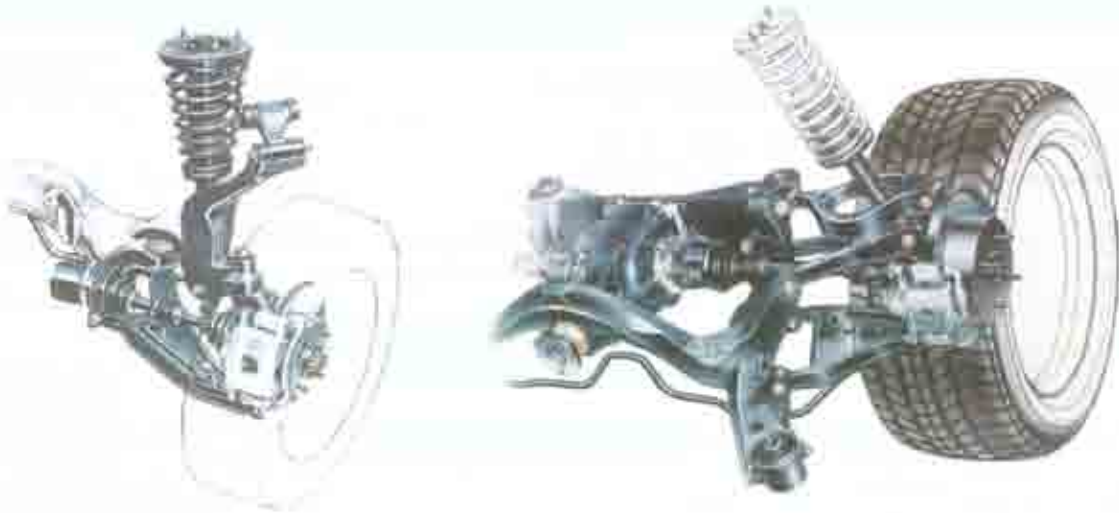
Το μετροστνό σύστημα της Porsche Carrera GT.

Η διάταξη αυτή συνεργάζεται με ελικοειδή ελατήρια και αμορτισέρ, που συνήθως τοποθετούνται ανάμεσα στο κάτω ψαλίδι και το αμάξωμα.

Πρόκειται για το σύστημα με τα καλύτερα δυναμικά χαρακτηριστικά. Παρ' όλα αυτά, απαιτεί αυξημένο χώρο και έχει μεγάλο κόστος τόσο μελέτης και κατασκευής, όσο και συναρμολόγησης. Επίσης, συνήθως η διάταξη αυτή δεν επιτρέπει μεγάλη διαδρομή στην ανάρτηση, με αποτέλεσμα τη μειωμένη άνεση. Γι' αυτό και συνήθως τοποθετείται σε μεγάλα, ακριβά και γρήγορα αυτοκίνητα. Εξαιρεση αποτελούν τα περισσότερα μοντέλα της Honda, που αν και σχετικά προσιτά, είναι εφοδιασμένα με διπλά ψαλίδια. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο στον εμπρός, όσο και στον πίσω άξονα, ανεξάρτητα αν είναι ο κινητήριος ή όχι.

Δεν είναι τυχαίο ότι διπλά ψαλίδια χρησιμοποιούνται και στη Formula 1. Η μόνη διαφορά είναι ότι εκεί τα ελατήρια και τα αμορτισέρ είναι τοποθετημένα μέσα στη "μάτη" του μονοθεσίου και ενεργοποιούνται με ωστικές ράβδους, προκειμένου να μειωθεί το μη αναρτημένο βάρος, αλλά και η αεροδυναμική αντίσταση. Η λύση αυτή χρησιμοποιείται και από όλα τα κορυφαία υπεραυτοκίνητα.

Η πιο πολύπλοκη και ακριβή διάταξη ανάρτησης είναι το σύστημα πολλαπλών



Εικόνα 22

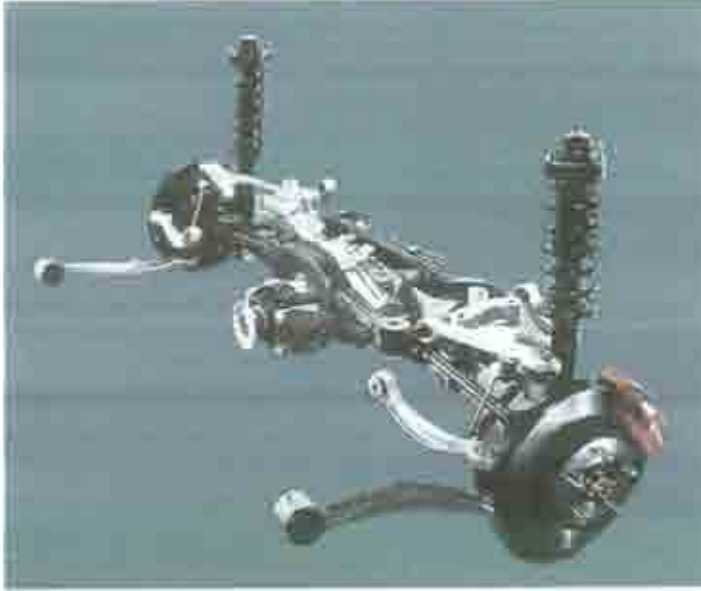
Η εμπρός (αριστερά) και η πίσω (δεξιά) ανάρτηση του Nissan 300 ZX.

συνδέσμων. Ως τέτοιο θεωρείται κάθε σύστημα στο οποίο ο έλεγχος κάθε τροχού γίνεται με τη συνδυασμένη δράση περισσότερων από τεσσάρων ράβδων ελέγχου.

Δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος τρόπος που να ακολουθείται από όλους τους κατασκευαστές, στη συνδεσμολογία του μηχανισμού. Ο κάθε κατασκευαστής ακολουθεί το δικό του δρόμο. Έτσι, δε μπορούμε να πούμε αν γενικά η κατηγορία αυτή έχει καλά ή όχι χαρακτηριστικά, αφού εξαρτάται από την εκάστοτε εφαρμογή.

Πάντως, μια σωστά μελετημένη ανάρτηση πολλαπλών συνδέσεων μπορεί να εξασφαλίσει καλύτερο έλεγχο των τροχών, προς όλες τις διευθύνσεις, με αποτέλεσμα κορυφαία οδική συμπεριφορά.

Τα συστήματα πολλαπλών συνδέσεων συνεργάζονται σχεδόν πάντα με ελικοειδή ελατήρια και τηλεσκοπικά αμορτισέρ. Η θέση των ελατηρίων και αμορτισέρ διαφέρει από εφαρμογή σε εφαρμογή.



Εικόνα 23.

Η πίσω ανάρτηση του Mitsubishi Lancer EVO VII δεν είναι και ό,τι πιο απλό υπάρχει σε σύλληψη και εφαρμογή. Πάντως, αποτελεί περισημα!

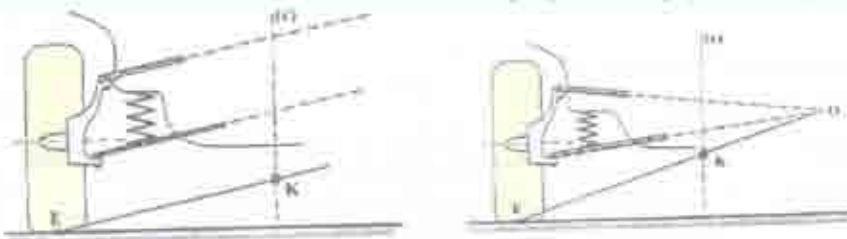
Προκειται για τη διάταξη που, αν εφαρμοστεί σωστά, δίνει τα καλύτερα δυναμικά χαρακτηριστικά. Στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτεί πολύ χώρο και είναι πολύ ακριβή τόσο στη μελέτη και κατασκευή, όσο και στη συναρμολόγηση, που συχνά είναι χρονοβόρα και πολύπλοκη.

Για τους λόγους αυτούς, χρησιμοποιείται συνήθως σε μεγάλα και ακριβά αυτοκίνητα, όπου οι μηχανικοί δεν αντιμετωπίζουν περιορισμούς χώρου και κόστους. Παρ' όλα αυτά, ο ανταγωνισμός σήμερα είναι τόσο μεγάλος, ώστε να "σπρώχνει" τους κατασκευαστές στην υιοθέτηση εξεζητημένων λύσεων, προκειμένου να προσελκύσουν αγοραστές. Χαρακτηριστικό

παράδειγμα είναι η πίσω ανάρτηση πολλαπλών συνδέσεων του καινούριου VW Golf, που όχι μόνο αποτελεί αντιγραφή της αντίστοιχης του Ford Focus, αλλά σχεδιάστηκε και από τον ίδιο άνθρωπο! Ελπίζουμε όσο περνάει ο καιρός τέτοια συστήματα να γίνονται όλο και πιο προσιτά.

► 4.3 Το κέντρο περιστροφής της ανάρτησης και ο ρόλος του.

Αφού είδαμε αναλυτικά τα είδη των αναρτήσεων και από τι αποτελούνται, ας δούμε και ορισμένα θεωρητικά στοιχεία.



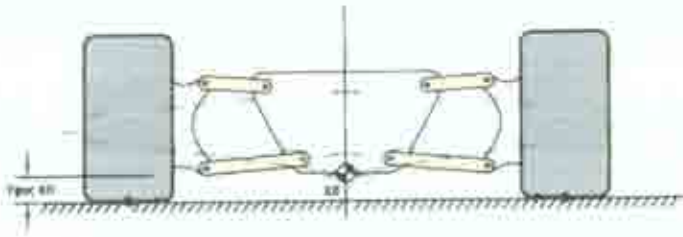
Εικόνα 24.

Δύο παράλληλα ψαλίδια με παράλληλους βραχίονες (σημασιμύ) και μη παράλληλους άξονες.

Είπαμε ότι η διάταξη της ανάρτησης παίζει σπουδαίο ρόλο στην οδική συμπεριφορά του αυτοκινήτου.

Αυτό γίνεται γιατί από αυτήν (τη διάταξη) καθορίζεται το ύψος του κέντρου

περιστροφής της ανάρτησης που με τη σειρά της επηρεάζει τη μεταφορά βάρους

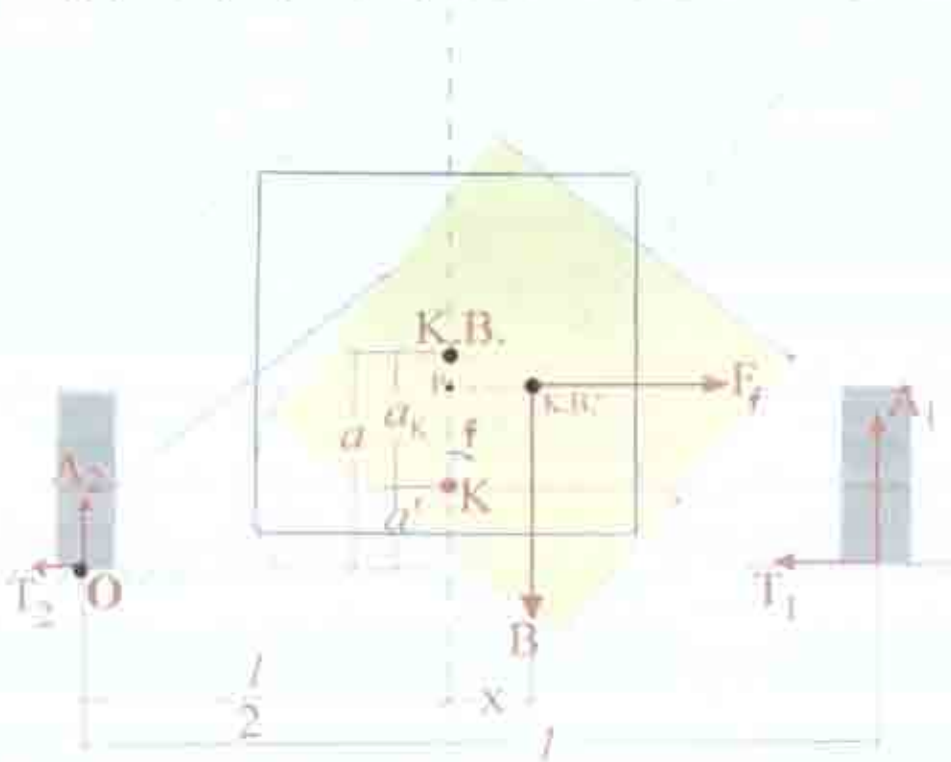


Εικόνα 25.

Διατάξη ανισομετρική ψαλιδίου με ανάσπαση κλίση.

όταν αυτό, κατά τη διάρκεια μιας στροφής, υφίσταται γωνιακές μετατοπίσεις. Πρόκειται για το σημείο, γύρω από το οποίο περιστρέφεται το αμάζωμα, κατά την εγκάρσια διεύθυνση και είναι το μοναδικό σημείο που μένει ακίνητο, κατά τη διάρκεια αυτής της περιστροφής. Παραπάνω φαίνεται το κέντρο περιστροφής σε διάφορες διατάξεις διπλών ψαλιδιών.

Ας γυρίσουμε για λίγο στην παράγραφο § 1-2, στη σελίδα 1-12. Η εξίσωση αυτή είναι



Εικόνα 26.

Η "μεταφορά βάρους" z_2 υπέρ της κλίσης του αμαζώματος.

ακριβής, μόνο αν θεωρήσουμε ότι δεν εμφανίζεται κλίση στο αμάζωμα. Η πραγματικότητα, όμως, είναι διαφορετική, αφού το αμάζωμα περιστρέφεται γύρω από το κέντρο περιστροφής, με αποτέλεσμα ο φορέας του βάρους να μετατοπίζεται κατά x , στην εγκάρσια διεύθυνση,

όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα. Αυτό ενισχύει τη ροπή του βάρους ως προς το σημείο αναφοράς O , αφού μεγαλώνει το μοχλοβραχίονά του.

Πριν προχωρήσουμε, όμως, καλό θα ήταν να εξηγήσουμε τα σύμβολα του σχήματος. Με F_g συμβολίζεται η φυγόκεντρος και B το βάρος. Και οι δύο αυτές δυνάμεις δρουν στο κέντρο βάρους $K.B.$, που απέχει απόσταση a από το έδαφος. Το κέντρο περιστροφής της ανάρτησης συμβολίζεται με K' , ενώ η απόστασή του από το έδαφος με a' . Η απόσταση ανάμεσα στο $K.B.$ και το K' συμβολίζεται με α . Η κλίση που παίρνει το αμάξωμα συμβολίζεται με φ . Εξ' αιτίας της κλίσης αυτής, το $K.B.$ μετατοπίζεται στο σημείο $K.B.'$. Η προβολή του $K.B.'$ στον αρχικό κατακόρυφο κεντροβαρικό άξονα, ορίζει το σημείο P . Η απόσταση του P από το $K.B.'$ είναι x και το μετατρόχιο l . Ακόμα, με A_1, A_2 συμβολίζονται οι δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους, ενώ με T_1, T_2 οι εγκάρσιες δυνάμεις τριβής στον δεξιό και τον αριστερό τροχό, αντίστοιχα. Τέλος, με O συμβολίζεται το σημείο αναφοράς των ροπών.

Έστω ότι το αυτοκίνητο διαγράφει ένα τόξο κύκλου, με σταθερή ταχύτητα, με αποτέλεσμα να έχει αποκτήσει κλίση φ . Τη συγκεκριμένη στιγμή το σύστημα ισορροπεί. Οπότε θα έχουμε:

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow T_1 + T_2 = F_g, \text{ Σχέση 4-1.}$$

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow B = A_1 + A_2, \text{ Σχέση 4-2.}$$

$$\Sigma M_O = 0 \Rightarrow F_g \cdot (\alpha' + KP) + B \cdot \left(\frac{l}{2} + x \right) = A_1 \cdot l, \text{ Σχέση 4-3.}$$

Από το ορθογώνιο τρίγωνο $K'PK.B'$ του σχήματος, έχουμε:

$$KP = \alpha \cdot \cos \varphi, \text{ Σχέση 4-4.}$$

$$x = \alpha \cdot \sin \varphi, \text{ Σχέση 4-5.}$$

Αντικαθιστώντας τις σχέσεις 4-4 και 4-5 στη σχέση 4-3, έχουμε:

$$A_1 = \left(\frac{\alpha' + \alpha \cos \varphi}{l} \right) \cdot F_g + \left(\frac{1}{2} + \frac{\alpha \sin \varphi}{l} \right) \cdot B, \text{ Σχέση 4-6.}$$

Επειδή η γωνία φ συνήθως είναι μικρή, μπορούμε, χωρίς σημαντικό σφάλμα να πούμε ότι $\cos \varphi = 1$, οπότε η σχέση 4-6 γράφεται:

$$A_1 = \left(\frac{1}{2} + \frac{\alpha}{l} \sin \varphi \right) B + \frac{\alpha}{l} F_g, \text{ Σχέση 4-7.}$$



Εικόνα 27

Τα σημεία στήριξης περιστάζοντος άξονα και άξ. κέντρο περιστροφής (A_1, λ)

Από τη σχέση 4-7 βλέπουμε ότι η μεταφορά βάρους (και ότι αυτή συνεπάγεται, όπως αναφέρθηκε στο 2. κεφάλαιο) είναι ανάλογη της απόστασης του κέντρου βάρους από το κέντρο περιστροφής α , της απόστασης του κέντρου βάρους από το έδαφος a , του μετρου της φυγόκεντρος (και άρα ανάλογη της μάζας m , του τετραγώνου της ταχύτητας u και αντιστρόφως ανάλογη της ακτίνας στροφής r) και αντιστρόφως ανάλογη του μετατρόχιου l . Τέλος είναι ανάλογη του ημιτόνου της γωνίας φ , κάτι που σημαίνει (για μικρές γωνίες) ότι όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία, τόσο μεγαλύτερο είναι το ημίτονό της.

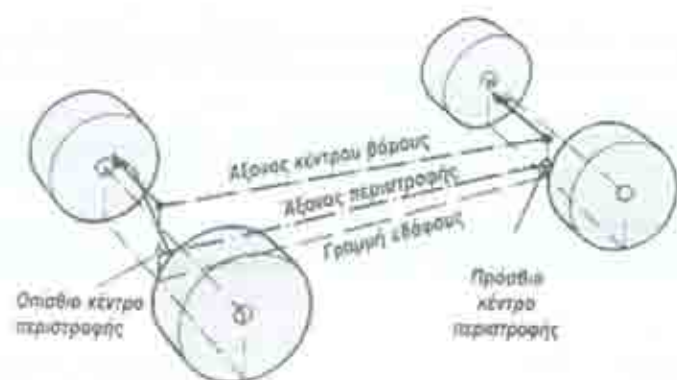
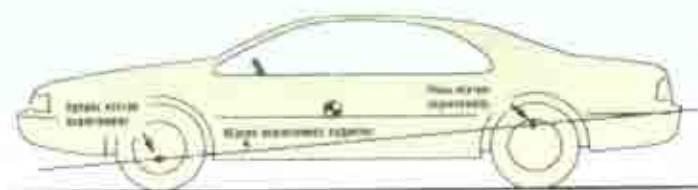
Θέλοντας να εμβαθύνουμε ακόμα περισσότερο στο πρόβλημα, θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας και τις εσωτερικές δυνάμεις του συστήματος. Το πώς, δηλαδή, αντιστέκονται οι βραχίονες της ανάρτησης στην τάση για περιστροφή του αμαξώματος.



Εικόνα 28.

Η θέση των βραχιόνων της ανάρτησης είναι καθοριστική σημασίας, αφού ορίζει τόσο τη διαμόρφωση των εσωτερικών αντιδράσεων (F_1, F_2), όσο και την υπόσταση του σημείου K υπό το κέντρο περιστροφής (θ_1, θ_2).

ανάρτησης. Η ακριβής διάταξή τους καθορίζεται ύστερα από ώρες δοκιμών, σε εργαστηριακές, αλλά και πραγματικές συνθήκες.



Εικόνα 29.

Ο άξονας περιστροφής ενθαρρύνει το εμπρός μη το πίσω κέντρο περιστροφής.

ανάρτησης είναι ίδια μπρος-πίσω, τότε αυτή που δέχεται και τη μεγαλύτερη συμπίεση, θα παραλαμβάνει και το περισσότερο φορτίο, αλλάζοντας έτσι διαρκώς την κατανομή, κατά τη διάρκεια μιας στρώσης! Και για να περιπλοκώσουν ακόμα περισσότερο τα πράγματα, να

Παρατηρούμε ότι τα φύλλα σούστας, συνδουαζόμενα με άκαμπτο άξονα, έχουν υψηλό κέντρο περιστροφής, αλλά δεν έχουν καλά δυναμικά χαρακτηριστικά. Αυτό γίνεται γιατί το αμάξωμα "καθεται" πάνω στην ανάρτηση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να ανυψώνεται και το κέντρο βάρους. Κυρίως, όμως, το πρόβλημα είναι ότι το αμάξωμα ταλαντώνεται πάνω από τις αναρτήσεις, χωρίς να υπάρχει κάποιος εγκάρσιος βραχίονας, που να αντιστέκεται σε αυτή την ταλάντωση.

Οι βραχίονες αυτοί υπάρχουν σε κάθε άλλο είδος

Ενώνοντας το εμπρός με το πίσω κέντρο περιστροφής, σχηματίζεται μια ευθεία, που ονομάζεται άξονας περιστροφής. Η θέση και η κλίση του άξονα αυτού είναι πολύ σημαντικές.

Όταν το αυτοκίνητο είναι σταθμευμένο, η κατανομή βάρους, στους δύο άξονες, ορίζεται αποκλειστικά από τη θέση του φορέα του κέντρου βάρους, ως προς το μεταξόνιο.

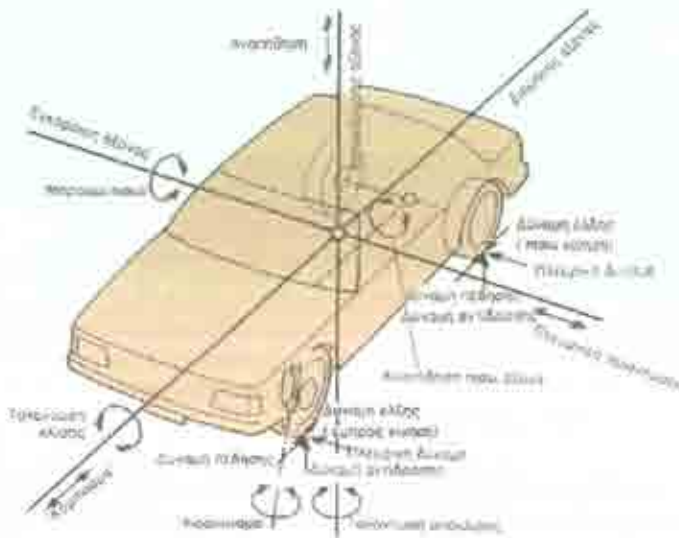
Καθώς όμως το αυτοκίνητο αρχίζει να παίρνει κάποια κλίση, διαγράφοντας μια στρώση, τα πράγματα αλλάζουν. Το αυτοκίνητο περιστρέφεται γύρω από τον άξονα περιστροφής του, με αποτέλεσμα ο άξονας, με το χαμηλότερο κέντρο περιστροφής, να συμπίεζει περισσότερο την ανάρτησή του. Αν η σκληρότητα της

προσθέσουμε ότι, στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων, ποτέ οι δύο άξονες δε φέρουν ίδιας σκληρότητας αναρτήσεις!

Αυτό, φυσικά, δε γίνεται για να γίνει το έργο των σχεδιαστών ακόμα δυσκολότερο. Η σκληρότητα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να ανταποκρίνεται στο φορτίο του κάθε άξονα. Εδώ, όμως, αρχίζουν και τα πρώτα προβλήματα. Πιο φορτίο θα ληφθεί υπ' όψιν; Αυτό που θα έχει το αυτοκίνητο όταν είναι κενό, αυτό που θα έχει όταν επιβαίνει μόνο οδηγός-συνοδηγός, ή αυτό που θα έχει όταν είναι πλήρως φορτωμένο; Η επιλογή είναι αρκετά δύσκολη, ιδιαίτερα για τον πίσω άξονα. Οι μηχανικοί-σχεδιαστές προσπαθούν να επιλέξουν μια σχέση σκληρότητας-απόσβεσης, τέτοια ώστε να ανταποκρίνεται σωστά σε όλες τις περιπτώσεις φορτίου.

Συνήθως, στα σύγχρονα προσθιοκίνητα, με τον κινητήρα τοποθετημένο μπροστά αυτοκίνητα, επιλέγονται μεγαλύτερης σκληρότητας ελατήρια, για την πίσω ανάρτηση, με ταυτόχρονη επιλογή διάταξης ανάρτησης, με χαμηλότερο κέντρο περιστροφής, για την εμπροσθια ανάρτηση. Αυτό εξασφαλίζει μια, κατά το δυνατό, σταθερή κατανομή βάρους, ανεξαρτήτως συνθηκών.

► 4.4 Βαθμοί ελευθερίας και απλοποιημένα μοντέλα ταλαντώσεων



Εικόνα 30.

Οι έξι βαθμοί ελευθερίας ενός αυτοκινήτου.

σχεδιαστές, ότι το σασί του αυτοκινήτου είναι ένα σύστημα με δύο βαθμούς ελευθερίας, αυτόν της κατακόρυφης μετατόπισης (αναστήθιση) και αυτόν της ταλάντωσης γύρω από τον εγκάρσιο άξονα (μπρουμύτισμα, ή κάλπασμος).

Αυτές οι δύο ταλαντώσεις θεωρούνται σαν οι πιο βασικές για την άνεση, επειδή παράγουν την πιο δυσάρεστη ενόχληση στον ανθρώπινο οργανισμό.

Οι ταλαντώσεις σε ένα αυτοκίνητο παράγονται τόσο από τα περιστρεφόμενα μέρη του ίδιου του

Είδαμε τη σπουδαιότητα της σχέσης ελατηρίων-αμορτισέρ. Ας δούμε πως γίνεται η επιλογή της.

Ορίζουμε ένα σύστημα αναφοράς, όπως αυτό του διπλανού σχήματος. Το αυτοκίνητο έχει έξι βαθμούς ελευθερίας, αφού μπορεί να μετατοπιστεί αξονικά σε οποιαδήποτε από τις τρεις κατευθύνσεις, αλλά και να περιστραφεί γύρω και από τους τρεις άξονες. Το κέντρο του συστήματος συμπίπτει, συνήθως, με το κέντρο βάρους.

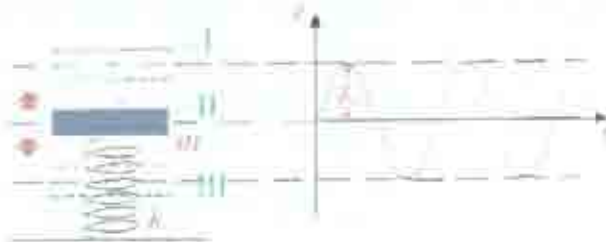
Συνήθως, λόγω της πολυπλοκότητας που έχει ένα σύστημα με έξι βαθμούς ελευθερίας, θεωρείται, από τους



Εικόνα 31.

Ταλάντωση κάλπασμος.

αποκτητήτου, όσο και από το δρόμο. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να αποσβένονται όσο το δυνατό καλύτερα.



Εικόνη 32:

Ταλάντωση σώματος με ένα βαθμό ελευθερίας.

Όταν το σώμα είναι ελεύθερο, το ελατήριο βρίσκεται στη θέση I , ενώ, κάτω από την επίδραση του βάρους, ισορροπεί στη θέση II . Έστω ότι το σώμα, με τη βοήθεια εξωτερικής δύναμης βρεθεί στη θέση III , συσπειρώνοντας επιπρόσθετα το ελατήριο. Αν το σώμα αφηθεί ελεύθερο, θα μπορεί να ταλαντώνεται ελεύθερα. Καταγράφοντας την κίνηση του σώματος σε μία ταινία, που κινείται με σταθερή ταχύτητα, θα πάρουμε ένα διάγραμμα, σαν αυτό του σχήματος. Από την καμπύλη μπορούμε να βρούμε το μέγιστο πλάτος της ταλάντωσης z_0 , το οποίο είναι ίσο με τη μέγιστη μετατόπιση από τη θέση ισορροπίας, αλλά και την περίοδο της T , που είναι ίση με το χρόνο που μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο ίδια σημεία πάνω στην καμπύλη (π.χ. μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών).

Κατά τη διάρκεια των ταλαντώσεων, το σώμα μεταβάλλει ανομοιόμορφα τη θέση του, την ταχύτητά του, την επιτάχυνσή του και το ρυθμό μεταβολής της επιτάχυνσής του, κάθε χρονική στιγμή.

Η διαφορική εξίσωση της ταλάντωσης, γι' αυτή την περίπτωση, έχει την παρακάτω μορφή:

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} + kz = 0, \text{ Σχ/ση 4-8.}$$

Μία λύση της παραπάνω διαφορικής εξίσωσης, έχει τη μορφή:

$$z = z_0 \cdot \sin \left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot T \right), \text{ Σχ/ση 4-9.}$$

Δεδομένου ότι η $\sqrt{\frac{k}{m}}$, για ελεύθερες ταλαντώσεις ισούται με τη γωνιακή συχνότητα ω , η σχέση 4-9, γράφεται:

$$z = z_0 \cdot \sin \omega t, \text{ Σχ/ση 4-10,}$$

όπου z είναι η απομάκρυνση, z_0 το πλάτος της, ω η κυκλική συχνότητα και t ο χρόνος. Από την παραπάνω σχέση βρίσκουμε τόσο την ταχύτητα U , όσο και την επιτάχυνση γ . Συγκεκριμένα:

$$U = \frac{dz}{dt} = \omega z_0 \cdot \cos \omega t = U_0 \cdot \cos \omega t, \text{ Σχ/ση 4-11 και}$$

Προκειμένου να μελετήσουμε τις ταλαντώσεις, θεωρούμε στην αρχή ένα απλό σύστημα με ένα βαθμό ελευθερίας, που εκτελεί αρμονική ταλάντωση. Ένα σώμα μάζας m είναι στερεωμένο σε ένα ελατήριο σταθεράς k , που μπορεί να εκτελεί μόνο κατακόρυφες κινήσεις, έτσι όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα. Το ελατήριο θεωρείται ότι υπακούει στο νόμο του Hooke, δηλαδή η δύναμη F_s , που ασκεί το ελατήριο κατά τη συσπίκωσή του κατά z , δίνεται από τη σχέση: $F_s = k \cdot z$.

$$\gamma = \frac{dU}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2} = -\omega^2 z_0 \cdot \sin \omega t = -\gamma_0 \cdot \sin \omega t, \text{ Σχ/ση 4-12.}$$

Το μείον στην τελευταία σχέση σημαίνει ότι η επιτάχυνση και η ταχύτητα έχουν διαφορά φάσης 180° . Ο ρυθμός μεταβολής της επιτάχυνσης δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{d^3 z}{dt^3} = -\omega^3 z_0 \cdot \cos \omega t, \text{ Σχ/ση 4-13.}$$

Η κυκλική συχνότητα ω συνδέεται με τη συχνότητα της ταλάντωσης ν και την περίοδο T με τη σχέση:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}, \text{ Σχ/ση 4-14.}$$

Στην πραγματικότητα, ένα μέρος της ελαστικότητας της ανάρτησης οφείλεται στο ελαστικό. Άρα, σωστότερο θα ήταν να θεωρήσουμε ότι έχουμε δύο ελατήρια, συνδεδεμένα σε σειρά, με διαφορετικές σταθερές (k_a για την ανάρτηση και k_e για το ελαστικό).



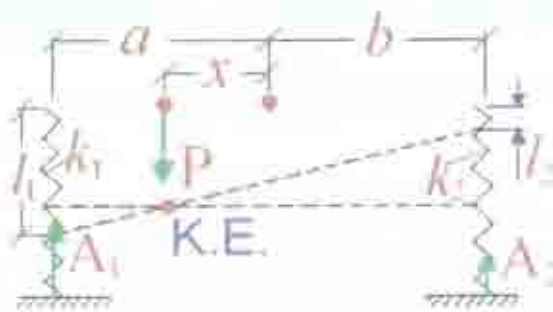
Εικόνα 33

Απλοποιημένο διάγραμμα του συστήματος ανάρτησης ενός αυτοκινήτου.

μέρος του αυτοκινήτου είναι στερεωμένο πάνω σε ένα ελατήριο, σταθεράς k_1 . Κάτω από το βάρος B_1 του μπροστινού μέρους του αυτοκινήτου, το ελατήριο αυτό συμπιέζεται κατά z . Η μετατόπιση αυτή προφανώς είναι ίση με το άθροισμα των συμπιέσεων των δύο "ελατηρίων" k_a και k_e . Επομένως:

$$z = \frac{B_1}{k_1} = \frac{B_1}{k_a} + \frac{B_1}{k_e} \Rightarrow k_1 = \frac{k_a k_e}{k_a + k_e}, \text{ Σχ/ση 4-15.}$$

Ακριβώς αντίστοιχα υπολογίζεται και η ολική σταθερά της πίσω ανάρτησης k_2 . Η ολική δυσκαμψία, των σύγχρονων συστημάτων ανάρτησης, κυμαίνεται από 20 KN/m έως 60 KN/m, με τις μικρότερες τιμές να αφορούν επαβατικά και τις μεγαλύτερες φορτηγά αυτοκίνητα.



Εικόνα 34

Υπολογισμός του κέντρου ελαστικότητας Κ.Ε.

Έτσι, το βάρος της μάζας του κάθε άξονα, μετατοπίζει το ελαστικό σύστημα, κατά ένα ποσό, ίσο με το άθροισμα των μετατοπίσεων του ελαστικού και του μέρους της ανάρτησης, που παραμορφώνεται.

Προκειμένου να βρούμε τη συνολική σταθερά δυσκαμψίας, υποθέτουμε ότι ολόκληρο το μπροστινό (ομοίως βρίσκεται και για το πίσω)

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η εύρεση του κέντρου ελαστικότητας Κ.Ε. της ανάρτησης. Πρόκειται για το σημείο εκείνο, που εμφανίζονται μόνο ερθήγραμμες μετατοπίσεις, όταν εφαρμοστεί μια εξωτερική δύναμη, πάνω σε αυτό.

Προκειμένου να υπολογίσουμε τη θέση του Κ.Ε. θεωρούμε μία αβαρή δοκό, με μήκος ίσο με το μεταξόνιο του αυτοκινήτου, που στηρίζεται σε δύο ελατήρια, που προσομοιώνουν τη συνολική δυσκαμψία των δύο αξόνων, όπως φαίνεται

στο διπλανό σχήμα. Το σύστημα δέχεται την επίδραση μιας εξωτερικής δύναμης P . Αν η εξωτερική αυτή δύναμη εφαρμοστεί οπουδήποτε αλλού, εκτός του Κ.Ε., θα συνυπάρχει ευθύγραμμη και γωνιακή μετατόπιση στη δοκό. Όταν, όμως, η δύναμη εφαρμοστεί στο Κ.Ε., τότε εμφανίζονται μόνο ευθύγραμμες μετατοπίσεις, με αποτέλεσμα οι συμπιέσεις των ελατηρίων l_1 και l_2 να είναι ίσες. Η απόσταση του κέντρου ελαστικότητας, από το σημείο της δοκού, που αντιστοιχεί στο κέντρο βάρους του αυτοκινήτου, είναι x . Εφ' όσον το σύστημα ισορροπεί, θα έχουμε:

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow A_1 + A_2 = P, \text{ Σχίσση 4-16 και}$$

$$\Sigma M_{\text{Κ.Ε.}} = 0 \Rightarrow A_1 \cdot a = A_2 \cdot b + P \cdot x \Rightarrow x = \frac{A_1 \cdot a - A_2 \cdot b}{P}, \text{ Σχίσση 4-17,}$$

όπου A_1, A_2 είναι οι δυνάμεις που ασκούν τα ελατήρια με σταθερές k_1, k_2 όταν συμπιέζονται κατά l_1 και l_2 , a, b είναι οι αποστάσεις των δύο ελατηρίων από το σημείο της δοκού, που αντιστοιχεί στο κέντρο βάρους του αυτοκινήτου και P το εξωτερικό φορτίο. Επειδή δεχόμαστε ότι τα δύο ελατήρια υπακούουν στο νόμο του Hooke, θα έχουμε:

$$A_1 = k_1 \cdot l_1 \text{ και } A_2 = k_2 \cdot l_2, \text{ Σχίσση 4-18.}$$

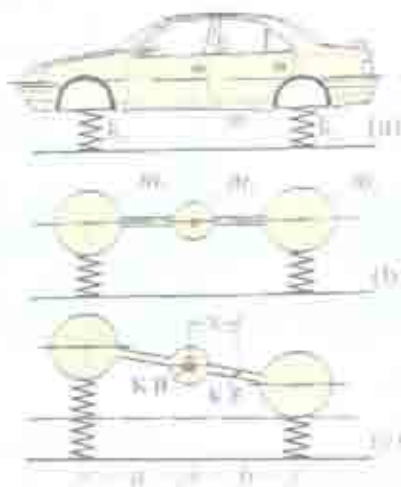
Αντικαθιστώντας τις σχέσεις 4-16 και 4-18, στη σχέση 4-17, έχουμε:

$$x = \frac{k_1 l_1 a - k_2 l_2 b}{k_1 l_1 + k_2 l_2}, \text{ Σχίσση 4-19.}$$

Έχουμε, όμως, δεχτεί ότι, για να συμπίπτει το σημείο εφαρμογής της δύναμης P με το Κ.Ε., θα πρέπει να είναι $l_1 = l_2$. Οπότε η σχέση 4-19 γράφεται:

$$x = \frac{k_1 a - k_2 b}{k_1 + k_2}, \text{ Σχίσση 4-20.}$$

Η σχέση αυτή μας δίνει την απόσταση του κέντρου ελαστικότητας της ανάρτησης ενός αυτοκινήτου, από το κέντρο βάρους του.



Εικόνα 35.

Μοντελοποίηση ελεύθερων ταλαντώσεων.

Γενικά, τώρα, το πλαίσιο του αυτοκινήτου ταλαντώνεται σε μια συχνότητα, κατά προτίμηση διάφορη από την ιδιοσυχνότητά του. Προκειμένου να μελετήσουμε τις ελεύθερες ταλαντώσεις ενός οχήματος, στο διαμήκη κατακόρυφο επίπεδο, η ανηρτημένη μάζα του σώματος m αντικαθίσταται από τρεις μάζες m_1, m_2, m_3 και μια αβαρή δοκό, όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα.

Ως ανηρτημένη, θεωρείται η μάζα, που το βάρος της παραλαμβάνεται από τις αναρτήσεις του οχήματος. Ως μη ανηρτημένη, θεωρείται η μάζα των ίδιων των αναρτήσεων, αλλά και των τροχών, μαζί με τους αναγκαίους συνδέσμους, για τη στήριξή τους, τα συστήματα πέδησης και τα ημιαξόνια, όπου αυτά υπάρχουν.

Για να μπορεί ένα σύστημα τριών μαζών να είναι ισοδύναμο με την πραγματική αναρτημένη μάζα του αυτοκινήτου, θα πρέπει να ισχύουν συγχρόνως οι παρακάτω προϋποθέσεις:

α) Το άθροισμα όλων των μαζών του συστήματος, θα πρέπει να είναι ίσο με το βάρος της ανηρτημένης μάζας του αυτοκινήτου. Δηλαδή:

$$m_1 + m_2 + m_3 = m, \text{ Σχίσση 4-21.}$$

β) Το κέντρο βάρους του συστήματος θα πρέπει να συμπίπτει με το κέντρο βάρους της ανιρτημένης μάζας του οχήματος. Δηλαδή:

$$m_1 \cdot a = m_2 \cdot b, \text{ Σχίσση 4-22.}$$

γ) Η ροπή αδρανείας I του συστήματος ως προς άξονα yy' , ο οποίος είναι κάθετος στο επίπεδο του συστήματος και περνάει από το κέντρο βάρους του, θα πρέπει να είναι ίση με τη ροπή αδρανείας της ανιρτημένης μάζας ως προς τον ίδιο άξονα. Δηλαδή:

$$I = m_1 \cdot a^2 + m_2 \cdot b^2 = m \cdot r^2, \text{ Σχίσση 4-23.}$$

όπου r η ακτίνα αδρανείας της ανιρτημένης μάζας ως προς τον άξονα yy' .

Επιλύοντας το σύστημα των [σχισμών 4-21](#), [4-22](#) και [4-23](#), ως προς m_1 , m_2 και m_3 , έχουμε:

$$m_1 = \frac{m \cdot r^2}{a \cdot l}, \text{ Σχίσση 4-24.}$$

$$m_2 = \frac{m \cdot r^2}{b \cdot l}, \text{ Σχίσση 4-25 και}$$

$$m_3 = m \left(1 - \frac{r^2}{a \cdot b} \right), \text{ Σχίσση 4-26.}$$

Έστω, τώρα, ότι η δοκός απομακρύνεται από τη θέση ισορροπίας και κατόπιν αφήνεται ελεύθερη να ταλαντωθεί πάνω στα ελαστικά μέρη του συστήματος. Κατά τη διάρκεια των ταλαντώσεων παρουσιάζεται δύναμη αδρανείας F_a , που εφαρμόζεται στο κέντρο βάρους του συστήματος. Θα είναι:

$$F_a = m_3 \cdot \gamma, \text{ Σχίσση 4-27.}$$

όπου γ είναι η αδρανειακή επιτάχυνση. Η δύναμη F_a δημιουργεί ροπή M , ως προς το κέντρο ελαστικότητας:

$$M = F_a \cdot x = m_3 \cdot \gamma \cdot x, \text{ Σχίσση 4-28.}$$

όπου x είναι η απόσταση του Κ.Β. από το Κ.Ε.

Για να αποφευχθεί η ταλάντωση καλπασμού, του συστήματος, θα πρέπει η ροπή M να είναι όσο το δυνατό μικρότερη και, αν είναι δυνατόν, να γίνει ίση με το μηδέν. Για να ισχύει, όμως, $M = 0$ θα πρέπει είτε $m_3 = 0$, είτε $x = 0$.

Ας πάρουμε την περίπτωση που η μάζα m_3 γίνεται ίση με το μηδέν. Από τη [σχίσση 4-26](#) έχουμε ότι:

$$m_3 = 0 \Rightarrow \frac{r^2}{ab} = 1 \Rightarrow r^2 = ab, \text{ Σχίσση 4-29.}$$

αφού η μάζα του σώματος m δεν μπορεί να γίνει μηδέν. Έτσι, οι σχεδιαστές, προκειμένου να αποφευχθούν την ταλάντωση καλπασμού, θα πρέπει να κατανεύσουν έτσι τη μάζα του οχήματος, ώστε να ισχύει η παραπάνω σχέση.

Ας πάρουμε, τώρα, την περίπτωση που η απόσταση x είναι ίση με το μηδέν. Σε αυτή την περίπτωση το Κ.Β. συμπίπτει με το Κ.Ε. του οχήματος. Από τη [σχίσση 4-21](#) θα έχουμε:

$$x = 0 \Rightarrow \frac{k_1 a - k_2 b}{k_1 + k_2} = 0 \Rightarrow k_1 a = k_2 b \text{ ή } \frac{k_1}{k_2} = \frac{b}{a}, \text{ Σχίσση 4-30.}$$

Από την παραπάνω σχέση (4-30) προκύπτει ότι οι σταθερές των ελατηρίων πρέπει να εκλέγονται έτσι ώστε να είναι αντιστρόφως ανάλογες των αποστάσεών τους από το κέντρο βάρους. Αντιστρόφως, αν έχουμε δεδομένες τις σταθερές των ελατηρίων, θα πρέπει να μετατοπιστούν οι αναρτήσεις κατάλληλα, ώστε να ικανοποιείται και πάλι η σχέση (4-30). Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται ο καλπασμός.



Εικόνη 36:

Μοντέλο αναπηδίασης.

Ας θεωρήσουμε το μοντέλο αναπηδίασης του διπλανού σχήματος. Πρόκειται για ένα όχημα με ένα μόνο βαθμό ελευθερίας.

Αν συμβολίσουμε με ω_a την ιδιοσυχνότητα της ανηρτημένης μάζας m_a , με $\omega_{μa}$ την ιδιοσυχνότητα της μη ανηρτημένης μάζας του οχήματος $m_{μa}$, με k_a τη σταθερά ελατηρίου της ανάπτυξης και με k_b τη σταθερά του ισοδύναμου με το ελαστικό ελατηρίου, θα έχουμε:

$$\omega_{μa} = \sqrt{\frac{k_a k_b}{m_a (k_a + k_b)}} \quad \text{, Σχ/ση 4-31 και}$$

$$\omega_a = \sqrt{\frac{k_a + k_b}{m_{μa}}} \quad \text{, Σχ/ση 4-32.}$$

Σε τι, όμως, μας χρησιμεύουν αυτές οι σχέσεις. Όταν, ο τροχός προσκρούει σε μια ανωμαλία του οδοστρώματος, αρχίζει να ταλαντώνεται. Μετά από ελάχιστο χρόνο φθάνει σε μια συχνότητα, έστω ν_e . Για την ανηρτημένη μάζα m_a , η ταλάντωση αυτή (της μη ανηρτημένης μάζας $m_{μa}$, με συχνότητα ν_e) αποτελεί διεγέρση, με τη ν_e να είναι η συχνότητα διεγέρσεως. Όσο περισσότερο διαφέρει ο λόγος $\frac{\nu_e}{\omega_a}$, της συχνότητας διεγέρσεως προς την ιδιοσυχνότητα, από τη μονάδα, τόσο μικρότερη είναι η μεταδοτικότητα της ταλάντωσης. Ακόμα, όσο μικρότερος είναι ο λόγος $\frac{m_a}{m_{μa}}$, της ανηρτημένης προς τη μη ανηρτημένη μάζα, τόσο μικρότερη θα είναι η διεγέρση και άρα τόσο λιγότερο θα επηρεάζεται το όχημα.

► 4.5 Λειτουργικές εξισώσεις αναπηδίασης και καλπασμού.

Οι διαφορικές εξισώσεις της ταλάντωσης, που εκτελεί ένα όχημα, όταν συνυπάρχει αναπηδίαση και καλπασμός, είναι:

$$m_a \frac{d^2 z}{dt^2} + k_f (z - l_a \Theta) + k_r (z + l_b \Theta) = 0 \quad \text{, Σχ/ση 4-33 και}$$

$$I_y \frac{d^2 \Theta}{dt^2} - k_f l_a (z - l_a \Theta) + k_r l_b (z + l_b \Theta) = 0 \quad \text{, Σχ/ση 4-34.}$$

όπου m_a είναι η ανηρτημένη μάζα, z οι κατακόρυφες ταλαντώσεις, Θ οι γωνιακές ταλαντώσεις, k_f και k_r οι σταθερές των ελατηρίων του εμπρός και πίσω άξονα, αντίστοιχα, l_a και l_b οι αποστάσεις του εμπρός και πίσω άξονα, αντίστοιχα, και I_y η ροπή αδράνειας της μάζας m_a , ως προς εγκάρσιο κεντροβαρικό άξονα. Η ροπή αδράνειας δίνεται από τη σχέση:

$$I_y = m_a \cdot r_y^2 \quad \text{, Σχ/ση 4-35,}$$

όπου r_y είναι η ακτίνα αδρανείας κατά τη διεύθυνση Oy .

Παρατηρούμε ότι στις παραπάνω σχέσεις συνυπάρχουν οι εξής σταθερές

$$D_1 = \frac{k_f + k_b}{m_a}, \text{ Σχίσση 4-36,}$$

$$D_2 = \frac{k_f l_b - k_b l_a}{m_a}, \text{ Σχίσση 4-37 και}$$

$$D_3 = \frac{k_f l_a^2 + k_b l_b^2}{I_y} = \frac{k_f l_a^2 + k_b l_b^2}{m_a r_y^2}, \text{ Σχίσση 4-38.}$$

Έτσι οι σχέσεις 4-35 και 4-34, βάσει των σχέσεων 4-36, 4-37, 4-37 και 4-38 γίνονται:

$$\frac{d^2 z}{dt^2} + D_1 z + D_2 \Theta = 0, \text{ Σχίσση 4-39 και}$$

$$\frac{d^2 \Theta}{dt^2} + D_3 \Theta + \frac{D_2}{r_y^2} z = 0, \text{ Σχίσση 4-40.}$$

Από τις σχέσεις 4-39 και 4-40 συμπεραίνουμε ότι αν $D_2 = 0$ τότε γίνεται αποσύνδεση των ταλαντώσεων κατά z και Θ . Έχουμε λοιπόν ότι:

$$D_2 = 0 \Rightarrow k_f l_b = k_b l_a \Rightarrow \frac{k_f}{k_b} = \frac{l_b}{l_a}, \text{ Σχίσση 4-41.}$$

Παρατηρούμε, δηλαδή, ότι φτάνουμε στην ίδια συνθήκη με αυτή της σχέσης 4-50. Στην περίπτωση αυτή οι δύο ιδιοσυχνότητες δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\omega_z = \sqrt{D_1}, \text{ Σχίσση 4-42 και}$$

$$\omega_\Theta = \sqrt{D_3}, \text{ Σχίσση 4-43.}$$

όπου ω_z είναι η ιδιοσυχνότητα της ανηρημένης μάζας m_a , για κατακόρυφες ταλαντώσεις (αναπήδηση) και ω_Θ η ιδιοσυχνότητα της ανηρημένης μάζας m_a , για τις γωνιακές ταλαντώσεις (καλπασμός).

Στη γενική περίπτωση, που $D_2 \neq 0$, οι δύο ιδιοσυχνότητες υπολογίζονται αντικαθιστώντας στις σχέσεις 4-39 και 4-40 λύσεις της μορφής:

$$z = z_0 \cos \omega t \text{ και } \Theta = \Theta_0 \cos \omega t,$$

οπότε προκύπτουν οι αλγεβρικές εξισώσεις για τα πλάτη ταλάντωσης z και Θ :

$$(D_1 - \omega^2) z + D_2 \Theta = 0, \text{ Σχίσση 4-44 και}$$

$$\frac{D_2}{r_y^2} z + (D_3 - \omega^2) \Theta = 0, \text{ Σχίσση 4-45.}$$

Το σύστημα επιδέχεται μη μηδενικές λύσεις, όταν η ορίζουσά του είναι ίση με το μηδέν. Οπότε προκύπτει το χαρακτηριστικό πολυώνυμο του συστήματος των εξισώσεων:

$$\omega^4 - (D_1 + D_3) \omega^2 + \left(D_1 D_3 - \frac{D_2^2}{r_y^2} \right) = 0, \text{ Σχίσση 4-46.}$$

Οι δύο ρίζες ω_1 και ω_2 , της παραπάνω εξίσωσης (αφού οι αρνητικές τιμές απορρίπτονται) δίνονται παρακάτω και είναι οι:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{D_1 + D_3}{2}} - \sqrt{\frac{(D_1 - D_3)^2}{4} + \frac{D_2^2}{r_y^2}}, \text{ Σχίσση 4-47 και}$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{D_1 + D_3}{2}} + \sqrt{\frac{(D_1 - D_3)^2}{4} + \frac{D_2^2}{r_y^2}}, \text{ Σχίσση 4-48.}$$

Οι ιδιοσυχνότητες ω_1 και ω_2 βρίσκονται πάντα εκτός των ω_c και ω_{ch} , των αποσυζευγμένων κινήσεων.

Από τις σχέσεις 4-44 και 4-46 υπολογίζονται και τα ιδιοδιανύσματα, τα οποία, στην ουσία, δίνουν το μέγιστο λόγο ευρών.

Για την ω_1 είναι:

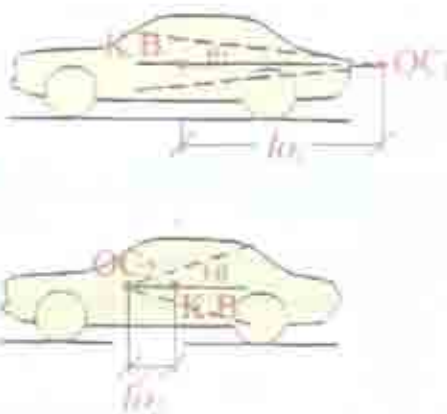
$$\frac{z}{\Theta} \Big|_{\omega_1} = \frac{D_2}{\omega_1^2 - D_1}, \text{ Σχίσση 4-49}$$

και για την ω_2 είναι:

$$\frac{z}{\Theta} \Big|_{\omega_2} = \frac{D_2}{\omega_2^2 - D_1}, \text{ Σχίσση 4-50.}$$

Οι δύο αυτοί όροι έχουν αντίθετο πρόσημο.

► 4.6 Κέντρα ταλαντώσεως



Εικόνα 37.

Τα κέντρα ταλαντώσεως σε ένα όχημα.

αναφέρεται στην ταλάντωση καλψισμού. Η απόσταση του OC_2 από το κέντρο βάρους είναι l_{02} , όπου το τελευταίο δίνεται από τη σχέση:

Για να κατανοηθούν καλύτερα οι ταλαντώσεις αναπηδήσεως και καλψισμού, εισάγεται η έννοια του κέντρου ταλαντώσεως OC . Υπάρχουν δύο κέντρα ταλαντώσεως.

Το κέντρο ταλαντώσεως OC_1 αντιστοιχεί στην ιδιοσυχνότητα ω_1 και αναφέρεται στην ταλάντωση αναπηδήσεως. Η απόσταση του OC_1 από το κέντρο βάρους είναι l_{01} , όπου το τελευταίο δίνεται από τη σχέση:

$$l_{01} = \frac{D_2}{\omega_1^2 - D_1}, \text{ Σχίσση 4-51.}$$

Το OC_1 βρίσκεται μετά το κέντρο βάρους, προς την πίσω μεριά του οχήματος, όπως φαίνεται και στο διπλανό σχήμα.

Το κέντρο ταλαντώσεως OC_2 αντιστοιχεί στην ιδιοσυχνότητα ω_2 και

$$\omega_2 = \frac{D_2}{\omega_1^2 - D_1}, \text{ Σχίσση 4-53.}$$

Το OC_2 βρίσκεται εμπρός από το κέντρο βάρους, προς την μπροστινή πλευρά του οχήματος.

Γενικά, μια διέγερση, στο εμπρός μέρος του οχήματος, συνεπάγεται τόσο μια κίνηση αναπηδήσεως, όσο και μία καλπασμού. Θα αντιστοιχεί, δε, σε ταλάντωση γύρω από κάθε ένα από τα κέντρα ταλάντωσης OC_1 και OC_2 . Με άλλα λόγια, η κίνηση του οχήματος θα είναι το άθροισμα των δύο συνιστωσών κινήσεων, η κάθε μία από τις οποίες γίνεται γύρω από το αντίστοιχο κέντρο ταλάντωσης.

Η θέση των κέντρων ταλάντωσης έχει πρακτική επίδραση, επί των ιδιοτήτων του οχήματος. Ενδιαφέρουσα είναι η περίπτωση των αποσυζευγμένων ταλαντώσεων αναπηδήσεως και καλπασμού, που, όπως είπαμε, συμβαίνει όταν ικανοποιείται η σχέση 4-30,

(ή η σχέση 4-41), δηλαδή όταν $\frac{k_f}{k_r} = \frac{l_b}{l_a}$. Σε αυτή την περίπτωση, το κέντρο ταλάντωσης

αναπηδήσεως OC_1 συμπίπτει με το κέντρο βάρους, ενώ το κέντρο ταλάντωσης καλπασμού OC_2 βρίσκεται στο άπειρο.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα περίπτωση είναι όταν ισχύει

$$r_y^2 = l_a \cdot l_b$$

Σε αυτή την περίπτωση, το ένα κέντρο ταλάντωσης συμπίπτει με το σημείο στηριζέως του εμπρός ελατηρίου και το άλλο με το σημείο στηριζέως του πίσω ελατηρίου. Αυτό μπορεί να επιβεβαιωθεί αν θέσουμε $l_1 = l_a$ και $l_2 = l_b$.

Στην περίπτωση αυτή έχουμε το μοντέλο του διπλανού οχήματος, όπου η ανηρτημένη μάζα m_a θεωρείται ότι χωρίζεται σε δύο μάζες m_1 και m_2 , όπου $m_1 = \frac{m_a l_b}{l_a + l_b}$ και $m_2 = \frac{m_a l_a}{l_a + l_b}$. Οι

μάζες αυτές είναι τοποθετημένες επί των ελατηρίων. Δημιουργούνται, δηλαδή, δύο ισοδύναμα συστήματα συγκεντρωμένων μαζών, με ένα βαθμό ελευθερίας το κάθε ένα.

Εικόνα 38.

Ισοδύναμο σύστημα συγκεντρωμένων μαζών, πάνω από τις ανηρτησεις.

Οι ιδιοσυχνότητες ω_f , για το μπροστινό μέρος, και ω_r , για το πίσω, δίνονται από τις σχέσεις

$$\omega_f = \sqrt{\frac{k_f (l_a + l_b)}{m_a l}} \text{ και } \omega_r = \sqrt{\frac{k_r (l_a + l_b)}{m_a l}}, \text{ Σχίσση 4-53.}$$

Στην περίπτωση αυτή, δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ της εμπρός και της πίσω ανάρτησης. Έτσι, μια διέγερση στους εμπρός τροχούς δεν προκαλεί καμία ταλάντωση στους πίσω. Κάτι τέτοιο είναι επιθυμητό στην πράξη, αλλά δύσκολα επιτυγχάνεται. Συνήθως ο

λόγος $\frac{r_y^2}{l_a \cdot l_b}$ κυμαίνεται μεταξύ των τιμών $0.8 \leq \frac{r_y^2}{l_a \cdot l_b} \leq 1.2$, με τις μεγαλύτερες τιμές να

αφορούν προσθιοκίνητα επιβατικά και τις μικρότερες πίσωκίνητα σπορ αυτοκίνητα.

Όταν υπολογίζονται οι ω_f και ω_r , πρέπει να είναι ληφθεί υπ' όψιν ότι μια διέγερση από το δρόμο δρα πρώτα στους εμπρός τροχούς και, με μια μικρή καθυστέρηση, στους πίσω. Αυτό προκαλεί και την κίνηση καλπασμού του οχήματος. Για να ελαχιστοποιηθεί αυτή η ταλάντωση, θα πρέπει να επιλεγεί $k_f < k_r$ και $\omega_f < \omega_r$, έτσι ώστε τα δύο άκρα του οχήματος να έχουν την ίδια φάση στην κίνησή τους. Ο επιθυμητός λόγος εξαρτάται από το μεταξόνιο l , την ταχύτητα του αυτοκινήτου και την κατάσταση του δρόμου.

► 4.7 Αντιστρεπτικές δοκοί.



Εικόνα 39.

Στην εικόνα σημειώνεται η αντιστρεπτική δοκός με κόκκιτο χρώμα.

έχει καμία δράση



Εικόνα 40.

Λόγω της παρουσίας αντιστρεπτικής δοκού, μειώνεται δραματικά η κλίση του αυτοκινήτου στις στρώφες.

αντιστρεπτική προσφέρει μεγαλύτερα περιθώρια πρόσφυσης, αλλά και πιο απότομες αντιδράσεις όταν αυτή (η πρόσφυση) χαθεί. Κατά κανόνα βαρύτερα και γρηγορότερα αυτοκίνητα χρησιμοποιούν παχύτερες αντιστρεπτικές.

Εξαιρεση στον κανόνα αποτελούν οι βρετανοί κατασκευαστές σπορ αυτοκινήτων (Lotus), που επιμένουν στη μη χρησιμοποίηση αντιστρεπτικών δοκών, προτιμώντας την τοποθέτηση σκληρότερων ελατηρίων-αμορτισέρ.

Ασχοληθήκαμε αναλυτικά με τις διαμήκεις ταλαντώσεις ενός οχήματος. Χωρίς όμως τον κατάλληλο σχεδιασμό είναι δυνατό να εμφανιστούν και εγκάρσιες ταλαντώσεις.

Σκοπός των αντιστρεπτικών δοκών είναι να εξαλείφουν αυτές ακριβώς τις ταλαντώσεις, αλλά και τις κλίσεις του οχήματος, κατά τη διάρκεια μιας στρώφης.

Πρόκειται για ράβδους στρέψης, που ενώνουν τις πλήμνες των τροχών, του ίδιου άξονα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, όταν ο ένας από τους δύο τροχούς κινείται προς τα πάνω, για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια μιας στρώφης, να συμπαρασύρει και τον άλλο. Όταν, όμως, το αυτοκίνητο συναντά ένα εγκάρσιο εμπόδιο και με τους δύο τροχούς, η αντιστρεπτική δεν

Πρόκειται, λοιπόν, για ένα επιπλέον ελατήριο, που συνδέει τους τροχούς του ίδιου άξονα, και ενεργεί μόνο όταν παρουσιάζεται απόκλιση στις βηθίσεις των αναρτήσεων του δεξιού και του αριστερού τροχού.

Με τη χρήση της αντιστρεπτικής, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν μαλακότερα ελατήρια και αμορτισέρ, χωρίς να εμφανίζονται υπερβολικές κλίσεις στις στρώφες, με προφανή οφέλη στην άνεση.

Η σκληρότητα της αντιστρεπτικής καθορίζεται από το υλικό και από το πάχος της. Μία σκληρότερη

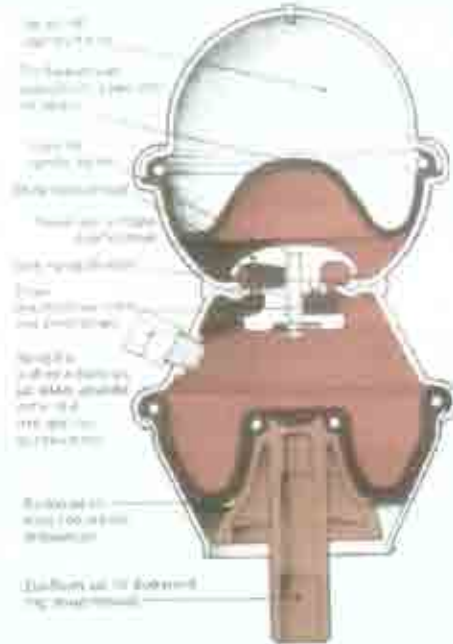
► 4.8 Υδροπνευματική ανάρτηση.

Μέχρι τώρα ασχοληθήκαμε με συστήματα ανάρτησης, που χρησιμοποιούν ελατήρια (κάθε μορφής) και αμορτισέρ, μιας και όλοι σχεδόν οι κατασκευαστές τα χρησιμοποιούν στη συντριπτική πλειοψηφία των μοντέλων τους. Υπάρχει όμως, μία εταιρεία, που από το 1959 και μετά "τραβάει" το δικό της δρόμο, χρησιμοποιώντας, με μεγάλη επιτυχία, ένα υδροπνευματικό σύστημα. Η εταιρεία αυτή δεν είναι άλλη από τη Citroen. Καμία άλλη μάρκα δεν είναι τόσο συνυφασμένη με το σύστημα ανάρτησης που χρησιμοποιεί.

Η υδροπνευματική, έχει φανατικούς οπαδούς, αλλά και φανατικούς εχθρούς. Σε κάθε περίπτωση, πάντως, δεν περνάει απαρατήρητη, όπως και όλα τα πράγματα, που διαθέτουν έντονη προσωπικότητα. Πάντως, είναι παραδεκτό από όλους ότι η άνεση που προσφέρει το σύστημα είναι ασυναγώνιστη, πετυχαίνοντας, παράλληλα, πολύ καλά οδικά χαρακτηριστικά.

Ας πάρουμε, όμως, τα πράγματα από την αρχή. Στα μέσα του προηγούμενου αιώνα,

η



Εικόνα 41.

Το 1959 η Citroën τολμάει το νερό, λανσάροντας την αξεπέραστη DS, το πρώτο αυτοκίνητο της φίρμας που χρησιμοποιεί υδροπνευματική ανάρτηση, με αποτέλεσμα να μπορεί να σηκώσει και με τρεις ρόδες! Στην κάτω φωτογραφία η Xantia αναζητά την παραδόση, ενώ δεξιά φαίνεται η όμοιά της "σφαίρα", που χρησιμοποιεί η ανάρτηση. Άξιο αναφοράς: Προσέξτε το επίπεδο ύψους της DS, δείγμα της προσοχής που είχε δοθεί στην αεροδυναμική. (Ο συντελεστής αεροδυναμικής αντίστασης ήταν $C_x = 0,28!$ και είναι κορυφαίος ακόμη και σήμερα!)

Άνεση ήταν συνώνυμη με το κακό κράτημα. Οι μαλακές ανάρτησεις, με τις τεράστιες διαδρομές, ήταν η μόνη λύση, για την απορρόφηση των ανωμαλιών του εδάφους, με αποτέλεσμα η διατήρηση της σωστής γεωμετρίας των τροχών να αποτελεί ουτοπία και τα αυτοκίνητα να έχουν απαράδεκτα οδικά χαρακτηριστικά.



Εικόνα 42.

Η υδροπνευματική είναι ιδανική για γιγαντοκίνηση, αφού το αυτοκίνητο παραμένει οριζόντιο!

Η κατάσταση αυτή διατηρήθηκε μέχρι και το 1959. Τότε, η Citroën παρουσιάζει τη χαρισματική DS, γνωστότερη και ως "βάτραχος", αλλάζοντας τις ισορροπίες. Από τότε και μετά, τα αυτοκίνητα μπορούσαν να είναι άνετα, να γέρνουν στις στροφές, αλλά και να κρατούν απίστευτα στο δρόμο, με τα δεδομένα της εποχής και όχι μόνο.

Η υδροπνευματική συνέχισε να χρησιμοποιείται σε όλες τις μεγάλες Citroën, γνωρίζοντας συνεχή εξέλιξη. Το 1995 παρουσιάζεται η Xantia Activa, συνδυάζοντας όλα τα πλεονεκτήματα της υδροπνευματικής με την απουσία κλίσεων. Η τελευταία γενιά του συστήματος, Hydractive 3, χρησιμοποιείται

σήμερα στο Citroen C5. Πρόκειται για μία σκεπτόμενη, υδροενεργητική ανάρτηση. Πριν πάμε, όμως, εκεί ας δούμε τη δομή και τα χαρακτηριστικά του συστήματος.



Εικόνα 43

Η Citroen C5 και το διάγραμμα λειτουργίας της ανάρτησής της.

Αντί των παραδοσιακών ελατηρίων-αμορτισέρ, το σύστημα των γάλλων χρησιμοποιεί μια ενιαία μονάδα, γνωστή και ως "σφαίρα". Το πάνω μισό της σφαίρας είναι γεμάτο με άζωτο, σε αέρια μορφή, υπό υψηλή πίεση. Το κάτω μέρος περιέχει ειδικό λάδι. Τα δύο υλικά διαχωρίζονται μεταξύ τους με μια ελαστική μεμβράνη.

Στην απλή, αρχική μορφή του, το σύστημα είχε μία σφαίρα, ανά κάθε τροχό. Σήμερα έχει έξι σφαίρες (μία για κάθε τροχό και μία επιπλέον για κάθε άξονα). Σε κάθε περίπτωση



Εικόνα 44

Οι τρεις θέσεις ύψους της Xantia.

όλες οι σφαίρες επικοινωνούν μεταξύ τους, μέσω ενός υδραυλικού κυκλώματος, που περιλαμβάνει (εκτός από τις σωληνώσεις) μια αντλία, που παρέχει την απαραίτητη πίεση στο κύκλωμα, και ένα ρεζερβουάρ, για την αποθήκευση του πλεονάζοντος λαδιού.



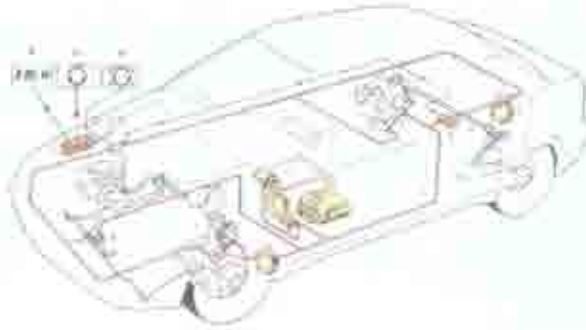
Το πεπιεσμένο αέριο, σαν συμπιεσμένο μέσο που είναι, "παίζει" το ρόλο του ελατηρίου. Όταν η ανάρτηση ενός τροχού συμπιέζεται, ένα έμβολο πιέζει το λάδι στην αντίστοιχη σφαίρα, με αποτέλεσμα να συμπιέζεται το αέριο. Όταν η ανάρτηση επανέλθει στη φυσιολογική της θέση, το αέριο αποσυμπιέζεται και το επιπλέον λάδι επιστρέφει από τη σφαίρα στο ρεζερβουάρ, με ελεγχόμενο και ομαλό τρόπο, έτσι ώστε να αποφεύγεται η έναρξη μιας ταλάντωσης, χωρίς να χρειάζονται αμορτισέρ.

Η ελεύθερη κυκλοφορία του λαδιού, ανάμεσα στις σφαίρες, εξασφαλίζει ένα σημαντικό

Εικόνα 45

Citroen Xantia Activa. Το αέριο πιέζει στη φωτογραφία στρίβει με 100 km/h!

πλεονέκτημα. Την παροχή περισσότερου λαδιού, από τις σφαίρες που φορτίζονται λιγότερο, προς αυτές που φορτίζονται περισσότερο. Έτσι, το αυτοκίνητο διατηρεί σταθερό το ύψος του από το έδαφος, ανεξαρτήτως φορτίου, με σαφή πλεονεκτήματα στην οδική συμπεριφορά, εξ'



Εικόνα 46.

Απόρριμμα λειτουργίας της Xantia Active.

αιτίας της διατήρησης της γεωμετρίας της ανάρτησης. Ακόμα και στην περίπτωση που λείπει ο ένας από τους δύο πίσω τροχούς, το αυτοκίνητο μπορεί να κυκλοφορήσει κανονικά. Η ανάρτηση έχει ακόμα τη δυνατότητα να αυξομειώσει το ύψος από το έδαφος. Έτσι, μπορεί το αυτοκίνητο να "κάτσει" κυριολεκτικά πάνω στις ανάρτησεις του, για να διευκολυνθεί η φόρτιση βαρέων αντικειμένων, ή να ανιψωθεί, ώστε να διευκολυνθεί η προσπέλαση από ανώμαλα εδάφη, ή μέσα από πολλά νερά. Όλα τα παραπάνω συνδυάζονται με μια παροιμιακή άνεση, αφού κυριολεκτικά "σιδερόνοι" το δρόμο,

προσδίδοντας στις μεγάλες Citroen ένα μοναδικό χαρακτήρα.

Όμως, οι γάλλοι μηχανικοί δεν έμειναν εκεί. Εξέλιξαν το σύστημα, προσθέτοντάς



Εικόνα 47.

Η διαφορά κλίσης, στην ίδια στροφή, με την ίδια ταχύτητα, ανάμεσα στη δεξιά Xantia (Active) και την αριστερή (απλή) (κλίση) είναι εμφανής. Το μεγαλύτερο ποσοστό κλίσης, στη Xantia, προέρχεται από τα ελαστικά!

του ηλεκτρονικό έλεγχο. Το σύστημα Hydractive II, που παρουσιάστηκε με το λανσάρισμα της Xantia, μπορούσε να σκληραίνει αυτόματα την ανάρτηση σε δύσκολες συνθήκες, όπως είναι η γρήγορη οδήγηση σε στροφές και οι απότομες επιταχύνσεις-επιβραδύνσεις.

Η ρύθμιση γίνεται τόσο με τον έλεγχο της ποσότητας του αερίου,

που υπάρχει μέσα στις σφαίρες (όσον αφορά τη σκληρότητα των ελατηρίων), όσο και με τον έλεγχο του αριθμού των διόδων, μέσα από τις οποίες το υγρό περνάει από τις σφαίρες στο κύκλωμα (όσον αφορά το βαθμό απόσβεσης). Όσο περισσότερο αέριο υπάρχει μέσα στις σφαίρες και από όσες περισσότερες διόδους περνάει το υγρό, τόσο πιο μαλακή είναι η ανάρτηση. Η λειτουργία του συστήματος ελέγχεται από έναν μικροϋπολογιστή.

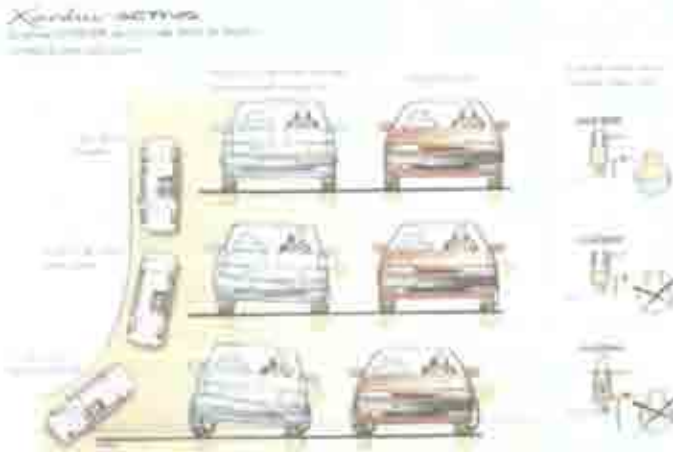
Στις στροφές, εκτός του ότι σκληραίνει η ανάρτηση, διακόπτεται και η επικοινωνία των σφαιρών, της δεξιάς και της αριστερής πλευράς, με τη βοήθεια δύο ενδιάμεσων σφαιρών (από μία σε κάθε άξονα), περιορίζοντας έτσι ακόμα περισσότερο την τάση του αμαξώματος να γείρει.

Η κορυφαία μορφή της Hydractive II, που εξόπλιζε την Xantia Active, συνεργαζόταν με ένα σύστημα ενεργού περιορισμού κλίσεων, που η Citroen ονόμασε SC CAR. Επρόκειτο για ένα παράλληλο ανεξάρτητο σύστημα, που σκοπός του ήταν να διατηρεί τις κλίσεις του αμαξώματος, σε κάθε περίπτωση, κάτω από τις 0,5"! Η όλη λειτουργία της ανάρτησης ελεγχόταν από μία κεντρική μονάδα ελεγχού, όπου επαιρνε εισόδους από αισθητήρες θέσης, αλλά και ταχύτητας στροφής του τιμονιού, θέσης πεταλούδας γκαζιού, ταχύτητα οχήματος και πίεσης στο πεντάλ του φρένου.

Το σύστημα βασίζεται στην τοποθέτηση πολύ παχύτερων αντιστρεπτικών, 28mm μπροστά και 25 mm πίσω. Κανονικά, θα έπρεπε στην ευθεία το αυτοκίνητο να αντιδρά άταλα, σε οποιαδήποτε ανωμαλία. Για το λόγο αυτό, το αριστερό άκρο της εμπρός και το

δεξιά της πίσω αντιστρεπτικής ράβδου, συνδέεται, μέσω δύο ειδικών υδραυλικών κυλίνδρων, σε δύο σφαίρες, επιπέδον αυτών της υδροπνευματικής. Οι σφαίρες αυτές μειώνουν στο μισό την ακαμψία των αντιστρεπτικών ραβδών, εξασφαλίζοντας έτσι μεγάλη άνεση, όταν το αυτοκίνητο κινείται σε ευθεία.

Στις στροφές, οι σφαίρες απομονώνονται και οι αντιστρεπτικές λειτουργούν με όλη



Εικόνα 48.

Ο τρόπος λειτουργίας της ανάρτησης της Activa, σε ευθεία, ανώματη κομπή και κλιματή στροφή.

τους την ακαμψία. Στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτό είναι αρκετό, για την απουσία κλίσεων του αμαξώματος. Σε πιο κλειστές στροφές, που διαγράφονται με μεγάλη ταχύτητα, αρχίζουν να παρουσιάζονται κάποιες μικρές κλίσεις, που ελέγχονται από το σύστημα. Μόλις η κλίση αγγίζει τις $0,5^\circ$ τίθεται σε λειτουργία ο ρυθμιστής κλίσης. Ο ρυθμιστής αυτός μεταβάλλει την ποσότητα του υγρού απ' ευθείας μέσα στους κυλίνδρους των αντιστρεπτικών, από ανεξάρτητο κύκλωμα, που παρακάμπτει τις σφαίρες τους.

Το σύστημα μπορεί να ανταποκριθεί μέσα σε $0,05$ Sec, μαζί με το χρόνο ενεργοποίησης

των ηλεκτροβαλβίδων, με αποτέλεσμα να προσαρμόζεται, ουσιαστικά, κατά την έναρξη μιας στροφής. Στο δρόμο η Xantia Activa είχε εκπληκτική συμπεριφορά, ενθουσιάζοντας όσους την οδήγησαν με την παντελή απουσία κλίσεων. Εξ' αιτίας της μη μεταφοράς βάρους, στη διαδικασία του κύκλου η Activa άγγιξε τα $1,2$ g πλευρικής επιτάχυνσης, τη στιγμή που τα περισσότερα αυτοκίνητα, ακόμα και σήμερα, δυσκολεύονται να αγγίξουν τα $0,9$!



Εικόνα 49.

Η Citroen C5 και ο διακόπτης ρύθμισης του ύψους από το έδαφος.

Η τελευταία εξέλιξη της υδροπνευματικής ανάρτησης ακούει στο όνομα Hydactive III και τοποθετείται αποκλειστικά στη Citroen C5, το μοναδικό αυτοκίνητο με υδροπνευματική ανάρτηση σήμερα.

Το σύστημα είναι εντελώς ενεργητικό και είναι σε θέση να αποφασίζει για την απαιτούμενη σκληρότητα και απόσβεση, ανά πάσα στιγμή. Με τον τρόπο αυτό μειώνονται οι κλίσεις στις στροφές, χωρίς να αλλοιώνεται καθόλου η άνεση. Οι

κλίσεις είναι μεν μεγαλύτερες από αυτές που έπαρνε η Xantia Activa, αλλά η άνεση είναι αναβαθμισμένη. Το τελικό αποτέλεσμα στο δρόμο είναι πάρα πολύ καλό, αφού η ανάρτηση απομονώνει εντελώς την καμπίνα των επιβατών από το δρόμο.

Στο C5 διατηρούνται όλα τα πλεονεκτήματα των προηγούμενων υδροπνευματικών συστημάτων, όπως η σταθερή απόσταση από το έδαφος, η ρύθμιση του ύψους από το έδαφος, η δυνατότητα κίνησης με τρεις μόνο τροχούς και η παρομοιώδης άνεση, με την παντελή απουσία τάσεων πλευσεως. Παράλληλα έχει προστεθεί και ένα νέο. Το σύστημα έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει την απόσταση του αυτοκινήτου από το έδαφος, ανάλογα με την ταχύτητα. Έτσι, όταν το αυτοκίνητο κινείται στον αυτοκινητόδρομο, με ταχύτητες άνω των 110 km/h, το σύστημα δίνει εντολή τόσο στην εμπρός, όσο και στην πίσω ανάρτηση να χαμηλώσουν (η εμπρός χαμηλώνει περισσότερο από την πίσω). Η ενέργεια αυτή βοηθάει

στην σταθερότητα του αυτοκινήτου, αφού "κατεβαίνει" το κέντρο βάρους, αλλά και στην αεροδυναμική

► 4.9 Ενεργητικές αναρτήσεις

Στην προηγούμενη ενότητα έγινε λόγος για ενεργητικές αναρτήσεις. Με τον όρο αυτό εννοούμε τα συστήματα ανάρτησης, που, ανάλογα με τις συνθήκες, μπορούν και προσαρμόζουν την σκληρότητα και την απόσβεσή τους. Ένα συμβατικό σύστημα ανάρτησης, όσο καλοσχεδιασμένο και να είναι, θα αποτελεί πάντοτε ένα συμβιβασμό. Το ιδανικό θα είναι ένα σύστημα που να μπορεί να αντιλαμβάνεται τις εκάστοτε συνθήκες οδήγησης και να δρα αναλόγως.



Εικόνα 50.

Ηλεκτρονικό τελεργαμμένο αμορτισέρ της Lotus.

Οι πρώτες έρευνες, στο θέμα, ξεκίνησαν κάπου κοντά στο 1980 και μία από τις πρώτες εταιρείες που ασχολήθηκαν ήταν η Lotus. Η ιδέα ξεκίνησε από τα αυτοκίνητα της Formula 1, θεσμός στον οποίο συμμετείχε τότε η Lotus. Με την πρόοδο της αεροδυναμικής και την ανάπτυξη υψηλών τιμών αρνητικής αντωσης, τα μονοθέσια άρχισαν να δέχονται μεγάλα κατακόρυφα φορτία, με αποτέλεσμα οι (συμβατικές) αναρτήσεις τους να γίνουν πολύ σκληρές. Τότε ήταν που οι μηχανικοί της εταιρείας έκανα τα πρώτα πειράματα.

Η πρώτη εφαρμογή έγινε σε μια Lotus Esprit. Το κύκλωμα ελέγχου ήταν αναλογικό και ως ελαστικά μέσα είχαν χρησιμοποιηθεί ελατήρια, συνδυαζόμενα με ηλεκτρονικά ελεγχόμενα αμορτισέρ. Τα αμορτισέρ αυτά μπορούσαν να μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά απόσβεσής τους, μέσω ενεργοποιητών. Επρόκειτο, ουσιαστικά, για μικρούς σερβοκινητήρες που κινούσαν ειδικές βαλβίδες διαφυγής λαδιού, στο εσωτερικό του αμορτισέρ, μεταβάλλοντας έτσι την αντίσταση στη ροή και άρα την απόσβεση. Υπήρχαν μόνο δύο θέσεις (σκληρή-μαλακή), αλλά και η δυνατότητα ρύθμισης του ύψους, μέσω ενός υδραυλικού κυκλώματος. Οι ενεργοποιητές τοποθετούνταν



Εικόνα 51.

Οι ενεργοποιητές στην πίσω κινούν τις βαλβίδες διαφυγής του λαδιού εσωτερικά στο αμορτισέρ.

στο πάνω στήριγμα των αμορτισέρ, στο θόλο του φτερου, όπως φαίνεται και στη σχετική εικόνα.

Τα αποτελέσματα του πρώτου πειράματος ήταν ενθαρρυντικά και ακολούθησε μια δεύτερη εφαρμογή στο μονοθέσιο T92 της Lotus, το 1982. Παρότι το μονοθέσιο επιβαρύνθηκε με 45 επιπλέον κιλά, τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά. Το "ζύγισμα" και το κράτημα του αυτοκινήτου ήταν σαφώς βελτιωμένα (η ταχύτητα στις στροφές

αυξήθηκε κατά 10%), εμφανίζοντας παράλληλα και καλύτερη απόκριση στις απότομες αλλαγές κατεύθυνσης.

Η προσπάθεια συνεχίστηκε με την τοποθέτηση του συστήματος στη Lotus Esprit



Turbo. Το κύκλωμα ελέγχου έγινε πλέον ψηφιακό και προστέθηκε σύστημα αυτοδιαγνωσης. Τα αποτελέσματα

ήταν ικανοποιητικά και έδειξαν ότι η μαζική παραγωγή μπορούσε να γίνει εφικτή, αν μπορούσαν να περιοριστούν δύο μεγάλα μειονεκτήματα. Το υψηλό κόστος και η αυξημένη κατανάλωση ισχύος, που κυμαινόταν από 5-10 Hp. Δυστυχώς, τα μετέπειτα οικονομικά προβλήματα της Lotus σταμάτησαν την έρευνα της εταιρείας, προς αυτό τον τομέα.

Εικόνα 52

Μία από τις πρώτες εφαρμογές ενεργητικής απόσβεσης. Στην ίδια στρώση, με την ίδια ταχύτητα, η αριστερή Lotus Esprit, με τη συμβατική ανάρτηση, παύει να κινείται, μεγαλύτερες κλίσεις από τη δεξιά, με την ενεργητική.

Τα πολύ ενδιαφέροντα, όμως, αποτελέσματα, των πρώτων πειραμάτων, κίνησαν το ενδιαφέρον όλων των μεγάλων κατασκευαστών, που άρχισαν να ασχολούνται σοβαρά με την υπόθεση "ενεργητική ανάρτηση". Παρουσιάστηκαν αρκετά αυτοκίνητα με ηλεκτρονικά ελεγχόμενα αμορτισέρ, από πολλούς ευρωπαίους, αμερικανούς και ιαπωνέζους κατασκευαστές, αν και στην Ελλάδα, λόγω του κόστους τους, δεν έφτιασαν σχεδόν ποτέ.

Ένας σημαντικός σταθμός ήταν το 1998, χρονιά που παρουσιάστηκε η τελευταία γενιά της Mercedes S-Class. Η γερμανική εταιρεία, στοχεύοντας στην όσο το δυνατό



Εικόνα 53

Ελαφής ανάρτηση, σχίσμα φάντασμα και μαγνητικό σύστημα της Mercedes S-Class, με την ηλεκτρονικά ελεγχόμενη αερανάρτηση.

μεγαλύτερη άνεση, αποφάσισε να καινοτομήσει, παρουσιάζοντας ένα, ελεγχόμενο ως προς την απόσβεση, πνευματικό σύστημα. Η ελαστικότητα της ανάρτησης γίνεται από τον πεπιεσμένο αέρα, που υπάρχει εσώκλειστος μέσα σε μια ειδική μονάδα, για κάθε τροχό, η οποία περικλείει και τα ηλεκτρονικά ελεγχόμενα αμορτισέρ. Την απαραίτητη πίεση στο σύστημα δίνει ένα κομπρέσέρ, που παίρνει κίνηση από τον κινητήρα. Το αυτοκίνητο έχει "προθρονητική" άνεση, συνδυαζόμενη μάλιστα με αρκετά καλά δυναμικά χαρακτηριστικά.

Η επιτυχία της εφαρμογής, ώθησε τη Mercedes στο να εξελίξει το σύστημα και να το προσαρμόσει και σε άλλα, μικρότερα, μοντέλα της γκάμας της. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Mercedes E-Class, που μπορεί να εφοδιαστεί με την τελευταία γενιά του συστήματος, που η γερμανική εταιρεία ονομάζει Airmatic DC. Τα αρχικά DC σημαίνουν Dual Control (διπλός έλεγχος) και αναφέρονται στη νέα διπλή λειτουργία του συστήματος, το οποίο ελέγχει ηλεκτρονικά τόσο την απόσβεση, όσο και την ελαστικότητα της απόσβεσης, για πρώτη φορά σε αυτοκίνητο παραγωγής (αν εξαιρέσει κανείς την υδροενεργητική της Citroen).

Η απόσβεση ελέγχεται μέσω του συστήματος συνεχώς μεταβαλλόμενης απόσβεσης ADS (Adaptive Damping System), που είναι ίδιο με αυτό που χρησιμοποιείται και στην S-Class. Τα αμορτισέρ διαθέτουν τέσσερα επίπεδα ρύθμισης. Το σύστημα προσαρμόζει συνεχώς τα αμορτισέρ, στο πιο κατάλληλο επίπεδο, ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες, λαμβάνοντας υπ' όψιν του την κατάσταση του οδοστρώματος, τον τρόπο οδήγησης και το φορτίο του εκάστοτε τροχού.



Εικόνα 54.

Η Airmatic DC της Mercedes E-Class.

Η χρήση προηγμένων ηλεκτρονικών συστημάτων συνετέλεσε ώστε οι ρυθμίσεις να γίνονται σε πραγματικό χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι, κατά τη διάρκεια μιας στροφής, το σύστημα αλλάζει συνεχώς κατάσταση, βρισκόμενο πάντοτε στην καλύτερη δυνατή. Επιπλέον, πάνω από τα 140 km/h, η ανάρτηση χαμηλώνει κατά 15 mm και επανέρχεται στα κανονικά επίπεδα μόλις η ταχύτητα πέσει κάτω από τα 70 km/h. Τα οφέλη του ελέγχου τόσο της απόσβεσης, όσο και της ελαστικότητας είναι παραπάνω από εμφανή στο δρόμο, όπου η μεσαία Mercedes συμπεριφέρεται πραγματικά πολύ καλά.

Η κορυφαία εφαρμογή της Mercedes και το επίπεδο άνεσης από την αερανάρτηση της S-Class, έβαλαν σε σκέψεις το γερμανικό κολοσσό του ομίλου VW, μέλος του οποίου είναι η Audi. Έτσι, οι μηχανικοί του ομίλου, όταν κλήθηκαν να σχεδιάσουν την ανάρτηση του νέου A8, αντέγραψαν ουσιαστικά το σύστημα της Mercedes.

Το σύστημα της Audi, συνδυαζόμενο με το ελαφρύ (για την κατηγορία του αυτοκινήτου) αλουμινένιο αμάξωμα, προσφέρει κορυφαία, για την κατηγορία, οδική συμπεριφορά και πολύ μεγάλα περιθώρια πρόσφυσης, συνδυαζόμενα με πολύ καλή άνεση. Πρόκειται για ακόμα μια πολύ καλή εφαρμογή, που δείχνει τις



Εικόνα 55.

Η αερανάρτηση του Audi A8.

δυνατότητες του συστήματος.

Το κορυφαίο, ίσως, σύστημα ενεργητικής ανάρτησης στον κόσμο θεωρείται αυτό που εξοπλίζει την κορυφαία Mercedes ειρειαίας παραγωγής, τη CL. Παρουσιάστηκε επίσημα το 1999 (πριν την παρουσίαση του αυτοκινήτου) και ακούει στο αρκτικόλεξο ABC από τις λέξεις Active Body Control (δηλαδή ενεργός έλεγχος αμαξώματος). Η ανάρτηση αυτή αποτελεί πραγματικά τη χρυσή τομή ανάμεσα στα σπορ, δυναμικά χαρακτηριστικά και την υψηλή ποιότητα κίλισης.



Εικόνα 56.

Mercedes CL.

Το σύστημα ABC βασίζεται στη συνεργασία μηχανικών μερών, υδραυλικού κυκλώματος και μικροηλεκτρονικής, με σκοπό τον έλεγχο των κλίσεων και των κινήσεων του αμαξώματος, τόσο κατά τον εγκάρσιο, όσο και κατά το διαμήκη άξονα.



Εικόνα 57.

Αριστερά φαίνεται η υλοποιημένη μονάδα του συστήματος ABC. 1: Αμορτισέρ αερίου, 2: Ελατήριο, 3: Υδραυλικός κυλινδρός, 4: Σηλόνια υδραυλικού υγρού, 5: Κινητό στέλεχος.

Δεξιά επάνω φαίνεται η δομή του συστήματος και κάτω η συμπεριφορά του αυτοκινήτου στο σπάλομ.

συνθήκες, μέσω ενός υδραυλικού κυκλώματος, ελέγχεται η συμπίεση του ελατηρίου.

Κάθε μονάδα ελέγχεται και ρυθμίζεται ξεχωριστά. Η εποπτεία της όλης λειτουργίας και η πίεση, που ασκείται στο ελατήριο, πραγματοποιείται μέσω δύο μικροεπεξεργασιών υψηλής ταχύτητας, οι οποίες παίρνουν πληροφορίες από δεκατρείς συνολικά αισθητήρες, που παρακολουθούν όλες τις κινήσεις του αμαξώματος, κάθε δέκα χιλιοστά του δευτερολέπτου, αποφασίζοντας, ανά πάσα στιγμή, για τις κατάλληλες ρυθμίσεις.

Το σύστημα ABC διαθέτει δύο επίπεδα λειτουργίας, το "Sport" και το "Comfort", με το πρώτο να παρουσιάζει 27 % μικρότερες κλίσεις από το δεύτερο. Αυτό επιτυγχάνεται με την αύξηση της πίεσης στους υδραυλικούς κυλινδρούς, με συνέπεια τη μεγαλύτερη προφόρτιση των ελατηρίων.

Στην πράξη, το αυτοκίνητο συμπεριφέρεται πράγματι πάρα πολύ καλά. Η ανάρτηση ελέγχει πλήρως και σε κάθε περίπτωση τις κινήσεις του αυτοκινήτου (που σημειωτέον ότι δεν έχει αμελητέο βάρος, αφού πλησιάζει, ή και ξεπερνά, τους δύο τόνους, ανάλογα με την έκδοση). Οι κλίσεις στις στροφές είναι ελάχιστες, ενώ η ποιότητα κύλισης είναι αξιοζήλευτη.

Πρόκειται για το πιο ολοκληρωμένο σύστημα ενεργητικής ανάρτησης αυτή τη στιγμή στον κόσμο. Δυστυχώς, το κόστος του συστήματος είναι ακόμα πολύ υψηλό, με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή η χρήση του σε πιο προσιτά μοντέλα.

Η έρευνα, πάντως στον τομέα συνεχίζεται, με κύριο στόχο την είρεση απλούστερων, οικονομικότερων, πιο ελαφριών και με μικρότερο όγκο λύσεων. Στα πλαίσια αυτά κινήθηκαν και οι μηχανικοί της εταιρείας αμορτισέρ Lord.

Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι ελαχιστοποιούνται οι κλίσεις στις στροφές, το γονάτισμα στο φρενάρισμα, ο χρόνος σταθεροποίησης του αμαξώματος, μετά από απότομη αλλαγή πορείας, ενώ, ταυτόχρονα, ανεξαρτήτως ποσότητας και κατανομής φορτίου, όλοι οι τροχοί έχουν την ίδια απόσταση από το έδαφος. Η λειτουργία του συστήματος είναι τόσο καλή, ώστε έχουν αφαιρεθεί οι αντιστρεπτικές ράβδοι.

Καρδιά του συστήματος είναι μια μονάδα, που περιλαμβάνει τα ρυθμιζόμενα αμορτισέρ αερίου και τα ελικοειδή ελατήρια. Την διαφορά, όμως, την κάνουν οι, επίσης ενσωματωμένοι, υδραυλικά ελεγχόμενοι κυλινδρόι. Στους κυλινδρούς αυτούς υπάρχει ένα κινητό στέλεχος, στο οποίο είναι πακτωμένο το άνω άκρο του ελατηρίου. Έτσι, ανάλογα με τις



Εικόνα 58.

Η άριστη κλίση, ανάμεσα στην κατηγορία και την προηγούμενη C1, είναι εμφανής. Η Mercedes κινεί λίγο για διαφορά της τάξης του 68 %!

Η όλη τους προσπάθεια επικεντρώθηκε στην εξεύρεση ενός τρόπου ελέγχου της απόσβεσης ανά πάσα στιγμή, χωρίς την χρησιμοποίηση βαλβίδων και κινητών συστημάτων ελέγχου ροής. Η λύση που δόθηκε, ήταν ευφυέστατη. Πολύ απλά αρκέστηκαν στο να μεταβάλλουν συνεχώς το ιζώδες του λαδιού, στο εσωτερικό του αμορτισέρ!



Εικόνα 59.

Το εξιμμητικά απλό στην κατασκευή και με ελάχιστη κινούμενα μέρη αμορτισέρ Magnetics της Delphi. Το μόνο πολύπλοκο είναι ο προγραμματισμός της ψηφιακής μονάδας ελέγχου τους!

Η εφαρμογή έγινε εφικτή, μετά από χρόνια ερευνών πάνω στα "μαγνητο-ρεολογικά" ρευστά, το ιζώδες των οποίων μεταβάλλεται ανάλογα με το ηλεκτρομαγνητικό φορτίο, που διαρρέει τη μάζα τους. Τα ρευστά αυτά περιέχουν αιωρούμενα μαγνητικά σωματίδια, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν διαφορετική "προθυμία" να περάσουν μέσα από αγωγούς, ανάλογα με τον εκάστοτε προσανατολισμό των σωματιδίων. Ο προσανατολισμός αυτός, εξ' αιτίας της συμπεριφοράς καθενός σωματιδίου ως μαγνητικού διπόλου, θα είναι διαφορετικός ανάλογα με την ένταση και τον προσανατολισμό του εξωτερικού μαγνητικού φορτίου, που τα επηρεάζει. Ενδιαφέρον είναι τόσο ότι η απόκριση του ρευστού στα μαγνητικά ερεθίσματα είναι σχεδόν

ακαριαία, όσο και ότι το απαιτούμενο μαγνητικό πεδίο είναι αρκετά μικρό, με αποτέλεσμα την ελάχιστη κατανάλωση ρεύματος.

Ο τρόπος που αξιοποιήθηκαν τα μαγνητο-ρεολογικά ρευστά, για τη μεταβολή του ιζώδους, βασίστηκε σε ένα ζεύγος εντολών "on" και "off" (ή 0 και 1), η εναλλαγή των οποίων γίνεται με ταχύτατο ρυθμό. Η υπεροχή μιας εκ των δύο εντολών, μέσα σε κάθε κλάσμα του χρόνου, καθορίζει και το ιζώδες που θα έχει το ρευστό, μέσα σε αυτό το απειροελάχιστο χρονικό διάστημα. Κάθε φορά που ισχύει η κατάσταση "off", το ρευστό δεν υπόκειται στην επίδραση μαγνητικού πεδίου. Στην περίπτωση αυτή, τα σωματίδια παραμένουν σε κατάσταση τυχαίου προσανατολισμού, γεγονός που αντιστοιχεί στο ελάχιστο ιζώδες. Αντιθέτως στην κατάσταση "on", το μαγνητικό πεδίο εξαναγκάζει τα σωματίδια να κολλήσουν το ένα στην οπή του αλλού σχηματίζοντας νήματα και αυξανοντας έτσι το βαθμό δυσκολίας διέλευσής τους, από τις μικρές σε διατομή διόδους ενός αμορτισέρ. Στην περίπτωση αυτή, το ρευστό συμπεριφέρεται σαν να έχει εξαιρετικά αυξημένο ιζώδες. Ο ρυθμός, αλλά και ο τρόπος, εναλλαγής των "on" και "off" καταστάσεων, μπορεί να καθορίσει και όλα τα ενδιάμεσα ιζώδη. Ο χρόνος μετάβασης από το ένα ιζώδες στο άλλο είναι ελάχιστα χιλιοστά του δευτερολέπτου!

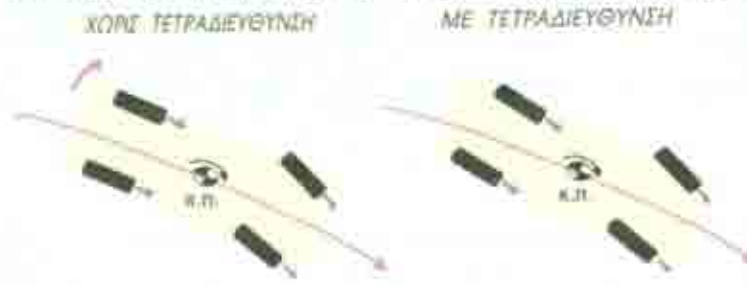
Την ιδέα αυτή της Lord την πήρε η συνεργαζόμενη μαζί της Delphi και την εξέλιξε σε τέτοιο βαθμό ώστε, ελάχιστα χρόνια μετά την αρχική διατύπωση της να αποτελεί ήδη προϊόν παράγωγης. Τα αμορτισέρ αυτά ήδη διατίθενται στο εμπόριο ως αμορτισέρ αντικατάστασης, ενώ παράλληλα αποτελούν βασικό εξοπλισμό κάποιων κορυφαίων μοντέλων της General Motors, όπως η Cadillac Seville STS και η επεταιική Corvette του 2003. Η κατανάλωση ενέργειας, από κάθε ένα από αυτά τα αμορτισέρ δεν ξεπερνά τα 20 W.

Η πολύ μικρή κατανάλωση ενέργειας, το μικρό κόστος κατασκευής και η δυνατότητα ακαριαίας εκτέλεσης εντολών, για σκληρή ή μαλακή απόσβεση, υπόσχονται απεριόριστες δυνατότητες χρήσης του συγκεκριμένου τύπου αμορτισέρ. Σίγουρα πρόκειται για την μεγαλύτερη ανακάλυψη στον χώρο, τα τελευταία χρόνια.

► 4.10 Τετραδιεύθυνση.

Με τις προηγούμενες ενότητες καλύψαμε όλες σχεδόν τις πιθανές διατάξεις αναρτήσεων. Η μόνη εκκρεμότητα που μας έχει μείνει είναι οι αναρτήσεις με χαρακτηριστικά τετραδιεύθυνσης.

Με τον όρο τετραδιεύθυνση εννοούμε τη δυνατότητα των πίσω τροχών να παρουσιάζουν κάποιες ελεγχόμενες τάσεις διεύθυνσης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί τόσο ενεργητικά, όσο και παθητικά. Με τον όρο ενεργητική τετραδιεύθυνση, δηλώνουμε ένα σύστημα που μπορεί και καθορίζει τη γωνία στροφής των πίσω τροχών, συναρτήσει



Εικόνα 69.

Τα συστήματα τετραδιεύθυνσης μεταβάλλουν, ελεγχόμενα αλλά ηλεκτρονικά, τη γωνία στροφής των πίσω τροχών.

δύναμη, που ειθύνεται για την πρόσφυση των αυτοκινήτων στις στροφές. Συγκεκριμένα, είδαμε ότι η ανάπτυξη αυτής της δύναμης απαιτεί τη δημιουργία γωνίας ολίσθησης, είτε πρόκειται για τους εμπρός, είτε για τους πίσω τροχούς. Η γωνία αυτή είναι εύκολο να δημιουργηθεί στους εμπρός τροχούς, με το στρίψιμό τους. Οι πίσω, απλώς ακολουθούν τους εμπρός και η ανάπτυξη γωνίας ολίσθησης (και άρα πλευρικής δύναμης) έρχεται με κάποια χρονική καθυστέρηση. Αυτό ακριβώς προσπαθούν να αντιμετωπίσουν τα συστήματα τετραδιεύθυνσης, κάνοντας και τους πίσω τροχούς να στρίβουν, με διαφορετική γωνία, βέβαια, από τους εμπρός.

Η αρχή έγινε στα πρώτα βήματα της αυτοκίνησης, κάπου κοντά στο 1920. Κάποιοι μηχανικοί είχαν κατασκευάσει οχήματα με σύστημα διεύθυνσης και στους τέσσερις τροχούς, με σκοπό να κάνουν τα οχήματα αυτά πιο ευέλικτα. Έτσι, οι πίσω τροχοί έστρίβαν αντίθετα από τους εμπρός, εξασφαλίζοντας μικρότερη ακτίνα στροφής.

Στη σύγχρονη εποχή, πολλοί ευρωπαϊκοί κατασκευαστές ασχολήθηκαν με το θέμα. Πιο γνωστή είναι η προσπάθεια της Audi, όπου στις αρχές της δεκαετίας του 1980 είχε κάνει αρκετά πειράματα με ένα Audi 100. Το ζητούμενο ήταν και πάλι η αυξημένη ευελιξία. Το σύστημα ήταν ενεργητικό, με τους πίσω τροχούς να διαθέτουν ένα συνηθισμένο σύστημα διεύθυνσης, συνδεδεμένο μηχανικά με το τιμόνι, που ως αποστολή του είχε να στρίψει τους πίσω τροχούς αντίθετα από τους μπροστινούς. Το σύστημα αυτό δεν βγήκε ποτέ στην παραγωγή, επειδή κατά τις δοκιμές παρουσιάστηκαν πολύ έντονες τάσεις υπερστροφής. Οι προσπάθειες εγκαταλείφθηκαν γρήγορα και για πολλά χρόνια.

Το όλο θέμα ανακινήθηκε ξανά προς τα μέσα της δεκαετίας του 1990, από όλους σχεδόν τους ιαπωνέζους κατασκευαστές, που παρουσίασαν πολλά πρωτότυπα με ενεργητική τετραδιεύθυνση. Ο στόχος τώρα πια ήταν η βελτίωση της οδικής συμπεριφοράς, πολύ περισσότερο από την ευελιξία.

Πρωτοπόρος εδώ υπήρξε η Mazda, η πρώτη εταιρεία που έβγαλε ένα τέτοιο σύστημα στην παραγωγή, τοποθετώντας το στο δίλιτρο Mazda 626 4WS (από το 4 Wheel Steering, που δηλώνει ότι στρίβουν και οι τέσσερις τροχοί). Μερικά, μάλιστα, αυτοκίνητα έφτασαν και στη χώρα μας. Το σύστημα που χρησιμοποιούσαν ήταν ένα, ηλεκτρονικά ελεγχόμενο, υδραυλικό, όπου δε διέθετε κανενός είδους σύνδεση με το σύστημα διεύθυνσης. Το ηλεκτρονικό σύστημα αποφάσιζε για τη γωνία στροφής των πίσω τροχών, αλλά και για το αν

διαφόρων εισόδων (όπως η γωνία στροφής του τιμονιού, η ταχύτητα του οχήματος), σε αντίθεση με τα συστήματα παθητικής τετραδιεύθυνσης, όπου οι πίσω τροχοί αποκτούν κάποια γωνία, ανάλογα με το πλευρικό φορτίο που δέχονται, μέσω της παραμόρφωσης των συνδέσμων στήριξής τους.

Στο 2, κριτικαριου είδαμε αναλυτικά το πως αναπτύσσεται η πλευρική

να έστριβαν προς την ίδια, ή προς την αντίθετη, κατεύθυνση με τους εμπρός, ανάλογα με τη γωνία στροφής του τιμονιού, την ταχύτητα του οχήματος και τις γενικότερες παραμέτρους της δυναμικής συμπεριφοράς του οχήματος. Το αυτοκίνητο είχε βελτιωμένη οδική συμπεριφορά, αλλά ήταν αρκετά δύσκολο στο παρκάρισμα, λόγω ακριβώς της στροφής και των πίσω τροχών.



Εικόνα 61.

Το πάνω Prelude, χωρίς τετραδιεύθυνση, υπερατρίβει αφώς περισσότερο από το κάτω, με τετραδιεύθυνση.

Μάλιστα, οι Ευρωπαίοι κατασκευαστές είχαν πετύχει πολύ καλύτερα αποτελέσματα χωρίς καν να καταφύγουν στην τετραδιεύθυνση! Έτσι, μετά τον πρώτο ενθουσιασμό η έρευνα στράφηκε γύρω από την παθητική τετραδιεύθυνση.

Και πάλι οι Ιάπωνες έκαναν την αρχή, τοποθετώντας ανισομεγέθη validia στους πίσω τροχούς. Έτσι, κατά την συμπίεση της ανάρτησης (από την κλίση του αμαξώματος σε μια στροφή) ο τροχός έστριβε προς το εσωτερικό της στροφής. Το μεγάλο μειονέκτημα του συστήματος ήταν ότι όταν, κατά ευθεία πορεία, οι πίσω τροχοί συναντούσαν ανωμαλίες του οδοστρώματος έστριβαν επίσης προκαλώντας αποσταθεροποίηση του πίσω μέρους.



Εικόνα 62.

Το πίσω σύστημα του αμιάνο VW (από το Seat Cordoba).

Παρόμοια ήταν και η προσπάθεια της Honda, με το Prelude. Εδώ, το σύστημα ήταν μηχανικό, συνδεδεμένο άμεσα με το τιμόνι. Μια ειδική άρθρωση φρόντιζε να στρίβει τους πίσω τροχούς προς την ίδια μεριά με τους εμπρός, για γωνίες στροφής των εμπρός τροχών μέχρι 4°, και προς την αντίθετη πλευρά από κει και πάνω. Σε κάθε περίπτωση οι πίσω τροχοί δεν έστριβαν περισσότερο από 3°.

Τα δύο αυτά συστήματα, παρά το ότι διατυμπανίστηκαν από τους κατασκευαστές τους, δεν έτυχαν ιδιαίτερης αποδοχής από το κοινό. Ο πρώτος λόγος είναι ότι οι οδηγοί δεν είχαν την πλήρη αίσθηση του αυτοκινήτου, κατά την διάρκεια μιας στροφής, αφού μεταφερόταν συνεχώς το κέντρο περιστροφής, με αποτέλεσμα να μην είναι σίγουροι, για το κατά πόσο θα μπορούσαν να ελιχθούν σε ένα στενό χώρο, χωρίς να προκαλέσουν ζημιά. Η όλη κατάσταση δημιουργούσε μια ανασφάλεια αρκετή, για να αποθαρρύνει πολλούς υποψήφιους αγοραστές. Ο δεύτερος λόγος ήταν ότι η βελτίωση της οδικής συμπεριφοράς δεν ήταν τόσο εντυπωσιακή, ώστε να δικαιολογεί το πρόσθετο κόστος, βάρος, αλλά και πολυπλοκότητα ενός τέτοιου συστήματος.

Οι πρώτοι που κατάφεραν να σχεδιάσουν ένα σύστημα παθητικής τετραδιεύθυνσης, που να δουλεύει σωστά, ήταν οι γερμανοί μηχανικοί της VW. Το σύστημα αυτό τοποθετήθηκε εντελώς σιωπηρά στα Passat παραγωγής του 1990 μιας και οι γερμανοί δεν ήταν σίγουροι για τα αποτελέσματα του συστήματος, αλλά και για την αποδοχή του από το κοινό. Ήταν απλούστατο σε σύλληψη και εφαρμογή. Η πίσω ανάρτηση στηριζόταν σε ειδικά ελαστικά σινεμπλόκ, που μπορούσαν να παραμορφωθούν με προδιαγεγραμμένο τρόπο. Με αυτό τον τρόπο οι πίσω τροχοί έστριβαν ελάχιστα, αντίθετα με τους

εμπρός. Η μεγαλύτερη ευελιξία, που προσέδιδε το σύστημα, οδήγησε στην ευρεία εφαρμογή του σε πολλά μοντέλα του ομίλου, όπως τα Golf III, Polo, Ibiza και Cordoba πρώτης γενιάς. Σήμερα, πάντως, δε χρησιμοποιείται.



Εικόνα 63.

Citroen Xantia. Ένα από τα πολλά μοντέλα που ομίλου PSA, που είναι φημισμένα με παθητική τετραδιεύθυνση.

πίσω ελαστικά και κατά συνέπεια, μεγαλύτερα περιθώρια πρόσφυσης του πίσω μέρους. Προκειμένου να αποφευχθεί μια υπέρμετρα υποστροφική συμπεριφορά, οι γάλλοι μηχανικοί έστησαν τα αυτοκίνητά τους υπερστροφικά, βασιζόμενοι στη διόρθωση αυτών των τάσεων, από το σύστημα. Το αποτέλεσμα είναι άκρως ικανοποιητικό, αφού παρατηρούνται άμεσες αντιδράσεις και πολύ υψηλά περιθώρια πρόσφυσης, χωρίς να απαιτείται η χρήση πολύ σκληρών αναρτήσεων.

Η κορυφαία ανάρτηση, του ομίλου, παρουσιάστηκε στο Peugeot 406. Επρόκειτο για ένα σύστημα πολλαπλών συνδέσεων, με χαρακτηριστικά παθητικής τετραδιεύθυνσης. Τα χαρακτηριστικά του είναι απλά κορυφαία, με την οδική του συμπεριφορά να αποτελεί σημείο αναφοράς, ακόμα και σήμερα, λίγους μήνες πριν την αντικατάστασή του! Δυστυχώς, τελευταία ο γαλλικός όμιλος δίνει περισσότερη προσοχή στην περικοπή του κόστους κατασκευής, με αποτέλεσμα στα τελευταία μοντέλα να εγκαταλείπονται αυτές οι διατάξεις και να χρησιμοποιείται ένας απλός ημιάκαμπτος άξονας.

Η ενεργητική τετραδιεύθυνση, λόγω του κόστους της χρησιμοποιήθηκε σε πολύ



Εικόνα 65.

Nissan Skyline. Το μοναδικό αυτοκίνητο με ενεργητική τετραδιεύθυνση, σήμερα.

Αντίθετα με τη VW, η PSA (Peugeot, Citroen) κινήθηκε πολύ πιο δυναμικά. Η πίσω ανάρτηση του Citroen ZX (το πρώτο μοντέλο του ομίλου που χρησιμοποίησε το σύστημα), με χαρακτηριστικά παθητικής τετραδιεύθυνσης, αποτέλεσε κύριο στοιχείο της διαφημιστικής καμπάνιας του. Και εδώ η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στην ελεγχόμενη παραμόρφωση των σνεμπλόκ. Η διαφορά είναι ότι εδώ οι πίσω τροχοί στρίβουν προς την ίδια φορά με τους εμπρός, με μέγιστη γωνία 5°. Η ανάρτηση αυτή χρησιμοποιήθηκε (και χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα) σε όλα τα μοντέλα του ομίλου, που έχουν υστερούντες βραχίονες.

Η χρήση ενός τέτοιου συστήματος δημιουργεί μεγαλύτερες γωνίες ολίσθησης στα



Εικόνα 64.

Peugeot 406. Η καλύτερη εφαρμογή παθητικής τετραδιεύθυνσης.

ακριβότερα αυτοκίνητα. Σήμερα, το μοναδικό αυτοκίνητο που χρησιμοποιεί ένα τέτοιο σύστημα, είναι το Nissan Skyline. Πρόκειται για την εξέλιξη του συστήματος Super Hicas, που πρωτοχρησιμοποιήθηκε στο Nissan 300 ZX.

Το σύστημα είναι πλήρως ελεγχόμενο από τον υπολογιστή του αυτοκινήτου. Στην αρχή της στροφής, οι πίσω τροχοί στρίβουν αντίθετα από τους εμπρός, δημιουργώντας υπερστροφικές τάσεις και βοηθώντας, έτσι, στην "τοποθέτηση" του αυτοκινήτου. Αμέσως

μετά, οι πίσω τροχοί στρίβουν στην ίδια διεύθυνση με τους εμπρός, αυτοδιορθώνοντας αυτή την τάση!

Στο δρόμο, το αυτοκίνητο είναι άκρως εντυπωσιακό και διασκεδαστικό. Ο οδηγός, εκμεταλλευόμενος και την ηλεκτρονική τετρακίνηση, μπορεί να κινηθεί με απίστευτες γωνίες, με απόλυτη ασφάλεια. Οι αντιδράσεις του αυτοκινήτου είναι πραγματικά αστραπιαίες, αλλά η πρόσφυση δε χάνεται εύκολα, με αποτέλεσμα να έχει μια πολύ καλή οδική συμπεριφορά.

Το κορυφαίο, πάντως, σύστημα τετραδιεύθυνσης, που εφαρμόστηκε ποτέ σε αυτοκίνητο παραγωγής ήταν αυτό της BMW 850. Όπως είναι φυσικό, ήταν εντελώς ενεργητικό.



Εικόνα 66.

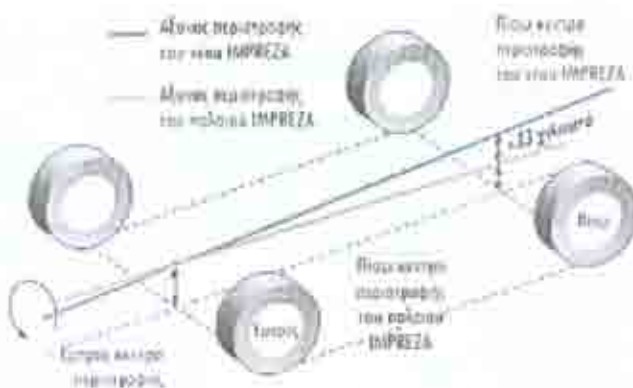
BMW 850. Το τελευταίο σύστημα ενεργητικής τετραδιεύθυνσης, ανήκει στις γερμανικές.

Οι πίσω τροχοί έλαιρναν εντολή για τη γωνία στροφής τους, τη φορά στροφής τους, αλλά και την ταχύτητα μεταβολής της γωνίας τους από την κεντρική μονάδα του συστήματος. Η κεντρική μονάδα, με τη σειρά της, αποφασίζει για τα παραπάνω, λαμβάνοντας υπ' όψιν της μια σειρά "εισοδών" από διάφορους αισθητήρες, που ήταν σε θέση να καταγράφουν την πλήρη δυναμική κατάσταση του αυτοκινήτου.

Το αποτέλεσμα στο δρόμο ήταν άκρως εντυπωσιακό, με το αυτοκίνητο να παρουσιάζει

τεράστια περιθώρια πρόσφυσης, ομαλές αντιδράσεις στο όριο και αξιοπρόσεκτη ευελιξία, για το μέγεθος και το βάρος του αυτοκινήτου. Συνδυάζε, δηλαδή, αντικρουόμενες απαιτήσεις, με μεγάλη επιτυχία. Δυστυχώς, η παραγωγή της 850 διακόπηκε και ακόμα η BMW δεν έχει παρουσιάσει κάποιο άλλο μοντέλο, που να χρησιμοποιεί παρόμοιο σύστημα. Προφανώς, η εξέλιξη ενός τέτοιου συστήματος κρίθηκε πολύ ακριβή, ακόμα και για μια εταιρεία σαν τη BMW.

► 4.11 Στην πράξη.



Εικόνα 67.

Η αναμόρφωση της πίσω κέντρου περιστροφής που για Impreza μίσησε τις υπερστροφικές τάσεις του παλαιού.

Όλοι οι κατασκευαστές δίνουν τρομερή σημασία στη σχεδίαση των αναρτήσεων των αυτοκινήτων τους. Ένα συγχρονο αυτοκίνητο θεωρείται αυτονόητο ότι θα πρέπει να έχει καλή οδική συμπεριφορά, χωρίς να αφήνει το αμάξωμά του να "πλέει" πάνω στις αναρτήσεις του, προσφέροντας, παράλληλα, ένα αποδεκτό επίπεδο άνεσης.

Για το λόγο αυτό, αφιερώνουν πολλές ώρες τόσο στη μελέτη των συστημάτων τους όσο και στις βέλτιστες δυνατές ρυθμίσεις τους. Ακόμα και οι πιο μικρές μεταβολές, σε καιρία σημεία της ανάρτησης, μπορούν να αλλάξουν, κατά πολύ, την οδική συμπεριφορά.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το Subaru Impreza της τελευταίας γενιάς. Το προηγούμενο μοντέλο είχε ήδη πολύ καλή συμπεριφορά, όντας πολύ φιλικό στο όριο και



Εικόνα 68.

Το ερευνητικό κέντρο και η πίστα που κληρονόμησε Daihatsu-Chrysler.

απόλυτα "ρυθμισίμο". Αυτή η ρυθμισιμότητα (δηλαδή, η δυνατότητα, που έδινε στον οδηγό του, να το τοποθετήσει, με οποιοδήποτε τρόπο, σε μια στροφή) ήταν πολύ χρήσιμη στους αγώνες ράλι, που έπαιρνε (και συνεχίζει να παίρνει) μέρος το αυτοκίνητο. Σε συνήθεις δρόμους, όμως, κρίθηκε ότι καλό θα ήταν να έχει μια πιο απόλυτη συμπεριφορά και στο όριο να αρχίζει να υποστρέφει ελαφρά (το παλιό έδιωχνε πρώτα το πίσω μέρος). Αυτό επιτεύχθηκε απλώς ανυψώνοντας το πίσω κέντρο περιστροφής, κατά 33 mm! Έτσι, άλλαξε η κλίση του άξονα περιστροφής, φορτώνοντας, κατά τη διάρκεια μιας στροφής, περισσότερο το μπροστινό μέρος.

Η απόφαση για αλλαγή στις ρυθμίσεις, σε τέτοιο επίπεδο, γίνονται βάσει πειραματικών δεδομένων, που λαμβάνονται τόσο από δοκιμές προπονητών σε πιστές δοκιμών, όσο και από ειδικές πειραματικές διατάξεις τα "δοκιμαστήρια αναρτήσεων".

Πρόκειται για ένα ηλεκτροϋδραυλικό σύστημα, που ελέγχεται ηλεκτρονικά. Η διάταξη έχει ειδικές υποδοχές, στις οποίες μπορεί να αναρτηθεί ολόκληρο το αυτοκίνητο, από τις πλήμνες των τροχών του. Το σύστημα μπορεί να ασκήσει οποιασδήποτε μορφής ταλάντωση στο αυτοκίνητο παρέχοντας τη δυνατότητα μέτρησης του είρους της, της κατακόρυφης επιτάχυνσης, αλλά και των διαφόρων παραμορφώσεων των συνδέσμων της ανάρτησης! Άξιο λόγου είναι το γεγονός ότι μπορεί να προσομοιωθεί οποιαδήποτε διαδρομή, οποιονδήποτε πραγματικού δρόμου, αρκεί να έχει πρώτα καταγραφεί η "κυματομορφή" της. Κάτι τέτοιο είναι αρκετά εύκολο, αφού αρκεί ένα πέρασμα, με ένα αυτοκίνητο που να διαθέτει τους ανάλογους αισθητήρες. Δοκιμαστήρια αναρτήσεων διαθέτουν οι περισσότερες μεγάλες εταιρείες, αλλά και αρκετά ερευνητικά κέντρα.



Εικόνα 69.

Η Jaguar S-Type στο δοκιματήριο αναρτήσεων.



Εικόνα 70.

Η Lotus Elise, ενώ δοκιμάζεται στο εργαστήριο Κινηματικής και Ενδοτικότητας, των 500 εκ. όμμ.

Ένα από τα κορυφαία στον κόσμο είναι και το "Ερευνητικό Κέντρο της Αυτοκινητοβιομηχανίας", γνωστό και ως "MIRA". Στις εγκαταστάσεις του, εκτός των άλλων, διαθέτει και μια σειρά από ενεργοποιητές και παλμογεννήτριες που εξοπλίζουν το εργαστήριο δοκιμών "Κινηματικής και ενδοτικότητας" (Kinematics & Compliance). Το εργαστήριο αυτό ολοκληρώθηκε το 1996 και στοιχισε 500 εκ. δραχμές! Είναι το πιο εξελιγμένο στη Μ. Βρετανία και από τα καλύτερα στον κόσμο. Οκτώ ευρωπαϊκοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν το κέντρο για έρευνα και εξέλιξη, επαλήθευση

των προγραμμάτων προσομοίωσης των υπολογιστών, αλλά και σαν εργαλείο σύγκρισης των μοντέλων τους με τον ανταγωνισμό.

Αυτό που ουσιαστικά κάνει αυτή η μονάδα είναι να πιέζει και να τραβάει τους



Εικόνα 71.

Το κράτημα μετράει και εφαρμόζει οπισθοθέσιμη ταλάντωση στους τροχούς για ιστοκίνητο, μετρώντας, παράλληλα, και την επιβλητικότητα των τροχών!

τροχούς προς κάθε δυνατή κατεύθυνση, ώστε να εξετάσει τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρεται η ανάρτηση, κάτω από διάφορα φορτία, που θα εμφανιστούν κάτω από πραγματικές συνθήκες οδήγησης, αφού το αυτοκίνητο τοποθετείται ολόκληρο, μαζί με τους τροχούς του. Το αποτέλεσμα της ανάλυσης είναι ένας ογκώδης φάκελος, ο οποίος μπορεί να διαφωτίσει τους μηχανικούς, σχετικά με οτιδήποτε χρειαστούν να μάθουν, για τη συμπεριφορά της ανάρτησης. Κάποιες πληροφορίες από αυτό το φάκελο έχουμε την ευκαιρία να παρουσιάσουμε εδώ.

Τα δοκιμαζόμενα αυτοκίνητα είναι τριών διαφορετικών "σχολών", από τρεις διαφορετικές κατηγορίες. Η Lotus Elise αντιπροσωπεύει την κατηγορία των υπεραυτοκινήτων και χρησιμοποιεί διπλά ψαλίδια τόσο για την εμπρός, όσο και για την πίσω ανάρτηση. Το Peugeot 406 Coupe ανήκει στα αυτοκίνητα μεγάλου τουρισμού (γνωστά και ως GT) και εξοπλίζεται με γόνατα McPherson μπροστά και ανάρτηση πολλαπλών συνδέσεων πίσω. Τέλος, τα μεγάλα οικογενειακά αντιπροσωπεύονται από το Audi A6, που έχει ανάρτηση τεσσάρων συνδέσεων μπροστά και ημιάκαμπτο άξονα πίσω. Και τα τρία αυτοκίνητα είναι εξαιρετικά, με πολύ καλή οδική συμπεριφορά. Σκοπός δεν είναι να αναδειχτεί το καλύτερο, αλλά να τονιστούν οι διαφορές της κάθε διάταξης, αλλά και οι διαφορετικές απαιτήσεις, ανάλογα με την κατηγορία.

Για να δοθεί έμφαση στις διαφορετικές και συχνά αντικρουόμενες προϋποθέσεις του κράτηματος από τη μία και της άνεσης από την άλλη, επιλέχθηκαν από τους μηχανικούς τρεις, από τις πολλές παραμέτρους που υπάρχουν. Οι δύο έχουν σχέση με την άνεση και η μία με το κράτημα.

Για τον τομέα της άνεσης, οι παράμετροι είναι η διαμήκης ενδοτικότητα και η υστέρηση στη συμπίεση και επαναφορά. Για το κράτημα, επιλέχθηκε η μεταβολή της γωνίας κάστερ (με τη γεωμετρία θα ασχοληθούμε αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο), κατά τη διάρκεια έντονου φρεναρίσματος. Η μεταβολή αυτή μειώνει τη σταθεροποιητική επαναφορά του τιμονιού και έρχεται σε αντίθεση με την αναγκαιότητα διαμήκους ενδοτικότητας. Ας δούμε, όμως, κάθε παράγοντα ξεχωριστά.



Εικόνα 72.

Lotus Elise.



Εικόνα 73.

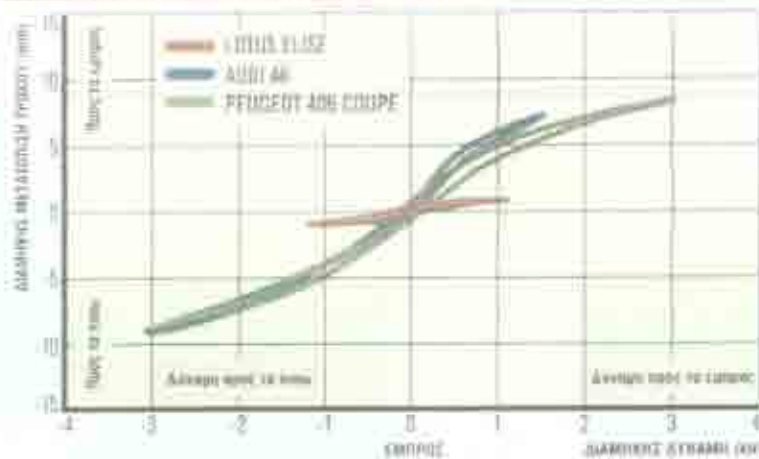
Επιμετρήσιμη ταλάντωση.

Πριν από την ευρεία διάδοση του ακτινικού ελαστικού (ράντιαλ), στη δεκαετία του '60, οι μηχανικοί-εξειδικευμένοι των αναρτήσεων είχαν την τάση να θεωρούν ότι η ποιότητα κλίσης και η άνεση είναι αποτέλεσμα της κάθετης κίνησης της ανάρτησης, με άλλα λόγια, κάτι που καθορίζεται αποκλειστικά από τα αμορτισέρ και τα ελατήρια. Σε γενικές γραμμές, θεωρούσαν ότι, εάν μειωθεί η σκληρότητα των ελατηρίων και αυξηθεί η ενδοτικότητα των

αμορτισέρ, θα επιτευχθούν και υψηλότερα επίπεδα άνεσης, αν και υπήρχαν ορισμένα πρακτικά όρια, λόγω της αυξημένης διαδρομής της ανάρτησης και των έντονων τάσεων πλεύσης του αμαξώματος, λόγω της πολύ αδύνατης απόσβεσης.

Η έλευση των ράντιαλ ελαστικών περιπλέξε τα πράγματα: Αυτοκίνητα που παρείχαν καλό επίπεδο άνεσης με συμβατικά ελαστικά, συχνά “κοπανούσαν” με τα ράντιαλ. Το πρόβλημα με αυτού του τύπου τα ελαστικά ήταν η άκαμπτη περιφερειακή ζώνη του σκελετού τους, η οποία μειώνει τις παραμορφώσεις του πέλματος στην επιφάνεια επαφής, καθώς και τη φθορά του, αλλά δεν ικανοποιεί εξίσου στην απορρόφηση των ανωμαλιών του δρόμου. Έτσι, στις κάθετες δυνάμεις που δέχεται το ελαστικό, προστέθηκαν και σημαντικές οριζόντιες δυνάμεις. Ανακαλύφθηκε ότι αν ο τροχός είχε τη δυνατότητα να μετατοπίζεται λιγάκι προς τα πίσω, κάθε φορά που συναντούσε κάποια ανωμαλία στο δρόμο, πράγμα που μπορούσε να επιτευχθεί με τη χρήση μαλακότερων ελαστικών συνδέσμων (σινεμπλόκ) στην ανάρτηση, τότε η άνεση επανερχόταν στα προηγούμενα επίπεδα.

Γράφημα: Διάγραμμα μετατόπισης της τροχών



Διάγραμμα 1

Η διαμήκης ενδοτικότητα εκφράζει το πόση επιτρέπεται στον τροχό να υποχωρήσει προς τα πίσω, όταν συναντήσει μια ανωμαλία. Όσο πιο μεγάλη είναι η κλίση της καμπύλης, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενδοτικότητα της εμπρός ανάρτησης, πράγμα που σημαίνει μεγαλύτερη άνεση.

Μπορείτε να δείτε πόσο μεγάλη είναι η διαφορά ανάμεσα στην Elise και στα άλλα δύο αυτοκίνητα. Το Peugeot και το Audi εμφανίζονται αρκετά “γενναϊόδωρα” ως προς την ενδοτικότητα των τροχών τους, ενώ η ανάρτηση της Lotus προσφέρει πολύ μικρή ενδοτικότητα. Όσον αφορά την πίσω ανάρτηση, τα πράγματα είναι ακόμα χειρότερα για την Elise, αφού στο αντίστοιχο διάγραμμα (το οποίο δεν παραθέτουμε) η καμπύλη της Elise είναι ουσιαστικά οριζόντια. Η θεωρία επιβεβαιώνεται στην πράξη, μιας και η ανάρτηση της Elise (και κυρίως η πίσω) δεν απορροφά τα διάφορα σαμαράκια και τις λακκούβες “κοπανώντας” δυσάρεστα.



Εικόνα 4

Peugeot 406 Coupé.

Η δεύτερη παράμετρος, που θέλουμε να εξετάσουμε και αφορά την άνεση, είναι η υστέρηση της ανάρτησης. Έχει να κάνει με διαφορετικά χαρακτηριστικά της ανάρτησης και

βεβαίως έχει διαφορετικές επιπτώσεις στο επίπεδο άνεσης ενός αυτοκινήτου. Με τον όρο υστέρηση δεν αναφερόμαστε στο φαινόμενο αυτό καθ' εαυτό, αλλά στην μορφή των καμπύλων, που βλέπουμε στο [διάγραμμα 2](#), οι οποίες

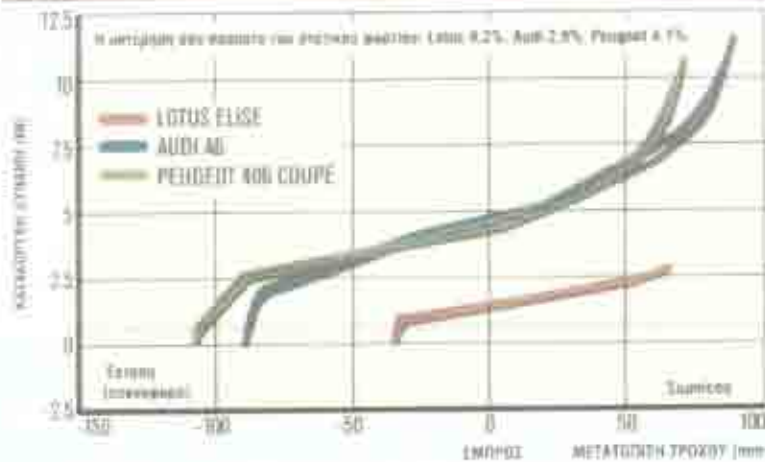
Η διαμήκης ενδοτικότητα, όπως ονομάζεται αυτή η δυνατότητα του τροχού να “υποχωρεί”, παραμένει και σήμερα ένας ενδεικτικός παράγων για την ποιότητα κλίσης και την άνεση. Στο [διάγραμμα 1](#) φαίνεται πώς οι εμπρός τροχοί των τριών αυτοκινήτων της δοκιμής μας ανταποκρίνονται σε αυτήν την παράμετρο. Στον οριζόντιο άξονα έχουμε τη δύναμη που δέχεται ο τροχός και στον κατακόρυφο άξονα τη διαμήκη μετατόπιση του. Όσο πιο κεκλιμένο είναι το διάγραμμα, τόσο πιο μεγάλη είναι και η διαμήκης ενδοτικότητα.

Με μία ματιά,

δείχνουν ότι η σχέση της κατακόρυφης δύναμης που ασκείται στον τροχό και της αντίστοιχης μετατόπισης του διαφέρει ανάλογα με το αν η ανάρτηση συμπιέζεται ή εκτείνεται. Η κύρια αιτία γι' αυτό είναι η τριβή, η οποία αποτελεί ένα μεγάλο εχθρό της άνεσης και της ποιότητας κύλισης, επειδή μειώνει την κατακόρυφη ενδοτικότητα της ανάρτησης, ειδικά όταν οι δυνάμεις που ασκούνται στον τροχό, είναι σχετικά μικρές. Επομένως, σημαντική υστέρηση υποδηλώνει μικρή "απορροφητικότητα" των αναρτήσεων στις μικροανωμαλίες του δρόμου.

Αυτός είναι ένας τομέας, στον οποίο οι αναρτήσεις με γόνατα θεωρούνται

ΑΝΕΣΗ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΣΤΑΔΙΟΠΕΔΑΣΤΡΩΣΕΩΣ



παραδοσιακά ότι υστερούν σε σχέση με αυτές που έχουν διπλά ψαλίδια ή πολλαπλούς συνδέσμους. Αυτό συμβαίνει γιατί το βάρος του αυτοκινήτου τείνει να λυγίσει το κεκλιμένο γόνατο, όπως το λυγίζουν και οι πλευρικές δυνάμεις κατά την διάρκεια μιας στροφής. Τουτό έχει σαν αποτέλεσμα να πιέζεται το στέλεχος του εμβόλου πάνω στην τσιμούχα στεγανότητάς του και, αναπόφευκτα, να αυξάνονται οι τριβές. Η τοποθέτηση του ελατηρίου υπό γωνία, ώστε να εξισορροπεί τις δυνάμεις που τείνουν να λυγίσουν το γόνατο, εξουδετερώνει το

Διάγραμμα 2

Οι καμπύλες δείχνουν πώς η σχέση μεταξύ της κατακόρυφης δύναμης και της κατακόρυφης μετατόπισης του τροχού, που υποδηλώνει υστέρηση, διαφοροποιείται ανάλογα με το αν η ανάρτηση συμπιέζεται ή εκτείνεται. Στη ποσοστά % εμφανίζονται ως άξον και τα βάρη τα αυτοκινήτου.

φαινόμενο, πράγμα που εξηγεί το γιατί τα ελατήρια των σύγχρονων αναρτήσεων δεν είναι ομοαξονικά με τα γόνατα. Όμως, η λύση αυτή είναι αποτελεσματική μόνο για ένα συγκεκριμένο φορτίο. Όταν το βάρος του αυτοκινήτου αυξάνεται με τους επιβάτες και τις αποσκευές και τα γόνατα δέχονται μεταβαλλόμενα φορτία, εξαιτίας των ανωμαλιών του δρόμου και των δυνάμεων που ασκούνται στις στροφές, η εξουδετέρωση των καμπυλικών δυνάμεων δεν είναι πλέον πλήρης και η τριβή πάλι αυξάνεται.

Ο χρυσός κανόνας του "MIRA" είναι ότι η δύναμη υστέρησης (ο κατακόρυφος διαχωρισμός των δύο μισών του διαγράμματος δύναμης-μετατόπισης) θα πρέπει να είναι μικρότερη από το 10 % του στατικού φορτίου του τροχού και, κατά προτίμηση, μικρότερη από το 5 %, εάν δε θέλουμε να έχουμε αρνητική επίδραση στην άνεση.



Εικόνα 75

Audi A6

Η υστέρηση, για τις εμπρός αναρτήσεις, των τριών αυτοκινήτων της δοκιμής είναι: Για την Elise 9,2 %, για το 406 Coupe 4,1 % και για το A6 2,9 %. Βλέπουμε, δηλαδή, ότι η Elise είχε τις χειρότερες επιδόσεις και σε αυτό τον τομέα. Κυρίως όμως, αυτό έγινε επειδή έχει πολύ μικρότερο βάρος ανά εμπρός τροχό (Elise 157 kg, Peugeot 454 kg και A6 486 kg). Αν δεν ληφθεί υπόψη ο παράγων βάρους, οι δυνάμεις υστέρησης είναι 142 Νt, 183 Νt και 138 Νt, αντίστοιχα, νοούμερα που αποκαλύπτουν ότι η ανάρτηση με γόνατα του 406 Coupe έχει τις μεγαλύτερες τριβές. Παρόλα αυτά, οι τριβές εδώ δεν είναι τόσο

σημαντικές, ώστε να επηρεάζουν αισθητά την άνεση και την ποιότητα κύλισης σε αντίθεση με την Elise, λόγω του μεγαλύτερου βάρους.

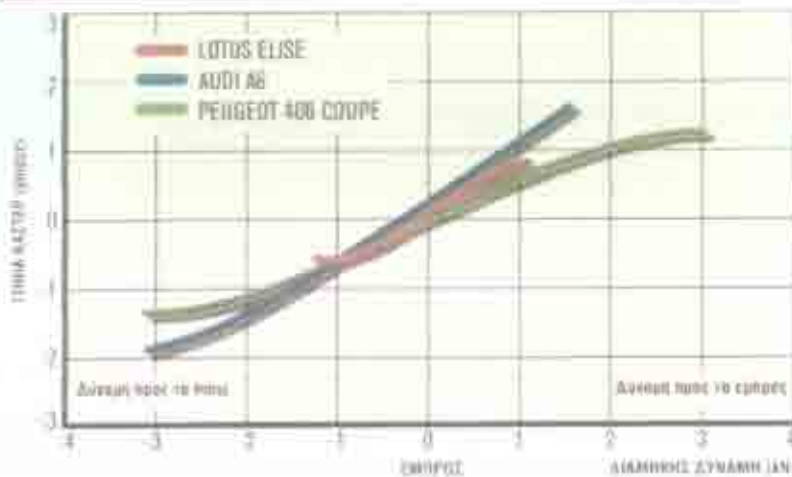
Όπως είδαμε, η διαμήκης ενδοτικότητα των τροχών είναι πολύτιμη, για τη βελτίωση της άνεσης. Όμως, καθώς οι εμπρός τροχοί μετατοκίζονται προς τα πίσω, η γωνία caster τείνει να μειωθεί, με δυσμενείς επιπτώσεις στη σταθερότητα του αυτοκινήτου. Η πιο πιθανή στιγμή, για να γίνει κάτι τέτοιο, είναι κατά την διάρκεια έντονου φρεναρίσματος, δηλαδή ακριβώς τότε, που η σταθερότητα δε θα πρέπει να τίθεται υπό αμφισβήτηση. Προσθέστε και τη μείωση της γωνίας caster, λόγω της βύθισης του εμπρός μέρους του αυτοκινήτου στο φρενάρισμα, καθώς και την όποια μείωση, λόγω της συμπίεσης της ανάρτησης, και θα δείτε ότι υπάρχει ο κίνδυνος το caster να γίνει ακόμη και αρνητικό.

Ο πιο απλός τρόπος, για να αποτραπεί ένας τέτοιος κίνδυνος είναι να σχεδιαστεί μεγάλη γωνία στατικού caster. Πολλοί, όμως, ειδικοί επί των ανάρτησεων, μεταξύ των οποίων και η Lotus, πιστεύουν ότι όλες οι γωνίες του συστήματος διαπόθισης θα πρέπει, κατά το δυνατόν, να ελαχιστοποιούνται. Επομένως, το ιδανικό είναι να υπάρχει διαμήκης ενδοτικότητα των τροχών, χωρίς να επηρεάζεται η γωνία caster.

Το πρόβλημα εντείνεται στις ανάρτησεις με διπλά ψαλιδία, επειδή, κατά την διάρκεια του φρεναρίσματος, το πάνω ψαλίδι πιέζεται προς τα εμπρός και το κάτω προς τα πίσω. Δεδομένης της μικρής απόστασης, μεταξύ των ψαλιδιών, σε μια κλασική ανάρτηση αυτού του τύπου, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος εξουδετέρωσης της γωνίας caster. Μια ανάρτηση με γόνατα είναι εκ κατασκευής καλύτερη σε αυτό τον τομέα, γιατί το πάνω μέρος της είναι σταθερά προσαρμοσμένο στο αμάξωμα και η λειτουργική απόσταση, από του συνδέσμου βάσης, είναι πολύ μεγαλύτερη.

Στην προσθιοκίνητη Elise, η Lotus κατέβαλε τεράστια προσπάθεια προκειμένου να

ΠΡΑΞΗΜΑ: ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΠΑΥΣΕΩΣ ΣΤΟ ΦΡΕΝΑΡΙΣΜΑ



συνδυάσει τη διαμήκη ενδοτικότητα με όσο το δυνατό μικρότερες απώλειες στη γωνία caster, εξελίσσοντας μια εμπρός ανάρτηση τύπου "σχεδίας", την οποία όμως δε χρησιμοποίησε και στην Elise. Η ανάρτηση της μικρής Lotus, προκειμένου να ελέγξει τη γωνία caster, απλώς χρησιμοποιεί σκληρότερα σινεμπλόκ, αγνοώντας τη διαμήκη ενδοτικότητα.

Επομένως, δεν αποτελούν έκπληξη οι μόλις 0,7° απώλειες στη γωνία κάστερ, όπως φαίνεται και στο σχετικό διάγραμμα 3, που έχει ληφθεί μετά από μία εφαρμογή φορτίου στον τροχό, που ισοδυναμεί με 0,8 g

Διάγραμμα 3

Σε κανένα από τα τρία αυτοκίνητα δεν παρατηρείται μείωση της γωνίας caster, ικανή να δημιουργήσει αστάθεια στο φρενάρισμα. Η Lotus βιασίζεται στην εξαιρετικά σκληρή μέτρηση της ανάρτησής της, με τα διπλά ψαλιδία, αλλά και τα άλλα δύο συμπληρώνουν πολύ καλά, λαμβάνοντας υπ' όψη την ενδοτικότητα των αναρτήσεών τους.

φρεναρίσματος

Τα νοήμερα για το Peugeot και το Audi είναι 1,5° και 2,0°, αντίστοιχα. Είναι σαφώς χειρότερα από της Elise, αλλά καθόλου άσχημα, αν αναλογιστεί κανείς την καλή διαμήκη ενδοτικότητα, που προσφέρουν. Το 406 τα καταφέρνει τόσο καλά, χάρη στα γόνατα McPherson, που χρησιμοποιεί. Η ανάρτηση του Audi, πάντως, είναι πιο έξυπνα σχεδιασμένη, μιας και έχει τα ίδια σχεδόν αποτελέσματα, με πολύ μικρότερη λειτουργική απόσταση των σημείων στήριξης. Αυτό υποδηλώνει την πολύ προσεκτική δουλειά στην εφαρμογή των σινεμπλόκ.

Πάντως, κανένα από τα τρία αυτοκίνητα δεν εμφανίζει τέτοια μείωση στη γωνία caster, ώστε να υποκεινθούμε αποσταθεροποίηση στο φρενάρισμα. Οι εργαστηριακές μετρήσεις συμφωνούν, σε μεγάλο βαθμό, με τα αποτελέσματα των δοκιμών στο δρόμο.

Η Lotus έχει πολύ καλή οδική συμπεριφορά, πληροφορόντας, ανά πάσα στιγμή, τον οδηγό της, για την κατάσταση της. Παράλληλα, ενώ σε γενικές γραμμές έχει αρκετά καλή ποιότητα κύλισης (απόρροια των μειωμένων τριβών του συστήματος ανάρτησης της), όταν συναντήσει κάποια μεγαλύτερη ανωμαλία “κοπανάει” έντονα, μεταφέροντας αυτούσια τους κραδασμούς στους επιβάτες της (απόρροια της μικρης διαμήκους ενδοτικότητας).

Τα Peugeot και Audi είναι εντελώς διαφορετικού χαρακτήρα. Και τα δύο προσφέρουν ικανοποιητικότερο επίπεδο άνεσης στους επιβάτες τους, προσφέροντας, παράλληλα, πολύ καλή οδική συμπεριφορά. Στο Audi κάποιες μικροανωμαλίες στις μικρές ταχύτητες κίνησης δεν αποσβένονται ικανοποιητικά (παρά τις μικρές τριβές του συστήματος ανάρτησης), πράγμα που δεν ισχύει για το Peugeot (παρά τις μεγαλύτερες τριβές). Στις υψηλές ταχύτητες και τα δύο δεν αντιμετωπίζουν κανένα ουσιαστικό πρόβλημα, με το Peugeot να εμπνέει μεγαλύτερη σιγουριά, απόρροια και της μικρότερης μεταβολής της γεωμετρίας της ανάρτησης του.

Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι οι εργαστηριακές δοκιμές είναι ένα πάρα πολύ χρήσιμο εργαλείο, αλλά δεν αποτελούν πανάκεια και σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να καταργήσουν εντελώς τις δοκιμές σε πραγματικές συνθήκες. Μπορούν, όμως, να τις μειώσουν θεαματικά, αφού το αυτοκίνητο σχεδιάζεται, εξ' αρχής, πολύ κοντά στο επιθυμητό αποτέλεσμα.



Κεφάλαιο 5: Γεωμετρία.

► 5.1 Γενικά

Ένα σωστό σύστημα ανάρτησης πρέπει, εκτός όλων των άλλων που αναφέραμε, να προσδίδει στους τροχούς και την κατάλληλη “γεωμετρία”. Με τον όρο γεωμετρία αναφερόμαστε στη θέση του τροχού, ως προς το έδαφος, τόσο στη διαμήκη, όσο και στην εγκάρσια διεύθυνση.

Υπάρχουν τέσσερα τυποποιημένα μεγέθη, που καθορίζουν αυτή τη θέση. Οι γωνίες *camber*, *caster* και σύγκλισης και η “ακτίνα τριβής”, γνωστότερη σαν *offset*. Ας δούμε το κάθε ένα από αυτά αναλυτικά.

► 5.2 Γωνία *camber*.



Εικόνα 1.

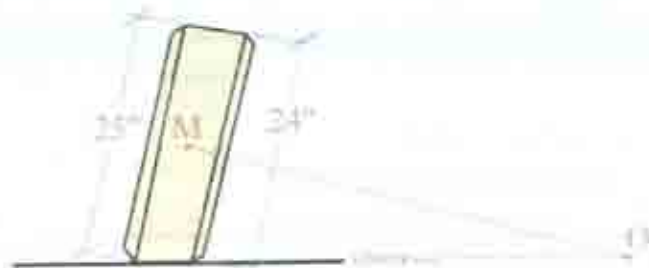
Θέση της θετικής και αρνητικής γωνίας *camber*.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι επειδή η πλευρική δύναμη, που οφείλεται στη γωνία *camber*, δρα πιο μπροστά από το κέντρο του ίχνους του τροχού, αναπτύσσεται μια μικρή ροπή, που ονομάζεται ροπή κύρτωσης. Η ροπή αυτή τείνει να

περιστρέψει τους τροχούς προς το εσωτερικό του αυτοκινήτου (σύγκλιση), αν η γωνία *camber* είναι αρνητική, και προς το εξωτερικό (απόκλιση), αν η γωνία *camber* είναι θετική.

Γωνία *camber* αποκαλείται η κλίση που έχει ένας τροχός, ως προς το κατακόρυφο διαμήκες επίπεδο. Η γωνία αυτή θεωρείται θετική όταν οι κορυφές, των τροχών του ίδιου άξονα, αποκλίνουν και αρνητική όταν οι κορυφές συγκλίνουν.

Κάτω από την επίδραση της γωνίας *camber*, ο τροχός αποκτά μια κωνικότητα. Ένα ελεύθερα κυλιόμενο ελαστικό, κάτω από αυτή την κωνικότητα, θα περιστρεφόταν γύρω από τη θεωρητική κορυφή του κώνου, όπως φαίνεται και στο σχετικό σχήμα. Συνδεδεμένος στο αυτοκίνητο, όμως, αναγκάζεται να κινηθεί σε ευθεία. Αυτό οδηγεί στην ανάπτυξη μιας πλευρικής δύναμης, που εφαρμόζεται λίγο πιο μπροστά από το κέντρο του πέλματός, στο επίπεδο του δρόμου, με φορά προς το κέντρο του κώνου *O*. Στην ευθεία, οι απέναντι τροχοί του ίδιου άξονα (εφ' όσον έχουν την ίδια γωνία *camber*) δημιουργούν αντίρροπες δυνάμεις, που αλληλοαναιρούνται. Στις στροφές, ανάλογα με τη συνδεσμολογία της ανάρτησης, οι γωνίες *camber* διαφοροποιούνται, με αποτέλεσμα τη συνεισφορά τους στη συνολικά παραγόμενη πλευρική δύναμη.



Εικόνα 2.

Ο τροχός, λόγω της γωνίας *camber*, αποκτάει μια κωνικότητα (εξαιτίας την τιμή να περιστρεφεί γύρω από το θεωρητικό κέντρο του κώνου *O*).

Μία θετική γωνία *camber* προκαλεί μείωση της μέγιστης πλευρικής δύναμης που μπορεί να παράγει ο συγκεκριμένος άξονας παράλληλα, όμως οι αντιδράσεις του αυτοκινήτου, στα όρια της πρόσφυσης είναι πιο προοδευτικές και προβλέψιμες. Στην περίπτωση που ο μπροστινός άξονας έχει θετικό *camber*, παρατηρείται αστάθεια, γύρω από τη θέση της ευθείας. Παράλληλα, όμως, το τιμόνι γίνεται πιο ελαφρύ και εύκολο στο χειρισμό του. Αυτός είναι και ο λόγος που, πριν γενικευτεί η χρήση συστημάτων υποβοήθησης, τα περισσότερα αυτοκίνητα είχαν θετικό *camber*, στους μπροστινούς τους τροχούς.

Προκειμένου, κατά τη διάρκεια μιας στρόφης και ενώ το αυτοκίνητο γέρνει, ο εξωτερικός τροχός (που συνεισφέρει τα μέγιστα στην παραγωγή της πλευρικής πρόσφυσης) να παραμένει σε συνεχώς κάθετη θέση, ως προς το οδόστρωμα, θα πρέπει να έχει μια αρχική τιμή αρνητικού *camber*. Μια αρνητική *camber* προσφέρει αυξημένα περιθώρια πλευρικής πρόσφυσης. Ταυτόχρονα, όμως, συνεπάγεται και πιο απότομες αντιδράσεις, όταν τα όρια της



Εικόνα 1.

Στη Formula 1 χρησιμοποιούνται μεγάλες τιμές αρνητικού *camber*. Προσίζει την καθιέρωση του οριζοντιώδους τροχού και τη μεγάλη γωνία του εξωτερικού, που χωρίς την ύπαρξη ελαστικών τόσο υψηλού προφίλ, θα ήταν αδύνατο να επιτευχθεί.

ένα όριο, που εξαρτάται από τη διάσταση του ελαστικού, την κατάσταση του δρόμου και το φορτίο. Σε γενικές γραμμές, όσο χαμηλότερο είναι το προφίλ ενός ελαστικού, τόσο περισσότερο επηρεάζεται από την ύπαρξη γωνίας *camber*. Αυτό γίνεται, γιατί τα πλαϊνά του τοιχώματα είναι λιγότερο παραμορφώσιμα.

Έχει αποδειχτεί πειραματικά ότι η πλευρική δύναμη, εξ' αιτίας της γωνίας *camber*, F_{camber} ισούται περίπου με το ένα πέμπτο της τιμής της πλευρικής δύναμης F_y , που παράγεται από τη γωνία ολίσθησης. Για να υπάρξει μια κοινή βάση σύγκρισης των χαρακτηριστικών κύρτωσης, για διάφορα ελαστικά, εισήχθη μία παράμετρος, που καλείται ακαμψία κύρτωσης (*camber stiffness*) και συμβολίζεται με C_γ . Η παράμετρος αυτή ορίζεται σαν η παράγωγος της πλευρικής δύναμης, λόγω *camber*, F_{camber} ως προς τη γωνία *camber* γ .

$$C_\gamma = \frac{\partial F_{camber}}{\partial \gamma}, \text{ Σχέση 5-1.}$$

Η ολική πλευρική δύναμη $F_{y,ολ}$, που μπορεί να παράγει ένα ελαστικό, που έχει γωνία *camber* γ και γωνία ολίσθησης α , θα είναι το άθροισμα της F_y και της F_{camber} . Δηλαδή:

$$F_{y,ολ} = F_y \pm F_{camber}, \text{ Σχέση 5-2.}$$

με το πρόστιμο να είναι θετικό, αν η γωνία *camber* είναι αρνητική, και αρνητικό, αν η γωνία *camber* είναι θετική. Αν αντικαταστήσουμε στη σχέση 5-2 τις τιμές των F_y και F_{camber} από

τις σχέσεις 5-1 και 3-30 (υπενθυμίζεται ότι $C_\alpha = \frac{\partial F_x}{\partial \alpha}$, όπως είπαμε στη σχέση 2-59, της σελίδας 1^{ος}), έχουμε:

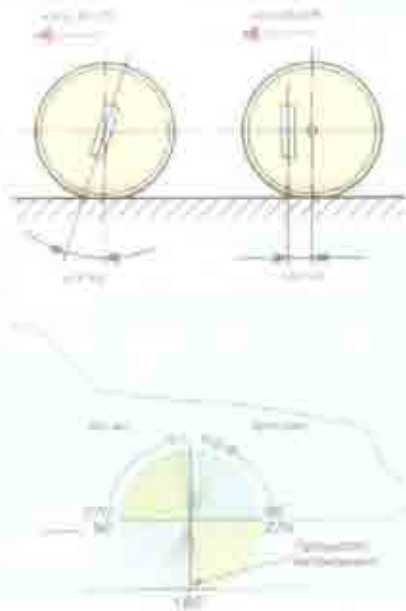
πρόσφυσης αυτής ξεπεραστούν. Στην περίπτωση ο μπροστινός άξονας έχει αρνητικό *camber*, το τιμόνι έχει μεγάλη σταθερότητα στην ευθεία και το αυτοκίνητο έχει πιο άμεσες αντιδράσεις, υπακούοντας πιστά στις εντολές του οδηγού. Παράλληλα, όμως, η συμπεριφορά είναι πιο απότομη και λιγότερη φιλική, για έναν άπειρο οδηγό.

Η αύξηση του αρνητικού *camber* συνεπάγεται και αύξηση της πλευρικής πρόσφυσης, με μια σχέση σχεδόν γραμμική, αλλά μέχρι

$$F_{y,dal} = C_d \cdot a \pm C_p \cdot \gamma, \quad \Sigma \chi \lambda \iota \sigma \eta \ 5-3,$$

Στην πράξη, πολύ σπάνια στα μοντέλα παραγωγής χρησιμοποιούνται μεγάλες τιμές γωνίας camber. Αυτό γίνεται αφ' ενός προς αποφυγή της φθοράς των ελαστικών και αφ' ετέρου προκειμένου να αποφευχθούν απότομες αντιδράσεις, στα όρια της πρόσφυσης. Έτσι, στα σύγχρονα αυτοκίνητα, η γωνία camber είναι από 0" έως -5".

► 5.3 Γωνία caster.



Εικόνα 4.

Ορισμός και πρόσημο της γωνίας caster.

στην ευθεία.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα την επίδραση της γωνίας caster, μπορούμε να



Εικόνα 5.

Το μηδέν caster στο κορίτσι του «car» παίζει σημαντικό ρόλο στην επίστρωση των τροχών τους.

παρατηρήσουμε τα καροτσάκια του super-market, όπου διαθέτουν caster και στους τέσσερις τροχούς τους. Λόγω αυτού του γεγονότος, οι τροχοί τους περιστρέφονται πάντα αντίθετα από τη διεύθυνση εφαρμογής της δύναμης με αποτέλεσμα την εύκολη μετακίνηση του καροτσιού.



Εικόνα 6.

Γιατί είναι οι καροτσάκια.

Αλλη μία εφαρμογή της γωνίας caster είναι στον μπροστινό τροχό των ποδηλάτων (αλλά και μοτοσυκλετών). Το μπροστινό "πριόνι" έχει σχεδόν πάντα μία κλίση, προκειμένου να επιτυγχάνεται η απαραίτητη σταθερότητα στην ευθεία, που στα δίκυκλα είναι ζωτικής σημασίας.

Σε κάθε περίπτωση η δύναμη επαναφοράς του τροχού στην ευθεία θέση είναι ανάλογη της γωνίας caster. Οπότε, μεγάλη θετική γωνία caster σημαίνει δυνατή επαναφορά του τιμονιού, μετά τη στροφή, και σταθερότητα στην ευθεία. Παράλληλα, όμως, σημαίνει βαρύτερο τιμόνι και μικρότερη ευελιξία, ενώ μπορεί να προκληθεί και ταλάντευση των τροχών από πλευρά σε πλευρά.

Μια μεγάλη θετική γωνία caster μπορεί να προκαλέσει κακές συνθήκες άνεσης, όταν το όχημα διέρχεται πάνω από ανωμαλίες του οδοστρώματος. Όταν η γραμμή caster βρεθεί κατευθείαν απέναντι στην ανωμαλία, τότε οι

κραδασμοί μεταφέρονται, μέσω των συνδέσμων της ανάρτησης, στο σασί. Αντιθέτως, μια μικρή θετική, ή μια αρνητική τιμή της γωνίας caster, επιτρέπει στον τροχό να κυλιέται μέσα στην ανωμαλία, χωρίς να μεταφέρονται κραδασμοί στο σασί.



Εικόνα 7.

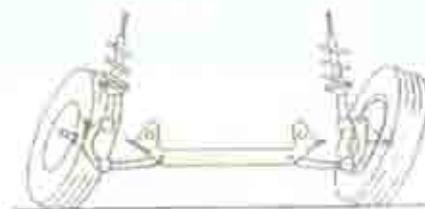
Η μεγάλη θετική γωνία caster προκαλεί ασχμητές συνθήκες άνεσης.

Αν η γωνία caster είναι 0° , τα μπροστινά ημιαξόνια περιστρέφονται οριζόντια, σε σχέση με την επιφάνεια του οδοστρώματος. Σε κάθε άλλη περίπτωση, η γωνία caster (θετική ή αρνητική) προκαλεί την κλίση των ημιαξόνιων, ως προς το οδόστρωμα.

Ας πάρουμε την περίπτωση ενός αυτοκινήτου, που έχει θετική γωνία caster και εκτελεί μια αριστερή στροφή. Μια υπερβολική θετική γωνία caster προκαλεί ανύψωση του αριστερού ημιαξονίου, με ταυτόχρονη καθοδική κίνηση του δεξιού. Αυτό σημαίνει ότι, κατά το στρίψιμο των

τροχών, ανυψώνεται ολόκληρο το μπροστινό σύστημα του αυτοκινήτου, βαραινόντας το τιμόνι. Κατά τη επαναφορά, βέβαια, το βάρος του αυτοκινήτου βοηθά στην επιστροφή στην ευθεία θέση. Η κίνηση αυτή προκαλεί αύξηση της κλίσης του αυτοκινήτου.

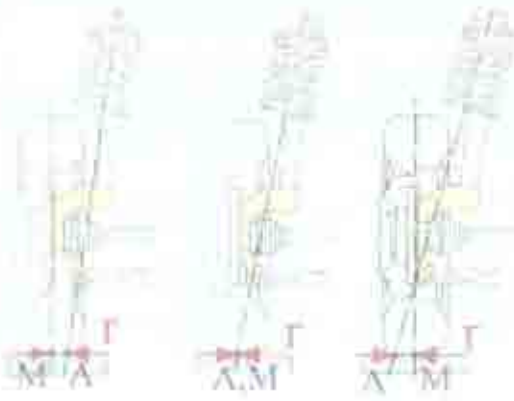
Όπως βλέπουμε, η ύπαρξη γωνίας caster συνοδεύεται από εξαιρετικά πλεονεκτήματα, αλλά και σοβαρά μειονεκτήματα. Για το λόγο αυτό, οι περισσότεροι κατασκευαστές σήμερα προσπαθούν να εξασφαλίσουν την επαναφορά του τιμονιού στην ευθεία με άλλους τρόπους (εκμεταλλευόμενοι κυρίως το μακρόστενο ίχνος της επιφάνειας επαφής των ελαστικών). Έτσι, στα περισσότερα σύγχρονα αυτοκίνητα, η γωνία caster κυμαίνεται από 1° ως 2° .



Εικόνα 8.

Η κλίση των ημιαξόνιων, λόγω της γωνίας caster.

► 5.4 Offset.



Εικόνη 9.

Θετικό, μηδενικό και αρνητικό offset.

μόνη διαφορά το σημείο μέτρησης. Το offset μετριέται στην πληνή του τροχού, ενώ η ακτίνα τριβής στο πέλμα. Στις μέρες μας δε χρησιμοποιείται πλέον ο όρος "ακτίνα τριβής", έχοντας αντικατασταθεί αποκλειστικά από το offset. Πλέον, η λέξη offset χρησιμοποιείται, είτε μετράμε το μήκος M πάνω στο οδόστρωμα, είτε το ισόποσό του στην πλύνη.

Αν η προέκταση του βασιλικού πύρου συμπίπτει με το κέντρο του πέλματος, τότε το offset είναι μηδενικό. Αν το σημείο A βρίσκεται ανάμεσα στο κέντρο του ενεργού πέλματος του τροχού M και το εσωτερικό μέρος του τροχού, τότε το offset είναι θετικό. Αν το σημείο A βρίσκεται ανάμεσα στο κέντρο του πέλματος M και το εξωτερικό μέρος του τροχού, τότε το offset είναι αρνητικό.

Όταν έχουμε μηδενικό offset (δηλαδή όταν το A και το M ταυτίζονται) τότε, κάθε φορά που στρίβουμε το τιμόνι, το πέλμα επαφής του ελαστικού με το δρόμο, περιστρέφεται γύρω από το γεωμετρικό κέντρο του. Στην περίπτωση που στρίβουμε το τιμόνι με το αυτοκίνητο σταματημένο, θα έχουμε στα χέρια μας και τη μεγαλύτερη αντίσταση. Αυτό οφείλεται στο ότι ο τροχός δεν μπορεί να



Εικόνη 10.

Συμπιμπισιμά στίε διαμήκη φορτία, πία αρνητικό offset.

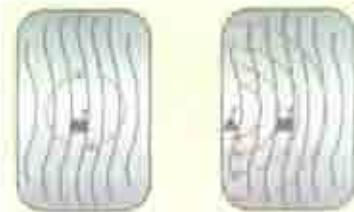
κυλήσει ούτε κατά το ελάχιστο, αφού το μισό μέρος του πέλματος θα συρθεί προς τη μία κατεύθυνση και το άλλο μισό προς την άλλη.

Αν, όμως, έχουμε μη μηδενικό offset, θετικό ή αρνητικό, η αντίσταση, που θα συναντήσουμε, θα είναι συγκριτικά μικρότερη. Αυτό οφείλεται στο ότι το μεγαλύτερο μέρος του πέλματος θα κυλήσει, αφήνοντας να συρθεί μόνο ένα μικρότερο.

Το offset είναι καθοριστικής σημασίας, όσον αφορά τον επηρεασμό του τιμονιού, από τα διαμήκη φορτία, που ασκούνται στο πέλμα του τροχού. Ανάλογα με το μέγεθος και το πρόσημο του offset, αλλά και τη φορά της διαμήκου δύναμης (επιτάχυνση-επιβράδυνση), οι τροχοί ενός άξονα, που θα δεχτούν διαμήκη φορτία, θα συγκλίνουν ή θα αποκλίνουν, ανάλογα με την περίπτωση, αυξάνοντας την ευστάθεια, ή την ευελιξία του αυτοκινήτου, κατά κανόνα τη μία εις βάρος της άλλης.

Αν προεκταίνουμε το νοητό άξονα του βασιλικού πύρου, στο εγκάρσιο επίπεδο, θα δούμε ότι αυτός συναντά το οδόστρωμα σε ένα σημείο A , που αποτελεί μέρος του ίχνους επαφής του ελαστικού με το δρόμο. Η απόσταση ανάμεσα σε αυτό το σημείο (A) και το μέσο του ίχνους του ελαστικού M ονομάζεται "ακτίνα τριβής" (scrub radius).

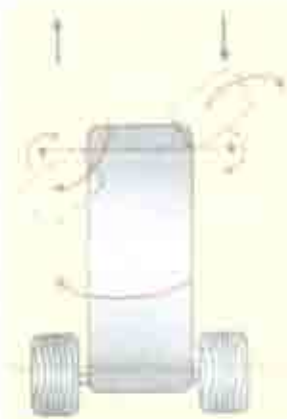
Αν σε μία συγκεκριμένη εφαρμογή διαπιστώσουμε ότι η γεωμετρία του συστήματος έχει μη μηδενική "ακτίνα τριβής" και θέλουμε να τη μηδενίσουμε, θα πρέπει να μετακινήσουμε τη ζάντα, προς τα μέσα ή προς τα έξω, πάνω στην πληνή, κατά το ισόποσο της "ακτίνας τριβής". Αυτή η μετατόπιση ονομάζεται offset. Με άλλα λόγια, το offset και η "ακτίνα τριβής" είναι αριθμητικά ίσα, με



Εικόνη 11.

Η στριμπισιμά τία ελαστικού, σφμασθή με το offset.

Για παράδειγμα, σε ένα φρενάρισμα, δύο τροχοί με αρνητικό offset, θα τείνουν να συγκλίνουν, προς το εσωτερικό του αυτοκινήτου, αυξάνοντας την ευστάθειά του. Αντίθετα, δύο τροχοί με θετικό offset θα τείνουν να αποκλίνουν, δημιουργώντας συνθήκες αστάθειας. Τα αντίθετα συμβαίνουν σε ένα αυτοκίνητο με μπροστινή κίνηση, στην περίπτωση επιτάχυνσης. Αν έχει θετικό offset οι μπροστινοί τροχοί θα συγκλίνουν, σταθεροποιώντας το μπροστινό μέρος, ενώ αν έχει αρνητικό, θα αποκλίνουν, αποσταθεροποιώντας το.



Εικόνα 12.

Αλλαγή της θέσης των μπροστινών τροχών, με υπερβολικό αρνητικό offset.

Αυτές οι τάσεις αλλαγής της σύγκλισης των μπροστινών τροχών είναι άλλος ένας λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται ελαστικά σινεμπλόκ στην ανάρτηση. Ο ρόλος τους είναι να οδηγούν τα ίδια τα ψαλίδια σε σύγκλιση, ή απόκλιση, περιορίζοντας την εμφάνιση του φαινομένου στους τροχούς.

Εστω ότι σε ένα αυτοκίνητο με μεγάλο offset στρίβει απότομα το τιμόνι. Αν το offset είναι αρνητικό, θα εμφανιστούν υπερτροφικές τάσεις. Αυτό οφείλεται στο ότι εμπρός εξωτερικός τροχός θα τείνει να κινηθεί το πέδμα του προς τα πίσω, επιταχύνοντας αυτή τη μεριά του αυτοκινήτου, ενώ ο εμπρός εσωτερικός τροχός θα κινηθεί προς τα μπροστά, λειτουργώντας ως τοπικό φρένο. Τα παραπάνω φαίνονται και στο διπλανό σχήμα, όπου, για να γίνει ευκολότερα κατανοητό το φαινόμενο, έχει επιλεγεί υπερβολικό αρνητικό offset. Τα ακριβώς αντίθετα θα συμβούν, στην περίπτωση που το αυτοκίνητο έχει μεγάλο θετικό offset. Στην περίπτωση αυτή, με ένα απότομο στρίψιμο του τιμονιού, θα εμφανιστούν υποστροφικές τάσεις. Συνήθως, τα αυτοκίνητα με κίνηση στους πίσω τροχούς έχουν θετικό offset, για λόγους ευστάθειας, στις απότομες αλλαγές κατεύθυνσης, ενώ τα περισσότερα προσθιοκίνητα έχουν αρνητικό offset, προκειμένου να αντιμετωπίσουν την έμφυτη τάση τους για υποστροφή.



Εικόνα 13.

Μεταβολή του offset, ανάλογα με τη διάμετρο του τροχού.

Από τα παραπάνω είναι φανερή η σημασία του offset, στην οδική συμπεριφορά. Επειδή το offset καθορίζεται, σε μεγάλο βαθμό, από το offset της ζάντας, αλλά και τη διάσταση του ελαστικού, θα πρέπει πριν το σχεδιασμό της ανάρτησης, να έχει γίνει προεπιλογή αυτών των δύο μεγεθών, ώστε να ληφθούν υπόψη.

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται και κατά την αντικατάσταση των τροχών ενός αυτοκινήτου. Στην περίπτωση αλλαγής ζαντών, θα πρέπει απαραίτητως να τοποθετούνται ζάντες

με offset ίδιο με αυτό του κατασκευαστή. Ακόμα, η συνολική διάμετρος του ελαστικού, θα πρέπει να διατηρείται στα ίδια επίπεδα. Αν το offset είναι θετικό θα έχουμε μείωση, μηδενισμό, ή και αρνητικό offset, ανάλογα με την αύξηση της διαμέτρου. Αντίθετα, όσο η διάμετρος μικραίνει, τόσο το offset αυξάνεται. Σε κάθε περίπτωση, η μεταβολή αυτή μπορεί να κρύβει δυσάρεστες

εκπλήξεις στη συμπεριφορά του αυτοκινήτου και καλό θα είναι να διατηρούνται τα εργοστασιακά μεγέθη.

► 5.5 Σύγκλιση.

Η σύγκλιση των τροχών μπορεί να μετρηθεί με δύο τρόπους. Με τη γωνία σύγκλισης (εκφρασμένη σε μοίρες) και με τη διαφορά της απόστασης των άκρων των τροχών (σε mm).

Ως γωνία σύγκλισης ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του διαμήκη άξονα του τροχού και του διαμήκη άξονα του αυτοκινήτου. Εναλλακτικά, μπορεί να μετρηθεί η απόσταση μεταξύ του εμπρός και του πίσω τμήματος τόσο της αριστερής, όσο και της δεξιάς ζάντας (του ίδιου άξονα), όπως αυτές φαίνονται στην κάτοψη του αυτοκινήτου. Η διαφορά των δύο αποστάσεων ορίζεται ως σύγκλιση.



Εικόνα 14.

Ορισμός της σύγκλισης:
 α: Γωνία σύγκλισης
 b-c: Σύγκλιση σε mm.

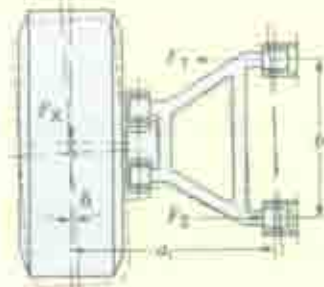
έχουν σύγκλιση στον μπροστινό άξονα που κυμαίνεται από δύο έως τρία χιλιοστά. Στα προσθιοκίνητα, ανάλογα με το offset που χρησιμοποιείται, μπορεί να έχουμε είτε σύγκλιση (της τάξης των 3 mm), είτε απόκλιση (όχι μεγαλύτερη από 2 mm). Σύγκλιση μπορεί να παρουσιαστεί και στον πίσω άξονα. Ο στόχος και πάλι είναι οι τροχοί να βρίσκονται σε παράλληλη θέση, κάτω από πραγματικές συνθήκες.

Υπάρχουν πάντως και εξαιρέσεις στον κανόνα. Έτσι, πολλοί κατασκευαστές επιδιώκουν μια ελεγχόμενη σύγκλιση, ή απόκλιση, προκειμένου να ελέγξουν τα οδικά χαρακτηριστικά των αυτοκινήτων τους, όπως είπαμε και στην § 4.10, όπου μιλήσαμε για την τετραδιευθυσή.

Όπως είπαμε, ανάλογα με το offset που έχει ο κάθε άξονας, κάτω από δυναμικές συνθήκες (επιτάχυνση-φρενάρισμα) οι τροχοί αυτού του άξονα θα τείνουν να συγκλίνουν, ή να αποκλίνουν.

Ένα σωστά σχεδιασμένο σύστημα ανάρτησης πρέπει να διατηρεί τους τροχούς σε εντελώς παράλληλη μεταξύ τους θέση, όταν το αυτοκίνητο κινείται σε ευθεία πορεία (ώστε να αποφεύγεται η άσκοπη φθορά των ελαστικών, αλλά και η αυξημένη κατανάλωση καυσίμου), και να δημιουργεί μια ελαφριά σύγκλιση, όταν το αυτοκίνητο επιβραδύνεται (ώστε να αυξάνεται η σταθερότητά του).

Όπως είπαμε, τα περισσότερα πίσωκίνητα έχουν θετικό offset μπροστά. Έτσι, η δύναμη τριβής, κατά την κίνηση του αυτοκινήτου, ωθεί τους τροχούς προς τα πίσω. Για να αντισταθμιστεί αυτή η τάση, τα περισσότερα πίσωκίνητα



Εικόνα 15.

Απόκλιση τροχού κατά την κίνηση.

► 5.6 Τελευταίες εελίξεις

Μετά από όλα αυτά, το εύλογο ερώτημα είναι: "Ποια είναι η βέλτιστη γεωμετρία, που θα πρέπει να έχει ένα σύστημα ανάρτησης, ώστε να εξασφαλίζει κορυφαία οδική συμπεριφορά". Η απάντηση, σε καμία περίπτωση, δεν μπορεί να είναι μονοσήμαντη.

Πρώτα απ' όλα, δεν μπορεί να καθοριστεί ο όρος "κορυφαία οδική συμπεριφορά". Και αυτό γιατί ο όρος είναι σε μεγάλο βαθμό υποκειμενικός και εξαρτάται από τις προτιμήσεις, αλλά και την ικανότητα του οδηγού. Ακόμα, όμως, και στους αγώνες, όπου το προφίλ του οδηγού είναι ξεκάθαρο, και πάλι παρατηρείται μια δυσκολία προσαρμογής του αυτοκινήτου στα "μέτρα" του οδηγού του. Και αυτό γιατί, όπως γίνεται κατανοητό από τα μέχρι τώρα αναφερθέντα, η οδική συμπεριφορά είναι ένας συγκεκριασμός πλήθους διαφορετικών και αντιφατικών μεταξύ τους παραγόντων, που ο καθένας επωφελείται εις βάρος κάποιων άλλων.

Ας πάρουμε για παράδειγμα τη Michelin, που πριν από τέσσερα χρόνια εισήλθε στη Formula 1, σπάζοντας το μονοπώλιο της Bridgestone. Η μέχρι τότε τάση, στη γεωμετρία των μπροστινών ανάρτησεων, ήταν μια συνεχής αύξηση της γωνίας camber. Οι γάλλοι, ξέροντας

ότι, μιμούμενοι τους Ιάπωνες ανταγωνιστές τους, θα ήταν πάντα ένα βήμα πίσω, αποφάσισαν να τραβήξουν το δικό τους δρόμο. Σχεδίασαν, λοιπόν, τα ελαστικά τους, με σκοπό να λειτουργούν με μηδενική γωνία camber.

Το σκεπτικό των Ιαπώνων ήταν η χρησιμοποίηση σκληρότερων και πιο ανθεκτικών



Εικόνα 16.

Η Bridgestone επιμένει στη χρησιμοποίηση μεγάλου αρνητικού camber (από η Ferrari F2004)



Εικόνα 17.

Σε αντίθεση με τη Michelin, που επιμένει στο μηδενικό camber (από η Williams FW20)

μεγάλα θερμικά φορτία, χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις θερμοκρασίας στο πέλμα τους. Αυτό τους επέτρεπε, στο να χρησιμοποιήσουν μαλακότερες γόμες, χωρίς πρόβλημα υπερθέρμανσης. Αντιθέτως, τα Bridgestone είχαν προβλήματα υπερθέρμανσης στο εσωτερικό μέρος του πέλματος, που βρισκόταν σε επαφή με την πίστα. Αυτό τους οδήγησε στην επιλογή πιο σκληρής γόμες, που με τη σειρά της προσέφερε λιγότερη πρόσφυση, με



Εικόνα 18.

Τα Bridgestone επιμένουν στη υψηλές θερμοκρασίες, ενώ τα Michelin στις χαμηλές.

γομών. Το αυξημένο camber, συνεισέφερε στη δημιουργία πλευρικής δύναμης, δίνοντας σταθερή συμπεριφορά στις ανοικτές καμπές και ακαριαίες αντιδράσεις στο σύστημα διεύθυνσης. Μάλιστα, προκειμένου να μπορούν να λειτουργούν με τόσο μεγάλες τιμές αρνητικού camber, τα ελαστικά της Bridgestone είχαν στρογγυλεμένους "ώμους" (πλάινιά) και μικρότερο πλάτος, ευνοώντας την αεροδυναμική.

Οι γάλλοι σκέφτηκαν ότι, αν το ελαστικό πατά στην πίστα με όλο το πλάτος του, θα μπορεί να αποβάλλει μεγαλύτερα ποσά θερμότητας, με αποτέλεσμα να γίνεται δυνατή η χρησιμοποίηση μαλακότερης γόμες, που δίνει και μεγαλύτερη πρόσφυση προς όλες τις διευθύνσεις, χωρίς να χρειάζεται η συνεισφορά του camber. Μπορεί η σχεδίαση αυτή να μειονεκτεί αεροδυναμικά (τα ελαστικά της Michelin είναι λίγο πιο "τετράγωνα"), αλλά προσφέρει πολύ καλύτερη κατανομή της θερμοκρασίας στο πέλμα του ελαστικού.

Τα πρώτα δύο χρόνια οι γάλλοι ήταν εμφανώς πίσω από τους Ιάπωνες. Πέρσι, όμως, η κατάσταση μερικώς αντιστράφηκε. Συγκεκριμένα, όποτε η θερμοκρασία στην πίστα ήταν αρκετά υψηλή, τα Michelin υπερτερούσαν εμφανώς. Αντιθέτως, όταν η θερμοκρασία ήταν χαμηλή, τα Bridgestone διατηρούνταν μπροστά, ενώ σε περίπτωση βροχής η διαφορά γινόταν χαστική. Που οφειλόταν αυτό; Μα φυσικά στο ότι οι δύο κατασκευαστές είχαν σχεδιάσει τα ελαστικά τους, με σκοπό να λειτουργούν με διαφορετικές γωνίες camber.

Τα σχεδιασμένα για μηδενικό camber Michelin, μπορούσαν να διαχειριστούν πολύ αποτελεσματικά την αυξημένη ολισθήση και άρα την εκ νέου άνοδο της θερμοκρασίας. Ένας φαύλος κύκλος δηλαδή.

Τα πράγματα αντιστρέφονταν άρδην σε πιο ήπιες θερμοκρασιακά,

συνθήκες. Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο πιο μαλακές γόμες χρειάζονται. Οι γάλλοι δεν έχουν καταφέρει, έως τώρα, να φτιάξουν μια πολύ μαλακή γόμα, που να είναι συγχρόνως και ευσταλής. Έτσι, όσοι χρησιμοποιούν Michelin βλέπουν τα ελαστικά τους να διαλύονται, όταν οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές! Αντιθέτως τα Bridgestone δεν αντιμετωπίζουν τέτοια προβλήματα, αφού, εκ κατασκευής, χρησιμοποιούν σκληρότερες γόμες.

Φέτος η "ψαλίδα" έχει κάπως κλίσει. Και οι δύο κατασκευαστές "έχουν βάλει νερό στο κρασί τους", προσπαθώντας να μειώσουν τα μειονεκτήματα της εκάστοτε σχεδίασης.



Εικόνα 19.

Η BAR-Honda κυριολεκτικά μεταμορφώθηκε επιλέγοντας να χρησιμοποήσει Michelin.

Έτσι, η Michelin έχει δώσει κάποιο μικρό αρνητικό camber στα ελαστικά της, ενώ η Bridgestone έχει μειώσει λίγο το υπερβολικό αρνητικό camber που χρησιμοποιούσε τα προηγούμενα χρόνια. Τα μέχρι τώρα δεδομένα δείχνουν μια σύγκλιση αποτελεσμάτων, με τους γάλλους να υπερέχουν ελάχιστα σε υψηλές και τους ιάπωνες να πλεονεκτούν σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Όλα αυτά ισχύουν για τις ομάδες κορυφής. Σε επίπεδο μικρότερων ομάδων, η κυριαρχία της Michelin είναι καθολική. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ομάδα της BAR Honda. Πέρσι, χρησιμοποιώντας ελαστικά της Bridgestone πάλευε για τις τελευταίες θέσεις

της κατάταξης. Φέτος, χρησιμοποιώντας ελαστικά της Michelin, κυριολεκτικά μεταμορφώθηκε, διεκδικώντας επάξια μια θέση στο βήθρο!

Από τα παραπάνω βλέπουμε πόσο σημαντική είναι η γωνία camber. Βλέπουμε, όμως, ότι είναι δυνατό να έχουμε παρόμοια αποτελέσματα, χρησιμοποιώντας ριζικά διαφορετικές λύσεις. Αυτό αποδεικνύει το ότι η οδική συμπεριφορά είναι πάντα το αποτέλεσμα ενός συμβιβασμού και δεν υπάρχει η μία και μοναδική ιδανική λύση.

Ας παραμείνουμε για λίγο ακόμα στο χώρο της F1. Την περσινή χρονιά (2003) η Michelin έκανε μια τρομερή προσπάθεια να εξελίξει ένα πραγματικά επαναστατικό σύστημα παθητικά μεταβαλλόμενου camber, που η ίδια ονόμασε "OPT". Τόσο η McLaren, όσο και η Renault ενδιαφέρθηκαν έντονα για αυτό το σύστημα. Πολλές φήμες μάλιστα λένε ότι η ματαιώση της εμφάνισης της MP4-18, οφειλόταν στο γεγονός ότι σχεδιάστηκε εξ' αρχής με σκοπό να χρησιμοποιεί το OPT, κάτι που ποτέ δεν έγινε εφικτό. Φήμες ακόμα λένε ότι η Renault χρησιμοποίησε το OPT σε μερικούς αγώνες και μάλιστα με μεγάλη επιτυχία. Τίποτα, βέβαια, δεν έχει επιβεβαιωθεί. Το μόνο σίγουρο είναι ότι έγιναν πολλές δοκιμές του συστήματος και από τους δύο κατασκευαστές, για έναν περίπου χρόνο. Από ότι φαίνεται κατάφεραν να το εξελίσσουν σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό, αλλά ακριβώς τότε ήταν που η FIA (η διοργανώτρια αρχή του αθλήματος) έκρινε πως το σύστημα είναι παράνομο. Ίσως, όμως, να μην πάει τόσος κόπος χαμένος και να το δούμε καλύτερη στην παραγωγή.



Εικόνα 20.

Η McLaren MP4-18 δεν έπρεξε ποτέ σε αγώνες, αφού αυτό να οφείλεται στο σχεδιασμό των αναρτημάτων της, βάσει του συστήματος OPT.

Ας πάρουμε, όμως, τα πράγματα από την αρχή. Υπάρχουν δύο τρόποι, για να παραμείνει ένας εξωτερικός τροχός κάθετος στο δρόμο, καθώς το αυτοκίνητο γέρνει και η ανάρτηση συμπιέζεται.

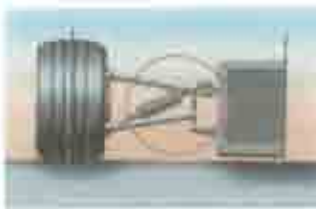
Ο πρώτος είναι να αυξάνεται το αρνητικό camber, μέσω της ίδιας της



Εικόνα 21.

Η κλίση που παίρνει το αυτοκίνητο σε μια στρώση, μεταδίδεται και στους τροχούς, με αποτέλεσμα την κλίση του camber στην εσωτερική τροχή.

που θα μετέβαλε την απόκριση του τιμονιού, κάνοντας το αυτοκίνητο επικίνδυνο.



Εικόνα 22.

Μια εκδοχή του συστήματος OPT και ανάλυση του ηζιάσιου. Το όλο σύστημα βασίζεται στην έπαρση ενός υποπλασιίου (ΛΠ), πάνω στο οποίο εδράζονται τα εσωτερικές αρθρώσεις των ψαλιδίων. Το υποπλαίσιο αυτό στρέφεται γύρω από την άρθρωση Α, ανάλογα με το βαθμό συμπίεσης που τα κινητήρια φορτία επιβάλλουν στο ελαστικό στοιχείο E_{spr} .

προσέδιδε μια τιμή αρνητικού camber, ανάλογα τροχός. Προκειμένου να το επιτύχουν αυτό,



Εικόνα 23.

Η λειτουργία του συστήματος, σε μια στρώση. Ανάλογα με τη σκληρότητα των ελαστικών στοιχείων E_{spr} , μπορεί ο τροχός να συμπίεσει κάπως, ή να αποκτήσει αρνητικό camber.

συνδεσμολογίας της ανάρτησης (για παράδειγμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανισομεγέθη ψαλιδία). Η μέθοδος αυτή, μπορεί να λειτουργεί αρκετά καλά σε επιβατικά αυτοκίνητα, αλλά όχι και σε ένα μονοθέσιο της F1. Ο λόγος είναι ότι στις ευθείες, όπου τα αυτοκίνητα κινούνται με πολύ υψηλές ταχύτητες, η αρνητική άντωση φορτίζει σημαντικά τις αναρτήσεις συμπιέζοντας τις. Έτσι, μια τέτοια διάταξη, θα προκαλούσε μεταβολή της γωνίας camber στην ευθεία, ανάλογα με την ταχύτητα, κάτι

Ο δεύτερος τρόπος είναι η χρησιμοποίηση μιας ανάρτησης που δε μεταβάλλει το camber (ισομεγέθη ψαλιδία), σε συνδυασμό με μια αρχική τιμή αρνητικού στατικού camber. Η τιμή αυτή αρκεί να είναι ίδια με τη μέγιστη κλίση που παίρνει το αμάξιωμα, έχοντας συμπιέσει εντελώς την ανάρτηση του εξωτερικού τροχού. Το μειονεκτήματα της λύσης αυτής είναι η αυξημένη φθορά και η μειωμένη επιφάνεια επαφής των ελαστικών, όταν οι τροχοί βρίσκονται σε ευθεία θέση, αλλά και η έντονη θερμοκρασιακή μεταβολή, κατά πλάτος του πέλματος.

Η προσπάθεια των γάλλων μηχανικών ήταν να δημιουργήσουν μια ανάρτηση που θα κρατούσε τους τροχούς σε κάθετη θέση, όταν αυτοί βρίσκονταν σε ευθεία, και θα τους με το πλευρικό φορτία, που δέχεται ο δημιουργήσαν μια ιδιαίτερα απλή συνδεσμολογία.

Στις εικόνες 22 και 23 βλέπουμε μία από τις προτάσεις της Michelin για το OPT. Στη συγκεκριμένη περίπτωση τα χαρακτηριστικά μεταβολής της γωνίας camber επιτυγχάνονται με τη στήριξη του εσωτερικού μέρους των ανισομεγέθων ψαλιδίων σε αρθρωτό υποπλαίσιο. Η στιγμιαία θέση αυτού του υποπλασιίου ελέγχεται από την παραμόρφωση ενός ελαστικού στοιχείου, σε βαθμό ανάλογο των πλευρικών φορτίων, που αναπτύσσονται

από την επαφή του ελαστικού με το δρόμο. Το ελαστικό αυτό στοιχείο μπορεί να είναι ένα ελατήριο, ή ένα σινεμπλόκ.

Στην [εικόνα 24](#) βλέπουμε μία δεύτερη εκδοχή, που χρησιμοποιήθηκε ήδη πειραματικά από τη Renault. Εδώ, τα ψαλίδια αρθρώνονται με το συμβατικό τρόπο στο σασί



[Εικόνα 24:](#)

Δεύτερη εκδοχή του συστήματος OPT, όπου το σύστημα είναι ενσωματωμένο στα ηκράζονια.

Η ύπαρξη του συστήματος στους πίσω τροχούς αυξάνει την εγκάρσια πρόσφυση στο ξεκίνημα της στροφής. Από την άλλη, όμως, μειώνει το εμβαδόν της επιφάνειας επαφής, άρα και τα συνολικά περιθώρια πρόσφυσης από συνδυασμένη φόρτιση, λόγω στροφής και επιβράδυνσης. Αντίθετα, σε παρατεταμένη στροφή σταθερής ταχύτητας, η πρόσφυση βελτιώνεται σημαντικά, κάτι τέτοιο, όμως, χωρίς επαναπροσδιορισμό των αεροδυναμικών βοηθημάτων, σημαίνει αυξημένη υποστροφή.

Η ύπαρξη OPT στους μπροστινούς τροχούς είναι αληθινός πονοκέφαλος, για το σχεδιαστή του μπροστινού συστήματος ανάρτησης και διεύθυνσης. Αυτό γιατί θα πρέπει να αντιμετωπίσει τις συνεχείς μεταβολές, όχι μόνο του camber, αλλά και της στιγμιαίας θέσης του ίδιου του βασιλικού πύρου, τόσο ως προς τα ημίμπαρα, όσο και ως προς το ίχνος του τροχού. Λύση υπάρχει, αλλά ο δρόμος προς αυτή είναι αρκετά επίπονος.

Επιπλέον αυτών, τα ελαστικά στοιχεία ελέγχου του OPT (E_{OPT}) μπορούν να είναι είτε μαλακά, είτε σκληρά και προφορτισμένα. Στην πρώτη περίπτωση, το ελαστικό στοιχείο θα τερματίσει νωρίς, διατηρώντας, από μία μέση ταχύτητα και πάνω, σταθερό το πρόσθετο camber, που προσφέρει το OPT. Στη δεύτερη περίπτωση, η επίδραση του OPT στο camber θα αρχίσει μόλις τα πλευρικά φορτία (που εξαρτώνται από την ταχύτητα του αυτοκινήτου) ξεπεράσουν κάποιο όριο.

Σύμφωνα με υπολογισμούς, αν μια ομάδα καταφέρει να επιτύχει ισορροπία, μεταξύ εμπρός και πίσω μέρους, μέσω του OPT, χωρίς να χρειαστεί να αυξήσει την κλίση στις πτέρυγες, μπορεί να κερδίσει έως και μισό δευτερόλεπτο στο γύρο. Για να το επιτύχει όμως, αυτό, θα πρέπει να κάνει μια επένδυση μηνών στον προσομοιωτή, μέχρι να βρει τις κατάλληλες ρυθμίσεις, για κάθε πίστα.

Η Michelin παραχώρησε σε όλες τις ομάδες, με τις οποίες συνεργάζεται, το δικαίωμα ελεύθερης χρήσης του OPT. Το σκεπτικό της ήταν να μπορέσει να εξελίξει το σύστημα, με



[Εικόνα 25:](#)

Το OCP της Michelin.

τη βοήθεια των ομάδων, κάτω από ακραίες συνθήκες. Οι ομάδες θα κέρδιζαν σε συμπεριφορά των μονοθεσίων τους και η ίδια θα είχε όλα τα δεδομένα που της έλειπαν, ώστε να προωθήσει το σύστημα σε μοντέλα ειρείας παραγωγής. Μπορεί, λοιπόν, η χρήση του συστήματος να απαγορεύτηκε στους αγώνες της F1, αλλά φαίνεται ότι όλη αυτή η έρευνα δεν πήγε χαμένη.

Η ύπαρξη του συστήματος OPT δημιουργεί και αρκετά προβλήματα. Τα προβλήματα αυτά είναι επιύθημα, αλλά απαιτούν αρκετό χρόνο και κόπο, προκειμένου να αντιμετωπιστούν.

Η γαλλική εταιρεία παρουσίασε ήδη μία πρόταση για μια πίσω ανάρτηση με χαρακτηριστικά παθητικού camber, σε εμπορική μορφή. Η λύση αυτή ονομάζεται OCP, από τα αρχικά των λέξεων Optimal Patch Control και στα ελληνικά αποδίδεται ως

“Αριστοποιημένη επαφή του ελαστικού με το δρόμο”. Μία από τις εκδόχές του παρουσιάζεται και στη σχετική εικόνα, που παριστά την επενέργεια του OCP στους πίσω τροχούς ενός αυτοκινήτου, που εκτελεί δεξιά στροφή.

Η καρδιά του συστήματος είναι το κίτρινο υποπλαίσιο, στα άκρα του οποίου υπάρχουν οι εδράσεις των ψαλιδίων της ανάρτησης. Το υποπλαίσιο αυτό αναρτάται από το κυρίως σασί (πράσινο χρώμα), μέσω των δύο κόκκινων συνδέσμων, η σχετική κλίση των οποίων είναι τέτοια που να σχηματίζουν ένα αρθρωτό τραπέζιο. Η λειτουργία του συστήματος είναι απλή. Στη δεξιά στροφή, το αμάξωμα τείνει να κινηθεί προς τα αριστερά. Στην τάση αυτή αντιστέκονται οι τροχοί, με την εγκάρσια πρόσφυση, που παράγουν. Το κάτω μέρος του αριστερού κόκκινου συνδέσμου, διαγράφει ένα τέτοιο τόξο, ώστε να τείνει να ανιψώσει την αριστερή πλευρά του κίτρινου υποπλαισίου. Το ακριβώς αντίθετο συμβαίνει στη δεξιά πλευρά, η οποία μετατοπίζεται σε χαμηλότερη θέση. Η νέα θέση του υποπλαισίου είναι τέτοια, ώστε και οι δύο τροχοί να αποκτούν ταυτόχρονα *camber* (αρνητικό ο εξωτερικός, θετικό ο εσωτερικός), γεγονός που αυξάνει τη μέγιστη πλευρική δύναμη, που μπορούν να παράγουν.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην ίδια ακριβώς αρχή λειτουργίας βασίζεται και το σύστημα παθητικής τετραδιεύθυνσης, για τους πίσω τροχούς των Peugeot και Citroen. Η μόνη διαφορά είναι ότι το σύστημα τετραδιεύθυνσης δρα στο οριζόντιο επίπεδο, ενώ το OCP στο κάθετο.



Εικόνα 26.

Το εντυπωσιακό πρωτότυπο *F400 Carving*. Προσέξτε την κλίση του εξωτερικού τροχού, που φτάνει τις 20°!

Πολύ σημαντικές οι μελέτες των γάλλων πάνω στη μεταβαλλόμενη γεωμετρία, αλλά η απόλυτη σπουδή στο θέμα ανήκει στους γερμανούς και συγκεκριμένα στους μηχανικούς της Mercedes, που δημιούργησαν το εντυπωσιακό πρωτότυπο “*F400 Carving*”, που χρησιμοποιεί την τεχνολογία “Active *camber control*”, δηλαδή ενεργό έλεγχο της γωνίας *camber*. Το πρωτότυπο αυτό μας κάνει να αναρωτηθούμε το πόσα πραγματικά γνωρίζουμε, γύρω από την ανάπτυξη πλευρικής δύναμης από τα ελαστικά.

Δεν είναι άλλωστε τυχαίο ότι ακόμα και σήμερα, οι επιστήμονες δεν έχουν καταλήξει για το αν η πρόσφυση, που παράγεται από την επαφή του πέλματος με το δρόμο, οφείλεται σε μηχανικές, ή θερμοχημικές αλληλεπιδράσεις.

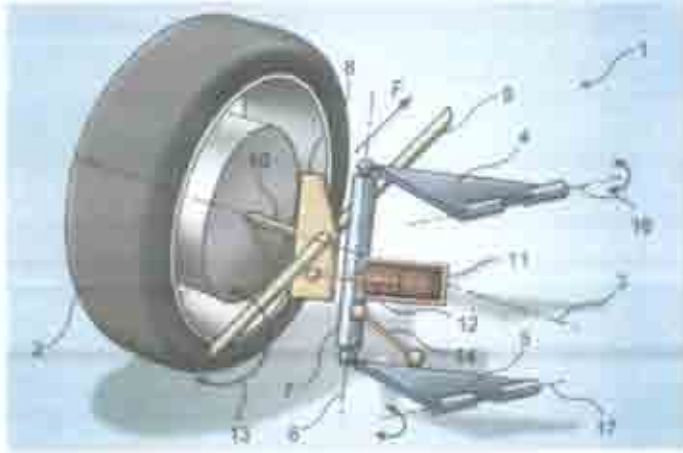
Η θεωρία, για παράδειγμα, λέει ότι η ύπαρξη αρνητικού *camber*, στους εξωτερικούς τροχούς ενός αυτοκινήτου, αυξάνει τη μέγιστη κεντρομόλο επιτάχυνση, που μπορεί να αναπτυχθεί. Τα πειράματα, όμως, που επιβεβαιώνουν αυτή την υπόθεση, αποδεικνύουν ότι υπάρχει και ένα άνω όριο στην αύξηση του *camber*, πέρα από το οποίο η πρόσφυση αρχίζει ξανά να μειώνεται. Αυτό οφείλεται στην παραμόρφωση του πέλματος, με αποτέλεσμα τη μείωση της επιφάνειας επαφής του ελαστικού με το δρόμο.

Ενδιαφέρον, επίσης, είναι το ότι τα ελαστικά των μοτοσυκλετών μπορούν να αναπτύσσουν κεντρομόλες επιταχύνσεις της τάξης του 1 g, έχοντας *camber* ίσο με την κλίση της μοτοσυκλέτας. Αυτό σημαίνει ότι οι τροχοί τους παίρνουν κλίση που αγγίζει τις 45°, ενώ, σε αγωνιστικό επίπεδο, μπορεί να ξεπεράσει ακόμα και τις 55°. Το αξιοσημείωτο είναι ότι το μέγεθος των ελαστικών της μοτοσυκλέτας φαίνεται να μην παίζει μεγάλο ρόλο στην ανάπτυξη πλευρικής δύναμης, αφού ένα φαρδύτερο ελαστικό δεν προσφέρει αναλογικά μεγαλύτερη πλευρική δύναμη, σε σχέση με ένα στενότερο.

Σίγουρα οι μηχανικοί της Mercedes πρέπει να προβληματίστηκαν από αυτό το γεγονός. Θα μπορούσαν άραγε να χρησιμοποιηθούν σε αυτοκίνητο τα ελαστικά των μοτοσυκλετών; Η, ακόμα καλύτερα, μπορούν τα αυτοκίνητα να χρησιμοποιήσουν ελαστικά μοτοσυκλετών, σαν να ήταν τα ίδια μοτοσυκλέτες; Η Mercedes, μετά από σειρά μελετών, απαντάει “ναι”. Και μάλιστα, για να αποδείξει τη θεωρία της, σχεδίασε, όχι μόνο ένα ειδικό

ελαστικό, που να βασίζεται σε αυτή την αρχή λειτουργίας, αλλά και ένα ειδικό αυτοκίνητο, που να το αξιοποιεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Το *F400 Carving*. Στόχος ήταν να αποδειχτεί ότι η αξιοποίηση "στοιχείων μοτοσικλέτας" σε ένα αυτοκίνητο μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την οδική του συμπεριφορά, σε όρια πέρα από αυτά που μέχρι τώρα ήταν εφικτά.

Ας δούμε όμως τη δομή του συστήματος ανάρτησης αυτού του ευφυώς κατασκευασμένου πρωτοτύπου. Στην [εικόνα 27](#) βλέπουμε το μπροστινό σύστημα ανάρτησης.

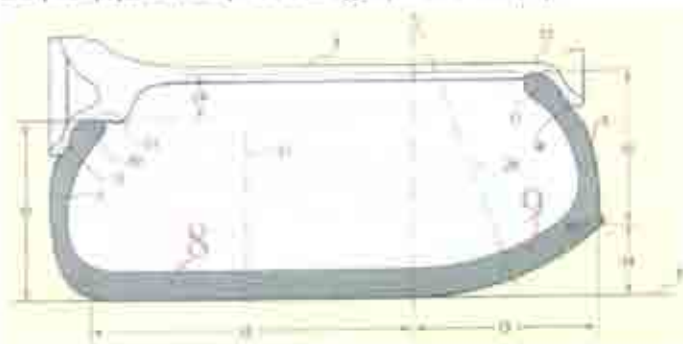


[Εικόνα 27](#)

Τα μέρη του συστήματος Active camber.

πίσω ανάρτηση, με τη διαφορά ότι δεν έχει τη δυνατότητα να στρίβει.

Απαραίτητα για τη λειτουργία του συστήματος είναι και τα ειδικά ελαστικά, που κατασκεύασε η Mercedes. Το "ειδικά" δεν αναφέρεται στη γόμα, που είναι ίδιας τεχνολογίας με αυτή που χρησιμοποιείται αυτή τη στιγμή στην αγορά, αλλά στη σχεδίασή τους. Συγκεκριμένα, στην ουσία έχουμε δύο διαφορετικά ελαστικά, ενσωματωμένα.



[Εικόνα 28](#)

Το ειδικό ελαστικό που φέρνει η Mercedes.

του και προκειμένου να υπάρξει ίδιο προφίλ και από τις δύο μεριές, η ζάντα έχει διάμετρο 17" από την εσωτερική πλευρά και 19" από την εξωτερική πλευρά του ελαστικού.

Ο κάθε μπροστινός τροχός έχει και από ένα αυτόνομο σύστημα διεύθυνσης που οδηγείται από το δικό του ηλεκτροκινητήρα. Το τιμόνι, δηλαδή, δεν είναι μηχανικά συνδεδεμένο με τους τροχούς, αλλά ούτε και οι ίδιοι οι τροχοί έχουν κάποια είδους μηχανική σύνδεση, μεταξύ τους.

Μολις ο οδηγός στρίψει το τιμόνι, το ποτενοσίμετρο, που είναι συνδεδεμένο σε αυτό, μεταφέρει στην ηλεκτρονική μονάδα την επιθυμητή κατεύθυνση, που πρέπει να ακολουθηθεί. Η μονάδα ανταποκρίνεται δίνοντας αρχικά εντολή στους τροχούς να στρίψουν.

Παρατηρούμε ότι η ανάρτηση είναι συμβατική μέχρι και το βασικό πύλο (7), αποτελούμενη από δύο ανισομεγέθη ψαλίδια (4,5). Οι διαφορές αρχίζουν από το ακραζόνιο (8), το οποίο είναι έτσι αρθρωμένο στην ανάρτηση, ώστε να μπορεί να περιστρέφεται, κατά το διαμήκη άξονα, γύρω από τον πύλο (9) και να αποκτά κλίση ως προς το υπόλοιπο αυτοκίνητο, μεταβάλλοντας έτσι το camber του τροχού (2). Το μέγεθος του camber ελέγχεται από το έμβολο (12), του οποίου ο κύλινδρος (11) ακολουθεί την κίνηση του τροχού, κατά τη διάρκεια μιας στροφής. Ανάλογης κατασκευής είναι και η

Το "αυτοκινητιστικό" τμήμα του πέλματος (8) βρίσκεται προς το εξωτερικό μέρος του τροχού και διαθέτει επίπεδο προφίλ, προκειμένου η κίνηση στην ευθεία να γίνεται με ελάχιστες τριβές και χαμηλά επίπεδα θορύβου κλίσης. Το "μοτοσικλετικό" τμήμα (9) βρίσκεται στο εσωτερικό του τροχού. Διαθέτει καμπύλο προφίλ και η επαφή του με το δρόμο πραγματοποιείται μόνο όταν η ηλεκτρονική μονάδα δώσει εντολή, για έντονο camber. Εξ

αιτίας του σχήματος του πέλματος

Αμέσως μετά αρχίζουν οι υπολογισμοί. Από την ταχύτητα του αυτοκινήτου, αλλά και από την κεντρομόλο επιτάχυνση που αρχίζει να αναπτύσσεται, η ψηφιακή μονάδα αποφασίζει το ποσό του *camber*, που θα δώσει στους εξωτερικούς τροχούς. Ο χρόνος μεταξύ αρχικής εντολής και πλήρους εκτέλεσης, μέχρι το όριο των 20°, δεν ξεπερνά το 0,1 sec!

Στη συνέχεια πρέπει να αποφασιστεί το αν ο συνδυασμός "στροφής τροχών-στιγμιαίου *camber*" επαρκεί για τη διατήρηση της τροχιάς ή αν κάποια από τις δύο παραμέτρους έχει εναποθέσει το μεγαλύτερο μέρος της αποστολής στην άλλη. Με άλλα λόγια, αν οι τροχοί δείχνουν προς τη σωστή κατεύθυνση, αλλά ο οδηγός επιμένει να στρίβει και άλλο το τιμόνι, προς το εσωτερικό της στροφής, θα σημαίνει ότι η γωνία ολίσθησης του μπροστινού εξωτερικού τροχού, είναι μεγάλη. Στην περίπτωση αυτή, η ψηφιακή μονάδα δεν δίνει εντολή να στραφούν ακόμα περισσότερο οι εμπρός τροχοί, όπως κάνουμε εμείς οι ίδιοι, όταν αντιμετωπίζουμε προβλήματα υποστροφής. Αντί αυτού, δίνει εντολή να αυξηθεί το *camber* του εμπρός εξωτερικού τροχού, έτσι ώστε να μειωθεί η γωνία ολίσθησης του. Ανάλογες μικρομετρικές διορθώσεις γίνονται και στη γωνία *camber* του πίσω εξωτερικού τροχού, ενώ, σε όλο αυτό το διάστημα, οι εσωτερικοί τροχοί έχουν την εντολή να παραμείνουν κάθετοι, ως προς το έδαφος.



Εικόνα 29.

*Η επαναστασιαστική ανάρτηση του F400 Carving άρχισε πολλαπλασιασμένη, αλλά δεν είναι. Απλά, στο μέγεθος της ανάρτησης και το σύνθετο του συστήματος διεύθυνσης, έχει προστεθεί και η μπόρα ελέγχου του *camber*.*

αν εξωτερικός τροχός διαθέτει αρνητικό *camber* και μάλιστα τόσο μεγάλο, όσο οι 20° του εξωτερικού τροχού στο F400. Στην περίπτωση αυτή, η γεωμετρία του συστήματος διεύθυνσης οφείλει να θεωρεί τον εξωτερικό τροχό, σα να ήταν περισσότερο στριμμένος. Έτσι, για να μην υπάρχουν παρασιτικές αλληλεπιδράσεις, μεταξύ των εμπρός τροχών, ο εσωτερικός τροχός πρέπει να στραφεί ακόμα περισσότερο, προς το εσωτερικό της στροφής. Αυτό ακριβώς φροντίζει να κάνει το ψηφιακό σύστημα διεύθυνσης και αυτός είναι ο λόγος που οι μπροστινοί τροχοί δε συνδέονται άμεσα μεταξύ τους, αλλά έχουν από ένα ανεξάρτητο σύστημα διεύθυνσης.

Υστερα από όλα αυτά, το εύλογο ερώτημα είναι το πως μεταφράζονται όλα αυτά στο δρόμο. Το αυτοκίνητο στρίβει εντυπωσιακά, πετυχαίνοντας πλευρικές επιταχύνσεις που αγγίζουν τα 1,3 g, όταν τα περισσότερα επιβατικά αυτοκίνητα δυσκολεύονται να φτάσουν το 1 g. Μιλάμε, δηλαδή για μια αύξηση της τάξης του 30 %, χωρίς τη χρήση αεροδυναμικών βοηθημάτων, ή ειδικών γομών στα ελαστικά! Το αξιοσημείωτο είναι ότι η μέγιστη πλευρική επιτάχυνση επιτυγχάνεται όταν τα ελαστικά παρουσιάζουν την ελάχιστη επιφάνεια επαφής με το δρόμο!

Γιατί, όμως, ένα τέτοιο αυτοκίνητο δεν μπορεί να συνυπάρξει με ένα συμβατικό σύστημα διεύθυνσης; Η απάντηση βρίσκεται στη γεωμετρία Άκερμαν, που επιβάλλει να στρίβουν όλοι οι τροχοί, γύρω από το ίδιο κέντρο περιστροφής, ώστε να αποφεύγονται οι παρασιτικές τριβές των τροχών. Στην περίπτωση του F400 Carving, όμως, δεν έχουμε να κάνουμε με μια απλή γεωμετρία Άκερμαν. Αντίθετα, η υπερβολική αύξηση της γωνίας *camber*, των εξωτερικών τροχών, τους εξαναγκάζει να πατούν στο δρόμο με το κωνικό μέρος του πέλματός τους και να στρίβουν, ακόμα και όταν κοιτούν ευθεία μπροστά!

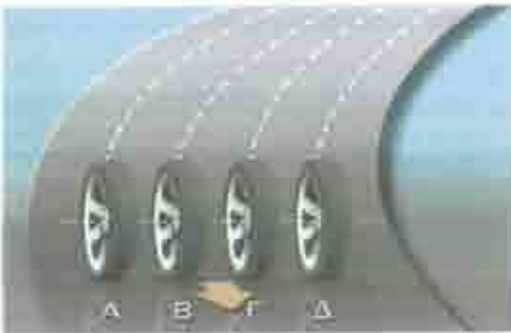
Αυτό σημαίνει ότι είναι διαφορετική η γεωμετρία Άκερμαν, στην περίπτωση που οι τροχοί είναι κάθετοι στο δρόμο και διαφορετική

Από το στιγμιαίο υπερβολικό camber όλων των τροχών, όμως, δεν είναι ωφελημένη



Εικόνα 30.

Το ελαστικό μπορεί να θεωρηθεί ισοδύναμο με πολλούς ανεξάρτητους ομοαξονικούς δίσκους, που έχουν το ίδιο στιγμιαίο τριβατόν πλάτος.



Εικόνα 31.

Κατά τη διάρκεια μιας στροφής, παρατηρείται διαφορά στην ταχύτητα περιστροφής των δίσκων,

αφού θα έχουν να διατρέξουν μεγαλύτερη απόσταση, στην ίδια μονάδα του χρόνου.



Εικόνα 32.

Προκύπτει να μην υπάρχει ολίσθηση μεταξύ των τμημάτων του ελαστικού, θα πρέπει αυτά να έχουν μη κωνικότητα.

μόνο η εγκάρσια, αλλά και η διαμήκης πρόσφυση. Σύμφωνα με τις μετρήσεις, αν όλοι οι τροχοί έχουν γωνία camber 20°, η απόσταση ακινητοποίησης μειώνεται έως και 15 %, σε σχέση με την απόσταση που πραγματοποιεί το ίδιο αυτοκίνητο, με μηδενικό camber. Και αυτό παρ' όλο που και πάλι η επιφάνεια επαφής είναι η μικρότερη δυνατή! Ένα ακόμα θετικό στοιχείο είναι ότι οι συγκλίνουσες γωνίες ολίσθησης όλων των ελαστικών αυξάνουν σημαντικά τη σταθερότητα του αυτοκινήτου. Πώς, όμως, μπορεί να εξηγηθεί η μεγιστοποίηση της πρόσφυσης, τη στιγμή που ελαχιστοποιείται η επιφάνεια επαφής;

Σε ένα ελαστικό με μηδενικό camber, που ανήκει σε συμβατικό αυτοκίνητο, το "σημείο" επαφής με την ασφάλτο, κάθε άλλο παρά σημείο είναι. Στην πραγματικότητα είναι μια ολόκληρη επιφάνεια, με αποτέλεσμα, όταν ο τροχός διαγράφει ένα τόξο κύκλου, σε μια στροφή, να παρατηρείται ένα τεραστίο ποσό παρασιτικών τριβών, που "σαμποτάρουν" την ίδια του την πρόσφυση.

Ας υποθέσουμε ότι ο τροχός δεν είναι ένας απλός λαστιχένιος κύλινδρος, αλλά πολλοί, ανεξάρτητοι, εκάλληλοι ομοαξονικοί ελαστικοί δίσκοι, που το άθροισμα του πλάτους των πελμάτων τους ισούται με το πλάτος του τροχού. Αν το σύστημα των επάλληλων αυτών δίσκων εξαναγκαστεί να κυλήσει σε μια στροφή, ο δίσκος που θα βρίσκεται στο εσωτερικό της στροφής θα κινείται με τη μικρότερη ταχύτητα. Όσο προχωράμε, προς το εξωτερικό της στροφής, θα παρατηρούμε μια αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των δίσκων,

στην περίπτωση του πραγματικού τροχού, κατά τη διάρκεια μιας στροφής, κάθε σημείο του πέλματος τείνει να κινηθεί με διαφορετική ταχύτητα, από τα διπλανά του. Αν εξετάσουμε το πέλμα από κοντά, θα παρατηρήσουμε στρεβλώσεις, αυξημένη θερμοκρασία και μια διαρκή ολίσθηση, κάθε τμήματός του. Τα εγκάρσια τμήματα της επιφάνειας του πέλματος, τη στιγμή που αγγίζουν την ασφάλτο, συμπεριφέρονται σα μια ομάδα στρατιωτών, που παρελαύνουν πιασμένοι σφιχτά χέρι-χέρι, προσπαθώντας ταυτόχρονα να πάρουν μια στροφή, κάνοντας όλοι τον ίδιο βηματισμό. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό, οι λύσεις είναι δύο.

Η πρώτη είναι ο κάθε δίσκος, δηλαδή το κάθε σημείο του πέλματος, να στρέφεται όλο και περισσότερο από το διπλανά του, όσο

πλησιάζουμε προς το μέσα μέρος της στροφής. Όπως ακριβώς, δηλαδή, επιβάλλει η γεωμετρία Άκερμαν να στρίψουν, με διαφορετικές γωνίες στροφής, οι δύο μπροστινοί τροχοί του αυτοκινήτου. Η λύση αυτή είναι φυσικά ανέφικτη, αφού ο τροχός είναι συμπλεγής και ενιαίος.

Ο δεύτερος και εφαρμόσιμος τρόπος είναι η μεταβολή της διαμέτρου, κατά πλάτος του πέλματος του τροχού. Η μεταβολή αυτή πρέπει να είναι τόση, ώστε η κωνικότητα του τροχού να του επιτρέπει να κινηθεί στην προεπιλεγμένη τροχιά, χωρίς οι εσωτερικές αντιδράσεις των τμημάτων της επιφάνειάς του, να τείνουν να τον κομματιάσουν. Τότε και μόνο τότε, οι δίσκοι που θεωρητικά απαρτίζουν το κυλινδρικό σώμα του τροχού, μπορούν να αποτελούν ενιαία μάζα, χωρίς προβλήματα αλληλεπίδρασης.

Η διαφορά, όμως, στη διάμετρο, σημαίνει ότι ο τροχός παύει να έχει πλέον κυλινδρικό σώμα, έχοντας αποκτήσει κωνικό. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, μπορεί να μειωθεί η επιφάνεια επαφής του ελαστικού με το οδόστρωμα, χωρίς να "προδίδεται" η πρόσφυση, από ενδογενείς παράγοντες. Και φυσικά, μπορούν να μειωθούν ακόμα και οι ανάγκες για στρίψιμο του τροχού.

Η αξία της συγκεκριμένης εφαρμογής είναι ότι δεν είναι απλώς το προϊόν μιας πνευματικής άσκησης. Τόσο το ειδικά σχεδιασμένο ελαστικό, όσο και το σύστημα Active camber προορίζονται για μαζική παραγωγή, με χρονικό ορίζοντα το 2007. Σύμφωνα με τη Mercedes, μέχρι τότε το καταναλωτικό κοινό θα έχει εξοικειωθεί τόσο με την ιδιόμορφη αισθητική του υπερβολικού camber, όσο και με τα νέα ψυχολογικά δεδομένα, που επιφέρει η έλευση εφαρμογής συστημάτων "drive by wire", δηλαδή οδήγηση χωρίς καμία μηχανική σύνδεση, εξ' ολοκλήρου ελεγχόμενη από ψηφιακή μονάδα.



Κεφάλαιο 6: Πλαίσιο.

► 6.1 Ο ρόλος του πλαισίου.

Το πλαίσιο σε ένα όχημα μπορεί να συγκριθεί με το σκελετό του ανθρώπου. Χωρίς τον σκελετό ο άνθρωπος δε θα ήταν ικανός να σταθεί και να κινηθεί. Ομοίως, τα οχήματα χωρίς πλαίσιο δε θα μπορούσαν να στηρίζουν το βάρος τους και το φορτίο τους. Γι' αυτό και ο ρόλος του πλαισίου είναι πολύ σημαντικός.

Επάνω στο πλαίσιο στερεώνονται τόσο οι αναρτήσεις, όσο και οι περισσότεροι μηχανισμοί του αυτοκινήτου, όπως ο κινητήρας, το κιβώτιο ταχυτήτων και το διαφορικό. Αποτελεί, δηλαδή, τον ενδιάμεσο σύνδεσμο, ανάμεσα στις αναρτημένες και τις μη αναρτημένες μάζες του οχήματος. Αυτό παραλαμβάνει τα φορτία, που προέρχονται από το βάρος των επιβατών και των μηχανικών μερών, καθώς και τις διάφορες αντιδράσεις από τις ανωμαλίες του εδάφους, εξασφαλίζοντας την απαραίτητη ακαμψία του οχήματος. Τέλος, το πλαίσιο παραλαμβάνει τις δυνάμεις, που αναπτύσσονται κατά τις συγκρούσεις και είναι υπεύθυνο για την παθητική ασφάλεια των επιβατών.

Ο υπολογισμός της διατομής κάθε επιμέρους στοιχείου του πλαισίου, είναι πολύ δύσκολος, κυρίως επειδή είναι δύσκολο να καθοριστεί, επακριβώς, το πιθανό δυναμικό φορτίο, σε κάθε μέρος του πλαισίου. Για το λόγο αυτό, η κάθε εταιρεία έχει τη δική της βάση δεδομένων και ο σχεδιασμός γίνεται με τη βοήθεια υπερυπολογιστών και υπερσύγχρονων προγραμμάτων πεπερασμένων στοιχείων. Ένας σωστός σχεδιασμός θα πρέπει να εξασφαλίζει μια μεγάλη διάρκεια ζωής του πλαισίου, ανώτερη και από αυτή του αυτοκινήτου, χωρίς η όλη κατασκευή να είναι υπέρβαρη.

Η ικανότητα ενός πλαισίου να αντιστέκεται στα μεταβαλλόμενα φορτία χαρακτηρίζεται από το μέγιστο βέλος κάμψης και τη μέγιστη γωνία συστροφής κατά μήκος του μεταξονίου. Προκειμένου να υπάρχουν κάποια συγκρίσιμα δεδομένα έχουν εισαχθεί δύο σταθερές. Η στρεπτική και η καμπτική δυσκαμψία.

Η στρεπτική δυσκαμψία αντιπροσωπεύει τη ροπή που απαιτείται, για να συστραφεί το πλαίσιο κατά μια μοίρα, γύρω από το διαμήκη άξονα. Με λίγα λόγια, είναι ο λόγος της εφαρμοζόμενης ροπής, προς τη λαμβανόμενη γωνία συστροφής. Η σταθερά αυτή μετριέται σε $Nt \cdot m / deg$.



Εικόνα 1.

Τα ελατήρια είναι κατά κανόνα μακρύτερη ποσότητα από τα αντίστοιχα ελαίρα.

Η καμπτική δυσκαμψία αντιπροσωπεύει το φορτίο που απαιτείται, για να καμφθεί το πλαίσιο, κατά μια μοναδιαία μονάδα βύθισης. Δηλαδή, είναι ο λόγος του εφαρμοζόμενου φορτίου, προς το μέγιστο βέλος κάμψης. Η σταθερά αυτή μετριέται σε Nt / mm .

Επειδή επάνω στο πλαίσιο προσαρμολούνται τα περισσότερα μηχανικά μέρη του αυτοκινήτου, η συμπεριφορά του παίζει μεγάλο ρόλο στην οδική συμπεριφορά. Προκειμένου να λειτουργεί ανέπηραστη η ανάρτηση, θα πρέπει το πλαίσιο να είναι όσο το δυνατό πιο άκαμπτο. Ενδεχόμενη στρέβλωση του πλαισίου δημιουργεί επιπλέον ταλαντώσεις, επιδεινώνοντας το έργο της και στερώντας ακρίβεια στους χειρισμούς. Για το λόγο αυτό θα πρέπει πάντοτε, κατά τον υπολογισμό της σκληρότητας της ανάρτησης, να λαμβάνεται υπ' όψιν

η δυσκαμψία του πλαισίου. Ένα σχετικά "μαλακό" σασί, δεν μπορεί να συνδυαστεί με πολύ σκληρές αναρτήσεις, αφού θα παρατηρούνται έντονες στρεβλώσεις και θα καταπονείται

πολύ ο φέρων οργανισμός. Αντίθετως ένα άκαμπτο πλαίσιο μπορεί να σινεργαστεί είτε με σκληρές, είτε με μαλακές αναρτήσεις, χωρίς πρόβλημα.

Εκτός όλων των άλλων, οι έντονες στρεβλώσεις προκαλούν και δυσάρεστες συνθήκες στους επιβάτες. Μαζί με το αμάξωμα, παραμορφώνονται και οι επενδύσεις του εσωτερικού του αυτοκινήτου, προκαλώντας τριγμούς και ενοχλητικούς σιντονισμούς.

► 6.2 Είδη πλαισίων.

Υπάρχουν τρεις τρόποι κατασκευής πλαισίων. Το ανεξάρτητο πλαίσιο τύπου σκάλας, γνωστό και ως "σασί", το αυτοφερόμενο αμάξωμα και το τρισδιάστατο χωροδικτύωμα. Ας δούμε το κάθε ένα ξεχωριστά.



Εικόνα 2.

Το ανεξάρτητο πλαίσιο τύπου σκάλας χρησιμοποιείται σήμερα μόνο σε οχήματα εκτός δρόμου και σε φορτηγά.

αμαξωμάτων στο ίδιο πλαίσιο και η εύκολη επισκευή, μετά από ατύχημα. Ακόμα, παρουσιάζει πολύ μεγάλη αντοχή στα αυξημένα φορτία και τη σκληρή χρήση. Κύρια μειονεκτήματά του είναι το μεγάλο βάρος, το υψηλότερο κέντρο βάρους και οι αυξημένες στρεβλώσεις που εμφανίζονται. Αυτά είναι υπαίτια για τη χειρότερη οδική συμπεριφορά, αλλά και την αυξημένη αντοχή, αυτής της διάταξης.



Εικόνα 3.

Το αυτοφερόμενο πλαίσιο του Mazda Rx-8.

Το ανεξάρτητο πλαίσιο τύπου σκάλας αποτελεί μια ξεχωριστή κατασκευή και είναι επίπεδο. Αποτελείται από δύο αποάλινες διαμήκεις δοκούς, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με αρκετές εγκάρσιες, δημιουργώντας έτσι μια εικόνα παρόμοια με εκείνη της σκάλας. Σχεδιάζεται για να μπορεί να δεχτεί όλα τα φορτία που επιδρούν στο αυτοκίνητο και πάνω του "δένονται" όλα τα μηχανικά μέρη. Επάνω στο σασί τοποθετείται το αμάξωμα. Αυτό είναι ξεχωριστό και χρησιμεύει κυρίως στην προστασία των επιβατών από τις καιρικές συνθήκες, συνεισφέροντας ελάχιστα στην παθητική ασφάλεια.

Τα πλεονεκτήματα του ανεξάρτητου πλαισίου είναι η ευκολία υπολογισμού και σχεδιασμού, με αποτέλεσμα η κατασκευή του να μπορεί να γίνει με περιορισμένη τεχνολογία, η δυνατότητα χρησιμοποίησης διαφορετικών

Παρότι είναι ο πρώτος τύπος πλαισίου που εφευρέθηκε, σήμερα η χρήση του έχει περιοριστεί μόνο σε εκτός δρόμου και φορτηγά οχήματα.

Ο κύριος λόγος που εκτοπίστηκε το ανεξάρτητο πλαίσιο από τα επιβατικά είναι η εφεύρεση του αυτοφερόμενου αμαξώματος. Σε αυτή τη διάταξη, πλαίσιο και αμάξωμα αποτελούν ένα ενιαίο σύνολο, αποτελούμενο από το δάπεδο, τις τρεις κολόνες, την οροφή, τα πίσω φτερά και το σκελετό του μπροστινού μέρους. Πάνω σε αυτό προσαρμόζονται τόσο τα υπόλοιπα στοιχεία του αμαξώματος, όσο και τα μηχανικά μέρη του αυτοκινήτου. Σε αυτή τη διάταξη το αμάξωμα δέχεται όλα τα φορτία του αυτοκινήτου, όντας υπεύθυνο και για την

παθητική ασφάλεια.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της λύσης είναι η πολύ μεγαλύτερη στρεπτική ακαμψία και το μικρότερο βάρος, που συνδυάζεται με χαμηλότερο κέντρο βάρους. Όλα αυτά σημαίνουν καλύτερη οδική συμπεριφορά. Επίσης, τα αυτοφερόμενα αμαξώματα προσφέρουν καλύτερη παθητική ασφάλεια. Ως μειονεκτήματα μπορούμε να αναφέρουμε τη μεγάλη πολυπλοκότητα του σχεδιασμού, καθώς και το ότι πρέπει να γίνει προσεκτική διευθέτηση χώρων και καλός υπολογισμός των ενισχύσεων. Επιπλέον παρουσιάζεται δυσκολία και στην κατασκευή, όπου απαιτείται σύγχρονη τεχνολογία και εξελιγμένες εργαλειομηχανές. Τέλος, η επισκευή του μετά από ένα ατύχημα είναι πολύ δύσκολη και στις περισσότερες περιπτώσεις δεν αποκαθίσταται πλήρως η γεωμετρία του, με αποτέλεσμα το αυτοκίνητο να γίνεται επικίνδυνο.

Μια ενδιαφέρουσα λύση, ανάμεσα στις δύο προηγούμενες, είναι αυτή του τρισδιάστατου χωροδικτυώματος. Σε αντίθεση με το κοινό πλαίσιο τύπου σκάλας, που είναι επίπεδο, το χωροδικτυώμα είναι τρισδιάστατο, κατασκευασμένο από αλουμιένιες ή ατσάλινες δοκούς. Παραλαμβάνει όλα τα φορτία, που ασκούνται στο όχημα, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια μιας σύγκρουσης. Επάνω σε αυτό προσαρμόζονται όλα τα μηχανικά μέρη, αλλά και τα εξωτερικά τμήματα του αμαξώματος. Τα τελευταία δε φέρουν κανένα φορτίο και είναι απλώς διακοσμητικά, βοηθώντας μόνο στην αεροδυναμική και στη μόνωση των επιβατών.



Εικόνα 4.

Η βρετανική εταιρεία TVR χρησιμοποιεί χωροδικτυώμα, σε όλα τα μοντέλα της. Το αμαξώμα είναι συνθετικό, εξασφαλίζοντας μικρό βάρος. Εδώ το TVR Tuscan.



Εικόνα 5.

Το μονοκόκ της Porsche Carrera GT.

φτιαγμένος από ανθρακονήματα, προσφέροντας κορυφαία ακαμψία, με πολύ μικρό βάρος. Φυσικά, η κατασκευή του είναι πολυδάπανη και απαιτείται ειδικός εξοπλισμός. Για ενόπλιους λόγους χρησιμοποιείται μόνο στα κορυφαία πανάκριβα υπεραυτοκίνητα, όπως η Ferrari Enzo και η Porsche Carrera GT.

Η όλη κατασκευή είναι πολύ ελαφριά και απλή στη συναρμολόγηση, προσφέροντας πολύ καλή ακαμψία. Ο σχεδιασμός του είναι πιο εύκολος από του αυτοφερόμενου, αλλά πιο δύσκολος από του πλαισίου τύπου σκάλας. Η επισκευή, μετά από κάποιο ατύχημα, είναι αρκετά εύκολη. Το σημαντικότερο πρόβλημα είναι ότι η διάταξη αυτή αφήνει πολύ λίγο διαθέσιμο χώρο, για την κάμτινα των επιβατών. Τις περισσότερες, μάλιστα, φορές το χωροδικτυώμα είναι αρκετά ενισχυμένο στα "μαρσπέ", κάνοντας δύσκολη ακόμα και την είσοδο των επιβατών στο όχημα. Λόγω των χαρακτηριστικών του (προδιαγραφές για κορυφαία οδική συμπεριφορά - πολύς απαιτούμενος χώρος) χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε σπορ αυτοκίνητα πολύ υψηλών επιδόσεων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η βρετανική εταιρεία TVR, όπου χρησιμοποιεί τρισδιάστατο χωροδικτυώμα σε όλα τα μοντέλα της.

Μία παραλλαγή του χωροδικτυώματος είναι το πλαίσιο μονοκόκ. Πρόκειται για μια εξέλιξη της διάταξης, που αναπτύχθηκε στους αγώνες F1. Εδώ, δεν υπάρχουν δοκοί, που να είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους, αλλά ένας ενιαίος τρισδιάστατος φορέας. Ο φορέας αυτός είναι

► 6.3 Αιθθητικές εξελίξεις



Εικόνα 6.

Audi A8.

υλικού κατασκευής του αυτοφερόμενου πλαισίου, παρουσιάζοντας το Audi A8, το πρώτο αυτοκίνητο εξ' ολοκλήρου κατασκευασμένο από αλουμίνιο. Το όλο εγχείρημα δεν ήταν καθόλου εύκολο και χρειάστηκαν σχεδόν είκοσι χρόνια έρευνας και εξέλιξης, προκειμένου να φτάσουμε στο σημερινό σημείο.

Το αλουμίνιο μπορεί να είναι αρκετά ελαφρύτερο υλικό από το ατσάλι, αλλά έχει και πολύ χαμηλότερο όριο ελαστικότητας. Αυτό σημαίνει ότι, για να επιτευχθεί η ίδια τιμή στρεπτικής ακαμψίας, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί πολύ περισσότερο υλικό, με αποτέλεσμα να έχουμε ελάχιστο κέρδος σε βάρος. Για το λόγο αυτό έπρεπε να δημιουργηθούν νέα κράματα αλουμινίου, που να παρουσιάζουν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες. Υπήρχαν, όμως, και άλλα δύο σημαντικότερα προβλήματα.

Το πρώτο ήταν ότι δεν υπήρχε (ούτε έχει εφευρεθεί μέχρι σήμερα) κάποια κοινώς αποδεκτή μέθοδος συγκόλλησης αλουμινένιων μερών. Για το λόγο αυτό, προκειμένου να διαμορφωθούν οι δοκοί του πλαισίου, αλλά και η ένωση των δοκών μεταξύ τους, θα έπρεπε να δημιουργηθεί μια ολόκληρη μέθοδος ιώσεως των διαφόρων μερών του πλαισίου, με ειδικά πριτσίνια. Χρειάστηκε να



Εικόνα 8.

Προσέγγιζε τη μεταβολή της διατομής, κατά μήκος της σπινιάς, δοκοί που ξεκινάει από την μπροστινή και καταλήγει στην πίσω κόλωνα.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια έντονη κινητικότητα, όσον αφορά τον τομέα κατασκευής πλαισίων. Όλα άρχισαν όταν η Audi θέλησε να εισέλθει στην κατηγορία των υπερπολυτελών αυτοκινήτων. Γνώριζε ότι, για να μπορέσει να ανταγωνιστεί τα υπόλοιπα μοντέλα της κατηγορίας, θα έπρεπε να εξοπλίσει τη ναυαρχίδα της με ό,τι τελειότερο υπήρχε. Παράλληλα, όμως, προκειμένου να διαθέτει το αυτοκίνητο κάτι που να το διαφοροποιεί και να του προσοδίδει ένα ξεχωριστό χαρακτήρα, θα έπρεπε να διαθέτει και σύστημα μόνιμης τετρακίνησης. Αυτά σήμαιναν ότι η Audi θα είχε μειονέκτημα απέναντι στους αντιπάλους της, έχοντας ένα βαρύτερο μοντέλο. Θέλοντας να εξοικονομήσει βάρος, στράφηκε στην αλλαγή του



Εικόνα 7.

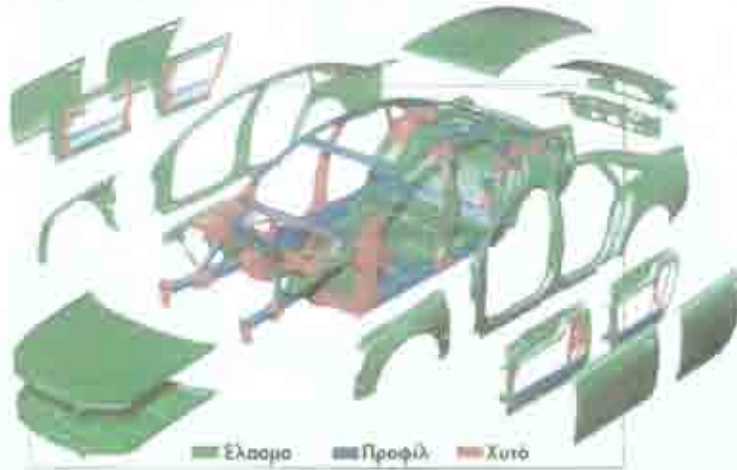
Ο τρόπος διαμόρφωσης δοκού, αποτελούμενη από ιώσηματα ενσωμάτω με πριτσίνια.

γίνει ειδική μελέτη της τοπικής συμπεριφοράς του υλικού και να μελετηθεί η συμπεριφορά διαφόρων κραμάτων. Ανάμεσα στα προσαρμοζόμενα τμήματα τοποθετείται ειδική κόλλα, η οποία στερεοποιείται εν ψυχρώ.

Το δεύτερο ήταν η μεγάλη δυσκολία διαμόρφωσης των καλοπιών, που προορίζονταν για τη διαμόρφωση των εξωτερικών μερών του αμαξώματος. Τα καλοπία αυτά είναι πανάκριβα και απαιτούν μεγάλη ακρίβεια κατά το σχεδιασμό τους. Το πρόβλημα είναι ότι δεν υπήρχε η γνώση της συμπεριφοράς του αλουμινίου, κατά την πίεση του στις πρέσες. Τι εννοούμε με αυτό;

Κατά το πρεσάρισμα, τα φύλλα του μετάλλου συμπιέζονται, παραμορφώνονται και λεπταίνουν, σε συγκεκριμένα σημεία.

Μετά την απομάκρυνση του καλουπιού, το υλικό αναδιπλώνεται, με αποτέλεσμα τη μεταβολή των τελικών του διαστάσεων. Η τεχνολογία που έχει συσσωρευτεί μέχρι σήμερα, όσον αφορά τη συμπεριφορά του χάλυβα, είναι πολύ μεγάλη, εξ' αιτίας της ευρείας χρήσης του. Παρ' όλα αυτά ακόμα δεν υπάρχουν ακόμα αξιόπιστα προγράμματα, που να δίνουν 100 % ακριβείς λύσεις. Τον τελικό λόγο στη σχεδίαση των καλουπιών τον έχουν εξειδικευμένοι εμπειροτεχνίτες, άνθρωποι-κλειδιά, που "αισθάνονται" τη λαμαρίνα και μπορούν να προβλέψουν επακριβώς το τελικό της σχήμα. Για το αλουμίνιο, όμως, δεν υπήρχαν σχεδόν καθόλου δεδομένα και φυσικά ούτε και εμπειροτεχνίτες. Το πρόβλημα ήταν μεγάλο, αφού στην κατηγορία του A8 θεωρείται αυτονόητο ότι η συναρμογή των διαφόρων μελών του αμαξώματος θα είναι τέλεια.



Εικόνα 9.

Τα τμήματα που συνθέτουν το ημιμάζωμα του Audi A8.

αποτελέσματα είναι άκρως εντυπωσιακά. Δημιουργήθηκαν επτά νέα κράματα, κατάλληλα να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικά μέρη του αυτοκινήτου, νέες τεχνικές χύτευσης και αντιμετωπίστηκαν όλα τα προβλήματα με απόλυτη επιτυχία. Το πρώτο A8 ήταν ένα μεγάλο βήμα προς τα εμπρός. Η τρίτη γενιά του όμως, που παρουσιάστηκε πρόσφατα, αποτελεί την τελευταία εξέλιξη αυτής της τεχνολογίας, που πλέον είναι αρκετά τελειοποιημένη αποτελώντας οντως μια εναλλακτική μέθοδο κατασκευής.

Το ASF του A8 αποτελείται από χιτά κομμάτια, πρεσαριστά ελάσματα και δοκούς κατασκευασμένους είτε από εξωθημένο προφίλ (στργγυλής διατομής), είτε από εξελασμένα τμήματα προφίλ, πριτσινωμένα μεταξύ τους. Κάθε χιτό κομμάτι επιτελεί το ρόλο του "τοπικά απαραμόρφωτου" στοιχείου, μέσω του οποίου διανέμονται οι τάσεις στις δοκούς. Το συνολικό βάρος του αμαξώματος είναι μόλις 215 kgf, εκ των οποίων τα 140 kgf ανήκουν στον κλωβό ασφαλείας και τα υπόλοιπα στα λοιπά μέρη του αμαξώματος.

Οι δοκοί λόγω του τρόπου κατασκευής τους, μπορούν να απορροφήσουν μεγάλα ποσά ενέργειας και είναι ιδανικές για ζώνες ελεγχόμενης παραμόρφωσης. Τα κράματα αλουμινίου εδώ πλεονεκτούν του χάλυβα. Λόγω των χαμηλότερων ορίων ελαστικότητας και ροής, υπάρχει η δυνατότητα πλήρους παραμόρφωσης των δομικών μελών, που βρίσκονται μπροστά από την καμπίνα, χωρίς να προλάβουν να μεταφερθούν δυνάμεις προς αυτή. Έτσι, τα κράματα αυτά, αν και πιο "μαλακά" από το χάλυβα, έχουν τη δυνατότητα απορρόφησης μεγαλύτερων ποσών ενέργειας ανά περιοχή, προτού οι δυνάμεις πρόσκρουσης μεταφερθούν στις γειτονικές περιοχές. Αυτό κάνει το μεγάλο Audi ιδιαίτερα ασφαλές για τους επιβάτες του, αλλά και φιλικό για τα άλλα αυτοκίνητα, που πιθανόν να εμπλακούν σε ατύχημα μαζί του.

Προκειμένου να αντιμετωπίσει αυτά τα προβλήματα η Audi απευθύνθηκε στο μεγαλύτερο προμηθευτή αλουμινίου στον κόσμο, την Alcoa. Το όλο πρότζεκτ ονομάστηκε ASF (από τα αρχικά των λέξεων Audi Space Frame, που σημαίνει χωροδικτύωμα προέλευσης Audi). Η έρευνα θα γινόταν από τους αμερικανούς, με αντάλλαγμα το δικαίωμα χρησιμοποίησης της τεχνολογίας αυτής και σε άλλους κατασκευαστές, που πιθανόν να ενδιαφέρονταν στο μέλλον. Τα



Εικόνα 10.

Το αλουμίνιο της μεταλλή παραμόρφωσιμότητας.

Τα πολύ καλά αποτελέσματα στο A8 οδήγησαν την Audi στη δημιουργία του, επίσης αλουμινένιου A2. Σύμφωνα, μάλιστα με ιθύνοντες της εταιρείας, στο μέλλον ολόκληρη η γκάμα της Audi θα αποτελείται από αυτοκίνητα εξ' ολοκλήρου κατασκευασμένα από αλουμίνιο.



Εικόνα 11.

Η αλουμινένια F612 Scaglietti είναι κατασκευασμένη εξ' ολοκλήρου από αλουμίνιο.

εργοστάσιο της Alcoa, όπου κατασκευάζεται και το A8. Προκειμένου να μη μεταφερθεί η τεχνογνωσία στους Ιταλούς, η Alcoa έστησε μια υπομονάδα, που φροντίζει για τη σωστή συναρμολόγηση, μέσα στο εργοστάσιό τους! Τα αποτελέσματα ήταν τόσο εντυπωσιακά, που οι Ιταλοί αποφάσισαν να διευρύνουν τη συνεργασία τους με τους Αμερικανούς και στην κατασκευή της τετραθέσιας νταρλίτσας τους, της Ferrari 612 Scaglietti. Μέχρι στιγμής δεν υπάρχουν σχόλια για το αυτοκίνητο, αλλά κρίνοντας από τις τεχνικές προδιαγραφές, είναι καταδικασμένο να πετύχει.

Στροφή στο αλουμίνιο δείχνει να κάνει και ο κολοσσός της Ford. Αυτό τουλάχιστον δείχνει η χρησιμοποίηση του αλουμινίου ως βασικό υλικό στο αυτοφερόμενο αμάξωμα της νέας Jaguar XJ (η Jaguar αποτελεί μέλος του ομίλου της Ford). Η Ford συνεργάστηκε με την канаδική εταιρεία Alcan, που της προμήθευσε το μεγαλύτερο μέρος των εξαρτημάτων. Ορισμένα, πάντως δύσκολα τμήματα, όπως οι βάσεις για την ανάρτηση και τη μετάδοση, προμηθεύτηκαν και πάλι από την Alcoa. Το αποτέλεσμα είναι αρκετά εντυπωσιακό. Το βάρος του αμαξώματος φτάνει τα 220 kgr, τη στιγμή που, αν ήταν κατασκευασμένο από ατσάλι, θα ζύγιζε 360 kgr. Σε σχέση με την προηγούμενη XJ, η νέα σειρά διαθέτει 40 % ελαφρύτερο και 60 % πιο άκαμπτο πλαίσιο!



Εικόνα 12.

Η κοιλότητα XJ είναι αλουμινένια.



Κεφάλαιο 7: Μετάδοση.

► 7.1 Μετάδοση. Ο ρόλος της και η δομή της.



Εικόνη 1.

Το σύστημα μετάδοσης της Porsche Cayenne.

Η ισχύς σε ένα αυτοκίνητο παράγεται στον κινητήρα και μεταφέρεται στους τροχούς. Αυτό πραγματοποιείται με τη βοήθεια του συστήματος μετάδοσης που περιλαμβάνει το κιβώτιο ταχυτήτων και το διαφορικό.

Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται στα περισσότερα επιβατικά αυτοκίνητα έχουν ευρος λειτουργίας γύρω στις 5.000 rpm (από τις 1.000 rpm έως τις 6.000 rpm περίπου). Η ωφέλιμη, δε, περιοχή τους (δηλαδή αυτή που αποδίδουν καλύτερα) είναι ακόμα πιο περιορισμένη, μη ξεπερνώντας τις 3.000 rpm, στις περισσότερες των περιπτώσεων. Προκειμένου να διατηρείται ο κινητήρας όσο το δυνατό περισσότερο, μέσα σε αυτή την περιοχή, χρειάζεται ένα κιβώτιο ταχυτήτων. Αυτό αναλαμβάνει να μεταβάλλει τη σχέση

μετάδοσης προσφέροντας καλύτερη εκμετάλλευση της ισχύος που μεταφράζεται σε καλύτερες επιδόσεις και μικρότερη κατανάλωση καυσίμου. Υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά είδη κιβωτίων ταχυτήτων: Το κλασικό διάταξης Η, το σειριακό, το αυτόματο και το συνεχώς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης.

Το εσωτερικό του κλασικού κιβωτίου διάταξης Η αποτελείται από δύο άξονες: Έναν εισόδο και έναν εξόδο. Πάνω στους δύο άξονες είναι προσαρμοσμένα τα ζεύγη γραναζιών, που χρειάζονται για τον υποπολλαπλασιασμό της σχέσης μετάδοσης. Υπάρχουν τόσα ζεύγη, όσα και οι σχέσεις που θέλουμε να έχουμε στο κιβώτιο. Η πλύμη των γραναζιών αυτών είναι σταθερά συνδεδεμένη πάνω στον ένα από τους δύο άξονες. Στον άλλο, όμως, περιστρέφονται ελεύθερα και μπορούν να κομπάρουν μόνο κατ' επιλογή, με τρόπο που ποτέ δεν είναι κομπλιρισμένα παραπάνω από ένα ζεύγη.



Εικόνη 2.

Οι αλλαγές σχέσεων στη BMW M1 μπορούν να γίνουν τόσο μετακινώντας το λεβιέ μπρος-πίσω, όσο και από τη θηλοκροτίδα στο τιμόνι.

Το κιβώτιο αυτό συνεργάζεται με συμπλέκτη, προκειμένου να μπορούν να πραγματοποιηθούν οι αλλαγές σχέσεων. Ο συμπλέκτης αυτός είναι συνήθως ποδοκίνητος και οι αλλαγές γίνονται με τη βοήθεια ενός μοχλικού συστήματος, μέσω του γνωστού λεβιέ ταχυτήτων. Χρησιμοποιείται στη συντριπτική πλειοψηφία των ευρωπαϊκών αυτοκινήτων. Συνδυάζει μικρό κόστος κατασκευής, μικρό βάρος, ελάχιστες απώλειες ενέργειας και μεγάλη αξιοπιστία.

Το σύστημα μπορεί να είναι ηλεκτρονικά ελεγχόμενο. Σε αυτή την περίπτωση μιλάμε για ένα ημιαυτόματο κιβώτιο διάταξης Η. Ο οδηγός δίνει σήμα στην ηλεκτρονική μονάδα, ότι έχει πρόθεση να αλλάξει σχέση, μέσω διακοπών, που βρίσκονται είτε κοντά στο τιμόνι, είτε στο λεβιέ. Η μονάδα δίνει εντολή σε ένα ηλεκτροϋδραυλικό σύστημα, που πραγματοποιεί τόσο τη σύμπλεξη-

αποσύμπλεξη, όσο και την αλλαγή της σχέσης. Συνήθως υπάρχει και η δυνατότητα πλήρους αυτόματης λειτουργίας. Παρουσιάζει όλα τα πλεονεκτήματα του χειροκίνητου συστήματος, με τη διαφορά ότι έχει πολύ μεγαλύτερο κόστος. Επιπλέον, οι αλλαγές δεν είναι και τόσο ομαλές, ενώ παρουσιάζονται προβλήματα σε ελιγμούς με μικρή ταχύτητα (για παράδειγμα παρκάρισμα σε περιορισμένο χώρο). Η λύση αυτή ξεκίνησε από τους αγώνες της Formula 1,



Εικόνα 3

Το DSG της VW-Audi.

όπου χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα. Πέρασε όμως και στα αυτοκίνητα παραγωγής και χρησιμοποιείται είτε σε μικρά αυτόματα αυτοκίνητα (Renault Twingo Easy), λόγω των μικρών απωλειών, είτε σε спор αυτοκίνητα, λόγω ευκολίας και ταχύτητας αλλαγών (από Alfa 156 Selespeed, έως Ferrari Enzo).

Τα κορυφαία κιβώτια του είδους είναι το SMG II της BMW και το DSG της VW-Audi. Το πρώτο διαθέτει 11 προγράμματα λειτουργίας (5 για εντελώς αυτόματη και 6 για ημιαυτόματη). Ο χρόνος που μεσολαβεί για την αλλαγή μιας σχέσης (αποσύμπλεξη, αλλαγή σχέσης και σύμπλεξη) μπορεί να φτάσει τα 0,08 sec! Εξίσου εντυπωσιακό είναι και το κιβώτιο της VW, όπου χάρη στο σύστημα δύο

συμπλέκτων δεν παρατηρείται σχεδόν καθόλου κενό στη ροή ισχύος! Έχει όμως σημαντικά αυξημένο βάρος και κόστος.

Μία παραλλαγή της διάταξης H είναι το σειριακό κιβώτιο. Ο οδηγός αλλάζει σχέσεις σπρώχνοντας, ή τραβώντας το λεβιέ ταχυτήτων (συνήθως προς τα πίσω ανεβαίνουν οι σχέσεις και προς τα μπρος κατεβαίνουν). Η κίνηση αυτή του οδηγού μετακινεί έναν κύλινδρο, που φέρει επάνω του ένα σκάλισμα. Αυτό αναγκάζει έναν μοχλό (γνωστό και ως



Εικόνα 4

Το σειριακό κιβώτιο χρησιμοποιείται μόνο σε μοτοσυκλέτες και μηχανοκίνητα αυτοκίνητα.

δίσταλο) να κινηθεί δεξιά-αριστερά, κομψάροντας κάθε φορά διαφορετικό ζεύγος γρναζιών. Πρόκειται για ένα απλούστατο και ταχύτατο σύστημα με μικρό βάρος, ελάχιστο κόστος και ίδιες απώλειες ενέργειας με το κλασσικό κιβώτιο. Το μοναδικό μειονέκτημα αυτής της διάταξης είναι ότι οι σχέσεις πρέπει αναγκαστικά να διαδέχονται η μία την άλλη. Για παράδειγμα, αν ο οδηγός

έχει πέμπτη σχέση και σταματήσει στο φανάρι δεν μπορεί να βάλει απ' ευθείας νεκρά, αλλά θα πρέπει να αλλάξει διαδοχικά όλες τις σχέσεις (τετάρτη, τρίτη, δεύτερα, πρώτη, νεκρά). Αυτός είναι και ο λόγος που δε χρησιμοποιείται στα επιβατικά και περιορίζεται μόνο στα αγωνιστικά αυτοκίνητα (κυρίως στα WRC) και σε ειδικές κατασκευές. Αντίθετα με τα αυτοκίνητα, αποτελεί το αποκλειστικό κιβώτιο όλων των μοτοσυκλετών.

Σε αντίθεση με τους ευρωπαίους που απρέσκονται στα χειροκίνητα κιβώτια, οι αμερικανοί προτιμούν τα αυτόματα συστήματα μετάδοσης. Η δομή των αυτόματων κιβωτίων είναι εντελώς διαφορετική. Αποτελούνται από επάλληλους συνεκτικούς συμπλέκτες, που εμπλέκουν τις διαφορετικές σχέσεις μετάδοσης. Το κιβώτιο αυτό συνεργάζεται αποκλειστικά με μετατροπέα ροπής. Πρόκειται για ένα σύστημα που υποκαθιστά το συμπλέκτη,

Αποτελείται από δύο φτερωτές, που περιστρέφονται μέσα σε υδραυλικό υγρό. Η μία φτερωτή περιστρέφεται από τον κινητήρα και θέτει σε κίνηση το λάδι, με αποτέλεσμα να μεταδοθεί κίνηση και στην άλλη φτερωτή, που είναι συνδεδεμένη με τον άξονα εισόδου του κιβωτίου. Το σύστημα λειτουργεί έτσι ώστε να εξασφαλίζει μεγάλη διαφορά περιστροφής των δύο φτερωτών (αντιστοιχεί στη φάση που είναι πατημένος ο συμπλέκτης), όταν οι στροφές του κινητήρα είναι χαμηλές. Προοδευτικά, όσο οι στροφές ανεβαίνουν, η διαφορά αυτή σχεδόν εξαφανίζεται.

Τα αυτόματα κιβώτια είναι πιο βαριά και ακριβά στην κατασκευή τους, παρουσιάζοντας και πολύ μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας. Παράλληλα, όμως, δε χρειάζονται ποτέ αλλαγή σε κανένα ζωτικό σημείο τους (όπως συμβαίνει με το συμπλέκτη



Εικόνα 5.

Η Mercedes είναι μια εταιρεία συνυφασμένη με τα αυτόματα κιβώτια μετάδοσης. Εδώ η ναυαρχίδα της εταιρείας, η S Class.

στα χειροκίνητα) απαιτώντας μόνο την αντικατάσταση του λιπαντικού τους υγρού, σε αραιά διαστήματα. Θεωρούνται ιδανικά για την κίνηση σε μποτιλιαρισμένους δρόμους. Η χρήση τους στην Ευρώπη είναι περιορισμένη και αφορά κυρίως σε αυτοκίνητα πολυτελείας, όπου η άνεση είναι το κυρίως ζητούμενο. Τελευταία υπάρχει η τάση για τη δυνατότητα επιλογής ενός προγράμματος που επιτρέπει στον οδηγό να αποφασίζει το πότε θέλει να γίνει αλλαγή μιας σχέσης.



Εικόνα 6.

Ο τρόπος λειτουργίας της CVT.

εξόδου, που είναι τοποθετημένοι παράλληλα. Ο κάθε άξονας καταλήγει σε μία τροχαλία μεταβλητής διαμέτρου. Οι τροχαλίες αυτές διαθέτουν αυλάκια κωνικής διατομής. Η κίνηση ανάμεσα στις δύο τροχαλίες μεταδίδεται μέσω ενός μεταλλικού μιάντα. Το σημείο ελέγχου είναι η ενεργή διάμετρος των δύο τροχαλιών, η οποία αλλάζει ανά πάσα στιγμή. Ως ενεργή χαρακτηρίζεται η διάμετρος στην οποία κάθε στιγμή "πατάει" ο μιάντας. Η διάμετρος αυτή

Όσες περισσότερες σχέσεις διαθέτει ένα κιβώτιο, τόσο καλύτερη εκμετάλλευση της ισχύος του κινητήρα προσφέρει. Τι ιδανικότερο, λοιπόν, από ένα κιβώτιο που διαθέτει άπειρες σχέσεις μετάδοσης. Κάτω έτσι πρέπει να σκέφτηκαν οι εφευρέτες των CVT, που ονομάστηκε έτσι από τα αρχικά των λέξεων Continuously Variable Transmission, δηλαδή συνεχώς μεταβαλλόμενη σχέση μετάδοσης.

Η δομή του CVT είναι απλούστατη. Στο εσωτερικό τους συναντάμε και εδώ δύο άξονες, έναν εισόδου και έναν



Εικόνα 5.

Η κοιλία του συστήματος CVT ή μεταλλικός μάντας.

αλλάζει με τη βοήθεια ενός υδραυλικού συστήματος, που πιέζει αξονικά το ένα από τα δύο μισά της διαιρούμενης τροχαλίας. Όταν η πίεση αυξάνεται τα δύο μέρη πλησιάζουν, στενεύουν το κωνικό αυλάκι και αναγκάζουν τον μάντα να ανέβει πιο ψηλά, δημιουργώντας, με τον τρόπο αυτό, μεγαλύτερη ενεργή διάμετρο. Αντίστοιχα, μειώνοντας την πίεση, το αυλάκι ανοίγει, αφήνοντας τον μάντα να κατέβει προς το κέντρο της τροχαλίας, δημιουργώντας μικρότερη ενεργή διάμετρο. Με τον τρόπο αυτό μεταβάλλεται η σχέση μετάδοσης ανάμεσα στους δύο άξονες.

Η διάταξη αυτή είναι γνωστή από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Οι πρώτες εφαρμογές, όμως, αντιμετώπιζαν πολλά προβλήματα, απόρροια του ότι ο μάντας δέχεται πολύ μεγάλα φορτία, αλλά και του ότι απαιτείται η ανάπτυξη μεγάλης τριβής, προκειμένου να λειτουργήσει σωστά το σύστημα, χωρίς να πατινάρει. Ο μάντας πρέπει να είναι ενισχυμένος, ώστε να αντέχει το πολύ μεγάλο φορτίο, αλλά ταυτόχρονα, να μη φέρει μεγάλες αντιστάσεις. Συνήθως είναι μεταλλικός και αποτελείται από πολλά ατσάλινα τμήματα, που συνδέονται μεταξύ τους με τη βοήθεια εύκαμπτων ατσάλινων φύλλων.

Η χρήση του συστήματος είχε περιοριστεί σε μικρά αυτοκίνητα πόλης (Subaru Justy ECVT). Το 1999 όμως η Nissan κατάφερε να παρουσιάσει ένα CVT που να μπορεί να αντέξει τη μεταφορά ροπής, από κινητήρες μέχρι και 3.000 cm³. Το σύστημα τοποθετήθηκε στο δίλιτρο Primera, με πολύ καλά αποτελέσματα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η συνεργασία του συστήματος με έναν υδραυλικό μετατροπέα ροπής, που συνδυάζεται με ένα μηχανικό σύστημα κλειδώματος. Έτσι, συνδυάζονται με τον καλύτερο τρόπο τα πλεονεκτήματα και των δύο διατάξεων, προσφέροντας απόλυτα ομαλή και χωρίς τινάγματα σύμπλεξη-αποσύμπλεξη, στην πολύ αργή κίνηση μέσα στην πόλη, αλλά και εξαλείφει της ολισθήσης των αξόνων εισόδου-εξόδου του μετατροπέα, ώστε να αποφεύγεται η αύξηση της κατανάλωσης! Αμέσως έδειξαν έντονο ενδιαφέρον πολλοί μεγάλοι κατασκευαστές, με πρώτη και καλύτερη την Audi, που αγόρασε τα δικαιώματα χρήσης του συστήματος και το τοποθέτησε στο τελευταίο A4 multitronic. Το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει με τρεις τρόπους: Αυτόματο συνεχώς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης, ημιαυτόματο και αυτόματο προκαθορισμένων σχέσεων.

Στην εντελώς αυτόματη λειτουργία συνεχώς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης η λειτουργία θυμίζει αυτή των scooters. Πατώντας γκάζι οι στροφές ανεβαίνουν γραμμικά μέχρι να φτάσουν το σημείο απόδοσης μέγιστης υποδύναμης. Στη συνέχεια παραμένουν σταθερές και αυτό που αλλάζει είναι η σχέση μετάδοσης. Κρατώντας σταθερό το γκάζι οι στροφές κατεβαίνουν σε αυτές της μέγιστης ροπής, βελτιώνοντας την οικονομία καυσίμου.

Στην ημιαυτόματη λειτουργία έχουν προγραμματιστεί έξι "σκαλοπάτια", μέσα στο συνολικό εύρος μεταβολής της σχέσης μετάδοσης του κιβωτίου, έτσι ώστε να θυμίζουν συμβατικό κιβώτιο, με έξι ζεύγη γραναζιών. Ο οδηγός μετακινώντας το λεβιέ μπρος-πίσω, ή μέσω διακοπών στο τιμόνι, μπορεί να αλλάζει σχέσεις κατά βούληση, όπως και στα υπόλοιπα ημιαυτόματα συστήματα. Οι αλλαγές γίνονται απόλυτα ομαλά και με συνεχή παροχή ισχύος, αφού δε χρειάζεται να απομονωθεί καθόλου ο κινητήρας από το κιβώτιο.

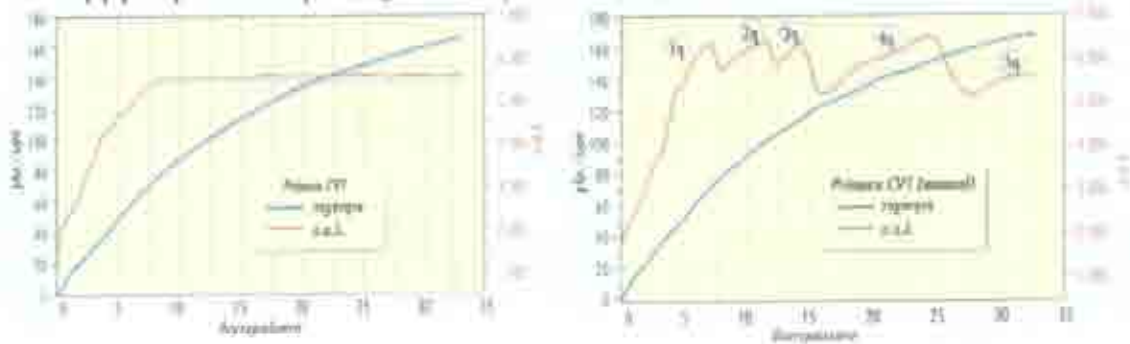


Εικόνα 8.

Το CVT της Nissan, που άνοιξε τις πόρτες όρασης στο θέμα της μετάδοσης.

Στην αυτόματη λειτουργία προεπιλεγμένων σχέσεων, το σύστημα λειτουργεί θυμίζοντας συμβατικό αυτόματο κιβώτιο, επιλέγοντας κάθε φορά τη βέλτιστη προεπιλεγμένη σχέση.

Το CVT θεωρείται (και όχι άδικα) ως το κιβώτιο του μέλλοντος. Μπορεί να λειτουργήσει με οποιοδήποτε τρόπο θέλησει ο οδηγός του, καλύπτοντας κάθε του απαίτηση

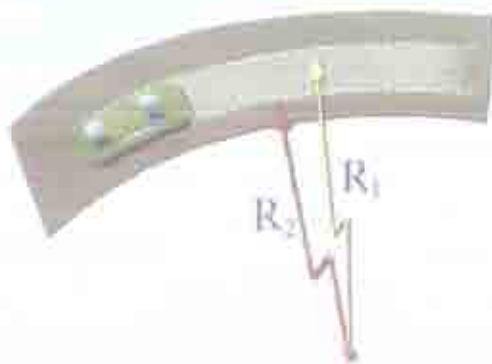


Εικόνα 5.

Οι δύο τρόποι λειτουργίας του CVT της Nissan. Αριστερά φαίνεται η αυτόματη συνεχώς μεταβαλλόμενη σχέση μετάδοσης και δεξιά η ημιαυτόματη. Και στις δύο περιπτώσεις η επιτόπιση είναι παράλληλη, κάτι που δείχνει την πολύ καλή συμπεριφορά του συστήματος.

Παράλληλα, πολύ εύκολα μπορούν να τροποποιηθούν οι βασικές παράμετροι λειτουργίας του. Έτσι, μπορεί να αλλάξει το όριο περιστροφής του κινητήρα (στη λειτουργία CVT), το αν θα αφήνει το σύστημα ή όχι τον κινητήρα να φτάνει στον κόφτη (στην ημιαυτόματη), αλλά ακόμα και ο αριθμός των σχέσεων και η κλιμάκωσή τους, μέσω ενός απλού επαναπρογραμματισμού. Αυτό σημαίνει ότι ο κάθε οδηγός θα μπορεί να προσαρμόζει τις σχέσεις του κιβωτίου του στα δικά του μέτρα. Θα μπορεί πολύ εύκολα να τις κονταίνει ή να τις μακραίνει, χωρίς να γίνει καμία επέμβαση στο κιβώτιο! Υπάρχει επίσης η δυνατότητα δημιουργίας διαφορετικών “προφίλ” όπου να προσφέρεται η δυνατότητα λειτουργίας του κιβωτίου με τέσσερις, πέντε, έξι ή και περισσότερες σχέσεις, πάντοτε στο ίδιο αυτοκίνητο, με το ίδιο κιβώτιο!

► 7.2 Διαφορικό.



Εικόνα 11.

Οι εξωτερικοί τροχοί καλύπτει το τόξο μεγαλύτερης ακτίνας, όταν το αυτοκίνητο διαγράφει μια στροφή.

Έστω ότι ένα αυτοκίνητο κινείται ομαλά, διαγράφοντας καμπύλη τροχιά. Οι εξωτερικοί του τροχοί διαγράφουν τόξο ακτίνας R_1 και οι εσωτερικοί τροχοί τόξο ακτίνας R_2 , με $R_1 > R_2$. Η απόσταση S_1 που διανύουν οι εξωτερικοί τροχοί είναι:

$$S_1 = \varphi \cdot R_1, \text{ Σχίσμα 7-1,}$$

όπου φ η γωνία που αντιστοιχεί στο τόξο κύκλου, που “γράφει” το αυτοκίνητο, εκφρασμένη σε ακτίνια. Αντίστοιχα, η απόσταση S_2 που διανύουν οι εσωτερικοί τροχοί θα είναι:

$$S_2 = \varphi \cdot R_2, \text{ Σχίσμα 7-2,}$$

όπου φ είναι η ίδια γωνία.

Επειδή είναι $R_1 > R_2$ από τις σχέσεις 7-1 και 7-2 θα συνεπάγεται ότι:

$$S_1 > S_2, \text{ σχέση } 7-3.$$

Η κίνηση γίνεται με σταθερή, κατά μέτρο, ταχύτητα. Οπότε θα έχουμε:

$$S_1 = U_1 \cdot t, \text{ σχέση } 7-4 \text{ και}$$

$$S_2 = U_2 \cdot t, \text{ σχέση } 7-5,$$

όπου U_1, U_2 οι γραμμικές ταχύτητες των εξωτερικών και των εσωτερικών τροχών, αντίστοιχα, και t ο χρόνος που μεσολαβεί για την κάλυψη των αποστάσεων S_1 και S_2 , που είναι ο ίδιος και στις δύο περιπτώσεις. Από τις σχέσεις 7-3, 7-4 και 7-5 συμπεραίνουμε ότι:

$$U_1 > U_2, \text{ σχέση } 7-6.$$

δηλαδή ότι οι εξωτερικοί τροχοί πρέπει να κινούνται με μεγαλύτερη γραμμική ταχύτητα από τους εσωτερικούς, προκειμένου να αποφευχθεί μεταξύ τους ολίσθηση.

Έχουμε ότι:

$$U_1 = \omega_1 \cdot r_{\text{εξωτ}} \text{ σχέση } 7-7 \text{ και}$$

$$U_2 = \omega_2 \cdot r_{\text{εσωτ}} \text{ σχέση } 7-8,$$

όπου ω_1, ω_2 είναι οι γωνιακές ταχύτητες των εξωτερικών και των εσωτερικών τροχών, αντίστοιχα, και $r_{\text{εξωτ}}$ είναι η ακτίνα των τροχών, που είναι ίδια τόσο για τους εξωτερικούς, όσο και για τους εσωτερικούς τροχούς. Από τις σχέσεις 7-6, 7-7 και 7-8 συνεπάγεται ότι:

$$\omega_1 > \omega_2, \text{ σχέση } 7-9.$$

Η τελευταία σχέση σημαίνει ότι όταν το αυτοκίνητο διαγράφει μία στροφή, οι εξωτερικοί τροχοί πρέπει να περιστρέφονται με μεγαλύτερη ταχύτητα από τους εσωτερικούς. Σε αντίθετη περίπτωση δημιουργούνται τριβές, από την αλληλεπίδραση των τροχών, που είναι ανάλογες με τη διαφορά των γωνιακών ταχυτήτων $\omega_1 - \omega_2$.

Στους ελεύθερους άξονες (που δε μεταφέρουν ροπή στρέψης) η σχέση 7-9 ικανοποιείται με την παρεμβολή ενός ρουλεμάν ανάμεσα σε κάθε τροχό και τον άξονα. Στους κινητήριους όμως άξονες είναι απαραίτητη η χρήση ενός διαφορικού. Πρόκειται για ένα μηχανισμό που επιτρέπει τη μετάδοση ισόποσης ροπής στρέψης στους τροχούς ενός άξονα, φροντίζοντας καθένας από αυτούς να παραλαμβάνει το ποσοστό του ρυθμού περιστροφής που του αναλογεί, λαμβάνοντας υπ' όψιν την απόσταση που κάθε τροχός πρέπει να διανύσει.

Λέξει να τονιστεί το ότι το διαφορικό μοιράζει **ίδια ροπή** και στους δύο τροχούς,

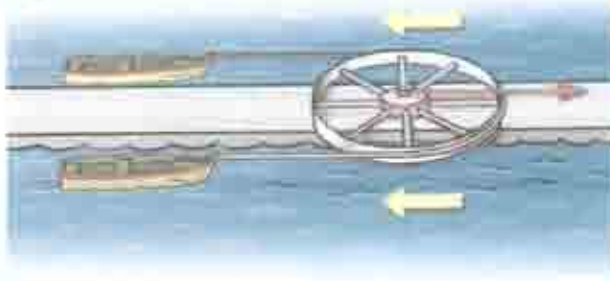


Εικόνα 11.

Το διαφορικό τοποθετείται παντοίως ανάμεσα σε δύο κινητήριους τροχούς.

μεταβάλλοντας μόνο την ταχύτητα περιστροφής των τροχών. Δεδομένου ότι η ισχύς N που μεταφέρεται από έναν άξονα ισοτιμά με $N = M \cdot \omega$ (όπου M είναι η ροπή που μεταφέρει και ω η γωνιακή του ταχύτητα), παρατηρούμε ότι το διαφορικό μοιράζει διαφορετικό ποσοστό της **ισχύος** του κινητήρα στα δύο ημιάξονια, ανά πάσα στιγμή.

Το διαφορικό, όπως είπαμε, τοποθετείται πάντοτε ανάμεσα σε δύο κινητήριους τροχούς και μοιράζει την ισχύ στα ημιάξονια. Αν οι κινητήριοι τροχοί είναι οι μπροστινοί τοποθετείται μπροστά, αμέσως μετά το κιβώτιο ταχυτήτων. Στα πίσωκίνητα τοποθετείται στο μέσον του πίσω άξονα. Σε αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητη η χρήση ενός άξονα μετάδοσης, που θα συνδέει το κιβώτιο και το διαφορικό. Στα τετρακίνητα σχήματα παρουσιάζονται αρκετές παραλλαγές. Σε κάθε περίπτωση υπάρχει πάντοτε ένα διαφορικό μπρος και ένα πίσω. Στο κέντρο είτε χρησιμοποιείται κεντρικό διαφορικό που μοιράζει τη ροπή μπρος-πίσω, είτε κάποιος συννεκτικός συμπλέκτης. Στη δεύτερη περίπτωση η κίνηση μεταδίδεται μόνιμα στον έναν άξονα και όταν παρατηρηθεί διαφορά στην περιστροφή των δύο αξόνων εμπλέκεται αυτόματα και ο άλλος. Ο τρόπος μετάδοσης της κίνησης είναι καθοριστικός για την οδική συμπεριφορά του αυτοκινήτου, αλλά γι' αυτό θα πούμε περισσότερα παρακάτω.

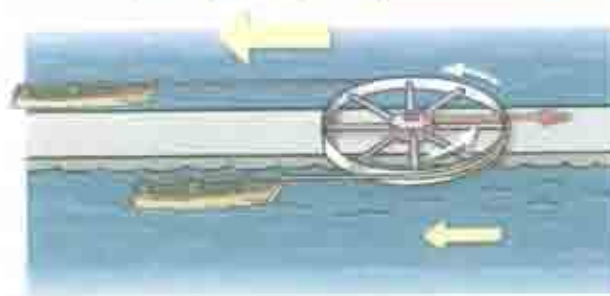


Εικόνα 12.

Όταν οι δύο βάρκες σπινάτουν την ίδια αντίσταση, η τροχαλία δεν περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της.

ταχύτητα της ροής του μπορεί και αυξομειώνεται κατά βούληση. Τραβώντας την τροχαλία από τον άξονά της κάποια πράγματα συμβαίνουν ταυτόχρονα.

Πρώτον: Και οι δύο βάρκες έλκονται με την ίδια ακριβώς δύναμη, ανεξαρτήτως του πόση αντίσταση συναντά η κάθε μία, στην κίνησή της. Η δύναμη με την οποία έλκονται δεν είναι άλλη από την τάση του σχοινιού, που ενώνει τις δύο πλώρες.



Εικόνα 13.

Όταν οι δύο βάρκες παρουσιάζουν διαφορετική αντίσταση, εμφανίζεται περιστροφή της τροχαλίας.

Αυτό σημαίνει ότι ό,τι χάνει σε δρόμο η βάρκα που βραδυνόει, το κερδίζει η άλλη βάρκα.

Τέταρτον: Οι δύο βάρκες έλκονται με την ίδια δύναμη, η οποία είναι ίση με την αντίδραση που ασκεί στο σχοινί η βάρκα με τη μικρότερη αντίσταση. Αν μία από τις δύο βάρκες έχει μηδενική αντίσταση, το σχοινί δεν μπορεί να μεταφέρει δύναμη σε καμία από τις δύο βάρκες.

Για την ώρα ας δούμε ένα παράδειγμα, που θα μας βοηθήσει στην κατανόηση της αρχής λειτουργίας του διαφορικού. Έστω ότι έχουμε δύο βάρκες που πλέουν μέσα σε δύο ανεξάρτητα κανάλια με νερό. Ένα σχοινί ενώνει τις πλώρες των δύο βαρκών. Το σχοινί τυλίγεται σε μια τροχαλία, η οποία μπορεί και περιστρέφεται ελεύθερα γύρω από τον άξονά της. Έλκοντας την τροχαλία από τον άξονά της, έλκουμε και τις δύο βάρκες. Η τροχαλία παίζει το ρόλο ενός πρωτόγονου διαφορικού. Το νερό, σε κάθε κανάλι, κινείται αντίθετα από την πορεία που έχουν οι βάρκες και η

Δεύτερον: Παρόλο που οι δύο βάρκες έλκονται με την ίδια δύναμη, καθεμία μπορεί να κινείται με διαφορετική σχετική ταχύτητα, ανάλογα με την αντίσταση που συναντά από το νερό. Αυτή ακριβώς η κατάσταση απεικονίζεται στη διπλανή εικόνα. Η βάρκα που βρίσκεται στο κανάλι με τη μεγαλύτερη ροή συναντά μεγαλύτερη αντίσταση, με αποτέλεσμα να προκληθεί μια περιστροφή της τροχαλίας, που τείνει να εξισώσει τις σχετικές ταχύτητες των δύο βαρκών.

Τρίτον: Το μήκος του σχοινιού, που μεσολαβεί από πλώρη σε πλώρη, μέσω της τροχαλίας, είναι σταθερό.

Πέμπτον· Με βάση τη σχέση $N = F \cdot U$ (όπου N είναι η ισχύς, F η δύναμη και U η σχετική ταχύτητα) η ισχύς που απορροφά κάθε βάρκα, για την κίνησή της, είναι ανάλογη της σχετικής της ταχύτητας και μόνο (αφού η δύναμη F είναι ίδια και στις δύο βάρκες). Αν μία από τις δύο βάρκες έχει μηδενική αντίσταση, δεν μπορεί να μεταφερθεί ισχύς από τον ελκτικό μηχανισμό σε καμία από τις δύο βάρκες.

Το συμπέρασμα που συνάγεται από τα παραπάνω είναι ότι, ενώ η έλξη από τον κεντρικό μηχανισμό μπορεί να συνεχίζεται αμείωτη, οι δύο βάρκες "σχετίζονται" μεταξύ τους με τρόπο τέτοιο, που τους επιτρέπει να διαμορφώσουν το ποσοστό της ισχύος που δέχεται η κάθε μία τους, σύμφωνα με τις εξωτερικές συνθήκες (την ταχύτητα του ρεύματος). Ακόμα και αν σταματούσε η έλξη από τον κεντρικό "κινητήρα", οι δύο βάρκες θα συνέχιζαν να προσαρμόζουν την κίνησή τους, ως προς τη ροή του ρεύματος, που, τώρα, θα προσπαθούσε να τις παρασύρει προς τα πίσω. Εκείνη που θα οπισθοχωρούσε θα εξαντλούσε, μέσω του σχοινιού, την άλλη να κινηθεί σε αντίθετη φορά, κόντρα στο ρεύμα. Μπορούμε να πούμε ότι η σύνδεση των δύο λέμβων, με την ελκόμενη τροχαλία, δεν είναι τίποτα άλλο από ένα διαφορικό.

Μετά από το πρώτο παράδειγμα ας δούμε και ένα δεύτερο. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε ένα πρωτόγονο όχημα, εφοδιασμένο με το διαφορικό των λέμβων, που ήδη εξετάσαμε. Εδώ, η τροχαλία ζετυλιγεί δύο

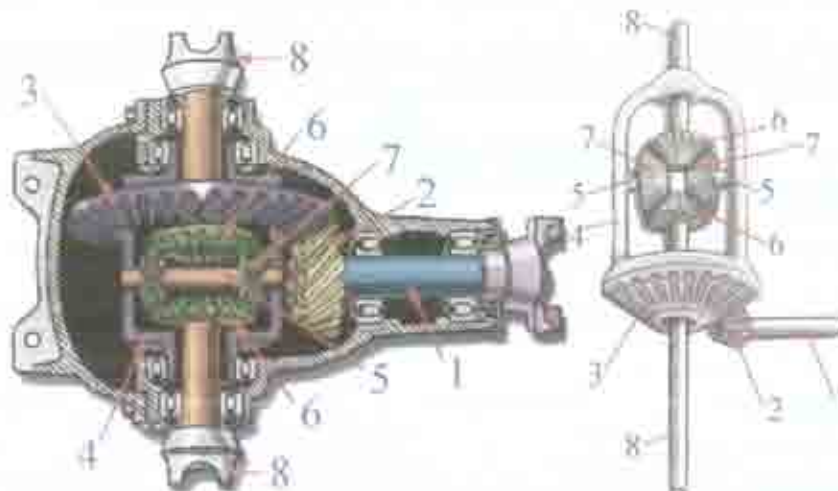


Εικόνα 14.

Η κίνηση του τρικύκλου βασίζεται στην ίδια αρχή με αυτή του προηγούμενου παραδείγματος.

Η κίνηση της τροχαλίας (και άρα και του οχήματος) εξασφαλίζεται μέσω της περιστροφής του κεντρικού "μαγκανιού". Αν, κάποια στιγμή, το καρότσι κληθεί να διαγράψει καμπύλη τροχιά, ο μηχανισμός αυτός επιτρέπει στους τροχούς να κινηθούν με διαφορετική ταχύτητα. Με άλλα λόγια, η αυξημένη αντίσταση, που συναντά ο εσωτερικός τροχός, τον αναγκάζει να επιβραδυνθεί και, μέσω του κοινού σχοινιού, να "προσφέρει" στον εξωτερικό τροχό την

ταχύτητα, που ο ίδιος χάνει. Το αξιοσημείωτο όμως είναι ότι, κατά τη διάρκεια αυτής της καμπύλης τροχιάς, και οι δύο τροχοί θα σπρώχνουν το καρότσι με την ίδια ακριβώς δύναμη! Στο μόνο σημείο που θα διαφοροποιούνται θα είναι η ταχύτητα περιστροφής τους.



Εικόνα 15.

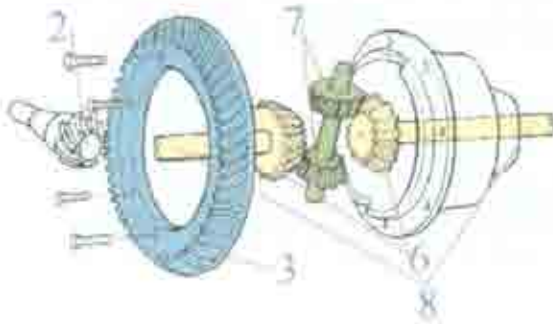
Το περιεχόμενο ενός διαφορικού.

1: Κεντρικός άξονας, 2: Πινιόν, 3: Κορόνα, 4: Φορέας, 5: Άξονας οριζοντίου, 6: Πλάστης, 7: Αμφιφόρος, 8: Ημι-άξονα.

Ακριβώς έτσι λειτουργεί και το διαφορικό, με τη διαφορά ότι αντί για τροχαλία, σχοινιά και μαγκανία χρησιμοποιεί κωνικά γρανάζια. Στη διπλανή εικόνα φαίνεται η δομή του.

Ο άξονας μετάδοσης (1), που έρχεται από το κιβώτιο ταχυτήτων, καταλήγει σε ένα μικρό κωνικό γρανάζι (2), που ονομάζεται πινιόν. Το πινιόν δίνει κίνηση στην κορόνα (3).

Πρόκειται για ένα αρκετά μεγαλύτερο κωνικό γρανάζι. Εξ' αιτίας αυτής της διαφοράς πραγματοποιείται ένας επιπλέον υποπολλαπλασιασμός, στη μετάδοση της κίνησης. Η σχέση των δύο διαμέτρων ονομάζεται τελική σχέση μετάδοσης. Η κορώνα είναι σταθερά προσαρμοσμένη σε ένα κέλυφος (4), έτσι ώστε η κίνηση της κορώνας να συμπαρασύρει και



Εικόνα 10.

Απεικονισμένη κατάσταση διασπασμένης.

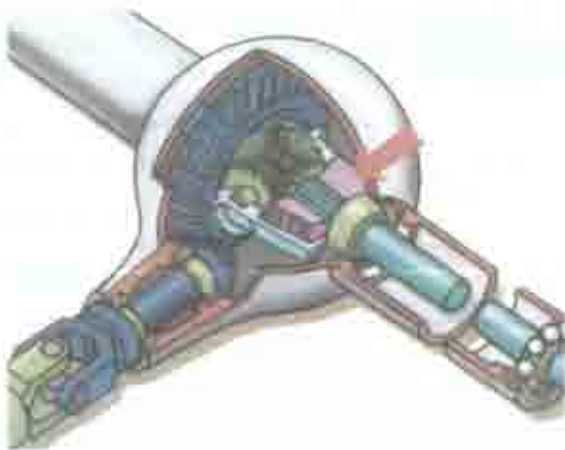
2: Πινιόν, 3: Κορώνα, 7: Αμφοτέρω, 6: Πλανήτες, 8: Ημιαξόνια.

της, ισούται με αυτή της κορώνας, που κινεί το φορέα. Οι ίδιοι οι δορυφόροι, όμως, δεν περιστρέφονται, ως προς τον άξονά τους. Αντιθέτως, κατά τη διαγραφή μιας στροφής, όπου ο ένας τροχός χρειάζεται να κινηθεί αργότερα από τον άλλο, οι δορυφόροι περιστρέφονται γύρω από τον εαυτό τους, εξασφαλίζοντας τη διαφορά στην περιστροφή των δύο ημιαξόνων.

Το διαφορικό, λοιπόν, μεταδίδει την κίνηση στους τροχούς, μέσω των ημιαξόνων, επιτρέποντας σε κάθε τροχό να περιστρέφεται με διαφορετική ταχύτητα. Το άθροισμα, όμως, των ταχυτήτων περιστροφής και των δύο τροχών $\Sigma\omega$, είναι πάντοτε σταθερό (για σταθερό ρυθμό περιστροφής του πινιόν) και ισούται με το διπλάσιο της ταχύτητας περιστροφής του στροφαλοφόρου $\omega_{\sigma\sigma\phi}$, προς τη συνολική σχέση μετάδοσης (σχέση κιβωτίου και σχέση διαφορικού) i_{ω} . Δηλαδή:

$$\Sigma\omega_{\tau} = \omega_{\alpha\sigma\phi} + \omega_{\delta} = c = \frac{2\omega_{\sigma\sigma\phi}}{i_{\omega}}, \text{ Σχ.ση 7-III.}$$

όπου ω_{α} , ω_{δ} είναι οι ταχύτητες περιστροφής του αριστερού και του δεξιού τροχού, αντίστοιχα και c μία σταθερά, που ποικίλει ανάλογα με τις στροφές του στροφαλοφόρου $\omega_{\sigma\sigma\phi}$ και τη συνολική σχέση μετάδοσης i_{ω} . Σε κάθε περίπτωση, όμως, η ροπή που φτάνει στον δεξιό τροχό είναι όση ακριβώς φτάνει και στον αριστερό.



Εικόνα 11.

Μητρική διασπασμένη ή αποσπασμένη

Αυτή η ιδιότητα του διαφορικού είναι πολύ χρήσιμη, προκειμένου να μπορεί το αυτοκίνητο να διαγράφει απρόσκοπτα κάθε είδους καμπή, αλλά εγκυμονεί ορισμένους κινδύνους. Αν ο ένας από τους δύο κινητήριους τροχούς βρεθεί σε ολισθηρή επιφάνεια, το αυτοκίνητο κινδυνεύει να ακινητοποιηθεί. Σε αυτή την περίπτωση, ελαχιστοποιείται η ροπή που μεταφέρεται στον ολισθαίνοντα τροχό, με αποτέλεσμα να μικραίνει και η ροπή, που μεταφέρεται στον τροχό με την καλύτερη

πρόσφυση. Έτσι, ο ένας τροχός περιστρέφεται "τρέλα", ενώ ο άλλος ακινητεί, ακινητοποιώντας και ολόκληρο το αυτοκίνητο. Για την αποφυγή αυτού του φαινομένου εξελίχθηκαν διαφορικά με μηχανισμούς που περιορίζουν αυτόματα τις διαφορές ταχύτητας μεταξύ των δύο τροχών. Τα διαφορικά αυτά ονομάζονται περιορισμένης ολίσθησης ή "μπλόκ".

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι κατασκευής ενός μπλόκ διαφορικού. Τα μηχανικά συστήματα χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Σε αυτά που "αισθάνονται" τη διαφορά της γωνιακής ταχύτητας μεταξύ των δύο ημιαξόνων, και σε αυτά που μπορούν και αντιλαμβάνονται τη διαφορά στη ροπή αντίστασης στα άκρα των ημιαξόνων.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα μπλόκ διαφορικά, που περιλαμβάνουν ένα είδος συμπλέξης ανάμεσα στα δύο ημιαξόνια, το οποίο δεν επιτρέπει μεγάλες διαφορές στην ταχύτητα περιστροφής τους. Ο συμπλέκτης είναι προσαρμοσμένος στο εσωτερικό του κελύφους και δρα ανάμεσα σε αυτό και το ένα ημιαξόνιο. Αν το ημιαξόνιο αυτό ακινητεί, τότε ο συμπλέκτης το εξαναγκάζει να παραλάβει ροπή απ' ευθείας από το κέλυφος, με αποτέλεσμα την κίνησή του. Αν το ημιαξόνιο αυτό γυρίζει "τρέλα" και πάλι επεμβαίνει ο συμπλέκτης μειώνοντας την ταχύτητά του και αναγκάζοντάς το να μεταφέρει ένα ποσοστό της ροπής του στο απέναντι ημιαξόνιο. Ο συμπλέκτης αποτελείται είτε από δίσκους τριβής, είτε από κώνους τριβής.



Εικόνα 18.

Το ενεργό διαφορικό της BMW M3 χρησιμοποιεί δίσκους τριβής.



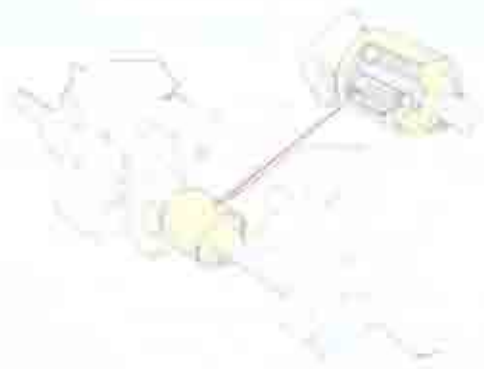
Εικόνα 19.

Ο συνκετικός συμπλέκτης.

Μία άλλη διάταξη είναι η χρησιμοποίηση συνεκτικού συμπλέκτη, σε σειρά με ένα κανονικό διαφορικό. Και εδώ υπάρχουν δίσκοι τριβής που είναι τοποθετημένοι στο εσωτερικό του κελύφους του συνεκτικού συμπλέκτη. Οι δίσκοι όμως είναι διάτρητοι και ανάμεσά τους ρέει ένα ειδικό υγρό, με βασικό συστατικό του τη σιλκόνη. Η αντιστροφική συμπεριφορά, που παρουσιάζει με την άνοδο της θερμοκρασίας αυτό το υγρό, είναι το κλειδί του συστήματος.

Το σύστημα έχει δύο άξονες. Ο ένας προσαρμόζεται στο κέλυφος του συνεκτικού συμπλέκτη και ο άλλος σε ένα στροφέιο. Οι δίσκοι, στο εσωτερικό του συστήματος, στηρίζονται εναλλάξ στο στροφέιο και το κέλυφος. Όταν παρουσιάζεται διαφορά στην ταχύτητα περιστροφής των δύο άξόνων, το υγρό θερμαίνεται και δημιουργεί συνεκτικές δυνάμεις ανάμεσα στους δίσκους, με αποτέλεσμα ο άξονας εξόδου να συμπαρασύρεται και να περιστρέφεται μαζί με τον άξονα εισόδου.

Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του συστήματος, όπως ο χρόνος σύμπλεξης, μεταβάλλονται από τον κατασκευαστή, ανάλογα με τον αριθμό των δίσκων και το πάχος του στρώματος του υγρού, που παρεμβάλλεται ανάμεσά τους, πάντα σύμφωνα με τις



Εικόνα 20.

Το Viscodrive της Fiat ήταν μια πολύ επιτυχημένη εφαρμογή του συνεκτικού συμπλέκτη.

απαιτήσεις του αυτοκινήτου, στο οποίο πρόκειται να τοποθετηθούν. Οι συνεκτικοί συμπλέκτες χρησιμοποιήθηκαν με μεγάλη επιτυχία σε αγωνιστικά αυτοκίνητα. Πλεονεκτούν ως προς τα μπλοκέ απλής σύμπλεξης εμφανίζοντας μικρότερο βάρος και λιγότερες απώλειες ενέργειας. Μπορούν να τοποθετηθούν τόσο σε δικίνητα, όσο και σε τετρακίνητα αυτοκίνητα και χαρακτηρίζονται από την ομαλότητα της λειτουργίας τους. Παράλληλα, όμως, δεν έχουν τόσο γρήγορη απόκριση και δεν αποτελούν αυτόνομο διαφορικό, αλλά βοηθητικό σύστημα, με μοναδική εξαίρεση τη δυνατότητα τοποθέτησής τους σε τετρακίνητα, αντί του κεντρικού διαφορικού.

Εντελώς διαφορετικής φιλοσοφίας είναι τα μπλοκέ διαφορικά τύπου "Torsen", τα οποία δεν αντιλαμβάνονται τη διαφορά περιστροφής των ημιαξόνων, αλλά τη διαφορά ροπής αντίστασης, στα άκρα τους. Το διαφορικό αυτό παρουσιάστηκε το 1956, έγινε, όμως, γνωστό στις αρχές της δεκαετίας του 1990, όταν τοποθετήθηκε στα αγωνιστικά Audi Quattro.



Εικόνα 21:

Το εσωτερικό ενός Torsen διαφορικού.

Η εσωτερική κατασκευή του είναι αρκετά ιδιότυπη, περιλαμβάνοντας ένα πολύπλοκο σύμπλεγμα πλανητικών γραναζιών. Στο κέντρο του συστήματος βρίσκονται τα ελικοειδή γρανάζια, που αποτελούν και την έξοδο προς τα ημιαξόνια, ενώ στην περιφέρειά τους, προσαρμοσμένα στο εσωτερικό του κελύφους, βρίσκονται τρία ζευγάρια άξονων με γρανάζια. Το μεσαίο τμήμα του κάθε άξονα έχει ελικοειδή οδόντωση και συμπλέκεται με τον "ήλιο" σε μια διάταξη ατέρμονα-κορόνας. Τα άκρα έχουν γρανάζια με ευθεία οδόντωση, με αποτέλεσμα να συμπλέκονται τα ημιαξόνια μεταξύ τους.

Το χαρακτηριστικό της διάταξης ατέρμονα-κορόνας είναι ότι η περιστροφή πραγματοποιείται κατά μία συγκεκριμένη φορά, ενώ, κατά την αντίθετη, δημιουργούνται υψηλά φορτία τριβής και η διάταξη ουσιαστικά μπλοκάρει. Έτσι, σε περίπτωση που εμφανιστεί διαφορά αντίστασης, ανάμεσα στα άκρα των

ημιαξόνων, και τάση του ενός άξονα να επιταχύνει, σε σχέση με τον άλλο, η διάταξη αντιστέκεται και μεταφέρει τη ροπή στον άξονα του τροχού με τη μεγαλύτερη αντίσταση (άρα και την περισσότερη πρόσφυση).

Το σύστημα αυτό αντιδρά πιο άμεσα και δεν αφήνει να δημιουργηθούν μεγάλες διαφορές στην ταχύτητα περιστροφής των ημιαξόνων, αποφεύγοντας έτσι το σπινάρισμα του τροχού με τη μικρότερη πρόσφυση. Παράλληλα, όμως, η διάταξη έχει μεγάλο βάρος, αρκετή αδράνεια και αυξημένα επίπεδα τριβής, απόρροια των πολλών γραναζιών, που χρησιμοποιούνται στο εσωτερικό του. Τα πρώτα Torsen αντιμετώπιζαν προβλήματα υπερθέρμανσης και πρόκλησης φθοράς. Με τη συνεχή εξέλιξη, όμως, της μεταλλουργικής τεχνολογίας και τη χρήση βελτιωμένων λιπαντικών σήμερα δεν παρατηρούνται τέτοια προβλήματα. Το Torsen μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο στον μπροστινό, όσο και στον πίσω άξονα, αλλά και ως κεντρικό διαφορικό σε τετρακίνητα οχήματα.

Σε κάθε περίπτωση τα μπλοκέ διαφορικά χαρακτηρίζονται από το βαθμό εμπλοκής τους i_{μ} . Ο βαθμός αυτός ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$i_{\mu} = \frac{|M_{\alpha\omega} - M_{\beta\omega}|}{M_{\alpha\omega} + M_{\beta\omega}} \cdot 100\%, \quad \text{Σχ(ση 7-11)},$$

όπου $M_{\alpha\omega}$, $M_{\beta\omega}$ η μέγιστη ροπή που μπορεί να φτάσει στον αριστερό και το δεξιό τροχό, αντίστοιχα. Σε ένα απλό διαφορικό, η ροπή που φτάνει στους δύο τροχούς είναι πάντοτε η ίδια, οπότε η παραπάνω σχέση δίνει ποσοστό εμπλοκής 0 %. Αντίθετως στην περίπτωση ενός ενιαίου άξονα χωρίς διαφορικό, η ροπή θα μπορεί να μεταφερθεί ακόμα και εξ' ολοκλήρου από τον ένα και μόνο τροχό (επομένως η ροπή του άλλου τροχού θα είναι ίση με

το μηδέν). Σε αυτή την περίπτωση, η παραπάνω σχέση δίνει ποσοστό εμπλοκής 100 %. Στα μηχανικά συστήματα, ο βαθμός εμπλοκής κυμαίνεται από 25 % έως 40 %.

Υπάρχουν όμως και ηλεκτρονικά ελεγχόμενα συστήματα, τα λεγόμενα ενεργά διαφορικά. Σε αυτά, το ποσοστό εμπλοκής μεταβάλλεται, ανά πάσα στιγμή, βάσει πληροφοριών που δέχεται η ηλεκτρονική μονάδα, για την κινητική κατάσταση του αυτοκινήτου. Το εύρος της μεταβολής είναι από 0 % έως και 100 % ! Τα ενεργά διαφορικά δεν μπορούν να είναι τύπου Torsen. Πρέπει απαραίτητως να έχουν συμπλέκτη, προκειμένου να ελέγχεται η δράση τους.

► 7.3 Συμπεριφορά.

Αφού είδαμε αναλυτικά τη δομή των συστημάτων μετάδοσης, ας δούμε και το πώς καθορίζεται η συμπεριφορά ενός αυτοκινήτου, ανάλογα με τη διάταξη που χρησιμοποιεί.

Τα προσθιοκίνητα είναι ευκολότερα στην οδήγηση και από τα πίσωκίνητα και από τα τετρακίνητα. Στην περίπτωση που το ζητούμενο είναι η απόλυτη ταχύτητα πρέπει ο



Εικόνα 22.

Η συμπεριφορά των προσθιοκίνητων χαρακτηρίζεται από ελεγχόμενη υποστρόψη.

οδηγός να εκμεταλλευτεί όλο το πλάτος του δρόμου. Στην είσοδο της στροφής πρέπει να φροντίσει να ξεκινήσει την τροχιά της στροφής όσο πιο ανοικτά γίνεται. Στη συνέχεια πρέπει να σημαδέψει την κορυφή της στροφής και, μόλις την περάσει, να αφήσει το αυτοκίνητο να “ξεθυμάνει” ανοίγοντας ξανά, όσο γίνεται, την τροχιά του, προς την έξοδο.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα προσθιοκίνητα στρίβουν ελαφρά υποστροφικά. Σε περίπτωση που η υποστρόψη τείνει να γίνει υπερβολική, ο έλεγχός της είναι εύκολος. Για να εξουδετερωθεί, αρκεί ο οδηγός να στρίψει παραπάνω το τιμόνι. Αν, παρά το επιπλέον στρίψιμο του τιμονιού, το αυτοκίνητο συνεχίσει να υποστρέφει υπερβολικά, ο οδηγός μπορεί να αφήσει το γκαζί, προκειμένου να μειώσει το σπινάρισμα των εμπρός τροχών, ώστε να αυξηθεί η πλευρική τους πρόσφυση. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν δύο ενδεχόμενα. Πρώτον, το άφημα του γκαζιού να προκαλέσει το κλείσιμο της τροχιάς του αυτοκινήτου και κατ’ επέκταση το σταμάτημα της υποστροφικής συμπεριφοράς. Δεύτερον, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες (ταχύτητα αυτοκινήτου, κατάσταση οδοστρώματος, στρίψιμο τιμονιού...) υπάρχει το ενδεχόμενο το άφημα του γκαζιού να οδηγήσει σε υπεστρόψη.

Ο έλεγχος της υπεστρόψης είναι και πάλι σχετικά εύκολος. Χρειάζεται ανάποδο τιμόνι, που να συνοδεύεται από πάτημα του γκαζιού, έτσι ώστε η δύναμη του κινητήρα να

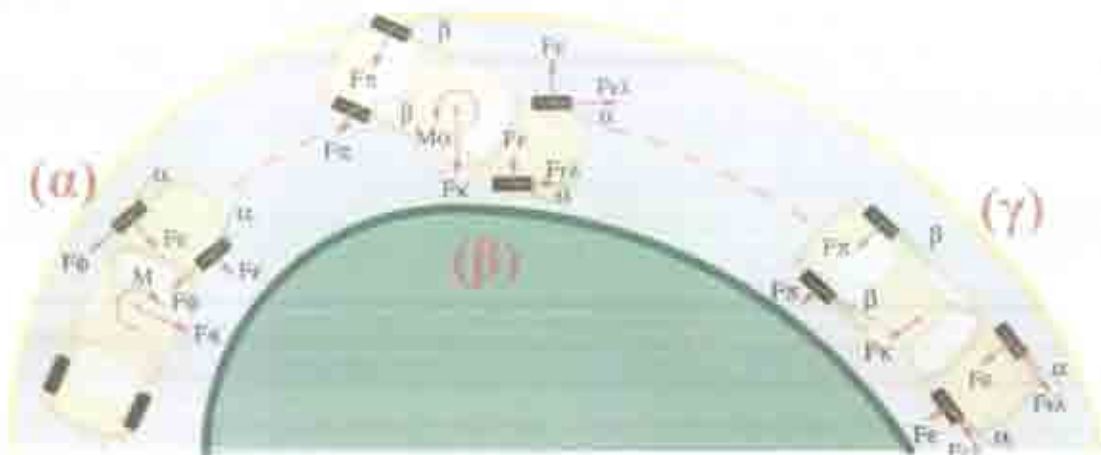
έλκει το πίσω μέρος και να το επαναφέρει στην τάξη. Η διαδικασία αυτή είναι ευκολότερη από ότι στο ποικίνητο, επειδή ο οδηγός δε χρειάζεται να "ζυγίζει" το πόσο θα πατήσει το γκάτζι, προκειμένου να ελέγξει την υπερστροφή. Επαυλόν, η υπερστροφή στο προσθιοκίνητο έρχεται με τη μείωση της ταχύτητας του αυτοκινήτου σε μια στροφή και όχι με την αύξησή της.

Για να οδηγηθεί επίτηδες υπερστροφικά, ένα μπροστοκίνητο, χρειάζεται γρήγορη είσοδο στη στροφή και άφημα του γκαζιού μέσα σε αυτή. Η υπερστροφή εμφανίζεται σε εντονότερο βαθμό, και στην περίπτωση που ο οδηγός πατήσει φρένο, την ώρα που το αυτοκίνητο στρίβει οριακά, ή έστω γρήγορα. Τότε, όμως, χρειάζεται πολλή προσοχή, επειδή τα φαινόμενα μεταφοράς βάρους είναι έντονα, η υπερστροφή έρχεται πιο απότομα και ο έλεγχος του αυτοκινήτου απαιτεί σβέλτες κινήσεις.

Υπάρχει πάντοτε το ενδεχόμενο οι όποιοι χειρισμοί του οδηγού να αποτύχουν και να προκληθεί έντονη υποστροφή. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να εγκαταλειφθεί το γκάτζι. Αν αυτό δε σταθεί αρκετό, η χρήση του χειρόφρενου μπορεί να βοηθήσει στο να αποφύγει ο οδηγός την έξοδο από το δρόμο. Τα προσθιοκίνητα χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή σε γλιστερό οδόστρωμα. Η μετάδοση της κίνησης στους εμπρός τροχούς προκαλεί έντονη υποστροφή, η οποία, σε αντίθεση με την υπερστροφή, δεν εκτονώνει μέρος της κινητικής ενέργειας του αυτοκινήτου σε περιστροφή, αλλά οδηγεί απ' ευθείας έξω από το δρόμο.

Αν ο οδηγός δείξει την απαραίτητη προσοχή, τα προσθιοκίνητα είναι ευκολότερα στους χειρισμούς τους και φιλικότερα στις αντιδράσεις τους, από κάθε άλλη διάταξη, τόσο πριν, όσο και μετά τα όρια της πρόσφυσης. Ο οδηγός μπορεί στρίβοντας το τιμόνι, να καθορίζει τη διεύθυνση κατά την οποία έλκεται το αυτοκίνητο. Αυτό, όμως, από μεγάλο πλεονέκτημα, μπορεί να μετατραπεί σε μεγάλο μειονέκτημα, αν δεν υπάρχει σύνεση στο πάτημα του γκαζιού, αφού έτσι χάνεται η πρόσφυση των εμπρός τροχών και ο οδηγός μένει χωρίς τιμόνι. Τα προσθιοκίνητα, σε απλά σβέλτους ρυθμούς, έχουν την τάση να αυτοδιόρθωνουν την υποστροφή, με το άφημα του γκαζιού. Η κίνηση αυτή γίνεται αυτόματα από τον οδηγό, σχεδόν υποσυνείδητα. Σε πραγματικά γρήγορους ρυθμούς, όμως, η αυτοδιόρθωση αυτή μπορεί να μετατραπεί σε υπερστροφή. Τότε, ο οδηγός πρέπει να είναι σε ετοιμότητα, ώστε να αντιδράσει κατάλληλα, για να μη βγει από το δρόμο.

Ας εξετάσουμε, τώρα, αναλυτικά την εμφάνιση των δυνάμεων σε ένα προσθιοκίνητο, σε τρεις καθοριστικές φάσεις μιας στροφής: Είσοδο (α), κορυφή (β) και έξοδο (γ).



Εικόνα 2.3.

Ανάλυση της συμπεριφοράς ενός προσθιοκινήτου, κατά τη διάρκεια μιας στροφής.

Στην είσοδο (α) της στροφής, ο οδηγός στρίβει το τιμόνι αφήνοντας παράλληλα, απότομα το γκάτζι. Οι εμπρός τροχοί αποκτούν γωνίες ολίσθησης α και αναπτύσσουν πλευρικές δυνάμεις F_c , ενώ και οι πίσω τροχοί αναπτύσσουν κάποιες μικρότερες γωνίες

ολίσθησης β και αναπτύσσουν (αντίστοιχα μικρότερες) πλευρικές δυνάμεις F_{β} . Οι F_{α} και F_{β} συνιστούν την κεντρομόλο δύναμη F_c , η οποία θέτει το αυτοκίνητο σε κυκλική τροχιά. Παράλληλα, όμως το άφημα του γκαζιού προκαλεί τις δυνάμεις F_{ω} , που φρενάρουν τους εμπρός τροχούς, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μεταφορά βάρους στον εμπρός άξονα. Αυτό έχει σα συνέπεια οι δυνάμεις F_{α} να γίνονται πολύ μεγαλύτερες από τις F_{β} , με αποτέλεσμα το εμπρός μέρος του αυτοκινήτου να έλκεται πιο δυνατά προς το εσωτερικό της στροφής, από ότι το πίσω. Έτσι, δημιουργείται ροπή M , που αρχίζει να περιστρέφει το αυτοκίνητο, κατά τον κατακόρυφο άξονα.

Μέσα στη στροφή (β), ο οδηγός στρίβει ανάποδα το τιμόνι και ξαναπατάει το γκαζί. Οι γωνίες ολίσθησης α των εμπρός τροχών αντιστρέφονται και οι πλευρικές δυνάμεις F_{α} , που αυτοί αναπτύσσουν, έχουν κατεύθυνση προς το εξωτερικό της στροφής. Οι πίσω τροχοί έχουν αποκτήσει, πλέον, μεγαλύτερες γωνίες ολίσθησης β και εξασκούν δυνάμεις F_{β} , που έλκουν το πίσω μέρος, προς το εσωτερικό της στροφής. Ο συνδυασμός των δυνάμεων F_{α} και F_{β} δημιουργούν ροπή M_{α} , αντίρροπη προς την αρχική ροπή M , εξουδετερώνοντας τη σχετική στροφορμή που έχει δημιουργηθεί. Το πάτημα του γκαζιού δημιουργεί τις δυνάμεις F_{ω} , που έλκουν το αυτοκίνητο προς τα εμπρός. Χάρη στις δυνάμεις F_{α} , εξακολουθεί να υφίσταται η κεντρομόλος δύναμη F_c , που διατηρεί το αυτοκίνητο σε κυκλική τροχιά.

Στην έξοδο της στροφής (γ), η υπερστροφή έχει διορθωθεί και η κυκλική τροχιά οδεύει προς το τέλος της, με τους εμπρός και τους πίσω τροχούς να εξακολουθούν να έχουν κάποιες μικρές γωνίες ολίσθησης α και β αντίστοιχα, παράγοντας, έτσι, τις πλευρικές δυνάμεις F_{α} και F_{β} , που συνιστούν την κεντρομόλο F_c , η οποία εξακολουθεί να διατηρεί το αυτοκίνητο σε ελαφρά κυκλική πορεία. Οι δυνάμεις F_{ω} , που δημιουργούνται καθώς η δύναμη του κινητήρα περιστρέφει τους εμπρός τροχούς, έλκουν προς τα εμπρός το αυτοκίνητο, επιταχύνοντάς το.

Τα πισωκίνητα είναι τα πιο δύσκολα από όλα, για γρήγορη οδήγηση. Ο οδηγός



Εικόνα 24:

Το πισωκίνητο, πέρα από το όριό της πρόσωσης, εκδηλώνουν υπερστροφικές τάσεις.

πρέπει να έχει εξελιγμένη οδηγική τεχνική, για να μπορεί να κινηθεί γρήγορα και αποτελεσματικά. Χρειάζεται σωστή τοποθέτηση πριν τη στροφή. Η σωστή τοποθέτηση βοηθά στην εξάλειψη της αρχικής τάσης υποστροφής, η οποία, αν, από απλή τάση, εξελιχθεί σε πλήρη υποστροφή, θα οδηγήσει σε υπερβολική και χρονοβόρα ολίσθηση του εμπρός μέρους, ή, ακόμα χειρότερα, σε έξοδο από το δρόμο.

Για να αποφευχθεί η υποστροφή, ο οδηγός πρέπει να ανοίξει, όσο γίνεται, την τροχιά του, στην είσοδο της στροφής. Τη στιγμή που το αυτοκίνητο μπαίνει στη στροφή, πρέπει να στρίψει αποφασιστικά το τιμόνι. Έτσι, το πίσω μέρος θα αποκτήσει μεγαλύτερο βαθμό ολίσθησης και το αυτοκίνητο θα στρίψει, χωρίς τον κίνδυνο επερχόμενης υποστροφής.

Σε αρκετές περιπτώσεις, ένα πισωκίνητο αυτοκίνητο μπορεί να στρίψει με τους εμπρός τροχούς του επιηγηραμισμένους, ακόμη και σε κλειστές στροφές. Αυτό επιτυγχάνεται από πολύ έμπειρους οδηγούς που γνωρίζουν πόσο αποφασιστικοί πρέπει να είναι με το τιμόνι, κατά την κρίσιμη φάση της εισόδου σε μια στροφή. Βέβαια, αυτή η γνώση είναι προϊόν εξάσκησης και εμπειρίας. Στην περίπτωση που ο οδηγός στρίψει πιο έντονα το τιμόνι, απ' όσο πρέπει, στην είσοδο, το πίσω μέρος θα αποκτήσει μεγαλύτερο βαθμό ολίσθησης από τον επιθυμητό και το αυτοκίνητο θα αρχίσει να υπερστρέφει.

Η υπερστροφή προσφέρει θέαμα στους εξωτερικούς παρατηρητές και διασκεδάση στον οδηγό. Τα πισωκίνητα, μπορεί να είναι δύσκολο να οδηγηθούν γρήγορα, στον αντίποδα, όμως, είναι πολύ εύκολο να οδηγηθούν θεαματικά. Όπως είπαμε και παραπάνω, αρκεί εντονότερο στρίψιμο του τιμονιού κατά τη φάση της τοποθέτησης και το αυτοκίνητο εκδηλώνει υπερστροφικές τάσεις. Απλό εκεί και πέρα, ο οδηγός πρέπει να προσέξει για να μη μετατραπεί η υπερστροφή σε τετ-α-κε, ή, ακόμα χειρότερα, σε έξοδο από το δρόμο. Προκειμένου να αποφύγει κάτι τέτοιο θα πρέπει να αντιδράσει γρήγορα με ανάποδο τιμόνι. Το πότε ακριβώς πρέπει να αρχίσει να στρίψει ανάποδα το τιμόνι, δεν μπορεί να καθοριστεί εύκολα.

Αν ο οδηγός θέλει να διασκεδάσει με ένα πισωκίνητο, το καλύτερο που έχει να κάνει είναι να μην περιμένει την υπερστροφή να εκδηλωθεί από μόνη της, αλλά να την προκλήσει ο ίδιος. Αυτό θα τον βοηθήσει να μην αφηνιάσει. Μία "κοφτή" τιμονιά στην είσοδο θα αποσταθεροποιήσει το πίσω μέρος. Στη συνέχεια χρειάζεται ανάποδο τιμόνι, τόσο όσο χρειάζεται, για να σταματήσει το αμάξωμα να περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο του άξονα. Σημαντικό ρόλο, στην εμφάνιση και εξέλιξη όλων αυτών των φαινομένων, παίζει και το πάτημα του γκαζιού. Μέχρι το σημείο της κοφτής τιμονιάς, ο οδηγός δεν πατά το γκάζι. Φτάνει στη στροφή, φρενάρει όσο χρειάζεται στρίβει κοφτά το τιμόνι και, ταυτόχρονα, πατά το γκάζι και το κρατά πατημένο, μέχρι την επόμενη ευθεία. Αυτό διατηρεί το αυτοκίνητο στην επιθυμητή πορεία και αποτρέπει το ενδεχόμενο ενός τετ-α-κε. Αν, όμως, το οδόστρωμα είναι ολισθηρό, ο οδηγός πρέπει να "ζυγίζει" το πόσο πατάει το γκάζι. Τυχόν παραπάνω δύναμη στους πίσω τροχούς μπορεί να προκαλέσει υπερβολικό σπινάρισμα, με αποτέλεσμα την παντελή απουσία πρόσφυσης και την εκδήλωση τετ-α-κε.

Αν τα πράγματα οδεύουν προς τα εκεί, το μόνο που έχει να κάνει ο οδηγός είναι να πατήσει το φρένο. Αυτό πρέπει να γίνει μόνο όταν έχουν εξαντληθεί όλα τα περιθώρια διορθωτικών χειρισμών (τέρμα ανάποδο τιμόνι, διαδοχικά πατήματα - αφήματα του γκαζιού) και παρ' όλα αυτά δεν είναι δυνατό να ανακτηθεί ο έλεγχος. Έτσι, όταν το αυτοκίνητο έχει έρθει σε φάση που είναι υπεράνω διορθώσης, ο οδηγός πατά το φρένο, προκειμένου να μειώσει, όσο αυτό είναι δυνατό, την ταχύτητα του αυτοκινήτου, ώστε να μειώσει τις πιθανότητες να βγει από το δρόμο, ή, αν η έξοδος από το δρόμο δείχνει σίγουρη, να μειώσει την ταχύτητα, με την οποία θα βγει.

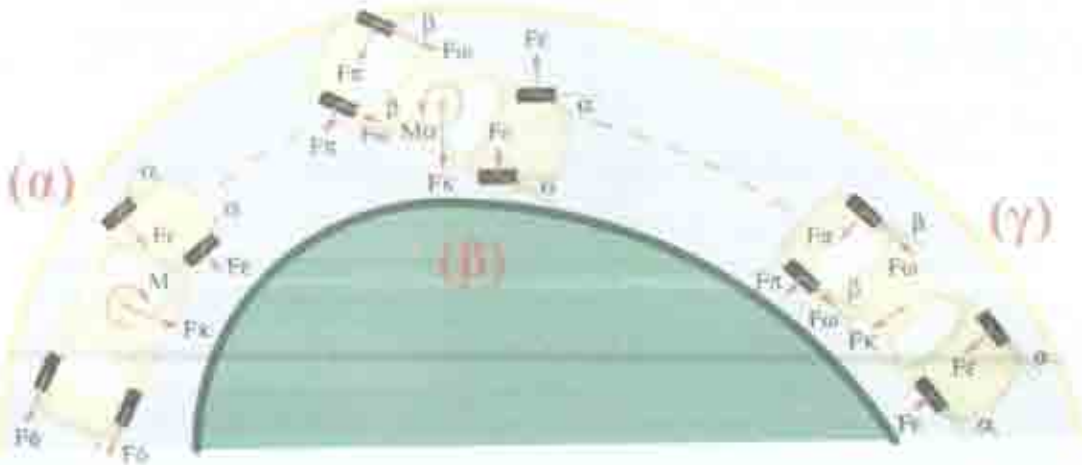
Εκτός από το τετ-α-κε, υπάρχει το ενδεχόμενο να εμφανιστεί και υποστροφή. Για να διορθωθεί η εν εξέλιξη υποστροφή, ο οδηγός πρέπει στιγμιαία να τραβήξει το χειρόφρενο. Αυτό θα προκαλέσει μιλοκάρισμα των πίσω τροχών, "σπάζοντας" την πρόσφυση τους. Το αυτοκίνητο θα αρχίσει να περιστρέφεται, κατά τον κατακόρυφο άξονά του, εξουδετερώνοντας, έτσι, την υποστροφή. Εκείνη τη στιγμή ο οδηγός πρέπει να είναι γρήγορος στις αντιδράσεις του και να στρίψει ανάποδα το τιμόνι, κρατώντας παράλληλα πατημένο το γκάζι. Είναι σημαντικό το ανάποδο στρίψιμο του τιμονιού να γίνει γρήγορα. Αυτό γιατί απ' ενός η μετάβαση από την υποστροφή στην υπερστροφή γίνεται απότομα και απ' ετέρου γιατί το τιμόνι είναι αρκετά απομακρυσμένο, από τη θέση που πρέπει να βρεθεί, καθώς ο οδηγός το έχει στρίψει πολύ, κατά τη φορά της στροφής, προσπαθώντας να καταπολεμήσει την υποστροφή.

Ας δούμε αναλυτικά τη συμπεριφορά ενός πισωκίνητου αυτοκινήτου, κατά τη διάρκεια μιας στροφής. Και πάλι θα εξεταστούν οι τρεις κυριότερες φάσεις που είναι η είσοδος (α), η κορυφή (β) και η έξοδος (γ) της στροφής.

Στην είσοδο της στροφής (α), ο οδηγός στρίβει το τιμόνι, οι εμπρός τροχοί αποκτούν γωνίες ολίσθησης α και αναπτύσσονται πλευρικές δυνάμεις πρόσφυσης F_s . Αμέσως μετά, κατεβάζει ταχύτητα και αφήνει απότομα το συμπλέκτη. Αυτό δημιουργεί τις δυνάμεις F_+ , που φρενάρουν τους πίσω τροχούς, με αποτέλεσμα να μειώνεται η πλευρική τους πρόσφυση.

Οι δυνάμεις F_e δημιουργούν ροπή M , που περιστρέφει το αμάξιμα, κατά τον κατακόρυφο άξονα που περνά από το κέντρο βάρους του. Οι δυνάμεις F_e , σε συνδυασμό με τις πλευρικές δυνάμεις F_x των πίσω τροχών, που έχουν αποκτήσει κάποιες μικρές γωνίες ολίσθησης β , συνιστούν την κεντρομόλο δύναμη F_c , η οποία θέτει το αυτοκίνητο σε κυκλική τροχιά.

Μέσα στη στροφή (β), ο οδηγός πατά το γκαζί και παράλληλα στρίβει ανάποδα το τιμόνι. Οι εμπρός τροχοί αποκτούν γωνίες ολίσθησης α , προς το εξωτερικό, πλέον, της



Εικόνα 25.

Ανάλυση της συμπεριφοράς ενός πασοκινήτου, κατά τη διάρκεια μιας στροφής.

στροφής, με αποτέλεσμα να ασκούν δυνάμεις F_e , που έλκουν το εμπρός μέρος, προς το εξωτερικό της στροφής. Παράλληλα, οι δυνάμεις αυτές δημιουργούν ροπή M_a , η οποία αντισταθμίζει τη στροφορμή, που είχε αναπτυχθεί στη φάση της εισόδου. Οι πίσω τροχοί έχουν αποκτήσει μεγάλες γωνίες ολίσθησης β και αναπτύσσουν πλευρικές δυνάμεις F_x (μεγαλύτερες από ότι ήταν στη φάση της εισόδου), προς το εσωτερικό της στροφής. Επιπλέον, το πάτημα του γκαζιού παράγει τις δυνάμεις F_e , που σηκώνουν το αυτοκίνητο προς τα εμπρός και συμβάλλουν στη δημιουργία της κεντρομόλου δύναμης F_c , με την αντίστοιχη συνιστώσα τους.

Στην έξοδο της στροφής (γ), το αυτοκίνητο τείνει να ολοκληρώσει την κυκλική του πορεία, έχοντας διορθώσει την υπερστροφή. Οι εμπρός και οι πίσω τροχοί εξακολουθούν να έχουν κάποιες μικρές γωνίες ολίσθησης α και β αντίστοιχα. Έτσι, παράγουν πλευρικές δυνάμεις F_x και F_y , που συνθέτουν την κεντρομόλο F_c , η οποία συνεχίζει να ασκείται στο κέντρο βάρους του αυτοκινήτου. Οι δυνάμεις ώσης F_e , που δημιουργούνται καθώς η δύναμη του κινητήρα περιστρέφει τους πίσω τροχούς, επιταχύνουν το αυτοκίνητο προς τα εμπρός.

Το μεγάλο πλεονέκτημα των τετρακίνητων αυτοκινήτων είναι τα μεγάλα αποθέματα ελκτικής και πλευρικής πρόσφυσης, που διαθέτουν. Ακόμα και ένας όχι ιδιαίτερα έμπειρος οδηγός θα μπορέσει να κινηθεί από γρήγορα, έως και πολύ γρήγορα, χωρίς να έχει βαθύτερες οδηγικές γνώσεις. Το μόνο που έχει να κάνει είναι εκμεταλλευτεί τα πολύ μεγαλύτερα περιθώρια πρόσφυσης, σε σχέση με τα δίκινητα οχήματα.

Σε γενικές γραμμές, οι χειρισμοί που απαιτούνται είναι απλοί και εύκολοι. Ο οδηγός χρησιμοποιεί όλο το πλάτος του δρόμου, σημαδεύει την κορυφή της στροφής, πατάει το γκαζί και διαγράφει εύκολα και γρήγορα οποιαδήποτε καμπή. Η περίσσεια πρόσφυσης του τετρακίνητου κάνει τον οδηγό του να νιώθει πιο σίγουρος. Ακόμα και στη γρήγορη οδήγηση, η εμφάνιση υποστροφής ή υπερστροφής είναι σπάνιο και περιστασιακό φαινόμενο. Η απουσία ολίσθησης του εμπρός ή του πίσω, μέρους του αυτοκινήτου κάνει τη ζωή του οδηγού πιο εύκολη. Το μόνο που χρειάζεται να κάνει είναι να ορίζει τη θέση του αυτοκινήτου πάνω στο δρόμο, με μεγαλύτερη ευκολία, σε σχέση με τα δίκινητα αυτοκίνητα.

Δίνουν την αίσθηση ότι κινούνται πάνω σε ράγες τρένου και, ουσιαστικά, το μόνο χρειάζονται, για να κινηθούν γρήγορα, είναι λίγη προσοχή στην ταχύτητα εισόδου. Αν αυτή είναι σωστή και ο οδηγός δεν υπερεκτιμήσει τις δυνατότητες του αυτοκινήτου, όλα εξελίσσονται ομαλά, χωρίς αντιδράσεις που θα χρειαστούν διορθωτικούς χειρισμούς. Από την κορυφή της στροφής και μετά, ο οδηγός μπορεί να πατήσει το γκάζι και η πολύ καλή ελκτική πρόσφυση θα τον σπρώξει προς την έξοδο. Αν, όμως, η ταχύτητα εισόδου είναι μεγαλύτερη από όση θα έπρεπε, τα (πολύ μεγάλα) όρια πρόσφυσης του αυτοκινήτου εξαντλούνται.

Εάν το πίσω μέρος χάσει πρώτο την πρόσφυσή του, εκδηλώνεται υπερστροφή. Ακόμα και τα τετρακίνητα μπορούν να κινηθούν θεαματικά και διασκεδαστικά, αλλά αυτό



Εικόνα 26.

Τα τετρακίνητα διαθέτουν τα μεγαλύτερα περιθώρια πρόσφυσης, υπό όλες τις συνθήκες.

είναι τόσο δύσκολο, όσο εύκολο είναι να κινηθούν γρήγορα. Αυτό συμβαίνει γιατί, η εξάντληση των ορίων της πρόσφυσης, συμβαίνει σε πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες, με αποτέλεσμα τα φαινόμενα να εξελίσσονται πολύ πιο γρήγορα και να απαιτούν αστραπιαίες αντιδράσεις από τον οδηγό.

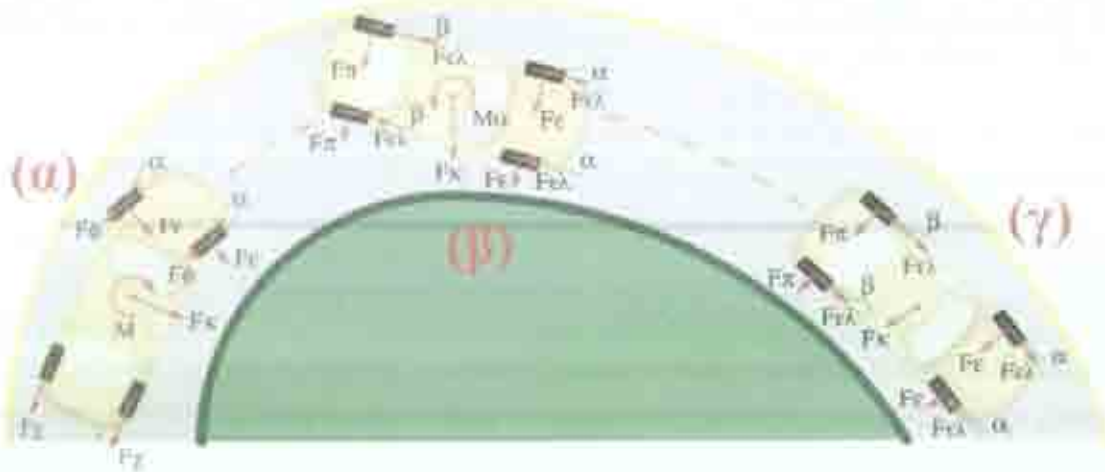
Δεν είναι υπερβολή να πούμε ότι τα τετρακίνητα μπορούν κινηθούν θεαματικά μόνο στα χέρια πολύ έμπειρων οδηγών. Και αυτό γιατί δεν υπάρχει κάποιος γενικός κανόνας, για το πως μπορούν να κινηθούν με αυτό τον τρόπο, καθώς η συμπεριφορά τους εξαρτάται από το είδος και τις ρυθμίσεις του συστήματος τετρακίνησης τους. Ο μόνος τρόπος να προσφέρει θεαμα ένα τετρακίνητο είναι να στρίψει με μεγαλύτερη, από την ενδοδειγμένη, ταχύτητα και από εκτί και πέρα να ελεγχθούν οι όποιες τάσεις υπερστροφής. Αυτό είναι κάτι που μόνο πολύ έμπειροι οδηγοί μπορούν να κάνουν, αφού το αυτοκίνητο, μετά τα όρια της πρόσφυσης, γίνεται νευρικό και απρόβλεπτο. Όταν χαθεί η πρόσφυση, ο οδηγός δεν μπορεί να γνωρίζει από πριν ποιο μέρος θα αρχίσει να γλιστρά πρώτο, το εμπρός, ή το πίσω. Επιπρόσθετα, τα τετρακίνητα εναλλάσσουν ευκολότερα την υποστροφή με την υπερστροφή (και το αντίστροφο), επομένως ο οδηγός πρέπει να είναι σε εγρήγορση, προκειμένου να μπορέσει να ελέγξει τις τάσεις φυγής είτε του εμπρός, είτε του πίσω άξονα.

Στην περίπτωση που εμφανιστεί έντονη υποστροφή, η μόνη σωτηρία μπορεί να έρθει από το τράβηγμα του χειρόφρενου. Έτσι, η υποστροφή μετατρέπεται σε υπερστροφή. Πιο σπάνια ενδέχεται να εμφανιστούν και υπερστροφικές τάσεις μέσα στη στροφή. Για να τις διορθώσει ο οδηγός, πρέπει να κάνει ανάποδο τιμόνι και να πατήσει γκάζι. Στη μάχη του, για την καταπολέμηση της υπερστροφής, ο οδηγός έχει σύμμαχό του την πολύ καλή ελκτική πρόσφυση, που βκτηθά στην επάνοδο του αυτοκινήτου στην επιθυμητή πορεία.

Ο οδηγός δεν πρέπει να παρασυρθεί και να νομίσει ότι ο έλεγχος ενός τετρακινήτου είναι εύκολη υπόθεση. Εκτός από το ενδεχόμενο να μετατραπεί η υποστροφή σε

υπερστροφή, υπάρχει πάντα ο κίνδυνος λόγω της καλής ελκτικής πρόσφυσης, ο οδηγός να υπερδιορθώσει την υπερστροφή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα αντί το αυτοκίνητο να επανέλθει στην ευθεία και να υπερστρέψει προς την αντίθετη μεριά. Κάτι τέτοιο είναι πολύ επικίνδυνο, γιατί έτσι μπορεί το πίσω μέρος του αυτοκινήτου να αρχίσει να ταλαντεύεται δεξιά-αριστερά, με αποτέλεσμα την απώλεια ελέγχου και την έξοδο από το δρόμο. Γενικά, τα τετρακίνητα παρέχουν κορυφαία επίπεδα πρόσφυσης και πολύ δύσκολα τη χάνουν. Αλλά όταν τη χάσουν είναι και πολύ δύσκολο να ελεγχθούν.

Ας δούμε αναλυτικά και τη συμπεριφορά ενός τετρακίνητου αυτοκινήτου κατά τη διάρκεια μιας στρώφης, εξετάζοντας και πάλι τις τρεις κρίσιμότερες καταστάσεις: Την είσοδο (α), την κορυφή (β) και την έξοδο (γ) της στρώφης.



Εικόνα 27.

Ανάλυση της συμπεριφοράς ενός τετρακίνητου, κατά τη διάρκεια μιας στρώφης.

Στην είσοδο της στρώφης (α), ο οδηγός αφήνει το γκάζι, στρίβει το τιμόνι και σηκώνει το χειρόφρενο. Οι εμπρός τροχοί παράγουν πλευρικές δυνάμεις F_y , χάρη στις γωνίες ολίσθησης α που αποκτούν, και δημιουργούν την κεντρομόλο δύναμη F_c , η οποία βάζει το αυτοκίνητο σε κυκλική τροχιά. Οι πίσω τροχοί μπλοκάρουν, καθώς αναπτύσσονται σε αυτούς οι δυνάμεις F_x , από το τράβηγμα του χειρόφρενου. Το μπλοκάρισμα των πίσω τροχών, σε συνδυασμό με τις δυνάμεις F_c , δημιουργεί τη ροπή M , η οποία αρχίζει να περιστρέφει το αυτοκίνητο, κατά τον κατακόρυφο άξονα.

Μέσα στη στρώφη (β), ο οδηγός έχει φέρει το τιμόνι στην ευθεία θέση και ξαναπατά το γκάζι. Οι εμπρός και οι πίσω τροχοί έχουν αποκτήσει ίδιες γωνίες ολίσθησης α και β ($\alpha = \beta$) και το αυτοκίνητο στρίβει ουδέτερα. Χάρη σε αυτές τις γωνίες, οι εμπρός και οι πίσω τροχοί παράγουν πλευρικές δυνάμεις F_y και F_z , οι οποίες σπινιστούν την κεντρομόλο δύναμη F_c , που διατηρεί το αυτοκίνητο στην κυκλική τροχιά της στρώφης. Το πάτημα του γκαζιού προκαλεί τη δημιουργία των δυνάμεων $F_{x\Delta}$, οι οποίες επιταχύνουν το αυτοκίνητο και δημιουργούν μεταφορά βάρους στον πίσω άξονα, χάρη στην οποία η πρόσφυση των πίσω τροχών είναι μεγαλύτερη από αυτή των εμπρός. Έτσι, δημιουργείται η ροπή M_{Δ} , η οποία εκμηδενίζει την αρχική στρωφορμή M και σταματά την περιστροφική κίνηση του αυτοκινήτου, γύρω από τον κατακόρυφο κεντροβαρικό άξονά του.

Στην έξοδο της στρώφης (γ), ο οδηγός μένει στο γκάζι και χάρη στη δύναμη του κινητήρα εξακολουθούν να ασκούνται δυνάμεις $F_{x\Delta}$, που τραβούν προς τα εμπρός το αυτοκίνητο. Οι δυνάμεις αυτές έχουν προκαλέσει μεταφορά βάρους και έτσι οι εμπρός τροχοί έχουν μικρότερη πρόσφυση, από τους πίσω, με αποτέλεσμα το αυτοκίνητο να έχει γίνει ελαφρά υποστρωφικό. Έτσι, ο οδηγός έχει ελαφρά στριμμένο το τιμόνι, για να ολοκληρώσει τη στρώφη. Οι τροχοί, εμπρός και πίσω, αναπτύσσουν πλευρικές δυνάμεις F_y και F_z , αντίστοιχα, χάρη στις μικρές γωνίες ολίσθησης, που ακόμα διατηρούν. Οι πλευρικές

αυτές δυνάμεις συνθέτουν την κεντρομόλο F_c , που κρατά σε κυκλική τροχιά το αυτοκίνητο, μέχρι το τέλος της στροφής.

Από τα παραπάνω παρατηρούμε ότι ο τομέας της μετάδοσης είναι θεμελιώδης, αφού καθορίζει, σε μεγάλο βαθμό, το "χαρακτήρα" ενός αυτοκινήτου. Η φιλικότητα και η προοδευτικότητα των αντιδράσεων, που προσδίδει η μπροστινή κίνηση την έχει κάνει πολύ δημοφιλή σε όλους τους κατασκευαστές. Η συντριπτική πλειοψηφία των αυτοκινήτων που ανήκουν στη μικρή, μεσαία και μεγαλομεσαία κατηγορία, έχουν μπροστινή κίνηση, κάτι που εκτός των άλλων, οφείλεται και στο μικρότερο κόστος κατασκευής και συναρμολόγησης του συστήματος.



Εικόνα 28.

Alfa 156 GTA. Το ισχυρότερο προσθιοκίνητο αυτοκίνητο στον κόσμο.

προσθιοκίνητα δεν μπορούν να μεταφέρουν μεγάλες υποδυνάμεις, στο δρόμο. Έχει εκφραστεί η άποψη ότι το όριο της υποδυναμίας που μπορεί να μεταφερθεί ασφαλώς στο δρόμο από ένα προσθιοκίνητο, είναι οι 200 Hp. Σε γενικές γραμμές αυτό τηρείται από όλους τους κατασκευαστές, με εξαίρεση την Alfa Romeo, όπου στην έκδοση GTA των 156 και 147 μπόρεσε να περάσει 250 Hp στο δρόμο, από τους δύο μόνο μπροστινούς τροχούς, χωρίς κανένα πρόβλημα! Τα προσθιοκίνητα παρέχουν μεγαλύτερη σταθερότητα στις υψηλές ταχύτητες, σε σχέση με τα πίσωκίνητα, δεδομένου ότι το αμάξωμα έλκεται και δεν ωθείται. Η μετάδοση της κίνησης στους εμπρός τροχούς δίνει τη δυνατότητα για διατήρηση του βάρους σε σχετικά χαμηλά επίπεδα, αφού δεν υπάρχει άξονας μετάδοσης, κατά μήκος του αυτοκινήτου.

Όταν υπάρχει η ανάγκη μεταφοράς μεγάλης υποδυναμίας, τότε η κίνηση μεταδίδεται



Εικόνα 29.

Η BMW είναι μια εταιρεία που περιμένει πιατή στην πίσω κίνηση. Έχει η 645 Ci.

στον πίσω τροχό. Η ύπαρξη της κίνησης στον πίσω άξονα επιτρέπει στους κατασκευαστές να επιτύχουν πιο εύκολα την ιδανική κατανομή βάρους 50-50, μεταξύ του εμπρός και του πίσω άξονα. Σε αυτό βοηθάει τόσο η θέση του διαφορικού (στον πίσω άξονα), όσο και η τοποθέτηση του κιβωτίου είτε στη συνέχεια του κινητήρα, είτε, ακόμα, και στο πίσω μέρος του άξονα μετάδοσης, πριν το

διαφορικό. Σημαντικό ρόλο παίζει και η τοποθέτηση του κινητήρα, κατά το διαμήκη άξονα, στην περίπτωση που αυτός είναι τοποθετημένος μπροστά, κάτι που βοηθάει ακόμα περισσότερο στο σωστό "ζύγισμα" των μαζών.

Τα πίσωκίνητα, κατά την επιτάχυνση, περνούν καλύτερα τη δύναμη του κινητήρα στο δρόμο. Αυτό οφείλεται στο ότι, κατά την επιτάχυνση, υπάρχει μεταφορά βάρους στον

Τα προσθιοκίνητα είναι τις περισσότερες φορές μπροστόβαρα. Αυτό, σε συνδυασμό με το ότι οι κινητήριои τροχοί είναι οι μπροστινοί, συνεπάγεται ότι η τυπική συμπεριφορά ενός προσθιοκίνητου αυτοκινήτου, στις στροφές, είναι η υποστροφή. Δεδομένης της κατασκευαστικής τους φιλοσοφίας, τα προσθιοκίνητα επηρεάζονται περισσότερο από το φαινόμενο της μεταφοράς βάρους, στο άφημα του γκαζιού, ή στο φρενάρισμα. Επίσης, κατά την επιτάχυνση σε ολισθηρές επιφάνειες, οι όποιες διαφορές πρόσφυσης, μεταξύ των κινητήριων τροχών, προκαλούν αντιδράσεις στο σύστημα διεύθυνσης, γεγονός που αλλοιώνει την αίσθηση του τιμονιού. Για το λόγο αυτό, τα

στον πίσω τροχό. Η ύπαρξη της κίνησης στον πίσω άξονα επιτρέπει στους κατασκευαστές να επιτύχουν πιο εύκολα την ιδανική κατανομή βάρους 50-50, μεταξύ του εμπρός και του πίσω άξονα. Σε αυτό βοηθάει τόσο η θέση του διαφορικού (στον πίσω άξονα), όσο και η τοποθέτηση του κιβωτίου είτε στη συνέχεια του κινητήρα, είτε, ακόμα, και στο πίσω μέρος του άξονα μετάδοσης, πριν το

πίσω άξονα, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η κάθετη δύναμη, που πιέζει τους κινητήριους πίσω τροχούς στο δρόμο, αυξάνοντας την πρόσφυσή τους. Εμφανίζουν την τάση να υπερετροφούν, λόγω του ότι οι πίσω τροχοί διαχειρίζονται μεγαλύτερα ποσοστά πρόσφυσης, αφού, εκτός της πλευρικής, πρέπει να παράγουν και διαμήκη (ελκτική) δύναμη, με αποτέλεσμα να χάνουν την πρόσφυσή τους πιο εύκολα από τους εμπρός. Κατά συνέπεια, τα πισωκίνητα να είναι πιο υπερετροφικά, τόσο σε σχέση με τα μηχανοκίνητα, όσο και σε σχέση με τα τετρακίνητα. Τέλος, σε αντίθεση με τις άλλες δύο φιλοσοφίες μετάδοσης, τα πισωκίνητα έχουν συστήματα διεύθυνσης πλήρως απαλλαγμένα από αντιδράσεις του συστήματος μετάδοσης, μιας και οι εμπρός τροχοί χρησιμεύουν μόνο για να στρίβουν και να σταματούν το αυτοκίνητο.

Το μεγάλο πλεονέκτημα των τετρακίνητων, έναντι των δικίνητων, είναι η αυξημένη τους ελκτική και πλευρική πρόσφυση. Η μετάδοση της κίνησης σε όλους τους τροχούς



Εικόνα 30.

Η Audi έχει πισώσει το όνομά της με την τετρακίνηση. Εδώ το S4.

ουσιαστικά διπλασιάζει την επιφάνεια του ελαστικού, μέσω της οποίας περνά η ισχύς του κινητήρα στο δρόμο, με αποτέλεσμα το σπινάρισμα κατά την επιτάχυνση να είναι ένα φαινόμενο πρακτικά άγνωστο.

Επειδή οι τροχοί δε σπινάρουν, αφήνουν και μεγαλύτερα περιθώρια, για την ανάπτυξη πλευρικής πρόσφυσης. Αυτό συνεπάγεται ότι τα όρια στις στροφές είναι υψηλότερα, από ένα αντίστοιχο δικίνητο αυτοκίνητο. Είναι, όμως, δυσκολότερα στον έλεγχό τους όταν χαθεί η πρόσφυση, κυρίως γιατί αυτό συμβαίνει σε υψηλότερες ταχύτητες. Ουσιαστικά είναι πιο απρόβλεπτα, καθώς το ποιος άξονας θα

χάσει πρώτος την πρόσφυσή του, αν ο οδηγός πατήσει περισσότερο το γκαζί στρίβοντας οριακά, εξαρτάται από τις εκάστοτε συνθήκες της δυναμικής κατάστασης του αυτοκινήτου.

Τα τετρακίνητα μειονεκτούν στον τομέα του βάρους, γιατί το σύστημα μετάδοσής τους είναι πιο πολύπλοκο κατασκευαστικά, έχοντας περισσότερα μεταλλικά μέρη. Παράλληλα, τα περισσότερα κινούμενα μέρη και η πολυπλοκότητα της κατασκευής συνεπάγονται αυξημένες τριβές και μεγαλύτερο κόστος. Σε αντίθεση με τα πισωκίνητα, τα τετρακίνητα μπορούν να έχουν τον κινητήρα τοποθετημένο είτε εγκάρσια, είτε κατά τη διαμήκη άξονα, όπως ακριβώς τα προσθιοκίνητα.

► 7.4 Στην πράξη.



Εικόνα 31.

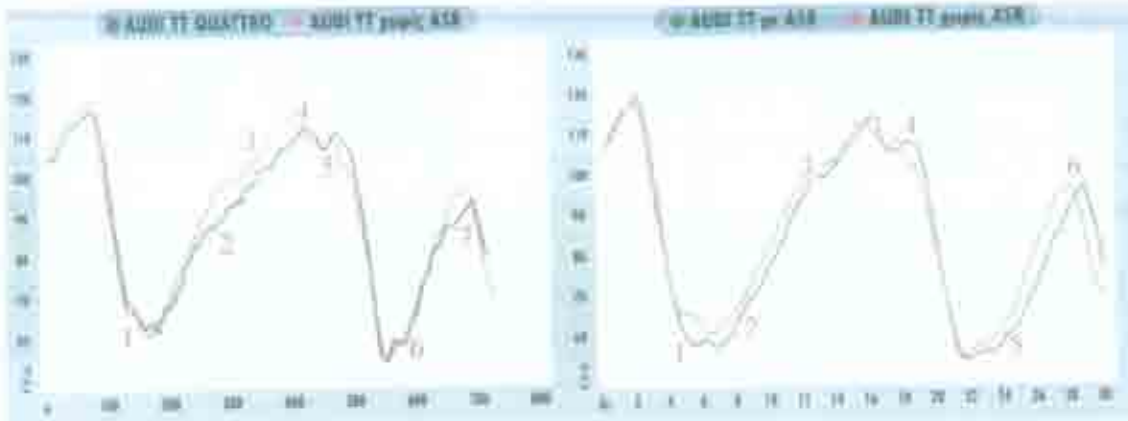
Τα μηχανοκίνητα FF είναι προτιθησικότερα από τα άξονα έναντι ηλεκτρικίνητα.

Αφού εξετάσαμε από θεωρητικής πλευράς τις διάφορες διατάξεις μετάδοσης, είναι καιρός να δούμε το αν και το πώς επαληθεύονται οι θεωρητικές αναλύσεις στην πράξη. Για να το κάνουμε αυτό έχουμε επιλέξει τέσσερα αντιπροσωπευτικά συγκριτικά tests, που

καλύπτουν όλο το φάσμα των διατάξεων.

Το πρώτο συγκριτικό είναι ανάμεσα στο προσθιοκίνητο Audi TT και την τετρακίνητη έκδοση του ίδιου αυτοκινήτου, που είναι εφοδιασμένη με τον ίδιο κινητήρα. Τα δύο αυτοκίνητα είναι πανομοιότυπα. Στο μόνο που διαφέρουν είναι στην ύπαρξη της τετρακίνησης χάρη στην οποία είναι διαφορετική και η πίσω ανάρτηση. Αυτό σημαίνει ότι το απλό TT είναι κατά 115 kg ελαφρύτερο από το τετρακίνητο TT Quattro. Παράλληλα, ο ημιάκαμπτος άξονας του απλού μοντέλου, έχει δώσει τη θέση του σε μία διάταξη αποτελούμενη από ημιστερούντες βραχίονες, εγκάρσιους άνω συνδέσμους και αντιστρεπτική ράβδο, με ελαφρά διαφοροποιημένη γεωμετρία. Έτσι, το τετρακίνητο έχει ελαφρά μικρότερη γωνία αρνητικού camber και ελαφρά μικρότερη γωνία σύγκλισης, στην πίσω ανάρτηση. Στην μπροστινή ανάρτηση, τόσο η αρχιτεκτονική, όσο και οι ρυθμίσεις είναι ακριβώς ίδιες. Στις επιταχύνσεις τόσο από στάση, όσο και εν κινήσει υπάρχει μια μικρή υπεροχή υπέρ του προσθιοκίνητου μοντέλου, που οφείλεται αφ' ενός στο μικρότερο βάρος και αφ' ετέρου στις μικρότερες απώλειες ενέργειας του συστήματος μετάδοσής του. Οι διαφορές πάντως είναι μικρές και δε γίνονται αισθητές στην πράξη, παρά μόνο από τα ηλεκτρονικά όργανα μετρήσεων.

Ας δούμε, όμως, πως συμπεριφέρονται τα δύο αυτοκίνητα σε ένα κομμάτι της πίστας



Εικόνα 52.

Τα διαγράμματα 1 και 2 αφορούν στεγνό οδόστρωμα. Το πρώτο συγκρίνει το TT Quattro με το απλό TT, έχοντας το σύστημα έλεγχου της πρόσφυσης ASR απενεργοποιημένο, ενώ το δεύτερο αφορά το απλό TT και δείχνει τη διαφορά με και χωρίς το ASR σε ελατήρισμα.

των Μεγάρων σε στεγνό και σε βρεγμένο οδόστρωμα. Στα διαγράμματα απεικονίζεται η καταγραφή της ταχύτητας των δύο αυτοκινήτων, σε ένα χαρακτηριστικό κομμάτι της πίστας



Εικόνα 53.

Σχεδιάγραμμα της πίστας των Μεγάρων. Με κόκκινο χρώμα φαίνεται η διαδρομή στην οποία τομήθηκαν οι μετρήσεις.

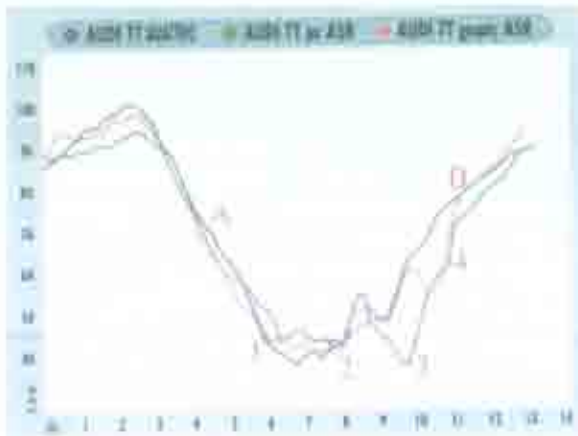
των Μεγάρων. Συγκεκριμένα, αφορά τον τομέα από τη γραμμή της αφετηρίας, μέχρι και αμέσως πριν την αρχή της μεγάλης ευθείας.

Στο πρώτο διάγραμμα έχουμε τη σύγκριση του τετρακίνητου TT Quattro (η ταχύτητά του φαίνεται με μπλε χρώμα) με το απλό προσθιοκίνητο TT (όπου η ταχύτητά του αναπαριστάται με κόκκινο χρώμα). Σε αυτό το σημείο να πούμε ότι το απλό TT έχει στο στάνταρ εξοπλισμό του σύστημα έλεγχου της πρόσφυσης, με την επωνυμία ASR. Το σύστημα αυτό έχει τη δυνατότητα απενεργοποίησης, μέσω ενός διακόπτη στο ταμπλό. Στο πρώτο, λοιπόν, διάγραμμα το ASR είναι απενεργοποιημένο.

Παρατηρούμε ότι στην αριστερή φουρκέτα K1 (αντιστοιχεί στο σημείο 1 του

διαγράμματος) και τα δύο αυτοκίνητα μπαίνουν, στρίβουν και βγαίνουν με την ίδια ταχύτητα. Στην ευθεία, όμως, πριν από την επόμενη γρήγορη αριστερή στροφή, παρατηρούμε μια διαφορά υπέρ του προσθιοκίνητου TT, που είναι ελαφρύτερο και έχει λιγότερες απώλειες ενέργειας. Η μέγιστη ταχύτητα πριν τη στροφή (σημείο 4 του διαγράμματος) είναι 114,7 km/h για το δίκινητο και 112,6 km/h για το τετρακίνητο TT. Και τα δύο, όμως, στρίβουν στη γρήγορη αριστερή K3 (που αντιστοιχεί στο σημείο 5 του διαγράμματος) με την ίδια μέση ταχύτητα, περίπου 100 km/h. Στη συνέχεια και τα δύο φρενάρουν δυνατά για το πέρασμα από την κλειστή δεξιά K4 (σημείο 6 διαγράμματος), όπου και πάλι τα δύο αυτοκίνητα είναι ισόπαλα. Στη μικρή ευθεία το προσθιοκίνητο αγγίζει τα 97,3 km/h, τη στιγμή που το Quattro μόλις που φτάνει τα 93,5 km/h. Η συνέχεια του γύρου εξελίσσεται με παρόμοιο τρόπο, με το απλό TT να επιτυγχάνει μέγιστη ταχύτητα στο τέλος της ευθείας 143 km/h και το Quattro να ακολουθεί από κοντά με 141,6 km/h. Ο συνολικός χρόνος ολοκλήρωσης ενός γύρου είναι 1:18.02 για το απλό και 1:18.32 για το τετρακίνητο TT.

Στο δεύτερο διάγραμμα βλέπουμε το γιατί ένας έμπειρος οδηγός προτιμά να θέτει το ASR εκτός λειτουργίας, όταν αποφασίζει να οδηγήσει γρήγορα. Στο ίδιο ακριβώς κομμάτι της πίστας το σύστημα ελέγχου της ευστάθειας καθυστερεί ελαφρά, αλλά χαρακτηριστικά, στις εξόδους των στροφών. Αυτό φαίνεται καθαρά στα σημεία 2 και 5 του διαγράμματος, όπου αντιστοιχούν στην έξοδο της K2 και της K4, αντίστοιχα. Το σύστημα, κατά την έξοδο από τις κλειστές αυτές στροφές, δεν αφήνει το αυτοκίνητο να επιταχίνει πάση δυνάμει, παρά μόνο όταν έχει βγει εντελώς από τη στροφή. Αυτό κοστίζει σε χρόνο γύρου περίπου 9 δέκατα του δευτερολέπτου, αφού, με το ASR ενεργοποιημένο, το TT χρειάζεται 1:18.93, για να καλίψει ένα γύρο.



Εικόνα 34.

Διάγραμμα 3. Σύγκριση σε βρεμένο οδόστρωμα του TT Quattro με το προσθιοκίνητο, τόσο με το ASR εντός, όσο και εκτός λειτουργίας.

Το τρίτο διάγραμμα παρήχθη σε βρεμένο οδόστρωμα και σε αυτό βλέπουμε τη συμπεριφορά του TT Quattro, σε σχέση με αυτή του προσθιοκίνητου TT τόσο με ASR εντός, όσο και εκτός λειτουργίας. Η δοκιμή αυτή προσομοιώνει καλύτερα τις συνθήκες που επικρατούν σε ένα δημόσιο δρόμο, αφού η πίστα έχει οδόστρωμα με πολύ υψηλό συντελεστή τριβής.

Τα αυτοκίνητα φτάνουν στη φουρκέτα K1 (σημείο 1 του διαγράμματος) και στρίβουν στα όρια της πρόσφυσης. Στην έξοδο, ο οδηγός προσπαθεί να επιταχίνει όσο πιο γρήγορα γίνεται. Στο σημείο 1 παρατηρούμε ότι και τα τρία αυτοκίνητα φρενάρουν και αρχίζουν να στρίβουν με την ίδια περίπου ταχύτητα. Μέχρι και την κορυφή της στροφής (σημείο 2) παρουσιάζονται απόλυτως ισοδύναμα.

Η διαφορά φαίνεται μόνο στην έξοδο της στροφής, όπου το τετρακίνητο (το γράφημά του φαίνεται με μπλε χρώμα) επιταχίνει χωρίς πρόβλημα. Το προσθιοκίνητο με το ASR ενεργοποιημένο (πράσινο χρώμα) παρουσιάζει ένα μικρό, αλλά ιδιαίτερα ασφαλές, “κρέμασμα” στο σημείο 3, μέχρι το σύστημα να επιτρέψει και πάλι το άνοιγμα του γκαζιού. Παρατηρούμε ότι ο έμπειρος οδηγός, ακόμα και στο βρεγμένο, μπορεί να νικήσει το ASR, αν επιταχίνει με τη δέουσα προσοχή. Παρ’ όλα αυτά δεν αποφεύγει ένα μικρό σπινάρισμα (σημείο 4). Σε κάθε περίπτωση οι διαφορές είναι μικρές και οι τρεις εκδοχές του αυτοκινήτου κρίνονται απόλυτα ασφαλείς και ευχρηστές, ακόμα και για το μέσο οδηγό.

Το συμπέρασμα από την πρώτη δοκιμή είναι ότι τόσο σε συνθήκες δρόμου, όσο και μέσα στην πίστα τα δύο αυτοκίνητα παρουσιάζουν σχεδόν ταυτόσημη συμπεριφορά, με πολύ

μικρές διαφορές. Ακόμα και στις πολύ κλειστές στροφές της πίστας σε βρεγμένο οδόστρωμα, στρίβουν και επιταχύνουν με παρόμοιο τρόπο. Κάτι τέτοιο, εκ πρώτης όψεως, δείχνει να μη συμβαδίζει με τις θεωρητικές αναλύσεις.

Δεν είναι όμως ακριβώς έτσι. Το Audi TT εξοπλίζεται με ελαστικά διάστασης 225/45 R17. Τα ελαστικά αυτά είναι υπερυψηλών επιδόσεων και εξασφαλίζουν πολύ μεγάλα περιθώρια πρόσφυσης. Η ροπή του κινητήρα φαίνεται πως δεν υπερβαίνει τα περιθώρια αυτά, με αποτέλεσμα να μη μπορούν να γίνουν αντιληπτά τα οφέλη της τετρακίνησης. Βλέπουμε, λοιπόν, ότι αν ο κινητήρας δεν είναι πολύ ισχυρός, η τετρακίνηση δεν προσφέρει κάποιο ουσιαστικό πλεονέκτημα.



Εικόνα 35.

Audi TT Roadster.

υποστροφή, που ελέγχεται εύκολα. Γενικά, οι αντιδράσεις του είναι αναμενόμενες, προοδευτικές και σπάνια θα αφηνιάσουν τον οδηγό του.

Το Honda είναι ένα πολύ προσεκτικά “ζυγισμένο” αυτοκίνητο. Η κατανομή βάρους, ανάμεσα στον εμπρός και τον πίσω άξονα πλησιάζει το 50-50. Οι Ιάπωνες μηχανικοί έδωσαν ιδιαίτερη έμφαση στον τομέα της οδικής συμπεριφοράς. Το πλαίσιο έχει πολύ καλή ακαμψία και οι αναρτήσεις περιλαμβάνουν διπλά ψαλίδια μπρος-πίσω. Ενδεικτικό της πολύ προσεκτικής δουλειάς, σε αυτό τον τομέα, είναι ότι τα ελαστικά έχουν διαφορετική διάσταση σε κάθε άξονα. Έτσι, τα μπροστινά έχουν διάσταση 205/55 R16 και τα πίσω 225/50 R16. Το μεγαλύτερο πλάτος των πίσω κινητήριων τροχών έγινε προκειμένου να μπορούν αυτοί να αντιμετωπίζουν τις αυξημένες ανάγκες πρόσφυσης, ώστε το αυτοκίνητο να έχει ουδέτερη συμπεριφορά.

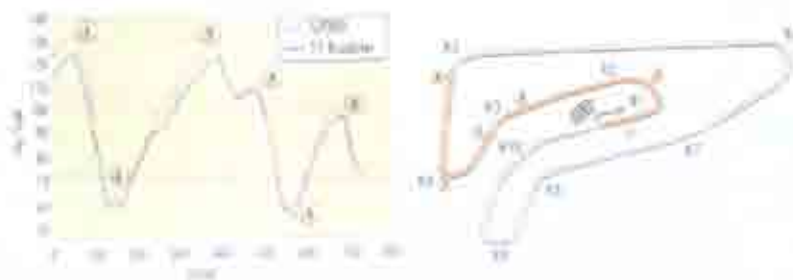
Στο δρόμο, το αυτοκίνητο είναι ιδιαίτερα ευέλικτο, με μεγάλα περιθώρια πρόσφυσης. Όταν αυτά ξεπεραστούν εμφανίζονται πάντοτε υπερστροφικές τάσεις, οι οποίες ελέγχονται εύκολα



Εικόνα 36.

Honda S2000.

με το τιμόνι και το γκάζι και μπορούν να διαρκέσουν για όσο χρονικό διάστημα επιθυμεί ο οδηγός του. Πρόκειται για ένα καθαρόαιμο спор αυτοκίνητο, που, όμως, έχει πολύ ισορροπημένη οδική συμπεριφορά και μπορεί να οδηγηθεί σβέλτα από τον οποιοδήποτε. Στο όριο, βέβαια, χρειάζεται



Εικόνα 37.

Κατάγραφο της θέσης των δύο αυτοκινήτων σε ένα κομμάτι της πίστας.

προσοχή, όπως όλα τα ισχυρά ποικιλήτα.

Στην πίστα των Μεγάρων το S2000 αποδεικνύεται παντού ταχύτερο από το 77, όπως φαίνεται και στο διπλανό διάγραμμα. Τόσο στις ευθείες και την επιτάχυνση, όσο και μέσα στη στροφή, το Honda είναι γρηγορότερο. Αυτό οφείλεται τόσο στο συνδυασμό κινητήρα-κιβωτίου (που βολεύεται καλύτερα στις συνθήκες της πίστας) όσο και στην εμφάνιση ελεγχόμενων υπερστροφικών τάσεων, που, σε αυτές τις συνθήκες, είναι επιθυμητή. Το καλό "ζύγισμα" του αυτοκινήτου επιβεβαιώνεται στην πίστα, όπου οι αντιδράσεις του, μετά τα όρια της πρόσφυσης, είναι απόλυτα ισορροπημένες. Χάρη σε αυτή τη συμπεριφορά, το Honda καταφέρνει να είναι πιο γρήγορο από το Audi στις αργές, κλειστές στροφές της πίστας (σημεία 2 και 5 στο διάγραμμα). Το ιαπωνικό cabrio σταματάει τα χρονομετρα στο 1:13,60, πετυχαίνοντας μέγιστη ταχύτητα 160,54 km/h.

Το γερμανικό Roadster, υστερώντας στην αναλογία των κιλών / ίππο και έχοντας να αντιμετωπίσει αυξημένες τριβές, από το σύστημα μετάδοσής του, δεν έχει και πολλές ελπίδες. Ο χρόνος του ήταν 1:17,00, για την κάλυψη της ίδιας απόστασης, δηλαδή 3,6 sec αργότερος από αυτόν του S2000. Παρ' όλα αυτά, ο χρόνος του 77 μόνο κακός δεν είναι. Η συμπεριφορά του αυτοκινήτου είναι απόλυτα φιλική και ισορροπημένη. Πέρα από τα όρια της πρόσφυσης, εμφανίζονται υποστροφικές τάσεις, που ποτέ δε μετατρέπονται σε υπερστροφικές. Το στήσιμο του αυτοκινήτου είναι πολύ φιλικό, αλλά αποδεικνύεται πιο αργό στις συνθήκες της πίστας.

Επί της ουσίας και τα δύο αυτοκίνητα προσφέρουν μεγάλα περιθώρια πρόσφυσης, κανένα δεν αντιμετωπίζει πρόβλημα, στο να περάσει τη δύναμη του κινητήρα του στο δρόμο και έχουν μεγάλα αποθέματα ενεργητικής ασφάλειας. Παρ' όλα αυτά, έχουν πολύ διαφορετικό χαρακτήρα, κάτι που οφείλεται, σε μεγάλο βαθμό, στα συστήματα μετάδοσής τους. Το Honda έχει πιο άμεσες αντιδράσεις και είναι πιο ρυθμίσσιμο στο όριο, εμφανίζοντας υπερστροφή, η οποία είναι απόλυτα ελεγχόμενη. Το Audi, μπορεί να είναι λιγότερο σπορτίφ, αλλά από την άλλη είναι πιο φιλικό και προβλέψιμο. Έχει μεγαλύτερα περιθώρια πρόσφυσης και δεν εμφανίζει σχεδόν ποτέ υπερστροφικές τάσεις, εμπνέοντας μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στον οδηγό του, σε συνθήκες καθημερινής μετακίνησης. Πρόκειται για δύο εντελώς διαφορετικές φιλοσοφίες κατασκευής. Και οι δύο λύσεις είναι απόλυτα σωστές, αφού εκπληρώνουν πλήρως τις προδιαγραφές που τέθηκαν κατά το σχεδιασμό των αυτοκινήτων.

Στο τρίτο συγκριτικό προσπαθούμε να δούμε τις διαφορές της μπροστινής και της πίσω κίνησης. Αυτό το επιχειρούμε μέσω της σύγκρισης του προσθιοκινήτου Honda Civic



Εικόνα 35.

Honda Type-R.

Το S2000, στον αντιποδα, φορτίζει ισομερώς του δύο άξονες του, με τη μάζα των 1260 kgf του. Ο κινητήρας του αποδίδει 240 Hp, που περνούν στο δρόμο από ελαστικά διάστασης 205/55 R16 εμπρός και 225/50 R16 πίσω. Τη σωστή επαφή των τροχών με το δρόμο, εξασφαλίζει η επιλογή ανάρτησης διπλών ψαλιδιών, τόσο για τον εμπρός όσο και για τον πίσω άξονα.

Τα φωτοκίτταρα τοποθετήθηκαν στην πιο αντιπροσωπευτική στροφή της πίστας, μια αριστερή παρατεταμένη φουρκέτα. Θεωρητικά, το S2000

Type-R, με το πίσωκίνητο Honda S2000. Η δοκιμή έγινε στην πίστα kart του Kartodromo, στα Κιούρκα. Η επιλογή της πίστας έγινε προκειμένου να δίνεται έμφαση στη συμπεριφορά των αυτοκινήτων στις κλειστές στροφές και όχι η απόδοση του κινητήρα στις ευθείες.

Το Type-R φορτίζει με περισσότερα από τα μισά από τα 1204 kgf του τον μπροστινό του άξονα και ο κινητήρας του αποδίδει 200 Hp. Οι αναρτήσεις του περιλαμβάνουν γόνατα McPherson μπροστά και διπλά ψαλιδία πίσω, ενώ οι τροχοί είναι 17" και πατούν πάνω σε λάστιχα 205/45 R17.



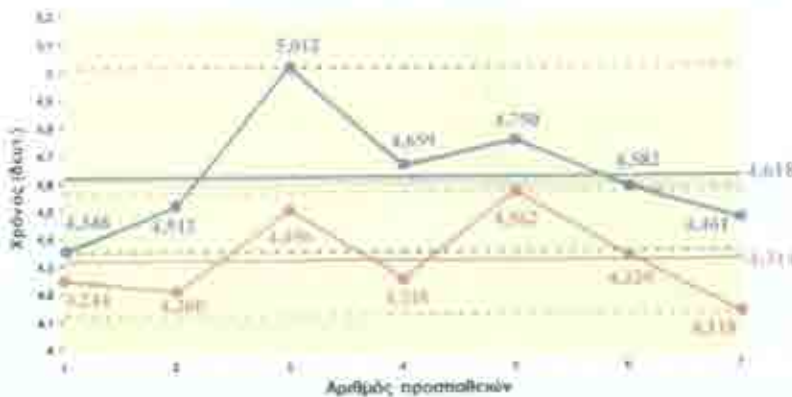
Εικόνα 39.

Honda S2000.

επινοείται στη συγκεκριμένη διαδικασία, λόγω τεχνικών προδιαγραφών. Όμως, τα αυτοκίνητα δεν οδηγούνται από ρομπότ, αλλά από ανθρώπους. Αυτό, πολλές φορές μπορεί να δώσει κάποια μη αναμενόμενα αποτελέσματα, που, εκ πρώτης όψεως, δείχνουν παράλογα.

Έτσι συμβαίνει και στη συγκεκριμένη δοκιμή, όπου ένα спор αυτοκίνητο, σαν το S2000, χάνει κατά κράτος από ένα οικογενειακό αυτοκίνητο, που είναι εξοπλισμένο με ένα δυνατό κινητήρα. Το ακόμα πιο περίεργο είναι ότι δοκιμασία πραγματοποιείται μέσα σε πίστα (το φυσικό χώρο των спор αυτοκινήτων), αλλά και το ότι και τα δύο αυτοκίνητα προέρχονται από τον ίδιο κατασκευαστή!

Ας πάμε, όμως, στην ουσία της δοκιμής, που συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα μετρήσεων, που απεικονίζει την εξέλιξη της επίδοσης του κάθε αυτοκινήτου, στην αριστερή παρατεταμένη φουρκέτα του Kartodromo. Σε κάθε αυτοκίνητο χρονομετρήθηκαν 7 γύροι, στους οποίους ο δοκιμαστής προσπάθησε να κινηθεί όσο το δυνατό ταχύτερα.



Εικόνα 40.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Με μπλε χρώμα οι ενδείξεις του S2000 και με κόκκινο αυτές του Type-R.

Παρατηρώντας τις μετρήσεις, γίνεται αμέσως εμφανές ότι το Type-R είναι καθολικά ταχύτερο του S2000. Η διαφορά των δύο μοντέλων, σε απόλυτη επίδοση, είναι 2,3 δέκατα του δευτερολέπτου (4,118 sec έναντι 4,348 sec). Το σημαντικό, όμως, είναι ότι ακόμα και ο μέσος όρος των χρόνων του Type-R είναι μικρότερος από την καλύτερη επίδοση του S2000! Η διαφορά των

δύο αυτοκινήτων, σε επίπεδο μέσου όρου χρόνων, ξεπερνά τα 3 δέκατα του δευτερολέπτου (4,314 sec έναντι 4,618 sec). Το ότι η διαφορά αυτή είναι μεγαλύτερη, από τη διαφορά σε επίπεδο απόλυτων χρόνων, σημαίνει ότι το Type-R, σε έναν ενδεχόμενο αγώνα, θα μπορούσε να κινηθεί ταχύτερα, για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Αυτό οφείλεται στο ότι το προσθιοκίνητο Honda είναι πολύ φιλικό και προβλεψίμο στις αντιδράσεις του, βοηθώντας τον οδηγό του να κινείται ευκολότερα κοντά στο όριο της πρόσφυσης.

Ακόμα και αν ο οδηγός το παρακάνει, ωθώντας το αυτοκίνητο εκτός των ορίων της πρόσφυσης του, και πάλι το προσθιοκίνητο hatchback είναι πιο φιλικό, συγχωρώντας ευκολότερα τέτοια λάθη. Αυτό φαίνεται από τη διαφορά μεταξύ της χειρότερης επίδοσης και του μέσου όρου των μετρήσεων, των δύο αυτοκινήτων. Το μεν Type-R, στην πέμπτη του προσπάθεια υπέρστρεψε και χρειάστηκε ανάποδο τιμόνι. Η διόρθωση αυτή του στοιχισε σε χρόνο περιορίζοντάς το σε μια επίδοση 4,562 sec. Η διαφορά αυτού του χρόνου από το μέσο όρο είναι 0,248 sec. Το S2000 πλαγιολίσθησε υπερβολικά στην τρίτη του προσπάθεια, με αποτέλεσμα να χρειαστεί πάνω από 5 sec (5,012 sec), για να καλύψει τη συγκεκριμένη στροφή. Η διαφορά αυτής της επίδοσης από το μέσο όρο των χρόνων του, είναι 0,394 sec. Αυτό σημαίνει ότι ένα λάθος στο πίσωκίνητο S2000 κοστίζει 0,146 sec περισσότερα, από ότι αν γινόταν στο προσθιοκίνητο μοντέλο.

Αν συγκρίνουμε το εύρος των διακυμάνσεων της επίδοσης των δύο αυτοκινήτων η διαφορά μεγαλώνει ακόμα περισσότερο. Η διαφορά ανάμεσα στην καλύτερη και τη χειρότερη επίδοση του Type-R είναι 0,444 sec, τη στιγμή που στο S2000 είναι 0,664 sec. Δηλαδή, το Type-R υπερέχει και εδώ, κατά 0,22 sec.

Τα παραπάνω δε σημαίνουν ότι το S2000 είναι αργό, ή κακοστημένο αυτοκίνητο. Κάθε άλλο μάλιστα. Πρόκειται για ένα από τα καλύτερα спор αυτοκίνητα στον κόσμο και είναι σημείο αναφοράς στην κατηγορία του. Αν τα αυτοκίνητα καθοδηγούνταν από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, τότε σίγουρα θα ήταν ο αδιαφιλονίκητος νικητής αυτής της

δοκιμασίας. Το ίδιο θα ήταν το αποτέλεσμα και αν στο τιμόνι καθόταν κάποιος κορυφαίος οδηγός αγώνων (όπως ο Michael Schumacher). Στο τιμόνι, όμως καθόταν ένας έμπειρος δημοσιογράφος, με οδηγικές ικανότητες άνω του μέσου όρου των “καθημερινών” οδηγών, αλλά πολύ κάτω από αυτές ενός πιλότου Formula 1. Τι σημαίνουν όλα αυτά. Ότι η απόδοση του πισωκίνητου cabrio εξαρτάται απόλυτα από τις ικανότητες του οδηγού του. Απαιτεί άριστες γνώσεις και απόλυτη προσήλωση, ενώ το οποιοδήποτε λάθος οδηγεί σε υπερστροφή, που μπορεί να ελέγχεται εύκολα, αλλά στοιχίζει πολύ σε χρόνο.

Μπορεί το S2000 να είναι ένα από τα καλύτερα στημένα πισωκίνητα, αλλά σε καμία περίπτωση, δεν μπορεί να συγκριθεί με την φιλική και προοδευτική συμπεριφορά ενός εξαιρετικού προσθιοκίνητου, όπως το Type-R. Με το μικρό Honda μπορεί να κινηθεί ο οποιοσδήποτε πολύ γρήγορα, χωρίς να χρειάζεται να έχει προχωρημένες οδηγικές γνώσεις. Η μπροστινή κίνηση χαρίζει φιλική και προοδευτική συμπεριφορά, συγχωρώντας πολλά λάθη.

Τα αποτελέσματα αυτού του συγκριτικού είναι ενδεικτικά για τις διαφορές ανάμεσα στην μπροστινή και την πίσω κίνηση. Τα πισωκίνητα μπορούν να κινηθούν πραγματικά γρήγορα, μόνο από πολύ ικανούς οδηγούς. Τα προσθιοκίνητα είναι πιο φιλικά, βοηθώντας τον οδηγό τους να τα εκμεταλλευτεί πλήρως.

Ενώ το προφίλ των άλλων δύο διατάξεων είναι καθορισμένο, τα τετρακίνητα δεν έχουν τόσο ξεκάθαρο προσανατολισμό, εξαρτώμενα, σε μεγάλο βαθμό, από τις ρυθμίσεις του συστήματος τετρακίνησής τους. Προκειμένου να κατανοήσουμε αυτές τις διαφορές, επιλέξαμε να συγκρίνουμε δύο από τα καλύτερα τετρακίνητα αυτοκίνητα της ελληνικής αγοράς: Το Audi TT Quattro των 225 Hp και το Mitsubishi Evo VI.



Εικόνα 41.

Audi TT Quattro.

Το γερμανικό coupe είναι ήδη γνωστό από τα προηγούμενα συγκριτικά. Υπενθυμίζουμε ότι, τόσο εμπρός όσο και πίσω, χρησιμοποιεί συμβατικά διαφορικά. Στο κέντρο, αντί για τρίτο διαφορικό, υπάρχει ένας συνεκτικός συμπλέκτης Haldex. Η κίνηση, υπό κανονικές συνθήκες, μεταδίδεται στον εμπρός άξονα. Μόλις το κεντρικό σύστημα αντιληφθεί ολίσθηση των κινητήριων τροχών, δίνει εντολή στο συνεκτικό συμπλέκτη να εμπλέξει και τον πίσω. Η κατανομή της ροπής μπρος-πίσω κυμαίνεται από (100 - 0) %, έως (50-50) %. Σε καμία περίπτωση, δηλαδή, δεν μπορεί να μεταφερθεί περισσότερη ροπή στον πίσω άξονα.

από αυτή που μεταφέρεται στον μπροστινό.

Το Evo VI δεν αποτελεί απλά μια γρήγορη έκδοση του γνωστού μεσαίου ιαπωνικού sedan. Πρόκειται για την έκδοση παραγωγής του αυτοκινήτου πάνω στο οποίο βασιζόταν το αγωνιστικό αυτοκίνητο της εταιρείας το 2000. Εκείνη την εποχή, η Mitsubishi συμμετείχε στο παγκόσμιο πρωτάθλημα ράλι με αυτοκίνητο κατηγορίας group A. Αυτό την υποχρέωνε να παράγει και να διαθέτει τουλάχιστον 5.000 αυτοκίνητα, με παραλήψεις των αγωνιστικών προδιαγραφές, προκειμένου να πάρει την ομολογασίόν, δηλαδή την άδεια να χρησιμοποιήσει το αυτοκίνητο στους αγώνες. Έχουμε, λοιπόν να κάνουμε με ένα αγωνιστικό αυτοκίνητο, που μπορεί να αποκτήσει άδεια κυκλοφορίας. Αυτό δεν είναι σχήμα λόγου, αλλά πραγματικότητα, αφού τα Evo VI που συμμετείχαν στο παγκόσμιο πρωτάθλημα στην κατηγορία N είχαν ελάχιστες τροποποιήσεις, σε σχέση με τα μοντέλα παραγωγής!



Εικόνα 42.

Mitsubishi Evo VI.

Ένα αγωνιστικό τετρακίνητο, με χρόνια παρουσίας στους αγώνες, δεν μπορεί παρά να έχει ένα πρωτοποριακό σύστημα μετάδοσης. Το Eno χρησιμοποιεί τρία διαφορετικά, διαφορετικά τύπου. Προφανώς η επιλογή αυτή δεν είναι τυχαία, αλλά προϊόν μελέτης και εμπειρίας. Εμπρός χρησιμοποιείται ένα διαφορεικό περιορισμένης ολίσθησης τύπου Torsen. Αυτό δίνει καλή αίσθηση στο τιμόνι και αμεσότητα στην ενεργοποίηση. Το μεσαίο διαφορικό είναι συμβατικό (με πλανήτες δορυφόρους) και το ποσοστό εμπλοκής του ελέγχεται από έναν συνεκτικό συμπλέκτη. Έτσι, μπορεί πολύ εύκολα να αλλάζει το ποσοστό ελέγχου του, ανάλογα με τις συνθήκες του αγώνα. Το πίσω διαφορικό έχει τις λιγότερες τεχνικές απαιτήσεις. Είναι και αυτό περιορισμένη ολίσθησης αλλά χρησιμοποιεί δίσκους τριβής. Η διάταξη αυτή επιτρέπει άμεσο έλεγχο, χωρίς αρχική ολίσθηση, τόσο στο φρενάρισμα, όσο και στην επιτάχυνση.

Στην πράξη, τα δύο αυτοκίνητα παρουσιάζουν αρκετά διαφορετική συμπεριφορά. Τόσο στον ανοικτό δρόμο, όσο και στην πίστα των Μεγάρων, το Audi T7 συμπεριφέρεται σαν ένα πολύ καλό προσθιοκίνητο. Στο μόνο σημείο που η τετρακίνηση κάνει αισθητή την παρουσία της είναι κατά την απότομη επιτάχυνση σε γλιστερό δρόμο, ή στην έξοδο κάποιας κλειστής στροφής.

Το Eno VI συνδυάζοντας το άψογο σύστημα μετάδοσης, με την πολύ καλή ρύθμιση της ανάρτησης και την περίσσεια ροπής του κινητήρα του, στρίβει με τρόπο μαγικό. Το εμπρός διαφορικό Torsen αποδεικνύεται εξαιρετική επιλογή, παραμένοντας ελεύθερο τόσο στις χαμηλές ταχύτητες, όσο και στο φρενάρισμα, προσφέροντας ευελιξία και καλή αίσθηση στο τιμόνι. Μέσα στη στροφή, όμως, ενεργοποιείται αμέσως, περιορίζοντας τα ανεπιθύμητα σπινάρια και γλιστρήματα του εμπρός μέρους. Το μεσαίο διαφορικό προσφέρει πολύ ομαλές αντιδράσεις, χωρίς σκαλοπάτια και θορύβους, μοιράζοντας τη ροπή, όπως πρέπει, κάθε στιγμή. Το συνολικό στήσιμο του αυτοκινήτου αποδεικνύεται πολύ πιο φιλικό και προβλέψιμο, από ότι θα περίμενε κανείς, από ένα αυτοκίνητο 280 Hp.

Το Eno ακολουθεί πιστά τις εντολές του οδηγού του και μπορεί να οδηγηθεί με οποιονδήποτε τρόπο, ακόμα και με υπερστροφή ισχύος. Αν ο οδηγός πατήσει απότομα το γκαζί πάνω σε μία στροφή, το αυτοκίνητο θα γλιστρήσει ελαφρώς και είναι δυνατό να βρεθεί σε μια ελαφρά υπερστροφική τάση, κατά την οποία μπορεί να ισορροπήσει για λίγο, με τους εμπρός και τους πίσω τροχούς να γλιστρούν ελαφρά και ελεγχόμενα, κατά το ίδιο περίπου ποσοστό, αλλά με το κεντρικό διαφορικό να δίνει λίγη περισσότερη ροπή πίσω. Η συμπεριφορά αυτή θυμίζει ελαφρώς τη συμπεριφορά ενός πίσωκίνητου, μόνο που είναι πολύ πιο ισορροπημένη. Αυτό οφείλεται στο ότι οι εμπρός τροχοί συνεισφέρουν στην έλξη, οπότε ο οδηγός δε χρειάζεται να κάνει ανάποδο τιμόνι, για να κρατήσει την επιθυμητή τροχιά.

► 7.5 Ενεργά διαφορικά

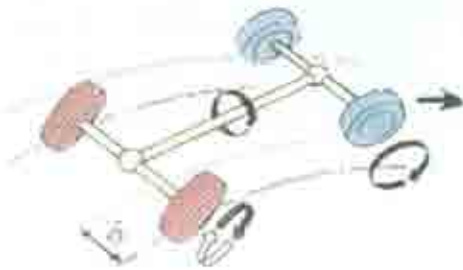
Τα διαφορικά που μπορούν και μεταβάλλουν το ποσοστό εμπλοκής τους, βάσει των σημάτων που παίρνουν από μια ηλεκτρονική μονάδα, ονομάζονται ενεργά.

Το πρώτο ενεργό σύστημα που θα αναφέρουμε, δεν είναι διαφορικό, αλλά υποκατάστατο κεντρικού διαφορικού. Πρόκειται για το προαναφερθέν σύστημα υγρού πολύδισκου, ηλεκτρονικά ελεγχόμενου συμπλέκτη, που κατασκεύασε η σουηδική εταιρεία Haldex. Πρόκειται για ένα πολύπλοκο, αλλά αρκετά συμπαγές και αξιόπιστο σύστημα, με κύριο χαρακτηριστικό την ομαλότητα, κατά τη λειτουργία του. Είπαμε πως το σύστημα αυτό προσδίδει μια υποστροφική συμπεριφορά, στα μοντέλα της VW που χρησιμοποιείται. Ας δούμε το πως εξηγείται κάτι τέτοιο. Κλειδί για την εξήγηση είναι το παρακάτω σχήμα.

Η κίνηση, υπό κανονικές συνθήκες, μεταδίδεται στους μπροστινούς τροχούς. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση υποστροφικών τάσεων, όταν το αυτοκίνητο πιεστεί σε μία στροφή. Ως επακόλουθο, οι μπροστινοί τροχοί θα διαγράφουν τροχιές μεγαλύτερου μήκους (μπλε χρώμα), σε σχέση με τους πίσω (κόκκινο χρώμα). Αναγκαστικά, λοιπόν, ο εμπρός και ο πίσω άξονας θα περιστρέφονται με διαφορετικές ταχύτητες. Ελλείψει κεντρικού διαφορικού, για να μπορεί το αυτοκίνητο να στρίβει, έστω και με ήρεμους

ρυθμούς, χωρίς να "κουρδίζει" τον κεντρικό άξονα, θα πρέπει ο συμπλέκτης να ελευθερώνει για λίγο τον πίσω άξονα, ώστε να του επιτρέψει να περιστρέφεται με μικρότερη γωνιακή ταχύτητα.

Στην περίπτωση, όμως, που ο οδηγός στρίβει πατώντας τέρμα το γκάζι, το σύστημα αντιλαμβάνεται την ανάγκη για αυξημένη πρόσφυση. Ο συμπλέκτης κλείνει, ώστε να μεταφέρει ροπή και στους πίσω τροχούς με ανώτερο ποσοστό το 50 % - 50 %. Στο σημείο αυτό αξίζει να παρατηρήσουμε και πάλι το παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 43.

Η συμπεριφορά του συστήματος Haldex.

Το σύστημα θα αντιδράσει δίνοντας εντολή για μεταφορά μικρότερου ποσοστού της ροπής στον πίσω άξονα. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα, αν ο οδηγός παραμείνει στο γκάζι, την ολίσθηση του εμπρός και όχι του πίσω μέρους. Για να ήταν δυνατή η εμφάνιση υπερστροφής ισχύος, θα έπρεπε να υπήρχε και τρίτο διαφορικό, ή να υπήρχε διαφορετική διάταξη (για παράδειγμα μόνιμη μετάδοση πίσω και συμπλέκτης Haldex για τους εμπρός τροχούς), έτσι ώστε να μπορούν να παραλάβουν περισσότερη ροπή οι πίσω τροχοί, για να καταφέρουν να βγουν προς το εξωτερικό της στροφής και να διαγράψουν μεγαλύτερο τόξο, από τους μπροστινούς.



Εικόνα 44.

Το ATTS της Honda.

κατεύθυνση που επιθυμούμε. Έτσι, τα ελαστικά εξαναγκάζονται σε πλαγιολίσθηση, ωθώντας το ρυγχος του αυτοκινήτου, προς το εσωτερικό της στροφής.

Η Honda προτείνει ένα συμπληρωματικό τρόπο επιλογής κατεύθυνσης κίνησης. Πρόκειται για τον τρόπο που χρησιμοποιούμε όταν θέλουμε να στρίψουμε και περπατάμε, κολυμπάμε, κωπηλατούμε, ή οδηγούμε ένα ερπυστριοφόρο άρμα. Ασκούμε, για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, περισσότερη δύναμη με το δεξί μας πόδι (ή χέρι, ή κουπί, ή ερπυστρια) για να πάμε αριστερά και το αντίθετο για να πάμε δεξιά.

Σε αυτό ακριβώς το παράδειγμα βασίζεται και η αρχή λειτουργίας του ATTS. Ρυθμίζοντας την έλξη των κινητήριων τροχών, μεταβάλλοντας την κατανομή της ροπής που

Αν ο οδηγός επιμεινει με το γκάζι πατημένο και αν το οδόστρωμα γλιστράει, τότε, το μόνο που μπορεί να γίνει είναι να "ξελημάνει" η μετάδοση, διώχνοντας ελαφρά το πίσω μέρος. Κάτι τέτοιο, όμως, συμβαίνει μόνο κατά τη διαφορά δ , που φαίνεται στο σχήμα. Μόλις οι πίσω τροχοί έλθουν στις ίδιες τροχιές με τους εμπρός, η ροπή, πλέον, θα μοιράζεται ισομερώς στους δύο άξονες και οποιοδήποτε γλιστρημα θα σταματήσει εκεί.

Με το συγκεκριμένο σύστημα είναι αδύνατη η υπερστροφή ισχύος. Υπερστροφή μπορεί να προέλθει μόνο από μεταφορά βάρους, όπως ακριβώς και στα μπροστοκίνητα. Στην περίπτωση αυτή, οι πίσω τροχοί θα διαγράψουν τόξο μεγαλύτερης ακτίνας από τους εμπρός. Το

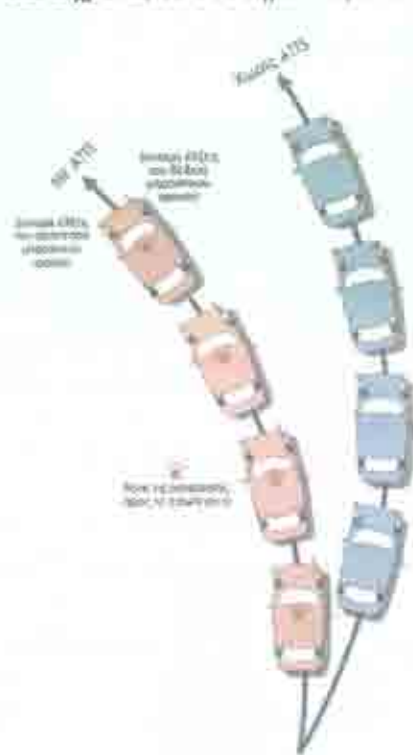
Ένα από τα καλύτερα συστήματα μετάδοσης, που χρησιμοποιήθηκαν ποτέ σε αυτοκίνητο, είναι το ATTS της Honda, που χρησιμοποιήθηκε σε ορισμένες εκδόσεις του Prelude. Ονομάστηκε έτσι από τα αρχικά των λέξεων Active Transfer Torque System, που σημαίνει σύστημα ενεργητικής κατανομής της ροπής. Η ονομασία αυτή περιγράφει το πως λειτουργεί το σύστημα. Ίσως, όμως, θα ήταν σωστότερο να έχει ονομαστεί σύστημα ενεργητικού ελέγχου της ευστάθειας, περιγράφοντας το τι ακριβώς κάνει.

Για περισσότερο από έναν αιώνα, υπάρχει μόνο ένας τρόπος, για να στρίψει ένα αυτοκίνητο: Στρίβοντας τους μπροστινούς, κατευθυντήριους τροχούς, προς την

φτάνει σε απαιτήσεις, έτσι ώστε να αντιστοιχεί στις εντολές που δίνει ο οδηγός με το τιμόνι και το γκάζι, παράγονται πλευρικές δυνάμεις, που βελτιώνουν σημαντικά τη δυναμική συμπεριφορά και την ακρίβεια χειρισμών του αυτοκινήτου.

Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται σε μια συστοιχία πλανητικών γραναζιών, που μπορούν επιλεκτικά και προοδευτικά να μεταβάλλουν τις σχετικές ταχύτητες περιστροφής τους, γεγονός που μεταβάλλει τη συμπεριφορά του συμβατικού διαφορικού, στο οποίο συνδέονται. Με τον τρόπο αυτό, το διαφορικό αναγκάζεται να αυξάνει τη δύναμη έλξης στον εξωτερικό τροχό, όταν το αυτοκίνητο στρίβει. Αυτή η ασύμμετρη κατανομή της ροπής του κινητήρα στους τροχούς οδηγεί στη δημιουργία ροπής, ως προς τον κατακόρυφο κεντροβαρικό άξονα, με κατεύθυνση προς το εσωτερικό της στροφής, που τείνει να περιστρέψει το αυτοκίνητο, γύρω από τον κατακόρυφο άξονά του.

Οι μηχανικοί της Honda βρήκαν ότι, αν ένας τέτοιος μηχανισμός συνδυαζόταν με ένα συμβατικό διαφορικό, το αποτέλεσμα θα ήταν η επιτάχυνση του εξωτερικού τροχού να ταυριάζει με την καμπυλότητα της στροφής, ενώ, ταυτόχρονα, το σύστημα θα μετέδιδε στον τροχό αυτόν περισσότερη ροπή.



Εικόνα 46.

Επιτάχυνση μέσω στη στροφή με και χωρίς ΑΤΤS.

Λιγότερο ή περισσότερο, από όσο θέλει ο οδηγός του, είτε λόγω διαφορών στην πρόσφυση των τροχών, είτε ως αποτέλεσμα λάθους χειρισμού, διορθώνεται αυτόματα. Η κατευθυντικότητα βελτιώνεται ακόμα και σε βρεγμένους, ή χιονισμένους δρόμους. Σε κάθε δεδομένο ελιγμό, η απαιτούμενη στροφή του τιμονιού είναι 10 % με 30 % μικρότερη, από ότι θα ήταν χωρίς τη χρήση του ΑΤΤS. Αυτό προστατεύει τα ελαστικά, δίνοντάς τους μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.



Εικόνα 45.

Η κατανομή της ροπής.

Τον έλεγχο του πλανητικού μηχανισμού αναλαμβάνουν μικροί, υδραυλικοί, πολύδισκοι συμπλέκτες, όμοιοι με αυτούς που χρησιμοποιεί η Honda στα αυτόματα κιβώτια της. Πρόκειται για τα πιο ανθεκτικά εξαρτήματα του αυτοκινήτου, αφού η εταιρεία ισχυρίζεται ότι το ξεπερνούν σε διάρκεια ζωής. Φυσικά, το όλο σύστημα ελέγχεται από μία κεντρική ηλεκτρονική μονάδα.

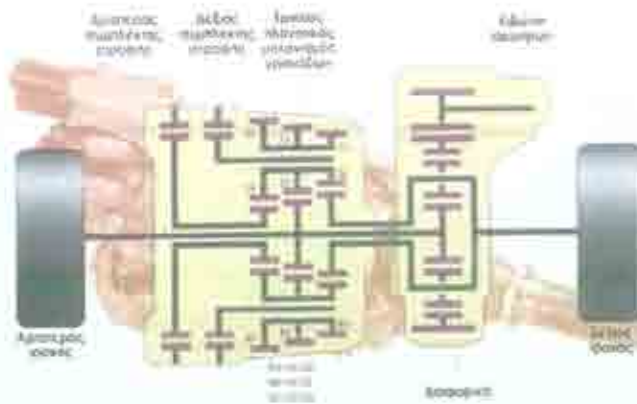
Το σύστημα επιτρέπει την περιστροφή του εξωτερικού τροχού, μέχρι και με 15 % μεγαλύτερη ταχύτητα, σε σχέση με τον εξωτερικό. Πολύ πιο βασικό, όμως, είναι ότι ο εξωτερικός τροχός μπορεί να παραλάβει μέχρι και το 80 % της ροπής του κινητήρα.

Στην πράξη το προσθιοκίνητο Prelude με αυτό το σύστημα συμπεριφέρεται εξαιρετικά. Το μεγάλο πλεονέκτημα, του ενεργητικού ελέγχου της ευστάθειας, είναι η μεγαλύτερη ακρίβεια της απόκρισης του αυτοκινήτου, στις εντολές του οδηγού. Η απόκριση του τιμονιού είναι ταχύτερη και η ακρίβεια, με την οποία ακολουθεί το αυτοκίνητο τις γραμμές, που χαράζει ο οδηγός του, βελτιώνεται σημαντικά. Η υποστροφή, με το γκάζι πατημένο, ή η υπερστροφή, στο απότομο άφημα του γκαζιού, στην πράξη εξουδετερώνονται, δίνοντας στον οδηγό την ασφαλή αίσθηση της ουδέτερης συμπεριφοράς ενός αυτοκινήτου που απλά εκτελεί τις εντολές του.

Οποιαδήποτε τάση του αυτοκινήτου να στρίψει

Τα μειονεκτήματα του ATTS είναι πρακτικά ανύπαρκτα, περιοριζόμενα μόνο στην αύξηση βάρους του οχήματος κατά 20 kg. Το βάρος, όμως αυτό είναι τοποθετημένο πολύ χαμηλά, οπότε δε χαλάει το ζύγισμα του αυτοκινήτου. Ακόμα και ο χώρος που καταλαμβάνει, δύσκολα θα ήταν εκμεταλλεύσιμος, για κάτι άλλο. Οι ανάγκες του σε πρόσθετη συντήρηση περιορίζονται μόνο στην αλλαγή του λιπαντικού (που είναι ίδιο με αυτό που χρησιμοποιείται στα αυτόματα κιβώτια), σε διαστήματα ίδια με αυτά που προβλέπονται οι αλλαγές λιπαντικού, στα συμβατικά συστήματα μετάδοσης.

Παρενέργειες από τη λειτουργία του συστήματος δεν υπάρχουν. Σε πλήρη απουσία σιντελεστή τριβής, όπως στον πάγο ή στο λάδι, το αυτοκίνητο δεν είναι ούτε καλύτερο, ούτε χειρότερο, από ένα συμβατικό. Στην απίθανη περίπτωση αστοχίας του συστήματος, το αυτοκίνητο εξακολουθεί να λειτουργεί, σα να μην υπήρχε το ATTS. Το σύστημα δε λειτουργεί με την επλογή της όπισθεν.



Εικόνα 47

Σχηματικό διάγραμμα ATTS.

Άμεση απόκριση στις γρήγορες αλλαγές κατεύθυνσης, ενώ τα πλεονεκτήματα του ATTS γίνονται περισσότερο αισθητά στις παρατεταμένες στροφές. Ακόμα, η ευελιξία και η ευκολία στο παρκάρισμα, που προσδίδει η τετραδιεύθυνση, δεν επηρεάζονται ούτε αρνητικά, ούτε θετικά από το ATTS. Έτσι, το ένα σύστημα συμπληρώνει με ενεργητικό τρόπο το άλλο.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση του ATTS με ένα μπλοκέ διαφορικό. Το μπλοκέ διαφορικό είναι ένα σύστημα που εξασφαλίζει την ελκτική πρόσφυση, σε οριακές καταστάσεις, ενώ το ATTS βοηθάει το αυτοκίνητο να στρίψει. Επιπλέον, το μπλοκέ είναι ένα παθητικό σύστημα που εμποδίζει το άσκοπο σπινάρισμα ενός κινητήριου τροχού (συνήθως του εσωτερικού), ενώ το ATTS είναι ένα ενεργητικό σύστημα, που αυξάνει τη δύναμη έλξης του εξωτερικού τροχού.

Το ATTS μπορεί να τοποθετηθεί σε προσθιοκίνητα, πίσωκίνητα, ή τετρακίνητα μοντέλα, με την ίδια ευκολία. Αν η κίνηση μεταδίδεται πίσω ή και στους τέσσερις τροχούς, ο μηχανισμός είναι απλούστερος στην κατασκευή του και τοποθετείται ανάμεσα στους πίσω τροχούς. Δυστυχώς, το εξαιρετικό αυτό σύστημα δεν τοποθετήθηκε σε κανένα άλλο αυτοκίνητο, πλην του Prelude, του οποίου η παραγωγή έχει σταματήσει και δεν έχει αντικατασταθεί ακόμα.

Για αυτό πρέπει να επιθίνεται το αυξημένο κόστος του συστήματος. Το κόστος θα μπορούσε να μειωθεί με τη χρησιμοποίηση του συστήματος σε περισσότερα μοντέλα, από περισσότερους κατασκευαστές. Το σύστημα, όμως, παρόλο που είναι εξαιρετικό και λειτουργεί περίφημα, δεν είναι εμπορικό. Φαίνεται πως τα τμήματα marketing των εταιρειών αποφάσισαν ότι μπορούν να πουλήσουν ευκολότερα ένα αυτοκίνητο εφοδιασμένο με το ηχηρό και πολυδιαφημισμένο ESP, παρά με το ATTS. Και πολύ λίγο τους ενδιαφέρει ότι το πρώτο είναι κατασταλακτικό σύστημα, που μειώνει τις επιδόσεις του αυτοκινήτου, ενώ το

Το ATTS είναι συμβατό με όλα τα συστήματα, που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα αυτοκίνητα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί, χωρίς επιπλοκές, σε συνδυασμό με ABS, συστήματα ελέγχου πρόσφυσης, αυτόματα ή χειροκίνητα κιβώτια, υποβοηθούμενα ή μη συστήματα διεύθυνσης, ακόμα και παθητική ή ενεργητική τετραδιεύθυνση. Ο τελευταίος συνδυασμός παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Ο σκοπός και των δύο συστημάτων είναι η βελτίωση της απόκρισης του τιμονιού. Τα δύο συστήματα δε λειτουργούν ανταγωνιστικά, αλλά αλληλοσυμπληρώνονται. Η ενεργητική τετραδιεύθυνση χαρίζει

δεύτερο είναι ενεργητικό και αυξάνει τις επιδόσεις, χωρίς κανένα συμβιβασμό στον τομέα της ασφάλειας!

Το καλύτερο σύστημα μετάδοσης που χρησιμοποιείται σε αυτοκίνητο παραγωγής σήμερα είναι αυτό που τοποθετείται στα Mitsubishi Evo VII και EVO VIII. Πρόκειται για ένα σύστημα που κατασκευάστηκε και εξελίχθηκε αποκλειστικά για τους αγώνες ράλι, στους οποίους η Mitsubishi πρωταγωνίστησε, κατακτώντας 4 συνεχόμενα παγκόσμια πρωταθλήματα οδηγών, με τον Tomu Makinen.



Εικόνα 48.

Mitsubishi Evo VII.

Εμπρός υπάρχει ένα συμβατικό μπλοκέ διαφορικό, τύπου Torsen Πίσω, όμως χρησιμοποιείται ένα επαναστατικό διαφορικό μεταβίβασης ροπής, με ενεργητικό σύστημα έλεγχου της περιστροφής, κατά τον κατακόρυφο έλεγχο του οχήματος (Active Yaw Control). Ο τρόπος λειτουργίας του διαφορικού αυτού θυμίζει αρκετά αυτόν του ATTS, δίνοντας ακαριαία απόκριση στο αυτοκίνητο, στις εντολές του τιμονιού.

Στο κέντρο χρησιμοποιείται ένα ηλεκτρονικά ελεγχόμενο διαφορικό συνεχτικής σύζευξης. Η Mitsubishi το ονομάζει ACD (Active Center Differential). Ουσιαστικά, πρόκειται για ένα απλό κεντρικό διαφορικό, μέσα στο οποίο έχει τοποθετηθεί ένας υγρός πολύδισκος συμπλέκτης, ο οποίος ελέγχεται με ένα ηλεκτροϋδραυλικό σύστημα.

Σε ακραίες καταστάσεις, όπως στο έντονο φρενάρισμα, κατά την είσοδο σε μια στροφή με μεγάλη ταχύτητα, το ποσοστό αυτό μπορεί να πλησιάσει το 0 % (σχεδόν ελεύθερο), ενώ σε άλλες, όπως η απότομη επιτάχυνση σε ολισθηρό οδόστρωμα, μπορεί να φτάσει το 100 %, μοιράζοντας ισόποσα τη ροπή μπρος-πίσω 50 % - 50 %. Το σύστημα συλλέγει πληροφορίες για τη θέση και την ταχύτητα περιστροφής του τιμονιού, τη θέση της πεταλούδας του γκαζιού, την ταχύτητα περιστροφής του κάθε τροχού ξεχωριστά, καθώς και για τις διαμήκειες και εγκάρσιες επιταχύνσεις. Τις πληροφορίες αυτές τις συλλέγει η κεντρική μονάδα, που ελέγχει τόσο το ACD, όσο και AYC (αλλά και το ABS) και δίνει εντολές για το κατάλληλο ποσοστό εμπλοκής τόσο του πίσω άξονα, όσο και του κεντρικού διαφορικού. Ο οδηγός μπορεί να επιλέξει ένα από τα τρία προγράμματα λειτουργίας, που αφορούν κίνηση σε ασφάλτο, χωματόδρομο, ή χιόνι.

Στο δρόμο το αυτοκίνητο συμπεριφέρεται υποδειγματικά, εκπλησσοντας ευχάριστα τον οδηγό του με την αμεσότητα των αντιδράσεών του. Μπορεί να κινηθεί τόσο θεαματικά, όσο και αποτελεσματικά. Σε κάθε περίπτωση στην ασφάλτο τα περιθώρια πρόσφυσης είναι τέτοια, που πρακτικά δεν εξαντλούνται ποτέ. Ο οδηγός το μόνο που έχει να κάνει είναι να στρίψει το τιμόνι και να πατήσει το γκάζι. Όλα τα υπόλοιπα τα αναλαμβάνει η ηλεκτρονική μονάδα, που μοιράζει τη ροπή πάντα στους τροχούς που έχουν την περισσότερη πρόσφυση!



Εικόνα 49.

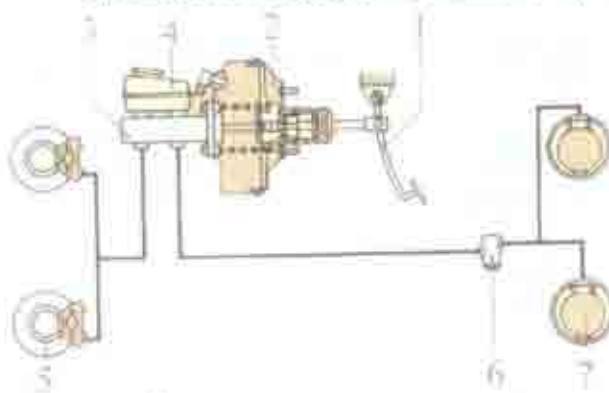
Το ACD της Mitsubishi.



Κεφάλαιο 8: Συστήματα πέδησης

► 8.1 Περιγραφή συστημάτων πέδησης

Προκειμένου να μπορεί να ελαττώνει την ταχύτητά του, κατά βούληση του οδηγού



Σύστημα πέδησης

- | | |
|-------------------------------|----------------------|
| 1 Πεντάλ φρένου | 5 Δισκόφρενο |
| 2 Σύστημα υποβοήθησης (μάρφο) | 6 Κατανομητής πίεσης |
| 3 Κύριος κύλινδρος | 7 Ταμπουρο |
| 4 Δοχείο υγρού φρένων | |

Εικόνα 1.

Τα μέρη ενός τυπικού συστήματος πέδησης.

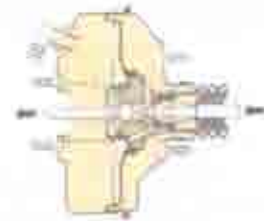
του, να ακινητοποιείται, αλλά και να παραμένει ακινητοποιημένο, ένα οποιοδήποτε όχημα, χρειάζεται τη συμβολή ενός συστήματος πέδησης. Το σύστημα αυτό μετατρέπει την κινητική ενέργεια του αυτοκινήτου σε θερμότητα. Στα σύγχρονα επιβατικά αυτοκίνητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο είδη φρένων, δισκόφρενα και ταμπόρα, που αμφότερα τοποθετούνται στην πλάμη του κάθε τροχού και συνεργάζονται με υδραυλικό κύκλωμα.

Ας πάρουμε όμως τα πράγματα από την αρχή. Ένα τυπικό σύστημα πέδησης αποτελείται από το σέρβο, τον κύριο κύλινδρο με το δοχείο διαστολής του υγρού και τις σωληνώσεις του συστήματος, τον κατανομητή, τα δισκόφρενα (ή τα

ταμπόρα) και το χειρόφρενο.

Το σέρβο είναι ένα σύστημα υποβοήθησης, που χρησιμοποιείται για να πολλαπλασιάζει τη δύναμη που εφαρμόζει ο οδηγός με το πεντάλ, στον υδραυλικό κύλινδρο. Το σύστημα εκμεταλλεύεται την υποπίεση που δημιουργείται στην εισαγωγή του κινητήρα. Όσο πιο μεγάλη είναι η διάμετρος του, τόσο πιο έντονη είναι η υποβοήθηση, αλλά σε βάρος της αίσθησης που έχει ο οδηγός.

Ο κυρίως κύλινδρος αποτελείται από το εξωτερικό περίβλημα και από ένα έμβολο επιφάνειας A , το οποίο μπορεί και ολισθαίνει μέσα σε αυτόν. Το έμβολο πιέζεται από την, πολλαπλασιασμένη από το σέρβο, δύναμη του οδηγού F . Η



Εικόνα 2.

Το έμβολο.



Εικόνα 3.

Ο πολλαπλασιασμός της δύναμης.

κίνηση του εμβόλου

μετατοπίζει το υγρό του υδραυλικού συστήματος και αυξάνει την πίεση του. Στις άκρες των σωληνώσεων υπάρχουν άλλα τέσσερα έμβολα, από ένα σε κάθε τροχό. Το συνολικό εμβαδόν της επιφάνειας αυτών των εμβόλων $\Sigma A_{\text{ακρ}}$, είναι μεγαλύτερο από το A . Δηλαδή θα ισχύει:

$$\Sigma A_{\text{ακρ}} = \lambda A, \text{ όπου } \lambda > 0.$$

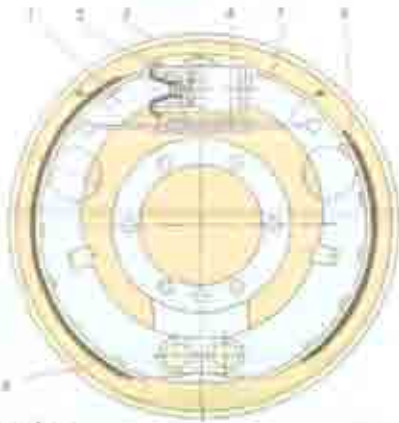
Η εφαρμοζόμενη δύναμη F στην επιφάνεια A του εμβόλου του κεντρικού κύλινδρου, προκαλεί πίεση P που ισούται με

$$P = \frac{F}{A}$$

Η πίεση αυτή είναι ίδια σε κάθε σημείο του υγρού. Άρα, θα είναι ίδια και στην επιφάνεια των εμβόλων των τροχών. Οπότε, θα έχουμε:

$$F_{\text{τροχών}} = P \cdot \Sigma A_{\text{αμφ}} = \lambda \cdot P \cdot A = \lambda \cdot F$$

όπου $F_{\text{τροχών}}$ η συνολική εφαρμοζόμενη δύναμη, στα έμβολα και των τεσσάρων τροχών. Όσο λοιπόν μεγαλύτερος είναι ο λόγος λ του εμβαδού των εμβόλων των τροχών, προς το εμβαδό του κεντρικού κυλίνδρου, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο πολλαπλασιασμός της εφαρμοζόμενης δύναμης. Παράλληλα, όμως, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η διαδρομή, που θα έχει το πεντάλ του φρένου.



Ταμπούρα

- | | |
|-----------|---------------|
| 1 Σπινίτι | 4 Σιαγώνες |
| 2 Εμβόλος | 5 Σπινίτι |
| 3 Πιπέτι | 6 Τάκτο φρένο |

Εικόνα 4.

Ένα τσιπικό ταμπούρι

εσωτερική πλευρά του περιστρεφόμενου ταμπάνου, προκαλώντας ροπή πέδησης στον τροχό. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος του ταμπουρού, ή όσο μεγαλύτερη είναι η εφαρμοζόμενη δύναμη, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και αυτή η ροπή.

Τα ταμπούρα έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής και τα υλικά τριβής τους έχουν πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής, όντας και αρκετά φθηνά. Αυτό συνεπάγεται χαμηλό κόστος κτήσης και συντήρησης. Το σημαντικότερο μειονέκτημα που παρουσιάζουν είναι η ευαισθησία τους

στις υψηλές θερμοκρασίες. Κατά τη διάρκεια έντονης πέδησης η θερμοκρασία ανεβαίνει σε πολύ υψηλά επίπεδα. Αυτό οδηγεί σε διαστολή των ταμπάνων, με αποτέλεσμα τη μείωση της δύναμης φρεναρίσματος.

Τα δισκόφρενα προσφέρουν πολύ καλύτερη απαγωγή της θερμότητας. Πρόκειται για ένα μεταλλικό δίσκο, που προσαρμόζεται στην πλώμη του τροχού, έτσι ώστε να περιστρέφεται μαζί του. Επάνω στην πλώμη, αλλά σταθερά τοποθετημένες είναι και οι δαγκάνες. Εσωτερικά τους φέρουν ένα ή περισσότερα έμβολα (και αυτά αποτελούν απολήξεις του υδραυλικού κυκλώματος). Τα έμβολα αυτά σπρώχνουν τα "τακάκια" πάνω στο δίσκο, μόλις η πίεση στο υδραυλικό σύστημα αυξηθεί, προκαλώντας ροπή πέδησης. Τα τακάκια αποτελούνται από υλικό τριβής χαμηλότερης αντοχής από το δίσκο και αποτελούν το αναλώσιμο στοιχείο του συστήματος. Και εδώ, όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος του δίσκου, ή όσο μεγαλύτερη είναι η εφαρμοζόμενη δύναμη, τόσο

Δισκόφρενα

4 2 1 2

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

4 1 2 5

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

1 1 3

Με ακίνητη δαγκάνη

- | |
|---------------|
| 1 Τάκτο φρένο |
| 2 Εμβόλος |
| 3 Σπινίτι |

Με κινούμενη δαγκάνη

- | |
|-----------|
| 1 Δαγκάνη |
| 2 Εμβόλος |
| 3 Σπινίτι |

Εικόνα 5.

Απλοποιημένο σταθμεύς και απλοποιημένη δαγκάνη

μεγαλύτερη θα είναι και η ροπή πέδησης.

Τα δισκόφρενα πλεονεκτούν στην ικανότητα ψύξης. Αυτό σημαίνει ότι αυτή η διάταξη μπορεί να διαχειριστεί πολύ μεγαλύτερα ποσά θερμότητας (που έχουν προέλθει από μετατροπή κινητικής ενέργειας), χωρίς πρόβλημα. Η απόδοσή τους είναι πιο σταθερή, σε ευρύτερο φάσμα θερμοκρασιών. Ιδιαίτερα στην περίπτωση των αεριζόμενων δισκόφρενων, το πλεονέκτημα αυτό γίνεται ακόμα πιο έντονο. Πρόκειται ουσιαστικά για δύο δίσκους παράλληλα τοποθετημένους, με ένα μικρό κενό ανάμεσά τους. Πολλές φορές είναι και διάτρητοι ή χαραγμένοι κάτι που βοηθά την επιφάνειά τους να μένει καθαρή. Παράλληλα, με τα παραπάνω, τα δισκόφρενα έχουν και ευκολότερη συντήρηση, αφού δε χρειάζεται να λιωθεί όλο το σύστημα, για την αντικατάσταση των υλικών τριβής.

Στον αντίποδα, μπορεί να έχουν ευκολότερη, αλλά απαιτούν και πολύ πιο συχνή συντήρηση, ενώ και τα αναλώσιμά τους κοστίζουν αρκετά παραπάνω. Παραπάνω, όμως, κοστίζει και ολόκληρο το σύστημα. Τα μειονεκτήματα, πάντως αυτά (ευτυχώς) δεν έχουν καταφέρει να τους στερήσουν τη σχεδόν αποκλειστική χρήση στα μπροστινά συστήματα πέδησης όλων των επιβατικών αυτοκινήτων που κυκλοφορούν σήμερα, περιορίζοντας τα ταμπούρα μόνο στον πίσω άξονα μερικών φθηνών και ελαφριών μοντέλων.

► 8.2 Κατανόηση πέδησης - σύστημα ABS

Με τον τρόπο, λοιπόν, που περιγράφηκε παραπάνω έχουμε καταφέρει να εφαρμόσουμε ροπή πέδησης στους τροχούς. Πόση, όμως, πρέπει να είναι αυτή η ροπή; Η ισχύς του συστήματος πρέπει να είναι τόσο, ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί σε καταστάσεις επιβράδυνσης από υψηλή ταχύτητα, σε ελαφρά καταφρέια, υπό πλήρες φορτίο. Στη δυσμενέστερη, δηλαδή περίπτωση

Δε φτάνει, όμως, αυτό από μόνο του. Κατά το φρενάρισμα έχουμε μεταφορά βάρους



Εικόνα 8.

Κατά το φρενάρισμα παρατηρείται μεταφορά βάρους στον μπροστινό άξονα, ανεξάρτητα από την αρχική κατανομή.

στον μπροστινό άξονα, ακόμα και στην περίπτωση που το αυτοκίνητο είναι τέλεια ζιγισμένο, ανάμεσα στους δύο άξονες όταν είναι σταματημένο. Η απόδειξη είναι πανεύκολη. Ας θεωρήσουμε ένα αυτοκίνητο που φρενάρει, έχοντας ευθεία τους τροχούς του, όπως αυτό της φωτογραφίας. Σε κάθε επιμέρους χρονική στιγμή το αυτοκίνητο ισορροπεί, οπότε:

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow T_f + T_r = F_g, \quad \Sigma \tau / \sigma_H = 1,$$

όπου T_f και T_r είναι η τριβή (δύναμη πέδησης) των μπροστινών και πίσω τροχών, αντίστοιχα, και F_a είναι η δύναμη αδράνειας.

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow A_f + A_r = B, \text{ Σχίσμα 8-2,}$$

όπου A_f και A_r είναι οι αντιδράσεις των μπροστινών και πίσω τροχών, αντίστοιχα, και B το βάρος του οχήματος.

$$\Sigma M_G = 0 \Rightarrow F_a \cdot a + A_r \cdot l = B \cdot (l - b) \Rightarrow A_r = B \left(1 - \frac{b}{l} \right) - F_a \frac{a}{l}, \text{ Σχίσμα 8-3,}$$

όπου F_a η δύναμη αδράνειας, a η απόσταση του κέντρου βάρους από το έδαφος, l το μεταξόνιο και b η απόσταση της προβολής του κέντρου βάρους στο έδαφος, από τον πίσω άξονα. Αντικαθιστώντας τη σχέση 8-3 στη σχέση 8-2, θα έχουμε:

$$A_f = B - A_r = B \frac{b}{l} + F_a \frac{a}{l}, \text{ Σχίσμα 8-4.}$$

Στην περίπτωση που έχουμε ιδανική στατική κατανομή βάρους, θα έχουμε ότι $b = \frac{l}{2}$, οπότε:

$$A_f = \frac{B}{2} + F_a \frac{a}{l}, \text{ Σχίσμα 8-5 και } A_r = \frac{B}{2} - F_a \frac{a}{l}, \text{ Σχίσμα 8-6.}$$

Σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα ένα σώμα μάζας m που επιταχύνεται (ή επιβραδύνεται) με επιτάχυνση γ δέχεται αδρανειακή δύναμη F_a ίση με:

$$F_a = m \cdot \gamma = \frac{B}{g} \cdot \gamma, \text{ Σχίσμα 8-7,}$$

όπου g η επιτάχυνση της βαρύτητας. Αντικαθιστώντας τη σχέση 8-7 στις σχέσεις 8-5 και 8-6, έχουμε:

$$A_f = B \left(\frac{1}{2} + \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{a}{l} \right), \text{ Σχίσμα 8-8 και } A_r = B \left(\frac{1}{2} - \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{a}{l} \right), \text{ Σχίσμα 8-9.}$$

Από τις σχέσεις 8-8 και 8-9 γίνεται φανερό ότι η μεταφορά βάρους, κατά το φρενάρισμα, είναι ανάλογη της επιβράδυνσης γ και της απόστασης του κέντρου βάρους από το έδαφος a και αντιστρόφως ανάλογη του μεταξονίου l . Επειδή το κέντρο βάρους δεν πρόκειται ποτέ να κατέβει στην επιφάνεια του δρόμου, θα εμφανίζεται πάντοτε μεταφορά βάρους, κάθε φορά που εμφανίζεται επιβράδυνση γ , ανεξάρτητα από την αρχική στατική κατανομή του βάρους.

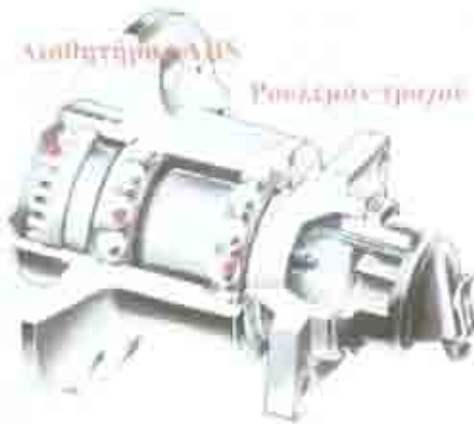


Εικόνα 7.

Ο μηχανισμός κατανομής πέδησης χρησιμοποιείται ποσεισ-εφρεναστικά.

Το γεγονός αυτό αναγκάζει τους κατασκευαστές να χρησιμοποιούν πιο αδύναμα συστήματα πέδησης, στους πίσω τροχούς. Αυτό όμως από μόνο του δεν είναι αρκετό. Προκειμένου να αποφευχθεί το μπλοκάρισμα των πίσω τροχών, χρειάζεται μια διαρκής μεταβολή της δύναμης πέδησης των πίσω τροχών, ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες. Τη δουλειά αυτή την κάνει ο κατανεμητής. Πρόκειται για μια μηχανική βαλβίδα που συνδέεται στην πίσω ανάρτηση. Ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν (φορτίο αυτοκινήτου, κλίση δρόμου) και τη σφοδρότητα της πέδησης ανιχνεύεται η πίσω ανάρτηση. Ο κατανεμητής είναι έτσι συνδεδεμένος, ώστε να μπορεί να "αντλαμβάνεται" αυτό ακριβώς το φαινόμενο και να προσαρμόζει τη σφοδρότητα της πέδησης του πίσω άξονα, ανά πάσα στιγμή, παίρνοντας υπ' όψιν του τα πραγματικά δεδομένα.

αντιμπλοκαρίσματος των τροχών, γνωστότερα και ως ABS (Anti-lock Braking System). Πρόκειται για ένα σύστημα που ελέγχει ηλεκτρονικά τη δύναμη που εφαρμόζεται σε κάθε τροχό, ξεχωριστά.



Εικόνα 10.

Ο αισθητήρας του ABS είναι τοποθετημένος μέσα στην πλάτη του τροχού.

οποίο θα συγκρίνονται οι ταχύτητες περιστροφής όλων των άλλων τροχών, αφού σε ένα φρενάρισμα όλοι οι τροχοί ολισθαίνουν. Τα πρώτα συστήματα έδιναν μεγαλύτερες αποστάσεις ακινητοποίησης. Σήμερα, όμως, οι αλγόριθμοι ελέγχου έχουν εξελιχτεί σε τέτοιο βαθμό, που δίνουν κορυφαίες αποστάσεις ακινητοποίησης, σε πληθώρα οδοστρωμάτων. Το σημαντικότερο, δε, είναι ότι οι επιδόσεις αυτές είναι πλήρως επαναλήψιμες και για να τις επιτύχει ο οδηγός δε χρειάζεται να έχει κάποιες ιδιαίτερες ικανότητες. Το μόνο που χρειάζεται να κάνει είναι να πατά, με όλη του τη δύναμη, το πεντάλ του φρένου!

Μέρος της ευθύνης, για την πολύ καλή συμπεριφορά ενός σύγχρονου συστήματος ABS, ανήκει σε ένα υποσύστημα, με το οποίο συνεργάζεται. Πρόκειται για τον ηλεκτρονικό κατανεμητή της δύναμης πέδησης. Οι κατανεμητές αυτοί ελέγχονται από την κεντρική μονάδα και δίνουν τη δυνατότητα στο σύστημα να ελέγχει τη δύναμη φρεναρίσματος του κάθε τροχού ξεχωριστά, έτσι ώστε να αποφεύγεται υποστροφή, ή υπερστροφή, κατά τη διάρκεια πέδησης σε στροφές. Όλα τα σύγχρονα συστήματα έχουν τέτοιους κατανεμητές, αλλά ο καλύτερος είναι το CBC (Cornering Brake Control, δηλαδή έλεγχος φρεναρίσματος σε στροφές) που χρησιμοποιείται αποκλειστικά από τη BMW.

Το ευφυέστατο αυτό σύστημα προσδιορίζει, βάσει των δεδομένων που παίρνει από τους αισθητήρες του ABS, την πλευρική επιτάχυνση του αυτοκινήτου. Με τον τρόπο αυτό μπορεί και "αντιλαμβάνεται" τις στροφές. Όταν αντιληφθεί ότι συνυπάρχει φρενάρισμα και στρίψιμο, δίνει εντολή να φρενάρι, δυνατότερα από όλους, ο εμπρός εξωτερικός τροχός. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η εμφάνιση υπερστροφής, εξ' αιτίας της μεταφοράς βάρους. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα στους πίσω τροχούς να συνεισφέρουν περισσότερο στην πέδηση, χωρίς τον κίνδυνο εμφάνισης υπερστροφής. Τα αποτελέσματα στο δρόμο είναι εντυπωσιακά,

Η κεντρική μονάδα λαμβάνει πληροφορίες για την ταχύτητα περιστροφής του κάθε τροχού ξεχωριστά και τις συγκρίνει μεταξύ τους. Ένας δεύτερος αισθητήρας είναι τοποθετημένος στο τιμόνι και πληροφορεί το σύστημα για τη γωνία στροφής του τιμονιού. Μόλις το σύστημα αντιληφθεί ολίσθηση ενός τροχού, πέρα από κάποιο ορισμένο όριο, δίνει εντολή στον κατανεμητή (που εδώ είναι συνδεδεμένος με όλους τους τροχούς) να ελευθερώσει την αντίστοιχη δαγκάνα, για κάποια κλάσματα του δευτερολέπτου. Αυτό προσφέρει τη δυνατότητα στον τροχό να ξαναβρεί την πρόσφυση του και να ξαναφρενάρι αποτελεσματικότερα. Κυρίως, όμως, του δίνει τη δυνατότητα να αναπτύξει μεγάλες ποσότητες πλευρικής πρόσφυσης, επιτρέποντας την ταυτόχρονη εκτέλεση ελιγμών.

Η όλη δυσκολία στη σωστή ρύθμιση του συστήματος είναι το ποιος τροχός θα χρησιμοποιείται ως τροχός αναφοράς, ως προς τον



Εικόνα 11.

Η BMW είναι η μοναδική εταιρεία που χρησιμοποιεί το CBC.

αφού τα αυτοκίνητα, που είναι εφοδιασμένα με αυτό το σύστημα, μπορούν να στρίβουν και να φρεναίνουν με μεγάλη σφοδρότητα, ταυτόχρονα.

► 8.3 Τελευταίες εξελίξεις (BAS - Κεραμικά δισκώφρενα).

Στον τομέα της πέδησης έχουν παρουσιαστεί σημαντικές βελτιώσεις τα τελευταία χρόνια. Βλέπετε, η τάση για όλο και πλουσιότερο εξοπλισμό, σε συνδυασμό με την απαίτηση για καλύτερη παθητική ασφάλεια, έχουν οδηγήσει σε διαρκή αύξηση του βάρους. Παράλληλα, η βελτίωση των κινήτρων, συνεπαγεται διατήρηση, ή και βελτίωση των επιδόσεων, από μοντέλο σε μοντέλο. Τα παραπάνω σημαίνουν ότι τα σύγχρονα συστήματα πέδησης έχουν πολύ πιο δύσκολο έργο να επιτελέσουν, σε σχέση με τα παλαιότερα. Έτσι, οι κατασκευαστές αντέδρασαν άμεσα, εξοπλίζοντας τα σημερινά αυτοκίνητα με πολύ ισχυρά συστήματα, πέδησης.

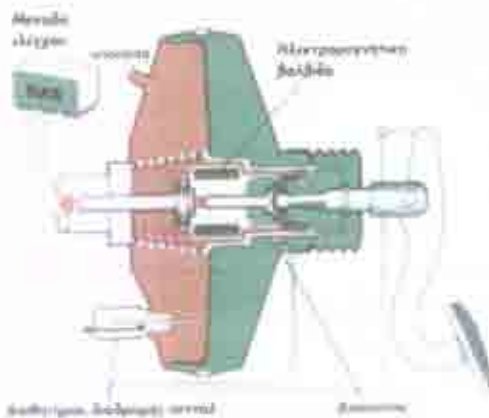
Αξίζει να παρατηρήσετε τη διάμετρο των ζαντών των σύγχρονων μικρομεσαίων αυτοκινήτων. Από τις 13", που ήταν πριν μερικά χρόνια, σήμερα, στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι 15", σε μια προσπάθεια να χωρέσουν οι πολύ μεγαλύτεροι δίσκοι του συστήματος πέδησης!



Όσον αφορά τα ηλεκτρονικά, η τελευταία λέξη της τεχνολογίας ακούει στο όνομα BAS (Brake Assist System, δηλαδή σύστημα ενίσχυσης φρεναρίσματος). Το σύστημα αυτό εξελίχθηκε από τη Bosch, για λογαριασμό της Mercedes και σήμερα χρησιμοποιείται σε αρκετά αυτοκίνητα.

Οι μηχανικοί της Mercedes πραγματοποίησαν μελέτες για την αντίδραση των οδηγών, κατά τη διάρκεια φρεναρισμάτων πανικού. Παρατήρησαν, λοιπόν, ότι οι περισσότεροι οδηγοί είτε αργούν να πατήσουν το φρένο, είτε δεν το πατούν ποτέ με όση δύναμη χρειάζεται, φοβούμενοι (αδυναμιάσθητα) το μπλόκαρισμα. Το γεγονός αυτό, μπορεί σε πολλές περιπτώσεις να αποδειχτεί μοιραίο.

Το BAS αντιλαμβάνεται την πρόθεση του οδηγού για φρενάρισμα πανικού. Αυτό γίνεται από έναν αισθητήρα που είναι τοποθετημένος στο πεντάλ του γκαζιού και παρατηρεί την ταχύτητα κίνησής του, πληροφορώντας την κεντρική μονάδα. Στο πεντάλ του φρένου είναι τοποθετημένος ένας διακόπτης, που πληροφορεί και αυτός την κεντρική μονάδα, για τυχόν πάτημα του μεσαίου πεντάλ. Ακόμα, το σέρβο έχει στο εσωτερικό του μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα. Αυτή του δίνει τη δυνατότητα να εφαρμόσει ακαριαία τη μέγιστη δυνατή δύναμη, που μπορεί να επιτύχει, ανεξάρτητα από την εφαρμοζόμενη σε αυτό, από τον οδηγό, δύναμη.



Εικόνα 12.

Το σύστημα BAS και το διαγραμμι κεντρικής μονάδας του.

Μόλις η κεντρική μονάδα αντιληφθεί ότι ο οδηγός αφήνει το γκαζί με μεγάλη ταχύτητα και ακοιμάει το πεντάλ του φρένου (κάτι που δηλώνει ενστικτώδη αντίδραση), δίνει εντολή να ενεργοποιηθεί η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα στο σέρβο, επιτυγχάνοντας τη μέγιστη δύναμη, σε ολόκληρο το σύστημα πέδησης ανεξάρτητα από τη δύναμη που εφαρμόζει ο οδηγός! Η Mercedes κάνει λόγο για μια μείωση της απόστασης ακινητοποίησης που φτάνει, σε πραγματικές συνθήκες πανικού, το 45%. Στην πράξη, το σύστημα λειτουργεί περίφημα, προσφέροντας όντως μικρότερες αποστάσεις ακινητοποίησης, λόγω της άμεσης ενεργοποίησής του.

Με όλα αυτά, οι κατασκευαστές έχουν καταφέρει να επιτύχουν πολύ καλές αποστάσεις ακινητοποίησης, στα επιβατικά αυτοκίνητα. Δε συμβαίνει όμως, το ίδιο και στην κατηγορία των πολύ γρήγορων σπορ αυτοκινήτων. Οι κινητήρες τους αποδίδουν πολύ μεγάλες υποδυνάμεις, η αεροδυναμική και το στήσιμό τους είναι κορυφαία και έτσι η επίτευξη πολύ υψηλών μέσων ωριαίων ταχυτήτων είναι πολύ εύκολη υπόθεση, για τον κάθε υπονήφιο οδηγό. Ο ίδιος, φυσικά, δε δέχεται να κάνει κανένα συμβιβασμό, σε επίπεδο εξοπλισμού, έχοντας δαπανήσει ένα σημαντικό ποσό, για την αγορά ενός τέτοιου αυτοκινήτου. Έτσι και το βάρος έχει εκτοξευτεί στα ύψη, φτάνοντας σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμα και τα 1.800 kg (Ferrari 612 Scaglietti). Έτσι, αναγκαστικά η έρευνα έπρεπε να κατευθυνθεί προς την εξεύρεση νέων υλικών κατασκευής, αφού τα κλασικά συστήματα έχουν φτάσει στο όριο της εξέλιξής τους.

Ένα γνωστό υλικό, με πολύ καλές επιδόσεις σε σκληρή χρήση, είναι τα ανθρακονήματα. Είναι το μοναδικό υλικό στον πλανήτη, που μπορεί να συνδυάσει πολύ μεγάλη αντοχή, με μικρό βάρος, ενώ παράλληλα, αντέχει σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Το πολύ μεγάλο κόστος της κατασκευής δίσκων από ανθρακονήματα, τους έχει εκτοπίσει στην αποκλειστική χρήση στους αγώνες Formula 1. Για να δώσουμε μια τάξη μεγέθους, αρκεί να πούμε ότι ο κάθε δίσκος χρειάζεται περίπου 2 kg ανθρακονήματα, για να κατασκευαστεί, τη στιγμή που η τιμή του κάθε κιλού υπερβαίνει τα 300 €! Και δεν είναι μόνο αυτό. Ο κάθε δίσκος, για να γίνει χρειάζεται να φουρνιστεί σε κλίβανο υψηλής θερμοκρασίας (άνω των 2.000 °C, για έναν με δύο μήνες! Καταλαβαίνετε λοιπόν για τι κόστος μιλάμε.



Εικόνα 13.

Οι δίσκοι από ανθρακονήματα χρησιμοποιούνται μόνο στη Formula 1. Σε πρώτο πλάνο οι δίσκοι της Ferrari.

Στα πανάκριβα υπεραυτοκίνητα, όμως, ουσιαστικά δεν τίθεται θέμα κόστους. Γιατί κανένας κατασκευαστής δεν τους υιοθέτησε. Η απάντηση βρίσκεται στο ότι παρά τα αδιαμφισβήτητα πλεονεκτήματά τους, σε συνθήκες αγώνα, οι δίσκοι από ανθρακονήματα παρουσιάζουν ένα τεράστιο μειονέκτημα, που τους καθιστά επικινδύνους, για χρήση σε αυτοκίνητα παραγωγής. Ο συντελεστής τριβής τους μεταβάλλεται έντονα, με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Αυτό σημαίνει ότι πιέζοντας το πεντάλ του φρένου, δεν έχουμε σχεδόν καμία επιβράδυνση, μέχρι να αυξηθεί αρκετά η θερμοκρασία του δίσκου (στη F 1 έχουμε

θερμοκρασίες λειτουργίας της τάξης των 900 °C). Από εκεί και πέρα, ο δίσκος λειτουργεί τέλεια, με την προϋπόθεση πως θα διατηρείται η θερμοκρασία του κοντά σε αυτά τα επίπεδα. Αυτός είναι και ο λόγος που οι πιλότοι F 1, κατά τη διάρκεια του γύρου της προθέρμανσης κινούνται σπασμωδικά, με συνεχείς επιταχύνσεις-επιβραδύνσεις. Αυτός είναι, όμως, και ένας από τους λόγους που οι πιστές στις οποίες διεξάγεται το πρωτάθλημα δεν έχουν πολύ μεγάλες ευθείες, για να μην προλάβει η θερμοκρασία των δίσκων να πέσει αρκετά.

Είναι κατανοητό ότι τα χαρακτηριστικά αυτά τους καθιστούν εντελώς ακατάλληλους για χρήση σε αυτοκίνητα παραγωγής. Εκτός των άλλων είναι αδύνατη και η συνεργασία τους με οποιασδήποτε μορφής σύστημα ABS, αφού το σύστημα θα έπρεπε να λαμβάνει υπ' όψιν του και τη θερμοκρασία των δίσκων, ώστε να υπολογίζει την απαραίτητη δύναμη πέδησης. Φυσικά, αφού η θερμοκρασία μεταβάλλεται, κατά τη διάρκεια της πέδησης, θα έπρεπε να μεταβάλλεται ανάλογα και η δύναμη πέδησης. Και για να γίνει ακόμα πιο σύνθετο το πρόβλημα, να αναφέρουμε ότι οι δίσκοι από άνθρακονήματα έχουν την τάση

να απορροφούν την υγρασία, μηδενίζοντας το συντελεστή τριβής τους, τουλάχιστον μέχρι να ανεβεί η θερμοκρασία τους τόσο, ώστε να προκαλέσει την πλήρη ξήρανσή τους.

Παρ' όλα αυτά, οι μηχανικοί δεν έπαψαν να αναζητούν τρόπους λύσεως αυτών των προβλημάτων. Βλέπετε, οι δίσκοι αυτοί, μπορεί να είχαν παραπλήσιο συντελεστή τριβής με τους μαντεμένιους (με ελαφρά υπεροχή του μαντεμιού), αλλά η αντοχή τους στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες έδινε τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν πολύ υψηλές πιέσεις λειτουργίας στο σύστημα πέδησης, χωρίς να κινδυνεύει ο δίσκος να χάσει τη μηχανική συνοχή του, ακόμα και στην περίπτωση συνεχών παρατεταμένων επιβραδύνσεων, από υψηλή ταχύτητα. Παράλληλα, το βάρος τους είναι κατά πολύ χαμηλότερο, φτάνοντας μόλις το 40 % των αντίστοιχων μαντεμένων δίσκων. Και το γεγονός αυτό



Εικόνα 14.

Το κεραμικό δισκόφρενο της Porsche.

έχει τρομερά οφέλη στον τομέα της οδικής συμπεριφοράς, ιδιαίτερα σε ένα πολύ ελαφρύ μονοθέσιο.

Τη λύση βρήκαν οι μηχανικοί της Porsche, που ήταν οι πρώτοι που κατασκεύασαν κεραμικούς δίσκους. Οι δίσκοι αυτοί διαθέτουν έναν σκελετό από άνθρακονήματα (ουσιαστικά μιλάμε για καθαρό άνθρακα C), μέσα στον οποίο έχει χυτευθεί υγρό πυρίτιο (Si), με τρόπο που θυμίζει τη διαδικασία κατασκευής του σκυροδέματος. Τα δύο υλικά, υπό καθεστώς υψηλών θερμοκρασιών, ενώνονται σχηματίζοντας καρβίδιο του πυριτίου (SiC).

Πρόκειται για μια χημική ένωση με πολύ μεγάλη σκληρότητα, αλλά και εξαιρετική θερμική αγωγιμότητα.

Τα χαρακτηριστικά αυτά θυμίζουν πολύ το διαμάντι. Και πράγματι έτσι είναι, αφού, όταν βρίσκεται σε καθαρή μορφή, μόνο ειδικοί μπορούν να τη ξεχωρίσουν από αυτό. Η όλη διαδικασία είναι πολύ πιο φτηνή και γρήγορη, αφού ολοκληρώνεται σε μια μόλις μέρα.

Οι δίσκοι που φτιάχνονται από αυτό το υλικό έχουν παραπλήσια



Εικόνα 15.

Η Porsche 911 GT2 ήταν το πρώτο αυτοκίνητο πωλημένο στον κόσμο που είχε στο βασικό εξοπλισμό του κεραμικά δισκόφρενα.

μηχανική αντοχή, με αυτούς που είναι κατασκευασμένοι εξ' ολοκλήρου από ανθρακονήματα, αλλά πολύ σκληρότερη επιφάνεια. Διατηρούν τα πλεονεκτήματα του πολύ μικρού βάρους και της εξαιρετικής θερμικής αγωγιμότητας, ενώ παράλληλα δεν αντιμετωπίζουν κανένα πρόβλημα οξείδωσης. Το μεγάλο πλεονέκτημα, όμως των κεραμικών δίσκων είναι ο σταθερός συντελεστής τριβής τους, σε ένα τεράστιο εύρος θερμοκρασιών. Από το πρώτο πάτημα του πεντάλ, όσο ελαφρύ και αν είναι αυτό, παρουσιάζουν ικανοποιητικότερο συντελεστή τριβής. Κατά συνέπεια, μπορούν να συνεργαστούν τόσο με ένα σύστημα ABS, όσο και με ένα σύστημα ηλεκτρονικού ελέγχου της ευστάθειας. Παράλληλα, μπορούν να συνεχίσουν να αποδίδουν ικανοποιητικά, ακόμα και αν η θερμοκρασία τους φτάσει σε πολύ υψηλά επίπεδα. Φυσικά, η θερμοκρασία της επιφάνειάς τους αργεί πολύ να ανέβει, εξ' αιτίας της θερμικής αγωγιμότητας του υλικού κατασκευής.



Εικόνα 16.

Η Ferrari Enzo δε θα μπορούσε να μη φορμάει δίσκόςφρινα από ανθρακονήματα.

μάλλον δύσκολο να το δούμε σε φτηνότερα αυτοκίνητα, στο άμεσο μέλλον. Ήδη, όμως έχει γενικευτεί η χρήση του σε όλα τα υπερυψηλών επιδόσεων σπορ αυτοκίνητα (όπως η Ferrari Enzo και η Porsche Carrera GT).

Το πρώτο αυτοκίνητο που μπορούσε να εξοπλιστεί προαιρετικά με αυτούς τους δίσκους ήταν η Porsche 911 Turbo, ενώ το πρώτο που τους διέθετε στο στάνταρ εξοπλισμό του ήταν η 911 GT2. Η γερμανική εταιρεία έχει τέτοια εμπιστοσύνη στο σύστημα πέδησής της, που εγγυάται ότι δε θα χρειαστεί καμία συντήρηση (ούτε αλλαγή των υλικών τριβής) για τουλάχιστον 300.000 km, υπό φυσιολογικές συνθήκες χρήσης! Και αν οι δίσκοι αυτοί έχουν τόσο μεγάλη διάρκεια ζωής σε ένα σπορ αυτοκίνητο σαν την 911 Turbo, γίνεται κατανοητό το πόσο θα μπορούσαν να αντέξουν σε ένα οικογενειακό αυτοκίνητο.

Πρόκειται σίγουρα για το καλύτερο σύστημα πέδησης που έχει κατασκευαστεί μέχρι σήμερα. Παρουσιάζει σιωρεία πλεονεκτημάτων και μόνο ένα μειονέκτημα. Το πολύ μεγάλο κόστος κατασκευής του. Γι' αυτό το λόγο, είναι



Κεφάλαιο 9: Αεροδυναμική.

► 9.1 Αντίσταση στη ροή του αέρα.

Η Γη μας περιβάλλεται από ατμόσφαιρα. Όπως όλοι ξέρουμε, πρόκειται για ένα μείγμα αερίων (με το οξυγόνο O_2 να κατέχει περίπου το 21 %, το άζωτο N_2 το 78 % και το υπόλοιπο 1 % να κατέχεται από διάφορα άλλα αέρια, όπως Ar , CO_2 , ευγενή αέρια και ιχνοστοιχεία), που έλκονται από τη μάζα της Γης, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται γύρω της. Τα αέρια αυτά έχουν μια μικρή, αλλά όχι αμελητέα, πυκνότητα. Στην επιφάνεια της



Εικόνα 1.

Η ροή του αέρα, γύρω από το αυτοκίνητο, γίνεται κατανωτή στην αεροδυναμική σήματτα. (Στην πράξη, κατά τη ροή δεν είναι τόσο ομοιή.)

θάλασσας, η μάζα αυτή έχει πίεση περίπου 1 atm. Όταν περπατάμε στο δρόμο, σπάνια αντιλαμβανόμαστε ότι συσπαστικά κινούμαστε μέσα σε ένα ρευστό μέσο.

Δε συμβαίνει όμως, το ίδιο και με τα αυτοκίνητα, τα οποία διαθέτουν μεγαλύτερο όγκο και αναπτύσσουν πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα. Η διαταραχή, στη ροή του αέρα γύρω από το αυτοκίνητο, είναι έντονη και τυρβώδης. Σύμφωνα με τη ρευστομηχανική, η δύναμη F_d , που ασκείται σε ένα σώμα το οποίο βρίσκεται μέσα σε ρεύμα τυρβώδους ροής, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$F_d = \frac{1}{2} C_d A \rho U^2, \text{ Σχίσση 9-1.}$$

όπου F_d η αεροδυναμική αντίσταση, C_d ο συντελεστής οπισθέλκουσας, A το εμβαδόν της μετωπικής επιφάνειας, ρ η πυκνότητα του αέρα και U η σχετική ταχύτητα του σώματος, ως προς το ρεύμα αέρα.



Εικόνα 2.

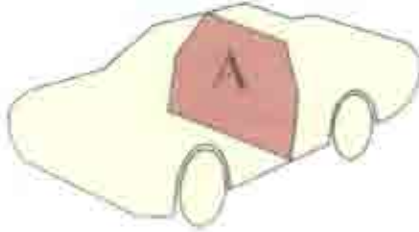
Το σχήμα του Toyota GT 1 αποτελείται από πολλές εννομένες σταγόνες.

Ο συντελεστής οπισθέλκουσας C_d , πήρε το όνομά του από τον άξονα των x , με τον οποίο συχνά ταυτίζεται η κίνηση του αυτοκινήτου. Συχνά αναφέρεται και σαν C_d από την αγγλική λέξη drag, που σημαίνει αντίσταση στον αέρα. Σε κάθε περίπτωση, η τιμή του εξαρτάται από το σχήμα του αυτοκινήτου και ιδιαίτερα από τη μορφή του πίσω μέρους. Το ιδανικό αεροδυναμικό σχήμα είναι αυτό της σταγόνας. Βλέπετε, το νερό, επειδή είναι σε υγρή μορφή, δεν έχει προκαθορισμένο σχήμα. Πέφτοντας παίρνει το σχήμα εκείνο, που συνελάγεται τις μικρότερες απώλειες ενέργειας. Φυσικά, το

σχήμα αυτό είναι αδύνατο να δοθεί σε ένα αυτοκίνητο. Αρκετά αγωνιστικά αυτοκίνητα πλησιάζουν τη μορφή της σταγόνας, αλλά και πάλι η ύπαρξη τροχών περιορίζει τους σχεδιαστές. Φυσικά, τα επιβατικά αυτοκίνητα υπόκεινται σε πολύ περισσότερους συμβιβασμούς, αφού θα πρέπει να είναι ευρύχωρα και με καλή ορατότητα.

Τα περισσότερα σύγχρονα αυτοκίνητα έχουν C_d κοντά στο 0,3. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα μεγαλύτερα σε μήκος σχήματα προσφέρουν καλύτερη αεροδυναμική, σε σχέση με τα κοντότερα. Σημαντικό ρόλο παίζει η διαμόρφωση του μπροστινού τμήματος, αφού τα "απόνερά" του διατρέχουν όλο το υπόλοιπο αμάξωμα. Ακόμα σημαντικότερο, όμως, φαίνεται να παίζει η μορφή του πίσω μέρους και ιδιαίτερα η αποφυγή της δημιουργίας

στροβίλων. Οι σχεδιαστές δίνουν ιδιαίτερη προσοχή σε κάθε σημείο του αμαξώματος. Ιδιαίτερα προσέχουν την περιοχή των μπροστινών κολόνων, την κλίση του μπροστινού και του πίσω παρ-μπριζ, τους εξωτερικούς καθρέπτες, τα πόμολα των θυχρών, καθώς και τους αρμούς, ανάμεσα στις πόρτες. Η όλη προσπάθεια εστιάζεται στην όσο το δυνατό ομαλότερη ροή του αέρα, γύρω από το αυτοκίνητο. Πιθανά σημεία αποκόλλησης της ροής συνεπάγονται αεροδυναμικούς θορύβους και πρόσθετη κατανάλωση ενέργειας, άρα μειωμένη άνεση και αυξημένη κατανάλωση.



Εικόνη 3.

Ο ορισμός της μετωπικής επιφάνειας.

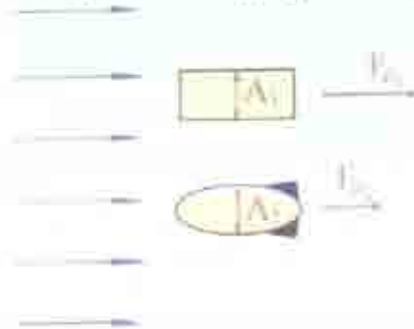
Η μετωπική επιφάνεια ορίζεται σαν το εμβαδόν της τομής του σώματος, σε διεύθυνση κάθετη της ροής, στο σημείο που εμφανίζει τη μέγιστη διατομή του. Έχει επικρατήσει να θεωρείται αεροδυναμικό ένα όχημα, που έχει μικρό συντελεστή οπισθέλκουσας. Το στοιχείο, μάλιστα, αυτό συχνά διαφημίζεται και τονίζεται ιδιαίτερα, από τους κατασκευαστές. Σωστότερο θα ήταν να δίνεται στη δημοσιότητα το γινόμενο $C_x \cdot A$, αφού από αυτό εξαρτάται το πόσο αεροδυναμικό είναι το σχήμα ενός αυτοκινήτου. Ένα μονοθέσιο της Formula 1, για παράδειγμα, παρουσιάζει C_x κοντά στο 0,7 (εξ' αιτίας των αεροδυναμικών βοηθημάτων του), αλλά η συνολική αεροδυναμική αντίσταση του είναι μικρότερη, από τα περισσότερα σύγχρονα

επιβατικά, λόγω του ότι η μετωπική του επιφάνεια είναι κατά πολύ μικρότερη.

Σύμφωνα με τη σχέση 9-1, η αεροδυναμική αντίσταση είναι ανάλογη της πυκνότητας ρ , του αέρα. Η πυκνότητα αυτή δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από το υψόμετρο, την τοποθεσία, αλλά και τη θερμοκρασία, στην οποία πραγματοποιείται η κίνηση του αυτοκινήτου. Είναι πάντως λογικό, ότι όσο πυκνότερος είναι ο αέρας, τόσο δυσκολότερο είναι για το αυτοκίνητο να τον διασχίσει.

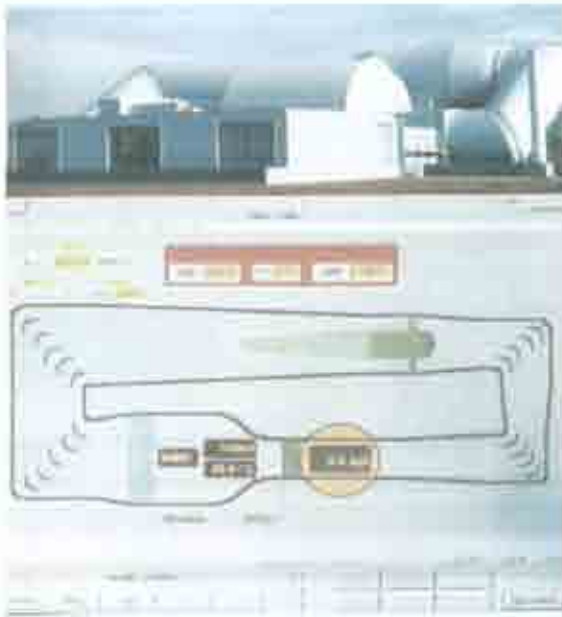
Για το τέλος αφήσαμε τη σχετική ταχύτητα του αυτοκινήτου, ως προς τον αέρα U . Η σχέση 9-1, έχει προέλθει, σε μεγάλο βαθμό, από επεξεργασία πειραματικών δεδομένων. Η πράξη, λοιπόν, μας λέει ότι η αντίσταση του αέρα είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας U . Αυτό σημαίνει ότι αν η ταχύτητα διπλασιαστεί, η αεροδυναμική αντίσταση θα γίνει τέσσερις φορές μεγαλύτερη. Αυτός είναι και ο λόγος που στις μικρές ταχύτητες μπορούμε να κρατήσουμε άνετα το χέρι μας έξω από το παράθυρο, ενώ, όσο η ταχύτητα μεγαλώνει, θα πρέπει να καταβάλουμε δυσανάλογα μεγαλύτερη προσπάθεια.

Όλοι οι κατασκευαστές δίνουν σημασία στην αεροδυναμική, αφού από αυτή εξαρτάται, σε μεγάλο βαθμό, η κατανάλωση. Επειδή, όμως, όσο η ταχύτητα ανεβαίνει, τόσο μεγαλύτερο ρόλο παίζει είναι λογικό να δίνεται μεγαλύτερη προσοχή στον αεροδυναμικό σχεδιασμό των σπορ, γρηγορών αυτοκινήτων. Επειδή η αεροδυναμική σχεδίαση είναι ένας τομέας, όπου δεν μπορεί να υπάρξει χωρίς πειραματικά δεδομένα, όλοι οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν αεροδυναμικές σήραγγες, για τη μελέτη της αεροδυναμικής συμπεριφοράς των αμαξωμάτων τους. Πρόκειται για εργαστήρια, όπου περιλαμβάνουν ανεμιστήρες πολύ μεγάλης ισχύος, που μπορούν και επιταχύνουν τον αέρα με πάνω από 200 km/h. Σε ένα σημείο της ροής παρεμβάλλεται το δοκίμιο, που συνήθως είναι υπό κλίμακα. Η ροή γίνεται



Εικόνη 4.

Αν δύο σήραγγα έχουν την ίδια μετωπική επιφάνεια, τότε αυτό με το μικρότερο C_x θα παρουσιάζει τη μικρότερη αεροδυναμική αντίσταση.



Εικόνα 5.

Η αεροδυναμική πτέρυγα της Ferrari και ο τρόπος λειτουργίας της.

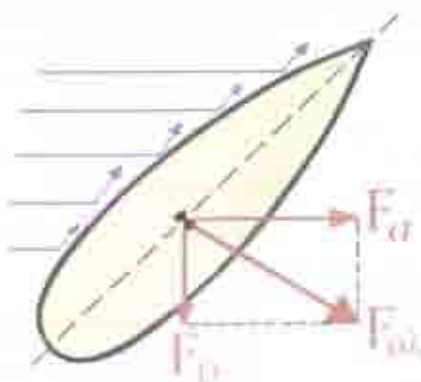
παρατήρηση της συμπεριφοράς του μονοθεσίου, κατά τη διάρκεια ενός προπολέαματος!

αντλήσιμη, με τη βοήθεια χρωματιστού καπνού, που κατευθύνεται από λεπτές δέσμες, σε συγκεκριμένα σημεία. Η όλη διαδικασία παρατηρείται από κάμερες μεγάλης ταχύτητας και πλήθος αισθητήρων. Έτσι είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων, για τον αεροδυναμικό συντελεστή του οχήματος, το θόρυβο στις υψηλές ταχύτητες, τα προβληματικά σημεία του σχεδίου και πλήθος άλλων παραμέτρων.

Η τελειότερη αεροδυναμική σήραγγα στον κόσμο ανήκει στην ομάδα της Formula 1 της Sauber και είναι η μοναδική στον κόσμο με κυλιόμενο διάδρομο. Επάνω σε αυτόν μπορεί να τοποθετηθεί ένα μοντέλο μονοθεσίου, σε κλίμακα 1:1. Είναι επίσης η μοναδική που δίνει τη δυνατότητα τοποθέτησης του μοντέλου υπό γωνία, ως προς το διαμήκη άξονα, για την εξαγωγή συμπερασμάτων, όσον αφορά την αποτελεσματικότητα του μονοθεσίου, υπό αυτές τις συνθήκες. Τέλος, μπορούν να τοποθετηθούν δύο μοντέλα, το ένα πίσω από το άλλο, με κλίμακα 1:2, για την

► 9.2 Αρνητική όντωση.

Εφ' όσον με την αύξηση της ταχύτητας μπορούν να παραχθούν μεγάλα διαμήκη φορτία, γιατί να μη χρησιμοποιήσουμε την αεροδυναμική για την παραγωγή κατακόρυφων φορτίων; Το μόνο που χρειάζεται είναι η παρεμβολή μιας πτέρυγας, που θα έχει κάποια κλίση, ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Κάπως έτσι πρέπει να σκέφτηκαν οι πρώτοι μηχανικοί που δημιούργησαν τις αεροτομές.



Εικόνα 6.

Η προσάτηση του αέρα σε μια πτέρυγα, συνεπάγεται δημιουργία κατακόρυφων φορτίων.

Πρόκειται για ένα φαινόμενο αντίστοιχο με αυτό που συμβαίνει στις πτέρυγες των αεροσκαφών, με τη διαφορά ότι εδώ η πτέρυγα χρησιμοποιείται για να πιάσει το αυτοκίνητο στο έδαφος και όχι για να εξουδετερώσει το βάρος του. Πώς εξηγείται, όμως, αυτό το φαινόμενο;

Η εκτοπιζόμενη μάζα του αέρα ασκεί στην αεροτομή μια δύναμη F_{ω} , σε διεύθυνση διαφορετική από την οριζόντια. Η γωνία που θα σχηματίζει η διεύθυνση της δύναμης, με το οριζόντιο επίπεδο, εξαρτάται από τη μορφή, αλλά και την κλίση της πτέρυγας, ως προς την κατακόρυφο. Η δύναμη αυτή μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες. Μία οριζόντια (τη γνωστή μας F_a) και μία κατακόρυφη, την F_D (από τις αγγλικές λέξεις down force, που σημαίνουν κατακόρυφη δύναμη).

Η οριζόντια συνιστώσα αντιστέκεται στην κίνηση του αυτοκινήτου, απαιτώντας επιπλέον ισχύ

απ' τον κινητήρα, για την κίνηση με την ίδια ταχύτητα. Η ύπαρξη, δηλαδή, μιας κεκλιμένης πτέρυγας, σε κάποιο σημείο του αυτοκινήτου, κατά κανόνα, χειροτερεύει το συντελεστή C_x . Ποια είναι λοιπόν η χρησιμότητά της; Η συντεταγόμενη δημιουργία της κατακόρυφης δύναμης L_D . Χάρη σε αυτή, το αυτοκίνητο μπορεί και πιέζεται στο έδαφος με δύναμη μεγαλύτερη από αυτή του βάρους του. Αυτό σημαίνει ότι σε μία στροφή τα ελαστικά έχουν τη δυνατότητα να παράγουν πολύ μεγαλύτερα πλευρικά φορτία, χωρίς να έχουν να υπερνικήσουν μεγαλύτερα αδρανειακά φορτία, ούτε στο διαμήκες, ούτε στο εγκάρσιο επίπεδο!

Υπάρχει όμως, και άλλος τρόπος να δημιουργηθεί κατακόρυφη δύναμη. Είπαμε ότι



το αυτοκίνητο παρεμβάλλεται στη ροή του αέρα. Όταν το αυτοκίνητο κινείται ο αέρας προσκρούει στη μύκα. Εκεί αναγκάζεται να διαλέξει πιο "δρόμο" θα ακολουθήσει. Κάποια ποσότητα περνάει από το επάνω μέρος του αυτοκινήτου και κάποια από το κάτω.

Αν η απόσταση του αυτοκινήτου από το έδαφος είναι μεγάλη, τότε η ταχύτητα του αέρα, στο κάτω μέρος του αυτοκινήτου, δε θα διαφέρει αρκετά από αυτή στο επάνω.

Εικόνα 7.

Στην Porsche 911 GT2 οι αεροτρίβες παίζουν άσπαστο ρόλο. Η μπροστινή τροφοδοτεί με αέρα τα ψυγεία και η πίσω τον κινητήρα.

Αν, όμως, η απόσταση του αυτοκινήτου από το έδαφος είναι μικρή, τότε ο αέρας επιταχύνεται. Αυτό εξηγείται πανεύκολα. Η παροχή Q του αέρα είναι σταθερή και για τα δύο ρεύματα αέρα. Η παροχή όμως ισούται με:

$$Q = A\rho U^2, \text{ Σχίσμα } \Psi-2,$$

όπου A το εκάστοτε εμβαδόν της διατομής του ρεύματος του αέρα, ρ η πυκνότητα του αέρα και U η σχετική ταχύτητα του αέρα, ως προς το όχημα. Αν θεωρήσουμε την πυκνότητα του αέρα σταθερή και στις δύο περιπτώσεις, τότε, από τη σχέση $\Psi-2$, είναι φανερό ότι όσο μικρότερη είναι η διατομή ενός ρεύματος, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ταχύτητα του αέρα, μέσα σε αυτό. Όσο, λοιπόν, μικρότερη είναι η απόσταση του αυτοκινήτου από το έδαφος, τόσο μικρότερη θα είναι και η διατομή του "κάτω ρεύματος αέρα" και άρα τόσο μεγαλύτερη η ταχύτητα του αέρα, που θα περνά από κάτω από το αυτοκίνητο.

Αν κατορθώσει κανείς να το επιτύχει αυτό, τότε έχει καταφέρει να δημιουργήσει υποπίεση, στο κάτω τμήμα του αυτοκινήτου. Με άλλα λόγια, όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά στις ταχύτητες των δύο ρευμάτων του αέρα, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η υποπίεση, άρα και η κάθετη δύναμη. Η δύναμη αυτή ονομάζεται αρνητική άντωση και το φαινόμενο που τη δημιουργεί φαινόμενο εδάφους (συνήθως συναντάται με τον αγγλικό όρο ground effect).

Δεν είναι όμως και τόσο απλό να δημιουργηθεί αρνητική άντωση, καθώς παρουσιάζεται σωρεία προβλημάτων. Πρώτα απ' όλα, το δάπεδο του αυτοκινήτου, συνήθως δεν είναι επίπεδο, αφού εξέχουν οι τροχοί, οι αναρτήσεις, η εξάτμιση και ο κινητήρας. Ακόμα, όμως και το ίδιο το δάπεδο φέρει κάποιες ανομοιομορφίες, που είναι απαραίτητες για την αντοχή του. Ο αέρας, έχοντας αποκτήσει μεγάλη ταχύτητα και προσκρούοντας σε αυτές τις ανομοιομορφίες, είναι πολύ εύκολο να οδηγηθεί σε τυφλώδη ροή και να δημιουργήσει έντονους στροβίλους. Το γεγονός αυτό ενισχύεται από το ότι το δάπεδο του αυτοκινήτου κινείται, ενώ το οδόστρωμα όχι.

Οι αναταράξεις αυτές είναι ό,τι χειρότερο. Όσο η ταχύτητα του αυτοκινήτου αυξάνει, τόσο αυξάνει και η ένταση των στροβιλισμών. Από ένα σημείο και πέρα, αρχίζουν να παράγουν άνωση, με φορά αντίθετη από αυτή του βάρους. Ο οδηγός το αισθάνεται αυτό σαν

“ελάφρομα” του τιμονιού, κάτι που οδηγεί σε μειωμένη ευστάθεια του αυτοκινήτου. Το μπροστινό μέρος του αυτοκινήτου πιέζει τους τροχούς με πολύ μικρότερο φορτίο. Αυτό κάνει τα μπροστινά ελαστικά να μπορούν να παράγουν πολύ μικρότερες πλευρικές δυνάμεις. Έτσι, το αυτοκίνητο είναι ευάλωτο σε πλάγιους ανέμους και κινδυνεύει, ανά πάσα στιγμή, να χάσει την ευθύγραμμη πορεία του. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν όλα αυτά, χρειάζεται ένας προσεκτικός σχεδιασμός τόσο του μπροστινού μέρους, όσο και του ίδιου του δάπεδου.



Εικόνα 8.

Το πάτωμα της Ferrari F 355. Προσέχει την έλλειψη πιεζοζών και την ανύψωσή του πίσω τμήματος.

διαχύτης (στα αγγλικά απαντάται με τον όρο diffuser). Ο διαχύτης δημιουργεί επιτάχυνση του αέρα, που τον διαρρέει, λόγω της αρχής του Bernoulli.



Εικόνα 9.

Ο αεροδυναμικός διαχύτης της Ferrari Enzo.

Το φαινόμενο εδάφους γίνεται αποτελεσματικότερο αν προστεθούν στα πλαϊνά του αυτοκινήτου δίσκοι “φράγματα”, που θα εμποδίζουν τον αέρα να διαφεύγει, αλλά και να εισέρχεται κάτω από το δάπεδο. Τα βοηθήματα αυτά ονομάζονται skirts, δηλαδή φούστες. Πρωτοεμφανίστηκαν στη Formula 1 από τον Κόλιν Τσάπμαν, τον ευφυέστατο μηχανικό και δημιουργό της Lotus. Οι φούστες εκείνες ήταν ελαστικές και ακουμπούσαν στο έδαφος, στεγανοποιώντας το χώρο κάτω από το μονοθέσιο. Το μονοθέσιο της Lotus απέκτησε φοβερό πλεονεκτήμα στις στροφές εξ’ αιτίας τους, αλλά και μια επικίνδυνη συμπεριφορά. Αν, κατά τη διάρκεια μιας στροφής, μια φούστα έχανε την επαφή της με το έδαφος, το μονοθέσιο έχανε σημαντικό μέρος του κάθετου φορτίου του και “έφαιγε” ανεξέλεγκτο. Παρ’ όλα αυτά, γρήγορα υιοθετήθηκαν από όλες τις ομάδες εκείνης της χρονιάς. Η κάθετη, αεροδυναμικά παραγόμενη, δύναμη έφτανε τους 2 τόνους ανεβάζοντας τα όρια του αυτοκινήτου σε επικίνδυνα όρια. Ο Allan Prost αναφέρει χαρακτηριστικά, για τη συμπεριφορά αυτών των μονοθεσίων: “Τα αυτοκίνητα ήταν υπερβολικά γρήγορα στις στροφές. Στην πράξη ήταν αδύνατο να εξαντλήσει κάποιος τα όριά τους. Όταν προσπαθούσε να το κάνει έφτανε στα όρια της αντοχής του, αφού έβλεπε τα πάντα κόκκινα και πήγαινε να λιποθυμήσει! Οι δυνάμεις στις στροφές ήταν τόσο μεγάλες, που μας έδεναν το κράνος με μιάντες, για να αντέχει ο αιχέννας

Το μπροστινό μέρος πρέπει να είναι τέτοιο, ώστε να μη συνεισφέρει στην παραγωγή στροβύλων, αφού μια αναταραχή που δημιουργείται στο μπροστινό μέρος, αναγκαστικά θα μεταφερθεί και σε όλο το υπόλοιπο αυτοκίνητο.

Το δάπεδο θα πρέπει να είναι λείο, χωρίς καμία προεξοχή. Στο κέντρο του θα πρέπει να δημιουργείται ένα (ή περισσότερα) “κανάλια”, μέσα στα οποία θα οδηγείται ο αέρας, μακριά από τους τροχούς. Προκειμένου να αποφεύγεται η τυρβώδης ροή, μέσα στα κανάλια τοποθετούνται κάθετα χωρίσματα, που ομαλοποιούν τη ροή. Επίσης, τα κανάλια πρέπει να ανασηκώνονται, όσο πηγαίνουν προς το πίσω μέρος του αυτοκινήτου. Το τελευταίο αυτό ανασηκωμένο κομμάτι με τα χωρίσματα, ονομάζεται αεροδυναμικός

αεροδυναμικό διαχύτης (στα αγγλικά απαντάται με τον όρο diffuser). Ο διαχύτης δημιουργεί επιτάχυνση του αέρα, που τον διαρρέει, λόγω της αρχής του Bernoulli. Το φαινόμενο εδάφους γίνεται αποτελεσματικότερο αν προστεθούν στα πλαϊνά του αυτοκινήτου δίσκοι “φράγματα”, που θα εμποδίζουν τον αέρα να διαφεύγει, αλλά και να εισέρχεται κάτω από το δάπεδο. Τα βοηθήματα αυτά ονομάζονται skirts, δηλαδή φούστες. Πρωτοεμφανίστηκαν στη Formula 1 από τον Κόλιν Τσάπμαν, τον ευφυέστατο μηχανικό και δημιουργό της Lotus. Οι φούστες εκείνες ήταν ελαστικές και ακουμπούσαν στο έδαφος, στεγανοποιώντας το χώρο κάτω από το μονοθέσιο. Το μονοθέσιο της Lotus απέκτησε φοβερό πλεονεκτήμα στις στροφές εξ’ αιτίας τους, αλλά και μια επικίνδυνη συμπεριφορά. Αν, κατά τη διάρκεια μιας στροφής, μια φούστα έχανε την επαφή της με το έδαφος, το μονοθέσιο έχανε σημαντικό μέρος του κάθετου φορτίου του και “έφαιγε” ανεξέλεγκτο. Παρ’ όλα αυτά, γρήγορα υιοθετήθηκαν

μας!" Την επόμενη χρονιά απαγορεύτηκε η χρήση των φουστών. Σήμερα δε χρησιμοποιούνται σε καμία μορφή αγώνων. Μερικοί κατασκευαστές αυτοκινήτων δρόμου, πάντως, χρησιμοποιούν skirts από πλαστικό, που εξέχουν ελάχιστα κάτω από το πάτωμα. Τα βοηθήματα αυτά ελάχιστα ευνοούν την εμφάνιση ground effect και εξυπηρετούν κυρίως αισθητικούς σκοπούς.

Ακόμα και χωρίς φούστες, τα κατακόρυφα αεροδυναμικά φορτία στη σύγχρονη Formula 1 είναι τεράστια, φτάνοντας κοντά στα 1.000 kp, στα 240 km/h. Υπερβαίνουν δηλαδή το βάρος του αυτοκινήτου (που είναι μόλις 600 kg) κατά περίπου 160%! Αυτό σημαίνει ότι, από μια ταχύτητα και πάνω, τα μονοθέσια θα μπορούσαν να κινήθουν ακόμα και στο ταβάνι! Παρ' όλα αυτά, τα αυτοκίνητα παραγωγής ποτέ δε δημιουργούν ισχυρά κάθετα φορτία, όσο ακριβά και γρήγορα και αν είναι.

Το ταχύτερο αυτοκίνητο παραγωγής στον κόσμο παραμένει, ακόμα και σήμερα, η



Εικόνα 10.

McLaren F1. Ότι καλύτερο έχει κατασκευαστεί ποτέ, με τέσσερις τροχές.

McLaren F1, παρότι παρουσιάστηκε το 1993. Πρόκειται για το καλύτερο υπεραυτοκίνητο, που κατασκευάστηκε ποτέ. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι χρειαζόταν μόλις 3,3 sec για να επιταχύνει από στάση μέχρι τα 100 km/h, 9,8 sec για τα 200 km/h και 22,8 sec για τα 300 km/h, με τελική που ξεπερνούσε τα 370 km/h! Το βάρος αυτού του αριστουργήματος ήταν 1.134 kg, πράγμα που έκανε εύκολο το έργο των 627 Hp του εξάλιτρου V12 κινητήρα του. Στο χαμηλό βάρος συνέβαλλε ότι τόσο το πλαίσιο, όσο και το αμάξωμα ήταν εξ' ολοκλήρου κατασκευασμένα από ανθρακονήματα, αλλά και το ότι δεν είχε χρησιμοποιηθεί κανένα ηλεκτρονικό βοήθημα, ούτε καν συστήματα υποβοήθησης σε φρένα και τιμόνι! Ακόμα

και η θέση οδήγησης που ήταν στο κέντρο (το αυτοκίνητο ήταν τριθέσιο), έδειχνε ότι στο αυτοκίνητο αυτό δεν έγινε κανένας συμβιβασμός, κατά το σχεδιασμό του.

Στον τομέα της αεροδυναμικής το αυτοκίνητο δε θα μπορούσε να υστερεί (και πως θα μπορούσε με τόσο μεγάλη τελική). Το επάνω μέρος του αυτοκινήτου είναι "χιτό" και "γλυκό", αλλά και χωρίς κανένα αεροδυναμικό βοήθημα! Καμία πτέρυγα δε διαταράσσει τη ροή του αέρα και το σχήμα χαρακτηρίζεται μάλλον ως συντηρητικό. Δε συμβαίνει όμως το ίδιο και με το δάπεδο του αυτοκινήτου, το οποίο είναι πρωτοποριακό, ακόμα και με τα σημερινά δεδομένα. Το ριγχος ανασηκώνεται στο κέντρο του, δημιουργώντας ένα μεγάλο άνοιγμα, για την είσοδο του αέρα κάτω από το αυτοκίνητο. Εκατέρωθεν αυτού του ανοίγματος υπάρχουν δύο ευμεγέθεις εισαγωγές αέρα, που χρησιμεύουν για να στέλνουν κρύο αέρα στο ψυγείο. Η έξοδος αυτού του αέρα είναι ιδιαίτερα προσεγμένη και γίνεται πίσω από τους μπροστινούς τροχούς. Το δάπεδο είναι επίπεδο αρχικά. Από τη μέση και μετά χωρίζεται στα δύο και ανασηκώνεται, δημιουργώντας δύο αεροδυναμικούς διαχύτες. Ως εδώ έχουμε μια πολύ προσεγμένη κατασκευή.



Εικόνα 11.

Μία από τις τελευταίες από τη ζωή της.

Η McLaren, όμως, δεν είναι απλώς ένα πολύ καλό αυτοκίνητο. Είναι το καλύτερο. Έτσι, οι σχεδιαστές προχώρησαν ένα βήμα παραπάνω, προσθέτοντας έναν μετρητή της ροής

του αέρα, που περνάει κάτω από το αυτοκίνητο! Όταν οι συνθήκες είναι τέτοιες που ευνοούν την ανάπτυξη ground effect (π.χ. όταν το αυτοκίνητο κινείται πίσω από άλλο όχημα, ή όταν επικρατεί ισχυρός πλευρικός άνεμος) ο αισθητήρας αυτός πληροφορεί μια ηλεκτρονική μονάδα. Η μονάδα αυτή δίνει εντολή σε δύο ανεμιστήρες να αναπληρώσουν τη χαμένη ροή, δημιουργώντας την αναγκαία υποπίεση! Οι ανεμιστήρες είναι τοποθετημένοι στο δάπεδο, σε σημείο που να μην εμποδίζουν τη ροή του αέρα. Όταν δεν λειτουργούν "κρίβονται" από δύο κλαπέτα, που ανοιγοκλείνουν και αυτά αυτόματα από την κεντρική μονάδα! Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα στον οδηγό να επιλέξει την ισχύ του ground effect, από ένα διακόπτη στο εσωτερικό!

Σε κάθε περίπτωση, αυτό το τόσο προηγμένο αυτοκίνητο δεν παράγει περισσότερα από 130 kg κάθετης αεροδυναμικής δύναμης, στα 240 km/h. Δηλαδή, το ποσοστό της δύναμης αυτής φτάνει μόλις το 8,7 % του βάρους του αυτοκινήτου! Γιατί τόσο λίγο; Προφανώς δεν είναι θέμα ανικανότητας, ούτε περιορισμού του κόστους, αφού το 1994 το αυτοκίνητο κόστιζε 240.000.000 δρχ στην Αγγλία! Είναι θέμα συνειδητής επιλογής. Η αεροδυναμική άμωση δίνει τρομερά πλεονεκτήματα σε ένα αυτοκίνητο υψηλών επιδόσεων, αλλά εγκυμονεί ένα σοβαρότατο κίνδυνο. Η συμπεριφορά του αυτοκινήτου εξαρτάται από την ταχύτητα κίνησής του. Μια Formula 1 με 60 km/h να επιτηγχάνει πλευρικές επιταχύνσεις της τάξης του 1 g, αλλά με 240 km/h, πλησιάζει τα 4 g! Εκτός αυτού, η αρνητική άμωση μπορεί ανά πάσα στιγμή να χαθεί. Αρκεί η παρεμβολή ενός άλλου αυτοκινήτου, μια ανωμαλία του δρόμου, μια αλλαγή της διεύθυνσης του αέρα, ακόμα και ένα γλιστρήμα σε μια στροφή, για να χαθεί σημαντικό μέρος της. Οι οδηγοί αγώνων γνωρίζουν πολύ καλά αυτή τη συμπεριφορά και έχουν την εμπειρία και την ικανότητα να την αντιμετωπίσουν. Παράλληλα, κινούνται σε απόλυτα ελεγχόμενες συνθήκες. Δε συμβαίνει, όμως, το ίδιο και με τους ιδιοκτήτες τέτοιων αυτοκινήτων. Έτσι, οι κατασκευαστές φοβούνται να δώσουν υψηλές τιμές αρνητικής άμωσης, φοβούμενοι τις συνέπειες μιας ενδεχόμενης ξαφνικής απώλειάς της, αλλά και την άγνοια των επιδόσεων οδηγών του αυτοκινήτου τους.

Ένα ακραίο παράδειγμα, των πιθανών κινδύνων της ξαφνικής μεταβολής της



Εικόνα 12.

Το ατύχημα της Mercedes στο Mans του 1999. Προσέξτε τη μεγάλη επίπλοο πίσω του αυτοκινήτου. (Οι φωτογραφίες είναι από το αυτοκίνητο του Μιρκ Γουόλτερ.)

αεροδυναμικής άμωσης, είναι το ατύχημα που συνέβη στην ομάδα της Mercedes, στον 24ωρο αγώνα αντοχής Le Mans, το 1999. Πρόκειται για τον καλύτερο και δυσκολότερο αγώνα αντοχής στον κόσμο. Διάρκει 24 ολόκληρες ώρες και λαμβάνει χώρα στη Γαλλία.

κάθε χρόνο. Θεωρείται μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για τους κατασκευαστές, αφού τα αυτοκίνητα πρέπει να συνδυάζουν ταχύτητα και αξιοπιστία.

Το 1999 η Mercedes είχε επενδύσει πολλά στη συμμετοχή της με την πανίσχυρη CLR. Βλέπετε, εκείνη τη χρονιά συμμετείχαν άλλοι τρεις μεγάλοι κατασκευαστές. Η Toyota με το GT One, η BMW με τη V12 LMR και η Audi με το R8R. Η επικράτηση έναντι τόσων ισχυρών αντιπάλων, θα έδινε μεγάλο κύρος στον τελικό νικητή.

Για την ομάδα της Mercedes, όμως, τα πράγματα άρχισαν να μην πηγαίνουν καλά από τα δοκιμαστικά. Η CLR, του αυστραλιανού οδηγού Μαρκ Γουέμπερ, κυριολεκτικά



απογειώθηκε και κατέληξε εκτός πίστας. Εντυχώς, ο οδηγός γλίτωσε από θάναμα, χωρίς ούτε μία γρατσουνιά! Το συμβάν, όμως επαναλήφθηκε και την επόμενη μέρα, στο warm-up και πάλι, εντυχώς, χωρίς συνέπειες για τον οδηγό. Οι άνθρωποι της Mercedes κάλεσαν έκτακτη σύσκεψη με τεχνικούς και οδηγούς, προκειμένου να αποσύρουν τη συμμετοχή τους. Οι οδηγοί, όμως, ήταν ανένδοτοι. Ήθελαν, πάση θυσία, να τρέξουν! Έτσι, το μόνο που έγινε ήταν η προσθήκη δύο μικρών φτερών, στα άκρα της μπροστινής αεροτομής, που θα προσέθεταν περισσότερη αεροδυναμική πίεση στο μπροστινό μέρος.

Εικόνα 13.

Το αυτοκίνητο του Ντάμπρεκ, μετά την προσγείωσή του, εκτός πίστας.

Τα φτεράκια αυτά, όμως, επειδή ακριβώς ήταν πρόσθετα, ήταν εύκολο να αποκολληθούν. Αυτό συνέβη και στη CLR του σκοτσέζου οδηγού

Πίτερ Ντάμπρεκ, κατά την επαφή του με ένα αργότερο αυτοκίνητο. Λίγη ώρα αργότερα, όταν η Mercedes του Ντάμπρεκ έφτασε στην ευθεία της Αρνάξ με πάνω από 320 km/h, κυριολεκτικά απογειώθηκε και έφτασε σε ύψος μεγαλύτερο των 10 m, για να προσγειωθεί εκτός πίστας, αφού προηγουμένως πήρε αρκετές περιστροφές στον αέρα! Ο οδηγός και πάλι γλίτωσε από θάναμα, αλλά η Mercedes απέσυρε επιτόπου και το άλλο αυτοκίνητο, για λόγους ασφαλείας.

Πώς εξηγείται, όμως, αυτό το περίεργο ατύχημα. Κατ' αρχήν η CLR είχε ένα πολύ "καθαρό" αεροδυναμικό σχήμα, προκειμένου να δημιουργεί όσο το δυνατό λιγότερες



Εικόνα 14.

Η αεροδυναμική αντίσταση επιστρέφει και κινδύνους, όταν η αέρας χάζει το όρονο του.

αεροδυναμικές αντιστάσεις. Αυτό είναι απαραίτητο σε τέτοιου είδους αγώνες, αφού η μειωμένη κατανάλωση συνεπάγεται σημαντικό πλεονέκτημα. Προκειμένου, λοιπόν, να επιτύχουν κάτι τέτοιο, φαίνεται πως θυσίασαν αρκετή από την αεροδυναμική αντίωση του εμπρός μέρους. Το σημείο όπου έγινε και τις τρεις φορές το ατύχημα, δεν είναι τυχαίο. Μία μεγάλη ευθεία καταλήγει σε ένα λοφίσκο και στη συνέχεια κατηφορίζει, σχετικά απότομα. Ακριβώς στην κορυφή του λόφου, το μπροστινό μέρος βρίσκεται εκτεθειμένο σε πολύ μεγαλύτερη ροή αέρα. Αν το γεγονός αυτό συνδυαστεί με την ύπαρξη ενός προπορευόμενου αυτοκινήτου, τα πράγματα γίνονται πολύ χειρότερα.

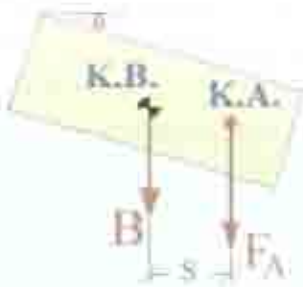
Η ροή που σιναντά πλέον η Mercedes δεν είναι καθαρή, αλλά έντονα διαταραγμένη. Η εισβολή ενός τέτοιου ρεϊματός κάτω από το αυτοκίνητο μπορεί να έχει ολέθριες συνέπειες. Αν η ταχύτητα του αυτοκινήτου είναι μεγάλη, τότε μπορεί ακόμα και να το σηκώσει στον αέρα, όπως και συνέβη στην πραγματικότητα. Από αυτό το σημείο και μετά, η

αεροδυναμική δρα αρνητικά, αφού βοηθά το όχημα να παραμείνει περισσότερα ώρα στον αέρα!

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό το γιατί οι κατασκευαστές αποφεύγουν τη δημιουργία υψηλών τιμών αρνητικής άντωσης. Φανταστείτε ένα ανάλογο σιμβάν, να λάμβανε χώρα σε αποκίνητο παραγωγή. Το πλήγμα στο κύρος του κατασκευαστή του θα ήταν τόσο μεγάλο, που δε θα το κάλυπταν οι οποιεσδήποτε επιδόσεις του αυτοκινήτου.

Όλα αυτά, βέβαια, ισχύουν για τα υπεραυτοκίνητα. Τα κανονικά επιβατικά σπάνια έχουν προσεγμένη αεροδυναμική. Ακόμα και όταν αυτό συμβαίνει, η όλη προσπάθεια εξαντλείται στην επίτευξη ενός χαμηλού συντελεστή αεροδυναμικής αντίστασης C_x , αδιαφορώντας για την όποια ανάπτυξη αρνητικής άντωσης. Για την ακρίβεια, η συντριπτική πλειοψηφία των σύγχρονων επιβατικών αυτοκινήτων "πετιχάινει" το ακριβώς αντίθετο! Έτσι, συνήθως με την άνοδο της ταχύτητας δημιουργείται άντωση, που τείνει να αναστηλώσει το αυτοκίνητο.

► 9.3 Κέντρο αεροδυναμικών πιέσεων.



Εικόνα 15.

Διαμήκης τιμή του αυτοκινήτου.

Αν σε ένα αυτοκίνητο δημιουργούνται κατακόρυφα αεροδυναμικά φορτία, θα πρέπει να προσεχτεί ιδιαίτερα το σημείο εφαρμογής της συνισταμένης τους, το λεγόμενο "κέντρο των αεροδυναμικών πιέσεων".

Ας εξετάσουμε πρώτα το τι γίνεται στο διαμήκη άξονα. Έστω ότι το κέντρο ανώσεως Κ.Α. απέχει απόσταση s από το κέντρο βάρους Κ.Β. Έστω ακόμα ότι το αυτοκίνητο, όταν είναι σταματημένο, έχει ιδανικά μοιρασμένο το βάρος στους τροχούς του. Με την άνοδο της ταχύτητας, θα μεγαλώνει και η αρνητική άντωση F_A . Αυτό θα προκαλεί μεταβολή στην αναλογία του συνολικού φορτίου, που θα παραλαμβάνει ο κάθε άξονας.

Αν το κέντρο ανώσεως βρίσκεται πίσω από το κέντρο βάρους, τότε θα προκαλείται

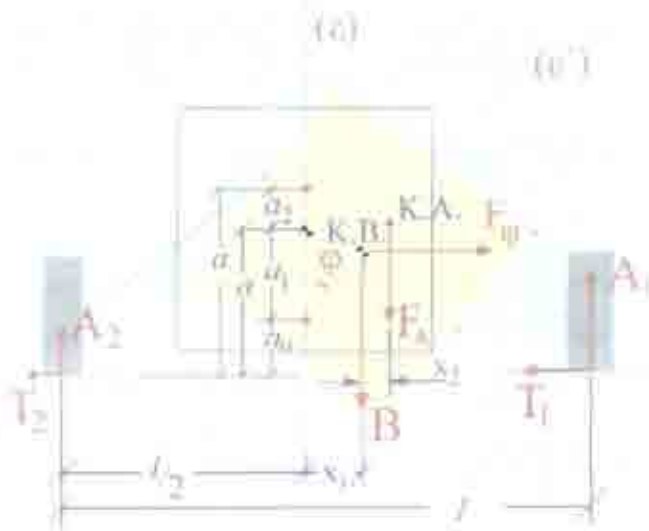
επιπλέον φόρτιση του πίσω άξονα. Αυτό θα οδηγήσει σε βύθιση του πίσω μέρους και όλο το αμάξωμα θα εμφανίζει μια κλίση, ίση με τη γωνία θ , που σχηματίζεται από το επίπεδο του αυτοκινήτου και το οριζόντιο επίπεδο. Το γεγονός αυτό μειώνει την κλίση των αεροτομών του αυτοκινήτου και, ως ένα σημείο, είναι ευθymητό στη Formula 1. Παράλληλα, όμως, μειώνεται και η αρνητική άντωση και το αυτοκίνητο γίνεται αρκετά ευάλωτο. Τα ακριβώς αντίθετα συμβαίνουν στην περίπτωση που το Κ.Α. βρίσκεται μπροστά από το Κ.Β. Σε αυτή την περίπτωση, με την άνοδο τη ταχύτητας, το αυτοκίνητο θα



Εικόνα 16.

Το 1998 η Jordan υπερέβη με αυτό τον τρόπο τα μεταβιβάσει το κέντρο αεροδυναμικών πιέσεων στο μπροστινό της. Παρά τα καλά αποτελέσματα, η άρση αυτή χαρακτηρίστηκε για... αστήρικτος κέρση!

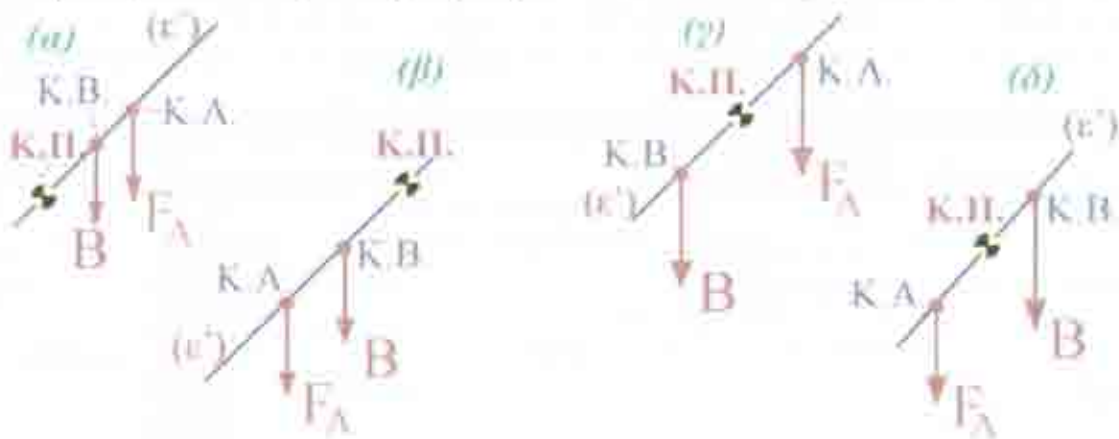
“μπρομονιτίζει”. Αυτό θα οδηγήσει σε αύξηση της κλίσης των αεροτομών, κάτι που συνεπάγεται αυξημένη σταθερότητα, αλλά και μεγαλύτερες αντιστάσεις.



Εικόνα 17.

Εγκάρσια τομή της αιμοδυναμικής.

στη μεταφορά βάρους. Όσο αυξάνει η ταχύτητα, θα μεγαλώνει και η F_A , με αποτέλεσμα την ολοένα και αυξανόμενη μεταφορά βάρους. Αυτή είναι και η χειρότερη περίπτωση στησίματος ενός αγωνιστικού μονοθεσίου, αφού το αυτοκίνητο θα είναι αργά. Από την άλλη, όμως, η συμπεριφορά του θα είναι η φιλικότερη δυνατή, ενώ η αυξημένη κλίση βοηθάει έναν άπειρο οδηγό να καταλάβει τα περιθώρια πρόσφυσης του αυτοκινήτου.



Εικόνα 18.

Οι τρεις περιπτώσεις των σχετικών θέσεων της κέντρου βάρους και των κέντρων άνωσης, ως προς το κέντρο περιστροφής.

β) Τόσο το κέντρο βάρους, όσο και το κέντρο άνωσης, να είναι κάτω από το κέντρο περιστροφής του αυτοκινήτου. Στην περίπτωση αυτή και οι δύο δυνάμεις τείνουν να επαναφέρουν το αυτοκίνητο στην αρχική κατακόρυφη θέση του. Όσο περισσότερο αυξάνει η ταχύτητα, τόσο ενισχύεται αυτό το φαινόμενο, αφού μεγαλώνει η F_A . Αυτή είναι και η

Λίγο πιο πολύπλοκα είναι τα πράγματα, όσον αφορά το εγκάρσιο επίπεδο. Καθώς το αυτοκίνητο στρίβει, λόγω της επίδρασης της φυγόκεντρου F_g , παίρνει μία μικρή κλίση. Αυτό έχει ως συνέπεια η κατακόρυφος ευθεία (ϵ), που περνά από το κέντρο βάρους του να μετατοπίζεται και να ταυτίζεται με την (ϵ'). Εδώ, μπορούμε να έχουμε τέσσερις δυνατές περιπτώσεις:

α) Τόσο το κέντρο βάρους, όσο και το κέντρο άνωσης, να είναι πάνω από το κέντρο περιστροφής του αυτοκινήτου. Στην περίπτωση αυτή τόσο το βάρος B , όσο και αρνητική άνωση F_A συνεισφέρουν

περίπτωση που το αυτοκίνητο έχει το ιδανικότερο “ζυγισμό”, από άποψη ταχύτητας. Συγχρόνως όμως είναι και η περίπτωση που θα είναι περισσότερο δυσκολοδήγητο. Τα περιθώρια πρόσφυσης είναι τεράστια, αφού ουσιαστικά δεν υφίσταται μεταφορά βάρους, αλλά, όταν αυτά ξεπεραστούν, οι αντιδράσεις του αυτοκινήτου θα είναι τόσο άμεσες, που είναι πολύ δύσκολο να προλάβει ο οδηγός να το διορθώσει. Στη Formula 1 επιδιώκεται μια τέτοια ρύθμιση, αφού εκεί αγωνίζονται οι κορυφαίοι πιλότοι του κόσμου. Παρ’ όλα αυτά δεν είναι εύκολο να επιτευχθεί, εξαιτίας του ύψους από το έδαφος, στο οποίο είναι τοποθετημένη η πίσω αεροτομή (κάτι που επιβάλλεται από τους κανονισμούς).

γ) Το κέντρο βάρους είναι κάτω από το κέντρο περιστροφής, αλλά το κέντρο ανώσεως πάνω από αυτό. Είναι μία περίπτωση που πλησιάζει το ιδανικό, αφού συνδυάζει το σωστό “ζυγισμό”, με την ικανή πληροφόρηση του οδηγού. Τα περισσότερα μονοθέσια της Formula 1 είναι στημένα με αυτό τον τρόπο. Όσο η ταχύτητα είναι μικρή, το βάρος B υπερικνίζει της αρνητικής άντωσης F_L . Αυτό οδηγεί σε αμελητέες κλίσεις και ελάχιστη μεταφορά βάρους. Καθώς η ταχύτητα είναι σχετικά μικρή, ο οδηγός δεν κινδυνεύει με αστραπαιές αντιδράσεις του μονοθέσιου του. Από μία ταχύτητα και πάνω, η F_L γίνεται μεγαλύτερη του βάρους. Αυτό σημαίνει ότι το αυτοκίνητο παίρνει παραπάνω κλίση, πληροφορώντας τον οδηγό του, ότι πλησιάζει στο όριο του. Σε επίπεδο απόλυτης ταχύτητας χάνει ελάχιστα, σε σχέση με τη β’ περίπτωση, αφού στις υψηλές ταχύτητες δεν παίζει τόσο ρόλο η μηχανική πρόσφυση. Συνολικά δείχνει πιο ολοκληρωμένη λύση, αφού είναι πιο φιλική, προς τον οδηγό. Εννοείται ότι η συμπεριφορά αλλάζει δραματικά με τη μεταβολή των αποστάσεων του Κ.Β. και του Κ.Α. από το Κ.Π. Αυτός είναι και ο λόγος που τα μονοθέσια ρυθμίζονται ξεχωριστά από πίστα σε πίστα και αλλάζουν το σημείο τοποθέτησής τους έρματος, στο κάτω μέρος του αυτοκινήτου.

δ) Το κέντρο βάρους είναι πάνω από το κέντρο περιστροφής, αλλά το κέντρο ανώσεως κάτω από αυτό. Σε αυτή την περίπτωση το μονοθέσιο δεν είναι σωστά “ζυγισμένο”. Με μικρή ταχύτητα, το μονοθέσιο εμφανίζει μεταφορά βάρους και δεν μπορεί να εκμεταλλευτεί στο έπακρο τη μηχανική του πρόσφυση, όταν ακριβώς την έχει ανάγκη. Από μία ταχύτητα και πάνω, η F_L υπερτερεί του βάρους B , με αποτέλεσμα να μειώνονται οι κλίσεις, με την άνοδο της ταχύτητας. Αυτό στερεί από τον οδηγό την όποια πληροφόρηση θα μπορούσε να έχει, χωρίς να του δίνει σημαντικά οφέλη. Αυτή η λύση δε συναντάται σε κανένα μονοθέσιο.

Ανακεφαλαιώνοντας, να πούμε ότι η αεροδυναμική παίζει τόσο μεγαλύτερο ρόλο, όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα κίνησης ενός αυτοκινήτου. Προσφέρει τρομερά οφέλη, αλλά μπορεί να αποδειχτεί και ιδιαίτερα επικίνδυνη, σε κάποιες περιπτώσεις. Αυτός είναι και ο λόγος που, οι κάθε λογής, αγωνιστικές ομάδες ξοδεύουν υπέρογκα ποσά, σε μελέτες ροϊκής βελτίωσης των αγωνιστικών αυτοκινήτων τους, ενώ οι κατασκευαστές επιβατικών αυτοκινήτων της δίνουν ελάχιστη σημασία και, αν το κάνουν, στοχεύουν μόνο σε μείωση της κατανάλωσης.



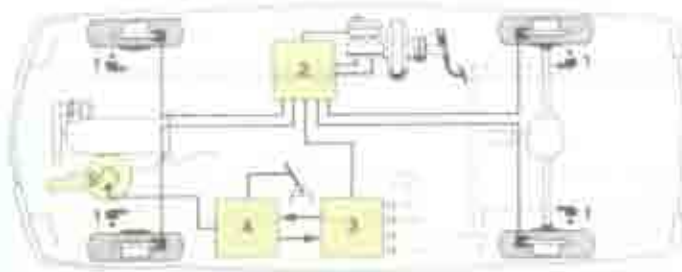
Κεφάλαιο 10: Ηλεκτρονικά βοηθήματα.

► 10.1 Συστήματα ελέγχου της πρόσφυσης.

Το πρώτο ηλεκτρονικό βοήθημα που εξελίχθηκε ήταν το σύστημα ελέγχου της πρόσφυσης. Η σκέψη των μηχανικών που το δημιούργησαν ήταν απλούστατη. Εφ' όσον έχουμε ένα σύστημα ABS, που μπορεί να αντιλαμβάνεται και να ρυθμίζει την ταχύτητα

Σύστημα ελέγχου πρόσφυσης

- 1 Αισθητήρας ταχύτητας περιήγησης
- 2 Φορέα αντίστροφοι
- 3 Κεντρική υπολογιστική μονάδα ABS/ASR
- 4 Μονάδα ελέγχου ηλεκτρονικού γκαζιού
- 5 Πεταλούδα



Εικόνα 1.

Διαγράμμα λειτουργίας ενός συστήματος ελέγχου της πρόσφυσης.

μονάδα ελέγχου (που ήταν η ίδια τόσο για το ABS, όσο και το TCS) αντιλαμβανόταν ολίσθηση ενός κινητήριου τροχού, πέρα από ένα όριο, έδινε εντολή για ενεργοποίηση των φρένων του συγκεκριμένου τροχού. Η μείωση της ταχύτητας περιστροφής του τροχού σήμαινε εντολή για μείωση της πέδησης, μέχρι να ξαναφθάσει ο τροχός στο όριο της πρόσφυσης του, όπου αρχίζει εκ νέου η ίδια διαδικασία.

Τα συστήματα αυτά λειτουργούσαν αρκετά καλά, αλλά καταπονούσαν υπερβολικά



Εικόνα 2.

Η Mercedes είναι μια εταιρεία συνειδητή με τη ηλεκτρονικά βοηθήματα.

το σύστημα πέδησης. Έτσι, αρκετοί μηχανικοί προσπάθησαν να μειώσουν το σπινάρισμα μέσω της μείωσης της ροπής του κινητήρα. Κάτι τέτοιο έγινε εφικτό με την εφαρμογή του ηλεκτρονικού γκαζιού, το οποίο αντικατέστησε την κλασική ντίζα. Ο οδηγός το μόνο που κάνει είναι να πατάει ένα ποτενσιόμετρο, το οποίο αναλαμβάνει να πληροφορήσει την κεντρική μονάδα ελέγχου, ανά πάσα στιγμή, για τη θέση του πεντάλ. Η κεντρική μονάδα αποφασίζει για τη θέση της πεταλούδας, αφού συμβουλευτεί και τη μονάδα του ABS.

Όταν το σύστημα αντιλαμβανόταν ολίσθηση ενός κινητήριου τροχού, έδινε εντολή για κλείσιμο της πεταλούδας του γκαζιού, ανεξάρτητα από το πόσο πάταγε ο οδηγός το γκάζι. Κατ' αυτόν τον τρόπο

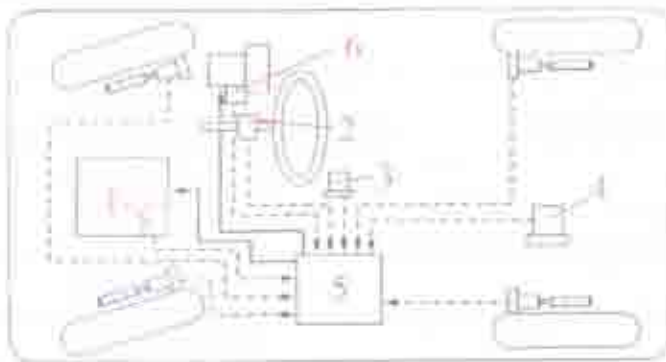
περιοριζόταν το σπινάρισμα. Δεν έλειψαν και οι περιπτώσεις που το σύστημα επενέβαινε και

στην ανάφλεξη του κινητήρα, ή ακόμα και διέκοπτε εντελώς την παροχή ρεύματος στα μπουζί.

Αυτά τα πρώτης γενιάς συστήματα διέθεταν συνηθώς απότομη λειτουργία και έκοβαν πάρα πολύ τον κινητήρα, με αποτέλεσμα ο οδηγός να μένει πολλές φορές χωρίς καθόλου δύναμη. Τα προβλήματα αυτά έχουν πλέον λυθεί στα σύγχρονα συστήματα, που διαθέτουν πολύ ομαλή και γραμμική λειτουργία, κάτι που οφείλεται στους πολύ καλύτερους αλγόριθμους έλεγχου, αλλά και στις ισχυρότερες ηλεκτρονικές μονάδες. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα σύγχρονα συστήματα αποτελούν ένα συνδυασμό επιλεκτικής πέδησης και μείωσης της ροπής του κινητήρα και είναι στην ουσία μέρος του συστήματος έλεγχου της πρόσφυσης (που περιγράφεται παρακάτω). Πάντως, δε λείπουν και οι εφαρμογές που χρησιμοποιείται μόνο του. Πολλοί κατασκευαστές προσφέρουν τη δυνατότητα απενεργοποίησης του συστήματος μέσω ενός διακόπτη στο ταμπλό του αυτοκινήτου, ενώ άλλοι επιλέγουν τη μόνιμη λειτουργία του, κάτω από όλες τις συνθήκες.

Ένα από τα σημαντικότερα σημεία σε ένα σύστημα έλεγχου της πρόσφυσης είναι η ρύθμισή του. Ο βαθμός ολίσθησης των κινητήριων τροχών, δηλαδή, ο οποίος θα επιλεγεται για την ενεργοποίηση του συστήματος. Στα επιβατικά αυτοκίνητα, η ύπαρξη TCS έχει ως κύριο σκοπό την προστασία του οδηγού από λάθος χειρισμό του, ιδιαίτερα κάτω από δύσκολες συνθήκες. Για το λόγο αυτό, τα συστήματα αυτά ρυθμίζονται έτσι ώστε να είναι αρκετά ευαίσθητα και να προλαμβάνουν το οποιοδήποτε γλιστρήμα, εν τη γενέσει του. Δε συμβαίνει, όμως, το ίδιο και στην περίπτωση που ένα τέτοιο σύστημα χρησιμοποιείται στους αγώνες. Στη Formula 1, για παράδειγμα, το traction control ρυθμίζεται έτσι ώστε να προσφέρει τη δυνατότητα μεταφοράς της μέγιστης δυνατής ροπής στρέψης, από τους τροχούς στο δρόμο, ανά πάσα στιγμή. Αυτό σημαίνει ότι οι κινητήριои τροχοί βρίσκονται συνεχώς σε ένα ποσοστό ολίσθησης από 10 % - 20 %!

► 10.2 Σύστημα έλεγχου της ευστάθειας



Εικόνα 1.

Απόγραμμα λειτουργίας του ESP.

1: Αισθητήρας θέσης γκαζιού, 2: Αισθητήρας θέσης τιμονιού, 3: Αισθητήρας πλευρικής επιτάχυνσης, 4: Αισθητήρας, μέτρου περιστροφής κατά των κατακορυφών αξόνων, 5: Κεντρική μονάδα, 6: Αντίλη φρένων.

Από τη στιγμή που δημιουργήθηκαν τα συστήματα έλεγχου της πρόσφυσης, ήταν θέμα χρόνου να μετεξελιχτούν σε συστήματα έλεγχου της ευστάθειας. Το πιο γνωστό από αυτά είναι το ESP (Electronic Stability Program, δηλαδή πρόγραμμα που ελέγχει ηλεκτρονικά την ευστάθεια) της Bosch. Το πρόγραμμα αυτό πρωτοχρησιμοποιήθηκε από τη Mercedes, αλλά σήμερα χρησιμοποιείται από μια πληθώρα κατασκευαστών. Το αντίπαλο γερμανικό δέος αυτό της BMW, χρησιμοποιεί ένα παρόμοιας φιλοσοφίας και λειτουργίας σύστημα, το οποίο ονομάζει ASC+T (Anti Spin Control & Traction, δηλαδή έλεγχος του σπινναρισματος και

της πρόσφυσης).

Και πάλι οι μηχανικοί εμπνεύστηκαν από το ABS. Από τη στιγμή που μπορούσαν να φρενάρουν οποιοδήποτε τροχό επιλεκτικά, για όσο χρονικό διάστημα ήθελαν, θα μπορούσαν

να εκμεταλλευτούν αυτό το γεγονός, προκειμένου να δημιουργήσουν ροπή περιστροφής, περί τον κατακόρυφο άξονα, εξουδετερώνοντας οποιαδήποτε τάση υποστροφής ή υπερστροφής. Το μόνο που χρειαζόταν ήταν μια σειρά αισθητήρων, που να συλλέγουν πληροφορίες για τη δυναμική κατάσταση του αυτοκινήτου και μια ισχυρή κεντρική μονάδα, που να μπορεί να τις επεξεργάζεται.

Με την αλματώδη πρόοδο της μικροηλεκτρονικής, δεν υπήρξε πρόβλημα στην



→ Ενταρτυμένη φρένο Πλευρική πρόσφυση ↻ Ροπή περιστροφής

Εικόνα 4.

Ο τρόπος λειτουργίας του ESP στην υποστροφή και στην υπερστροφή.

στη βασική αρχή λειτουργίας του συστήματος. Έτσι, όλα τα συστήματα προγραμματίζονται έτσι ώστε όταν ανιχνεύονται υποστροφή του αυτοκινήτου να φρενάρουν τον πίσω εσωτερικό τροχό. Η ενέργεια αυτή δημιουργεί ροπή, ως προς το κέντρο βάρους του αυτοκινήτου, η οποία τείνει να περιστρέψει το αυτοκίνητο προς το εσωτερικό της στροφής. Με τον τρόπο αυτό εξουδετερώνεται η υποστροφή. Αντίστοιχη είναι η δράση του συστήματος, προκειμένου να εξουδετερωθεί η προδιαγραφόμενη υπερστροφή. Στην περίπτωση αυτή, δίνεται εντολή στον εμπρός εξωτερικό τροχό να φρενάρει, κάτι που δημιουργεί ροπή, ως προς το κέντρο βάρους, που τείνει να περιστρέψει το αυτοκίνητο προς το εξωτερικό της στροφής, με αποτέλεσμα την εξουδετέρωση των υπερστροφικών τάσεων.

Παρ' όλο που η αρχή λειτουργίας είναι ίδια σε όλα τα συστήματα, στην πράξη διαφέρουν σημαντικά, ως προς τη συμπεριφορά τους. Άλλα συστήματα εξουδετερώνουν τις όποιες τάσεις εν τη γενέσει τους και άλλα τις αφήνουν να εξελιχθούν και μετά τις καταπολεμούν. Σε κάθε περίπτωση, τα συστήματα αυτά προσπαθούν, αλλά δεν καταργούν τους νόμους της φύσης. Αυτό ο οδηγός πρέπει να το έχει υπ' όψιν του, ώστε να μην οδηγήσει άσπαρα και επικίνδυνα, στηριζόμενος στη λειτουργία του συστήματος.



ειρήνη μιας συμπαγούς, αλλά και πανίσχυρης ηλεκτρονικής μονάδας. Τη μονάδα αυτή πλαισιώνουν μια σειρά αισθητήρων που την πληροφορούν για τη θέση του τιμονιού, τη θέση του πεντάλ του γκαζιού, την πλευρική επιτάχυνση, αλλά και το ρυθμό περιστροφής του αυτοκινήτου, ως προς τον κατακόρυφο άξονα. Όλα αυτά μαζί συνθέτουν το hardware του συστήματος ελέγχου της πρόσφυσης. Το πιο δύσκολο κομμάτι, όμως είναι το software, δηλαδή ο προγραμματισμός του συστήματος αυτού.

Όλοι οι κατασκευαστές συμφωνούν

Επίλογος

Κάπου εδώ τελειώνει η περιλάλησή μας στα μυστικά της οδικής συμπεριφοράς. Μέσα από αυτό το πόνημα, έγινε μια προσπάθεια ανάλυσης, με τον απλούστερο δυνατό τρόπο, όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν την οδική συμπεριφορά ενός αυτοκινήτου. Οι κανόνες αυτοί είναι οι ίδιοι, είτε μιλάμε για τριαξονικά φορτηγά, είτε για μονοθέσια της Formula 1! Το μόνο που αλλάζει είναι οι προδιαγραφές των οχημάτων αυτών, χάρη στις οποίες παρουσιάζουν εντελώς διαφορετική συμπεριφορά.



BMW 645 ci. Ένα από τα καλύτερα αυτοκίνητα του κόσμου.

Επειδή τα αυτοκίνητα είναι ένα προϊόν, που απευθύνεται στους ανθρώπους, δεν υπάρχει το αυτοκίνητο με την "τέλεια οδική συμπεριφορά", αφού δεν υπάρχουν τέλειοι άνθρωποι. Δεν υπάρχουν, όμως ούτε και ίδιοι άνθρωποι. Έτσι, το ίδιο αυτοκίνητο που ικανοποιεί απόλυτα κάποιον μπορεί κρινεται ως απαράδεκτο από κάποιον άλλο. Υπάρχουν, πάντως, μερικά αυτοκίνητα που είναι γενικώς αποδεκτά, από όλους, αλλά και κάποια άλλα που δε χαιρούν

ιδιαίτερης εκτίμησης, από μεγάλη πλειοψηφία οδηγών. Γιατί γίνεται αυτό;

Ευτυχώς, ή δυστυχώς, το αυτοκίνητο σήμερα γνωρίζει μια εποχή έντονης βιομηχανοποίησης. Οι απαιτήσεις των καταναλωτών γίνονται όλο και πιο παράλογες και ο ανταγωνισμός αδυσώπητος. Ως συνέπεια αυτής της κατάστασης, έχουν καταφέρει να επιζησουν ελάχιστοι κατασκευαστές, οι οποίοι, σε μια προσπάθεια να διατηρήσουν το κόστος των μοντέλων τους σε λογικά επίπεδα, απευθύνονται σε εξωτερικούς προμηθευτές, ακόμα και για ζωτικά μέρη του αυτοκινήτου, όπως είναι το αμάξωμα, αλλά και οι αναρτήσεις.

Οι προμηθευτές αυτοί, κάνουν συνήθως πολύ καλή δουλειά. Υπάρχει, όμως, ένα πρόβλημα. Τις περισσότερες φορές δουλεύουν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο. Έτσι, το κάθε επιμέρους κομμάτι του αυτοκινήτου μπορεί να είναι πολύ καλό, αλλά όλα μαζί να μη δημιουργούν ένα ικανοποιητικό σύνολο. Το γεγονός αυτό επιτείνεται από την ολοένα και αυξανόμενη τάση για χρησιμοποίηση κοινών μηχανικών μερών, σε όσο το δυνατό



Το RX-8 της Mazda είναι ένα από τα πιο καινοτομικά αυτοκίνητα των ημερών μας. Έτσι, δε χρειάζεται τη συμβολή κανενός ηλεκτρονικού βοηθήματος, για να κινηθεί στο δρόμο.

περισσότερα μοντέλα ενός ομίλου. Αυτό σημαίνει ότι οι μηχανικοί των εταιρειών, που αναλαμβάνουν τις τελικές ρυθμίσεις σε ένα αυτοκίνητο, πολλές φορές έρχονται αντιμέτωποι με ήδη παρμένες αποφάσεις και πολύ λίγα πράγματα μπορούν να κάνουν, προκειμένου να βελτιώσουν την κατάσταση.

Εκεί ακριβώς έγκειται και η διαφορά που παρουσιάζουν ορισμένα αυτοκίνητα, έστω και αν, εκ πρώτης όψεως, αυτή δε

δικαιολογείται από τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Αν το αυτοκίνητο έχει μελετηθεί ως σύνολο και ο κάθε επιμέρους τομέας λαμβάνει υπ' όψιν του την ύπαρξη του άλλου, τότε το

αυτοκίνητο έχει μια αρμονική συμπεριφορά, που φαίνεται στο δρόμο. Αν όχι, τότε η συμπεριφορά του δεν ικανοποιεί. Τι σημαίνει, όμως, με τα σημερινά δεδομένα, ικανοποιητική συμπεριφορά;

Παρ' όλο που δεν υπάρχουν απόλυτα κριτήρια, φαίνεται πως υπάρχουν κάποιες γενικά αποδεκτές αρχές, αφού όλοι οι κατασκευαστές προσπαθούν να τις προσεγγίσουν. Έτσι, ένα σύγχρονο αυτοκίνητο θα πρέπει να έχει πολύ μεγάλα περιθώρια πρόσφυσης και πολύ καλά φρένα. Μετά τα όρια της πρόσφυσης, θα πρέπει οι αντιδράσεις του να είναι ομαλές και προβλεψιμες και να είναι σε θέση να συγχωρήσει ακόμα και ένα λάθος χειρισμό του οδηγού του. Επειδή κάτι τέτοιο απαιτεί τρομερή δουλειά (και άρα ανεπάγεται αυξημένο κόστος) μερικοί κατασκευαστές έχουν καταφύγει στην εύκολη λύση της υιοθέτησης ηλεκτρονικών συστημάτων ελέγχου της ευστάθειας. Αυτός είναι ένας λάθος τρόπος εφαρμογής αυτών των συστημάτων. Δημιουργήθηκαν για συνεισφέρουν σε μια δύσκολη στιγμή και όχι γιατί το αυτοκίνητο που τα χρησιμοποιεί είναι τόσο κακά στημένο, ώστε να είναι επικίνδυνο χωρίς αυτά.

Ωραία όλα αυτά. Αλλά πια είναι η χρησιμότητα αυτής της εργασίας; Πρώτα απ' όλα, το αυτοκίνητο είναι ένα μέσο που το χρησιμοποιούν καθημερινά εκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον πλανήτη. Καλό θα ήταν ο κάθε οδηγός να γνωρίζει κάποια πράγματα για τη συμπεριφορά του, αφού αυτό μπορεί να τον γλιτώσει σε μια δύσκολη κατάσταση.

Παράλληλα, όμως, θα τον βοηθήσει και σε πιθανή αγορά ενός νέου αυτοκινήτου. Δυστυχώς, η συντριπτική πλειοψηφία των αγοραστών επιλέγουν με βάση την εμφάνιση, τον εξοπλισμό και την τιμή. Ελάχιστοι είναι αυτοί που επιλέγουν αφού πρώτα κάνουν μια εκτεταμένη έρευνα, που θα περιλαμβάνει και δοκιμή στο δρόμο. "Ελα μωρέ, όλα ίδια είναι", λένε. Η παρούσα εργασία αποδεικνύει ότι δεν είναι όλα τα αυτοκίνητα ίδια, έστω και αν μοιάζουν οι προδιαγραφές τους. Έχουν μεγάλες διαφορές στην πράξη. Καλό θα ήταν, λοιπόν, οι καταναλωτές να ευαισθητοποιηθούν και να μάθουν να ζητάνε σωστά πράγματα στο αυτοκίνητό τους. Η σωστή οδική συμπεριφορά είναι πρωταρχικής σημασίας, αφού μπορεί να τους σώσει, σε μια δύσκολη κατάσταση.

Προχωρώντας, σε επίπεδο σπουδών, το παρόν πόνημα ειελιστεί να παράσχει βοήθεια σε οποιονδήποτε σκοπεύει να ασχοληθεί ερευνητικά, ή επαγγελματικά με το θέμα. Δυστυχώς, η ελληνική βιβλιογραφία είναι πολύ περιορισμένη, ενώ η αγγλική είναι πλούσια, αλλά και εστιασμένη, κυρίως, στη μελέτη των αναρτήσεων. Στο παρόν σύγγραμμα έγινε μια προσπάθεια σφαιρικής αντιμετώπισης του θέματος, λαμβάνοντας υπ' όψιν όλες τις παραμέτρους, που επηρεάζουν την οδική συμπεριφορά.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω προσωπικά τον καθηγητή μου κ. Χρήστο Παπαλιμπέρι, που δέχτηκε να αναλάβει αυτή την εργασία. Θα ήθελα, επίσης να ευχαριστήσω τους κυρίους Θωμά Χόνδρο και Διονύσιο Χοϊδά, για την πολύ μεγάλη βοήθεια που μου παρείχαν με τα συγγράμματά τους, αλλά και τον αδελφικό μου φίλο Βασίλη Γρίβα, για την υλικότεχνική του βοήθεια. Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω και τους γονείς μου, Γεώργιο και Χρυσούλα Στρατή, που μου παρείχαν ό,τι τους ζήτησα και με ανέχτηκαν για πάνω από δύο χρόνια. Σας ευχαριστώ θερμά όλους και ελπίζω να μη σας κούρασα.

Στρατής Αντώνιος



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Συγγράμματα

- **Race Car Vehicle Dynamics**. William F. Milliken, Douglas L. Milliken, Milliken Research Associates Inc. 1995.
- **Δυναμική και ταλαντώσεις**. Χρήστου Παπαλυμπέρη, καθηγητού Τ.Ε.Ι. Πατρών, εκδόσεις Τ.Ε.Ι. Πατρών.
- **Δυναμική ανάλυση οχημάτων**. Θωμά Χόνδρου, καθηγητού Πανεπιστημίου Πατρών, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών 1998.
- **Φυσική Ι**. Ν. Δ. Νανούση, καθηγητού Τ.Ε.Ι. Πατρών, εκδόσεις Τ.Ε.Ι. Πατρών 1992.
- **Ρευστομηχανική**. Ν. Δ. Νανούση, καθηγητού Τ.Ε.Ι. Πατρών, εκδόσεις Τ.Ε.Ι. Πατρών 1998.
- **Φυσική Γ' Λυκείου**. Βλάχου Ι.- Ζάχου Κ.- Κόκκοτα Π.- Τιμοθέου Γ. Οργανισμός εκδόσεως διδακτικών βιβλίων, έκδοση ΙΒ' 1994.
- **Το δεύτερο αυτοκίνητό σας**, εκδόσεις Φυτράκης - Ορφανίδης 1981.

Ειδικός τύπος

- Μηνιαίο περιοδικό αυτοκινήτου **4ΤΡΟΧΟΙ, ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Α.Ε.**
Τεύχη: 252, 256, 267, 269, 270, 271, 272, 275, 276, 277,
278, 284, 289, 290, 293, 301, 315, 317, 328, 329,
332, 333, 335, 336, 337, 338, 339, 342, 343, 344,
345, 346, 347, 348, 349, 350, 352, 353, 355, 356,
357, 358, 359, 360, 362, 363, 365, 366, 373, 382,
383, 386

- Μηνιαίο περιοδικό αυτοκινήτου **DRIVE, ΜΟΤΟΤΕΧΝΙΑ Σ.Α.**
Τεύχη: 5, 10, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23,
24, 25, 26, 27, 28, 31, 32, 33, 34, 35, 37,
41, 42, 55, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70,
71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81,
82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91.

- **DRIVE GET THE POWER**, διανέμεται δωρεάν μαζί με το περιοδικό DRIVE.
Τεύχη: Απρίλιος 2002, Μάιος 2002, Ιούνιος 2002,
Αύγουστος 2002, Σεπτέμβριος 2002, Οκτώβριος 2002,
Νοέμβριος 2002, Δεκέμβριος 2002.

- **R&D**, Διμηνιαίο περιοδικό, για την τεχνολογική εξέλιξη του αυτοκινήτου. Διευθυντής σύνταξης: Διονύσης Χοϊδάς, Μηχανολόγος Μηχανικός.
Τεύχη: 1, 2, 3, 4, 5, 6.

- Δεκαπενθήμερο περιοδικό αυτοκινήτου **Auto Motor und Sport**, MOTOR PRESS HELLAS A.E.

Τεύχη: 1-1991, 15-1992, 19-1993, 34-1993, 35-1993, 36-1993,
38-1993, 44-1994, 53-1994, 55-1994, 63-1995, 64-1995,
81-1995, 15-1996, 16-1996, 15-1997.

- Το βιβλίο της ασφάλειας, έκδοση του περιοδικού Auto Motor und Sport, 1991.

- Μηνιαίο περιοδικό αυτοκινήτου **CAR&Driver**, ΕΥΡΩΠΑΙΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΕΠΕ.

Τεύχη: 4, 25, 26, 148.

- **AUTO WEEK** Ένθετο περιοδικό αυτοκινήτου, της εφημερίδας ΕΠΙΕΝΔΥΤΗΣ.CLEVER ΕΛΛΑΣ ΕΠΕ

Τεύχη: 80, 88, 99, 111, 120, 131, 134.

- **RAM**. Περιοδικό για την τεχνολογία. Τεύχος 173.

Ιστοσελίδες:

www.ferrari.com
www.audi.com
www.mercedes-benz.gr
www.citroen.com
www.tvr.com
www.mclaren.com
www.michelin.com
www.pirelli.com
www.continental.com
www.audiworld.com
www.f1racing.net
www.winnipegluxurycars.com
www.team.net/www/ktnd/mc_lar.html



ΜΕΛΕΤΗ ΟΔΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΠΙΒΑΤΗΓΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ
ΣΤΡΑΤΗΛΑΤΙΝΙΟΥ

ΥΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΒΛΕΨΗ ΤΟΥ ΚΑΘΗΓΗΤΗ
Κ. ΧΡΗΣΤΟΥ ΠΑΠΑΔΥΜΗ

- ΟΠΩΣ ΚΑΙ ΝΑ ΚΙΝΟΥΝΤΑΙ ΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΣΤΟ ΜΕΛΛΟΝ, ΠΑΝΤΑ ΘΑ ΥΠΑΡΧΕΙ ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΤΟ ΣΩΣΤΟ ΤΟΥΣ ΣΤΗΣΙΜΟ.
- ΑΠΟ ΤΙ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ Η ΟΔΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ;
- ΓΙΑΤΙ ΜΕΡΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΕΙΝΑΙ ΠΙΟ ΕΥΧΑΡΙΣΤΑ ΑΠΟ ΚΑΠΟΙΑ ΑΛΛΑ;
- ΓΙΝΕΤΑΙ ΑΚΟΜΑ ΕΡΕΥΝΑ ΣΕ ΑΥΤΟΝ ΤΟΝ ΤΟΜΕΑ;
- ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΕΜΠΡΟΣ, ΠΙΣΩ, Ή ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ;
- ΚΙΝΗΣΗ ΜΠΡΟΣΤΑ, ΠΙΣΩ, Ή ΚΑΙ ΣΤΟΥΣ ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΤΡΟΧΟΥΣ;
- CAMBER, CASTER, OFFSET. ΓΙΑΤΙ ΕΧΕΙ ΤΟΣΕΣ ΓΩΝΙΕΣ Η ΑΝΑΡΤΗΣΗ;



ΤΟ ΠΟΝΗΜΑ ΑΥΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΗΓΗΣΗΣ ΜΕ ΤΟΝ ΑΠΛΟΥΣΤΕΡΟ ΔΥΝΑΤΟ ΤΡΟΠΟ, ΟΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΟΔΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΕΠΙΒΑΤΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ.