



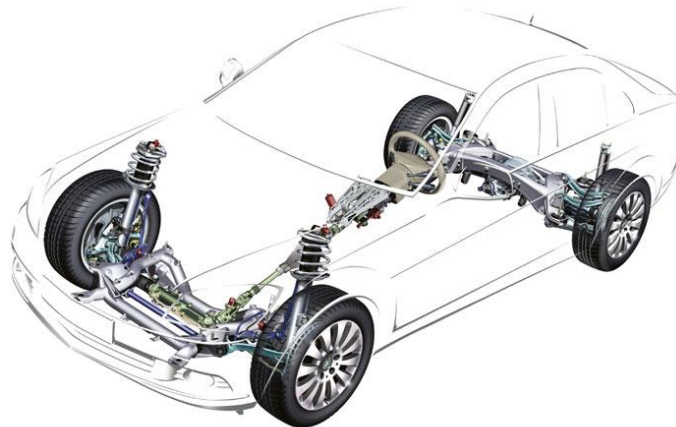
**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ (ΣΤΕΦ)
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ**

ΘΕΜΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

**‘‘ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ’’
‘‘VEHICLE SUSPENSION SYSTEM’’**



ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Δ. ΞΥΠΟΥΤΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΙΑΚΗΣ

Νοέμβριος 2017

Περίληψη

Αναμφίβολα, ζούμε στην εποχή της τεχνολογίας. Καθημερινά, παρατηρούμε ότι η ανάπτυξη της τεχνολογίας ολοένα και αυξάνεται και σε σημαντικό βαθμό στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Η άνεση, η ασφάλεια των επιβατών, το χαμηλό κόστος συντήρησης είναι μερικοί από τους παράγοντες που οδηγούν τους κατασκευαστές στη σύγχρονη και αποτελεσματική σχεδίαση συστημάτων ανάρτησης, λαμβάνοντας πάντα υπόψη τους διάφορα στοιχεία τα οποία μπορούν να επηρεάσουν την ομαλή λειτουργία αυτών και κατά συνέπεια την άνεση των επιβατών.

Στην αγορά κυκλοφορούν συστήματα ανάρτησης τα οποία καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος πελατολογίου με διαφορετικές ανάγκες, απαιτήσεις και αισθητική, έτσι, οι αντιπροσωπείες προσαρμόζονται ανάλογα με τις ανάγκες του αγοραστικού τους κοινού.

Το σύστημα ανάρτησης αποτελείται από ένα σύνολο μηχανικών αρθρώσεων και συναρμογών που συνεργάζονται μεταξύ τους αρμονικά με τα ελατήρια και τα αμορτισέρ και ελέγχουν την κατακόρυφη ταλάντωση των τροχών. Η ανάρτηση είναι ένα τύπος ελαστικού συνδέσμου που διαχωρίζει τις αναρτημένες μάζες, όπως πλαίσιο και μηχανή, από τις μη αναρτημένες, όπως τροχοί και δίσκοι πέδησης. Επιπλέον, είναι το μέσο το οποίο παρεμβάλλεται μεταξύ των τροχών και του χώρου των επιβατών.

Η λειτουργία των αναρτήσεων είναι σημαντική διότι αφορά αφενός την άνεση των επιβατών μέσα στην καμπίνα, δηλαδή την μείωση των ταλαντώσεων που φτάνουν στο αμάξωμα λόγω των ανωμαλιών του οδοστρώματος και αφετέρου την καλύτερη και ασφαλέστερη οδήγηση. Σκοπός του οχήματος είναι να μπορεί να ακολουθεί τις καμπύλες που διαγράφουν οι στροφές και να διατηρεί την πορεία που επιθυμεί ο οδηγός.

Η ανάγκη για τη δημιουργία ενός συστήματος ανάρτησης προϋπήρχε από την εποχή που ο άνθρωπος χρησιμοποιούσε ως όχημα τις άμαξες. Το σύστημα ανάρτησης μεταδίδει όλες τις δυνάμεις που δημιουργούνται κατά την κίνηση του οχήματος από τις μη αναρτημένες προς τις αναρτημένες μάζες και αντίστροφα. Τα κύρια μέρη ενός συστήματος ανάρτησης είναι τα ελατήρια, τα αμορτισέρ, οι σφαιρικοί σύνδεσμοι και τα ελαστικά μέρη των αναρτήσεων.

Abstract

Undoubtedly, we are living in the age of technology. Every day, we see that the development of technology is increasingly growing and to a considerable extent in the automotive sector. Comfort, passenger safety, low maintenance costs are some of the factors that drive manufacturers into modern and efficient suspension systems design, taking always into account the various elements that can affect their smooth operation and consequently the comfort of the passengers.

Suspension systems are available on the market, covering a wide range of clientele with different needs, requirements and aesthetics, so dealerships are tailored to the needs of their buyers.

The suspension system consists of a set of mechanical joints and fittings that work together in harmony with springs and shock absorbers and control vertical wheel vibration. Suspension is a type of elastic coupling that separates the non-suspended masses, such as wheels and brake discs, from the suspended ones such as frame and engine. In addition, it is the medium that interferes between the wheels and the passenger compartment.

The operation of the suspensions is important because it concerns both passenger comfort in the cabin, namely the reduction of the oscillations that reach the body due to road abnormalities and, on the other hand, better and safer driving. The purpose of the vehicle is to be able to follow the curves of the curves and maintain the course the driver wishes.

The need to create a suspension system existed from the time man used carriages as a vehicle. The suspension system transmits all the forces generated during the vehicle's movement and, in general, its static and dynamic condition, from the non-suspended to the suspended masses and vice versa. The main parts of a suspension system are springs, shock absorbers, spherical couplings and elastic suspension parts.

Περιεχόμενα

Περίληψη	
Εισαγωγή	5
1. Σκοπός της ανάρτησης	6
1.1 Αναρτημένες και μη αναρτημένες μάζες	8
1.2 Γωνία Camber – Caster, Σύγκλιση - Απόκλιση	8
2. Είδη Συστημάτων Ανάρτησης	
2.1 Ακαμπτος άξονας	14
2.2 Ημιάκαμπτος άξονας	18
2.3 Πολλαπλοί σύνδεσμοι	22
2.4 Ανεξάρτητος άξονας	
2.4.1 Διπλά ψαλίδια	25
2.4.2 Υστερούντες βραχίονες	26
2.4.3 Ημι-υστερούντες βραχίονες	27
2.4.4 Ανάρτηση με γόνατο Mac-Pherson	28
2.5 Άλλες μορφές ανάρτησης	
2.5.1 Πνευματικό σύστημα ανάρτησης	32
2.5.2 Υδροπνευματικό Σύστημα Ανάρτησης	33
3. Ελατήρια Συστήματος Ανάρτησης	
3.1 Ελατήριο	34
3.2 Απλά Ελατήρια	37
3.3 Ελικοειδή ελατήρια	40
3.4 Ημιελλειπτικά Ελατήρια	42
3.5 Τρόπος λειτουργίας ημιελλειπτικών ελατηρίων	45
3.6 Σπειροειδή ελατήρια	47
3.7 Σύγκριση απλών και παραβολικών ελατηρίων	48
3.8 Δυναμική μεταφορά φορτίου σε επάλληλους άξονες	50
3.9 Στρέβλωση ελατηρίων	51
3.10 Αποτελέσματα της παραμόρφωσης του ελατηρίου	52
3.11 Παράγοντες διάρκειας ζωής των ημιελλειπτικών ελατηρίων	53
3.12 Συντήρηση και αντιμετώπιση προβλημάτων	56
3.13 Η Παραμόρφωση του ελατηρίου	60
3.14 Σκληρά και Μαλακά ελατήρια	62

4. Αποσβεστήρες ταλαντώσεων (Αμορτισέρ)	
4.1 Εισαγωγή	64
4.2 Αρχή λειτουργίας του αμορτισέρ	65
4.3 Τύποι αποσβεστήρων ταλαντώσεων	
4.3.1 Ρυθμιζόμενοι Αποσβεστήρες Ταλαντώσεων	71
4.3.2 Μαγνητοροϊκοί Αποσβεστήρες Ταλαντώσεων	73
4.4 Υπερβολικό χαμήλωμα του αυτοκινήτου	74
4.5 Ευθυγράμμιση – Ορισμός	78
4.6 Η ζυγοστάθμιση και ο ρόλος της	80
5. Συστήματα αναρτήσεων σε βαρέα οχήματα και σε μοτοσυκλέτες	
5.1 Αερόσουστες βαρέων οχημάτων	83
5.2 Συστήματα αναρτήσεων σε μοτοσυκλέτες	
5.2.1 Εισαγωγή	87
5.2.2 Γεωμετρία ανάρτησης της μοτοσυκλέτας	88
5.2.3: Ρύθμιση αναρτήσεων μοτοσυκλέτας	91
5.3 Φθορές και συντήρηση των συστημάτων ανάρτησης	
5.3.1 Βλάβες των συστημάτων ανάρτησης	94
5.3.2 Βλάβες στους αποσβεστήρες ανάρτησης (αμορτισέρ)	95
5.3.3 Συντήρηση ανάρτησης με ημιελλειπτικά ελατήρια	96
6. Γεωμετρία των αναρτήσεων	
6.1 Γενικά	97
6.2 Γεωμετρία ανάρτησης για διάφορα συστήματα ανάρτησης	98
6.3 Ράβδος πανάρ (panar) – Ο σημαντικός ρόλος της	99
6.4 Στρεπτική ράβδος	101
6.5 Αντιστρεπτική ράβδος	103
6.6 Σάιλεντ Μπλοκ (Σινεμπλόκ)	104
7. Μεθοδολογία – Συμπεράσματα	106
Βιβλιογραφία	114

Εισαγωγή

Το σύστημα ανάρτησης είναι καθοριστικής σημασίας για ένα όχημα, καθώς αποτελεί το μέσο με το οποίο ένα όχημα είναι ικανό να κινηθεί στο οδόστρωμα με τις διάφορες ανωμαλίες του εδάφους, αναταράξεις, απότομες κλίσεις κλπ, χωρίς να επηρεάζεται η κατασκευή του οχήματος (αμάξωμα) και να εξασφαλίζει ασφάλεια και άνεση στους επιβάτες. Το σύστημα ανάρτησης αφορά κάθε κατηγορία οχήματος που κινείται στο οδόστρωμα, όπως φορτηγά οχήματα, λεωφορεία, επιβατικά Ι.Χ., οχήματα επαγγελματικής χρήσης, καθώς και μοτοσυκλέτες, ποδήλατα.

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται λόγος για την προέλευση και τον σκοπό της ανάρτησης στα οχήματα για τα διάφορα συστήματα ανάρτησης.

Στο 2^ο κεφάλαιο περιγράφονται τα είδη των αναρτήσεων και αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας τους, παρουσιάζοντας τα χαρακτηριστικά του κάθε συστήματος.

Στο 3^ο κεφάλαιο περιγράφονται τα διάφορα είδη ελατηρίων που χρησιμοποιούν τα συστήματα ανάρτησης και η καθοριστική τους σημασία, καθώς επηρεάζουν την συνολική συμπεριφορά του οχήματος κατά την οδήγηση.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται όλες οι κατηγορίες αμορτισέρ που χρησιμοποιούν τα διάφορα συστήματα ανάρτησης, όπως και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους.

Στο 5^ο κεφάλαιο αναλύονται τα είδη των αναρτήσεων τόσο στα βαρέα οχήματα όσο και στις μοτοσυκλέτες.

Στο 6^ο κεφάλαιο παρατίθεται η γεωμετρία των αναρτήσεων για τους διάφορους τύπους οχημάτων.

Στο 7^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε, καθώς και τα συμπεράσματα που διεξήχθησαν από αυτήν της εργασία.

Για την εκπόνηση της παρούσης εργασίας, πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική έρευνα σε βιβλία, επιστημονικά άρθρα, δημοσιεύσεις άρθρων αλλά και σημειώσεις τόσο από την Ελλάδα όσο και το εξωτερικό.



Εικόνα 1: Courtesy HONDA MOTOR CO, LTD, Double-wishbone suspension on **Honda Accord 2005 Coupe**.

Πηγή: Περιοδικό Auto Express, τεύχος 4^ο – Συστήματα ανάρτησης, Απρίλιος 2005.

• Σκοπός του συστήματος ανάρτησης

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι η ανάλυση των συστημάτων ανάρτησης από τα παλαιότερα μέχρι και τα πιο σύγχρονα, είτε πρόκειται για αναρτήσεις αυτοκινήτων, μοτοσυκλετών ή φορτηγών. Το σύστημα ανάρτησης δημιουργήθηκε για να εξυπηρετεί συγκεκριμένους σκοπούς. Έχει ως αποστολή να εξασφαλίζει την ασφάλεια του οχήματος κατά την κίνηση, στο βαθμό που αυτό είναι εφικτό, διατηρώντας την πρόσφυση του τροχού με το οδόστρωμα. Επιπλέον, να προσφέρει άνεση στους επιβάτες, ώστε να μη γίνονται αποδέκτες κραδασμών και αναπηδήσεων, εξαιτίας ανωμαλιών του οδοστρώματος και να εξασφαλίζει προστασία σε προϊόντα – εμπορεύματα, τα οποία ενδεχομένως κινδυνεύουν να καταστραφούν. Η ανάρτηση είναι εκείνη η οποία καθορίζει τη συμπεριφορά του αυτοκινήτου επάνω στο οδόστρωμα, ενώ ένα σωστά ρυθμισμένο σύστημα οφείλει να αντιδρά σωστά στις δυνάμεις που ασκούνται επάνω του προσφέροντας άνεση και ασφάλεια.

Πιο αναλυτικά, θα πρέπει να επιτρέπει στους τροχούς τις κατακόρυφες κινήσεις, ώστε να ακολουθούν τα εμπόδια που συναντούν στο δρόμο χωρίς να μεταβάλλεται η γεωμετρία τους. Επίσης, θα πρέπει να εξασφαλίζει τη συνεχή επαφή των τροχών με το δρόμο, να επιτρέπει στους κατευθυντήριους τροχούς να στρίβουν, να περιορίζει τις κινήσεις τους στον διαμήκη άξονα μεταδίδοντας στο πλαίσιο τις δυνάμεις επιτάχυνσης από τη ροπή στρέψης των κινητήριων τροχών και τις δυνάμεις επιβράδυνσης από τα φρένα. Τέλος, να απομονώνει την καμπίνα των επιβατών από τις αναταράξεις της κίνησης.

Η λειτουργία της ανάρτησης εξαρτάται από τη γεωμετρία της, δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο εφάπτονται οι τροχοί στο δρόμο, κάτι που καθορίζει και την απόκριση

του συστήματος διεύθυνσης. Όταν οι τροχοί του ίδιου άξονα είναι στραμμένοι αντίθετα ο ένας προς τον άλλο προς τα μέσα ως προς τη διεύθυνση κίνησης, δηλαδή όταν συγκλίνουν, τότε μιλάμε για θετική σύγκλιση. Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν αποκλίνουν, έχουμε αρνητική σύγκλιση, ενώ όταν είναι εντελώς παράλληλοι έχουμε μηδενική σύγκλιση.

Υπάρχουν δύο ομάδες μαζών: Οι **αναρτημένες** και οι **μη αναρτημένες μάζες**. Στις μη αναρτημένες μάζες ανήκουν οι τροχοί και τα εξαρτήματα τα οποία συνδέονται μαζί τους. Στις δε αναρτημένες μάζες ανήκουν τμήματα του οχήματος τα οποία εδράζονται επάνω στο σύστημα ανάρτησης και μέσω αυτού συνδέονται με τους τροχούς.

Ιστορική αναδρομή

Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του '70, τα περισσότερα αυτοκίνητα διέθεταν μη ανεξάρτητη ανάρτηση, δηλαδή ο κάθε άξονας "συμπεριφέρονταν" κατά τον ίδιο τρόπο.

Βασικά, υπήρχε ένας **άκαμπτος άξονας** με φύλλα σούστας ή ελατήρια, ώστε να στηρίζεται το αμάξωμα. Η συγκεκριμένη ανάρτηση ονομάστηκε **μη ανεξάρτητη** καθώς, οποιαδήποτε μεταβολή συνέβαινε στον έναν τροχό, μεταφέρονταν στον ακριβώς απέναντι. Από τη δημιουργία του πρώτου ακόμη οχήματος, το οποίο κατασκευάστηκε στη Γαλλία το έτος 1769 από τον **Νικολά Κυνιό** (Nicolas Joseph Cugnot) ο οποίος δημιούργησε το πρώτο αυτοκίνητο όχημα που ήταν ένα ατμοκινούμενο αμάξι το **fardier**. μέχρι και σήμερα, η επιστήμη που ασχολείται με τα οχήματα έχει ως κύριο σκοπό να δώσει στο όχημα εκτός από το εξελιγμένο και όμορφο design που θα προσελκύσει τα βλέμματα των υποψήφιων αγοραστών του στις διάφορες εκθέσεις ανά τον κόσμο, μία αίσθηση ασφάλειας και άνετης οδηγικής συμπεριφοράς στον οδηγό. Συνεπώς, η παγκόσμια αυτοκινητοβιομηχανία έχει ρίξει το βάρος της στον τομέα που αφορά πρωτίστως στην ασφάλεια των επιβατών και έπειτα στην αίσθηση μιας άνετης και απλοποιημένης κατά το δυνατόν οδήγησης. Σε αυτό ακριβώς το σημείο είναι σκόπιμο να αναφερθεί ένα από τα κυριότερα μέρη του οχήματος, αν όχι το πιο σημαντικό, και αυτό είναι το σύστημα ανάρτησής του.

Χιλιάδες άνθρωποι καθημερινά ασχολούνται και μελετούν τη δημιουργία εκείνης της τεχνολογίας που αφορά την ανάρτηση ενός οχήματος και η οποία θα καθιστά την μεγαλύτερη δυνατή ασφάλεια και παράλληλα θα χρησιμοποιεί μεθόδους και μέσα της

πιο εξελιγμένης τεχνολογίας τη δεδομένη χρονική στιγμή. Σε αυτή λοιπόν την εργασία θα ασχοληθούμε εκτενώς με τα διάφορα συστήματα ανάρτησης τα οποία χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία του οχήματος και θα παρατεθούν παραδείγματα, εικόνες, περιγραφή, συμπεράσματα, όπως και λύσεις για την επιλογή του καταλληλότερου συστήματος ανάρτησης με το οποίο θα πρέπει να είναι εξοπλισμένο το κάθε όχημα, ανάλογα με τη χρήση, το σκοπό και τις ανάγκες που είναι σχεδιασμένο να επιτελέσει.

Το 2014 υπήρχαν 1,25 δισεκατομμύρια επιβατικά αυτοκίνητα παγκοσμίως, εκ των οποίων τα 250 εκατομμύρια βρίσκονταν στις ΗΠΑ. Ο αριθμός αυξάνεται συνεχώς, καθώς οι κάτοικοι των αναπτυσσόμενων κρατών σταδιακά αρχίζουν να αποκτούν επιβατικά αυτοκίνητα. Για να γίνει αντιληπτή η διαφορά, το 1986 ο συνολικός αριθμός των αυτοκινήτων παγκοσμίως ήταν 500 εκατομμύρια.

1. Αναρτημένες και μη αναρτημένες μάζες

1.1 Γενικά

Όταν αναφερόμαστε στις αναρτήσεις, το μυαλό των περισσότερων πηγαίνει στα ελατήρια και στους αποσβεστήρες, τα οποία είναι μέρη του συστήματος ανάρτησης και είναι από τα σημαντικότερα για τη λειτουργία του. Παρόλα αυτά, το πόσο καλά θα συμπεριφερθούν τα εξαρτήματα αυτά σε ένα όχημα εξαρτάται από τον τύπο της ανάρτησης και από το πόσο αυτός είναι συμβατός με το συγκεκριμένο όχημα.

- Διακρίνονται 4 συστήματα ανάρτησης:
- Σύστημα ανάρτησης με άκαμπτο άξονα
- Σύστημα ανάρτησης με ημιάκαμπτο άξονα
- Σύστημα ανεξάρτητης ανάρτησης
- Σύστημα ανάρτησης πολλαπλών συνδέσμων

Η σωστή επιλογή του συστήματος ανάρτησης είναι μια περίπλοκη διαδικασία και δύσκολη. Ο μηχανολόγος θα πρέπει να δώσει την λύση βάση του είδους και της χρήσης του αυτοκινήτου. Ένα μικρό αυτοκίνητο για παράδειγμα έχει διαφορετικές ανάγκες σε σύστημα ανάρτησης από ένα μεγάλο οικογενειακό αυτοκίνητο ή από ένα αυτοκίνητο “off road”.

Οι βασικές επιδιώξεις ενός σχεδιαστή συστημάτων ανάρτησης είναι:

- Να διατηρηθούν οι τροχοί όσο το δυνατόν κατακόρυφοι προς το οδόστρωμα.
- Να κινούνται παλινδρομικά και να απορροφούν τους κραδασμούς και τις ταλαντώσεις από τις λακκούβες και τα σαμαράκια του δρόμου.
- Να συμβαίνουν όλα αυτά και παράλληλα να διατηρηθεί η σταθερότητα και η ευστάθεια του οχήματος κυρίως στις στροφές.

Τα συστήματα ανεξάρτητης ανάρτησης εξελίσσονται προς αυτή την κατεύθυνση καθώς κρατούν το αμάξωμα σε οριζόντια θέση και σε σταθερή απόσταση από το έδαφος ανεξάρτητα από την κίνηση των τροχών του οχήματος.

1.2 Γωνία Camber – Caster, Σύγκλιση - Απόκλιση

Καταλυτικής σημασίας για την ευστάθεια του οχήματος

Σε κάθε όχημα η **ευθυγράμμιση** των τροχών γίνεται με τρόπο ώστε όλοι οι τροχοί να είναι παράλληλοι μεταξύ τους και κατακόρυφοι προς το δρόμο.

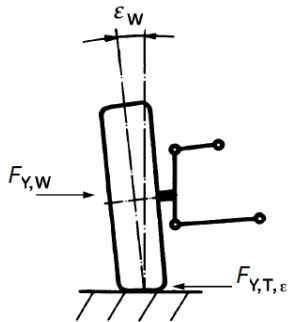
Τρεις είναι οι βασικές γωνίες που συνιστούν την σωστή ευθυγράμμιση: Η **Camber**, η **Caster** και η **σύγκλιση** ή **απόκλιση**.

• Βασικοί ορισμοί

Μετατρόχιο: Είναι η απόσταση b μετρημένη από ένα επίπεδο που περνά από το μέσο του τροχού ως προς το αντίστοιχο επίπεδο του απέναντι τροχού.

Μεταξόνιο: Είναι η απόσταση l μεταξύ των κέντρων περιστροφής του μπροστά και του πίσω τροχού.

Γωνία Camber: Σύμφωνα με το Διεθνές Πρότυπο DIN 70.000, **γωνία Camber** ϵ_w είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του επιπέδου του μέσου του τροχού και ενός επιπέδου κατακόρυφου προς το επίπεδο του δρόμου. Η γωνία Camber έχει θετικό πρόσημο όταν ο τροχός τείνει προς το εξωτερικό του αμαξώματος και αρνητικό όταν κλίνει προς το εσωτερικό.



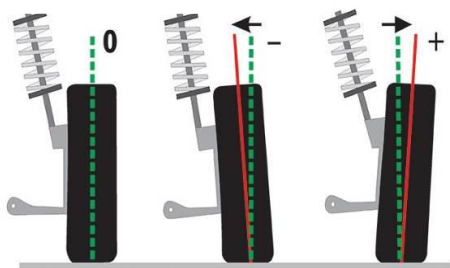
Εικόνα 1.2.1: Τρόπος σχηματισμού της γωνίας Camber ανάλογα με την κλίση του τροχού και τον κάθετο ως προς το δρόμο άξονά του.

Πηγή: Σημειώσεις από το μάθημα "Οχήματα ΙΙ", Καθ. Δρ. Καραογλανίδης Γεώργιος, Μηχ. Μηχανικός, κεφ.2 – Αναρτήσεις Οχημάτων.

Σύμφωνα με το Διεθνές Πρότυπο DIN 70.000, η γωνία **Camber** ϵ_w είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του επιπέδου του μέσου του τροχού και ενός επιπέδου κατακόρυφου προς το επίπεδο του δρόμου. Η γωνία Camber έχει θετικό πρόσημο (+) όταν ο τροχός τείνει προς το εξωτερικό του αμαξώματος και αρνητικό (-), όταν κλίνει προς το εσωτερικό του.

Όπως είπαμε παραπάνω, Camber είναι η μονάδα μέτρησης της γωνίας που σχηματίζει ο τροχός με τον κάθετο ως προς τον δρόμο άξονά του. Εάν ένας τροχός είναι απόλυτα κάθετος προς την επιφάνεια, η Camber του θα είναι μηδέν μοίρες.

Γωνία Camber



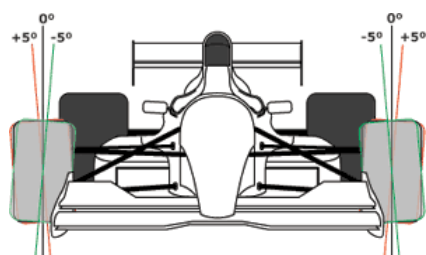
Εικόνα 1.2.2: Σχηματική απεικόνιση της γωνίας **Camber** και πώς αυτή επιδρά στον τροχό και στη γενικότερη συμπεριφορά της ανάρτησης και κατά συνέπεια στην ευστάθεια ενός οχήματος.

Πηγή: Σύγγραμμα "Τεχνολογία Αυτοκινήτου – Συστήματα Ανάρτησης", Σύγγραμμα από αγγλική βιβλιογραφία με τίτλο "An Introduction to Modern Vehicle Design, Edited by Julian Haprian-Smith, PhD,msC, btECH, Cert Ed HE, MSAE.

Τα πραγματικά πλεονεκτήματα στο αρνητικό Camber προκύπτουν στα χαρακτηριστικά χειρισμού, δηλαδή στα κρατήματα ενός οχήματος. Ένας επιθετικός οδηγός θα απολαμβάνει τα οφέλη από την αυξημένη πρόσφυση κατά τη διάρκεια των πολύ κλειστών στροφών. Κατά τη διάρκεια της επιτάχυνση όμως σε ευθεία ή αρνητική γωνία Camber μειώνεται η επιφάνεια επαφής μεταξύ των ελαστικών και του οδοστρώματος. Δυστυχώς, η αρνητική γωνία Camber παράγει αυτό που είναι γνωστό ως ώθηση από την κάμπερ.

Όταν και τα δύο ελαστικά ακουμπούν στο δρόμο με γωνία αρνητική, ωθούν το ένα ενάντια του άλλου και δεν υπάρχει πρόβλημα. Όταν όμως ένα ελαστικό χάνει πρόσφυση, το ελαστικό δεν έχει πλέον μία αντίθετη δύναμη που να εφαρμόζεται πάνω του και αυτό έχει ως αποτέλεσμα το όχημα να χάνει την πρόσφυση του. Η μηδενική Camber θα οδηγήσει σε πιο ομοιόμορφη φθορά των ελαστικών με την πάροδο του χρόνου, αλλά μπορεί να στερήσει σε απόδοση στις στροφές. Τελικά, η βέλτιστη γωνία Camber θα εξαρτηθεί από τον τρόπο οδήγησης και τις συνθήκες στις οποίες οδηγείται ένα όχημα.

Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικ. 2.5.3), βλέπουμε για ποιες κλίσεις του τροχού σύμφωνα πάντα και με τη συμπεριφορά του δρόμου (οδόστρωμα), η γωνία Camber παίρνει θετικές και αρνητικές τιμές αντίστοιχα.



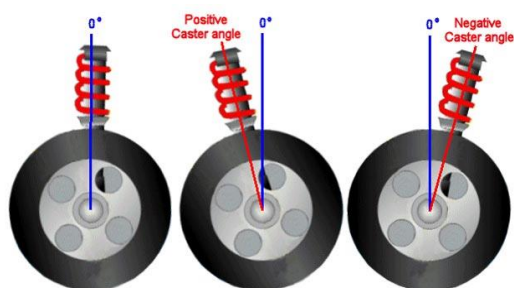
Εικόνα 1.2.3: Θετικές και αρνητικές τιμές της γωνίας Camber εκφρασμένη σε μοίρες σε σχέση με την κατακόρυφη που περνάει από το κέντρο του τροχού και κάθετη προς το έδαφος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα γωνίας Camber φαίνεται σε αγωνιστικό μοντέλο F1. Για θετική γωνία Camber έχουμε σύγκλιση των τροχών του εμπρόσθιου άξονα και για αρνητικό Camber έχουμε απόκλιση των τροχών.

Πηγή: Today's Technician: Automotive Suspension & Steering, 5th EDITION, CLASSROOM MANUAL – NATEF, Don Knowless.

Γωνία Caster: Είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της προβολής του άξονα διεύθυνσης EG σε επίπεδο παράλληλο στον τροχό και σε επίπεδο κέθετο στο δρόμο που περνά από το κέντρο του τροχού.

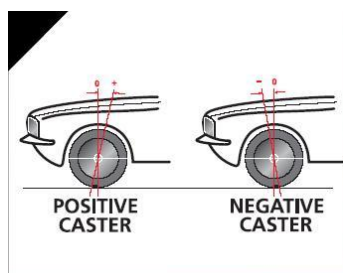
Θετική Caster (+) έχουμε όταν η νοητή κάθετη γραμμή είναι πιο μπροστά από την ανάρτηση και **αρνητική Caster (-)** αν είναι πιο πίσω. Τυπικά, θετική Caster θα κάνει το όχημα πιο σταθερό στις υψηλές ταχύτητες, και θα αυξήσει την κλίση των ελαστικών στις στροφές. Αυτό μπορεί επίσης να δώσει μια πιο βαριά αίσθηση στο τιμόνι.

Τα περισσότερα οχήματα έχουν αυτό που ονομάζεται cross-caster. Αυτά τα οχήματα έχουν ελαφρώς διαφορετικές Caster και Camber, τα οποία τείνουν να παρασύρουν ελαφρώς προς τα δεξιά, τον τροχό. Αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό ασφαλείας έτσι ώστε οι νέοι οδηγοί που χάνουν τον έλεγχο της διεύθυνσης να παρασύρουν το όχημα προς την πλευρά του πεζοδρομίου, αντί στο αντίθετο ρεύμα κυκλοφορίας.



Εικόνα 1.2.4: Θετική και αρνητική γωνία Caster ανάλογα με τη θέση στην οποία βρίσκεται ο άξονας της ανάρτησης από την κάθετη της προς το εμπρόσθιο ή προς το πίσω μέρος του αυτοκινήτου αντίστοιχα.

Πηγή: Today's Technician: Automotive Suspension & Steering, 5th EDITION, **Γωνία Caster** NUAL – NATEF, Don Knowless.



Εικόνα 1.2.5: Σχηματική απεικόνιση θετικού και αρνητικού Caster οχήματος.

Πηγή: Σημειώσεις εργαστηρίου "Οχήματα ΙΙ" – Συστήματα Ανάρτησης Οχημάτων, Καθ. Δρ.Καραογλανίδης Γεώργιος, Μηχανολόγος Μηχανικός.

Ίχνος Caster: Ίχνος caster $r_{τ,κ}$ ονομάζεται η απόσταση μεταξύ των σημείων K και W στο έδαφος. Η castering του κέντρου του τροχού επαφής W. Ίχνος caster μπορεί να επιτευχθεί και μετατόπιση του άξονα περιστροφής EG του τροχού μπορστά από το κέντρο του τροχού όπως φαίνεται και στο σχήμα.

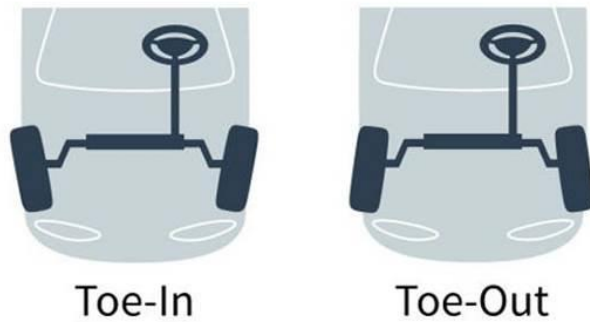
Γωνία ή κλίση Kingpin: Είναι η γωνία της προβολής του άξονα διεύθυνσης EG σε επίπεδο κάθετο στον τροχό και σε επίπεδο κάθετο στο δρόμο που περνά από το κέντρο του τροχού.

Σύγκλιση είναι η γωνία που σχηματίζουν οι δύο τροχοί του ίδιου άξονα μεταξύ τους. Η σωστή σύγκλιση είναι υψίστης σημασίας για τη φθορά και την παρατεταμένη διάρκεια ζωής των ελαστικών. Εάν τα ελαστικά συγκλίνουν προς τα μέσα ή αποκλίνουν προς τα έξω, θα υπάρξει μεγαλύτερη τριβή πάνω στην επιφάνεια του δρόμου και η φθορά θα είναι κατά μήκος των άκρων. Μερικές φορές όμως, η ζωή πέλματος μπορεί να θυσιαστεί για την απόδοση ή τη σταθερότητα.

Θετική σύγκλιση έχουμε όταν ο ένας τροχός απωθεί το άλλον. Η θετική σύγκλιση μειώνει τη δυνατότητα στροφής, ωστόσο δημιουργεί καλύτερη κατευθυντικότητα. Συνήθως, τα οχήματα με κίνηση στους πίσω τροχούς έχουν ελαφρώς θετική σύγκλιση στο πίσω άξονα λόγω της αντίστασης κύλισης. Η ελαφρά θετική σύγκλιση ισιώνει τους τροχούς όταν κινούμαστε με ταχύτητα και παράλληλα αποτρέπει την υπερβολική φθορά των ελαστικών.

Αρνητική σύγκλιση χρησιμοποιείται συχνά στα οχήματα με κίνηση στους εμπρόσθιους τροχούς για τον αντίθετο λόγο. Η ανάρτηση τους τραβιέται ελαφρά προς τα μέσα, έτσι ώστε να υπάρξει ελαφρά αρνητική σύγκλιση όταν κινούμαστε με ταχύτητα. Η αρνητική σύγκλιση αυξάνει τις δυνατότητες του αυτοκινήτου στις στροφές. Όταν το όχημα αρχίζει να στρίβει προς το εσωτερικό μιας γωνίας, ο εσωτερικός τροχός θα στρίψει πιο επιθετικά, αφού ο εσωτερικός τροχός θα διαγράψει μικρότερο κύκλο από τον εξωτερικό και συνεπώς το αυτοκίνητο θα στρίψει προς αυτή την κατεύθυνση. Η αρνητική σύγκλιση μειώνει την ευστάθεια σε ευθεία πορεία.

Κάθε μικρή αλλαγή κατεύθυνσης θα προκαλέσει στο αυτοκίνητο την κίνησή του προς τη μία ή την άλλη κατεύθυνση.



Εικόνα 1.2.6: Σύγκλιση και απόκλιση τροχών εμπρόσθιου άξονα.

Πηγή: Σημειώσεις εργαστηρίου "Οχήματα ΙΙ" – Συστήματα Ανάρτησης Οχημάτων, Καθ. Δρ. Καραογλανίδης Γεώργιος, Μηχανολόγος Μηχανικός, κεφ.2.1 – Σύγκλιση/Απόκλιση, σελ. 7.

2. Είδη Συστημάτων Ανάρτησης

2.1 Σύστημα ανάρτησης με άκαμπτο άξονα

Όσον αφορά τα μηχανικά μέρη που στηρίζουν τις αρθρώσεις, έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί διαφορετικά είδη για διαφορετικές περιπτώσεις, στο πέρασμα του χρόνου.

Μηχανικά μέρη

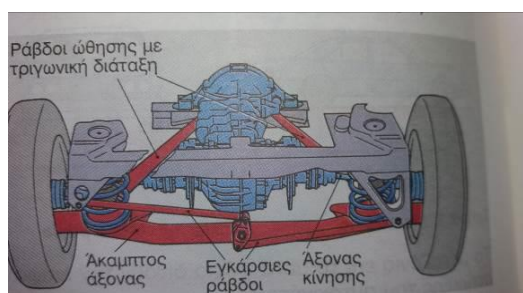
Το σύστημα ανάρτησης με άκαμπτους άξονες είναι η παλαιότερη μορφή ανάρτησης. Άκαμπτος άξονας σημαίνει ένας άξονας που ενώνει τους δύο πίσω τροχούς, διατηρώντας την αρχική του κατάσταση σταθερή κατά την πίεση που δέχεται σε στροφές ή στην πορεία εκτός δρόμου.

Στη συγκεκριμένη διάταξη οι δυνάμεις μεταφέρονται μέσω των ειδικών βραχιόνων, ενώ η πλευρική ευστάθεια και ο έλεγχος των εγκάρσιων μετατοπίσεων ελέγχεται από μια εγκάρσια ράβδο. Οι δυνάμεις αυτές μεταφέρονται κατά την επιτάχυνση και την επιβράδυνση του οχήματος.

Οι αναρτήσεις με άκαμπτο άξονα με προσθήκη φύλλων σούστας χρησιμοποιούνται σε αρκετές περιπτώσεις σε αυτοκίνητα που κινούνται εκτός δρόμου. Τα άκρα της εγκάρσιας ράβδου συνδέονται μέσω ελαστικών συνδέσμων τόσο με τον οπίσθιο άκαμπτο άξονα όσο και με το αμάξωμα. Το διαφορικό, που είναι και το βαρύτερο μέρος του άξονα, είναι στερεωμένο στο αμάξωμα και η κίνηση στους τροχούς μεταφέρεται μέσω των αξόνων και των δύο ημιαξονίων. Τα δύο

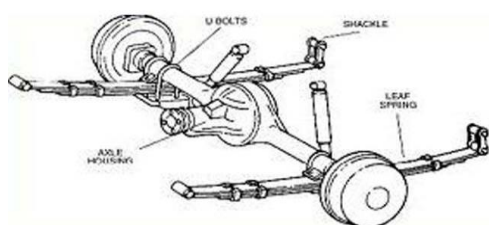
ημιαξόνια έχουν τηλεσκοπικούς συνδέσμους που επιτρέπουν στο μήκος τους να αυξομειώνεται με αποτέλεσμα η μη αναρτημένη μάζα να γίνεται πιο ελαφριά.

Στις σύγχρονες παραλλαγές κατασκευής του άκαμπτου άξονα χρησιμοποιούνται ελικοειδή ελατήρια ανάρτησης όπου η πλευρική ευστάθεια του οχήματος πετυχαίνεται με τις εγκάρσιες ράβδους ενώ υπάρχουν και άλλες δυο ράβδοι σε τριγωνική διάταξη για την ώθηση του οχήματος. Η ανάρτηση αυτή συνδυάζει τα προτερήματα της ανάρτησης του άκαμπτου άξονα με τις αρετές της ανεξάρτητης ανάρτησης.



Εικόνα 2.1.1: Παράδειγμα άκαμπτου άξονα με εγκάρσιες ράβδους άνω και κάτω του άξονα με εγκάρσια διάταξη σύνδεσης με τους αποσβεστήρες (αμορτισέρ) μέσω συνδέσμων και αντίστοιχοι ράβδοι ώθησης τριγωνικής διάταξης.

Πηγή: Σύγγραμμα "Τεχνολογία Αυτοκινήτου 2", Συστήματα Αυτοκινήτου – 3^η ελληνική έκδοση, Σύστημα Ανάρτησης.



Άκαμπτος άξονας - φύλλα σούστας

Εικόνα 2.1.2: Άκαμπτος άξονας που συνδέεται με το αμάξωμα μέσω φύλλων σούστας, ο οποίος εφαρμόζεται ακόμη και στην περίπτωση των εκτός δρόμο (off road) οχημάτων.

Πηγή: Σημειώσεις από Εργαστήριο ΜΕΚ & Τεχνολογίας Αυτοκινήτου.



Εικόνα 2.1.3: Οπίσθιος άκαμπτος άξονας που συνδέεται με το αμάξωμα με ελικοειδή ελατήρια.

Πηγή: Δημοσίευση περιοδικού Auto Τρίτη, τεύχος Απριλίου 2014.

Πλεονεκτήματα άκαμπτου άξονα:

- 1) Χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης
- 2) Ικανότητα παραλαβής μεγάλου κατακόρυφου φορτίου
- 3) Κατάλληλος για βαρέως τύπου οχήματα

Μειονεκτήματα άκαμπτου άξονα:

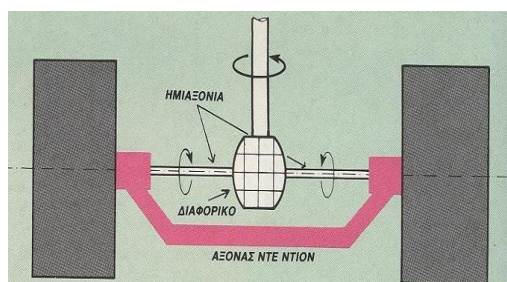
- 1) Ταυτόχρονη (εξαρτημένη) κίνηση των τροχών
- 2) Περιορισμένη οδική συμπεριφορά
- 3) Σχετικά βαριά κατασκευή – Αύξηση της αναρτώμενης μάζας
- 4) Απαιτεί αρκετό χώρο

• Συμπεράσματα

Θα μπορούσαμε να συστήσουμε ανεπιφύλακτα σε κάποιον οδηγό να επιλέξει όχημα με τον συγκεκριμένο τύπο ανάρτησης (άκαμπτο άξονα), αν και εφόσον ο τρόπος λειτουργίας του οχήματος αφορά μακρινές μετακινήσεις με μεταφορά μεγάλων μαζών. Οι μετακινήσεις αυτές δεν απαιτούν ελιγμούς, ενώ η κίνηση γίνεται σε χαμηλές σχετικά ταχύτητες. Επιπλέον, έχει χαμηλό κόστος εγκατάστασης, συντήρησης και είναι πιο ανθεκτικός έναντι των άλλων ειδών ανάρτησης.

Επιδίωξη των κατασκευαστών των αμαξωμάτων και συγκεκριμένα των συστημάτων ανάρτησης είναι, όταν το αμάξωμα γέρνει στις στροφές, οι εξωτερικοί τροχοί (αυτοί που προσδίδουν και το μεγαλύτερο ποσό κεντρομόλου δύναμης), να παραμένουν κάθετοι στο δρόμο αλλά ταυτόχρονα να αναρτώνται με μια όσο γίνεται

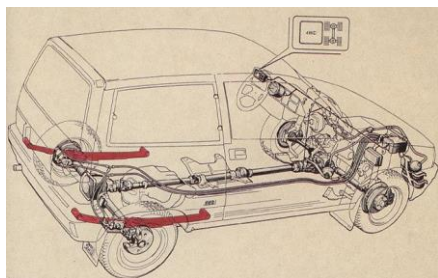
ελαφρύτερη συνδεσμολογία. Μια «ύστατη» λύση στο πρόβλημα αυτό είναι ο άξονας Ντε-Ντιόν (σχ. 1). Εδώ, υπάρχει άκαμπτος άξονας που διατηρεί τους τροχούς παράλληλους μεταξύ τους (και κάθετους στο δρόμο), αλλά δεν εμπεριέχει το διαφορικό το οποίο είναι σταθερά προσαρμοσμένο στο πλαίσιο και δίνει την κίνηση στους τροχούς με ημιαξόνια, όπως συμβαίνει στις ανεξάρτητες αναρτήσεις.



Εικόνα 2.1.4: Ο άξονας Ντε - Ντιόν είναι ένας άκαμπτος άξονας που συνδέει τους τροχούς μεταξύ τους, στους οποίους ένα διαφορικό δίνει την κίνηση με ημιαξόνια, όπως στις ανεξάρτητες αναρτήσεις, ενώ η στήριξη του στο σασί γίνεται με τους κλασικούς βραχίονες των άκαμπτων αξόνων.

Πηγή: Σημειώσεις από το μάθημα "Εργαστήριο ΜΕΚ και Τεχνολογίας Αυτοκινήτου", ΜΕΚ Ι – Μέρος Α.

Όλα τα παραπάνω μειονεκτήματα αφορούν την εφαρμογή του άκαμπτου άξονα σε αυτοκίνητα με κίνηση πίσω, όπου το πέλμα καταπονείται όχι μόνο από την κεντρομόλο δύναμη στις στροφές αλλά και από τη μεταδιδόμενη ισχύ του κινητήρα, φτάνοντας έτσι ευκολότερα σε καταστάσεις αστάθειας και μεγεθύνοντας τις επιπτώσεις από τις αναπηδήσεις του άξονα. Στα αυτοκίνητα με μπροστινή κίνηση, τέτοιου είδους προβλήματα δεν υπάρχουν κι έτσι η παρουσία ενός άκαμπτου άξονα πίσω (Εικ. 2.1.5), δεν αποτελεί μειονέκτημα με την προϋπόθεση να είναι στηριγμένος σωστά.



Εικόνα 2.1.5: Άκαμπτος άξονας για τους πίσω τροχούς του τετρακίνητου Y10. Η ανάρτηση αποτελείται από ημι-ελλειπτικά φύλλα σούστας με "ανισοϋψή σημεία στήριξης".

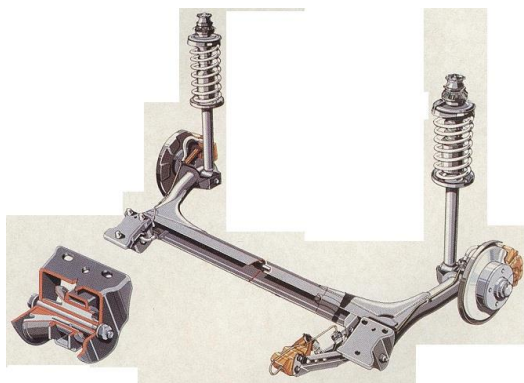
Πηγή: Δημοσίευση άρθρου με τίτλο: "Μηχανισμός ασφάλισης για διαφορικό άξονα οδήγησης", SG Slesinski, BA Muselin - US Patent 5,342,255, 1994.

2.2 Σύστημα ανάρτησης με ημιάκαμπτο άξονα

Μία ενδιαφέρουσα παραλλαγή του άκαμπτου άξονα είναι η "στρεπτική δοκός", γνωστότερη στην ελληνική βιβλιογραφία και ως "ημιάκαμπτος άξονας". Στην περίπτωση αυτή έχουμε δύο υστερούντες βραχίονες συνδεδεμένους στο μέσο, περίπου του μήκους τους με μια εγκάρσια δοκό αυστηρά υπολογισμένης αντοχής σε στρέψη. Με τον τρόπο αυτό, έχουμε μια ελαφριά ανάρτηση με ροπή αδράνειας παραπλήσια με αυτή των υστερούντων βραχιόνων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη στρεπτική αλληλεπίδραση των βραχιόνων εξαιτίας της εγκάρσιας συνδετικής δοκού.

Σε αντίθεση με τους υστερούντες βραχίονες, τα φορτία του κάθε τροχού δεν επιδρούν αποκλειστικά σε μία άρθρωση βραχίονα και σε ένα αμορτισέρ, αλλά διαμοιράζονται στη στήριξη και των δύο τροχών επιτρέποντας στην όλη κατασκευή να είναι αισθητά ελαφρύτερη και εξίσου ανθεκτική, ιδιαίτερα στα πλευρικά φορτία.

Το κύριο προσόν της είναι η ευκολία κατασκευής και το αρκετά χαμηλό κόστος της. Μία εξελιγμένη παραλλαγή του ημιάκαμπτου άξονα διαθέτει έκκεντρες αρθρώσεις των βραχιόνων, (σχ. 3), επιτρέποντας έτσι σε ολόκληρο το «γκρουπ» να στρέφεται ελαφρά δεξιά - αριστερά ανάλογα με την κίνηση της ανάρτησης, βελτιώνοντας έτσι την ευστάθεια του πίσω μέρους του αυτοκινήτου, ιδιαίτερα όταν κινείται στην ευθεία, σε ανώμαλο οδόστρωμα.



Εικόνα 2.2.1: Ημιάκαμπτος άξονας πίσω τροχών αυτοκινήτου με μπροστινή κίνηση. Όπως βλέπουμε, αποτελείται από αιωρούμενους βραχίονες συνδεδεμένους μεταξύ τους με ένα – σχετικά εύκαμπτο – εγκάρσιο μέλος. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η καινοτομία έγκειται

στις έκκεντρες βάσεις στήριξης των βραχιόνων που «στρέφουν» το σύνολο δεξιά – αριστερά, ανάλογα με το βαθμό συμπίεσης της ανάρτησης καθενός τροχού.
Πηγή: Σημειώσεις από το μάθημα "Εργαστήριο ΜΕΚ και Τεχνολογίας Αυτοκινήτου", ΜΕΚ Ι – Μέρος Α.

Στην περίπτωση αυτή, οι δύο τροχοί είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους μέσω των φορέων αξόνων και επιτρέπει τη σχετική κίνηση μεταξύ των δύο τροχών του ίδιου άξονα. Αποτελείται από μία δοκό ανοιχτής διατομής η οποία επιτρέπει τη στρέψη. Οι φορείς διαθέτουν ένα βαθμό ελαστικότητας οι οποίοι με τη σειρά τους προσδίδουν μία ανεξαρτησία στην κίνηση του ενός τροχού ως προς τον άλλο.

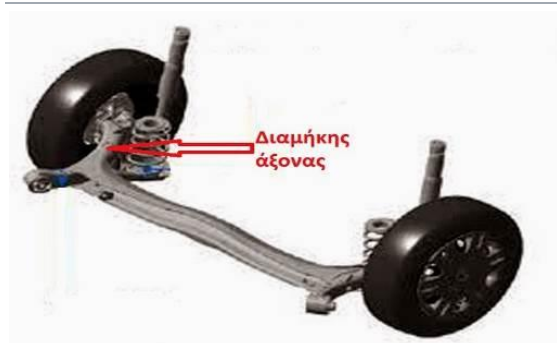
Είναι η πιο διαδομένη διάταξη πίσω ανάρτησης λόγω της απλής, συμπαγούς και οικονομικής κατασκευαστικής της δομής. Ο ημιάκαμπτος άξονας κατατάσσεται στην κατηγορία των ημιανεξάρτητων αναρτήσεων, καθώς επιτρέπει τη σχετική κίνηση μεταξύ των δύο τροχών του ίδιου άξονα.

Ο ημιάκαμπτος μπορεί να συνδυαστεί με υστερούντες βραχιόνες ενώ τα σημεία άρθρωσης ποικίλουν ανάλογα με τον κατασκευαστή. Η δημοφιλέστερη επιλογή των κατασκευαστών για αρκετούς λόγους και χρησιμοποιείται σε σύγχρονες κατασκευές μικρών επιβατικών αυτοκινήτων και επιπλέον λειτουργεί και ως σταθεροποιητής, ενώ ταυτόχρονα αυξάνει την ευστάθεια του αυτοκινήτου, ιδίως στις στροφές. Τα άκρα της “γέφυρας” ενός ημιάκαμπτου άξονα είναι συγκολλημένα με δύο παράλληλους διαμήκεις χαλύβδινους βραχιόνες δεξιά και αριστερά, ενώ πάνω στους βραχιόνες στερεώνονται οι τροχοί. Επίσης, τα άκρα της γέφυρας στο άνω μέρος της έχουν ειδικά διαμορφωμένα στηρίγματα πρόσδεσης, όπου μέσω ελαστικών εδράνων στηρίζονται με κοχλίες στο αμάξωμα.



Εικόνα 2.2.2: Διάταξη πίσω ανάρτησης με ημιάκαμπτο άξονα (γέφυρα), αποτελούμενο από δοκό ανοιχτής διατομής συγκολλημένο σε δύο παράλληλους διαμήκεις βραχίονες, οι οποίοι είναι στερεωμένοι στον τροχό.

Πηγή: Σύγγραμμα από αγγλική βιβλιογραφία με τίτλο ‘‘An Introduction to Modern Vehicle Design, Edited by Julian Happian-Smith, PhD,msC, Btech, Cert Ed HE, MSAE.



Εικόνα 2.2.3: Ημιάκαμπτος (ημιεξαρτώμενος) άξονας με ειδικά διαμορφωμένα στηρίγματα πρόσδεσης στο επάνω μέρος του αμαξώματος μέσω κοχλιών.

Πηγή: Σύγγραμμα από αγγλική βιβλιογραφία με τίτλο ‘‘An Introduction to Modern Vehicle Design, Edited by Julian Happian-Smith, PhD,msC, Btech, Cert Ed HE, MSAE.



Εικόνα 2.2.4: Ημιάκαμπτος (ημιεξαρτώμενος) άξονας.

Πηγή: Milliken, W. F. and Milliken, D. L. (1995). ‘‘Race car vehicle dynamics’’. Society of automotive engineers, inc., Warrendale, Pa. USA.

• Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα ημιάκαμπτου άξονα

Προσφέρει καλύτερη γωνία camber (γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του επιπέδου του μέσου του τροχού και ενός επιπέδου κατακόρυφου προς το επίπεδο του δρόμου) και σε υψηλή φόρτιση παρουσιάζονται αρνητικές τιμές βελτιώνοντας το κράτημα του αυτοκινήτου. Από την άλλη, ο ημιάκαμπτος μπορεί να μην είναι ό,τι καλύτερο για τη γεωμετρία των τροχών (συγκρίνοντας με διάταξη πολλαπλών συνδέσμων και διπλά ψαλίδια), αλλά βολεύει στα μικρά και μικρομεσαία αυτοκίνητα. Και αυτό διότι καταλαμβάνει μικρό χώρο και δεν περιορίζει το πορτμπαγκάζ.

Βασικό μειονέκτημα του ημιάκαμπτου άξονα αποτελεί το γεγονός ότι στις εγκάρσιες ανωμαλίες του οδοστρώματος το όχημα έχει την τάση να αναπηδάει. Ως μη ανεξάρτητη ανάρτηση, ολόκληρος ο πίσω άξονας κάνει μια απότομη κίνηση προς τα πάνω και μετά προς τα κάτω, ενώ όλη η κίνηση αυτή μεταφέρεται και στην καμπίνα και επομένως στους επιβάτες.

Αντιθέτως, στην περίπτωση των **πολλαπλών συνδέσμων**, που είναι πλήρως ανεξάρτητη ανάρτηση, ο κάθε τροχός κάνει τη δική του ταλάντωση ξεχωριστά με λιγότερο βάρος ο καθένας και έτσι η απόσβεση είναι πιο εύκολη και εφικτή.

Τα πλεονεκτήματα όμως μιας ανεξάρτητης πίσω ανάρτησης έχουν προέκταση και στην οδική συμπεριφορά, αφού ελέγχει καλύτερα τη γωνία του τροχού ως προς το έδαφος και άρα την πρόσφυση, αλλά και τη γωνία ως προς την τροχιά που κινείται το αυτοκίνητο.

Ο βασικός λόγος που δεν επιλέγουν όλοι την ανεξάρτητη πίσω ανάρτηση είναι το κόστος. Επιπλέον, για λόγους χωροταξίας μιας και μία ανάρτηση πολλαπλών συνδέσμων απαιτεί αρκετό χώρο, που συνήθως εξοικονομείται από τον χώρο αποσκευών.



Εικόνα 2.2.5: Σύστημα ανάρτησης οχήματος με ημιάκαμπτο άξονα (αριστερά) και πολλαπλών συνδέσμων (δεξιά).

Πηγή: Περιοδικό Auto Τρίτη, τεύχος Απριλίου 2017.

2.3 Ανάρτηση πολλαπλών συνδέσμων (Multi-link suspension)

Σύστημα πίσω ανάρτησης που αποτελείται από τουλάχιστον τέσσερις συνδέσμους χωρίς να υπάρχουν γόνατα Mac-Pherson. Πρόκειται για ιδανικό τύπο ανάρτησης που βρίσκει την χρυσή τομή ανάμεσα στο κράτημα και την άνεση, αλλά και μία από τις ακριβότερες κατασκευαστικά επιλογές. Λόγω της σημαντικά μειωμένης μάζας και των μεγάλων κινηματικών δυνατοτήτων, η ανάρτηση πολλαπλών συνδέσμων θεωρείται μία από τις πιο εξελιγμένες διατάξεις πίσω ανάρτησης. Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικ. 2.3.1), βλέπουμε ένα σύστημα ανάρτησης πίσω άξονα:



Εικόνα 2.3.1: Σύστημα πίσω ανάρτησης (Multi-link suspension).

Πηγή: Wolfgang Matschinsky “Road vehicle suspensions”. Translated and edited by Alan Baker. Professional Engineering Publishing.

Η ανάρτηση αυτού του τύπου αποτελείται από βραχίονες που έχουν διχαλωτό σχήμα. Στην ανάρτηση του κάθε τροχού ²⁰ τα ψαλιδιά είναι δύο, το πάνω και το κάτω, κι έχουν δύο σκέλη το καθένα. Η βάση του κάθε ψαλιδιού, δηλαδή τα δύο του πόδια συνδέονται αρθρωτά σε κάποιο σταθερό σημείο του σασί και στην κορυφή του το κάθε ψαλίδι έχει έναν ακόμα αρθρωτό σύνδεσμο, με τον οποίο συνδέεται με την τέταρτη κατακόρυφη πλευρά του αρθρωτού τετράπλευρου, που δεν είναι άλλη από τον φορέα του άξονα του τροχού.



Εικόνα 2.3.2: Ανάρτηση με διπλά ψαλίδια (άνω και κάτω) του κεντρικού άξονα του τροχού τα οποία συγκρατούνται μέσω κοχλιών στο αμάξωμα.

Πηγή: Σύγγραμμα "An introduction to Modern Vehicle Design", Julian Happian-Smith.

Η ανάρτηση πολλαπλών συνδέσμων μοιάζει με μία ανάρτηση με διπλά ψαλίδια, όπου το καθένα από αυτά έχει χωριστεί σε δύο βραχίονες (συνολικά τέσσερις). Ο κάθε βραχίονας είναι υπεύθυνος για μια συγκεκριμένη παράμετρο της θέσης και της κίνησης του τροχού, όπως είναι η μεταβολή της γωνίας κάμπερ από τον κάθε βραχίονα που είναι υπεύθυνος για τις συγκεκριμένες παραμέτρους, η διαμήκης σταθερότητα και η εγκάρσια τοποθέτησή τους.

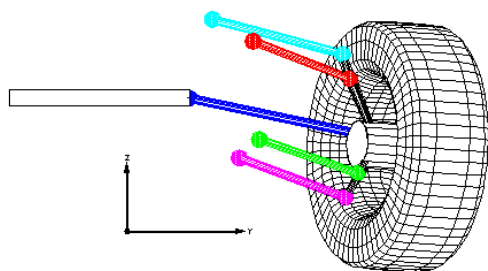
Η εγκάρσια τοποθέτηση του τροχού, δηλαδή η απόσταση από τον διαμήκη άξονα του αυτοκινήτου δεν είναι σταθερή και αμετάβλητη, γιατί εάν ένας τροχός μεταβάλλει την γωνία camber και διατηρεί το κέντρο του σταθερό ως προς το αυτοκίνητο, τότε τα πέλματα των δύο τροχών θα πλησιάζουν ή θα απομακρύνονται μεταξύ τους. Κάτι τέτοιο προκαλεί καταπόνηση των ελαστικών (Knowles,1997).



Εικόνα 2.3.3: Ανάρτηση με πολλαπλούς συνδέσμους.

Πηγή: Σύγγραμμα "Τεχνολογία Αυτοκινήτου 2", Συστήματα Αυτοκινήτου – 3"

Ελληνική Έκδοση, Σύστημα Ανάρτησης.



Εικόνα 2.3.4: Σχηματική παράσταση ανάρτησης με πολλαπλούς συνδέσμους.

Πηγή: Σύγγραμμα **Automotive Chassis: Brakes, Suspension, and Steering**, Tim Gilles, Vice President, Technology and Trades SBU: Alar Elken, Editorial Director: Sandy Clark, NATEF EDITIONS, Santa Barbara City College, California, copywrite 2005.

Η ανάρτηση **multi-link** (πολλαπλών συνδέσμων) παρουσιάζει ένα σημαντικό μειονέκτημα και αυτό είναι το περιορισμένο εύρος κίνησης πέρα από το οποίο οι μεταβολές της γωνίας camber είναι επιβαρυντικές για το αυτοκίνητο. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος για τον οποίο δεν υπάρχουν στους πίσω τροχούς των επιβατικών αυτοκινήτων, αλλά μόνο στα αγωνιστικά αυτοκίνητα.

Οι βραχίονες ενός τέτοιου μηχανισμού πρέπει να μπορούν να συνεργάζονται για τον ίδιο σκοπό, χωρίς όμως ο ένας να παρεμποδίζει τη δουλειά του άλλου.

2.4 Ανεξάρτητη Ανάρτηση

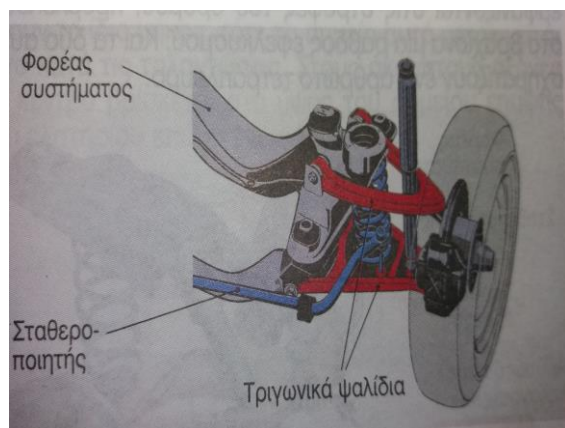
2.4.1 Σύστημα ανάρτησης με διπλά ψαλίδια

Τα ανεξάρτητα συστήματα ανάρτησης είναι τα πλέον επικρατέστερα στις μέρες μας, καθώς όλα τα οχήματα πλέον διαθέτουν αυτού του είδους την ανάρτηση για τους μπροστινούς τροχούς, ενώ βρίσκουν εφαρμογή και στους πίσω.

Αποτελείται από ψαλίδια που μέσω των αρθρώσεων συνδέουν τους τροχούς με το πλαίσιο επιτρέποντας σε έναν τροχό να συμπεριφέρεται ανεξάρτητα από τον άλλο σε περίπτωση κάποιας ανωμαλίας του οδοστρώματος. Αυτό συνεπάγεται την μεγάλη αποτελεσματικότητα της ανάρτησης λόγω του μικρού βάρους των μη αναρτημένων

μαζών που αναλαμβάνουν να εξισορροπήσουν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ανεξάρτητης ανάρτησης αποτελεί αυτή με διπλά ψαλίδια.






Χαρακτηριστικό παράδειγμα ανεξάρτητης ανάρτησης αποτελεί η ανάρτηση με **διπλά ψαλίδια** (Εικ. 2.4.1.1):



Εικόνα 2.4.1.1: Τύπος ανεξάρτητη ανάρτησης με διπλά ψαλίδια, τα οποία είναι στερεωμένα μέσω του φορέα συστήματος στο αμάξωμα όπου στο κάτω τριγωνικό ψαλίδι βρίσκεται ο σταθεροποιητής για την απόσβεση μέρους των ταλαντώσεων.

Πηγή: Σύγγραμμα "Τεχνολογία Αυτοκινήτου 2", Συστήματα Αυτοκινήτου – 3^η Ελληνική Έκδοση, Σύστημα Ανάρτησης.

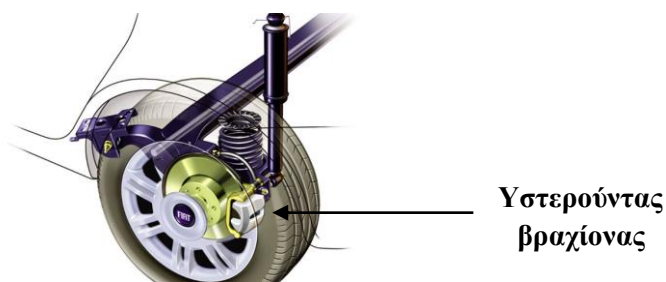
Πίνακας 1: Τιμές για διάφορους τύπους βραχιόνων (ψαλιδιών) ανάλογα με το υλικό κατασκευής.

Types	Steel sheet metal	Aluminum die-cast	Forged aluminum	Magnesium die cast	Hydroformed aluminum
CAD Model					
Cost	75%	90%	100%	110%	120%
Weight	1360 g	620 g	620 g	520 g	600 g
Stiffness	2.7 kN/mm	2.2 kN/mm	2.3 kN/mm	2 kN/mm	1.4 kN/mm
Strength	+	+	++	0	0
Buckling load	0	+	+	-	+
Package size	-	+	++	+	-

Πίνακας 1: Απεικόνιση διαφόρων τύπων ψαλιδιών, χαρακτηριστικά και κόστος.
Πηγή: Σημειώσεις εργαστηρίου "Οχήματα ΙΙ" – Συστήματα Ανάρτησης Οχημάτων, Καραογλανίδης Γεώργιος, Μηχανολόγος Μηχανικός.

2.4.2 Υστερούντες βραχίονες

Είναι το σύστημα ανεξάρτητης ανάρτησης που συναντάται στον πίσω άξονα και που αποτελείται από διαμήκεις βραχίονες που το ένα τους άκρο είναι αρθρωμένο στο πλαίσιο του αυτοκινήτου και το άλλο στην πλήμνη των τροχών. Ο συγκεκριμένος τύπος ανάρτησης είναι σχετικά απλός στην κατασκευή του και φτηνός και δεν καταλαμβάνει πολύ χώρο από τον πορτμπαγκαζ. Στο παρελθόν πολλά μοντέλα (κυρίως γαλλικής προέλευσης) χρησιμοποιούσαν την συγκεκριμένη διάταξη η οποία αργότερα έγινε ακόμη πιο απλή καθώς οι υστερούντες βραχίονες τοποθετήθηκαν παράλληλα μεταξύ τους και με κοινό σημείο μία εγκάρσια τραβέρσα σχηματίζοντας ένα **Π**, τον γνωστό ημιάκαμπτο άξονα.



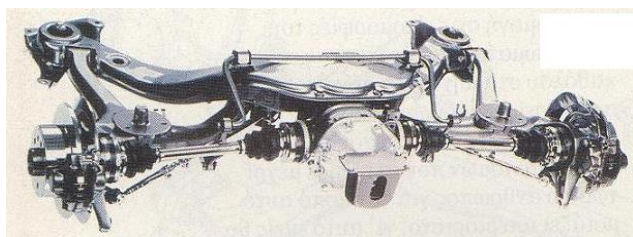
Εικόνα 2.4.2.1: Όταν οι διαμήκεις βραχίονες που δέχονται τις δυνάμεις των τροχών δεν συνδέονται μεταξύ τους, τότε έχουμε πίσω ανάρτηση με υστερούντες βραχίονες.
Πηγή: CHRYSLER CO.: 1989 Dodge Sports Man Plymouth Voyager Vans and Front Sections, U.S.A. 1989.

Παραλλαγή των υστερούντων βραχιόνων αποτελεί η πίσω ανάρτηση σε σχήμα **Π**. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της είναι ότι βασίζεται στην ίδια της την κάμψη για να λειτουργήσει στις στροφές. Η ασύμμετρη φόρτιση προκαλεί τη συστροφή του κεντρικού στελέχους της, το οποίο δρα σαν αντιστρεπτική δοκός. Η ικανότητά της να συμπεριφέρεται σαν αντιστρεπτική χωρίς να υπάρχει αντιστρεπτική δοκός κάτω από το σασί, σε συνδυασμό με τον ελάχιστο χώρο που καταλαμβάνει, την έκανε ιδιαίτερα προσφιλή στους κατασκευαστές. Χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο, ιδίως στα οχήματα της μικρής κατηγορίας. Η οδική συμπεριφορά της χαρακτηρίζεται εντυπωσιακή ακόμη και σε αυτοκίνητα υψηλών επιδόσεων.

2.4.3 Ημι-υστερούντες βραχίονες

Όταν ο άξονας περιστροφής των βραχιόνων βρίσκεται υπό οποιαδήποτε άλλη γωνία ως προς τη διεύθυνση κίνησης του αυτοκινήτου, δηλαδή ως προς τον διαμήκη άξονα του αυτοκινήτου, τότε οι βραχίονες ονομάζονται "ημι-υστερούντες".

Σε περίπτωση που ένα αυτοκίνητο έχει κίνηση στους πίσω τροχούς το διαφορικό του αυτοκινήτου είναι στερεωμένο στο αμάξωμα και η κίνηση φθάνει στους τροχούς μέσω δύο ημιαξονίων, καθένα από τα οποία έχει δύο αρθρωτούς συνδέσμους και τηλεσκοπικό σύνδεσμο. Κάθε τροχός στηρίζεται σε ένα τριγωνικό ψαλίδι, το οποίο έχει δύο σημεία στήριξης στο αμάξωμα, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.4.3.1.



Εικόνα 2.4.3.1: Ημι-υστερούντες βραχίονες, διαφορικό σταθερά στερεωμένο στο σασί, αντιστρεπτική, και ενδεχόμενα πρόσθετες ράβδοι συγκράτησης και/ή δυναμικής μεταβολής της γεωμετρίας.

Πηγή: Περιοδικό "Car and Driver", Nov. 2008.

2.4.4 Ανάρτηση με γόνατο Mac-Pherson

Ιστορική αναδρομή – Η καινοτομία

Το γόνατο **Mac-Pherson** εφευρέθηκε το 1947, οπότε και ο **Earle S. Mac-Pherson**, ένας αμερικανός μηχανικός, κατέθεσε τα χαρτιά για την πατέντα. Τα σχέδια του ήταν βασισμένα στα αρχικά σχέδια ενός Guido Fornaca, πρώην managing director της FIAT το 1927 αλλά ο Mac-Pherson δεν έκανε μία απλή αντιγραφή.

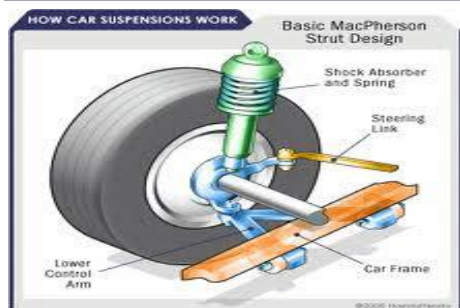
Εκσυγχρόνισε, διόρθωσε και βελτίωσε τα σχέδια και είχε σκοπό να ενσωματώσει τη νέα αυτή αρχιτεκτονική στην εμπρός ανάρτηση του "Light Car Project" της Chevrolet, του οποίου ήταν αρχιμηχανικός στα μέσα της δεκαετίας του '40. Οι λόγοι για τους οποίους ο Mac-Pherson σχεδίασε τα γόνατα που φέρουν το όνομά του, είναι

οι ίδιοι λόγοι που αυτά τα γόνατα χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα: είναι οικονομικά στην κατασκευή και χωράνε σε οχήματα που ο χώρος είναι πολυτέλεια.

Ο Mac-Pherson, πήρε την πατέντα το 1953, αλλά παρότι η ιδέα του ήταν εξαιρετική για την εποχή, τα ομώνυμα γόνατα δεν χρησιμοποιήθηκαν ευρέως για τουλάχιστον μία δεκαετία ακόμα. Μόνο γύρω στην δεκαετία του '60 αρκετοί κατασκευαστές αποφάσισαν να τοποθετήσουν στα αυτοκίνητά τους γόνατα Mac-Pherson. Ο λόγος είναι απλός: Μέχρι τότε ίσχυαν οι αρχικές πατέντες και οι αυτοκινητοβιομηχανίες θα ήταν αναγκασμένες να πληρώσουν αδρά για τα δικαιώματα χρήσης αυτής της ανάρτησης.

• Αρχή λειτουργίας του γόνατου Mac-Pherson

Η ανάρτηση με γόνατο Mac-Pherson παρουσιάστηκε ως εξέλιξη της ανάρτησης με διπλά ψαλίδια. Ο τύπος αυτός απαιτεί περισσότερο όγκο σε ύψος και λιγότερο σε πλάτος. Το γεγονός αυτό την κάνει ιδανική για τον εμπρόσθιο άξονα σε οχήματα με μπροστινή κίνηση, όπου ο κινητήρας τοποθετείται σε εγκάρσια θέση. Η ανάρτηση με γόνατο Mac-Pherson έχει την ικανότητα να προσαρμοστεί και στον πίσω άξονα. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί μόνο ένα αρθρωτό διχαλωτό ψαλίδι, το οποίο συνδέει το σασί με το κάτω μέρος του φορέα του τροχού. Στην πάνω πλευρά δεν υπάρχει ψαλίδι αλλά μια κατακόρυφη τηλεσκοπική αντηρίδα, η οποία έχει μέσα της το αμορτισέρ και γύρω της ένα μακρύ σπειροειδές ελατήριο.



Εικόνα 2.4.4.1: Βασικός σχεδιασμός του γόνατου Mac-Pherson. Ανεξάρτητη διάταξη με ψαλίδι βάσης και ομοαξονικό αποσβεστήρα με ελατήριο στο επάνω μέρος του γονάτου, όπου το πλαίσιο αυτοκινήτου στηριγμένο επάνω στο ψαλίδι.

Πηγή: Sports Car Market magazine - January 2009, Keith Martin's Guide to Collecting, Investing, Values and Trends.

Ο συγκεκριμένος τύπος ανάρτησης είναι ο πλέον διαδεδομένος σήμερα και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι επιτρέπει στον τροχό μεγαλύτερο βαθμό ελευθερίας κατά την περιστροφή του. Επιπλέον, στις διάφορες ανωμαλίες του οδοστρώματος, όπου το όχημα "αναγκάζεται" να υπερπηδήσει, το γόνατο Mac-Pherson εξασφαλίζει μεγαλύτερη ασφάλεια στο όχημα-αμάξωμα έναντι των άλλων συστημάτων ανάρτησης. Τέλος, προσφέρει στον οδηγό αλλά και στους επιβάτες μία αίσθηση άνετης και πιο ευχάριστης διαδρομής, καθώς αποσβάνει τους κραδασμούς αρκετά καλύτερα από τα άλλα είδη ανάρτησης. Το γόνατο Mac-Pherson χρησιμοποιείται σε όλα τα οχήματα της **Formula 1**. Η ανάρτηση αυτού του τύπου παρουσιάζει κάποια σημαντικά **πλεονεκτήματα**, όπως:

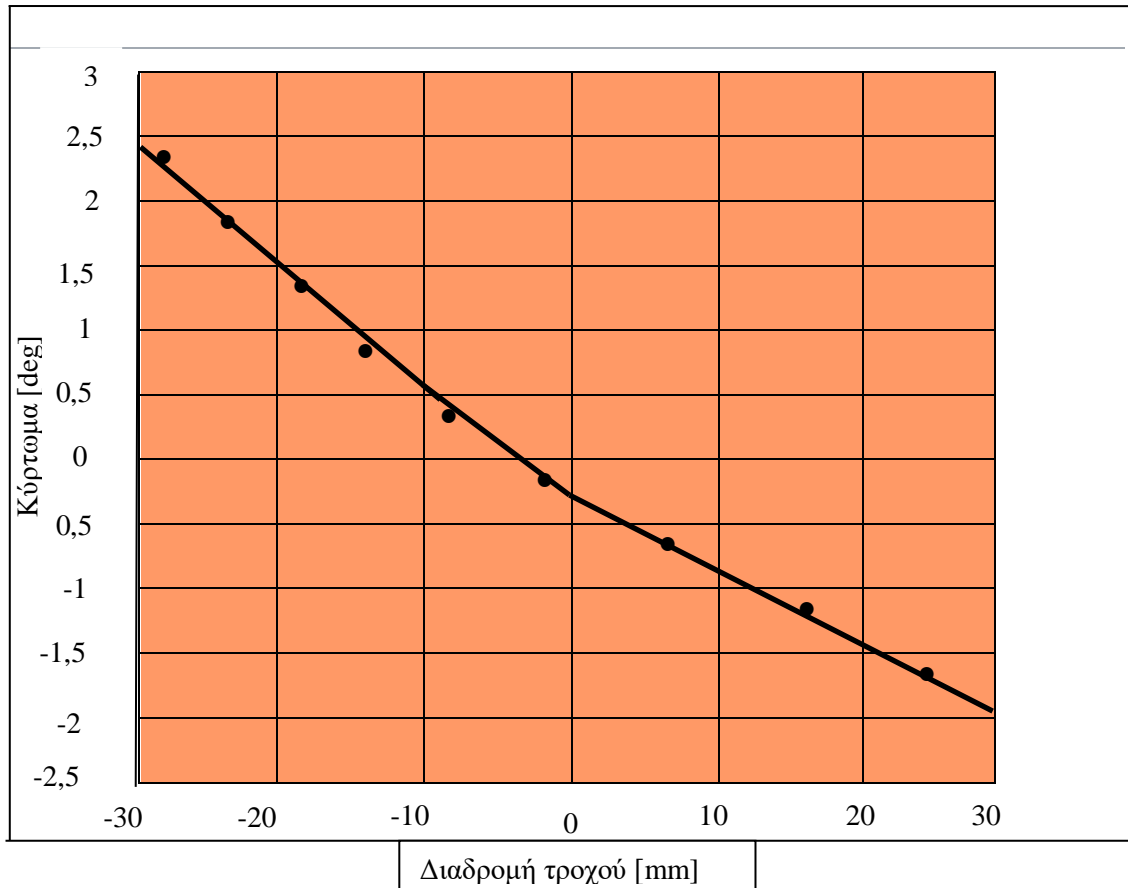
- Έχει μικρότερο πλήθος τεμαχίων από αυτό της ανάρτησης με διπλά ψαλίδια.
- Έχει μικρότερο κόστος κατασκευής και συντήρησης.
- Η φόρτιση στον κάτω βραχίονα του μηχανισμού είναι περιορισμένη.
- Η διαδρομή του τροχού μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη.
- Συνεργάζεται με όλους τους τύπους μηχανισμών συστημάτων διεύθυνσης.
- Ο σχεδιασμός του αμαξώματος στην περιοχή της ανάρτησης είναι ευκολότερος καθώς οι περιοχές συγκέντρωσης φορτίσεων είναι λιγότερες.
- Ο περιορισμένος όγκος της όταν βρίσκεται σε μπροστά άξονα επιτρέπει τον καλύτερο σχεδιασμό της ζώνης κρούσης.

Η ανάρτηση με γόνατο Mac-Pherson παρόλη την ευρεία χρήση της στα σύγχρονα επιβατικά αυτοκίνητα, παρουσιάζει αρκετά **μειονεκτήματα** τα οποία είναι:

- Ο βέλτιστος έλεγχος του προσανατολισμού του ελαστικού κατά την κίνηση του οχήματος είναι δύσκολος.
- Το εύρος μεταβολής της γωνίας **Camber** σε συνάρτηση με την κατακόρυφη θέση του τροχού είναι μικρότερο ενώ η μεταβολή του μετατροχίου είναι σχετικά υψηλή.
- Η μεταβολή της γωνίας **Camber** ακολουθεί καμπύλη αντίθετη συμπεριφορά καθώς γίνεται προοδευτικά όλο και λιγότερο αρνητική.

Επιπλέον, τα πλευρικά φορτία που ασκούνται από τους τροχούς στις στροφές παραλαμβάνονται αυτούσια από τις εδράσεις τηλεσκοπικής ολίσθησης των γονάτων, δημιουργώντας προβλήματα στατικής τριβής και πρόωρης φθοράς. Το μεγαλύτερο

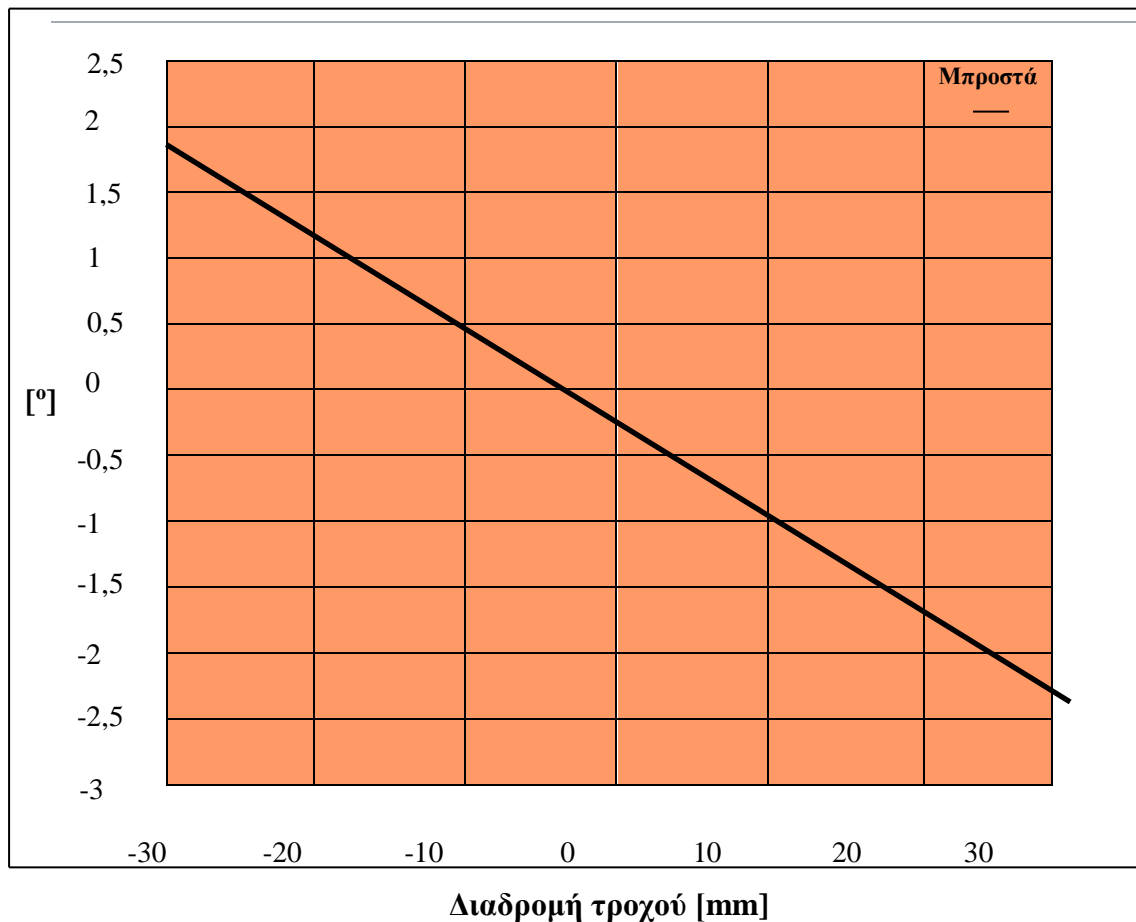
πρόβλημα όμως δημιουργείται στα κατακόρυφα φορτία, τα οποία διαμέσου της έδρασης της κεφαλής του γονάτου μεταφέρονται στην κορυφή των θόλων των φτερών.



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα καμπύλης της W_{ϵ} για ανάρτηση με γόνατο **Mac-Pherson**.

Πηγή: Σημειώσεις εργαστηρίου "Όχηματα ΙΙ" – Συστήματα Ανάρτησης Οχημάτων, Καθ. Δρ. Καραογλανίδης Γεώργιος, κεφ. 2.2. – Αναρτήσεις, Μεταβολή της W_{ϵ} .

Γωνία Camber



Σχήμα 2: Μεταβολή της γωνίας Camber (σε μοίρες) συναρτήσει της διαδρομής του τροχού (σε mm) για τον μπροστινό άξονα.

Η εγκάρσια τοποθέτηση του κέντρου του τροχού, δηλαδή η απόστασή του από τον διαμήκη άξονα του αυτοκινήτου, δεν είναι σταθερή και αμετάβλητη, γιατί αν ένας τροχός μεταβάλει τη γωνία κάμπερ και διατηρεί το κέντρο του σταθερό ως προς το αυτοκίνητο, τότε τα πέλματα των δύο απέναντι τροχών θα πλησιάζουν ή θα απομακρύνονται, πράγμα που δεν πρέπει να είναι και τόσο ευχάριστο για τα ελαστικά. Οι βραχίονες ενός τέτοιου μηχανισμού πρέπει να μπορούν να συνεργάζονται για τον ίδιο σκοπό, χωρίς όμως ο ένας να παρεμποδίζει τη δουλειά του άλλου.

2.5 Άλλες μορφές ανάρτησης

2.5.1 Πνευματικό σύστημα ανάρτησης

Τα συγκεκριμένα συστήματα λόγω της προχωρημένης τεχνολογίας που διαθέτουν, έχουν και πολύ υψηλό κόστος και έτσι χρησιμοποιούνται μόνο σε πολυτελή αυτοκίνητα. Η φιλοσοφία για την κατασκευή ενός τέτοιου συστήματος ξεκίνησε από την συμπεριφορά ενός συστήματος, η οποία θέλει μια καλή συμπεριφορά του οχήματος εντός δρόμου, αλλά και μεγάλες δυνατότητες εκτός δρόμου.

Η ανάρτηση πρέπει να φροντίζει να κρατάει το όχημα σε σταθερή επαφή με το έδαφος, έτσι στην περίπτωση "εντός δρόμου" θα πρέπει τα αμορτισέρ να έχουν τεράστιες διαδρομές, τα ελατήρια να είναι μαλακά έτσι ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ευκαμψία. Σε αντίθεση με την περίπτωση ενός οχήματος "εκτός δρόμου" το όπυ θα πρέπει να διαθέτει άκαμπτους άξονες, οι οποίοι πρέπει να κρατούν το όχημα πάντα σε σταθερή απόσταση από το έδαφος για να προστατεύονται ορισμένα μέρη του. Η ανάγκη λοιπόν των παραπάνω προβλημάτων οδήγησε στην κατασκευή των πνευματικών αναρτήσεων .

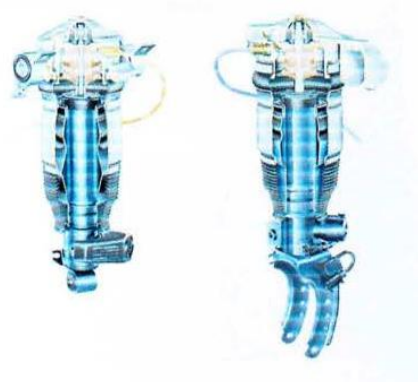
Το πολύ βασικό χαρακτηριστικό όλων των πνευματικών αναρτήσεων, εκτός από την εργοστασιακή κατασκευή τους που διαφέρει, είναι ένα κύκλωμα με αέρα υπό πίεση, που παίρνει τροφοδοσία από κάποιο ηλεκτρικό ή μηχανικό συμπιεστή αέρα και ευθύνεται τόσο για την σκληρότητα, όσο για το ύψος των αερόφουσκων τα οποία έχουν αντικαταστήσει τα ελατήρια. Είναι πολλές οι περιπτώσεις που τα συγκεκριμένα συστήματα συνδυάζονται και με ηλεκτρονικά ελεγχόμενα αμορτισέρ και έτσι αυξάνονται οι επιδόσεις σε εντός και εκτός δρόμου καταστάσεις.

Υπάρχει δυνατότητα να διαθέτουν και αυτόματο έλεγχο, σε αυτή την περίπτωση προστίθεται ένας επιπλέον μικρός εγκέφαλος που λαμβάνει ενδείξεις και δεδομένα από αισθητήρες για την ταχύτητα που κινείται το όχημα, τη θέση, την κλίση, αλλά και την περιστροφή του πλαισίου προς την ανάρτηση.

Στη συνέχεια, η μονάδα ελέγχου της ανάρτησης επεξεργάζεται όλες τις πληροφορίες που δέχεται βάση του αλγοριθμικού της προγράμματος και ρυθμίζει ανάλογα τους «ενεργοποιητές» .

Στην προκειμένη περίπτωση, οι «ενεργοποιητές» δεν είναι παρά ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες οι οποίες μεταβάλλουν την σκληρότητα των αμορτισέρ

ελέγχοντας την παροχή του αέρα στον θάλαμο και έτσι ρυθμίζει ανάλογα το ύψος και την σκληρότητα της ανάρτησης. Σε ορισμένα οχήματα δίνεται η δυνατότητα να μπορεί ο οδηγός να ρυθμίσει το ύψος και την σκληρότητα της ανάρτησης μέσω μίας μικρής κονσόλας, η οποία είναι τοποθετημένη στην καμπίνα του οχήματος .



Εικόνα 2.5.1.1: Πνευματική ανάρτηση.

Πηγή: Don Knowles. *Medium/Heavy Duty Truck and Steering Suspension*. New York: Delmar Cengage Learning, 1999.

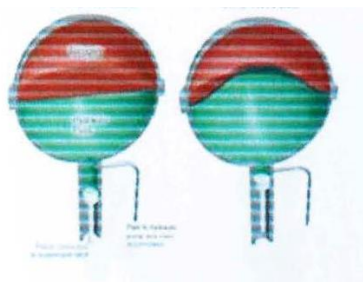
2.5.2 Υδροπνευματικό σύστημα ανάρτησης

Ένα από τα προηγμένα συστήματα ανάρτησης που πρωτοεμφανίστηκε το 1955 είναι το υδροπνευματικό σύστημα. Στα υδροπνευματικά συστήματα ανάρτησης, τα ελατήρια αντικαθίστανται από τέσσερις υδροπνευματικές σφαίρες, μία σε κάθε τροχό, οι οποίες περιέχουν άζωτο και υδραυλικό υγρό (λάδι) τα οποία διαχωρίζονται μέσω ενός διαφράγματος .

Στον θάλαμο του λαδιού κινείται ένα έμβολο το οποίο είναι συνδεδεμένο με κάποιο στοιχείο της ανάρτησης στο βραχίονα ή στο ψαλίδι και ανάλογα με τις κινήσεις του εμβόλου, το λάδι συμπιέζει και αποσυμπιέζει το αέριο άζωτο στον ρόλο των ελατηρίων. Από την μηχανική των ρευστών γνωρίζουμε πως τα αέρια είναι συμπίεσιμα ενώ τα υγρά ασυμπίεστα.

Η οδική συμπεριφορά και ο βαθμός άνεσης του συστήματος καθορίζεται από την πυκνότητα και την πίεση του αερίου, τη ρευστότητα του υγρού και τις βαλβίδες που ελέγχουν τη διέλευσή του. Το σύστημα **Hydractive** αποτελεί εξέλιξη της υδροπνευματικής ανάρτησης που χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα.

Η υδροπνευματική ανάρτηση μπορούσε να ρυθμίσει αυτόματα την δυναμική ισορροπία του αυτοκινήτου και έτσι ένα όχημα θα ήταν σε θέση να κινηθεί με τους τρεις τροχούς (χρησιμοποιείται από την **Citroen**).

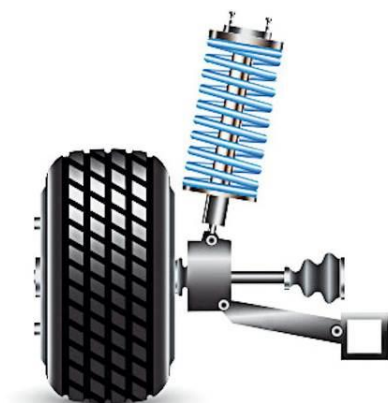


Εικόνα 2.5.2.1: Υδροπνευματικό σύστημα ανάρτησης οχήματος.
Πηγή: Douglas W. Harwood, Darren J. Torbic, Karen R. Richard, William D. Glauz, Lily Elefteriadou. Review of Truck Characteristics as Factors in Roadway Design. WASHINGTON D.C: NCHRP REPORT 505, 2003.

3. Ελατήρια συστήματος ανάρτησης

3.1 Ελατήριο

Ελατήριο ονομάζεται ένα μηχανικό εξάρτημα το οποίο έχει την ικανότητα να αποθηκεύει μηχανική ενέργεια παραμορφωμένο προσωρινά. Συνήθως το σχήμα είναι ελικοειδές, αλλά υπάρχουν και ελατήρια σε σχήμα ράβδου, οι σούστες. Τα ελατήρια συνήθως κατασκευάζονται από χάλυβα.



Εικόνα 3.1.1: Σπειροειδές ελατήριο κατασκευασμένο από χάλυβα.
Πηγή: CROUSE, WILLIAM H. – ANGLIN, DONALD L.: Automotive mechanics, New York 1985.

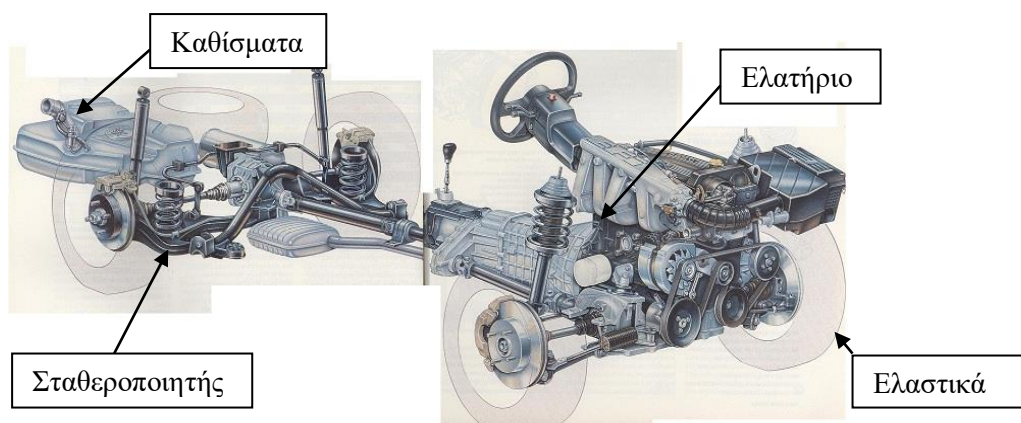
Το κάθε ελατήριο μπορεί να παραμορφωθεί ως προς μία διάστασή του υπό την επίδραση δύναμης ή να στρεφθεί ως προς έναν άξονά του υπό την επίδραση ροπής.

Όταν ασκείται δύναμη σε αυτήν τη διάσταση ή ροπή ως προς αυτόν τον άξονα, το ελατήριο παραμορφώνεται αποθηκεύοντας το έργο της δύναμης ή της ροπής ως εσωτερική ενέργεια του υλικού του.

Ταυτόχρονα, το ελατήριο ασκεί και αυτό δικιά του δύναμη ή ροπή αντίστοιχα αντιστεκόμενο στην εξωτερική δύναμη ή ροπή, η δύναμη ή ροπή του ελατηρίου είναι ανάλογη της γραμμικής ή γωνιακής του παραμόρφωσης και ισχύει ο **Νόμος του Χουκ**, όπου F η δύναμη του ελατηρίου και x η γραμμική παραμόρφωση (η διαφορά μεταξύ αρχικής και τελικής θέσης), ενώ η σταθερά k είναι δείκτης της σκληρότητας του ελατηρίου. Η δύναμη ή ροπή του ελατηρίου τείνει να επαναφέρει το ελατήριο στην αρχική του κατάσταση, για αυτό ονομάζεται και δύναμη ή ροπή επαναφοράς.

Όταν μειωθεί ή εξαφανιστεί η εξωτερική δύναμη ή ροπή, τότε το ελατήριο επανέρχεται μερικώς ή ολικώς αντίστοιχα απελευθερώνοντας ένα μέρος της αποθηκευμένης ενέργειάς του ως έργο της δύναμης ή ροπής που ασκεί το ίδιο.

Τα ελατήρια απορροφούν τις ανωμαλίες του οδοστρώματος και τις κρούσεις και τις μετατρέπουν σε κραδασμούς. Το ελατήριο είναι ένας σημαντικός συνδετικός κρίκος ανάμεσα στα διάφορα στοιχεία της ανάρτησης. Συνδέει την αναρτώμενη και τη μη αναρτώμενη μάζα του οχήματος. Ως μη αναρτώμενη μάζα θεωρούνται τα εξαρτήματα του οχήματος που βρίσκονται ανάμεσα στο δρόμο και το ελατήριο, καθώς επίσης και οι τροχοί, τα φρένα, εξαρτήματα της ανάρτησης τροχών και του συστήματος διεύθυνσης. Όλα τα λοιπά στοιχεία του οχήματος θεωρούνται αναρτώμενη μάζα, όπως το αμάξωμα, το σύστημα κίνησης και τα υπόλοιπα τμήματα της ανάρτησης τροχών και του συστήματος διεύθυνσης. Για μία άνετη ανάρτηση του οχήματος με ελατήριο ισχύει κατά βάση το εξής: Όσο μικρότερος είναι ο λόγος της μη αναρτώμενης προς την αναρτώμενη μάζα, τόσο μεγαλύτερη είναι η άνεση. Το ελατήριο επιδρά σε συνδυασμό με το σταθεροποιητή, τα ελαστικά και τα καθίσματα.



Εικόνα 3.1.2: Απεικόνιση αναρτημένης και μη αναρτημένης μάζας οχήματος και πώς αυτές αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω του ελατηρίου, το οποίο λειτουργεί ως συνδετικός κρίκος ανάμεσα στα βασικά μέρη με τα οποία συνεργάζεται.

Πηγή: Περιοδικό "Service" Νο. 22/1985, 24/1985, 51/1988, 58/1988.

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΕΛΑΤΗΡΙΩΝ – ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ

1. Αίσθημα άνεσης οδηγού και επιβατών
2. Βελτίωση οδικής συμπεριφοράς οχήματος
3. Επίδραση στις κλίσεις του αμαξώματος

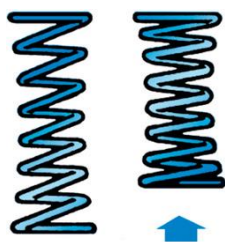
Τα ελατήρια έχουν την ιδιότητα όταν συμπιεστούν να υποχωρούν, αντιστεκόμενα όλο και περισσότερο στη συμπίεσή τους, με αποτέλεσμα όταν απελευθερωθούν να επανέρχονται στο αρχικό τους μήκος. Με αυτό τον τρόπο, όταν ο τροχός συναντάει κάποια προεξοχή του οδοστρώματος, το ελατήριο συμπιέζεται και ο τροχός ανυψώνεται χωρίς να παρενοχληθεί το υπόλοιπο αυτοκίνητο και οι επιβάτες του.

Μετά την προεξοχή, το ελατήριο αποσυμπιέζεται και ο τροχός κατεβαίνει στην αρχική του θέση.

Η ιδανική αυτή συμπεριφορά όμως, απέχει αρκετά από την αντίστοιχη πρακτική συμπεριφορά. Όταν το ελατήριο συμπιέζεται, το υπόλοιπο αυτοκίνητο δεν παραμένει ανενόχλητο, αλλά υφίσταται μία δύναμη και αρχίζει να κινείται προς τα πάνω. Επίσης, αφού ξεπεραστεί η προεξοχή, ο τροχός κατεβαίνει και το αυτοκίνητο βρίσκεται πιο ψηλά από την αρχική θέση ηρεμίας του και άρα πρέπει να ξανακατέβει.

Το γεγονός αυτό προκαλεί μία ταλάντωση στο σώμα του αυτοκινήτου. Σε περίπτωση συνεχόμενων ανωμαλιών, χωρίς την ύπαρξη ελατηρίου, οι ταλαντώσεις

του αμαξώματος θα γίνονταν ολοένα και πιο βίαιες και θα έφταναν ίσως και σε σημείο πλήρους απώλειας ελέγχου του οχήματος, ακόμη και στην ανατροπή του.



Εικόνα 3.1.3: Ελικοειδές ελατήριο σε θέση συμπίεσης, αποσυμπίεσης και ωφέλιμο μήκος.

Πηγή:https://www.google.gr/search?q=%CE%B5%CE%BB%CE%B1%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%B1+%CE%B1%CE%BD%CE%AC%CF%81%CF%84%CE%B7%CF%83%CE%B7%CF%82&dcr=0&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjomIP2mofXAhXBB5oKHWZrB2EQ7AkIaw&biw=1366&bih=658#imgrc=_

3.2 Απλά Ελατήρια

Όταν ασκείται δύναμη σε αυτήν τη διάσταση ή ροπή ως προς αυτόν τον άξονα, το ελατήριο παραμορφώνεται αποθηκεύοντας το έργο της δύναμης ή της ροπής ως εσωτερική ενέργεια του υλικού του.

Ταυτόχρονα, το ελατήριο ασκεί και αυτό δικιά του δύναμη ή ροπή αντίστοιχα αντιστεκόμενο στην εξωτερική δύναμη ή ροπή, η δύναμη ή ροπή του ελατηρίου είναι ανάλογη της γραμμικής ή γωνιακής του παραμόρφωσης και ισχύει ο **Νόμος του Χουκ**, ενώ η σταθερά **k** είναι δείκτης της σκληρότητας του ελατηρίου. Η δύναμη ή ροπή του ελατηρίου τείνει να επαναφέρει το ελατήριο στην αρχική του κατάσταση, για αυτό ονομάζεται και **δύναμη ή ροπή επαναφοράς**.

Όταν μειωθεί ή εξαφανιστεί η εξωτερική δύναμη ή ροπή, τότε το ελατήριο επανέρχεται μερικώς ή ολικώς αντίστοιχα απελευθερώνοντας ένα μέρος της αποθηκευμένης ενέργειάς του ως έργο της δύναμης ή ροπής που ασκεί το ίδιο.

Το πιο κοινό είδος ελατηρίου είναι το απλό με σταθερό συντελεστή σκληρότητας σε όλες τις σπείρες, οι οποίες είναι ίδιας διαμέτρου, βήματος και πάχους. Το ελατήριο αυτό συμπεριφέρεται γραμμικά και διατηρεί τον ίδιο συντελεστή σκληρότητας όσο κι αν συμπιεστεί ή εκταθεί από την έδραση κάποιου αναρτημένου φορτίου. Το ελάχιστο μήκος που μπορεί να έχει ένα τέτοιο ελατήριο ορίζεται από το σημείο όπου όλες του

οι σπείρες θα ακουμπήσουν η μία πάνω στην άλλη ταυτόχρονα, μετατρέποντάς το σε συμπαγή μεταλλικό κύλινδρο. Για να αποφευχθεί η πιθανότητα να συμβεί κάτι τέτοιο, τα ελατήρια αυτά έχουν συνήθως ελαστικά τακάκια, τα οποία αναλαμβάνουν δράση λίγο πριν τον τερματισμό.



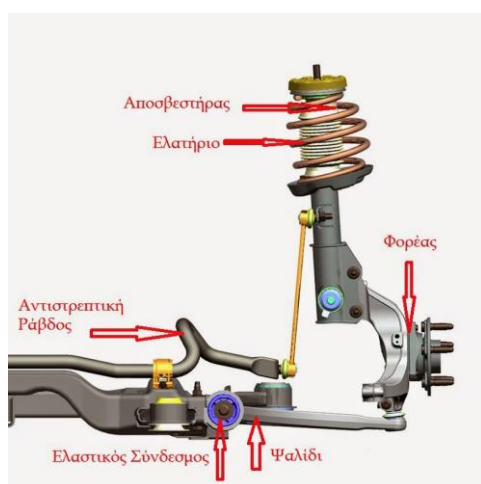
Εικόνα 3.2.1: Ελικοειδές ελατήριο μεταβλητής διατομής.

Πηγή: <https://www.google.gr/search?q=%CE%B5%CE%BB%CE%B1%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%B1&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiW4uLuqyzWAhVIuxQKHdfCABYQ7AkImgE&biw=1360&bih=662>.

Πλεονεκτήματα ελατηρίων:

- αποτελεσματικότητα
- χαμηλό κόστος
- απλότητα με σχετική έλλειψη προβλημάτων και ανάγκης συντήρησης

Οι ελαστικοί τάκοι που χρησιμοποιήθηκαν στα πρώτα αυτοκίνητα δεν εξασφάλιζαν στους τροχούς μεγάλες διαδρομές.



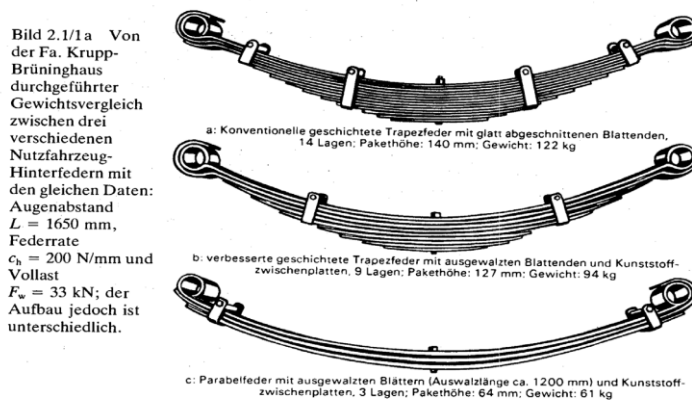
Εικόνα 3.2.2: Μέρη από τα οποία αποτελείται ένα σύστημα ανάρτησης είναι ο αποσβεστήρας (αμορτισέρ), το ελατήριο, ο φορέας, η αντιστρεπτική ράβδος, ο ελαστικός σύνδεσμος καθώς και το ψαλίδι.

Πηγή: COGHLAN DAVID A.: Automotive chassis systems, California 1985.



Εικόνα 3.2.3: Ελικοειδές ελατήριο αμορτισέρ το οποίο εφαρμόζεται σε σύστημα ανάρτησης με διπλά ψαλίδια (ανεξάρτητη ανάρτηση).

Πηγή: Προσπέκτους: Αμορτισέρ *Monroe*.



Εικόνα 3.2.4: Ελικοειδή φύλλα σούστας διαφορετικού πάχους σε σύστημα ανάρτησης, ανάλογα με το είδος οχήματος και τη χρήση για την οποία προορίζεται το όχημα (π.χ. φορτηγό μεταφοράς εμπορευμάτων με μεγάλο όγκο και βάρος, ι.χ. όχημα κλπ).

Πηγή: Σημειώσεις εργαστηρίου "Οχήματα ΙΙ" – Συστήματα Ανάρτησης Οχημάτων, Καθ. Δρ.Καραογλανίδης Γεώργιος, Μηχανολόγος Μηχανικός.

Οι κύριες κατηγορίες των ελατηρίων είναι:

- Ελικοειδή ελατήρια

- Ημιελλειπτικά ελατήρια
- Τα προοδευτικά ελικοειδή ελατήρια
- Τα σκληρά και μαλακά ελατήρια

3.3 Ελικοειδή ελατήρια

Τα ελικοειδή ελατήρια χρησιμοποιούνται στα συστήματα ανεξάρτητης ανάρτησης και δέχονται μόνο θλιπτικά φορτία. Αποτελούνται από κυκλικές διατομές χάλυβα ο οποίος έχει υποστεί περιέλιξη και τοποθετούνται σε κατάλληλες θέσεις πάνω στο αμάξωμα μεταξύ των βραχιόνων. Η διάμετρος του χάλυβα είναι αυτή από την οποία εξαρτάται η δυνατότητα της φόρτισης τους παράλληλα και από τον αριθμό σπειρών που διαθέτουν. Το ελικοειδές ελατήριο έχει μεταβλητό συντελεστή σκληρότητας, επειδή οι σπείρες του είναι πυκνότερες στις άκρες του ενώ απέχουν αρκετά από το κέντρο του.

Εξαιτίας αυτής της διάταξης τους, όταν το ελατήριο συμπιέζεται, εξαιτίας των μικρών διάκενων, οι σπείρες συμπιέζονται και ακουμπούν μεταξύ τους αφήνοντας μόνο ένα μικρό κομμάτι στο κέντρο του ελατηρίου να λειτουργεί, αυξάνοντας έτσι την σκληρότητα τους. Τα ελικοειδή ελατήρια είναι υπεύθυνα για την απορρόφηση των κραδασμών εξαιτίας του οδοστρώματος και τις μετατρέπουν σε ταλαντώσεις.

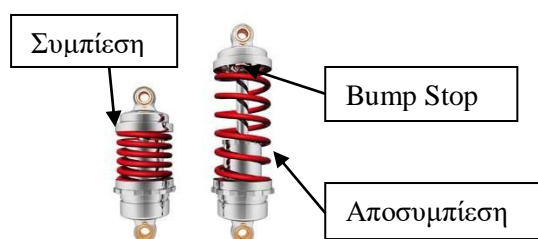
Η κίνηση που εκτελεί ένας τροχός κατά την διέλευση του επάνω από κάποιο εμπόδιο μεταδίδεται στο ελατήριο αλλά και στο αμάξωμα. Καθώς ο τροχός ανασηκώνεται, το ελικοειδές ελατήριο συμπιέζεται. Η ενέργεια του ελατηρίου μεταδίδεται στο αμάξωμα, το οποίο κινείται κατακόρυφα, επίσης, προς τα επάνω. Το αμάξωμα παρασύρει το ελατήριο κατά την κατακόρυφη κίνησή του, με αποτέλεσμα το ελατήριο να επιμηκύνεται. Η επιμήκυνση του ελατηρίου σταματά την κίνηση του αμαξώματος προς τα επάνω. Στο ανώτατο σημείο αλλάζει η φορά της κίνησης του αμαξώματος. Με το βάρος του το αμάξωμα αρχίζει να κινείται προς τα κάτω. Περνά το αρχικό σημείο ηρεμίας του και συμπιέζει το ελατήριο, το οποίο αντιδρά και αναπτύσσει μία δύναμη η οποία σταματά την κίνηση του αμαξώματος προς τα κάτω. Στο κατώτατο σημείο αλλάζει και πάλι η φορά της κίνησης του αμαξώματος.

Ένα άλλο είδος ελατηρίου είναι το ελικοειδές ελατήριο με μεταβλητό συντελεστή σκληρότητας, το οποίο έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε προς τις άκρες του, οι σπείρες να

είναι πιο πυκνά διατεταγμένες, ενώ στο κεντρικό τμήμα να απέχουν μεταξύ τους αρκετά. Καθώς το ελατήριο συμπιέζεται, οι σπείρες με τα μικρά διάκενα ακουμπούν αφήνοντας μόνο ένα μικρό κεντρικό κομμάτι του ελατηρίου να λειτουργεί. Μετά τα πρώτα εκατοστά μαλακής βύθισης, δηλαδή το εναπομείναν λειτουργικό τμήμα συμπεριφέρεται σαν σκληρότερο ελατήριο.

Το ελάχιστο μήκος που μπορεί να έχει ένα τέτοιο ελατήριο, ορίζεται από το σημείο όπου όλες οι σπείρες του ακουμπούν η μία πάνω στην άλλη ταυτόχρονα, σε συμπαγή μεταλλικό κύλινδρο. Για να αποφευχθεί η πιθανότητα να συμβεί κάτι τέτοιο, τα ελατήρια αυτά έχουν συνήθως ελαστικά στόπερ (**bump stop**), τα οποία αναλαμβάνουν δράση λίγο πριν τον τερματισμό.

Παράδειγμα ελικοειδούς ελατηρίου που χρησιμοποιείται στο σύστημα ανάρτησης οχήματος, απεικονίζεται στην εικόνα 3.3.1.



Εικόνα 3.3.1: Ελικοειδές ελατήριο συστήματος ανάρτησης σταθερής διαμέτρου, σε θέση συμπίεσης και αποσυμπίεσης αντίστοιχα.

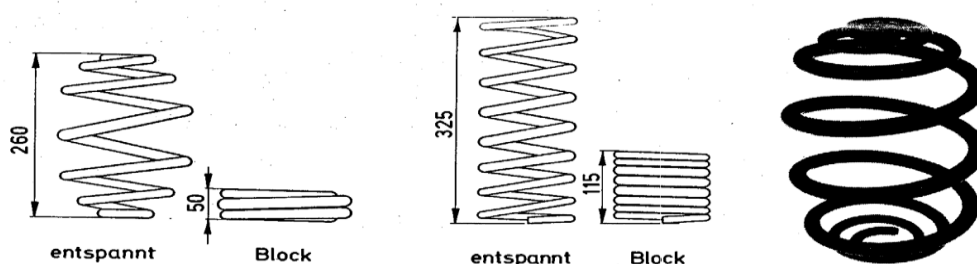
Πηγή: Περιοδικό "4 Τροχοί" Νο 165/2004.



Εικόνα 3.3.2: Ελικοειδές ελατήριο μεταβλητής διαμέτρου.

Πηγή: Περιοδικό "Truck Life", Νο 9/1998.

Το κυριότερο πλεονέκτημα των ελικοειδών ελατηρίων είναι ότι είναι σκληρότερα έναντι άλλων ελατηρίων και παράλληλα μπορούν να τοποθετηθούν ανεξάρτητα σε κάθε τροχή.



Εικόνα 3.3.3: Ωφέλιμο μήκος ελατηρίου. Στην εικόνα φαίνεται το ανώτατο όριο επιμήκυνσης κατά το οποίο μπορεί να φτάσει ένα ελατήριο, ώστε να διατηρήσει όλες τις ιδιότητές του. Για τιμές άνω του ορίου αυτού, το ελατήριο χάνει τις αρχικές του ιδιότητες.

Πηγή: Περιοδικό "Car & Driver", τεύχος Ιούνιος 1998 – Συστήματα Ανάρτησης.

3.4 Ημιελλειπτικά Ελατήρια

Τα ημιελλειπτικά ελατήρια είναι τα πρώτα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάρτηση των αυτοκινήτων και σήμερα χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά στα βαρέα οχήματα. Πρόκειται για μία σειρά ελασμάτων από χάλυβα, που το μήκος τους μειώνεται διαδοχικά καθώς τοποθετούνται το ένα επάνω στο άλλο. Στο μέσο τους ή σπανιότερα, σε ασύμμετρη θέση, συνδέονται με έναν κεντρικό πείρο ο οποίος και τα διαπερνά. Ο αριθμός των ελασμάτων αρχίζει από ένα ή δύο και φτάνει μέχρι και πάνω από δέκα στα βαρέα οχήματα.

Τα ελάσματα αυτά συνδέονται με έναν κεντρικό πείρο που τα διαπερνά και μπορούν να είναι από δύο έως δέκα όταν χρησιμοποιούνται για βαρέα οχήματα. Τα ελατήρια που θα πρέπει να παραλάβουν μεγάλα φορτία είναι ακόμα μεγαλύτερα από το πρώτο και φθάνουν μέχρι τα άκρα. Το σύνολο αυτών των ελασμάτων λειτουργούν

σαν ενιαίο κομμάτι το οποίο είναι στην μέση χοντρό και λεπτό στην άκρη αλλά με ελαστικότητα μεγαλύτερη από όσο θα είχε ένα συμπαγές κομμάτι.

Η "μάνα" είναι το κυριότερο έλασμα, και στις δύο του άκρες κάμπτεται για να σχηματίσει δύο οπές. Το ένα του άκρο συνδέεται στο πλαίσιο με τη βοήθεια ενός πείρου και δημιουργείται άρθρωση, στην οποία επιτρέπεται η περιστροφή του ελατηρίου γύρω από τον άξονα του πείρου. Μεταξύ του πείρου και της οπής τοποθετείται ελαστικό δαχτυλίδι για απορρόφηση κραδασμών και θορύβου (Silent Block – Σινεμπλόκ). Το άλλο άκρο του ελατηρίου συνδέεται, επίσης, στο πλαίσιο, με τη βοήθεια μιας διπλής άρθρωσης, η οποία ονομάζεται "σκουλαρίκι". Στο ένα άκρο της διπλής άρθρωσης συνδέεται το ελεύθερο άκρο του ελατηρίου και το άλλο άκρο της διπλής άρθρωσης συνδέεται στο πλαίσιο. Ο σύνδεσμος αυτός (σκουλαρίκι) μεταξύ ελατηρίου και πλαισίου επιτρέπει την περιστροφή του ελατηρίου γύρω από τον άξονα του πείρου αλλά και την αυξομείωση του μήκους του ελατηρίου.

Η αυξομείωση του ελατηρίου είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή λειτουργία του ημιελλειπτικού ελατηρίου. Το σχήμα του μοιάζει με μισή έλλειψη, το ελατήριο βρίσκεται υπό κάμψη. Όσο αυξάνεται το φορτίο που πρέπει να αντιμετωπίσει το ελατήριο τόσο αυτό έχει την τάση να οριζοντιωθεί, δηλαδή να λάβει ευθύγραμμη θέση. Για να συμβεί αυτό, πρέπει το ελατήριο να μπορεί να αυξήσει το μήκος του. Αυτό ακριβώς το ρόλο αναλαμβάνει η διπλή άρθρωση. Όσο το ελατήριο οριζοντιώνεται τόσο η θέση της άρθρωσης μεταβάλλεται (η γωνία μεταξύ της διπλής άρθρωσης και των ελασμάτων του ελατηρίου), επιτρέποντας την αύξηση του μήκους του ελατηρίου. Αν τα άκρα του ελατηρίου συνδέονταν σταθερά επάνω στο πλαίσιο και δεν υπήρχε η διπλή άρθρωση, δε θα υπήρχε ελαστικότητα και, κατά συνέπεια, ούτε ελατήριο.

Τα ημιελλειπτικά ελατήρια μπορούν επίσης να έχουν και τον ρόλο του ψαλιδιού μιας ανάρτησης. Αποτελούν τον βραχίονα έδρασης του άξονα των τροχών χωρίς να χρειάζεται άλλο εξάρτημα, ενώ δεν ορίζουν την θέση του άκαμπτου άξονα στην εγκάρσια κίνηση, αλλά μόνο στην εμπρός – πίσω κίνηση.

Ένα χαρακτηριστικό στοιχείο του ημιελλειπτικού ελατηρίου είναι η μείωση της ημιελλειπτικότητας του κάτω από ένα συγκεκριμένο φορτίο. Αυτό σημαίνει πως όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του φύλλου του ελατηρίου, τόσο αυτό είναι πιο μαλακό, υποχωρεί κάτω από ένα ορισμένο φορτίο και δεν απορροφά αποτελεσματικά όλους

τους κραδασμούς. Έτσι λοιπόν, εάν τοποθετηθούν διαφορετικά μήκη ελατηρίων θα μπορούμε να αποσβέσουμε μικρούς και μεγάλους κραδασμούς.

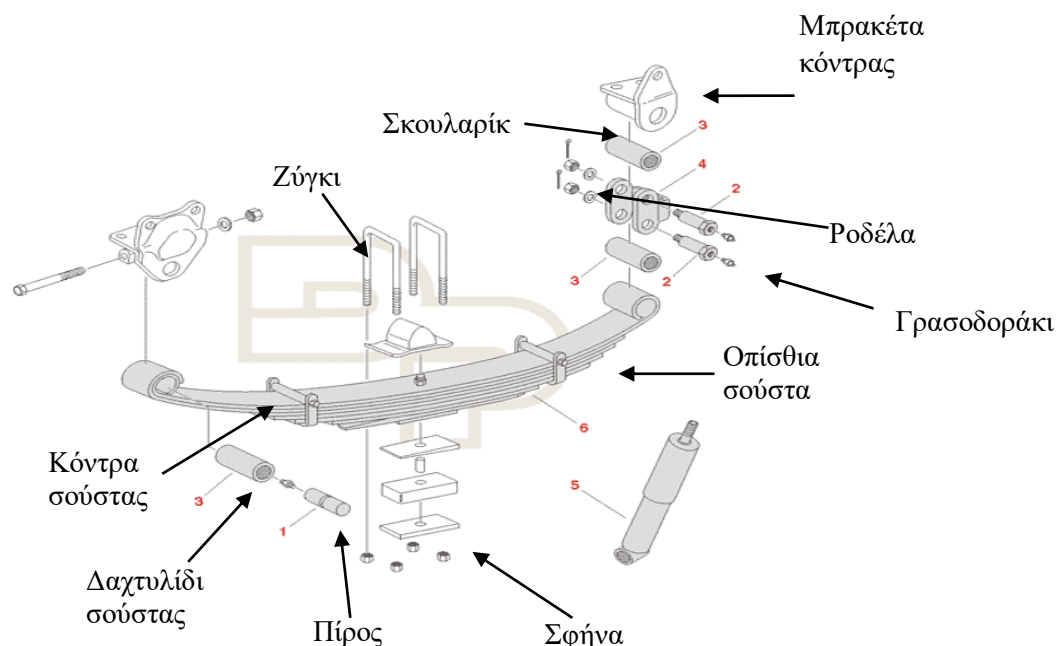
• Σούστες

Είναι ένα από τα παλιότερα στοιχεία ανάρτησης που, λόγω της ιδιότητας τους να αντέχουν σε μεγάλα κάθετα φορτία, πλέον τα συναντάμε σε συγκεκριμένα εκτός δρόμου οχήματα, σε επαγγελματικά και αγροτικά **pick-up** και σε φορτηγά και λεωφορεία. Πρόκειται για μία συστοιχία ελαφρά καμπυλωμένων χαλύβδινων ελασμάτων τα οποία αναλαμβάνουν τον ρόλο του ελατηρίου σε μία ανάρτηση. Τα φύλλα σούστας αρθρώνονται στα δύο πάνω στο πλαίσιο ενώ ο τροχός αρθρώνεται στο μέσον. Στο ένα από τα δύο σημεία άρθρωσης με το πλαίσιο, υπάρχει μια ράβδος που παραλαμβάνει τις μεταβολές στο μήκος του ελατηρίου, καθώς αυτό παραμορφώνεται.

Ένα σετ σούστας αποτελείται από διαδοχικές στρώσεις παρόμοιων φύλλων που τοποθετούνται κάτω από το κύριο 1ο φύλλο και των οποίων το μήκος μειώνεται σταδιακά. Μια τυπική σύνδεση ημιελλειπτικών ελατηρίων εμφανίζεται στην εικόνα

Το κύριο φύλλο που καλείται αλλιώς και "μάνα", σχηματίζει έναν ή δύο βρόγχους στις άκρες του. Ο βρόγχος αυτός ονομάζεται μάτι ή καρύδι. Το δεύτερο φύλλο τοποθετείται κάτω από την μάνα - γνωστό και ως παραμάνα - την «αγκαλιάζει» ώστε να την υποστηρίξει καλύτερα.

Τύπος οπίσθιας ανάρτησης με βοηθητική σούστα



Εικόνα 3.4.1.1: Μέρη από τα οποία αποτελείται μία βοηθητική σούστα πίσω ανάρτησης οχήματος.

Πηγή: Magazine Today's Technician: Automotive Suspension & Steering, 5th Edition, CLASSROOM MANUAL, Don Knowles.

Μέσα στο καρύδι της μάνας είναι προσαρμοσμένα μπρούτζινα δαχτυλίδια ή ελαστικά κουζινέτα. Η σύνδεση της σούστας με το σασί από το εμπρόσθιο μέρος γίνεται με ένα σταθερό μπρακέτο. Ένας πείρος διέρχεται μέσα από το δαχτυλίδι της μάνας και το σταθερό μπρακέτο του σασιού ενώνοντας τα δύο αυτά εξαρτήματα. Στο πίσω μάτι της σούστας περνάει ένας ειδικός σύνδεσμος (σκουλαρίκι ή κρίκος) ο οποίος επιτρέπει στη σούστα να έχει μια σχετική ελευθερία κινήσεων επειδή με το φόρτωμα του οχήματος χάνεται η παραβολικότητα και μεγαλώνει το μήκος της. Οι δύο πείροι του σκουλαρικού φέρουν εξωτερικά κουζινέτα για τη μείωση των τριβών και του θορύβου.

Όταν ένας τροχός προσκρούει σε μια ανωμαλία του δρόμου τα ελατήρια παραμορφώνονται και δημιουργούνται αυξομειώσεις στο μήκος τους. Το σκουλαρίκι επιτρέπει την αύξηση του μήκους της σούστας με την μετατόπιση του κάτω άκρου του. Ένα ακόμα συστατικό στοιχείο της σούστας είναι η επιδεσμίδα (ζύγκι). Σε κάποια από τα μικρότερα φύλλα της σούστας τοποθετούμε ζύγκι τα οποία κρατούν τη σούστα δεμένη. Ο κύριος σκοπός τους είναι να υποστηρίζουν το κύριο φύλλο (μάνα) όταν ο άξονας πέφτει σε μια τρύπα ή όταν το σασί συνεχίζει να ανυψώνεται καθώς περνάει από ένα εξόγκωμα του δρόμου. Χωρίς αυτά τα εξαρτήματα η "μάνα" θα ήταν αναγκασμένη να σηκώσει όλο το βάρος των αξόνων και ένα πολύ μεγάλο φορτίο κάμψης θα εφαρμόζονταν στην περιοχή που βρίσκεται οριακά εκτός της επαφή της με τον άξονα. Τα ζύγκια επίσης κρατούν τα φύλλα της σούστας ευθυγραμμισμένα και τα αποτρέπουν από το να λοξεύσουν.

Η συγκράτηση όλων των φύλλων της σούστας μεταξύ τους γίνεται από ένα μπουλόνι το οποίο περνάει μέσα από όλες τις τρύπες των επιμέρους φύλλων και τα συσφίγγει. Το κεφάλι του μπουλονιού προσαρμόζεται σε μια υποδοχή που έχει ο άξονας. Εάν για κάποιο λόγο αυτό το μπουλόνι κοπεί τότε τα φύλλα θα μετατοπιστούν και η μάνα θα χάσει το κεντράρισμα της σε σχέση με τον άξονα. Έτσι ενώ ο άξονας που δεν έχει πρόβλημα θα κινείται κανονικά ο άλλος θα λοξεύσει μη

επιτρέποντας την ευθύγραμμη πορεία. Η σούστα συνδέεται στον άξονα με την χρήση ζυγκιών. Ουσιαστικά οι αμφιδέτες πακτώνουν τα ελατήρια επάνω στον άξονα γι' αυτό η σφιχτή σύσφιξη τους είναι απαραίτητη.

3.5 Τρόπος λειτουργίας ημιελλειπτικών ελατηρίων

Ο λόγος που χρησιμοποιούμε έναν αριθμό φύλλων σούστας τα οποία συσφίγγουμε και όχι ένα μονοκόμματο κομμάτι μετάλλου κομμένο στο ίδιο σχήμα, περιγράφεται παρακάτω. Καθώς το φορτίο πιέζει τη σούστα, αυτή αρχίζει να παραμορφώνεται. Αυτή η παραμόρφωση εξαναγκάζει κάθε ξεχωριστό φύλλο σε κάμψη. Επειδή όμως αυτά τα φύλλα είναι σφιχτά δεμένα μεταξύ τους κάθε κίνηση η οποία λαμβάνει μέρος, πρέπει πρώτα να υπερνικήσει την τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ των επιφανειών τους. Αυτή λοιπόν η τριβή λειτουργεί σαν αποσβεστήρας ταλαντώσεων.

• Απαιτούμενα χαρακτηριστικά ημιελλειπτικών ελατηρίων

Κάθε σύστημα ανάρτησης πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ελαφρύτερο. Ο ίδιος κανόνας ισχύει και στην περίπτωση ανάρτησης με ημιελλειπτικά ελατήρια. Από τη δυναμική οχημάτων γνωρίζουμε ότι το βάρος της μη αναρτώμενης μάζας επηρεάζει άμεσα την κατανάλωση καυσίμων. Κάθε μείωση του συγκεκριμένου βάρους μειώνει την κατανάλωση και αυξάνει την αποδοτικότητα των καυσίμων. Είναι αυτός ο λόγος που κάθε προσπάθεια για μείωση βάρους στοχεύει σε μέρη όπως οι αναρτήσεις και οι άξονες.

Η ενέργεια που απορροφάται από ένα ημιελλειπτικό ελατήριο αποθηκεύεται με τη μορφή ελαστικής ενέργειας παραμορφώσεως η οποία ισούται με το έργο που καταβάλλεται από ένα εξωτερικό φορτίο για να λυγίσει αυτό το ελατήριο. Το υλικό από το οποίο κατασκευάζεται μια σούστα θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει μεγάλες ποσότητες ελαστικής ενέργειας. Η ενέργεια που απορροφάται θα πρέπει να διαχέεται όσο το δυνατόν γρηγορότερα έτσι ώστε το σύστημα να σταματήσει να ταλαντώνεται μετά την αρχική διέγερση. Ο βαθμός απελευθέρωσης της ενέργειας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά απόσβεσης που ενέχει το υλικό κατασκευής της σούστας. Εάν όμως η απόσβεση που προσφέρει η σούστα δεν είναι επαρκής θα πρέπει να εγκαταστήσουμε επιπρόσθετους μηχανισμούς ανάρτησης όπως αμορτισέρ.

Εφόσον η σούστα υπόκειται σε καταπόνηση το υλικό από το οποίο θα είναι κατασκευασμένη θα πρέπει να έχει καλές ιδιότητες αντοχής σε κόπωση.

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω μια ιδανική ανάρτηση αυτοκινήτου κατασκευασμένη από ελατήρια θα πρέπει να έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

- α) Υψηλή αντοχή σε σχέση με το βάρος της.
- β) Μεγάλη ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας ελαστικής παραμόρφωσης.
- γ) Καλά χαρακτηριστικά απόσβεσης.
- δ) Υψηλές αντοχές σε κόπωση.
- ε) Αντοχή σε διάβρωση.

3.6 Σπειροειδή ελατήρια

Τα σπειροειδή ελατήρια είναι αρκετά δημοφιλή στους κατασκευαστές των αναρτήσεων καθώς έχουν πολύ χαμηλό κόστος κατασκευής, είναι πολύ μικρά σε όγκο και απορροφούν πολύ μεγάλη ενέργεια σε σχέση με το βάρος τους. Το ποσόν της ελαστικής παραμόρφωσης (συμπίεσης) ενός σπειροειδούς ελατηρίου σταθερού βήματος είναι ανάλογο προς το φορτίο (τη δύναμη) που το πιέζει.

Η ανά μονάδα φορτίου παραμόρφωση, εκτός βέβαια από το είδος και την κατεργασία του υλικού, εξαρτάται από τη διάμετρο της ράβδου από την οποία κατασκευάστηκε, αλλά και από τη διάμετρο της σπείρας (μεγάλη διάμετρος σπείρας, μεγάλη παραμόρφωση). (Καββαθάς, 2012). Το ελάχιστο μήκος που μπορούν να έχουν τα σπειροειδή ελατήρια εξαρτάται από το σημείο όπου όλες οι σπείρες θα ακουμπήσουν η μία πάνω στην άλλη ταυτόχρονα μετατρέποντας το έστω και στιγμιαία σε συμπαγή μεταλλικό κύλινδρο. Για να αποφευχθεί κάτι τέτοιο τα σπειροειδή ελατήρια έχουν ελαστικά τακάκια τα οποία παρεμβάλλονται λίγο πριν τον τερματισμό. Τα τακάκια αυτά έχουν αρκετά μεγάλες διαστάσεις και όταν ακουμπήσουν μεταξύ τους μπορούν να συνδράμουν αποφασιστικά στην σωστή λειτουργία του ελατηρίου.

Τα σπειροειδή ελατήρια μπορούν να τροποποιηθούν ως προς την σκληρότητα τους αρκετά εύκολα. Εάν αφαιρεθεί ένα μέρος του ελατηρίου αυτό σημαίνει ότι

χαμηλώνει η ανάρτηση και αυξάνεται η σκληρότητα του ελατηρίου ενώ το αυτοκίνητο παίρνει ένα χαρακτήρα σπορ.

Σχεδιαστικά και κατασκευαστικά μπορεί να κατασκευαστεί σχετικά εύκολα ένα ελατήριο του οποίου η σκληρότητα μεταβάλλεται. Αυτό μπορεί να γίνει με το να σχεδιαστεί με πυκνά διατεταγμένες σπείρες στις άκρες του, ενώ στο κεντρικό τους τμήμα να απέχουν μεταξύ τους αρκετά. Καθώς το ελατήριο συμπιέζεται, οι σπείρες με τα μικρά διάκενα ακουμπούν, αφήνοντας μόνο ένα μικρό (κεντρικό) κομμάτι του ελατηρίου να λειτουργεί. Μετά τα πρώτα εκατοστά «μαλακής» βύθισης το υπόλοιπο λειτουργικό τμήμα συμπεριφέρεται σαν σκληρότερο ελατήριο.

Τα σπειροειδή ελατήρια μπορούν να έχουν σχήμα κυλινδρικό ή κωνικό ή οβάλ, όποτε η ακτίνα της περιέλιξης των σπειρών προσδίδει μια προοδευτική λειτουργία στο ελατήριο. Επιπλέον, το ελατήριο θα καταλαμβάνει πολύ μικρό όγκο, καθώς οι σπείρες θα μπαίνουν η μία στην άλλη.



Εικόνα 3.6.1: Τα σπειροειδή ελατήρια μαζί με τα αμορτισέρ και τα ελαστικά απαρτίζουν τη βασική δομή εξαρτημάτων που καθορίζουν την ασφαλή συμπεριφορά ενός οχήματος.

Πηγή: A.A.D. Brown. Mechanical springs. Oxford: Oxford University Press, 1981.



Εικόνα 3.6.2: Παράδειγμα σπειροειδούς ελατηρίου.

Πηγή: Wolfgang Matschinsky “Road vehicle suspensions”. Translated and edited by Alan Baker. Professional Engineering Publishing.

3.7 Σύγκριση απλών και παραβολικών ελατηρίων

Τα παραβολικά φύλλα έχουν μεγάλο πάχος στη μέση το οποίο και μικραίνει καθώς απομακρυνόμαστε προς τα δύο άκρα. Ο συγκεκριμένος σχεδιασμός προσδίδει στο φύλλο μεγαλύτερη ευλυγισία σε σχέση με ένα συμβατικό ενώ παράλληλα του επιτρέπει να σηκώνει το βάρος του οχήματος.

Εξαιτίας αυτού του σχήματος και της έλλειψης μεγάλης τριβής μεταξύ των φύλλων προσδίδεται μεγαλύτερη άνεση στην οδήγηση σε αντιπαραβολή πάντα με τα απλά φύλλα.



Εικόνα 3.7.1: Σύγκριση συμβατικής με παραβολική σούστα.

Πηγή: http://www.outbackcrossing.com.au/FourWheelDrive/Leaf_Springs_for_4WD.shtml.

Για να απλοποιήσουμε τη σύγκριση μεταξύ συμβατικού και παραβολικού φύλλου μπορούμε να παρομοιάσουμε το πρώτο με μία αψίδα η οποία έχει το ίδιο πάχος σε όλο το μήκος της. Επειδή η αψίδα είναι από φύσεως μια πολλή δυνατή και σταθερή κατασκευή μπορεί να σηκώνει πολύ βάρος ταυτόχρονα όμως κάμπτεται δύσκολα.

Όταν ο άξονας ενός οχήματος χρειάζεται να υπερβεί ένα ύψωμα του οδοστρώματος θα δημιουργηθεί μια δύναμη η οποία θα προσπαθήσει να λυγίσει την συμβατική ανάρτηση (αψίδα). Επειδή όπως είπαμε η αψίδα θέλει μεγάλη δύναμη για να καμφθεί, η ανάρτηση μπορεί να παραμείνει λίγο ως πολύ σταθερή μεταδίδοντας ένα μέρος της δύναμης που αναπτύσσεται στο σασί. Από το σασί η δύναμη μεταφέρεται στη καμπίνα και από εκεί στον οδηγό και τους επιβάτες.

Στο ίδιο παράδειγμα εάν η αψίδα κατασκευαστεί με παραβολική μορφή (λεπτότερη στα άκρα και παχύτερη στο κέντρο) θα συνεχίσει να έχει αυξημένη ικανότητα φόρτωσης ενώ παράλληλα θα λυγίζει ευκολότερα. Συμπερασματικά μια

ανάρτηση τέτοιας μορφής θα αποσβαίνει τους κραδασμούς ευκολότερα προσφέροντας καλύτερη ποιότητα οδήγησης.

Επίσης, αξίζει να αναφέρουμε ότι εξαιτίας της καλύτερης απόσβεσης που παρουσιάζουν, ένα ακόμη πλεονέκτημα των παραβολικών φύλλων έναντι των συμβατικών είναι ότι μειώνουν τα επίπεδα θορύβου στη καμπίνα. Σε πεδίο εκτός οδοστρώματος η ποιότητα ανάρτησης αυξάνεται ακόμα πιο πολύ εν συγκρίσει με τα συμβατικά φύλλα σούστας, γιατί το παραβολικό φύλλο παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά τόσο στην συμπίεση όσο και στην εκτόνωση. Καθώς το σετ αποτελείται από ένα μικρό αριθμό παραβολικών φύλλων (1, 2 ή 3) η τριβή που αναπτύσσεται ανάμεσα τους είναι ασύγκριτα μικρότερη από αυτή που αναπτύσσεται σε μια απλή σούστα των 7 και παραπάνω συμβατικών φύλλων. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερη ελευθερία συσπάσεων καθώς λιγότερη τριβή πρέπει να υπερνικηθεί για να υπάρχει κάμψη. Ο μικρός αριθμός φύλλων και η απόσταση μεταξύ τους μειώνει και την σκουριά που αναπτύσσεται ανάμεσα τους η οποία αποτελεί το σημαντικότερο αίτιο φθοράς των απλών φύλλων.

3.8 Δυναμική μεταφορά φορτίου σε επάλληλους άξονες (Dynamic inter-axle transfer)

Το μέγεθος της δυναμικής μεταφοράς φορτίου εξαρτάται από την τριβή Coulomb και τους μηχανισμούς που αποσκοπούν στη ισοστάθμιση φορτίου σε ένα σύστημα επάλληλων αξόνων. Η δυναμική μεταφορά φορτίου από τον ένα άξονα στον άλλο λαμβάνει χώρα σε δυναμικές καταστάσεις όπως αυτής της επιτάχυνσης ή της επιβράδυνσης. Δυστυχώς όμως οι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται για την ισοστάθμιση του στατικού φορτίου έχουν αντίθετα αποτελέσματα στην ισοστάθμιση του δυναμικού φορτίου.

Εάν ο οδηγός επιταχύνει ή επιβραδύνει επιπλέον δύναμη εφαρμόζεται στο σύστημα αξόνων του οχήματος. Πολύ συχνά αυτή η δύναμη διαμοιράζεται μεταξύ των επάλληλων αξόνων. Πολλές φορές όμως σε περιπτώσεις φρεναρίσματος μπορούν να ανακύψουν προβλήματα γιατί ο άξονας που έχει το μικρότερο φορτίο θα «κλειδώσει» γρηγορότερα από τον άλλο. Εάν αυτό το «κλειδώμα» συμβεί στον εμπρόσθιο άξονα του συστήματος, το αποτέλεσμα θα είναι μερική απώλεια της σταθερότητας κατεύθυνσης. Εάν όμως κλειδώσει ο τελευταίος άξονας είναι δυνατόν να υπάρξει ολική απώλεια της σταθερότητας του οχήματος.

Ένα ακόμη ανεπιθύμητο αποτέλεσμα της κακής μεταφοράς φορτίου ανάμεσα στους άξονες είναι η δημιουργία υποκρίσιμης απόσβεσης. Περιστασιακά η υποκρίσιμη απόσβεση μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της απόδοσης του συστήματος πέδησης και κατεύθυνσης επειδή μπορεί να προκαλέσει αναπηδήσεις στο οπίσθιο μέρος του οχήματος.

Η μεταφορά είναι θετική εάν το φορτίο κατευθύνεται προς τον εμπρόσθιο άξονα. Η αντίθετη μεταφορά έχει αρνητικό πρόσημο. Στον πίνακα 2 καταγράφονται τυπικά εύρη τιμών του εν λόγω μεγέθους. Από τα αρνητικά πρόσημα διαπιστώνουμε ότι η ανάρτηση ημιελλειπτικών ελατηρίων, και ειδικά αυτή των τεσσάρων ελατηρίων, είναι πιο ευαίσθητη στην ανεπιθύμητη φόρτιση των οπίσθιων αξόνων κατά τη διάρκεια της πέδησης. Αντιθέτως, οι δοκοί ισοστάθμισης μεταφέρουν λιγότερο φορτίο και η μεταφορά αυτή γίνεται συνήθως προς τον εμπρόσθιο άξονα.

Πίνακας 2

Τύπος ανάρτησης	Εύρος τιμών δυναμικής μεταφοράς φορτίου (lb/lb)
Ανάρτηση αέρος	0,035 – (-0,018)
Ανάρτηση ημιελλειπτικών ελατηρίων	-0,10 – (-0,185)
Ανάρτηση με δοκό ισοστάθμισης	0,010 – (-0,030)

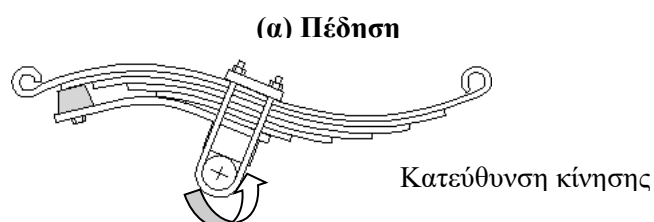
Πίνακας 2: Καταγραφή τυπικού εύρους τιμών ανάρτησης και το αντίστοιχο εύρος τιμών της δυναμικής μεταφοράς φορτίου σε lb/lb.

Πηγή: Πτυχιακή Εργασία του Κιουρκτσόγλου Κωνσταντίνου, φοιτητή του Τ.Ε.Ι. Καβάλας του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών με θέμα "Ανάρτηση τροχών και ελατήρια σε βαρέα οχήματα", κεφ. 1.4 – Δυναμική μεταφορά φορτίου σε επάλληλους άξονες, Νοέμβριος 2012.

3.9 Στρέβλωση ελατηρίων

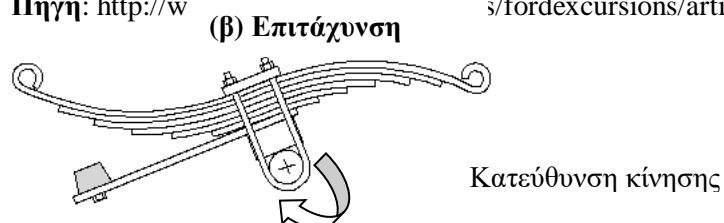
Εάν ο οδηγός ενός βαρέου οχήματος φρενάρει απότομα, τότε όλη η ροπή του κινούμενου οχήματος τείνει να περιστρέψει τον κινητήριο άξονα προς την κατεύθυνση της κίνησης. Σε υψηλές ταχύτητες η δύναμη της ροπής είναι πολύ μεγάλη και η επίδρασή της επάνω στον άξονα περιορίζεται μόνο από την ολίσθηση των ελαστικών επάνω στο οδόστρωμα. Η τάση περιστροφής του άξονα αναγκάζει τη δέσμη των ημιελλειπτικών ελατηρίων να πάρουν την μορφή **S**.

Στρέβλώσεις στη μορφή των ελατηρίων εμφανίζονται και στην περίπτωση απότομων επιταχύνσεων καθώς και όταν υπάρχουν απότομες εκκινήσεις είτε λόγω της κλίσης του οδοστρώματος είτε λόγω του μεγάλου φορτίου. Καθώς η μηχανή επιταχύνει, επάνω στον σφόνδυλο αναπτύσσεται πολύ μεγάλη ροπή. Στη συνέχεια αυτή η ροπή πολλαπλασιάζεται από το σύστημα μετάδοσης και ξανά πάλι από τα γρανάζια του διαφορικού από όπου και μεταφέρεται στα ελατήρια αναγκάζοντας τα να παραμορφωθούν (εικόνα 3.9.1).



Εικόνα 3.9.1: Στρέβλωση ημιελλειπτικών ελατηρίων κατά την πέδηση.

Πηγή: http://www.supermotors.net/clubs/fordexcursions/articles/article_1/index.php



Εικόνα 3.9.2: Στρέβλωση ημιελλειπτικών ελατηρίων κατά την πέδηση.

Πηγή: http://www.supermotors.net/clubs/fordexcursions/articles/article_1/index.php

3.10 Αποτελέσματα της παραμόρφωσης του ελατηρίου

Όταν ο άξονας περιστραφεί σε μεγάλο βαθμό η μεν σούστα τείνει να ωθήσει τον άξονα προς την αντίθετη κατεύθυνση και οι ζυγοί προσπαθούν να ευθυγραμμίσουν το ημιαξόνιο με το διαφορικό. Αυτές οι δυνάμεις αναγκάζουν τα ελαστικά να χάσουν την πρόσφυσή τους με το έδαφος, ο άξονας αναπηδά και τα ελατήρια τον επαναφέρουν στην αρχική του θέση. Ουσιαστικά ο άξονας χοροπηδά συνεχώς μέχρι είτε να αποκτήσει πάλι καλή πρόσφυση με το έδαφος είτε ο οδηγός να αφήσει το γκάζι ή το φρένο.

Η στρέβλωση της μορφής των ελατηρίων επηρεάζει πολλά εξαρτήματα. Όταν ο άξονας παίρνει κλίση η γωνία του πινιόν αλλάζει. Αυτό σημαίνει ότι το διαφορικό μετακινείται προς τα πάνω ή προς τα κάτω σε σχέση με το ημιαξόνιο. Κατά την

διάρκεια μιας ξαφνικής επιτάχυνσης τα παραπάνω αίτια προκαλούν δονήσεις στην μετάδοση της κίνησης. Σε ακραίες περιπτώσεις η μεγάλη γωνία περιστροφής του άξονα υπερβαίνει τις αντοχές των αμφιδετών οι οποίοι φθείρονται ή σπάνε. Η αναπήδηση των τροχών μεταφέρει κραδασμούς στα εσωτερικά εξαρτήματα του άξονα τα οποία καταπονούνται σε μεγάλο βαθμό και μπορεί επίσης να αστοχήσουν.

Η υπερβολική παραμόρφωση των ελατηρίων σε κάποιες φορές υπερβαίνει τα όρια αντοχής τους και οδηγούν σε θραύση. Τέλος επειδή η πρόσφυση με το οδόστρωμα μειώνεται τα ελαστικά φθείρονται στην προσπάθεια τους να μεταδώσουν αποτελεσματικά τη ροπή στο έδαφος.

• Συμπεράσματα

Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι ο οδηγός θα πρέπει να αποφεύγει στο μέτρο του εφικτού τις ξαφνικές επιταχύνσεις και πεδησεις. Έστω ότι κάποιος οδηγεί με μεγάλη ταχύτητα και αντιληφθεί ένα "σαμαράκι" του δρόμου την τελευταία στιγμή. Σίγουρα θα πρέπει να το είχε προσέξει νωρίτερα, αλλά κάτω από αυτές τις συνθήκες θα χρησιμοποιήσει τα φρένα πριν φτάσει στο εμπόδιο και θα τα ελευθερώσει εγκαίρως δίνοντας το χρόνο στα ελατήρια να επανέλθουν στην αρχική τους θέση, καθώς οι τροχοί θα κυλούν ελεύθερα επάνω στο σαμάρι. Στην αντίθετη περίπτωση (φρενάρισμα επάνω στο σαμάρι), η δύναμη της πέδησης θα δημιουργήσει τέτοια κατάσταση ώστε η μισή σούστα να κουβαλήσει όλο το φορτίο του οχήματος.

3.11 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διάρκεια ζωής των ημιελλειπτικών ελατηρίων

Η διάρκεια ζωής του μετάλλου οφείλεται σίγουρα στις συνθήκες λειτουργίας του οχήματος. Ένα όχημα που εργάζεται σε ανώμαλες επιφάνειες (χωματουργικό φορτηγό) παρουσιάζει συχνότερα αστοχίες ελατηρίων από ένα άλλο που κινείται πάντα εντός οδοστρώματος (φορτηγό εθνικών μεταφορών).

Οι συνθήκες λειτουργίας όμως από μόνες τους δεν μπορούν να καθορίσουν τη διάρκεια αντοχής των ημιελλειπτικών αναρτήσεων.

Παρακάτω αναφέρονται όλες τις παραμέτρους που σχετίζονται με την μακροζωία ή την αστοχία αυτών των αναρτήσεων:

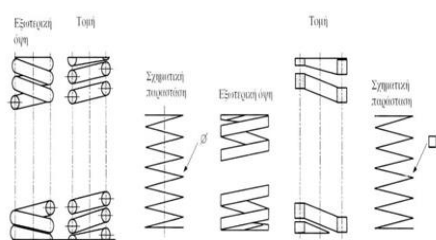
- Υπερβολική φόρτωση

- Λανθασμένη ρύθμιση
- Κατάσταση επιφάνειας ημιελλειπτικών φύλλων
- Συντήρηση
- Εξανθράκωση και ποιότητα ατσαλιού

Το μαλακό επιφανειακό στρώμα που θα προκύψει δεν θα μπορέσει να αντιμετωπίσει τις τάσεις που θα αναπτυχθούν επάνω του με αποτέλεσμα την πρόωμη αστοχία του ελατηρίου.

Το σύνολό τους συμπεριφέρεται σαν ένα ενιαίο δοκάρι, χοντρό στη μέση και στις άκρες λεπτό, αλλά με ελαστικότητα μεγαλύτερη από όση θα είχε αν ήταν ένα ενιαίο συμπαγές κομμάτι. Τα ημιελλειπτικά ελατήρια μπορούν να παίξουν και το ρόλο του ψαλιδιού μιας ανάρτησης, δηλαδή να αποτελέσουν και το βραχίονα έδρασης του του άξονα των τροχών, χωρίς να χρειάζεται περεταίρω εξάρτημα. Επιπλέον, η εσωτερική τριβή που δημιουργείται ανάμεσα στα φύλλα όταν αυτά κάμπτονται, μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε θερμότητα και αποσβαίνει τις ταλαντώσεις.

Σήμερα χρησιμοποιούνται διαφόρων ειδών ελατήρια, που μπορεί πέρα από την κανονική κυλινδρική μορφή τους να παρουσιάζουν είτε σμίκρυνση στη μέση του κυλίνδρου είτε να έχουν κωνική ή οβάλ μορφή. Για τον λόγο αυτό, πολλά από τα πρώτα αυτοκίνητα δε χρησιμοποιούσαν καθόλου επιπρόσθετα αμορτισέρ.



Εικόνα 3.11.1: Εξωτερική όψη, τομή και σχηματική παράσταση ελικοειδών ελατηρίων (με κυκλική και με τετραγωνική διατομή αντίστοιχα).

Πηγή: ΔΠΛ. ΕΡΓΑΣΙΑ του φοιτητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα, Ιούλιος 2014. Παρ. 1.1.3 – Ελατήρια, σελ.8.

Κατά την υπερπήδηση ενός εμπόδιου του δρόμου πρέπει σε ελάχιστο χρόνο να ανασηκωθεί ολόκληρο το όχημα. Αυτό απαιτεί μια επιπλέον δύναμη, η οποία είναι τόσο μεγαλύτερη του αρχικού βάρους, όσο μικρότερος είναι ο διαθέσιμος χρόνος,

δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα. Εδώ βοηθάει το ελατήριο, που συμπιέζεται λόγω της επιπλέον δύναμης (σαν να μεγάλωσε δηλαδή το βάρος που σηκώνει), ώστε συμπιεσμένο να διευκολύνει το πέρασμα πάνω από το εμπόδιο και να ελαττώνεται ο κραδασμός.

Όσο σκληρότερο είναι το ελατήριο που έχει επιλεγεί, τόσο μεγαλύτερες είναι οι δυνάμεις και οι κραδασμοί που επιδρούν περνώντας πάνω από εμπόδια ή βγαίνοντας από μια λακούβα, αλλά και τόσο δυσκολότερα προσαρμόζονται οι τέσσερις τροχοί σε ένα ανώμαλο έδαφος. Αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό σε όχημα όπου δεν υπάρχει καθόλου ελατήριο, πράγμα που αντιστοιχεί σε ένα απείρως σκληρό ελατήριο, οπότε σε ανώμαλο έδαφος ο ένας τροχός είναι πάντα στον αέρα.

Ένα σκληρό ελατήριο επομένως, καταπονεί πολύ όχι μόνο τροχούς και ζάντες, αλλά τόσο το αμάξωμα όσο και τους επιβάτες.

Τα ελατήρια σε αντίθεση με τις σούστες, δεν έχουν εσωτερικές τριβές ώστε αν τα πιέσουμε στιγμιαία αρχίζουν να αναπηδούν όπως μία μπάλα που πετάμε με δύναμη στο έδαφος. Με κάθε αναπήδηση όμως χάνουν την επαφή τους με το έδαφος με αποτέλεσμα το όχημα να κινδυνεύει να φύγει από τον δρόμο.

Πίνακας 3: Όρια ανατροπής για διάφορους τύπους οχημάτων.

Τύπος οχήματος	Ύψος κέντρου βάρους (cm)	Όριο ανατροπής (πλευρικό φορτίο g)
Σπορ αυτοκίνητο	45 – 50	1.2 – 1.7
Μέσο οικογενειακό αυτοκίνητο	50 – 58	1.1 - 1.5
Αυτοκίνητο μεγάλου κυβισμού	20 – 61	1.2 – 1.6
Επαγγελματικό αυτοκίνητο	76 – 89	0.9 – 1.1
Μικρό λεωφορείο	76 – 102	0.8 – 1.1
Φορτηγό μεσαίας κατηγορίας	114 – 140	0.6 – 0.8
Φορτηγό	152 - 216	0.4 – 0.6

Πηγή: Πτυχιακή εργασία Κιουρκτσόγλου Κωνσταντίνος, Τμήμα Μηχανολογίας, Τομέας Ενέργειας και Περιβάλλοντος, "Ανάρτηση τροχών και ελατήρια σε βαρέα οχήματα", Καβάλα, Νοέμβριος 2012.

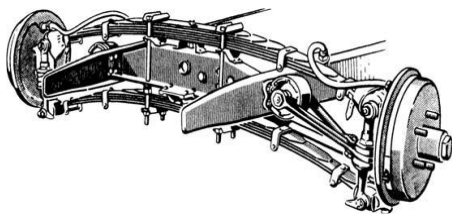
Πλεονεκτήματα

1. Αισθητή βελτίωση της οδικής συμπεριφοράς
2. Καλύτερη ευστάθεια σε ευθεία πορεία
3. Μείωση του βάρους
4. Μερική ανεξαρτησία των τροχών

Μειονεκτήματα

1. Αύξηση πολυπλοκότητας
2. Κακή συμπεριφορά των ελατηρίων
3. Υπερβολικά μαλακά ελατήρια προκαλούν ανεπιθύμητες κλίσεις στο πλαίσιο του αυτοκινήτου.

ΑΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΕΛΑΤΗΡΙΑ



Εικόνα 3.11.2: Ανάρτηση στην οποία τα ελατήρια τοποθετούνται εγκάρσια προς το αμάξωμα.

Πηγή: Sean Bennett, Ian Andrew Norman. Heavy Duty Truck Systems. 5 th ed. New York: Delmar Cengage Learning, 2011.



Εικόνα 3.11.3: Ανάρτηση με εγκάρσια ελατήρια.

Πηγή: A.A.D. Brown. Mechanical springs. Oxford: Oxford University Press, 1981

3.12 Συντήρηση και αντιμετώπιση προβλημάτων ημιελλειπτικών ελατηρίων

Περιοδικός έλεγχος συντηρήσεως

Ο έλεγχος των συμβατικών αναρτήσεων για τον εντοπισμό αστοχιών πρέπει να γίνεται κάθε φορά συστηματικά με την ακόλουθη προτεινόμενη σειρά:

1. Εξωτερική παρατήρηση

Αρχικά, παρατηρούμε το όχημα εξωτερικά. Αν διαπιστώσουμε κλίση του οχήματος προς μια κατεύθυνση ή κάποια νέα θέση ισορροπίας πρέπει υποπτευθούμε πρόβλημα των αναρτήσεων. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι το πρόβλημα οφείλεται αποκλειστικά στις αναρτήσεις. Κάποιοι εμπειρικά μπορούν να διαπιστώσουν το πρόβλημα όταν η απόσταση του φτερού από το ελαστικό είναι μικρότερη από την αντίστοιχη της άλλης πλευράς. Σε γενικές γραμμές ο εξωτερικός έλεγχος δεν είναι τόσο αποτελεσματικός γιατί είναι δυνατόν να υπάρχει ένα σπασμένο έλασμα μέσα στη δέσμη χωρίς κατά ανάγκη να αλλάξει το ύψος του οχήματος.

2. Έλεγχος ελατηρίων

Πιο αποτελεσματικό θα είναι να ελέγξουμε άμεσα τα ίδια τα ελατήρια. Στον έλεγχο αυτό πρέπει να δώσουμε ιδιαίτερη προσοχή αν τα ελάσματα:

- Έχουν μετατοπιστεί από τη θέση τους.
- Έχουν ρωγμές ή σπασίματα.
- Έχουν φθαρεί στο σημείο τριβής της επιδεσμίδας με το κυρίως φύλλο.
- Έχουν λυγίσει ή έχουν "κρεμάσει".

Είναι βασικό να γνωρίζουμε ότι τουλάχιστον στα απλά φύλλα η θραύση εξελίσσεται προοδευτικά. Δηλαδή ξεκινάει από μία ρωγμή που εφόσον δεν προβούμε σε αντικατάσταση του ελαττωματικού ελατηρίου καταλήγει σε θραύση. Αυτό δίνει ένα περιθώριο χρόνου στον αυτοκινητιστή να εντοπίσει έγκαιρα το πρόβλημα και να το διορθώσει. Επειδή τα ημιελλειπτικά ελατήρια είναι ανθεκτικότερα στη συμπίεση παρά στην υπερένταση οι περισσότερες ρωγμές εμφανίζονται στις εξωτερικές ακμές τους εκεί όπου αναπτύσσονται οι δυνάμεις εφελκυσμού.

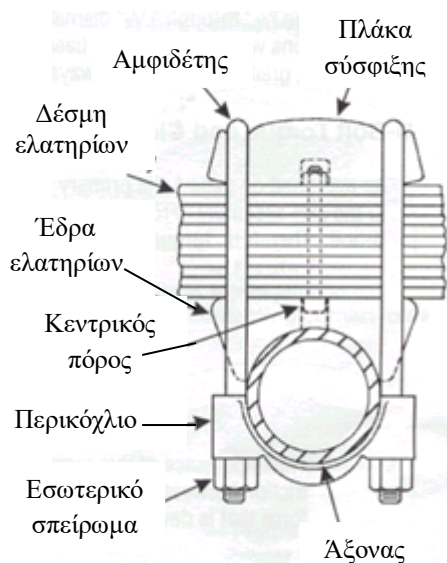
Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνουμε στα μάτια του κυρίως ελατηρίου (μάνα). Η συναρμογή των ματιών με τους ακραίους πύρους δεν πρέπει να είναι ιδιαίτερα σφιχτή, ούτε όμως και χαλαρή. Το μάτι πρέπει να μπορεί να περιστρέφεται μερικώς περίξ του

ακραίου πίσου. Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατόν λόγω οξειδώσεων το έλασμα σπάει στην περιοχή κοντά στο μάτι.

3. Έλεγχος κεντρικού πίσου

Αφού επιθεωρήσουμε τα ελατήρια ο επόμενος έλεγχος πρέπει να άφορα τον κεντρικό πίσου ο οποίος:

- Πρέπει να είναι τοποθετημένος κατακόρυφα και να ισαπέχει από τους ζυγούς πρόσδεσης.
- Δεν θα πρέπει να βρίσκεται υπό γωνία, να είναι χαλαρός ή σπασμένος.



Εικόνα 3.12.1: Ελατήριο πολλαπλών ελασμάτων με παρελκόμενα εξαρτήματα.

Πηγή: Don Knowles. Automotive Suspension and Steering Systems. 4th ed. New York: Delmar Cengage Learning, 2007.

4. Έλεγχος ζυγών πρόσδεσης (αμφιδέτες)

Μετά από αντικατάσταση ή αλλαγή σούστας κρίνεται απαραίτητη η επανασύσφιξη των ζυγκιών. Οι επαναληπτικές συσφίξεις μπορεί να γίνονται στα πρώτα 500 και 1000 χλμ. Αυτό συμβαίνει γιατί όσο σφιχτή και αν είναι η προσαρμογή, κατά τη λειτουργία τους οι επιφάνειες ανάμεσα στα φύλλα μπορούν να δημιουργήσουν διάκενα. Έχει παρατηρηθεί ότι όταν η πρόσδεση είναι χαλαρή αυξάνεται η πιθανότητα θραύσης των σουστών στην περιοχή ανάμεσα στους ζυγούς επειδή δέχεται πλέον τις μεγαλύτερες εντάσεις. Πρακτικά γνωρίζουμε ότι η θραύση της σούστας στην οπή του κεντρικού πίσου οφείλεται σε ελλιπώς σφιγμένους ζυγούς.

Όταν οι ζυγοί είναι σφιχτά δεμένοι όπως σε μια μέγγενη τα ελατήρια σε αυτά τα σημεία δεν υπόκεινται σε κάμψη και άρα δεν μπορούν να σπάσουν.

Προσοχή πρέπει επίσης να δώσουμε και σε δύο ακόμα σημεία όσον αφορά την σύσφιξη των ζυγκιών. Πολλές φορές ενώ οι κοχλίες είναι κατάλληλα σφιγμένοι τα ελατήρια είναι χαλαρά. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε γιατί το περικόχλιο δεν μπορεί να περιστραφεί άλλο εξαιτίας της έλλειψης σπειρώματος είτε γιατί οξειδώσεις έχουν συσφίξει το ζυγκί μέσα στα κανάλια της βάσης. Στην πρώτη περίπτωση το πρόβλημα μπορεί να λυθεί με την εισαγωγή παρεμβυσμάτων (ροδέλες). Στη δεύτερη περίπτωση οι ζυγοί πρέπει να εξαχθούν από τη βάση τους και τα κανάλια να καθαριστούν από τις ξένες ύλες προτού τους επανατοποθετήσουμε.

Για να ερευνήσουμε τη σύσφιξη των ζυγών αρκεί τα χτυπήσουμε με ένα σφυρί. Σε μερικές περιπτώσεις η άτονη πρόσδεση αφήνει ορατά κενά στα σημεία επαφής των σουστών στην περιοχή ανάμεσα στους ζυγούς. Σε κάθε περίπτωση τα παξιμάδια πρέπει να συσφίγγονται και οι ζυγοί να σταθεροποιούν τα ελατήρια. Διαρροή ελαίου επάνω στους αμφιδέτες μπορεί να προκαλέσει ξεβίδωμα των περικοχλίων και χαλαρότητα των ζυγών.

5. Έλεγχος ακραίων πύρων

Οι ακραίοι πύροι σύνδεσης της σούστας με το μπρακέτο και τη διπλή άρθρωση (σκουλαρίκι) πρέπει να λιπαίνονται τακτικά. Κακή λίπανση μπορεί να οδηγήσει σε οξειδώσεις που ακινητοποιούν τις αρθρώσεις του κύριου ελατήριου και οδηγούν σε αστοχία του. Ο έλεγχος φθοράς στον πύρο η στο δαχτυλίδι μπορεί να γίνει με έναν λεβιέ. Αν διαπιστωθεί φθορά τα εξαρτήματα πρέπει να αντικαθίστανται.

6. Η πλάκα σύσφιξης

Η πλάκα σύσφιξης είναι απαραίτητη για δύο λόγους:

α) Ευθυγραμμίζει τους αμφιδέτες (ζυγκιά) με τη φορά της δύναμης έλξης και διατηρεί την κατάλληλη απόσταση μεταξύ τους. Εάν για κάποιο λόγο η πλάκα σύσφιξης παραλειφθεί τότε οι ζυγοί είναι δυνατόν να λάβουν μια νέα θέση υπό γωνία ενώ θα είναι σφιγμένοι. Οι ζυγοί θα επιστρέψουν στην ορθή τους θέση χαλαρώνοντας

την συναρμογή των ελατηρίων κάτι που μπορεί να προκαλέσει τη θραύση τους σε κεντρικό σημείο όπως τονίσαμε και παραπάνω.

β) Το σχήμα που έχουν οι κόντρα πλάκες πρέπει να συνταιριάζει με το περίγραμμα των ζυγών. Η πολύ καλή εφαρμογή της πλάκας σύσφιξης με τους αμφιδέτες δίνει καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά τη σύσφιξη των ελασμάτων και την ασφάλεια οδήγησης. Πρέπει επίσης να σημειώσουμε ότι δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ζυγοί που να έχουν διαφορετική φόρμα από την πλάκα σύσφιξης.

7. Επιδεσμίδες

Όταν ο τροχός του οχήματος χτυπήσει σ'ένα ανάχωμα του δρόμου το κύριο ελατήριο (μάνα) καθώς πιέζεται προς τα κάτω υποβαστάζεται από όλα τα κοντύτερα φύλλα για αντιμετωπίσει τη δύναμη κρούσης. Μετά το χτύπημα όμως, όταν ο άξονας θα κινηθεί προς τα κάτω η μάνα θα πρέπει από μόνη της να απορροφήσει όλη τη δύναμη επαναφοράς.

Όπως καταλαβαίνουμε, σε αυτή την περίπτωση η πιθανότητα αστοχίας της αυξάνεται. Για να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα όλο το σετ των ελασμάτων προσδένεται με επιδεσμίδες. Με τις επιδεσμίδες βεβαιώνεται ότι τα προσδεμένα ελατήρια θα έχουν σαν σύνολο πλέον την ίδια περίπου συμπεριφορά τόσο κατά την φάση της συμπίεσης όσο και κατά την εκτόνωση.

Μία δεύτερη λειτουργία των επιδεσμίδων είναι ότι αποτρέπουν την πλευρική κίνηση των ελασμάτων. Πολλές φορές με την έλλειψη επιδεσμίδων τα ελατήρια παύουν να ευθυγραμμίζονται το ένα κάτω από το άλλο περιστρεφόμενα ελαφρώς γύρω από τον κεντρικό πύλο. Τα ελάσματα δίνουν την εντύπωση «σκάλας» και η σούστα ανοίγει όπως τα τραπουλόχαρτα της εικόνας 16 κάτι που μπορεί να προκαλέσει αστοχία.

3.13 Η παραμόρφωση του ελατηρίου

Το κεντρικό εξάρτημα κάθε συστήματος ανάρτησης είναι το ελατήριο, ένα σώμα που καθώς συμπιέζεται και αλλάζει σχήμα, αποθηκεύει μέσα του ένα ποσό μηχανικής ενέργειας, στη συνέχεια το απελευθερώνει μόλις επανέλθει στο αρχικό του σημείο.

Το ελατήριο δηλαδή διαθέτει ελαστικότητα. Κάθε ελατήριο έχει έναν συγκεκριμένο συντελεστή ελαστικότητας ή αλλιώς **συντελεστή σκληρότητας**. Ο συντελεστής αυτός είναι ένας αριθμός ο οποίος περιγράφει το λόγο της δύναμης που παραμορφώνει το ελατήριο προς το μέγεθος της παραμόρφωσης την οποία υφίσταται.

Ο συντελεστής ελαστικότητας του κάθε ελατηρίου προέρχεται από ένα σύνολο δεδομένων, όπως είναι ο συντελεστής ελαστικότητας του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο, αλλά και από τον τρόπο και το είδος της παραμόρφωσης που του γίνεται, πάντα σε σχέση με την επιλεγμένη διατομή του υλικού στην περιοχή της παραμόρφωσης.



Εικόνα 3.13.1: Ανεξάρτητη ανάρτηση οχήματος και παραμόρφωση του ελατηρίου του εμπρόσθιου άξονα σε περίπτωση που το οδόστρωμα παρουσιάζει ανωμαλίες ή έχει επικίνδυνη κλίση.

Πηγή: A.A.D. Brown. Mechanical springs. Oxford: Oxford University Press, 1981.

- Σε ένα ελαστικό σώμα μπορεί να γίνουν πολλά είδη παραμόρφωσης:
 - α) Καμπτική
 - β) Στρεπτική
 - γ) Πιεστική
 - δ) Ελκτική
 - ε) Διατμητική

Στις αναρτήσεις των αυτοκινήτων και ειδικότερα στα υλικά των ελατηρίων, έχουν χρησιμοποιηθεί όλα τα είδη ελαστικής παραμόρφωσης. Κάθε ελαστικό υλικό, σε

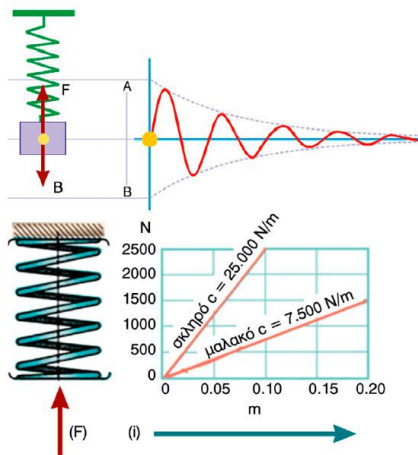
κάποιο από τα διάφορα είδη παραμόρφωσης που μπορεί να δεχτεί, παρουσιάζει διαφορετική ικανότητα ενεργειακής αποθήκευσης. Έτσι, ένα από τα σοβαρότερα θέματα που αφορούν στο σχεδιασμό των ελατηρίων μιας ανάρτησης, είναι η βελτίωση της ικανότητάς τους να αποθηκεύουν όσο γίνεται μεγαλύτερο ποσό ενέργειας στον μικρότερο δυνατό όγκο, βάρος και φυσικά κόστος.

3.14 Σκληρά και Μαλακά Ελατήρια

Διαφορά φάσης

Κάθε ελατήριο έχει τη δική του **ιδιοσυχνότητα**, δηλαδή έναν δικό του ρυθμό κατά τον οποίο "προτιμά" να απελευθερώνει ενέργεια και να ξαναβρίσκει το αρχικό του σχήμα. Ο ρυθμός αυτός είναι συνάρτηση του **συντελεστή σκληρότητας** του ελατηρίου, καθώς και του φορτίου που το πιέζει. Ένα σκληρό ελατήριο επιστρέφει στο αρχικό του σχήμα πιο γρήγορα από ένα μαλακό εφόσον το βάρος που το πίεσε είναι το ίδιο. Κατά τον ίδιο τρόπο, ένα πιο βαριά πιεσμένο ελατήριο επιστρέφει στο αρχικό του σχήμα με μεγαλύτερη ταχύτητα από ένα αλαφρά πιεσμένο για τον ίδιο συντελεστή σκληρότητας. Ένα ελατήριο με χαμηλό συντελεστή σκληρότητας, δηλαδή ένα μαλακό ελατήριο, θα επιτρέψει στον τροχό να περάσει πιο εύκολα από μία προεξοχή του δρόμου, αλλά ταυτόχρονα, θα προσδώσει στο ελατήριο μια χαμηλή ιδιοσυχνότητα η οποία σε ανώμαλο δρόμο δε θα επιτρέψει στον τροχό να κατεβαίνει γρήγορα και να "παρακολουθεί" όλο τον οδικό κυματισμό.

Για να αποφευχθεί το παραπάνω φαινόμενο και ο τερματισμός της ανάρτησης στα λαστιχένια επάνω της μέρη, οι αναρτήσεις με μαλακά ελατήρια πρέπει να έχουν μεγάλη διαδρομή βύθισης του τροχού, πράγμα το οποίο προϋποθέτει την ύπαρξη μεγάλων θόλων στα φτερά άρα και μείωση του χώρου εντός της καμπίνας του οχήματος. Επίσης, κάτι τέτοιο θα έδινε ύψος στο αυτοκίνητο.



Εικόνα 3.14.1: Στα σπειροειδή ελατήρια η ταλάντωση του ελατηρίου είναι φθίνουσα και η σχέση δύναμης προς την διανυόμενη απόσταση είναι γραμμική.

Πηγή: Master Thesis: “Chassis and suspension design FSRTE02” by A. van Berkum, Eindhoven March 2006.

Ένας τρόπος για την αποφυγή μεταλλικού χτυπήματος σε περίπτωση μεγάλης έκτασης των αναρτήσεων, είναι η χρησιμοποίηση των **ελαστικών στόπερ**. Κάτι τέτοιο συμβαίνει συνήθως όταν ένα άλμα ολόκληρου του αυτοκινήτου "αναγκάζει" τους τροχούς να χάνουν για λίγο την επαφή τους με το έδαφος. Από την άλλη μεριά, ένα υπερβολικά σκληρό ελατήριο θα ήταν ικανό να έχει ενοχλητική αντίδραση στις ανωμαλίες του οδοστρώματος, εάν ένα μέρος από την μηχανική ενέργεια συμπιέσης του περνούσε στην καμπίνα των επιβατών.

- **Σταθερά ελατηρίου**

Συμβολίζεται με το γράμμα **c** και εκφράζει τις ιδιότητες του ελατηρίου, δηλαδή αν ένα ελατήριο είναι σκληρό ή μαλακό. Το ελατήριο, ανάλογα με το φορτίο που δέχεται, παρουσιάζει κάποια μεταβολή του μήκους του. Ως ορισμός της σταθεράς του ελατηρίου **c** ορίζεται το πηλίκο της δύναμης **F** που εφαρμόζεται στο ελατήριο προς τη διαδρομή **l** του ελατηρίου. Η σταθερά του ελατηρίου **c** εκφράζεται σε N/mm.

Υπάρχουν ορισμένα χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζουν τη δυνατότητα φόρτισης των ελατηρίων, όπως η διάμετρος του ελατηρίου, ο αριθμός των σπειρών, η διάμετρος της ράβδου του ελατηρίου. Αν η συμπεριφορά του ελατηρίου ως προς τη σκληρότητα ή τη μαλακότητά του παραμένει σταθερή σε όλη τη διαδρομή, εφαρμογή φορτίου – μεταβολή μήκους ελατηρίου, τότε η χαρακτηριστική καμπύλη του

ελατηρίου είναι μία ευθεία γραμμή και η σταθερά **c** του ελατηρίου παραμένει σταθερή κατά τη διαδρομή του ελατηρίου.

Συμπεράσματα:

Θα μπορούσαμε να πούμε πως όταν ένα αυτοκίνητο περάσει με δεδομένη ταχύτητα πάνω από μία προεξοχή (λακούβα) του δρόμου, ένα δεδομένο φορτίο με έναν δεδομένο ρυθμό, μεταδίδεται στο ελατήριο της ανάρτησης. Αν ο ρυθμός αυτού του φορτίου συμπέσει με το ρυθμό, δηλαδή την ιδιοσυχνότητα ταλάντωσης του ελατηρίου, το εύρος της ταλάντωσης μεγαλώνει και το ελατήριο βυθίζεται πιο πολύ.

Αν σε ένα αυτοκίνητο τα ελατήρια των μπροστινών και των πίσω αναρτήσεων είχαν την ίδια ιδιοσυχνότητα, οι ταλαντώσεις θα συντονίζονταν. Επομένως, για την αποφυγή αυτού του φαινομένου, οι κατασκευαστές τοποθετούν στα αυτοκίνητά τους εμπρός και πίσω ελατήρια με τέτοιες ιδιοσυχνότητες ώστε όχι μόνο να μην υπάρχει συντονισμός αλλά να γίνεται και αλληλοαπόσβεση των ταλαντώσεων.

Πίνακας 4: Συνήθη χαρακτηριστικά ελατηρίων.

	Σκληρό Ελατήριο	Μαλακό Ελατήριο
Εμπρός	<ul style="list-style-type: none"> • Βελτίωση συμπεριφοράς κατά το φρενάρισμα. • Μείωση οδηγικής συμπεριφοράς στις στροφές. 	<ul style="list-style-type: none"> • Βύθιση κατά το φρενάρισμα. • Εύκολη είσοδος στις στροφές. • Δίπλωμα τροχού.
Πίσω	<ul style="list-style-type: none"> • Εύκολη είσοδος στις στροφές. • Μειωμένη πρόσφυση του ελαστικού. • Μειωμένη άνεση στο πίσω μέρος του οχήματος. 	<ul style="list-style-type: none"> • Αυξημένη πρόσφυση του ελαστικού κατά την επιτάχυνση. • Υποστροφή κατά την είσοδο σε στροφή. • Χειροτέρευση της οδηγικής συμπεριφοράς, ειδικά σε συνεχιζόμενες στροφές.

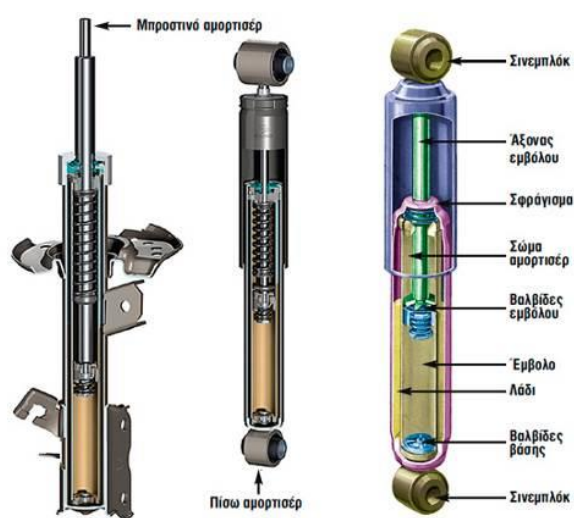
Πηγή: Heavy Duty Truck System, 5th Edition, Ian Andrew Norman, Sean (Sean Bennett) Bennett, Sean Bennett.

4. Αποσβεστήρες ταλαντώσεων (Αμορτισέρ)

4.1 Εισαγωγή

Η επιστημονική ορολογία για το αμορτισέρ είναι αποσβεστήρας κραδασμών. Ο αποσβεστήρας κραδασμών μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε θερμική ενέργεια μέσω της ιξώδους τριβής. Το αμορτισέρ μειώνει και περιορίζει τους κραδασμούς των ελατηρίων. Αυτό επιτυγχάνεται με την επιβράδυνση της ροής του λαδιού στις διόδους της βαλβίδας που βρίσκονται στο εσωτερικό του αμορτισέρ.

Οι διόδοι του αμορτισέρ είναι έτσι σχεδιασμένες, ώστε οι παραγόμενοι κραδασμοί στο ελατήριο να ελαχιστοποιούνται από την πρώτη στιγμή. Κατά τη διαδικασία αυτή, το αμορτισέρ μπορεί να αναπτύξει θερμοκρασία έως και 100–120°C. Στις δύο πλευρές του εμβόλου εγκλωβίζεται διαφορετικός όγκος λαδιού λόγω του άξονα που τον περιορίζει και πρέπει να υπάρχει δυνατότητα εκτόνωσης σε κάποια πλευρά του αμορτισέρ (κατασκευή Α στην εικόνα).



Σχήμα 1. Τομή τηλεσκοπικού αμορτισέρ και κύρια μέρη αυτού.

Εικόνα 4.1.1: Διατομή αμορτισέρ με τα διάφορα μέρη από τα οποία αποτελείται (σινεμπλόκ στήριξης, άξονα εμβόλου, σφράγισμα για τη συγκράτηση του λαδιού, κύριο σώμα αμορτισέρ, βαλβίδες εμβόλου, έμβολο, βαλβίδες βάσης).

Πηγή: Οι ενότητες 3.1-3.6 βασίζονται σε πηγές από την Διπλωματική Εργασία του φοιτητή Νικολάκη Νικόλαου του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών με θέμα: "ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΔΗΓΗΣΗ ΜΑΓΝΗΤΟΡΕΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ", Ιούλιος 2014, Ενότητες 1.2 και 1.3.

4.2 Αρχή λειτουργίας του αμορτισέρ

Η αρχή λειτουργίας του αμορτισέρ βασίζεται στο ότι με την κίνηση της ανάρτησης, ένα μικρό έμβολο «αναγκάζεται» σε παλινδρόμηση μέσα σε έναν κύλινδρο γεμάτο με κάποιο υγρό. Το υγρό πιέζεται και αναγκάζεται να περάσει μέσα από κάποια ή κάποιες οπές.

Επειδή κάτι τέτοιο δεν του είναι εύκολο, ενεργοποιεί μια δύναμη αντίδρασης στην κίνηση του πιστονιού, άρα και στην κίνηση της ανάρτησης. Δηλαδή, αυτό που κάνει το υδραυλικό αμορτισέρ, είναι να μετατρέπει την κινητική ενέργεια της πάνω κάτω κίνησης του τροχού, σε τριβή μεταξύ των μορίων του λαδιού και σε θερμότητα, η οποία αποβάλλεται. Διαφορετικά, πρέπει να καλύπτεται η διαφορά όγκου με την συμπίεση αερίου (κατασκευή C στην εικόνα).

Η λειτουργία του συνήθως δεν προβλέπει να μπορεί να σηκώσει έστω και λίγο από το βάρος του οχήματος και για αυτόν το λόγο στέκεται σε οποιαδήποτε θέση το μετακινήσεις. Κατά την κίνηση του εμβόλου, το λάδι εξαναγκάζεται να περάσει από την μία πλευρά στην άλλη, μέσω μικροσκοπικών βαλβίδων. Σε αργές κινήσεις η κυκλοφορία αυτή γίνεται χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία, όμως στις γρήγορες η αντίσταση στην κίνηση του εμβόλου αυξάνεται σημαντικά. Με κατάλληλη επιλογή της ρευστότητας του λαδιού και των διαμέτρων των βαλβίδων, οι οποίες είναι διαφορετικές για τη συμπίεση και την αποσυμπίεση αντίστοιχα, σε συνδυασμό και με τη σκληρότητα των ελατηρίων, μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματική απόσβεση των ταλαντώσεων.

Τα αμορτισέρ τα οποία χρησιμοποιούνται σήμερα είναι ακριβώς της ίδιας λογικής, απλά έχουν στο έμβολο τους οπές διαφορετικών διαστάσεων και μονόδρομες βαλβίδες. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνουν διαφορετική δύναμη απόσβεσης ανάλογα από την κατεύθυνση που κινούνται. Δεν πρέπει να υπάρχει παρουσία αέρα μέσα στο υδραυλικό σύστημα διότι τροποποιεί τη συμπεριφορά του υγρού μετατρέποντας το σε ελαστικό, ενώ κανονικά θα έπρεπε να είναι ασυμπίεστο .

Συνήθως, τα αυτοκινήτων υψηλών επιδόσεων, περιέχουν ένα θάλαμο αερίου υψηλής πίεσης το οποίο είναι συνήθως αζώτου που αποτρέπει το σχηματισμό φυσαλίδων, αλλά και προφυλάσσει τα υλικά από άμεση επαφή με το οξυγόνο .

Εξαιτίας των πιθανών κινδύνων που προέρχονται από τις ταλαντώσεις των ελατηρίων και του αμαξώματος, η ανάγκη απόσβεσης της ταλάντωσης και του συντονισμού των ελατηρίων έγινε επιτακτική. Ως αποτέλεσμα της έρευνας και της τεχνολογικής προόδου, τα πρωτόγονα συστήματα τριβής αντικαταστάθηκαν από τα σημερινά αμορτισέρ. Βασικό κομμάτι ενός αμορτισέρ αποτελεί ένα έμβολο που κινείται μέσα σε έναν κύλινδρο γεμάτο λάδι. Ο κύλινδρος είναι συνδεδεμένος με τους τροχούς και το έμβολο με το σασί του οχήματος.

Τα σημερινά αμορτισέρ είναι όλα απλές τηλεσκοπικές υδραυλικές τρόμπες και έχουν στο έμβολό τους οπές διαφορετικών διαστάσεων και μονόδρομες βαλβίδες (reed valves), που φροντίζουν να μεταβάλλουν ανάλογα την αποσβεστική δύναμη όταν κινούνται προς τη μία ή προς την άλλη κατεύθυνση (συμπίεση ή έκταση της ανάρτησης).



Εικόνα 4.2.1: Απεικόνιση αμορτισέρ.

Πηγή: Society of Automotive Engineers. Spring Design Manual. Warrendale: SAE.

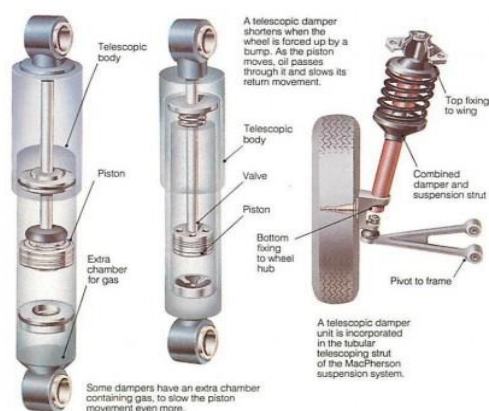
Η παρουσία αέρα μέσα στο υδραυλικό σύστημα τροποποιεί τη συμπεριφορά του υγρού μετατρέποντάς το σε ελαστικό, ενώ κανονικά θα έπρεπε να είναι ασυμπίεστο.

Πολλά αμορτισέρ, ιδίως αυτά των αυτοκινήτων υψηλών επιδόσεων, περιέχουν ένα θάλαμο αερίου υψηλής πίεσης (συνήθως αζώτου) που αποτρέπει το σχηματισμό φυσαλίδων, αλλά και προφυλάσσει τα υλικά από άμεση επαφή με το φθοροποιό οξυγόνο. Εδώ χρειάζονται τα αμορτισέρ που εμποδίζουν την κίνηση του τροχού τόσο

προς τα επάνω όσο και προς τα κάτω και χρησιμεύουν στη ριζική μείωση των αναπηδήσεων.

Ο καθένας θα έχει δει κάποια στιγμή σε προπορευόμενο όχημα τις αναπηδήσεις ενός τροχού που σηματοδοτούν ένα χαλασμένο αμορτισέρ. Εμποδίζοντας την κάθετη κίνηση του τροχού το αμορτισέρ αυξάνει την φαινομενική σκληρότητα του ελατηρίου, αλλά μόνο όσο ανεβοκατεβαίνει ο τροχός.

Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικ.4.2.2), βλέπουμε τον τρόπο λειτουργίας αμορτισέρ, όπου με την εισαγωγή αζώτου υψηλής πίεσεως, αποτρέπεται ο σχηματισμός φυσαλίδων εντός του θαλάμου .



Εικόνα 4.2.2: Η παρουσία αέρα μέσα στο υδραυλικό σύστημα τροποποιεί τη συμπεριφορά του υγρού μετατρέποντάς το σε ελαστικό, ιδίως αυτά των αυτοκινήτων υψηλών επιδόσεων, τα οποία περιέχουν ένα θάλαμο αερίου υψηλής πίεσης (συνήθως αζώτου) για την αποτροπή σχηματισμού φυσαλίδων, αλλά και για να προφυλάξει τα υλικά από άμεση επαφή με το φθοροποιό οξυγόνο.

Πηγή: Don Knowles. Medium/Heavy Duty Truck and Steering Suspension. New York: Delmar Cengage Learning, 1999.

Πρόκειται για μία χαλύβδινη ράβδο κυκλικής διατομής. Τα ελατήρια δέχονται τις αναπηδήσεις των τροχών εξαιτίας των ανωμαλιών του οδοστρώματος και τις μετατρέπουν σε ταλαντώσεις. Το όχημα αποτελεί ένα σύστημα το οποίο ταλαντώνεται και παρουσιάζει μία ιδιοσυχνότητα. Η ιδιοσυχνότητα – αριθμός ταλαντώσεων ανά λεπτό, εξαρτάται από τη μάζα του οχήματος και από το είδος των ελατηρίων.

Η κίνηση που εκτελεί ένας τροχός κατά τη διέλευσή του επάνω από κάποιο εμπόδιο, μεταδίδεται τόσο στο ελατήριο όσο και στο αμάξωμα. Καθώς ο τροχός ανασηκώνεται, το ελικοειδές ελατήριο συμπιέζεται. Η ενέργεια του ελατηρίου μεταδίδεται στο αμάξωμα το οποίο κινείται κατακόρυφα, επίσης προς τα επάνω. Το αμάξωμα με τη σειρά του, παρασύρει το ελατήριο κατά την κατακόρυφη κίνησή του, με αποτέλεσμα το ελατήριο να επιμηκύνεται. Η επιμήκυνση αυτή σταματάει την κίνηση του αμαξώματος προς τα επάνω. Στο ανώτατο αυτό σημείο, αλλάζει η φορά της κίνησης του αμαξώματος. Με το βάρος του το αμάξωμα αρχίζει να κινείται προς τα κάτω, περνά το αρχικό σημείο ηρεμίας του και συμπιέζει το ελατήριο το οποίο αντιδρά και αναπτύσσει μία δύναμη η οποία σταματάει την κίνηση του αμαξώματος προς τα κάτω. Στο σημείο αυτό (κατώτατο σημείο), αλλάζει και πάλι η φορά της κίνησης του αμαξώματος.

Η κίνηση αυτή, η οποία αποτελεί ταλάντωση, επαναλαμβάνεται στο χρόνο. Διαρκεί για τόσο χρόνο όσος απαιτείται ώστε να μετατραπεί η κινητική ενέργεια του ελατηρίου σε θερμότητα, εξαιτίας της τριβής του ελατηρίου με τον αέρα. Η ταλάντωση, δηλαδή, βαίνει μειούμενη και κατά συνέπεια μιλάμε για ταλάντωση με απόσβεση.

Τι προκαλεί το συντονισμό στην ταλάντωση

Κάθε αντικείμενο έχει μία φυσική συχνότητα η οποία εξαρτάται από τη μάζα του, την ακαμψία και την απόσβεση που παρουσιάζει. Αν κάποιος χτυπήσει ένα σήμαντρο, αυτό ηχεί στην φυσική του συχνότητα. Το χτύπημα του σήμαντρου είναι στην πραγματικότητα μία εξαναγκασμένη ταλάντωση, και από τη στιγμή που θα το χτυπήσουμε και μετά είναι μία ελεύθερη ταλάντωση. Η ελεύθερη ταλάντωση στη φυσική συχνότητα, ονομάζεται συντονισμός.

Υπάρχει μια απλή μέθοδος για να προσδιοριστεί η φυσική συχνότητα οποιουδήποτε αντικειμένου που ονομάζεται **bump test**. Με τη μέθοδο αυτή ένας

αισθητήρας δόνησης τοποθετείται στο σώμα του οποίου ψάχνουμε την φυσική συχνότητα. Χρησιμοποιώντας ένα σφυρί κρούσης χτυπάμε το αντικείμενο και μετρούμε το χρονικό σήμα με τον αισθητήρα και κάνουμε ανάλυση **FFT**. Η επικρατούσα συχνότητα που θα παρουσιαστεί στο φάσμα είναι η φυσική συχνότητα του αντικειμένου.

Συντονισμός στην κυματική καλείται το φαινόμενο της εξαναγκασμένης ταλάντωσης κατά το οποίο η συχνότητα του διεγέρτη ταυτίζεται με την ιδιοσυχνότητα του ταλαντωτή. Κάθε ταλαντωτής μπορεί να ταλαντώνεται σε μία ή περισσότερες συχνότητες. Όταν το σύστημα διεγείρεται στιγμιαία, τότε αρχίζει η ταλάντωση η οποία συμβαίνει με συχνότητα που ταυτίζεται με την ιδιοσυχνότητά του. Όταν η ταλάντωση είναι εξαναγκασμένη, η συχνότητα της είναι η συχνότητα του διεγέρτη. Επομένως, ο συντονισμός προκαλείται όταν η συχνότητα του διεγέρτη ταυτίζεται με την ιδιοσυχνότητα του ταλαντωτή έχουμε συντονισμό (**resonance**).

Κατά το συντονισμό, το σύστημα έχει το μέγιστο δυνατό πλάτος και τη μέγιστη δυνατή ενέργεια. Αν δεν υπάρχουν αποσβεστικές δυνάμεις, τότε το πλάτος της ταλάντωσης γίνεται θεωρητικά άπειρο. Έτσι, η ταλάντωση μπορεί να γίνει τόσο έντονη, ώστε να καταστραφεί ο ταλαντωτής. Αν η προσφορά ενέργειας είναι μεγαλύτερη, τότε υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του ταλαντωτή. Τα ποτήρια έχουν μία συγκεκριμένη ιδιοσυχνότητα η οποία μπορεί να ακουστεί αν τα χτυπήσουμε απλά μία φορά. Αν εκπέμψουμε ήχο σε αυτή τη συχνότητα, τότε το ποτήρι θα ταλαντεύεται με μέγιστο πλάτος μέχρι που το πλάτος θα γίνει πολύ μεγάλο για τις αντοχές του γυαλιού και το ποτήρι θα σπάσει. Σύμφωνα με το φαινόμενο του συντονισμού δημιουργείται μη αμελητέο πλάτος από σχετικά μικρή, αλλά διαρκή προσφορά ενέργειας.

Ο συντονισμός είναι εύκολος στο να κατανοηθεί, εφ' όσον μελετηθούν το ελατήριο και η μάζα ως στοιχεία αποθήκευσης της ενέργειας, με τη μάζα να αποθηκεύει **κινητική** ενέργεια και το ελατήριο **δυναμική** ενέργεια. Όπως προαναφέρθηκε προηγουμένως, όταν δεν υφίσταται εξωτερική εφαρμογή δύναμης που να επενεργεί στο ελατήριο και στη μάζα τότε αυτά μεταφέρουν ενέργεια εναλλάξ με συχνότητα που είναι ίση με τη φυσική συχνότητα αυτών. Με άλλα λόγια, εάν η ενέργεια που πρόκειται να διοχετευθεί τόσο στο ελατήριο όσο και στη μάζα τότε αυτή θα πρέπει να βρίσκεται στα επίπεδα της φυσικής συχνότητας αυτών. Από την άλλη μεριά τώρα, ο αποσβεστήρας αντί να αποθηκεύει ενέργεια, τη διαχέει.

Ωστόσο, σε κάποιο σημείο η διαχεόμενη ενέργεια θα τείνει να είναι ίση με την ενέργεια που προσδίδεται από την εφαρμοζόμενη δύναμη. Σε αυτό το σημείο, το σύστημα έχει φτάσει το μέγιστο εύρος του και θα εξακολουθήσει να δονείται στο επίπεδο αυτό για όσο διάστημα η εφαρμοζόμενη δύναμη παραμένει ίδια. Εάν δεν υπάρχει απόσβεση, δεν υπάρχει τίποτα που να διαχέει την ενέργεια και ως εκ τούτου, ο συγκεκριμένος τύπος ανάρτησης πληρεί μια σειρά σημαντικών πλεονεκτημάτων έναντι των άλλων τύπων ανεξάρτητων αναρτήσεων.

➤ Τα βασικά **πλεονεκτήματα** αυτού του τύπου ανάρτησης είναι:

- Έχει μικρό βάρος και απαιτεί σχετικά περιορισμένο χώρο.
- Επιτρέπει την μεταβολή της γωνίας camber σε συνάρτηση με την κατακόρυφη θέση του τροχού z σε μεγάλο εύρος για μικρή μεταβολή του μετατροχίου b .
- Η κατάλληλη τοποθέτηση των ψαλιδιών στο χώρο επιτρέπει τον καθορισμό των στιγμιαίων κέντρων κλυδωνισμού R_0 και πρόνευσης O_0 σε οποιοδήποτε ύψος από το έδαφος.
- Συνεργάζεται με όλους τους τύπους μηχανισμών συστημάτων διεύθυνσης.
- Επιτρέπει την ελαχιστοποίηση του φαινομένου του **bump steering**.
- Με κατάλληλη χρήση ζύγοθρων η σταθερά ελατηρίου του τροχού i_c μπορεί να γίνει προοδευτικά αύξουσα.

Αναρτήσεις με διπλά ψαλίδια χρησιμοποιούνται σε όλα τα μονοθέσια αγωνιστικά οχήματα τύπου Formula καθώς επιτρέπουν τη στήριξη των τροχών σε απόσταση από το αμάξωμα βελτιώνοντας την οδική και αεροδυναμική τους συμπεριφορά. Επίσης, επιτρέπουν την γρήγορη ρύθμιση παρέχοντας εύκολη πρόσβαση.

➤ Τα κυριότερα **μειονεκτήματα** αυτού του τύπου ανάρτησης είναι:

- Η κατασκευαστική πολυπλοκότητα και ο σχετικά αυξημένος αριθμός τεμαχίων.
- Πιθανή μεταβολή κάποιας από τις παραμέτρους της ανάρτησης προκαλεί συνήθως μεταβολή και σε άλλη ή άλλες παραμέτρους της.
- Αυξημένες τιμές της γωνίας kingpin επιβάλλουν τη χρήση ζαντών με μεγάλο offset καθώς δεν είναι εύκολη η χωροταξική σχεδίαση του φορέα του τροχού με τρόπο ικανό να στηρίζει τα ψαλίδια και το σύστημα πέδησης στο εσωτερικό της ζάντας.
- Η έντονη κλίση του άξονα περιστροφής του τροχού περιορίζει τον αναγκαίο χώρο για τοποθέτηση αλυσίδων.

- Απαιτείται κατάλληλη σχεδίαση του αμαξώματος του οχήματος ώστε να παραλαμβάνει τις φορτίσεις όλων των εδράσεων των μελών του μηχανισμού της ανάρτησης.

Το πρώτο όχημα που παρουσίασε την ανάρτηση του συγκεκριμένου τύπου ήταν το Packard One-Twenty της εταιρίας Packard Motor Car Company το 1935. Σήμερα η ανάρτηση με διπλά ψαλίδια χρησιμοποιείται ευρέως στον πίσω άξονα των περισσότερων επιβατικών οχημάτων λόγω των πολύ καλών ιδιοτήτων της.

Παραδείγματα μοντέλων που φέρουν τη συγκεκριμένη ανάρτηση είναι το Honda Accord, το Mazda 6, το Peugeot 407 και σχεδόν όλα τα μοντέλα της Mercedes-Benz.

Τέλος, η ανάρτηση με διπλά ψαλίδια αποτελεί την συνηθέστερη επιλογή για αγωνιστικά οχήματα υψηλών επιδόσεων.

4.3 Τύποι αποσβεστήρων ταλαντώσεων (αμορτισέρ)

4.3.1 Ρυθμιζόμενοι Αποσβεστήρες Ταλαντώσεων

Τα περισσότερα τέτοια συστήματα λειτουργούν μέσω μίας ή δύο ηλεκτρομαγνητικά ελεγχόμενων διόδων του υδραυλικού υγρού, οι οποίες παίζουν το ρόλο του **bypass** μίας κεντρικής μόνιμα ανοιχτής διόδου. Στις διόδους αυτές υπάρχουν βαλβίδες που λειτουργούν σε θέσεις **on-off**, δηλαδή κρατούν τις διόδους εντελώς ανοιχτές ή εντελώς κλειστές. Με τον τρόπο αυτό ελέγχεται το συνολικό εμβαδόν των ανοιγμάτων διέλευσης του υγρού και επιτρέπονται δύο ή τρεις διαφορετικές ρυθμίσεις των χαρακτηριστικών απόσβεσης του αμορτισέρ.

Έχουμε την επιλογή να το ρυθμίσουμε σε όποια κατάσταση λειτουργίας επιθυμούμε ανάλογα με τις απαιτήσεις μας. Για παράδειγμα, στην τρίτη σκάλα και οι δύο βαλβίδες των διόδων είναι κλειστές. Αυτή είναι η επιλογή "**Sport**". Με τη μία βαλβίδα κλειστή και την άλλη ανοιχτή έχουμε την επιλογή "**Normal**" και όταν ανοίξουν και οι δύο βαλβίδες, το αμορτισέρ λειτουργεί πολύ μαλακά στη θέση "**Comfort**".



Εικόνα 4.3.1.1: Μοντέλο ρυθμιζόμενων αμορτισέρ για επιλογή είτε σκληρής είτε μαλακής ανάρτησης, ανάλογα με τις απαιτήσεις του οδηγού και τις ανάγκες του οδοστρώματος.

Πηγή:<https://www.skroutz.gr/c/1037/amortiser.html?keyphrase=%CE%B1%CE%BC%CE%BF%CF%81%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%B5%CF%81+%CF%81%CF%85%CE%B8%CE%BC%CE%B9%CE%B6%CE%BF%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%B1>.

Τα ρυθμιζόμενα αμορτισέρ απευθύνονται κατά βάση σε πιο απαιτητικών προδιαγραφών αυτοκίνητα και οδηγούς που θέλουν να συνδυάζουν το καλύτερο κράτημα σε γρήγορες διαδρομές και τη μέγιστη άνεση σε πιο χαλαρούς ρυθμούς. Οι βασικές επιλογές που υπάρχουν σε αυτή την περίπτωση, είναι τα αμορτισέρ που ρυθμίζονται πριν τοποθετηθούν και κοστίζουν φθηνότερα, τα πιο διαδεδομένα που ρυθμίζονται εξωτερικά συνήθως από το πάνω μέρος του αμορτισέρ και, τα ακριβότερα, τα οποία ρυθμίζονται ηλεκτρονικά μέσω διακόπτη από το εσωτερικό του αυτοκινήτου.



Εικόνα 4.3.1.2: Μοντέλο ρυθμιζόμενων αμορτισέρ.

Πηγή:<https://www.skroutz.gr/c/1037/amortiser.html?keyphrase=%CE%B1%CE%BC%CE%BF%CF%81%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%B5%CF%81+%CF%81%CF%85%CE%B8%CE%BC%CE%B9%CE%B6%CE%BF%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%B1>

BF%CF%81%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%B5%CF%81+%CF%81%CF%85%CE%B8
%CE%BC%CE%B9%CE%B6%CE%BF%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%B1.



Εικόνα 4.3.1.3: Ρύθμιση ύψους της ανάρτησης. Οι ρυθμιζόμενες αναρτήσεις ST XTA απευθύνονται σε εκείνους που απαιτούν απόλυτη απόδοση. Η οδηγική συμπεριφορά του αυτοκινήτου ρυθμίζεται απόλυτα χρησιμοποιώντας την τεχνολογία απόσβεσης του KW σε συνδιασμό με αλουμινένια top-mounts που επιτρέπουν την ρύθμιση κλίσης camber και caster.

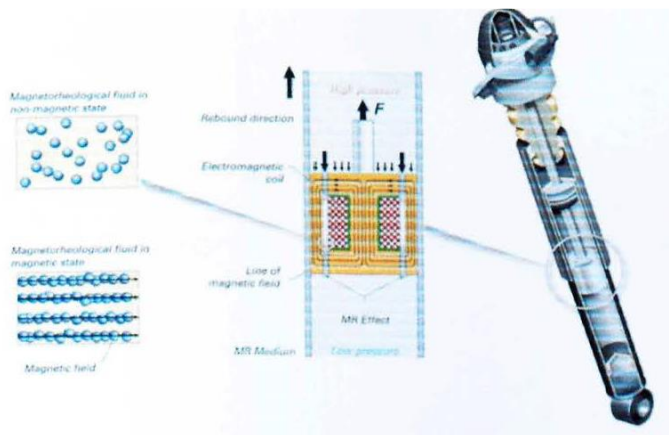
Πηγή:<https://www.skroutz.gr/c/1037/amortiser.html?keyphrase=%CE%B1%CE%BC%CE%BF%CF%81%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%B5%CF%81+%CF%81%CF%85%CE%B8%CE%BC%CE%B9%CE%B6%CE%BF%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%B1>

4.3.2 Μαγνητοροϊκοί Αποσβεστήρες Ταλαντώσεων

Η κατηγορία αυτών των αμορτισέρ έχει αμερικανική προέλευση . Η μαγνητοροικη αρχή λειτουργίας του συστήματος βασίζεται στην ιδιότητα ενός ειδικού υγρού, να μεταβάλλει την ρευστότητα του ανάλογα με την ένταση του μαγνητικού πεδίου μέσα στο οποίο βρίσκεται. Το υγρό αυτό μπορεί να γίνει από τόσο λεπτόρρευστο, όσο ένα λιπαντικό *SAE 10*, έως τόσο παχύρρευστο όσο μία βαλβολίνη *SAE 80* και η αλλαγή αυτή μπορεί να γίνει σχεδόν ακαριαία, χωρίς τη συμμετοχή κινούμενων μερών.

Το μαγνητοροϊκό αμορτισέρ είναι ένας απλός μηχανισμός χωρίς βαλβίδες, οπές, ελατήρια και κλαπέτα. Το μόνο που χρειάζεται είναι κάποιος αυλός που να περνάει κοντά από έναν ηλεκτρομαγνήτη. Η αυξομείωση της έντασης του πεδίου κάνει όλη την υπόλοιπη δουλειά.

Σε ορισμένα οχήματα δίνεται η δυνατότητα ο οδηγός να μπορεί να χειριστεί τις αντιδράσεις του αποσβεστήρα ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες, δηλαδή αν θέλει μια " μαλακή" ' ανάρτηση



Εικόνα 4.3.2.1: Μαγνητοροϊκά αμορτισέρ – Αρχή λειτουργίας τους.

Πηγή: Σημειώσεις από το μάθημα "Δυναμικό Μοντέλο Ανάρτησης Ελαστικού", Τμήμα Μηχανολογίας - ΤΕΙ Πειραιά, Ιανουάριος 2012.

4.4 Υπερβολικό χαμήλωμα του αυτοκινήτου

Το "χαμήλωμα" ενός οχήματος επιτυγχάνεται μέσω βελτιωτικών ελατηρίων. Οποιαδήποτε βύθιση του οχήματος πάνω από 1,5 cm θεωρείται υπερβολική, γιατί αλλοιώνει τη γεωμετρία και μειώνει την ωφέλιμη διαδρομή της ανάρτησης.

Πληροφορικά, η αλλαγή ύψους μετριέται πρακτικά και εύκολα στην απόσταση πάνω χείλους φτερού / κάτω χείλους ζάντας, πριν και μετά τη μετατροπή.

Όπως είναι γνωστό, δεν είναι συμβατά όλα τα αμορτισέρ για όλα τα οχήματα. Η σωστή επιλογή ενός σετ αμορτισέρ πρέπει να είναι κατάλληλη για το αυτοκίνητό μας, έτσι ώστε να προσφέρεται το καλύτερο δυνατό "κράτημα" αλλά και η απαραίτητη άνεση στους γεμάτο ανωμαλίες δρόμους. Για παράδειγμα, σε ένα μικρό αυτοκίνητο πόλης χαμηλής ισχύος, είναι άωφελο να τοποθετηθεί σκληρή ανάρτηση, γιατί τότε καταπονείται και το αμάξωμα και οι επιβαίνοντες, ενώ και στην αντίθετη περίπτωση, ένα αυτοκίνητο με δυνατό κινητήρα είναι επικίνδυνο να εφοδιαστεί με μαλακά αμορτισέρ, διότι χειροτερεύει σημαντικά η οδική του συμπεριφορά. Πολλές φορές μάλιστα, η επιλογή των κατάλληλων αμορτισέρ συνδέεται και με την χώρα προέλευσης του αυτοκινήτου.

Επίσης, όταν σε ένα αυτοκίνητο τοποθετούνται πιο χαμηλά ελατήρια, τότε πρέπει να αντικαθίστανται και τα αμορτισέρ τα οποία θα συμβαδίζουν με τον τύπο των

ελατηρίων. Παράλληλα πρέπει να γίνεται και ο κατάλληλος συνδυασμός ελαστικών, αφού για παράδειγμα ένα σετ μαλακών αμορτισέρ δεν ταιριάζει με χαμηλού προφίλ ελαστικά, αλλά και το αντίστροφο.



Εικόνα 4.4.1: Τα σπορ ελατήρια έχουν μια από τις μεγαλύτερες λίστες εφαρμογών με περισσότερα από 1000 αυτοκίνητα. Είναι ένα από τα λίγα ελατήρια χαμηλώματος στην αγορά που (σε συνδυασμό με την εργοστασιακή ανάρτηση,) βελτιώνει σημαντικά την οδήγική συμπεριφορά του οχήματος, καθώς και την εμφάνισή του.

Πηγή:<https://www.skroutz.gr/c/1037/amortiser.html?keyphrase=%CE%B1%CE%BC%CE%BF%CF%81%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%B5%CF%81+%CF%81%CF%85%CE%B8%CE%BC%CE%B9%CE%B6%CE%BF%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%B1>

Κατασκευασμένα από ατσάλι χρωμίου πυριτίου και διαδικασία ψυχρής περιέλιξης, τα **σπορ ελατήρια ST** έχουν πολλαπλές επικάλυψεις με τελική εποξική επιστρωση που διασφαλίζουν την ποιότητα και το φινίρισμα ώστε να αντέχουν σε όλες τις καιρικές συνθήκες. Ανάλογα με το αυτοκίνητο το χαμήλωμα είναι συνήθως 20χιλιοστά στον εμπρός άξονα και 15 χιλιοστά στον πίσω. Ορισμένα αυτοκίνητα μπορεί να χαμηλώσουν περισσότερο, όπως για παράδειγμα το VW Golf Mk1 που μπορεί να χαμηλώσει 60χιλιοστά και στους δύο άξονες.

Σε σύγκριση με την εργοστασιακά ελατήρια τα σπορ ελατήρια ST χαμηλώνουν το κέντρο βάρους του αυτοκινήτου βελτιώνοντας την οδήγική συμπεριφορά και το κράτημα στο δρόμο.Επίσης μειώνεται η ταχύτητα βύθισης και επαναφοράς οπότε το αυτοκίνητο εμφανίζει λιγότερη κλίση κατά την οδήγηση.

• Το ιδανικό ελατήριο για κάθε αυτοκίνητο

Τα σπορ ελατήρια είναι σχεδιασμένα για να λειτουργούν αρμονικά με τα εργοστασιακά αμορτισέρ για καλύτερη οδήγική συμπεριφορά και ασφάλεια. Ανάλογα με το αυτοκίνητο και το χαμήλωμα (για παράδειγμα, 20 χιλιοστά, 30 χιλιοστά και 40 χιλιοστά) οι δυνάμεις των σπορ ελατηρίων είναι ειδικά μελετημένες

ώστε να συνεργάζονται με τα αμορτισέρ του κατασκευαστή καθώς το βάρος και το χαμήλωμα του αυτοκινήτου έχουν άμεση σχέση με την οδήγηση και την ασφάλεια. Με απλά λόγια όσο περισσότερο χαμήλωμα, τόσο πιο δυνατό ελατήριο.

- **Γενικά χαρακτηριστικά**

Οι ρυθμιζόμενες αναρτήσεις ST προσφέρουν μέγιστη ποιότητα και απεριόριστη οδηγική απόλαυση. Οι αναρτήσεις έχουν συνεχόμενο σπείρωμα ώστε η ρύθμιση του ύψους να ικανοποιεί και τον πιο απαιτητικό οδηγό. Μετά την τοποθέτηση το ύψος ρυθμίζεται χρησιμοποιώντας τον ρυθμιστή υψους (πολυαμιδικός δακτύλιος) που υπάρχει στο γόνατο της ανάρτησης.

Η ρύθμιση διαφέρει ανάλογα με το αυτοκίνητο και συνήθως είναι από 35 έως 65 χιλιοστά και για τους δύο άξονες. Για χαμηλωμένα αυτοκίνητα (πχ. BMW 9x σειρά 3), οι ρυθμιζόμενες αναρτήσεις ST έχουν εύρος χαμηλώματος από 30 έως 60 χιλιοστά (εμπρός άξονας) και 25 έως 55 χιλιοστά (πίσω άξονας).

Η ρύθμιση του ύψους γίνεται στον εμπρός άξονα μέσω του ειδικού τραπεζοειδούς σπειρώματος που υπάρχει στο ανοξείδωτο γόνατο της ανάρτησης **KW ddc plug & play** και στον πίσω άξονα μέσω του ρυθμιστικού του ύψους.

- **Βελτιωμένη οδηγική συμπεριφορά και κράτημα**

Οι ρυθμιζόμενες αναρτήσεις προσδίδουν σπορ συμπεριφορά μειώνοντας τις κλίσεις του αμαξώματος κατά την συμπίεση και αυξάνοντας την ευκινησία κατά την γρήγορη οδήγηση. Η υψηλή ποιότητας κατασκευής τους περιλαμβάνει περίβλημα μειωμένης τριβής και μεγάλης αντοχής στις πιέσεις σε συνδιασμό με επιχρωμιωμένο έμβολο για περισσότερη μακροζωία. Ο μονομπλόκ οδηγός και το ST σύστημα στεγάνωσης διασφαλίζουν ότι τα διπλού σωλήνα αμορτισέρ θα παραμείνουν χωρίς σκόνη σε όλες τις καιρικές συνθήκες.

- **Χαμήλωμα με τις ρυθμιζόμενες αναρτήσεις**

-Χαμήλωμα μέσα στο επιτρεπόμενο εύρος

-Σπείρωμα χαμηλώματος στα εμπρός και πίσω γόνατα της ανάρτησης (ανάλογα με την εφαρμογή)

-Γόνατα από γαλβανισμένο ατσάλι με ειδική επίστρωση για προστασία από την διάβρωση

-Ολοκληρωμένες λύσεις με ρυθμιζόμενα πιατέλα ελατηρίων, αγωνιστικά ελατήρια και τερματικά με προστασία σκόνης

-Αμορτισέρ τεχνολογίας διπλού σωλήνα με υψηλής ποιότητας εξαρτήματα για περισσότερη μακροζωία

Οι ρυθμιζόμενες αναρτήσεις διαθέτουν την τεχνολογία απόσβεσης του που επιτρέπει στην ανάρτηση να γίνει πιο σκληρή ή πιο μαλακή ανάλογα με τις συνθήκες οδήγησης. Η ρύθμιση της απόσβεσης γίνεται στο επάνω άκρο του επιχρωμιωμένου εμβόλου και επιτρέπει στη ρύθμιση να μπορεί να γίνει σχεδόν αμέσως. Όταν η απόσβεση αυξάνεται το αυτοκίνητο αποκτά μεγαλύτερη σταθερότητα και μειώνονται οι κλίσεις του αμαξώματος. Όταν η απόσβεση μειώνεται το αυτοκίνητο αποκτά μεγαλύτερη άνεση όταν βρίσκεστε εν κινήσει. Μετά την τοποθέτηση των ρυθμιζόμενων αναρτήσεων το αυτοκίνητο θα έχει καλύτερη και πιο спор συμπεριφορά κατά την οδήγηση.

• Εύκολη ρύθμιση του ύψους της ανάρτησης

Όπως σε όλες τις ρυθμιζόμενες αναρτήσεις, η ρύθμιση του ύψους γίνεται μέσω του συνεχούς σπειρώματος πάνω στο γαλβανισμένο γόνατο. Αυτό δίνει τη δυνατότητα η ρύθμιση του ύψους να γίνει ακόμη και όταν είναι εγκατεστημένο το **KIT** περιστρέφοντας το πιατέλο του ελατηρίου ψηλότερα ή χαμηλότερα. Το χαμήλωμα του κάθε οχήματος διαφέρει σε μεγάλο βαθμό με τις ρυθμιζόμενες αναρτήσεις λόγω του τύπου κατασκευής. Για παράδειγμα, στα παλαιά οχήματα όπως το Honda Civic (EJ9) μπορεί το εύρος χαμηλώματος να είναι μεταξύ 40 και 75 χιλιοστών, ενώ σε νεότερα μοντέλα όπως το Audi S3 (8P) μπορεί να είναι μεταξύ 10 και 40 χιλιοστών λόγω του ότι το αυτοκίνητο είναι πολύ χαμηλότερο από το εργοστάσιο.

- **Τεχνολογία αποκλειστικά για τις ρυθμιζόμενες αναρτήσεις ST**

Η υψηλής ποιότητας ρυθμιζόμενες αναρτήσεις βασίζονται στην τεχνολογία αμορτισέρ διπλού σωλήνα μειωμένης τριβής σε συνδυασμό με τα ανθεκτικά γαλβανισμένα γόνατα. Κατασκευασμένες με μονομπλόκ οδηγό και το σύστημα στεγάνωσης για μέγιστη προστασία από την διάβρωση και τη σκόνη. Το κάθε γαλβανισμένο γόνατο σφραγίζεται πολλές φορές για να εξασφαλιστεί η μέγιστη διάρκεια ζωής σε όλες τις καιρικές συνθήκες.

4.5 Ευθυγράμμιση – Ορισμός

Μιλώντας για ευθυγράμμιση αυτοκινήτου εννοούμε τον έλεγχο αλλά και τη ρύθμιση στο σύστημα διεύθυνσης του οχήματος. Με αυτή τη διαδικασία εξασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρχει καμία απόκλιση στην πορεία του αυτοκινήτου.

Γιατί είναι απαραίτητη η ευθυγράμμιση

Η ευθυγράμμιση του οχήματος πρέπει να γίνεται για να εξασφαλιστεί ότι και τα τέσσερα ελαστικά βρίσκονται σε σωστή θέση σχετικά με τον δρόμο, έχουν δηλαδή ευθεία επαφή. Από τη στιγμή που το όχημα είναι ευθυγραμμισμένο, σημαίνει ότι η οδήγηση πραγματοποιείται με ασφάλεια, χωρίς απότομα φρένα, με καλύτερες επιδόσεις από πριν. Επιπλέον τα ελαστικά του οχήματος διατηρούνται σε άριστη κατάσταση, χωρίς να φθείρονται. Τέλος η ευθυγράμμιση συμβάλλει και στην εξοικονόμηση του καυσίμου.

Πώς απορρυθμίζεται η ευθυγράμμιση

Δύο είναι οι βασικότεροι λόγοι για τους οποίους ένα όχημα μπορεί να χάσει τη σωστή ευθυγράμμισή του:

- Πτώση σε απότομη λακκούβα κατά την πορεία
- Νευρικό και απότομο παρκάρισμα, χτυπώντας τα ελαστικά

Κάθε πότε πρέπει να γίνεται ευθυγράμμιση στο αυτοκίνητο;

Η συχνότητα ελέγχου της ευθυγράμμισης είναι διαφορετική για κάθε αυτοκίνητο και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση του οχήματος. Οπότε, προγραμματισμένη ρύθμιση δεν υπάρχει. Προληπτικά κάθε οδηγός πρέπει να ελέγχει το όχημά του σε συνεργείο αυτοκινήτου μία φορά ετησίως κάθε 10.000 km περίπου, στην περίπτωση που προσκρούσει βίαια σε κάποιο εμπόδιο ή αν πρόκειται να κάνετε ένα μακρινό οδικό ταξίδι.

Τρόπος ελέγχου / ρύθμιση της ευθυγράμμισης

Για να ελεγχθεί αν είναι απαραίτητο να γίνει ευθυγράμμιση, το αυτοκίνητο χρειάζεται να περάσει από συγκλισιόμετρο. Στην συνέχεια παρατηρείται αν το όχημα αποκλίνει από την ευθεία για να εξακριβωθεί αν πρέπει να ευθυγραμμιστεί.

Το όχημα μπαίνει σε ράμπα και διέρχεται από ακτίνες λέιζερ. Με αυτόν τον τρόπο εξακριβώνεται το μέγεθος σύγκλισης και απόκλισης του οχήματος. Αν οι ενδείξεις είναι αρνητικές, τότε οι ειδικοί προχωρούν σε όλες τις απαραίτητες ενέργειες για την ρύθμιση της ευθυγράμμισης.

Ο έλεγχος και η ρύθμιση της ευθυγράμμισης, συνήθως διαρκεί το πολύ μία ώρα. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από τις ανάγκες και το μέγεθος του αυτοκινήτου.



Εικόνα 4.5.1: Έλεγχος οχήματος πάνω στην πλάκα σύγκλισης-απόκλισης των τροχών του κινητήριου άξονα.

Πηγή: Φωτογραφικό υλικό από επίσκεψη σε Ι.Κ.Τ.Ε.Ο.

4.6 Η ζυγοστάθμιση και ο ρόλος της

Με τον όρο ζυγοστάθμιση εννοούμε την ισομερή κατανομή του βάρους σε κάθε τροχό ξεχωριστά, με τη διασφάλιση ότι σε κάθε περιστροφή δεν θα δημιουργούνται κραδασμοί. Επιβάλλεται να γίνεται, μετά από κάθε αλλαγή ή επισκευή ελαστικού.

Αν τα ελαστικά δεν είναι ζυγοσταθμισμένα, προκαλούν κραδασμούς κατά την κίνηση του αυτοκινήτου σε συγκεκριμένη ταχύτητα. Αυτό συντελεί στην γρήγορη φθορά τόσο των ελαστικών όσο και του συστήματος ανάρτησης του αυτοκινήτου. Η εμφάνιση κραδασμών είναι η κυριότερη αφορμή για να προχωρήσετε στην ζυγοστάθμιση του οχήματός σας.

Οι τροχοί παρουσιάζουν δύο τύπους ανισοροπίας, τη στατική και τη δυναμική. Στατική ανισοροπία δημιουργείται όταν η κύλιση του τροχού δεν είναι ομαλή, παρουσιάζοντας μία κίνηση πάνω-κάτω. **Δυναμική** δημιουργείται όταν το βάρος είναι άνισο και από τις δύο πλευρές, παρουσιάζοντας ένα τρέμουλο του τροχού.

Η ζυγοστάθμιση των ελαστικών (στατική ή δυναμική) καθιστά ομοιόμορφη την περιστροφή των τροχών και των ελαστικών και γίνεται με την τοποθέτηση αντίβαρων, τόσο στην εξωτερική όσο και στην εσωτερική πλευρά της ζάντας. Προκειμένου να διαγνωσθεί το πρόβλημα, το αυτοκίνητό περνάει από ανάλυση σε μηχανήμα ελέγχου της ζυγοστάθμισης ανάμεσα στον άξονα περιστροφής και στη μάζα του ελαστικού.

Προβλήματα που προκαλεί η κακή ή ελλιπής ζυγοστάθμιση των ελαστικών

Αν τα ελαστικά δεν είναι τέλεια ζυγοσταθμισμένα, προκαλούν κραδασμούς στο τιμόνι – έως πολύ ισχυρούς – ιδιαίτερα σε ταχύτητες από 100 χλμ./ώρα και άνω και μεγαλύτερη φθορά του ελαστικού με το πέρασμα του χρόνου. Σε αυτές τις περιπτώσεις, συνιστάται αφενός ευθυγράμμιση, η οποία επιδρά στο ελαστικό και στο σύστημα φρένων, αφετέρου ζυγοστάθμιση.

Επιπλέον, υπάρχουν και άλλα προειδοποιητικά σημάδια για την παρουσία αζυγοστάθμιστου ελαστικού όπως:

- α)** όταν ο οδηγός αντιληφθεί ότι το αυτοκίνητό του έχει χτυπήσει κάτι,
- β)** όταν παρουσιάζεται φθορά του ελαστικού (ειδικά όταν η φθορά στο πέλμα δεν είναι κανονική),
- γ)** αν εντοπίσει προβλήματα στην πίσω πλευρά των τροχών όταν είναι στριμμένοι,
- δ)** όταν σε μία στροφή η επαναφορά του τιμονιού δεν είναι εύκολη,
- ε)** όταν το τιμόνι τρέμει έστω και ελαφρά στην ευθεία,
- στ)** στην αγορά ενός νέου σετ ελαστικών ή
- ζ)** όταν αντικαταστήσει κανείς ανάρτηση ή στοιχεία του συστήματος διεύθυνσης.

Σε τι οφείλεται η έλλειψη ζυγοστάθμισης

Οι αζυγοστάθμητοι τροχοί μπορεί να προέρχονται από κακές κατασκευές στους δρόμους αλλά και από τις υψηλές ταχύτητες ή τον συνδυασμό αυτών των δύο.

Βασικότερες αιτίες πιο αναλυτικά

- Αν σταματήσει το όχημα για μεγάλο χρονικό διάστημα, τότε προσωρινά συμβαίνει ανομοιομορφία, η οποία εξισορροπείται μετά από συγκεκριμένη χιλιομετρική απόσταση
- Αν παραμείνει ακινητοποιημένο ένα όχημα για πολλές μέρες, τότε μεταβάλλεται η θερμοκρασία του και αυτό προξενεί ανομοιομορφία στα ελαστικά του
- Ελαστικό και ζάντα πάνε πακέτο, συνεπώς αν στραβώσει η ζάντα, το ίδιο συμβαίνει και στο ελαστικό
- Κακό κεντράρισμα στα κωνικά μπουλόνια
- Τοπική φθορά στο πέλμα λόγω απότομου φρεναρίσματος
- Αζυγοστάθμητος κεντρικός άξονας

Τρόποι αντιμετώπισης

Η ελλιπής ζυγοστάθμιση, εφόσον υφίσταται, διορθώνεται με:

1. την τοποθέτηση αυτοκόλλητων αντίβαρων, τα οποία καθιστούν και πάλι τον άξονα περιστροφής απόλυτα ευθυγραμμισμένο με το δρόμο.
2. με λεπτομερή έλεγχο της γεωμετρικής ζυγοστάθμισης των τροχών χρησιμοποιώντας ειδικό λογισμικό και διαγνωστικό εξοπλισμό.

Εφόσον κριθεί αναγκαίο, ρυθμίζονται οι σύνδεσμοι της εμπρόσθιας και της πίσω ανάρτησης αντίστοιχα, για την αποφυγή ασυνήθιστης φθοράς.

3. την τοποθέτηση μηχανής ζυγοστάθμισης. Εκεί, ο τροχός περιστρέφεται για να εντοπιστούν καλύτερα τα σημεία της διάταξης. Υπό την καθοδήγηση της μηχανής, ο τεχνικός καταλαβαίνει σε ποιο σημείο πρέπει να μπει αντίβαρο ώστε να αντισταθμιστεί η ανισορροπία του βάρους.

- Λόγοι για τους οποίους είναι απαραίτητη η ζυγοστάθμιση των τροχών

Αν και οι προδιαγραφές αλλάζουν από το ένα μοντέλο αυτοκινήτου στο άλλο, η ζυγοστάθμιση πρέπει να γίνεται κάθε 15.000 χλμ. Γενικότερα, συστήνεται να γίνεται

ζυγοστάθμιση σε κάθε αλλαγή σεζόν και να αντικαθίσταται σετ ελαστικών από χειμερινά σε καλοκαιρινά και αντίστροφα. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνονται τα εξής:

- εμποδίζεται η γρήγορη φθορά των ελαστικών
- αυξάνεται η χιλιομετρική απόδοση
- το κοσκίνισμα-τρέμουλο του τιμονιού δεν συμβαίνει ακόμα και στις υψηλές ταχύτητες
- αυξάνεται η πρόσφυση στις υψηλές ταχύτητες με αποτέλεσμα ασφάλεια και άνεση

• Συμπεράσματα:

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό από όλα όσα προαναφέρθηκαν παραπάνω, αν αμεληθεί η ζυγοστάθμιση των ελαστικών, η διάρκεια ζωής τους περιορίζεται σημαντικά. Επιπλέον, η οδήγηση με ζυγοσταθμισμένα ελαστικά αυξάνει πραγματικά την ασφάλεια και βελτιώνει την άνεση τόσο του οδηγού όσο και των επιβατών.

Τέλος, η τέλεια ζυγοστάθμιση και των τεσσάρων ελαστικών βελτιώνει τις επιδόσεις και περιορίζει την κατανάλωση καυσίμου.



Εικόνα 4.6.1: Ζυγοστάθμιση ελαστικού τοποθετημένο σε μηχανή ζυγοστάθμισης με την ταυτόχρονη τοποθέτηση αντίβαρων στα κατάλληλα σημεία, ώστε να επέλθει η πλήρης ζυγοστάθμισή του.

Πηγή: Περιοδικό "4 ΤΡΟΧΟΙ", τεύχος Απριλίου 2006 – Αφιέρωμα στα συστήματα αναρτήσεων.

• Διαφορά ανάμεσα στην ευθυγράμμιση και τη ζυγοστάθμιση

Η ευθυγράμμιση συγγέεται συχνά με τη ζυγοστάθμιση. Υπάρχουν μεγάλες διαφορές ανάμεσα στα δύο. Ευθυγράμμιση είναι η ρύθμιση της γεωμετρίας των

τροχών. Οι τροχοί πρέπει να έχουν κάθε στιγμή τις τιμές που καθορίζει ο κατασκευαστής του αυτοκινήτου.

Η ζυγοστάθμιση αφορά την προσθήκη αντίβαρων και στις δύο πλευρές της ζάντας ώστε τα ελαστικά να μη μεταφέρουν κραδασμούς στο αυτοκίνητο, ειδικά σε μεγάλες ταχύτητες.

5. Συστήματα αναρτήσεων σε βαρέα οχήματα και σε μοτοσυκλέτες

5.1 Αερόσουστες βαρέων οχημάτων

Σήμερα, η πλειονότητα των βαρέων οχημάτων που κυκλοφορούν στους δρόμους είναι εφοδιασμένα με συστήματα ανάρτησης που χρησιμοποιούν αέρα. Αυτές οι αναρτήσεις είτε εργάζονται πλήρως με πεπιεσμένο αέρα είτε αποτελούν ένα συνδυασμό παραβολικών φύλλων με αεροελατήρια.

Οι αναρτήσεις με αερόσουστες (αεροελατήρια) είναι αναρτήσεις στις οποίες τα ελατήρια έχουν αντικατασταθεί με αεροελατηρία. Τα αεροελατήρια χρησιμοποιούνται συνήθως στα βαρέα οχήματα όπως στα λεωφορεία και στα φορτηγά. Τα αεροελατήρια είναι ένας ελαστικός σάκος (αεροθάλαμος), που περιέχει πεπιεσμένο αέρα ή άζωτο και ο σχεδιασμός του στηρίζεται στην ελαστική συμπεριφορά που έχει ο πεπιεσμένος αέρας μέσα στον αεροθάλαμο. Στην εικόνα 5.1.1 φαίνεται μια ανάρτηση με αεροελατήριο (αερόσουστα):



Εικόνα 5.1.1: ΑΕΡΑΝΑΡΤΗΣΗ BILSTEIN ΕΜΠΙΡΟΣ VA5-A226/27.

Πηγή: <http://www.rellsamortiser.gr>



Εικόνα 5.1.2: ΑΕΡΟΣΟΥΣΤΑ BILSTEIN ΠΙΣΩ ΚΛF-7661/62

Πηγή: <http://www.rellasamortiser.gr>

Οι αερόσουστες προσφέρουν μια πιο ομαλή απόσβεση των κραδασμών, ενώ σε συνεργασία με μηχανικές αναρτήσεις μπορούν να ξεπεράσουν κάποια από τα μειονεκτήματά τους. Οι αναρτήσεις αέρος χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον στους οπίσθιους άξονες φορτηγών και σε τρέιλερ. Τα τελευταία χρόνια όμως και οι εμπρόσθιοι άξονες κατεύθυνσης είναι δυνατόν να εφοδιαστούν με αερόσουστες.

Αυτό συμβαίνει γιατί μπορούν να αποσβέσουν ικανοποιητικά τις ταλαντώσεις που αυτές αναπτύσσουν, σταθεροποιώντας τον άξονα κατεύθυνσης.

• **Μια πνευματική ανάρτηση περιλαμβάνει:**

- Μια δεξαμενή με πεπιεσμένο αέρα που τροφοδοτείται από έναν αεροσυμπιεστή.
- Έναν ηλεκτροπνευματικό διανομέα που επιτρέπει την ανύψωση του οχήματος ή την χαμήλωση της στάθμης αυτού.
- Τους αεροθαλάμους.
- Τους αποσβεστήρες και τις οριζόντιες και εγκάρσιες αντιστρεπτικές ράβδους.
- Τις βαλβίδες εξισορροπήσεων, οι οποίες ρυθμίζουν την πίεση του αέρα στο εσωτερικό των άμων.



Εικόνα 5.1.3: Αερόσουστα, σύστημα ανάρτησης 40-118673 BILSTEIN

Πηγή: <http://www.tractorglass.gr/language/el/products-2/amortiser-aeroelatiria/>



Εικόνα 5.1.4: Χαρακτηριστικός τύπος αερόσουστας.

Πηγή: <http://www.tractorglass.gr/language/el/products-2/amortiser-aeroelatiria/>

• Τρόπος λειτουργίας των αερόσουστων

Οι αερόσουστες χρησιμοποιούν θύλακες από ελαστικό τύπου φυσούνας ή κύλισης. Οι θύλακες είναι ενισχυμένοι με λινά. Η οδήγηση των τροχών αναλαμβάνεται από ψαλίδια, διαμήκεις βραχίονες. Όσο για την απόσβεση των ταλαντώσεων αυτή πραγματοποιείται με αμορτισέρ.



Εικόνα 5.1.5: Τα αεροελατήρια ως βασικός τύπος ανάρτησης που βρίσκει εφαρμογή στα φορτηγά, και στα βαρέα οχήματα γενικότερα.

Πηγή: <http://www.tractorglass.gr/language/el/products-2/amortiser-aeroelatiria/>

Η ρύθμιση του επιθυμητού ύψους του οχήματος πραγματοποιείται ηλεκτρονικά και ελέγχεται μέσω αισθητήρων οι οποίοι συνδέονται στο πλαίσιο του οχήματος. Εάν προκύψει διαφορά στο ύψος του οχήματος τότε δίνεται εντολή στις μαγνητικές βαλβίδες του μπροστινού και του πίσω άξονα και προστίθεται αέρας στους ελαστικούς θύλακες. Αυτό που χρησιμοποιείται συχνότερα είναι η ρύθμιση τριών σημείων όπου χρησιμοποιούνται τρεις αισθητήρες. Οι δύο αισθητήρες είναι αισθητήρες διαδρομής για τον άξονα διεύθυνσης και ένας για τον κινητήριο άξονα.

Ο αέρας που έχει πίεση 20 bar, μεταφέρεται μέσω σωληνώσεων τροφοδοσίας στους αεροθαλάμους. Το αεροελατήριο συμπεριφέρεται σαν ένα ελικοειδές ελατήριο με προοδευτική χαρακτηριστική καμπύλη προσφέροντας το πλεονέκτημα της ρύθμισης της διαδρομής ανάλογα με την αύξηση της πίεσης του αέρα. Παράλληλα, είναι απαραίτητη η χρήση αμορτισέρ διότι ο αέρας δημιουργεί από μόνος του την ελάχιστη απόσβεση των ταλαντώσεων.

Χρησιμοποιώντας τα ισχύοντα συστήματα μπορούμε να συνδυάσουμε την αερόσουστα με ημιελλειπτικά ελατήρια και αμορτισέρ, κάτι που προσδίδει μεγαλύτερη ευστάθεια στον εμπρόσθιο άξονα και κατά συνέπεια καλύτερο έλεγχο του οχήματος.

• **Οι αερόσουστες παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα έναντι των άλλων συστημάτων ανάρτησης:**

- Δεν έχουν ίδια απόσβεση.
- Δίνουν στο όχημα σταθερό ύψος ανεξαρτήτως φορτίου.
- Προσφέρουν μεγαλύτερη άνεση στο ταξίδι και μεγαλύτερη προστασία στα εμπορεύματα, λόγω μεγαλύτερης διαδρομής και χαμηλότερης ιδιοσυχνότητας.
- Δεν μεταφέρουν πλευρικές δυνάμεις.

• **Βασικοί τύποι αεροελατηρίων**

Οι αερόσουστες που χρησιμοποιούνται στις αναρτήσεις χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- α) στις αερόσουστες αναδίπλωσης σε πιστόνι και,
- β) στις αερόσουστες περιέλιξης

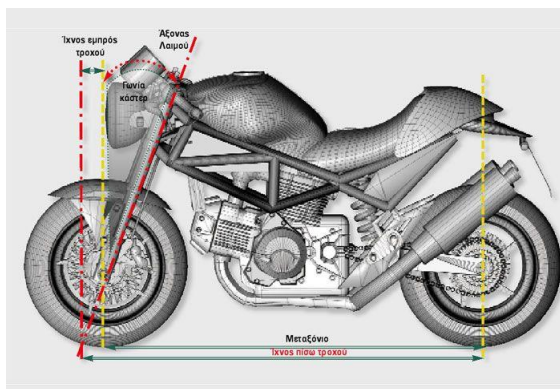
Τα ελατήρια περιέλιξης μπορούν να είναι μονής, διπλής ή και τριπλής περιέλιξης. Στις εικόνες που ακολουθούν παραθέτουμε τους δύο πιο κοινούς τύπους αεραναρτήσεων που κυκλοφορούν στην αγορά.

5.2 Συστήματα αναρτήσεων σε μοτοσυκλέτες

5.2.1 Εισαγωγή

Στις μοτοσυκλέτες υπάρχουν λίγο πολύ τα ίδια συστήματα αναρτήσεων που υπάρχουν και στα αυτοκίνητα με την σημαντικότερη διαφορά ότι εδώ έχουμε δύο τροχούς και όχι τέσσερις. Το πιο συνηθισμένο σύστημα ανάρτησης των μοτοσυκλετών είναι αυτό με τα διπλά ψαλίδια. Στον εμπρόσθιο τροχό έχει επικρατήσει να υπάρχει ένα διπλό τηλεσκοπικό ψαλίδι και ο τροχός είναι αξονικός και συνδεδεμένος με το πλαίσιο της μοτοσυκλέτας.

Οι спор μοτοσυκλέτες έχουν μικρότερη επιφάνεια στους τροχούς πράγμα που σημαίνει και λιγότερη ευστάθεια κατά την οδήγηση. Βέβαια αυτό συμβαίνει όταν η οδήγηση γίνεται σε μια ευθεία διότι κατά τις στροφές αυτού του είδους οι μοτοσυκλέτες έχουν καλύτερη ευστάθεια.



Εικόνα 5.2.1: Γεωμετρία ανάρτησης μοτοσυκλέτας.

Πηγή: Carol Smith (1978) “Tune to win”, Aero publishers, motorsports international, USA.

Ένα από τα μειονεκτήματα του τηλεσκοπικού ψαλιδιού είναι ότι κατά το φρενάρισμα αυτό τείνει να συμπιέζεται με αποτέλεσμα η μοτοσυκλέτα να πραγματοποιεί ένα άλμα προς τα εμπρός, πράγμα αρκετά επικίνδυνο.

Η τοποθέτηση των τηλεσκοπικών ψαλιδιών γίνεται υπό γωνία ως προς το πλαίσιο της μηχανής και κατά συνέπεια υπό γωνία προς την δύναμη πέδησης, με αποτέλεσμα η δύναμη της πέδησης να παραλαμβάνεται απευθείας από τα ψαλίδια.

5.2.2 Γεωμετρία ανάρτησης της μοτοσυκλέτας

Η διατομή των δοκών και η απόσταση μεταξύ τους χαρακτηρίζουν την αντοχή του πλαισίου σε κάμψη. Με τον ίδιο τρόπο, η σταθερότητα και σε αντιστοιχία η ευελιξία της μοτοσυκλέτας, ορίζονται από τρία μεγέθη που συνθέτουν τη λεγόμενη γεωμετρία της μοτοσυκλέτας. Αυτά είναι **το μεταξόνιο, το ίχνος και η γωνία κάστερ**.

Όταν σχεδιάζεται μία μοτοσυκλέτα, θα πρέπει να παρέχει σταθερότητα κατά την οδήγηση και ταυτόχρονα ευελιξία. Όμως, η μία ιδιότητα αντικρούει την άλλη και ως εκ τούτου, οι σχεδιαστές αναζητούν την καλύτερη φόρμουλα ανάλογα και με το χαρακτήρα που επιθυμούν να έχει η μοτοσυκλέτα. Έτσι, μια μοτοσυκλέτα που είναι γενικά σχεδιασμένη για σταθερότητα, λέμε ότι έχει "αργή" γεωμετρία (γιατί αργεί να αλλάξει κατεύθυνση), ενώ μια μοτοσυκλέτα πιο ευέλικτη λέμε ότι έχει "γρήγορη γεωμετρία (γιατί αλλάζει γρήγορα κατεύθυνση).

Ως γενικό κανόνα θα λέγαμε ότι υπάρχει μία συσχέτιση μεταξύ των τριών αυτών μεγεθών (αλλά και των διαμέτρων των τροχών): Οι μεγάλες τιμές δίνουν αργή γεωμετρία και το αντίθετο. Και τα τρία μεγέθη επιδρούν με παραπλήσιο τρόπο στη δυναμική της μοτοσυκλέτας. Όλα όμως εξαρτώνται από τις ροπές.

Η γωνία κάστερ είναι η γωνία που σχηματίζει ο άξονας περιστροφής του τιμονιού (λαιμός) με την κατακόρυφο. Η κάστερ από μόνη της δεν παίζει κάποιο σημαντικό ρόλο στη γεωμετρία της μοτοσυκλέτας και η βασική της συνεισφορά είναι η δημιουργία του ίχνους. Μεγάλη γωνία κάστερ δίνει μεγάλο ίχνος και το αντίστροφο.

Η εταιρία **Honda** λάνσαρε για πρώτη φορά το σύστημα αναρτήσεων που δεν βυθίζονται κατά το φρενάρισμα, το οποίο ονομάστηκε **TRAC (Torque Reactive Anti-Dive Control)**.

Το TRAC συνδεόταν στο υδραυλικό σύστημα φρένων της μοτοσυκλέτας, κατά το οποίο ένας κύλινδρος τοποθετούνταν στο εμπρός μέρος του ψαλιδιού και το υγρό φρένων διαχεόταν και στα τηλεσκοπικά ψαλίδια των αναρτήσεων.

Η κεντρική ιδέα ήταν πως όταν πατάμε το φρένο, η πίεση που ασκείται από το έμβολο στην βαλβίδα θα περιορίζε την βύθιση του ψαλιδιού και θα έκανε την ανάρτηση πιο σκληρή. Και σκληρότερη ανάρτηση σημαίνει λιγότερη βύθιση κατά το φρενάρισμα. Βέβαια, πολλοί οδηγοί παραπονιόντουσαν διότι όταν οδηγούσαν σε άσχημους ή επαρχιακούς δρόμους με αυτό το σύστημα, αυξάνονταν πάρα πολλοί οι κραδασμοί με αποτέλεσμα την ταλαιπωρία του αναβάτη πάνω στην μοτοσυκλέτα.



Εικόνα 5.2.2.1: Σύστημα ανάρτησης μοτοσυκλέτας TRAC.

Πηγή: Περιοδικό "2 ΤΡΟΧΟΙ", τεύχος Σεπτεμβρίου 2002.

Ο εμπρόσθιος τροχός εκτρέπεται από την ευθεία πορεία, εμφανίζεται μια ροπή που τείνει να τον επαναφέρει στην ευθεία. Όσο μεγαλύτερο είναι το ίχνος, τόσο μεγαλύτερη είναι η ροπή επαναφοράς. Ακριβώς με τον ίδιο τρόπο επιδρά και το μεταξόνιο στη συμπεριφορά της μοτοσυκλέτας. Όπως ο εμπρόσθιος τροχός έχει ίχνος, έτσι έχει και ο πίσω, φυσικά πολύ μεγαλύτερο. Κι εδώ πρόκειται για την απόσταση του σημείου που τέμνει ο άξονας του λαιμού από το έδαφος, από το σημείο επαφής του πίσω τροχού με το οδόστρωμα.

Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και με το ίχνος. Όσο μεγαλύτερο είναι και το ίχνος, τόσο πιο σταθερή και λιγότερο ευέλικτη είναι η μοτοσυκλέτα. Το μεταξόνιο είναι απλώς μια ένδειξη του πίσω τροχού, επειδή είναι ευκολότερο να μετρηθεί. Το

μεταξόνιο είναι η απόσταση των αξόνων των δύο τροχών και είναι ίσο με το ίχνος του πίσω τροχού, μείον το ίχνος του εμπρός.

Επίσης, όταν μια μοτοσυκλέτα συναντήσει ένα μεγάλο εμπόδιο (μια λακκούβα) η ανάρτηση συμπιέζεται και το μεταξόνιο της μοτοσυκλέτας γίνεται μικρότερο με αποτέλεσμα να υπάρχει πρόβλημα στην ευστάθεια και στην οδήγηση της μοτοσυκλέτας. Το πρόβλημα αυτό έχει αντιμετωπιστεί με τα γραμμικά και περιστροφικά αμορτισέρ του συστήματος ανάρτησης, όπου ένας κύλινδρος με ένα υδραυλικό έμβολο εφαρμόζεται πάνω στα ψαλίδια και ελαχιστοποιεί τους κραδασμούς μετά από κάποια "συνάντηση" με μεγάλη λακκούβα.

Στις μοτοσυκλέτες σήμερα εφαρμόζονται τα σύγχρονα τηλεσκοπικά ψαλίδια τα οποία ελέγχουν τον μπροστινό τροχό. Το μειονέκτημα τους είναι ότι ο τροχός κινείται επάνω και πίσω σε σχέση με το πλαίσιο της μοτοσυκλέτας και το μεταξόνιο μικραίνει πράγμα που αφαιρεί την σταθερότητα της μοτοσυκλέτας στις στροφές.

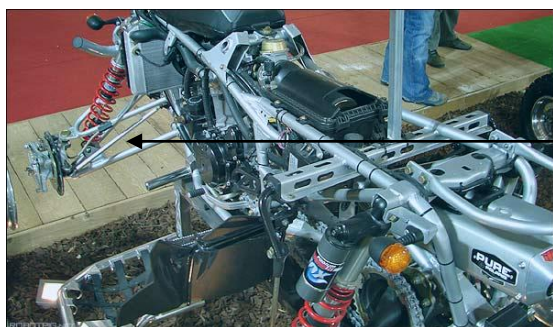
- **Είδη ανάρτησης μοτοσυκλέτας**

Υπάρχουν δύο είδη ανάρτησης σε μία μοτοσυκλέτα:

- α) Δίδυμα ψαλίδια**

Είναι το κλασικό σύστημα ανάρτησης μια μοτοσυκλέτας, καθώς τα ψαλίδια σχηματίζουν το γράμμα **H**. Επικράτησαν κατά την δεκαετία του '80, όταν άρχισαν να εμφανίζονται οι πρώτες επιφυλάξεις σχετικά με το βάρος τους ενώ δεν ήταν και ιδιαίτερα ανθεκτικά.

Ο μόνος τρόπος για να ισχυροποιηθεί αυτή η ανάρτηση ήταν να προστεθεί και άλλο μέταλλο με αποτέλεσμα να προστίθεται περισσότερο το μη αναρτώμενο βάρος, το οποίο μειώνει την αποτελεσματικότητα της ανάρτησης.



Ανάρτηση μοτοσυκλέτας με διπλά ψαλίδια

Εικόνα 5.2.2.2: Διπλά ψαλίδια τοποθετημένα στο εμπρόσθιο μέρος της μοτοσυκλέτας.

Πηγή: Δημοσίευση περιοδικού "**motorsport**", *Περί Αναρτήσεων* - τεύχος 9, 2004.

β) Μονό ψαλίδι

Αποτελεί την σύγχρονη σχεδίαση για αναρτήσεις μοτοσυκλετών καθώς το κάτω άκρο του ψαλιδιού ενώνεται με το ελατήριο και θα πρέπει να υπάρχει η κατάλληλη λίπανση σε εκείνα τα σημεία. Είναι εκτεθειμένο στις καιρικές συνθήκες σε συνθήκες οδήγησης, ενώ η ανάγκη για λιγότερο βάρος στην ανάρτηση οδήγησε τους μηχανικούς στην αφαίρεση του "καλαθιού" του ψαλιδιού και στο να επιστρέψουν στην παραδοσιακή Η μορφή ανάρτησης με λιγότερα και ελαφρύτερα υλικά, αλλά κατά πολύ ισχυρότερα.



Εικόνα 5.2.2.3: Husqvarna concept: E-go - husqvarna. Το e-Go διαθέτει μονό αμορτισέρ και μονόμπρατσο ψαλίδι, κατασκευασμένο από αλουμίνιο.

Πηγή: Δημοσίευση περιοδικού "**Moto Triti**", τεύχος 6, 2014.

5.2.3: Ρύθμιση αναρτήσεων μοτοσυκλέτας

Η σωστή ρύθμιση των αναρτήσεων μιας μοτοσυκλέτας είναι πολύ σημαντική όχι μόνο για την άνεση ή την спор συμπεριφορά της, αλλά κυρίως για την ασφάλειά μας.



Εικόνα 5.2.3.1: Αμορτισέρ μοτοσυκλέτας.

Πηγή: <http://www.motomag.gr/news/tehnika-arthra/rythmisi-anartiseon>

Μεταβάλλοντας την προφόρτιση ελατηρίου μεταβάλουμε ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΑ ΔΥΟ διαφορετικά πράγματα. Το πρώτο είναι εύκολα ορατό με το μάτι και είναι η απόσταση της μοτοσυκλέτας από την επιφάνεια του δρόμου.

Η απόσβεση επαναφοράς είναι η δεύτερη πιο κοινή ρύθμιση που υπάρχει στις αναρτήσεις και δουλειά της είναι να ελέγχει την εκτόνωση του ελατηρίου μετά τη συμπίεση.

Η απόσβεση επαναφοράς διαχειρίζεται την ταχύτητα επιστροφής του τροχού στην αρχική του θέση μετά από την συμπίεσή του από ένα εξόγκωμα ή και από το φρενάρισμα στην περίπτωση της εμπρός ανάρτησης. Για την πίσω ανάρτηση, αν η απόσβεση επαναφοράς είναι πολύ χαλαρή και αφήνει το ελατήριο να "τινάξει" απότομα πίσω στη θέση του τον τροχό, έχει ως αποτέλεσμα εμφάνιση ανεπιθύμητων ταλαντώσεων της ουράς, που μπορούν να μεταφερθούν μέσω του πλαισίου έως το τιμόνι και να γίνουν έντονα κουνήματα.

Στην περίπτωση της εμπρός ανάρτησης, η απότομη επαναφορά μπορεί να προκαλέσει γλιστρήματα του εμπρόσθιου τροχού στην είσοδο της στροφής, τη στιγμή που μειώνεται η δύναμη πέδησης, καθώς τα λάστιχα δεν ενδείκνυνται για απότομες μεταβολές δυνάμεων. Επίσης, λόγω της απότομης έκτασης του πιρουνιού μεταβάλλεται απότομα και η γεωμετρία της μοτοσυκλέτας εκείνη την στιγμή, με σύνηθες αποτέλεσμα να ανοίγει την τροχιά της, δυσκολεύοντάς την να στρίψει με κλειστές γραμμές και απαιτώντας να πλαγιάσεις περισσότερο την μοτοσυκλέτα.

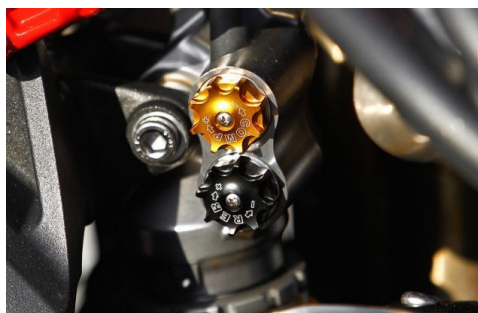


Εικόνα 5.2.3.2: Αποσβεστήρας επαναφοράς μοτοσυκλέτας.

Πηγή: Περιοδικό "MOTOSPORT", τεύχος 6/2007.

Μια υπερβολικά σφιχτή απόσβεση επαναφοράς, δεν επιτρέπει στους τροχούς να ακολουθήσουν την επιφάνεια του δρόμου, αφού δεν προλαβαίνουν να επιστρέψουν εγκαίρως στην θέση τους και να ετοιμαστούν να αντιμετωπίσουν την επόμενη ανωμαλία του δρόμου. Άρα, όσο περισσότερες ανωμαλίες έχει ο δρόμος, τόσο πιο γρήγορα πρέπει να επιστρέφουν οι τροχοί στην αρχική τους θέση μετά από κάθε ανωμαλία.

Εδώ πρέπει να προσθέσουμε, ότι η ρύθμιση της απόσβεσης επαναφοράς επηρεάζει από 10% έως 20% και την απόσβεση συμπίεσης, αναλόγως της ποιότητας κατασκευής ή του σχεδιασμού των αναρτήσεών μας.



Εικόνα 5.2.3.3: Αποσβεστήρας συμπίεσης μοτοσυκλέτας.

Πηγή: Περιοδικό motorsport, τεύχος 3, 2009.

• **Απόσβεση συμπίεσης**

Η απόσβεση συμπίεσης ουσιαστικά επιβραδύνει την απότομη κίνηση των τροχών προς τα πάνω. Η χρησιμότητά της είναι κυρίως στο να ελέγξουμε τις μεταβολές των φορτίων που ασκούνται στις αναρτήσεις κατά την επιβράδυνση, την επιτάχυνση αλλά και μέσα στις στροφές.

Μία πολύ χαλαρή απόσβεση συμπίεσης στο πιρούνι θα κάνει την μοτοσυκλέτα να φρενάρει απότομα, με αποτέλεσμα να αποφορτίζεται ο πίσω τροχός, προκαλώντας αστάθεια. Επίσης, η χαλαρή απόσβεση συμπίεσης, αφήνει το πιρούνι να καταναλώσει μεγάλο μέρος της διαδρομής του στο φρενάρισμα και με αυτό τον τρόπο, τα αποθέματα διαδρομής στην ανάρτηση για να αντιμετωπίσει ένα εξόγκωμα του δρόμου όταν φρενάρουμε σε δρόμο με ανωμαλίες, είναι περιορισμένα. Στην πίστα, η πολύ χαλαρή απόσβεση συμπίεσης μειώνει την αίσθηση ακρίβειας του

εμπρός συστήματος όταν αλλάζεις απότομα κατεύθυνση μέσα σε μία ανακατεύθυνση.

Οι επιπτώσεις στην πίσω ανάρτηση από μια χαλαρή απόσβεση συμπίεσης φαίνεται μέσα στη στροφή και στις απότομες αλλαγές πορείας, όπου η μοτοσυκλέτα μοιάζει σαν να “βουλιάζει” απότομα από την φυγόκεντρο και δείχνει σαν να καθυστερεί να ακολουθήσει το εμπρός τμήμα της μοτοσυκλέτας. Επίσης, η χαλαρή απόσβεση συμπίεσης, μειώνει την αίσθηση που μεταφέρει το πιρούνι στα χέρια του αναβάτη στις πολύ υψηλές ταχύτητες.



Εικόνα 5.2.3.4: Απόσβεση συμπίεσης μοτοσυκλέτας..

Πηγή: <http://www.motomag.gr/news/tehnika-arthra/rythmisi-anartiseon> Στην περίπτωση που σφίξουμε υπερβολικά την απόσβεση συμπίεσης, δυσκολεύουμε την ανάρτηση να χρησιμοποιήσει όλη τη διαδρομή της και ταυτόχρονα μειώνουμε το κράτημα των ελαστικών στις στροφές.

• **Συμπέρασμα**

Οι ρυθμίσεις που αφορούν την ανάρτηση μιας μοτοσυκλέτας θα πρέπει να είναι σύμφωνες πάντα με τις προδιαγραφές που ορίζει ο κατασκευαστής και σε καμία περίπτωση διαφορετική. Όπως και σε κάθε τύπο οχήματος, έτσι και για τα δίκυκλα, η σωστά ρυθμισμένη και ασφαλής ανάρτηση για μία μοτοσυκλέτα είναι εκείνη, που θα παρέχει στο όχημα αρμονική σχέση μεταξύ των συνδετικών μελών που αποτελούν το σύστημα ανάρτησης.

5.3 Φθορές και συντήρηση των συστημάτων ανάρτησης

5.3.1 Βλάβες των συστημάτων ανάρτησης

Στα συστήματα αναρτήσεων είναι πολύ σημαντική η συντήρησή τους προκειμένου να διατηρούνται σε καλή κατάσταση. Παρ' όλα αυτά, βλάβες συμβαίνουν στα συστήματα αναρτήσεων. Τις πιο συνηθισμένες βλάβες και τους τρόπους αντιμετώπισής τους, θα παρουσιάσουμε σε αυτή την ενότητα.

Οι φθορές ενός συστήματος ανάρτησης περιγράφονται παρακάτω:

- **Φθορά ελαστικών χιτωνίων και πείρων**

Πρόκειται για την πιο συνηθισμένη βλάβη στις αναρτήσεις με ημιελλειπτικά ελατήρια και αυτή είναι η φθορά των ελαστικών χιτωνίων και πείρων. Σε αυτή την περίπτωση, το ελατήριο αποσυνδέεται από την άρθρωσή του, αφαιρείται το φθαρμένο χιτώνιο και αντικαθίσταται με καινούριο.

- **Σπάσιμο ή κάμψη φύλλου ημιελλειπτικού ελατηρίου**

Αυτή η βλάβη συμβαίνει όταν υπερφορτώνεται το όχημα ή κινείται σε ανώμαλο δρόμο. Εάν συμβεί αυτό για μεγάλο διάστημα, το φύλλο παραμορφώνεται μόνιμα ή ακόμα χειρότερα, σπάει. Σε αυτή την περίπτωση, πρέπει να αντικατασταθεί το παραμορφωμένο ελατήριο.

- **Σπάσιμο ελικοειδούς ελατηρίου**

Τα σπασίματα και η μόνιμη συσπίρωση των ελικοειδών ελατηρίων είναι η συνηθέστερη βλάβη που συμβαίνει σε αυτά. Επιβάλλεται η αντικατάστασή του από καινούριο. Η αντικατάσταση του ελικοειδούς ελατηρίου είναι λεπτή εργασία και πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικά εργαλεία που θα συσπειρώσουν το ελατήριο. Με αυτό τον τρόπο, απελευθερώνονται τα ψαλίδια από το φορτίο τους και μπορούν να αποσυναρμολογηθούν και να ελευθερωθεί ταυτόχρονα το σπασμένο ελατήριο.

- **Φθορές των σφαιρικών συνδέσμων**

Η πιο διαδεδομένη βλάβη στους σφαιρικούς συνδέσμους είναι η απώλεια της ανοχής τους. Αυτό μπορεί να ελεγχθεί αφού απελευθερωθούν οι σφαιρικοί σύνδεσμοι. Ελέγχεται η ελεύθερη κίνησή τους (τζόγος), τόσο αξονικά όσο και πλευρικά και γίνεται σύγκριση με τις τιμές του κατασκευαστή. Εάν οι ανοχές είναι μεγάλες οι φθαρμένοι σύνδεσμοι πρέπει να αντικατασταθούν.

5.3.2 Βλάβες στους αποσβεστήρες ανάρτησης (αμορτισέρ)

Τα αμορτισέρ συνήθως παρουσιάζουν ίχνη διαρροών λαδιού από την φθορά των τσιμουχών του εμβόλου. Σε μια τέτοια περίπτωση θα πρέπει να αντικατασταθεί το προβληματικό αμορτισέρ, καθώς επίσης και αυτός που παρουσιάζει φθορά στο εσωτερικό του, γιατί δεν επιτρέπεται καμία επέμβαση στο εσωτερικό του. Ελέγχονται επίσης και οι δύο δακτύλιοι του πείρου και, εάν βρεθούν φθαρμένοι, θα πρέπει να αντικατασταθούν.

Για τον έλεγχο της καλής λειτουργίας των αμορτισέρ ένας πολύ πρόχειρος έλεγχος είναι να πιεστεί το εμπρός και το πίσω μέρος του αυτοκινήτου με δύναμη και να αφηθεί ελεύθερο να επανέλθει. Εάν το αυτοκίνητο κάνει μια παλινδρομική κίνηση μέχρι να επανέλθει σε κατάσταση ηρεμίας τότε τα αμορτισέρ λειτουργούν κανονικά.

5.3.3 Συντήρηση ανάρτησης με ημιελλειπτικά ελατήρια

Η συντήρηση της ανάρτησης με ημιελλειπτικά ελατήρια συνίσταται στην τακτική επιθεώρηση των φύλλων σούστας για τυχόν παραμορφώσεις και σπασίματα αλλά και στην περιοδική λίπανση των αναρτήσεων με γρασαδόρο.

Τα ελαστικά χιτώνια που χρησιμοποιούνται σήμερα στους πείρους, γενικά δεν χρειάζονται λίπανση. Η λίπανση των φύλλων του ελατηρίου γενικά δεν είναι αναγκαία, διότι υπάρχουν αντιτριβικά παρεμβύσματα στο άκρο του κάθε φύλλου. Επίσης, θα πρέπει να γίνεται σύσφιξη των περικόχλιων και γενικά όλων των κοχλίων του συστήματος.

6. Γεωμετρία των αναρτήσεων

6.1 Γενικά

Η γεωμετρία της ανάρτησης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην ευστάθεια και ασφάλεια του αυτοκινήτου. Ο συνδυασμός της κακής ανάρτησης, της ανύπαρκτης γεωμετρίας, των μαλακών ελατηρίων και του ύψους του αμαξώματος από το έδαφος, κάνει το αυτοκίνητο να γέρνει, συμπιέζοντας τα ελατήρια. Υπεύθυνη για την κλίση, δηλαδή για την περιστροφή του αμαξώματος περί το διαμήκη άξονα είναι βέβαια η φυγόκεντρη δύναμη. Όσο πιο «μαλακά» είναι τα ελατήρια της ανάρτησης, τόσο πιο πολύ γέρνει το αμάξωμα, μεταβαλλώντας τη γωνία του ως προς το οριζόντιο επίπεδο

που ορίζεται από την επιφάνεια του δρόμου. Υπάρχουν βέβαια προηγμένα τεχνολογικά αυτοκίνητα με μελετημένες γεωμετρικά αναρτήσεις που επιτρέπουν στο αυτοκίνητο να γέρνει χωρίς να χάνει το κράτημα του στον δρόμο.

Αυτό που είναι σημαντικό δεν είναι το πού βρίσκονται τα κέντρα περιστροφής (Κ.Π) που ορίζουν το διαμήκη άξονα γύρω από τον οποίο το αμάξωμα γέρνει (**περιστρέφεται, rolls**), αλλά το πώς οι διάφοροι τύποι ανάρτησης επηρεάζουν τα κέντρα περιστροφής, άρα τη θέση του άξονα περιστροφής κι, επομένως, τις τυχόν κλίσεις του αμαξώματος. Η μεταβολή των γωνιών των τροχών είναι ένα ακόμα ανεπίθυμητο φαινόμενο στο οποίο παίζουν σημαντικό ρόλο οι αναρτήσεις, ενώ το "τερμάτισμα" της ανάρτησης εξαρτάται από τη γεωμετρία των αναρτήσεων.

Τα κέντρα περιστροφής (ένα για την εμπρός κι ένα για την πίσω ανάρτηση) δεν είναι σημεία υπαρκτά που μπορεί να σκύψει κάποιος και να δει, άλλα σημεία θεωρητικά, γεωμετρικά. Αν τα γνωρίζουμε μπορούμε να τραβήξουμε μια ευθεία από το ένα στο άλλο και να έχουμε το Διαμήκη Άξονα περιστροφής. Σε ορισμένα συστήματα ανάρτησης, το κέντρο περιστροφής βρίσκεται "επάνω" στην ανάρτηση. Σε άλλα βρίσκεται σε κάποιο φανταστικό σημείο στο κενό. Στις πιο πολλές περιπτώσεις το σημείο του κέντρου περιστροφής (Κ.Π), βρίσκεται κάπου ανάμεσα στην επιφάνεια του δρόμου και το ύψος του άξονα του τροχού.

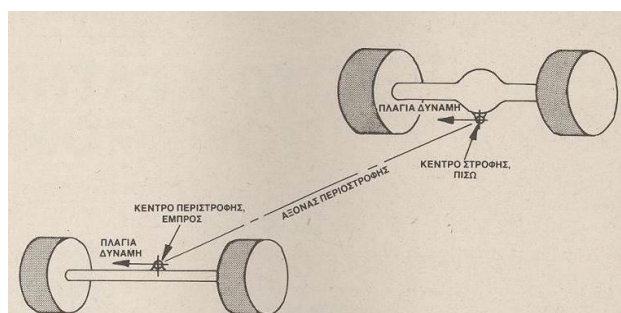
Η απόσταση του κέντρου περιστροφής από το έδαφος, το ύψος του δηλαδή, παίζει αποφασιστικό ρόλο στο κράτημα του δρόμου. Σε αρκετά συστήματα ανάρτησης το ύψος του κέντρου περιστροφής μεταβάλλεται καθώς το αμάξωμα γέρνει στις στροφές. Πέρα από το ότι είναι το κέντρο γύρω από το οποίο γέρνει (κλίνει) το αμάξωμα, το κέντρο περιστροφής διαθέτει ένα ακόμη χαρακτηριστικό:

Η εγκάρσια δύναμη της φυγόκεντρης "μεταδίδεται" από το φερόμενο στο μη φερόμενο βάρος, μέσω του Κ.Π. Οι βραχίονες που συγκρατούν τους τροχούς στηρίζονται σε διάφορα σημεία του αμαξώματος ή του υποπλαισίου, ανάλογα με τον τύπο του αυτοκινήτου. Παρόλη την ποικιλία των σημείων στήριξης όμως, το τελικό αποτέλεσμα είναι ότι η φυγόκεντρη δύναμη επιβάλλεται πάλι σε ένα σημείο που βρίσκεται κάπου ανάμεσα στις μάζες του φερόμενου και του μη φερόμενου βάρους.

6.2 Γεωμετρία ανάρτησης για διάφορα συστήματα ανάρτησης

Σε αυτό το σημείο είναι σκόπιμο να αναφερθεί ότι από τις πιο απλές αναρτήσεις, αυτές που χρησιμοποιούν τα, περίφημα πια, ημιελλειπτικά φύλλα σούστας και τον άκαμπτο άξονα. Η θέση του κέντρου περιστροφής, σ' αυτό το σύστημα εξαρτάται από τον τύπο των βραχιόνων που στηρίζουν τον άκαμπτο άξονα. Οι βραχίονες αυτοί ορίζουν τη θέση του άκαμπτου άξονα (που πολλοί ονομάζουν γενικά διαφορικό) και περιορίζουν την κίνηση του εμπρός-πίσω σε σχέση με το πλαίσιο.

Προσεκτικότερη μελέτη και σύγκριση με τα συστήματα ανάρτησης των αυτοκινήτων της αγοράς μπορεί να οδηγήσει σε πιο επιτυχημένη επιλογή αυτοκινήτου. Αν κανείς τοποθετήσει μια ακόμα ράβδο στήριξης ανάμεσα στον άξονα (διαφορικό) και το πλαίσιο (σασί), τότε σίγουρα θα αλλάξει και το ύψος του κέντρου περιστροφής. Για να προσφέρει έργο η ράβδος αυτή πρέπει να είναι πιο σκληρή από τα ελατήρια, ώστε να εμποδίζει την εγκάρσια μετατόπιση του άξονα και τη μεταβολή των γωνιών σύγκλισης/απόκλισης των πίσω τροχών που επακολουθεί.



Σχήμα 6.2.1: Εγκάρσια δύναμη της φυγόκεντρης που επενεργεί στο μη φερόμενο βάρος στα σημεία που βρίσκονται τα Κέντρα Περιστροφής. Το αμάξωμα γέρνει σε μια στροφή γύρω από τον άξονα περιστροφής που ορίζεται αν τραβήξουμε μια γραμμή από το ένα Κέντρο Περιστροφής στο άλλο.

Πηγή: Σύγγραμμα Γεωμετρία ανάρτησης” - Το κράτημα του δρόμου (4Τ 125, 2/1981), Συντάκτης: Κώστας Καβαθάς.

Τα ημιελλειπτικά ελατήρια δεν ορίζουν πλέον τη θέση του άκαμπτου άξονα στην εγκάρσια κίνηση, αλλά μόνο στην εμπρός-πίσω. Παράλληλα όμως παρακολουθούμε, με τη φαντασία μας, και τις κινήσεις ενός τροχού σε μια ανεξάρτητη ανάρτηση. Ο τροχός κινείται προς τα εμπρός. Κάποια στιγμή συναντά μια ανωμαλία του δρόμου, μια υπερύψωση της ασφάλτου. Ο τροχός και το ημιαξόνιο ανεβαίνουν διαγράφοντας

ένα τόξο γύρω απ' ένα σημείο που αποκαλούμε στιγμιαίο κέντρο περιστροφής. Το σημείο αυτό μπορεί να είναι πραγματικό ή υποθετικό. Για κάθε στιγμή της κίνησης του τροχού όμως υπάρχει ένα στιγμιαίο κέντρο περιστροφής. Στην εικόνα 2.6 μπορείτε να δείτε που βρίσκονται τα στιγμιαία κέντρα περιστροφής για μια ανάρτηση (ανεξάρτητη) με διπλά ψαλίδια.

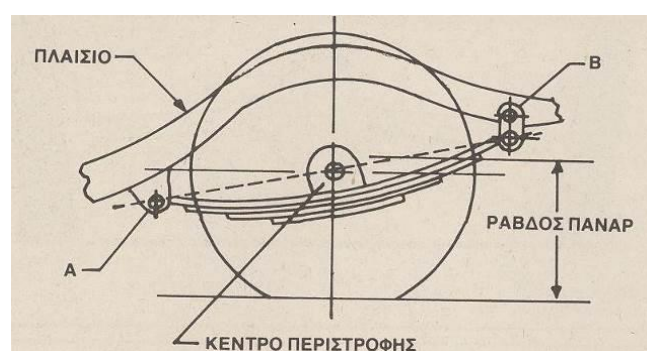
- **Προβλήματα που μπορεί να προκληθούν σε μια ανάρτηση από τον λάθος σχεδιασμό ενός ή περισσότερων παραγόντων:**

Ο συνδυασμός της κακής ανάρτησης, της ανύπαρκτης γεωμετρίας, των μαλακών ελατηρίων και του ύψους του αμαξώματος από το έδαφος, κάνει τ' αυτοκίνητο να γέρνει, συμπιέζοντας τα ελατήρια. Υπεύθυνη για την κλίση, για την περιστροφή του αμαξώματος περί το διαμήκη άξονα είναι βέβαια ή φυγόκεντρη δύναμη.

Όσο πιο "μαλακά" είναι τα ελατήρια της ανάρτησης, τόσο πιο πολύ γέρνει το αμάξωμα, μεταβαλλόντας τη γωνία του ως προς το οριζόντιο επίπεδο που ορίζεται από την επιφάνεια του δρόμου.

Όσο περισσότερα γέρνει το αμάξωμα τόσο πιο επικίνδυνη γίνεται η οδήγηση, ιδιαίτερα σε δρόμους που έχουν πολλές και συνεχείς στροφές (S) όπου το αμάξωμα αναγκάζεται να αλλάξει κλίση κάθε 30-50 μέτρα. Υπάρχουν βέβαια αυτοκίνητα με προηγμένες τεχνολογικά και μελετημένες γεωμετρικά αναρτήσεις, που επιτρέπουν στα αμαξώματά τους να γέρνουν χωρίς να επηρεάζεται η ποιότητα του κρατήματος του δρόμου.

6.3 Ράβδος Πανάρ



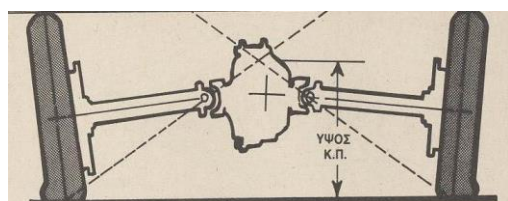
Σχήμα 6.3.1: Αν ο άκαμπτος πίσω άξονας συγκρατείται μόνο από δύο ημιελλειπτικά φύλλα σούστας (ελατήρια), τότε λέμε ότι έχουμε ανάρτηση τύπου Χότσκις (δεν υπάρχει πια παρά

μόνο σε τρίκυκλες μοτοσυκλέτες). Το Κέντρο Περιστροφής βρίσκεται αν τραβήξουμε μια γραμμή από το σημείο Α στο σημείο Β, τα σημεία που στηρίζεται το ελατήριο. Το Κ.Π. βρίσκεται στο σημείο όπου η ευθεία τέμνει το κάθετο επίπεδο που περνάει από το κέντρο του διαφορικού. Η ευθεία Α-Β είναι ο άξονας περιστροφής. Αν στην απλοϊκή αυτή ανάρτηση τοποθετήσουμε μια ράβδο Πανάρ, η θέση του Κ.Π. μεταβάλλεται αυτόματα.

Πηγή: Σύγγραμμα "Γεωμετρία ανάρτησης" - Το κράτημα του δρόμου (4Τ 125, 2/1981), Συντάκτης: Κώστας Καβαθάς.

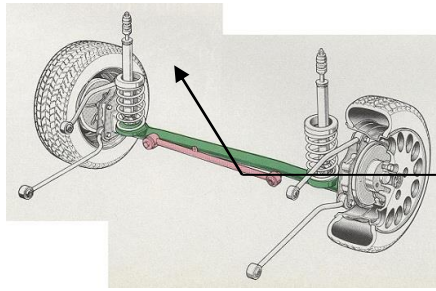
Αυτό που ενδιαφέρει τον απλό οδηγό είναι όχι τόσο το πού βρίσκονται τα κέντρα περιστροφής (ΚΠ), που ορίζουν το διαμήκη άξονα γύρω απ' τον οποίο το αμάξωμα γέρνει (περιστρέφεται, rolls), αλλά το πως οι διάφοροι τύποι ανάρτησης επηρεάζουν τα κέντρα περιστροφής, άρα τη θέση του άξονα περιστροφής κι επομένως τις τυχόν κλίσεις του αμαξώματος. Ακόμα αυτό που ενδιαφέρει τον οδηγό είναι πως οι μεγάλες κλίσεις του αμαξώματος επηρεάζουν το κράτημα σε αυτοκίνητα που δε διαθέτουν μελετημένα και σχετικά πολύπλοκα συστήματα ανάρτησης.

Αναμφίβολα, οι μεγάλες κλίσεις επηρεάζουν αρνητικά το κράτημα σε αυτοκίνητα με άκαμπτους πίσω άξονες και με πρωτόγονα συστήματα ανάρτησης (σούστες). Καθώς το αμάξωμα γέρνει, "τραβάει" μαζί του και τον εσωτερικό τροχό, ανασηκώνοντας το λάστιχο από το έδαφος και κάνοντάς το να χάσει την επαφή του με το δρόμο.



Σχήμα 6.3.2: Η ανάρτηση με αιωρούμενους βραχίονες έχει πολύ ψηλά το Κ Π. (Κέντρο Περιστροφής). Το Κ.Π. βρίσκεται αν ενώσουμε τα σημεία επαφής των ελαστικών με το δρόμο με τα σημεία αιώρησης των βραχιόνων. Η θέση του Κ.Π. έχει σαν αποτέλεσμα να παρουσιάζεται μια τάση ανύψωσης του τροχού, που κάνει το αυτοκίνητο ιδιαίτερα ασταθές και επικίνδυνο στην οδήγηση.

Πηγή: Σύγγραμμα "Γεωμετρία ανάρτησης" - Το κράτημα του δρόμου (4Τ 125, 2/1981), Συντάκτης: Κώστας Καβαθάς.



Ράβδος
Πανάρ

Εικόνα 6.3.3: Άκαμπτος άξονας με διαμήκειες βραχίονες άνω και κάτω του διαφορικού, καθώς και η **ράβδος πανάρ** για τη σταθεροποίηση των τροχών του άξονα.

Πηγή: Σύγγραμμα "Τεχνολογία Αυτοκινήτου 2", Συστήματα Αυτοκινήτου – 3^η Ελληνική Έκδοση, Σύστημα Ανάρτησης.

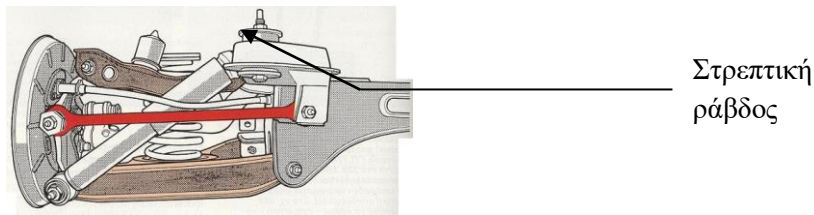
Η συγκεκριμένη ράβδος παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Επαρκής στιβαρότητα των μελλών της ανάρτησης ώστε να εξασφαλίζεται καλή ροή των δυνάμεων από τον τροχό στο αμάξωμα του οχήματος.
- Ελαχιστοποίηση του συνολικού όγκου του μηχανισμού της ανάρτησης ώστε να υπάρχει ο απαραίτητος χώρος για την εγκατάσταση και άλλων απαραίτητων υποσυστημάτων όπως το σύστημα διεύθυνσης, ο κινητήρας και το σύστημα μετάδοσης ισχύος.
- Ευκολία χρήσης.
- Χαμηλό κόστος.

6.4 Στρεπτική ράβδος

Οι στρεπτικές ράβδοι χρησιμοποιήθηκαν από τις δεκαετίες του 1930 και του 1940 αρχικά σε αγωνιστικά αυτοκίνητα και κατόπιν στα αυτοκίνητα παραγωγής. Σήμερα χρησιμοποιούνται στην ανεξάρτητη μπροστινή ανάρτηση μερικών τετρακίνητων και στην πίσω ανάρτηση αρκετών μικρών μπροστοκίνητων, κυρίως από την **Renault**.

Η στρεπτική ράβδος είναι ένα μακρύ μεταλλικό εξάρτημα κυκλικής συνήθως διατομής, κατασκευασμένο από ειδικό ατσάλι ελατηρίων, του οποίου το ένα άκρο στερεώνεται στο σασί του αυτοκινήτου, ενώ στο άλλο άκρο προσαρμόζεται ένας βραχίονας. Ο τροχός του αυτοκινήτου βρίσκεται στην άκρη του βραχίονα και καθώς ανεβοκατεβαίνει, αναγκάζει τη ράβδο να "υποστεί" στρεπτικές ροπές στις οποίες αντιδρά ανάλογα.



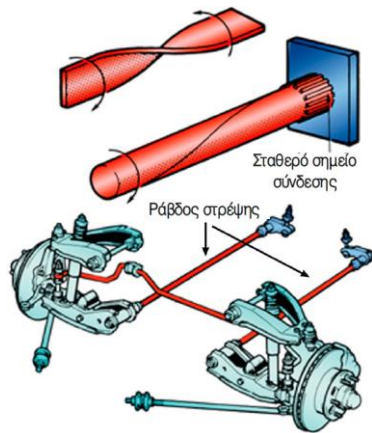
Εικόνα 6.4.1: Απεικόνιση στρεπτικής ράβδου και τα σημεία στα οποία εδράζεται (το ένα άκρο πάνω στο σασί και το άλλο στον έναν βραχίονα) μέσω πολύσφηνου.

Πηγή: Milliken, W. F. and Milliken, D. L. (1995). “Race car vehicle dynamics”. Society of automotive engineers, inc., Warrendale, Pa. USA.

Οι στρεπτικές ράβδοι χρησιμοποιήθηκαν από τις δεκαετίες του '30 και του '40, αρχικά σε αγωνιστικά αυτοκίνητα και κατόπιν στα αυτοκίνητα παραγωγής . Οι στρεπτικές ράβδοι χρησιμοποιήθηκαν κατά καιρούς σε πολλά διάσημα αυτοκίνητα . Στην κορυφή της πυραμίδας οι παλιοί κλασικοί σκαραβαίοι του Φέρντιναντ Πόρσε.

Σήμερα, οι στρεπτικές ράβδοι χρησιμοποιούνται σε πολλά αυτοκίνητα, όπως στην ανεξάρτητη μπροστινή ανάρτηση μερικών τετρακίνητων και στην πίσω ανάρτηση αρκετών μικρών μπροστοκίνητων, κυρίως από τη Renault. Όπως και τα σπειροειδή ελατήρια, οι στρεπτικές ράβδοι δεν αποσβένουν μόνες τους τις ταλαντώσεις. Για να πετύχουν κάτι τέτοιο είναι αναγκαία η παρουσία των αμορτισέρ. Πλεονεκτήματα στρεπτικής ράβδου αποτελούν το μικρό βάρος και η ευκολία τοποθέτησής της χαμηλά, σε περιοχές του πλαισίου.

Παρακάτω (Εικ.6.4.2), φαίνεται ο τρόπος σύνδεσης της στρεπτικής ράβδου με το αμάξωμα:



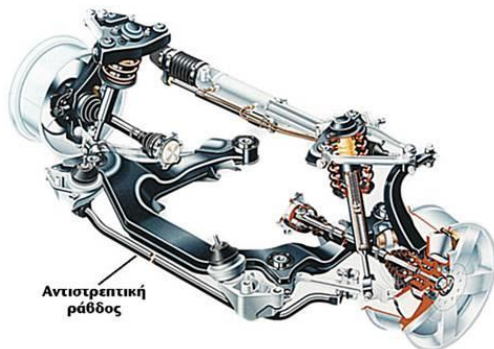
Εικόνα 6.4.2: Συνδεσμολογία στρεπτικής ράβδου.

Πηγή: Reimpell, J. and Stoll, H. (2001). “The automotive chassis: engineering principles”, 2nd edition , Elsevier.

6.5 Αντιστρεπτική ράβδος

Πρόκειται για μία αρθρωμένη ράβδο (με διατομή συνήθως από 0,5 έως 1,5 cm), η οποία συναντά κανείς στον εμπρός και πίσω άξονα ανάλογα με τον κατασκευαστή.

Οι αντιστρεπτικές ράβδοι βελτιώνουν τα χαρακτηριστικά της ανάρτησης, καθώς η χρήση τους περιορίζει σημαντικά τις κλίσεις του αμαξώματος. Κάτι τέτοιο γίνεται καθώς στην διάρκεια στροφής περιορίζεται η κατακόρυφη κίνηση ενός τροχού σε σχέση με τον άλλο.



Εικόνα 6.5.1: Διάταξη αντιστρεπτικής ράβδου.

Πηγή: Σύγγραμμα Τεχνολογία Αυτοκινήτου 2 – Συστήματα Αυτοκινήτου, 3^η Ελληνική Έκδοση, Εκδοτικός Όμιλος ‘ΙΩΝ’ 2007, Κεφ. 4.5 – Ανάρτηση τροχών.

Η αντιστρεπτική ράβδος (γνωστή και ως ζανφόρ) είναι μία ράβδος-ελατήριο που συνήθως έχει σχήμα Π και δεν συνδέει τους τροχούς με το σασί όπως όλα τα ελατήρια των αναρτήσεων, αλλά συνδέει τον κάθε τροχό με τον απέναντι της

άλλησπλευράς έτσι, που όταν η ανάρτηση του ενός τροχού συμπιεστεί, να μεταφερθεί η πίεση ελαστικά και στην ανάρτηση του άλλου.

Ανάλογα με τη σκληρότητα της ράβδου αυτής αλλά και των μοχλικών δυνάμεων της έδρασής της, επηρεάζεται η αντίσταση του αυτοκινήτου στο φυγοκεντρικό ρολάρισμα. Η αντιστρεπτική μπορεί να περιορίσει το ρολάρισμα επειδή κάνει το ελατήριο του εξωτερικού τροχού να συμπεριφέρεται σαν πιο σκληρό από όσο πραγματικά είναι, γιατί «βοηθείται» απ' το ελατήριο του εσωτερικού τροχού το οποίο χωρίς αυτήν θα ήταν ελάχιστα ή καθόλου φορτισμένο. Έτσι, σε επίπεδο σχεδιασμού, οι αντιστρεπτικοί ράβδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ρυθμίσουν την οδική συμπεριφορά.



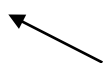
Εικόνα 6.5.2: Η αντιστρεπτική ράβδος συνδέει τις αναρτήσεις δύο τροχών στον ίδιο άξονα με το πλαίσιο του αυτοκινήτου.

Πηγή: Σύγγραμμα "Τεχνολογία Αυτοκινήτου" πέρα από το 2000, 13^η έκδοση, Αθήνα 2015, κεφ.7 - Συστήματα Ανάρτησης.

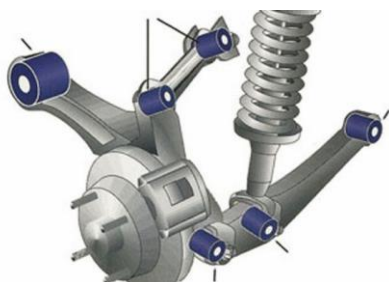
6.6 Σάιλεντ μπλοκ (Σινεμπλόκ)

Τα σάιλεντ μπλόκ ή σινεμπλόκ είναι τα ελαστικά παρεμβύσματα της ανάρτησης και υπάρχουν σε όλα τα σημεία στήριξης της με το σασί και τις συνδέσεις της.

Ουσιαστικά απομονώνουν τους κραδασμούς από τη λειτουργία της ανάρτησης και κατασκευάζονται από ελαστικό υλικό, το οποίο ανάλογα με τις απαιτήσεις, είναι πιο μαλακό ή πιο σκληρό. Βασικό χαρακτηριστικό και σε αυτή τη βελτίωση, αφού σχετίζεται γενικότερα με το σύστημα της ανάρτησης, είναι ότι όσο πιο σκληρό είναι



το σινεμπλόκ, τόσο καλύτερη η αίσθηση οδήγησης, αλλά και υποδεέστερη η άνεση.



Εικόνα 6.6.1: Παραστατικό παράδειγμα σινεμπλόκ (ελαστικοί μεταφορείς δυνάμεων).

Πηγή: Περιοδικό *auto Triti*, 10^ο τεύχος, 1999.

Τα διάφορα μέρη της ανάρτησης συνδέονται με το πλαίσιο ή αμάξωμα και σπανιότερα μεταξύ τους με μεταλλοελαστικούς συνδέσμους. Συνήθως, οι σύνδεσμοι αυτοί περιλαμβάνουν δύο μεταλλικά χιτώνια μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται με ειδική συγκόλληση ελαστικό χιτώνιο (ελαστικός δακτύλιος). Οι σύνδεσμοι αυτοί, που είναι γνωστοί ως **σάιλεντ μπλοκ**, έχουν ως σκοπό την μεταφορά δυνάμεων μεταξύ αναρτημένων και μη αναρτημένων μαζών του αυτοκινήτου με ελαστικότητα και παράλληλα με αθόρυβη λειτουργία.

- **Επιλογή των κατάλληλων σινεμπλόκ και χρόνος αντικατάστασής τους**

Η επιλογή του κατάλληλου σινεμπλόκ εξαρτάται -εκτός των άλλων- από τον κατασκευαστικό τύπο του κάθε οχήματος. Τα σκληρότερα σινεμπλόκ προορίζονται για πιο σπορ χαρακτηριστικά κίνησης και για αυτόν το λόγο, επιλέγονται από τις εταιρείες για πιο σπορ εκδόσεις των μοντέλων τους. Δηλαδή, για οχήματα που προσεγγίζουν υψηλές ταχύτητες, ο πλέον κατάλληλος τύπος σινεμπλόκ είναι τα σκληρού τύπου, ώστε να έχουν μεγαλύτερη αντοχή στις πιέσεις που δέχονται.

Αντίστοιχα, μαλακότερα σινεμπλόκ επιλέγονται γενικά για συμβατικά οχήματα ευρείας κυκλοφορίας. Τα σινεμπλόκ φθείρονται με τον χρόνο και απαιτούν αλλαγή μετά από αρκετά χιλιόμετρα.

- **Ποια σινεμπλόκ είναι τα καλύτερα;**

Τα σινεμπλόκ **πολυουρεθάνης** είναι τα πιο ενδεδειγμένα, αφού το υλικό αυτό είναι και σκληρότερο από τα εργοστασιακά κατά 20 - 30%. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα

να αντέχουν και περισσότερο στο πέρασμα του χρόνου. Αν και η τιμή τους είναι αρκετά πιο υψηλή από τα συνηθισμένα σκληρότερα σινεμπλόκ, ωστόσο θεωρούνται καλύτερη αγορά με βάση την αξία τους.

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίν. 5), δίνονται οι διάφοροι τύποι σινεμπλόκ:

			
Σινεμπλόκ ψαλιδιού εσωτερικά Suzuki Jimny Opel Corsa	Μπροστινό σινεμπλόκ	Σινεμπλόκ Golf	Σινεμπλόκ βάσης μηχανής και σασμάν λεωφορείο

Πίνακας 5: Διάφοροι τύποι σινεμπλόκ.

7. Μεθοδολογία

Η συγγραφή αυτής της εργασίας, όπως και η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε για την εκπόνησή της, στηρίχθηκε σε διάφορες πηγές πληροφοριών.

Πρώτα απ'όλα, διεξήχθη εκτενής έρευνα προκειμένου να συλλεχθούν όλα εκείνα τα στοιχεία τα οποία απαρτίζουν τα διάφορα μέρη ανάρτησης.

Έπειτα, έγινε σύγκριση και ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας αυτής, ώστε να κατατεθούν σαφή και εμπειριστατωμένα στοιχεία προς τιμήν του αναγνώστη.

• Μία σειρά μεθόδων στις οποίες βασίστηκε η οργάνωση της συγκεκριμένης εργασίας, παρατίθεται παρακάτω:

1) Λεπτομερής έρευνα και αναζήτηση πληροφοριών, προερχόμενες πρωτίστως από επιστημονικά άρθρα και δημοσιεύματα τόσο από ελληνική όσο και ξενόγλωσση βιβλιογραφία. Επιπλέον, πηγή συγγραφικού υλικού αντλήθηκε από διάφορα περιοδικά σχετικά με την αυτοκίνηση και συγκεκριμένα το σύστημα ανάρτησης.

2) Μετά από τη συγκομιδή όλων των απαιτούμενων πληροφοριών που απαιτήθηκε, ακολουθήθηκε μία εισαγωγή σε κάθε κατηγορία των συστημάτων ανάρτησης, καθώς και τα μέρη από τα οποία αποτελούνται.

3) Ιεραρχικά, κατατέθηκαν δοκιμαστικά παραδείγματα του κάθε εξαρτήματος ανάρτησης, προκειμένου τη διεξαγωγή αποτελεσμάτων για το βαθμό αξιοπιστίας τους στην βιομηχανία.

4) Έγινε χρήση ελληνικής και αγγλικής ορολογίας που αφορά στα συστήματα ανάρτησης των διαφόρων τύπων οχημάτων, με σκοπό την καλύτερη και πληρέστερη κατανόησή τους από το ευρύ κοινό.

5) Στο τέλος κάθε ενότητας, με βάση την κατάθεση στοιχείων και των αντίστοιχων αποτελεσμάτων από τους διάφορους ελέγχους, έγινε αναφορά στα επιτεύγματα της τεχνολογίας και στην εξέλιξη της αυτοκινητοβιομηχανίας σε παγκόσμιο επίπεδο.

6) Προτείνονται τρόποι επίλυσης των προβλημάτων που προκύπτουν από τις διάφορες αστοχίες κατασκευής, συνδεσμολογίας και λειτουργικότητας των συστημάτων ανάρτησης, οι οποίες οφείλονται τόσο στον ανθρώπινο όσο και στον τεχνικό παράγοντα.

Συμπεράσματα

Σε γενικές γραμμές ο σχεδιασμός της ανάρτησης ενός οχήματος αποτελεί έναν συμβιβασμό ανάμεσα σε τρία αντικρουόμενα κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά είναι:

- 1) Η δυνατότητα χειρισμού του οχήματος από τον οδηγό.
- 2) Η δυνατότητα φόρτωσης του οχήματος.
- 3) Η άνεση των επιβατών.

Η ανάρτηση θα πρέπει να υποστηρίζει το όχημα, να παρέχει σταθερότητα κατεύθυνσης κατά την διάρκεια των χειρισμών του οδηγού, καθώς επίσης να απομονώνει τους επιβάτες και το φορτίο από τις ανωμαλίες του οδοστρώματος.

Για την άνεση των επιβατών απαιτείται μαλακή ανάρτηση, ενώ για την καλύτερη ανοχή του φορτίου από το όχημα η ανάρτηση θα πρέπει να είναι σκληρή. Η σταθερότητα ελέγχου του οχήματος επιτυγχάνεται όταν ελαστικότητα της ανάρτησης βρίσκεται ανάμεσα στις δύο προηγούμενες καταστάσεις (ούτε πολύ σκληρή αλλά ούτε και πολύ μαλακιά).

Ο σχεδιασμός των αναρτήσεων από τον κατασκευαστή εμπεριέχει μια συνεχή προσπάθεια για τον βέλτιστο συγκερασμό όλων αυτών των αντικρουόμενων ιδιοτήτων. Καθώς η αυτοκίνηση εξελίσσεται συνεχώς, συμπαρασύρει προς την ίδια κατεύθυνση και τον σχεδιασμό των αναρτήσεων. Όπως διαπιστώσαμε και από την εργασία μας, οι αναρτήσεις έχουν πάψει να είναι θέμα αποκλειστικά και μόνο του σχεδιασμού και της αντοχής των μετάλλων. Σε αυτόν τον τομέα έχουν πια υπεισέρθει οι επιστήμες της ηλεκτρικής μηχανικής, της ηλεκτρονικής μηχανικής, της μηχανικής των υλικών κ.τ.λ.

Εξίσου σημαντική, αν όχι σημαντικότερη από την ίδια την σχεδίαση των αναρτήσεων, είναι η συντήρησή τους. Οι αναρτήσεις δεν είναι συστήματα που μπορούν να παραμελούνται από τους ιδιοκτήτες. Όπως και ο κινητήρας του οχήματος, έτσι και οι αναρτήσεις απαιτούν τακτική συντήρηση προκειμένου να διατηρήσουν την εύρυθμη λειτουργία τους. Με την συντήρηση όχι μόνο διατηρούνται οι ιδιότητες απόσβεσης αλλά αυξάνεται και ο χρόνος ζωής του ίδιου του οχήματος αυξάνοντας έτσι την οικονομικότητα -αποδοτικότητα- της λειτουργίας του.

Ευρετήριο Εικόνων			
α/α	Αριθμός εικόνας	Περιγραφή	Σελίδα
1	1	Σχεδίαση αμαξώματος με σύστημα ανάρτησης.	4
2	1.2.1	Τρόπος σχηματισμού της γωνίας Camber ανάλογα με την κλίση του τροχού και τον κάθετο ως προς το δρόμο άξονά του.	8
3	1.2.2	Γωνία Camber.	8
4	2.1.1	Άκαμπτος άξονας.	13
5	2.1.2	Άκαμπτος άξονας – Φύλλα σούστας.	13
6	2.1.3	Οπίσθιος άκαμπτος άξονας	14
7	2.1.4	Άξονας De Dion.	15
8	2.1.5	Άκαμπτος άξονας για τους πίσω τροχούς.	16
9	2.2.1	Ημιάκαμπτος άξονας πίσω τροχών αυτοκινήτου με μπροστινή κίνηση.	17
10	2.2.2	Διάταξη πίσω ανάρτησης με ημιάκαμπτο άξονα (γέφυρα).	18
11	2.2.3	Ημιάκαμπτος (ημιεξαρτώμενος) άξονας.	18
12	2.2.4	Ημιάκαμπτος (ημιεξαρτώμενος) άξονας.	19
13	2.2.5	Ημιάκαμπτο άξονα και πολλαπλών συνδέσμων.	20
14	2.3.1	Σύστημα πίσω ανάρτησης (Multi-link suspension).	20
15	2.3.2	Ανάρτηση με διπλά ψαλίδια.	21
16	2.3.3	Ανάρτηση με πολλαπλούς συνδέσμους.	22
17	2.3.4	Σχηματική παράσταση ανάρτησης με πολλαπλούς συνδέσμους.	22

18	2.4.1.1	Τύπος ανεξάρτητη ανάρτησης με διπλά ψαλίδια.	23
19	2.4.2.1	Υστερούντας βραχίονας.	24
20	2.4.3.1	Ημι-υστερούντες βραχίονες.	25
21	2.4.4.1	Ανεξάρτητη ανάρτηση με γόνατο Mac-Pherson.	26
22	2.4.4.2	Βασικός σχεδιασμός ανάρτησης με γόνατο Mac-Pherson.	29
23	2.5.1.1	Πνευματική ανάρτηση.	32
24	2.5.2.1	Υδροπνευματική ανάρτηση.	33
25	3.1.1	Σπειροειδές ελατήριο.	33
26	3.1.2	Απεικόνιση αναρτημένης και μη αναρτημένης μάζας οχήματος.	35
27	3.1.3	Ελικοειδές ελατήριο.	36
28	3.2.1	Ελικοειδές ελατήριο μεταβλητής διατομής.	37
29	3.3.1	Ελικοειδές ελατήριο συστήματος ανάρτησης σταθερής διαμέτρου.	40
30	3.3.2	Ελικοειδές ελατήριο μεταβλητής διαμέτρου.	40
31	3.3.3	Ωφέλιμο μήκος ελατηρίου.	41
32	3.4.1.1	Σούστα πίσω ανάρτησης οχήματος.	43
33	3.6.1	Σπειροειδές ελατήριο.	47
34	3.6.2	Σπειροειδές ελατήριο.	47
35	3.7.1	Συμβατικής και παραβολική σούστα..	48
36	3.7.1	Σπειροειδή ελατήρια σε συνδυασμό με τα ελατήρια και τα αμορτισέρ.	48
37	3.9.1	Στρέβλωση ημιελλειπτικών ελατηρίων.	50

38	3.9.2	Στρέβλωση ημιελλειπτικών ελατηρίων.	51
39	3.11.1	Εξωτερική όψη, τομή και σχηματική παράσταση ελικοειδών ελατηρίων.	53
40	3.11.2	Εγκάρσια τοποθέτηση ελατηρίων.	55
41	3.11.3	Ανάρτηση με εγκάρσια ελατήρια..	55
42	3.12.1	Ελατήριο πολλαπλών ελασμάτων.	57
43	3.13.1	Παραμόρφωση ελατηρίου.	60
44	3.14.1	Ταλάντωση σπειροειδούς ελατηρίου.	61
45	4.1.1	Διατομή αμορτισέρ.	64
46	4.2.1	Αμορτισέρ.	66
47	4.2.2	Λειτουργία αμορτισέρ.	67
48	4.3.1.1	Ρυθμιζόμενα αμορτισέρ.	71
49	4.3.1.2	Μοντέλο ρυθμιζόμενου αμορτισέρ.	72
50	4.3.1.3	Ρύθμιση ύψους της ανάρτησης.	72
51	4.3.2.1	Μαγνητοροϊκά αμορτισέρ.	73
52	4.4.1	Είδος ελατηρίου αγωνιστικών οχημάτων.	74
53	4.5.1	Πλάκα σύγκλισης-απόκλισης τροχών.	78
54	4.6.1	Όργανο ζυγοστάθμισης ελαστικών.	81
55	5.1.1	Αερόσουστα.	82
56	5.1.2	Είδη αερόσουστας.	83
57	5.1.3	Είδη αερόσουστας.	83
58	5.1.4	Χαρακτηριστικός τύπος αερόσουστας.	84
59	5.1.5	Τύπος αερόσουστας βαρέων οχημάτων.	84
60	5.2.1	Γεωμετρία ανάρτησης μοτοσυκλέτας.	86
61	5.2.2.1	Σύστημα ανάρτησης	88

		μοτοσυκλέτας.	
62	5.2.2.2	Διπλά ψαλίδια μοτοσυκλέτας.	89
63	5.2.2.3	Μονό αμορτισέρ και μονόμπρατσο ψαλίδι μοτοσυκλέτας.	90
64	5.2.3.1	Αμορτισέρ μοτοσυκλέτα.	90
65	5.2.3.2	Αποσβεστήρας επαναφοράς μοτοσυκλέτας.	91
66	5.2.3.3	Αποσβεστήρας συμπίεσης μοτοσυκλέτας.	92
67	5.2.3.4	Αποσβεστήρας συμπίεσης μοτοσυκλέτας.	93
68	5.3.3	Ράβδος Πανάρ.	99
69	6.4.1	Στρεπτική ράβδος.	100
70	6.4.2	Συνδεσμολογία στρεπτικής ράβδου.	101
71	6.5.1	Διάταξη αντιστρεπτικής ράβδου.	102
72	6.5.2	Αντιστρεπτική ράβδος.	103
73	6.6.1	Σινεμπλόκ.	103

Ευρετήριο Πινάκων		
Αριθμός πίνακα	Περιγραφή	Σελίδα
1	Τιμές για διάφορους τύπους βραχιόνων (ψαλιδιών) ανάλογα με το υλικό κατασκευής.	23
2	Εύρος τιμών δυναμικής μεταφοράς φορτίου (lb/lb) για τον αντίστοιχο τύπο ανάρτησης.	50
3	Όρια ανατροπής για διάφορους τύπους οχημάτων.	54

4	Χαρακτηριστικά ελατηρίων.	63
5	Διάφοροι τύποι σινεμπλόκ.	104

Ευρετήριο Διαγραμμάτων		
Αριθμός διαγράμματος	Περιγραφή	Σελίδα
1	Τυπική καμπύλη μεταβολής της W_e για ανάρτηση με γόνατο Mac-Pherson.	29
2	Μεταβολή της γωνίας Camber (σε μοίρες) συναρτήσει της διαδρομής του τροχού (σε mm) για τον μπροστινό άξονα.	30

Λέξεις κλειδιά (key words):

ανάρτηση (suspension)

γεωμετρία (geometry)

ελάσματα (plates)

ελατήρια (springs)

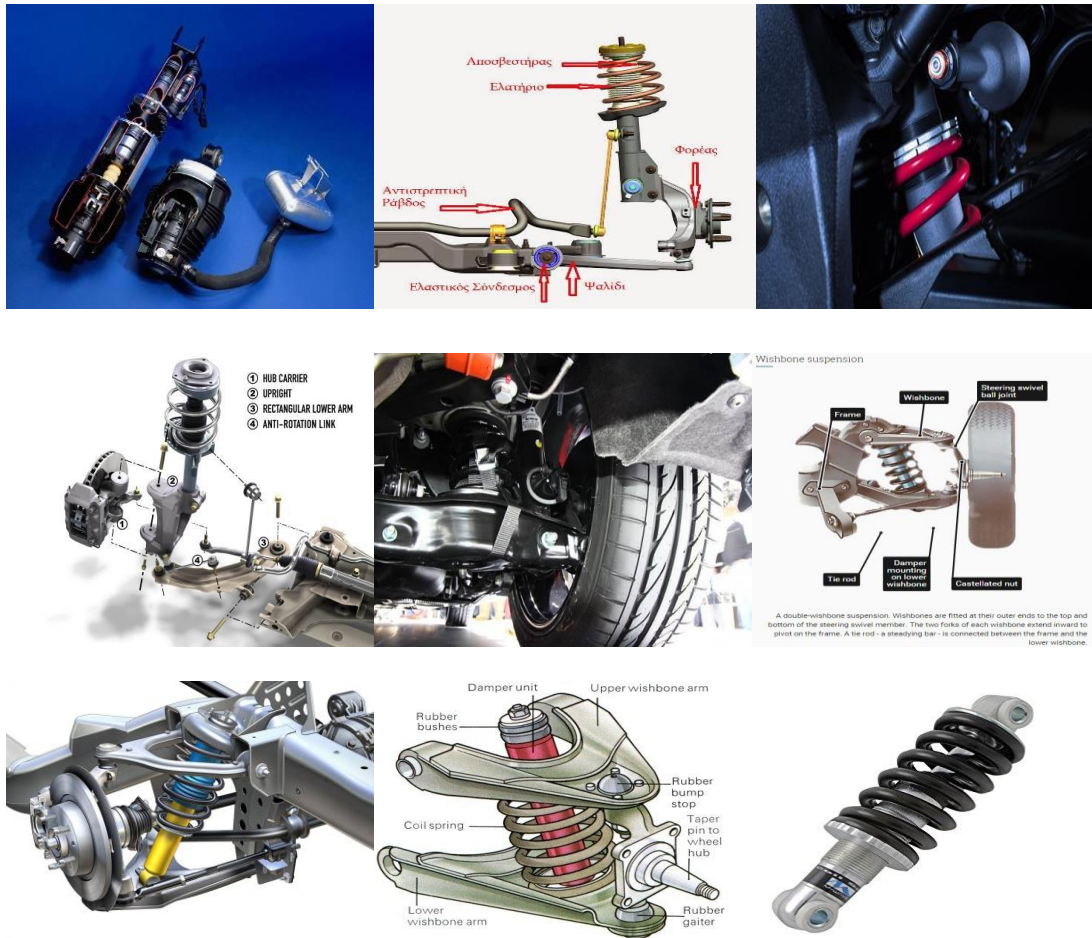
αμορτισέρ (shock absorber)

σούστες (sprays)

σύνδεσμοι (links)

απόσβεση (depreciation)





Βιβλιογραφία

Κεφάλαιο σε βιβλίο Today's Technician: Automotive Suspension & Steering, 5th EDITION, CLASSROOM Don Knowles. Medium/Heavy Duty Truck and Steering Suspension. New York: Delmar Cengage Learning, 1999. MANUAL – NATEF, Don Knowless.

Douglas W. Harwood, Darren J. Torbic, Karen R. Richard, William D. Glauz, Lily Eleftheriadou. Review of Truck Characteristics as Factors in Roadway Design. WASHINGTON D.C: NCHRP REPORT 505, 2003.

Πτυχιακή Εργασία του Κιουρκτσόγλου Κωνσταντίνου, φοιτητή του Τ.Ε.Ι. Καβάλας του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών με θέμα "Ανάρτηση τροχών και ελατήρια σε βαρέα οχήματα", κεφ. 1.4 – Δυναμική μεταφορά φορτίου σε επάλληλους άξονες (Δύναμη αξονικής μετάδοσης), Νοέμβριος 2012.

ΔΙΠΛ. ΕΡΓΑΣΙΑ φοιτητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα, Ιούλιος 2014. Παρ. 1.1.3 – Ελατήρια, σελ.8.

Πτυχιακή εργασία Κιουρκτσόγλου Κωνσταντίνος, Τμήμα Μηχανολογίας, Τομέας Ενέργειας και Περιβάλλοντος, "Ανάρτηση τροχών και ελατήρια σε βαρέα οχήματα", Καβάλα, Νοέμβριος 2012.

Διπλωματική Εργασία του φοιτητή Νικολάκη Νικόλαου του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών με θέμα: "ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΔΗΓΗΣΗ ΜΑΓΝΗΤΟΡΕΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ", Ιούλιος 2014, Ενότητες 1.2 και 1.3.

Φωτογραφικό υλικό από επίσκεψη σε Ι.Κ.Τ.Ε.Ο

Βιβλίο

Σημειώσεις από Εργαστήριο ΜΕΚ & Τεχνολογίας Αυτοκινήτου.

Σημειώσεις από το μάθημα "Εργαστήριο ΜΕΚ και Τεχνολογίας Αυτοκινήτου", ΜΕΚ I – Μέρος Α.

Σύγγραμμα από αγγλική βιβλιογραφία με τίτλο "An Introduction to Modern Vehicle Design, Edited by Julian Happian-Smith, PhD,msC, Btech, Cert Ed HE, MSAE.

Milliken, W. F. and Milliken, D. L. (1995). "Race car vehicle dynamics". Society of automotive engineers, inc., Warrendale, Pa. USA.

Σύγγραμμα από τις εκδόσεις "ΙΩΝ" – Αναρτήσεις και Συστήματα Διευθύνσεως, μετάφραση από την πρώτη έκδοση του συγγραφέα Don Knowles.

Wolfgang Matschinsky "Road vehicle suspensions". Translated and edited by Alan Baker. Professional Engineering Publishing.

Σύγγραμμα "Τεχνολογία Αυτοκινήτου 2", Συστήματα Αυτοκινήτου – 3^η ελληνική έκδοση, Σύστημα Ανάρτησης.

Σύγγραμμα "An introduction to Modern Vehicle Design", Julian Happian-Smith.

Σύγγραμμα Automotive Chassis: Brakes, Suspension, and Steering, Tim Gilles, Vice President, Technology and Trades SBU: Alar Elken, Editorial Director: Sandy Clark, NATEF EDITIONS, Santa Barbara City College, California, copywrite 2005.

Σημειώσεις εργαστηρίου "Οχήματα ΙΙ" – Συστήματα Ανάρτησης Οχημάτων, Καθ. Δρ. Καραογλανίδης Γεώργιος, Μηχανολόγος Μηχανικός.

CHRYSLER CO.: 1989 Dodge Sports Man Plymouth Voyager Vans and Front Sections, U.S.A. 1989.

ΚΟΥΖΕΛΗ, ΘΕΟΔ.Α. – ΠΑΝΑΓΙΩΤΙΔΗ, ΠΑΝ.Χ.: "Αυτοκίνητα και μηχανήματα τεχνικών έργων", Αθήνα 1985.

Σύγγραμμα "Τεχνολογία Αυτοκινήτου – Συστήματα Ανάρτησης", Σύγγραμμα από αγγλική βιβλιογραφία με τίτλο "An Introduction to Modern Vehicle Design, Edited by Julian Happian-Smith, PhD,msC, btECH, Cert Ed HE, MSAE.

CROUSE, WILLIAM H. – ANGLIN, DONALD L.: Automotive mechanics, New York 1985.

COGHLAN DAVID A.: Automotive chassis systems, California 1985.

A.A.D. Brown. Mechanical springs. Oxford: Oxford University Press, 1981.

Wolfgang Matschinsky "Road vehicle suspensions". Translated and edited by Alan Baker. Professional Engineering Publishing.

Don Knowles. Automotive Suspension and Steering Systems. 4th ed. New York: Delmar Cengage Learning, 2007. Master Thesis: "Chassis and suspension design FSRTE02" by A. van Berkum, Eindhoven March 2006. Heavy Duty Truck System, 5th Edition, Ian Andrew Norman, Sean (Sean Bennett) Bennett, Sean Bennett.

Don Knowles. Medium/Heavy Duty Truck and Steering Suspension. New York: Delmar Cengage Learning, 1999.

Σημειώσεις από το μάθημα "Δυναμικό Μοντέλο Ανάρτησης Ελαστικού", Τμήμα Μηχανολογίας - ΤΕΙ Πειραιά, Ιανουάριος 2012.

Carol Smith (1978) "Tune to win", Aero publishers, motorsports international, USA

Σύγγραμμα Γεωμετρία ανάρτησης" - Το κράτημα του δρόμου (4T 125, 2/1981), Συντάκτης: Κώστας Καβαθάς.

Milliken, W. F. and Milliken, D. L. (1995). "Race car vehicle dynamics". Society of automotive engineers, inc., Warrendale, Pa. USA.

Reimpell, J. and Stoll, H. (2001). "The automotive chassis: engineering principles", 2nd edition, Elsevier.

Σύγγραμμα "Τεχνολογία Αυτοκινήτου" πέρα από το 2000, 13^η έκδοση, Αθήνα 2015, κεφ.7 - Συστήματα Ανάρτησης.

Άρθρο σε επιστημονικό περιοδικό

Auto Express, τεύχος 4^ο – Συστήματα ανάρτησης, Απρίλιος 2005

Auto Τρίτη, τεύχος Απριλίου 2014.

Δημοσίευση άρθρου με τίτλο: "Μηχανισμός ασφάλισης για διαφορικό άξονα οδήγησης", SG Slesinski, BA Muselin - US Patent 5,342,255, 1994.

Περιοδικό Auto Τρίτη, τεύχος Απριλίου 2017.

Περιοδικό "Car and Driver", Nov. 2008.

Sports Car Market magazine - January 2009, Keith Martin's Guide to Collecting, Investing, Values and Trends.

Περιοδικό "Service" No. 22/1985, 24/1985, 51/1988, 58/1988.

Περιοδικό "4 Τροχοί" No 165/2004.

Περιοδικό "Truck Life", No 9/1998.

Περιοδικό "Car & Driver", τεύχος Ιούνιος 1998 – Συστήματα Ανάρτησης.

Περιοδικό Today's Technician: Automotive Suspension & Steering, 5th Edition, CLASSROOM MANUAL, Don Knowles.Society of Automotive Engineers. Spring Design Manual. Warrendale: SAE.Περιοδικό "4 ΤΡΟΧΟΙ", τεύχος Απριλίου 2006 – Αφιέρωμα στα συστήματα αναρτήσεων.Περιοδικό "2 ΤΡΟΧΟΙ", τεύχος Σεπτεμβρίου 2002.Δημοσίευση περιοδικού "motorsport", *Περί Αναρτήσεων* - τεύχος 9, 2004.Δημοσίευση περιοδικού "Moto Triti", τεύχος 6, 2014.Περιοδικό ""MOTOSPORT", τεύχος 6/2007.Περιοδικό motorsport, τεύχος 3, 2009.Περιοδικό auto Triti, 10^ο τεύχος, 1999.

Προσπέκτους

Αμορτισέρ *Monroe*

Ηλεκτρονικές πηγές

<http://www.bmwforum.gr/forum/showthread.php?t=13793>

https://www.google.gr/search?q=%CE%B5%CE%BB%CE%B1%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%B1+%CE%B1%CE%BD%CE%AC%CF%81%CF%84%CE%B7%CF%83%CE%B7%CF%82&dcr=0&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjomIP2mofXAhXBB5oKHWZrB2EQ7AkIaw&biw=1366&bih=658#imgrc=_

<https://www.google.gr/search?q=%CE%B5%CE%BB%CE%B1%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%B1&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiW4uLuqvzWAhVIuxQKHdfCABYQ7AkImgE&biw=1360&bih=662>

http://www.outbackcrossing.com.au/FourWheelDrive/Leaf_Springs_for_4WD.shtml

http://www.supermotors.net/clubs/fordexcursions/articles/article_1/index.php

<http://www.tractorglass.gr/language/el/products-2/amortiser-aeroelatiria/>
