

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΡΜΟΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΣΚΟΦΡΕΝΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:
Κοιλάκος Νικήτας

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:
Στέφανος Τσινόπουλος
Επίκουρος Καθηγητής

ΠΑΤΡΑ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας.

Στο πρώτο μέρος της περιγράφεται αναλυτικά ο τρόπος λειτουργίας των σύγχρονων φρένων οχημάτων και στο δεύτερο επιλύεται αριθμητικά, με τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων, ένα δισκόφρενο αυτοκινήτου. Είναι γνωστό ότι με την τριβή αναπτύσσεται θερμοκρασία. Η μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας στο φρένο δημιουργεί σοβαρά προβλήματα, όπως μείωση απόδοσης, στρεβλώσεις και ρηγματώσεις στο δίσκο ή/και καταστροφής της επιφανείας τριβής του φερμουίτ.

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Στέφανο Τσινόπουλο, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε για την πραγματοποίηση της Εργασίας.

Κοιλάκος Νικήτας
Δεκέμβριος 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία έχει ως αντικείμενο τα φρένα οχημάτων. Η αναγκαιότητα των φρένων είναι επιτακτική στην πλειοψηφία των μηχανών, οπότε και χρησιμοποιούνται πολλούς αιώνες τώρα. Ανεξαρτήτου τύπου, τα φρένα γενικά, βασίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας, δηλαδή στην μετατροπή της κινητικής ενέργειας, μέσω του έργου τριβής σε θερμική ενέργεια. Επομένως, ένα σημαντικό μειονέκτημα που ανακύπτει κατά τη λειτουργία τους είναι η ανάπτυξη θερμοκρασίας, η οποία με τη σειρά της δημιουργεί παραμορφώσεις και τάσεις. Ο κλάδος της μηχανικής που μελετά αυτού του είδους τα προβλήματα είναι αυτός της θερμοελαστικότητας.

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι, πρώτον να περιγράψει τους βασικούς τύπους των σύγχρονων φρένων που χρησιμοποιούνται στα οχήματα και δεύτερον να μελετήσει ένα τυπικό φρένο αυτοκινήτου (δισκόφρενο) με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε 4 κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο αναπτύσσεται το ιστορικό εξέλιξης των φρένων και εξηγείται η αρχή λειτουργίας των δισκοφρένων, ταμπούρων και ηλεκτρόφρενων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στα βοηθητικά συστήματα φρένων (ABS, ESP, TRACTION CONTROL, κτλ) και το πόσο απαραίτητα είναι στις μέρες μας, λόγω της γεωμετρικής αύξησης της κυκλοφορίας και των ταχυτήτων. Επιπλέον εξηγείται τι κάνει το κάθε σύστημα, γιατί το κάνει, ποια συστήματα συνεργάζονται μεταξύ τους για καλύτερη απόδοση, πότε πρέπει να τα χρησιμοποιούμε και πότε η απενεργοποίηση των βοηθητικών συστημάτων φρένου και ευστάθειας του αυτοκινήτου μπορεί να είναι χρήσιμη ή και απαραίτητη. Στο τέλος του κεφαλαίου εξηγείται η αρχή λειτουργία του κάθε συστήματος.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο σύστημα ανάκτησης ενέργειας μέσω της αναγεννητικής πέδησης. Αναφέρεται τι κάνει το σύστημα ανάκτησης ενέργειας. Επιπλέον αναφέρονται οι δύο βασικές διατάξεις αναγεννητικής πέδησης.

Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο της πτυχιακής εργασίας μελετάται ένα δισκόφρενο αυτοκινήτου με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Η επίλυση του προβλήματος γίνεται μέσω μη γραμμικής θερμοελαστικής ανάλυσης, λαμβάνοντας υπόψη στη μοντελοποίηση τον μηχανισμό της τριβής. Δεδομένα του προβλήματος είναι η πίεση πέδησης, ο χρόνος ακινητοποίησης, η αρχική ταχύτητα του οχήματος, οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών (συντελεστής θερμικής διαστολής, μέτρο ελαστικότητας και λόγος Poisson) και η γεωμετρία του φρένου. Τα μεγέθη που υπολογίζονται είναι η κατανομή θερμοκρασίας, παραμορφώσεων και τάσεων ως συναρτήσεις του χώρου και του χρόνου. Η επίλυση του προβλήματος γίνεται με τη χρήση του εμπορικού λογισμικού ANSYS WORKBENCH 14 trial version. Βάσει των αποτελεσμάτων, γίνονται προτάσεις για μείωση της θερμοκρασίας με στόχο την καλύτερη απόδοση. Όλα τα βήματα που απαιτούνται για την ανάπτυξη του μοντέλου (tutorial) παρουσιάζονται στο σχετικό παράρτημα.

Περιεχόμενα

1 ^ο Κεφάλαιο Σύστημα Πέδησης.....	1
1.1 Σκοπός τους συστήματος πέδησης.....	1
1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την πέδηση-επιβράδυνση.....	2
1.3 Συστήματα πέδησης.....	3
1.3.1 Μηχανικά φρένα.....	3
1.3.2 Υδραυλικά φρένα.....	5
1.3.3 Αερόφρενα (πνευματικά).....	9
1.3.4 Ηλεκτρόφρενα.....	14
1.4 Μηχανισμοί φρένων.....	16
1.4.1 Δισκόφρενα.....	16
1.4.2 Τύμπανα με σιαγόνες (ταμπούρα).....	19
2 ^ο Κεφάλαιο Βοηθητικά συστήματα φρένων.....	23
2.1 Σύστημα αντιμπλοκαρίσματος των τροχών (ABS).....	23
2.2 Σύστημα ελέγχου πρόσφυσης (Traction control ή ASR).....	28
2.3 Ηλεκτρονικός έλεγχος ευστάθειας (ESC).....	29
2.4 Σύστημα ηλεκτρονικής κατανομής πέδησης (EBD).....	30
2.5 Σύστημα υποβοήθησης πέδησης (Brake Assist).....	31
2.6 Ενεργό σύστημα προστασίας ανατροπής (ARP).....	32
2.7 Σύστημα ελέγχου κατάβασης (DSC).....	33
2.8 Σύστημα εκκίνησης σε δρόμο με κλίση (Hill Holder).....	34
2.9 Σεβρόφρενο.....	34
3 ^ο Κεφάλαιο Σύστημα ανάκτησης ενέργειας από τη πέδηση.....	37
3.1 Διατάξεις.....	38
3.1.1 Πέδηση σε σειρά για βέλτιστη αίσθηση.....	38

3.1.2 Παράλληλη πέδηση.....	39
3.2 Κατανάλωση ενέργειας κατά την πέδηση.....	40
4 ^ο Κεφάλαιο Επίλυση δισκόφρενου αυτοκινήτου με τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων.....	43
4.1 Γενικά.....	43
4.2 Υπολογισμός της πίεσης πέδησης.....	46
4.3 Υπολογισμός του χρόνου πέδησης για πλήρη ακινητοποίηση.....	49
4.4 Υπολογισμός του χρόνου πέδησης συναρτήση του διαστήματος.....	50
4.5 Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων.....	53
4.6 Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.....	54
Παράρτημα.....	57
Βιβλιογραφία.....	85

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΔΗΣΗΣ

1.1 Σκοπός του συστήματος πέδησης.

Σκοπός του συστήματος πέδησης είναι η ελεγχόμενη ακινητοποίηση του οχήματος από τον οδηγό, ανεξάρτητα από την κλίση του δρόμου, την ταχύτητα του οχήματος και το φορτίο του. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος πέδησης βασίζεται στην τριβή. Το σύστημα πέδησης αποτελείται από κινούμενα και σταθερά μέρη. Στα σταθερά μέρη ανήκουν όσα είναι σταθερά συνδεδεμένα με τα ακίνητα μέρη των αξόνων του οχήματος, ενώ στα κινούμενα όσα περιστρέφονται π.χ. ο δίσκος. Για να ακινητοποιηθεί ένα όχημα θα πρέπει να εξουδετερωθεί η κινητική ενέργεια, αυτό επιτυγχάνεται μέσω του συστήματος πέδησης. Όταν τα σταθερά σημεία του συστήματος πέδησης πιεσθούν με αρκετά μεγάλη δύναμη (ανάλογα το όχημα), στις επιφάνειες τριβής (τακάκια-δίσκος) αναπτύσσεται τριβή η οποία εξουδετερώνει την κινητική ενέργεια. Λόγω της τριβής αναπτύσσεται θερμοκρασία η οποία απάγεται στο περιβάλλον. Η δύναμη πέδησης, δηλαδή η δύναμη που πιέζει τα σταθερά μέρη του συστήματος πέδησης πάνω στα κινητά, είναι αυτή που καταβάλλει ο οδηγός με το πόδι του ή το χέρι του, δηλαδή από το πεντάλ ή τη μανέτα ή ακόμα και τον μοχλό του χειρόφρενου. Όταν η δύναμη πέδησης μεταφέρεται με μηχανικά συστήματα (ντίζες, μοχλοί) το σύστημα ονομάζεται μηχανικό, όταν μεταφέρεται μέσω υδραυλικού κυκλώματος (σωληνάκια κτλ.) τότε το σύστημα ονομάζεται υδραυλικό και όταν ένα υδραυλικό σύστημα έχει μονάδες ηλεκτρονικά ελεγχόμενες για αντιμπλοκάρισμα τροχών και έλεγχο ευστάθειας τότε είναι υδραυλικό ηλεκτρονικά ελεγχόμενο. Στα περισσότερα είδη οχημάτων λόγω του μεγάλου τους βάρους η δύναμη που ασκεί ο οδηγός δεν αρκεί, οπότε αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιούνται συστήματα ενίσχυσης της δύναμης. Τα συστήματα αυτά, βοηθητικά όπως ονομάζονται ενισχύουν το υδραυλικό σύστημα πέδησης με την εκμετάλλευση του κενού του κινητήρα είτε με πεπιεσμένο αέρα οπότε το έργο του οδηγού περιορίζεται στην καταβολή μικρής προσπάθειας.

1.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΕΔΗΣΗ-ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την επιβράδυνση είναι τέσσερις (4) και η σημασία που έχουν είναι η ίδια για όλους καθώς συμπληρώνουν ένα πάζλ ασφαλούς πέδησης Έστω και ένα ένα κομμάτι του παζλ αν λείψει, χάνεται η ασφάλεια. Οι παράγοντες αυτοί είναι:

A) Ο *συντελεστής τριβής*, ο οποίος είναι το ένα από τα δύο στοιχεία του τύπου που μας δίνει την δύναμη τριβής μέσω του νόμου: $T = F * \mu$ (όπου T -τριβή, F -δύναμη, μ -συντελεστής τριβής). Ο συντελεστής τριβής εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες, όπως η κατάσταση του οδοστρώματος, τα ελαστικά, από το βαθμό επαφής των ελαστικών με το οδόστρωμα, εξωτερικές συνθήκες (βροχή, θερμοκρασία) καθώς και από την κλίση και την ταχύτητα του οχήματος.

B) Η *θερμοκρασία των επιφανειών τριβής κατά την πέδηση*. Αν υπάρχουν προβλήματα και δεν απάγεται η αναπτυσσόμενη θερμότητα από τις επιφάνειες τριβής έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας με αποτέλεσμα την μείωση του συντελεστή τριβής, οπότε μειώνεται και η αποτελεσματικότητα του φρεναρίσματος. Είναι σύνηθες κάτω από τέτοιες συνθήκες να παρουσιάζεται ολίσθηση κατά το φρενάρισμα, γνωστό ως φαινόμενο Fading και το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την κόπωση λόγω υπερθέρμανσης του υλικού τριβής οπότε και η απόσταση ακινητοποιήσεως αυξάνεται.

Γ) *Μη προβλεπόμενη κατάσταση του συστήματος πέδησης*. Τα πολλά προβλήματα που απασχολούν σήμερα ένα άνθρωπο τον κάνουν άθελα του να παραμελεί κάποια πράγματα. Ένα σύνηθες είναι η συντήρηση του αυτοκινήτου και ως εκ τούτου και του συστήματος πέδησης. Παρότι είναι κάτι το βασικό για τη λειτουργικότητα και ασφάλεια του οχήματος έχει παρατηρηθεί ότι αρκετά οχήματα δεν έχουν σύστημα πέδησης συντηρημένο με σωστά ανταλλακτικά και όταν πρέπει. Αν το σύστημα πέδησης δεν είναι λειτουργικό σε ποσοστό στο 100%, τότε η ασφάλεια και η λειτουργικότητα είναι μειωμένες ανάλογα με την κατάσταση, μεγαλώνει η απόσταση ακινητοποίησης και ενδέχεται να υπάρχει και φαινόμενο Fading.

Δ) Το *μπλοκάρισμα των τροχών* είναι ο τελευταίος παράγοντας. Είναι ένα φαινόμενο που συνήθως προκαλείται από τους οδηγούς. Όταν μπλοκάρουν οι τροχοί το όχημα αρχίζει και ολισθαίνει, μειώνεται δραματικά ο συντελεστής τριβής ολίσθησης λόγω της ραγδαίας ανόδου θερμοκρασίας τοπικά στο ελαστικό όπου έρχεται σε επαφή με την άσφαλτο και ως αποτέλεσμα έχουμε δύο πολύ αρνητικές συνέπειες. Πρώτον, η απόσταση ακινητοποίησης του οχήματος μεγαλώνει πολύ και δεύτερον, και πιο

σημαντική, δεν υπάρχει έλεγχος της κατευθυντικότητας του οχήματος με αποτέλεσμα το όχημα να κινείται ανεξέλεγκτα και να υπάρχει κίνδυνος ατυχήματος και σωματικών βλαβών. Βέβαια, πλέον υπάρχουν νόμοι που καθιστούν συστήματα αντιμπλοκαρίσματος και ευστάθειας υποχρεωτικά σε ορισμένες κατηγορίες οχημάτων οπότε και μειώνονται οι πιθανότητες ατυχημάτων.

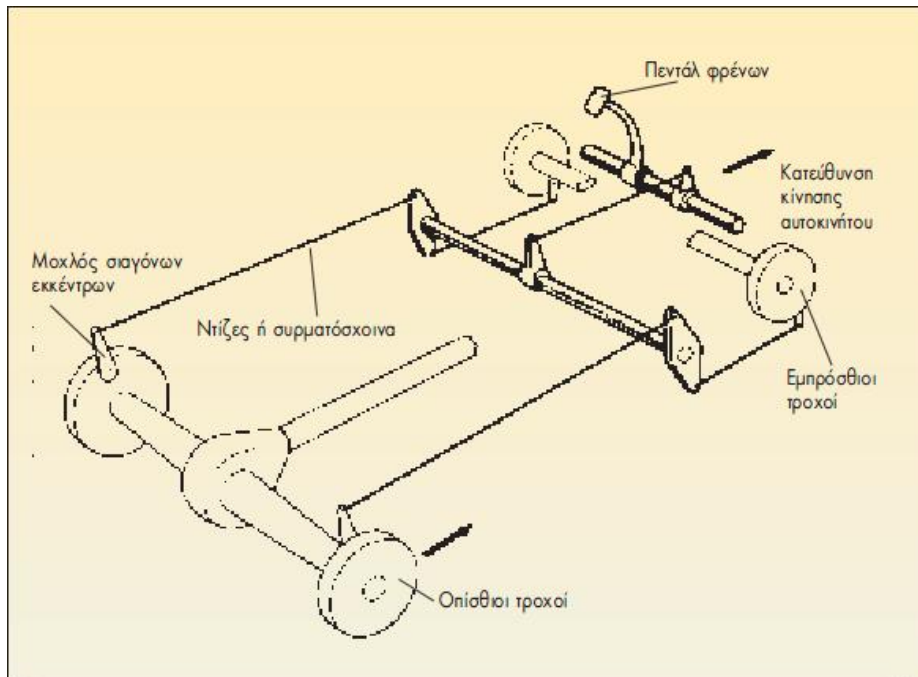
Οι παραπάνω παράγοντες είναι μεταβλητοί και θέλουν προσοχή από τον οδηγό. Εκτός αυτών πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και άλλοι, όπως τι τύπο οχήματος οδηγούμε, το βάρος του και την παλαιότητά του, κα.

1.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΔΗΣΗΣ

1.3.1 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΦΡΕΝΑ

Γενικά

Στα μηχανικά φρένα η δύναμη πέδησης που ασκείται από τον οδηγό περνάει στο εκάστοτε φρένο μηχανικά, δηλαδή μέσω συστημάτων που αποτελούνται από μοχλούς και ντίζες. Τα μηχανικά φρένα ήταν τα πρώτα που χρησιμοποιήθηκαν, από τα πρώτα τροχοφόρα. Μέχρι και τα πρώτα οχήματα οι διατάξεις των φρένων χρησιμοποιούσαν ντίζες και μοχλούς. Πλέον τα μηχανικά φρένα δεν χρησιμοποιούνται ως κύρια συστήματα, εκτός των μοτοσικλετών χαμηλού κυβισμού, αλλά ως φρένα στάθμευσης σε αυτοκίνητα και μικρά φορτηγά. Κυρίως τα συναντάμε σε ποδήλατα. Το σχήμα 1.1 μας δείχνει μία τυπική διάταξη μηχανικού κυκλώματος φρένων σε αυτοκίνητο.



Σχήμα 1.1 Τυπική διάταξη μηχανικού κυκλώματος φρένων σε αυτοκίνητο.

Σκοπός ενός μηχανικού συστήματος πέδησης

Ο σκοπός ενός συστήματος πέδησης είναι να επιβραδύνει το όχημα ανεξάρτητα από το τι κύκλωμα έχει. Παρόλα αυτά υπάρχει και ένας δευτερεύον σκοπός που είναι το κόστος του συστήματος. Οπότε βλέπουμε ότι ένα μηχανικό σύστημα πέδησης έχει ως σκοπό να εξασφαλίζει μία ικανοποιητική δύναμη πέδησης με χαμηλό κόστος κατασκευής, για ένα όχημα με μέτριες απαιτήσεις.

Εξαρτήματα μηχανικών συστημάτων φρένων

Τα μηχανικά συστήματα φρένων δεν είναι πολύπλοκα και αποτελούνται συνήθως από μοχλούς και ντίζες. Η δύναμη πέδησης που ασκεί ο οδηγός δεν αυξάνεται από κάποιο βοηθητικό σύστημα, ούτε πολλαπλασιάζεται λόγω κάποιας ιδιότητας του υλικού, όπως για παράδειγμα στα υδραυλικά κυκλώματα όπου η πίεση μεταδίδεται ομοιόμορφα σε όλα τα σημεία. Οπότε στο κύκλωμα δεν υπάρχει βοηθητικό σύστημα ενίσχυσης της δύναμης πέδησης. Στα μηχανικά κυκλώματα είναι πολύ απλή η λειτουργία αλλά είναι και μικρές οι δυνατότητες. Τα εξαρτήματα που περιλαμβάνει ένα μηχανικό κύκλωμα είναι:

- 1) *Μοχλοί*: Συνήθως είναι από χάλυβα και στις άκρες έχουν αρθρωτή σύνδεση. Παραδείγματα μοχλών είναι η χειρολαβή του χειρόφρενου και ο τελευταίος άξονας όπου γυρίζει το έκκεντρο για να φρενάρουν οι σιαγόνες.

- 2) *Ντίζες*: Άλλοτε είναι ελαστικές, άλλοτε από συρματόσχοινο (ατσαλίνα) ή μπορεί να είναι άκαμπτες από χάλυβα (πολύ λεπτοί μοχλοί). Συνήθως είναι το συνδετικό μέσο της χειρολαβής του χειρόφρενου με το μοχλό που γυρίζει το έκκεντρο.

Αρχή λειτουργίας μηχανικού κυκλώματος πέδησης

Η αρχή λειτουργίας των μηχανικών κυκλωμάτων πέδησης είναι καθαρά μηχανική για αυτό άλλωστε ονομάζονται μηχανικά κυκλώματα. Ένα μηχανικό κύκλωμα είναι και το χειρόφρενο των αυτοκινήτων του οποίου θα αναλύσουμε την αρχή λειτουργίας. Ο οδηγός θέλοντας να σταθμεύσει το όχημα σηκώνει την χειρολαβή (μοχλός) του χειρόφρενου. Η χειρολαβή στο πίσω της άκρο είναι συνδεδεμένη με δύο ντίζες, μία για κάθε οπίσθιο τροχό. Οι ντίζες είναι στερεωμένες στο πάτωμα του αυτοκινήτου κατά μήκος του και καταλήγουν στο μοχλό μέσα στο ταμπούρο ή στην δαγκάνα. Σηκώνοντας την χειρολαβή οι ντίζες κινούνται προς το μπροστινό μέρος του αυτοκινήτου και με αυτό τον τρόπο τραβάνε τον μοχλό ή κλείνουν την δαγκάνα και έτσι επιτυγχάνεται το επιθυμητό μπλοκάρισμα των τροχών.

1.3.2 ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΦΡΕΝΑ

Γενικά

Η ανάγκη καλύτερης πέδησης λόγω της συνεχούς αύξησης στην ταχύτητα των οχημάτων, ανάγκασε στη δημιουργία και εξέλιξη ενός συστήματος πέδησης το οποίο θα είχε καλύτερη απόδοση και αίσθηση φρεναρίσματος από μία απλή διάταξη με ντίζες και μοχλούς. Το 1921 πρωτοεμφανίστηκε το υδραυλικό σύστημα πέδησης, το οποίο τότε είχε ταμπούρα. Τα γνωστά μας σήμερα δισκόφρενα χρησιμοποιήθηκαν αρκετά χρόνια αργότερα. Τα πρώτα συστήματα χρησιμοποιούσαν νερό κάτι που αποδείχθηκε μη ικανοποιητικό, λόγω των ιδιοτήτων του νερού. Σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες το νερό πάγωνε και δεν υπήρχε πέδηση. Με τα χρόνια εξελίχθηκαν τα υγρά φρένων τα οποία πλέον διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με το όχημα και τις απαιτήσεις. Τα υγρά φρένων έχουν ιδιότητες ώστε να κρατούν τα χαρακτηριστικά τους (ιξώδες κτλ.) σε μεγάλο φάσμα θερμοκρασιών. Η καλή κατάσταση των υγρών είναι καταλυτική για την σωστή λειτουργία του συστήματος.

Σκοπός

Πλέον η εξέλιξη των οχημάτων είναι τόσο μεγάλη που τα μηχανικά κυκλώματα πέδησης έχουν περιορισμένες εφαρμογές. Τα υδραυλικά φρένα λόγω των ιδιοτήτων

τους έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο, και σαν σκοπό έχουν την πολύ καλή ποιότητα πέδησης με σχετικά χαμηλό κόστος.

Εξαρτήματα που αποτελούν ένα υδραυλικό σύστημα πέδησης

Ένα κοινό κύκλωμα υδραυλικού συστήματος πέδησης αυτοκινήτου με ABS είναι ηλεκτρονικά ελεγχόμενο και αποτελείται από τα εξής :

1) *Δοχείο υγρού φρένων*: Πλαστικό διαφανές δοχείο για την αποθήκευση και έλεγχο των υγρών φρένων, τοποθετείται πάνω στην αντλία των φρένων.

2) *Βαλβίδα στάθμης υγρών φρένου*: Είναι τοποθετημένη στο καπάκι του δοχείου υγρού φρένων και ελέγχει την στάθμη για τυχόν διαρροές στο σύστημα. Αν η στάθμη είναι κάτω του επιτρεπτού ανάβει η λυχνία των υγρών στο ταμπλό του αυτοκινήτου. Ενδέχεται η στάθμη να είναι χαμηλά λόγω φθοράς των φρένων (τακάκια, φερμουίτ)

3) *Αντλία φρένου*: Είναι η αντλία που συνεργάζεται με το πεντάλ του φρένου και ασκεί πίεση στο κύκλωμα είναι τοποθετημένη πάνω στο σεβρόφρενο.

4) *Σεβρόφρενο*: Είναι ένας σερβομηχανισμός (σύστημα κυλίνδρου-εμβόλου) όπου εκμεταλλευόμενος την υποπίεση του κινητήρα προσθέτει επιπλέον πίεση στο πάτημα του πεντάλ από τον οδηγό και κάνει το φρενάρισμα ευκολότερο και πιο αποτελεσματικό.

5) *Σωληνώσεις*: Υπάρχουν δύο ειδών σωληνώσεις στο κύκλωμα. Οι σταθερές που είναι χαλύβδινες, τοποθετημένες κατά μήκος του πατώματος του αμαξώματος, ενώνουν την αντλία με την μονάδα ABS και καταλήγουν σε ένα σημείο κοντά στα φρένα για να συνδεθούν με τις ελαστικές. Οι δεύτερες είναι ελαστικές με μεταλλική επένδυση και ενώνουν τα φρένα με το σταθερό κύκλωμα του αμαξώματος. Η διάταξη που μπορεί να υπάρχει σε ένα αμάξωμα διαφέρει ανάλογα με τον κατασκευαστή και τα φρένα του αυτοκινήτου. Οι πιο γνωστές διατάξεις είναι τέσσερις (4). Η πρώτη είναι η T-Τα, όπου υπάρχουν δύο κυκλώματα ένα για τους εμπρόσθιους τροχούς και ένα για τους οπίσθιους. Η δεύτερη είναι η X (χιαστή), όπου τα κυκλώματα είναι δύο διαγώνια και το κάθε κύκλωμα έχει έναν εμπρόσθιο και ένα οπίσθιο τροχό αντίθετης μεριάς. Η τρίτη διάταξη ονομάζεται L-L και έχει δύο κυκλώματα από τα οποία το κάθε ένα τροφοδοτεί με υγρά τους εμπρός τροχούς και ένα από τους πίσω. Αυτό το κύκλωμα χρησιμοποιείται όταν τα εμπρόσθια φρένα έχουν δύο έμβολα (ή ζεύγη εμβόλων) ανά δαγκάνα. Τέλος, το τέταρτο είναι διάταξης H-H όπου υπάρχουν δύο κυκλώματα για όλους τους τροχούς και χρησιμοποιείται όταν υπάρχουν δύο έμβολα (ή ζεύγη εμβόλων) ανά δαγκάνα σε όλους τους τροχούς. Η χρήση δύο κυκλωμάτων είναι επιτακτική για λόγους ασφαλείας, καθώς αν υπάρξει διαρροή στο κύκλωμα χάνεται η δυνατότητα πέδησης σε όλους τους τροχούς του κυκλώματος. Έτσι, με τα

δύο κυκλώματα και διαρροή να υπάρξει στο ένα, υπάρχει δυνατότητα πέδησης έκτακτης ανάγκης.

6) *Κατανεμητής*: Είναι βαλβίδα που ελαττώνει την πίεση στους οπίσθιους τροχούς κατά την μετακίνηση του οριζόντιου άξονα του αμαξώματος για ασφαλέστερο φρενάρισμα. Είναι τοποθετημένη στον πίσω άξονα του αυτοκινήτου. Όταν φρενάρει ένα αυτοκίνητο, το εμπρός μέρος του λόγω αδράνειας τείνει να βουλιάξει αλλάζοντας την οριζοντίωση του. Επομένως αλλάζει και το κέντρο βάρους με αποτέλεσμα οι εμπρόσθιοι τροχοί να έχουν μεγαλύτερο φορτίο και οι οπίσθιοι μικρότερο. Αν ο κατανεμητής δεν μειώσει την πίεση στους οπίσθιους τροχούς εκείνοι θα μπλοκάρουν πρώτοι, με κίνδυνο την ανεπιθύμητη-ανεξέλεγκτη (τετ α κε) περιστροφή του αυτοκινήτου.

7) *Μονάδα ABS*: Είναι ένα στιβαρό αντικείμενο, συνήθως το σχήμα του είναι ορθογώνιο, και τοποθετείται κοντά στην αντλία φρένου. Είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του ABS καθώς περιέχει μέσα του τον εγκέφαλο του ABS και τις βαλβίδες πίεσης. Ενώνεται με το κύκλωμα μέσω των σωληνώσεων.

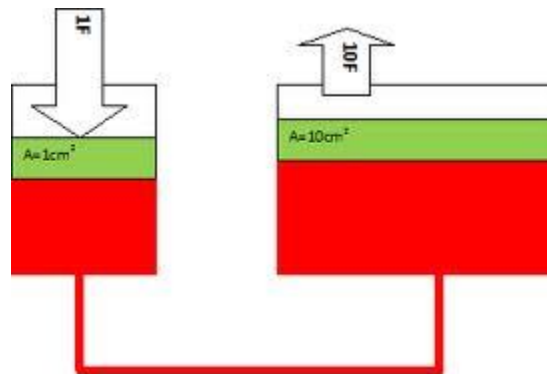
8) *Αισθητήρες ABS*: Υπάρχουν σε όλους τους τροχούς και ελέγχουν τον ρυθμό περιστροφής του τροχού. Είναι μαγνητικές βαλβίδες όπου συνεργάζονται (παρατηρούν) με ένα μεταλλικό δίσκο με εγκοπές. Λόγω των εγκοπών το σήμα που στέλνει η βαλβίδα στον εγκέφαλο έχει ένα μέγιστο και ένα ελάχιστο. Οι εναλλαγές των σημάτων γίνονται με κάποια συχνότητα βάση της ταχύτητας του τροχού. Αν αυτή η συχνότητα μικραίνει πολύ σημαίνει ότι ο τροχός τείνει να μπλοκάρει και ενεργοποιείται το ABS. Πρέπει να σημειωθεί ότι το ABS δεν λειτουργεί κάτω από μία συγκεκριμένη ταχύτητα, περίπου 20-25 km/h.

9) *Μεταλλικοί δίσκοι ABS*: Σκοπός τους είναι να έχουν ίδιο ρυθμό περιστροφής με τον τροχό, για αυτό είναι τοποθετημένοι πάνω στο περιστρεφόμενο μέρος του άξονα. Συνήθως είναι από κράμα αλουμινίου για μείωση του βάρους και έχουν μικρή διάμετρο.

10) *Υγρά φρένων*: Είναι υγρά τα οποία υπάρχουν μέσα στο κύκλωμα φρένων με σκοπό την μεταφορά της πίεσης. Έχουν βάση τη γλυκόλη και βασικά χαρακτηριστικά τους είναι το χαμηλό σημείο πήξης, το υψηλό σημείο ζέσης, η ελάχιστη συμπιεστότητα και η ουδέτερη συμπεριφορά στον σίδηρο και το ελαστικό ώστε να μην υπάρχουν διαβρώσεις στο κύκλωμα. Ανάλογα με το υδραυλικό κύκλωμα υπάρχουν υγρά με διάφορες προδιαγραφές. Αν στο κύκλωμα υπάρχουν μόνο ταμπούρα χρησιμοποιείται υγρό με προδιαγραφή DOT 3, ενώ αν υπάρχουν και ή μόνο δισκόφρενα με DOT 4. (DOT=DIPARTMENT OF TRANSPORTATION-ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΑΜΕΡΙΚΗΣ)

Αρχή λειτουργίας

Τα υδραυλικά φρένα στηρίζουν την λειτουργία τους στον νόμο του Pascal. Είναι γνωστό ότι η πίεση μέσα σε ένα υγρό μεταδίδεται εξίσου σε όλα τα σημεία της επιφάνειάς του.



Σχήμα 1.2 Συγκοινωνούντα δοχεία με διαφορετικές διαμέτρους

Το σχήμα 1.2 περιλαμβάνει δύο συγκοινωνούντα δοχεία με επιφάνειες $A = 1\text{cm}^2$ και $A = 10\text{cm}^2$, αντίστοιχα. Το κάθε δοχείο έχει ένα έμβολο. Έστω ότι ασκούμε μία δύναμη $F = 1\text{N}$ στο έμβολο του μικρού δοχείου. Αν υπολογίσουμε την τάση στο πρώτο δοχείο θα ξέρουμε και την τάση στο δεύτερο, οπότε μπορούμε να υπολογίσουμε την δύναμη και στο δεύτερο δοχείο. Στο πίνακα 1.1 φαίνονται τα δεδομένα και την λύση του παραδείγματος.

Πίνακας 1.1 Δεδομένα και η λύση παραδείγματος.

Δοχεία	Επιφάνεια Δοχείων (cm^2)	Δύναμη (N)	Τάση (N/cm^2)
Μικρό	1	1	1
Μεγάλο	10	10	1

Η δύναμη που ασκείται στο μικρό έμβολο είναι μόλις 1 N. Η πίεση που δημιουργείται, λόγω της δύναμης, μεταφέρεται αναλλοίωτη στην επιφάνεια του μεγάλου εμβόλου, αλλά λόγω της δέκα φορές μεγαλύτερης επιφάνειας στο μεγάλο έμβολο η δύναμη μεγαλώνει δέκα φορές και γίνεται 10 N ώστε η πίεση να παραμείνει ίδια 1 N/cm^2 . Με αυτό τον απλό τρόπο επιτυγχάνεται η αύξηση της δύναμης πέδησης του οδηγού. Όμως σε ορισμένες περιπτώσεις δεν είναι αρκετή και χρησιμοποιούνται και άλλα συστήματα όπως θα δούμε παρακάτω. Για να ξεκινήσει το όχημα να φρενάρει, ο οδηγός πρέπει να πατήσει το πεντάλ ή την μανέτα του φρένου. Όταν το κάνει αυτό δημιουργεί πίεση μέσα στο υδραυλικό κύκλωμα, το πεντάλ ή η μανέτα είναι συνδεδεμένα με μία αντλία φρένου (Σχήμα 1.2 και 1.3).



Σχήμα 1.2 Αντλία φρένου αυτοκινήτου. **Σχήμα 1.3** Αντλία φρένου μοτοσυκλέτας με την μανέτα πίεσης.

Για να λειτουργήσει το σύστημα πέδησης, πρέπει να ασκηθεί πίεση στο πεντάλ του φρένου το οποίο συνεργάζεται με την αντλία φρένων και δημιουργεί πίεση στο κύκλωμα. Η πίεση πολλαπλασιάζεται λόγω του νόμου των ρευστών αλλά δέχεται και επιπλέον δύναμη από το σεβρόφρενο. Έτσι η πίεση είναι αρκετή για να πραγματοποιηθεί ικανοποιητική πέδηση. Από την αντλία μέσω των σωληνώσεων του κάθε κυκλώματος μοιράζεται η πίεση στους τροχούς. Για τους πίσω τροχούς οι σωληνώσεις περνάνε πρώτα από τον κατανεμητή και αν το αμάξωμα έχει κλίση προς τα εμπρός μειώνει την πίεση στους οπίσθιους τροχούς ώστε η μπροστά δύναμη πέδησης να είναι μεγαλύτερη καθώς το κέντρο βάρους είναι προς το εμπρόσθιο μέρος του αυτοκινήτου. Παρόλο που η λειτουργία του κυκλώματος είναι σχετικά απλή, γίνεται πιο σύνθετη όταν λόγω κακής πρόσφυσης ή απότομου φρεναρίσματος οι τροχοί τείνουν να μπλοκάρουν. Σε αυτή την περίπτωση παρεμβαίνει το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος των τροχών (ABS), ώστε να επιτευχθεί ομαλό και κατευθυνόμενο φρενάρισμα. Η λειτουργία του συστήματος αντιμπλοκαρίσματος των τροχών (ABS) θα αναλυθεί στο κεφάλαιο 2 μαζί με τα υπόλοιπα βοηθητικά συστήματα ευστάθειας του αυτοκινήτου.

1.3.3 ΑΕΡΟΦΡΕΝΑ (ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΑ)

Γενικά

Υπάρχουν οχήματα στα οποία, λόγω του μεγάλου τους βάρους τους, δεν είναι αρκετό το φρενάρισμα μόνο με την δύναμη του οδηγού, έστω και αν αυτό ενισχύεται από το σύστημα κενού του κινητήρα (σεβρόφρενο). Τέτοια οχήματα είναι λεωφορεία, φορτηγά, αρθρωτά οχήματα κτλ. Σε αυτά τα οχήματα χρησιμοποιούνται φρένα με πεπιεσμένο αέρα.

Σκοπός

Τα αερόφρενα εφαρμόζουν μία πέδη με προοδευτική επίδραση. Η πέδη αυτή επενεργεί σε όλους του τροχούς του οχήματος και μοιράζεται στους τροχούς μέσω δύο ανεξάρτητων κυκλωμάτων σε κάθε άξονα (πρόσθιο και οπίσθιο). Ενδέχεται η διάταξη των αξόνων να είναι και διαγώνια ανάλογα με τον κατασκευαστή. Το κάθε κύκλωμα έχει το δικό του αεροφυλάκιο και αν υπάρχει ρυμουλκούμενο όχημα έχει τρίτο ξεχωριστό δικό του. Η ενεργοποίηση της πέδησης γίνεται από το πεντάλ του φρένου. Όταν ο οδηγός ασκεί πίεση στο πεντάλ του φρένου δημιουργείται μία προοδευτικά αυξανόμενη δύναμη πέδησης στους τροχούς.

Εξαρτήματα συστημάτων αερόφρενων (Πνευματικά)

Τα παρακάτω εξαρτήματα αποτελούν ένα σύστημα πνευματικών φρένων:

1) *Αεροσυμπιεστής*: Είναι μονοκύλινδρος ή δίκυλινδρος συνήθως αερόψυκτος και δέχεται κίνηση από τον κινητήρα του οχήματος μέσω τροχαλιών και ιμάντα ή από τον εκκεντροφόρο μέσω γραναζιών. Τα σημαντικά τεχνικά χαρακτηριστικά των αεροσυμπιεστών είναι τα κυβικά του κινητήρα τους (όγκος εμβολισμού), ο ρυθμός περιστροφής, η μέγιστη παροχή αέρα και η σχέση συμπίεσης.

2) *Σωληνώσεις πεπιεσμένου αέρα*: Οι σωληνώσεις του κυκλώματος μοιάζουν με τις σωληνώσεις ενός υδραυλικού κυκλώματος. Υπάρχουν οι χαλύβδινες σωληνώσεις όπου είναι σταθερές πάνω στο πάτωμα του οχήματος και φτάνουν μέχρι ένα σημείο κοντά στα φρένα. Από εκείνο το σημείο για να γίνει η επαφή του κυκλώματος με τα φρένα χρειάζεται ευλυγισία του κυκλώματος. Για αυτό το λόγο οι σωληνώσεις είναι ελαστικές με μεταλλική επένδυση (μαρκούτσια). Αν υπάρχει ρυμουλκούμενο όχημα, τότε οι σωληνώσεις από το ρυμουλκό όχημα προς το ρυμουλκούμενο είναι ελαστικές με κατάλληλη ενίσχυση, ώστε να διευκολύνεται το ρυμουλκό όχημα ως προς τους ελιγμούς.

3) *Φίλτρο-ξηραντής πεπιεσμένου αέρα*: Όταν ο αεροσυμπιεστής πιέζει τον αέρα στο αεροφυλάκιο, ο αέρας παρασέρνει μαζί του σταγόνες νερού και λαδιών. Για αυτό το λόγο έχει τοποθετηθεί φίλτρο αέρα ανάμεσα στον αεροσυμπιεστή και το αεροφυλάκιο. Τα μη θεμιτά υλικά, που περιέχονται στον αέρα που προορίζεται για το αεροφυλάκιο, συγκεντρώνονται στο κάτω μέρος του φίλτρου.

4) *Ρυθμιστής πίεσης παροχής πεπιεσμένου αέρα:* Όταν έχουμε ένα κλειστό δοχείο (αεροφυλάκιο) και του εισάγουμε αέρα (μέσω αεροσυμπιεστή) τότε μέσα στο δοχείο δημιουργείται πίεση. Αν η πίεση αυξάνεται αυθαίρετα χωρίς έλεγχο τότε θα υπάρξουν προβλήματα αντοχής στο δοχείο. Ο ρυθμιστής πίεσης κάνει ελέγχει την πίεση και είναι ρυθμισμένος να κρατάει την πίεση μέσα στο αεροφυλάκιο ανάμεσα σε ένα επιτρεπτό φάσμα τιμών, μία μέγιστη και μία ελάχιστη. Όταν η πίεση του αεροφυλακίου ξεπεράσει τη μέγιστη τιμή τότε ο ρυθμιστής διοχετεύει τον αέρα στο περιβάλλον. Αντίθετα, όταν η πίεση στο αεροφυλάκιο είναι κάτω της ελάχιστης τότε επιτρέπει στον αέρα και περνάει στο αεροφυλάκιο ώστε να ανεβεί η πίεση.

5) *Συσκευή έγχυσης αντιπηκτικού υγρού:* Όπως αναφέρθηκε, ανάμεσα στον αεροσυμπιεστή και στο αεροφυλάκιο υπάρχει φίλτρο αέρα. Παρόλα αυτά τυχόν σταγόνες νερού και υγρασία υπάρχουν και κυκλοφορούν μέσα στο κύκλωμα. Όταν το όχημα θα χρειαστεί να κινηθεί σε πολύ ψυχρά κλίματα υπάρχει κίνδυνος πήξης της μικροποσότητας νερού μέσα στο κύκλωμα με αποτέλεσμα την αχρήστευση του συστήματος πέδησης. Για αυτό το λόγο τοποθετείται μία αντλία (συσκευή έγχυσης αντιπηκτικού υγρού) που εισάγει στο κύκλωμα αντιπηκτικό υγρό όπου συνήθως είναι οινόπνευμα ή γλυκόλη. Το αντιπηκτικό υγρό έχει δύο ρόλους. Ο πρώτος είναι να μην γίνει η πήξη του νερού και ο δεύτερος είναι να μην παγώσουν τα εξαρτήματα του συστήματος πέδησης όταν εκτεθούν σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Η συσκευή έγχυσης αντιπηκτικού υγρού τοποθετείται στον αγωγό του αέρα πριν από τον ρυθμιστή πίεσης.

6) *Πιεσόμετρα και ενδεικτικές λυχνίες:* Τα πνευματικά φρένα (αερόφρενα) δεν λειτουργούν συνήθως κάτω από 4 bar, οπότε καταλαβαίνουμε ότι έχουν μία ελάχιστη τιμή πίεσης κάτω από την οποία δεν λειτουργούν και άρα το όχημα δεν έχει φρένα. Για το λόγω αυτό, είναι επιτακτική η ανάγκη ελέγχου του κυκλώματος από τον οδηγό. Για να μπορεί ο οδηγός να ελέγχει το κύκλωμα ανά πάσα στιγμή και να ξέρει αν υπάρχει τυχόν πρόβλημα (διαρροές στο κύκλωμα ή στις βαλβίδες), υπάρχουν σε κάθε κύκλωμα (πρόσθιο-οπίσθιο ή διαγώνιο) δύο μετρητές πίεσης (μανόμετρα) στα αεροφυλάκια και στους θαλάμους των φρένων. Ένα επιπλέον σημαντικό μέτρο ασφαλείας είναι ο *δείκτης χαμηλής πίεσης* όπου ειδοποιεί, συνήθως μέσω σειρήνας, ότι η πίεση είτε είναι κάτω από το όριο ασφαλείας. Επιπλέον υπάρχουν ενδεικτικές λυχνίες για επιμέρους τμήματα των κυκλωμάτων.

7) *Προστατευτική βαλβίδα πολλαπλών κυκλωμάτων:* Αναφέρεται και ως βαλβίδα ασφαλείας ή εγκέφαλος. Τροφοδοτείται από τον ρυθμιστή πίεσης και σκοπός της είναι η διανομή του πεπιεσμένου αέρα σε τέσσερα ανεξάρτητα κυκλώματα. Τα κύκλωμα τα που τροφοδοτεί είναι: Τα κυκλώματα των φρένων πορείας, το κοινό κύκλωμα για το χειρόφρενο και το ρυμουλκούμενο όχημα αν αυτό υπάρχει και το κοινό κύκλωμα μηχανόφρενου και του χειρισμού της αντλίας έγχυσης πετρελαίου. Επιπλέον κάνει αυτόματη απομόνωση κυκλωμάτων που παρουσιάζουν διαρροές αέρα.

8) *Αεροφυλάκια (δοχεία, καζανάκια)*: Τοποθετούνται στο πλαϊνό μέρος του σασί και είναι συνήθως πάνω από δύο. Σκοπός τους είναι η φύλαξη του πεπιεσμένου αέρα, διαθέτουν κρουνοί για την απομάκρυνση σταγόνων νερού ή λαδιών και ασφαλιστική βαλβίδα για περιπτώσεις υπερπίεσης.

9) *Ποδοκίνητη κεντρική βαλβίδα φρένων*: Για να φρενάρει ένα όχημα με πνευματικό σύστημα φρένων (αερόφρενα), πρέπει ο οδηγός να ασκήσει πίεση στο πεντάλ του φρένου. Το πεντάλ του φρένου μεταφέρει μέσω συστήματος μοχλών την πίεση στην κεντρική βαλβίδα φρένων. Η βαλβίδα όταν πιέζεται το πεντάλ επιτρέπει την εισαγωγή αέρα στο κύκλωμα των φρένων ώστε να έχουμε το επιθυμητό φρενάρισμα. Όταν ο οδηγός αφήσει το πεντάλ η βαλβίδα εκτονώνει τον αέρα στο περιβάλλον ώστε να ελευθερωθούν τα φρένα.

10) *Χειροκίνητη βαλβίδα στάθμευσης*: Η στάθμευση του οχήματος απαιτεί και ακινητοποίησή του σε οποιαδήποτε κλίση. Η πέδη στάθμευσης, το γνωστό χειρόφρενο, είναι μηχανικής επενέργειας και είναι ανεξάρτητο κύκλωμα. Το σύστημα αποτελείται από ελατήρια τα οποία βρίσκονται σε φυσούνες διπλής ενέργειας και με την δράση τους ανοίγουν τις σιαγόνες και ακινητοποιούν τα τύμπανα των τροχών. Όταν ο οδηγός θέλει να ακινητοποιήσει το όχημα θέτοντας το χειρόφρενο τότε ο αέρας από τις φυσούνες διοχετεύεται στο περιβάλλον οπότε τα ελατήρια είναι ελεύθερα (δεν συμπιέζονται) και ακινητοποιούν τους τροχούς. Όταν θέλει να ξεκινήσει η βαλβίδα διοχετεύει με αέρα τις φυσούνες αυτές με την σειρά τους συμπιέζουν τα ελατήρια και ελευθερώνονται οι τροχοί.

11) *Αυτόματος ρυθμιστής δύναμης πέδησης*: Είναι κάτι ανάλογο με τον ρυθμιστή πίεσης σε υδραυλικό κύκλωμα πέδησης. Ρυθμίζει την πίεση στις φυσούνες ανάλογα με το φορτίο του οχήματος.

12) *Κύλινδρος πέδησης*: Υπάρχουν δύο ειδών, ο απλός, ο οποίος είναι ένας θάλαμος πίεσης με διάφραγμα και ο σύνθετος ο οποίος είναι ένας κύλινδρος με έμβολο. Στην περίπτωση του σύνθετου κυλίνδρου υπάρχει στο σύστημα ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα για ταχύτερη απελευθέρωση των φρένων. Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα καταφέρνει να ελευθερώσει τον αέρα ταχύτερα στο περιβάλλον.

13) *Βαλβίδα για προστασία υψηλής φόρτισης φυσουρών διπλής ενέργειας*: Σκοπός της βαλβίδα προστασίας είναι να μην υπάρχουν υψηλές δυνάμεις πέδησης στην περίπτωση που είναι ενεργοποιημένο το χειρόφρενο και ενεργοποιηθεί και το φρένο πορείας, ώστε να μην καταπονούνται τα επιμέρους εξαρτήματα.

14) *Συγκρότημα φρένων τροχού(τύπου ταμπούρου)*: Αποτελείται από ελατήρια, σιαγόνες, τύμπανο και γενικά είναι σαν των αυτοκινήτων αλλά έχουν περισσότερη αντοχή καθώς μεταφέρουν μεγαλύτερα φορτία.

Σε περίπτωση που έχουμε ρυμουλκούμενο όχημα τότε το σύστημα πέδησης περιλαμβάνει και τα εξής:

- 1) Οδηγό-βαλβίδα του ρυμουλκούμενου οχήματος
- 2) Δίοδο-βαλβίδα του ρυμουλκούμενου οχήματος
- 3) Κεφαλές σύνδεσης του ρυμουλκούμενου οχήματος
- 4) Βαλβίδα απελευθέρωσης φρένων του ρυμουλκούμενου οχήματος, βρίσκεται πάνω στο ρυμουλκούμενο όχημα
- 5) Χειροκίνητο μοχλό ελευθέρωσης φρένων του ρυμουλκούμενου οχήματος, βρίσκεται πάνω στο ρυμουλκούμενο όχημα
- 6) Αεροφυλάκιο, βρίσκεται πάνω στο ρυμουλκούμενο όχημα

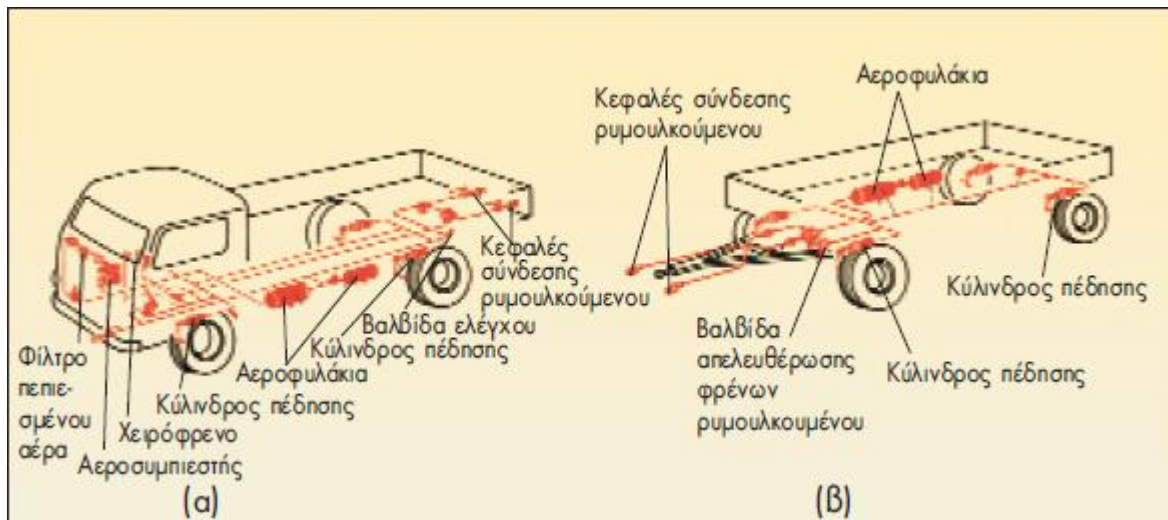
Αρχή λειτουργίας των αερόφρενων

Το σύστημα βασίζεται στον πεπιεσμένο αέρα. Η πορεία του αέρα ξεκινάει από τον αεροσυμπιεστή ο οποίος συμπιέζει τον αέρα προς τα αεροφυλάκια. Πριν αποθηκευτεί ο αέρας περνάει μέσα από το φίλτρο ώστε να καθαριστούν τυχόν σταγόνες νερού ή λαδιού από τον αέρα. Στην συνέχεια πηγαίνει στην αντλία αντιπηκτικού υγρού. Μετά στην προστατευτική βαλβίδα, όπου ελέγχει την πίεση και κατανέμει τον αέρα στα κυκλώματα σύμφωνα με την προβλεπόμενη προτεραιότητα ώστε να γεμίσουν τα αεροφυλάκια μέχρι την μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση. Κατόπιν, ο αέρας ελευθερώνεται στο περιβάλλον, μέχρι να πέσει η πίεση λόγω της πέδησης στην ελάχιστη επιτρεπόμενη και να ξεκινήσει η συμπλήρωση του αέρα στα αεροφυλάκια. Αν η πίεση για κάποιο λόγο ξεπεράσει τις επιτρεπόμενες ελάχιστη και μέγιστη πίεση τότε ο οδηγός ειδοποιείται από τις σχετικές λυχνίες-δείκτες ώστε να ακινητοποιήσει το όχημα. Για να σταματήσει το όχημα (πέδη πορείας) πρέπει να ασκηθεί από τον οδηγό πίεση στο πεντάλ του φρένου. Έτσι μέσω της κεντρικής βαλβίδας φρένων εισάγεται πεπιεσμένος αέρας μέσω των σωληνώσεων από τα αεροφυλάκια στις φυσούνες.

Η πίεση πέδησης που θα ασκηθεί είναι ανάλογη με την πίεση που ασκεί ο οδηγός στο πεντάλ. Όταν ο οδηγός δεν επιθυμεί να φρενάρει αφήνει το πεντάλ και ο αέρας από τις φυσούνες διοχετεύεται στο περιβάλλον μέσω της κεντρικής βαλβίδας ή της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας ανάλογα με τον κύλινδρο πέδησης (απλός ή σύνθετος).

Σε περίπτωση που για κάποιο λόγο υπάρχει διαρροή αέρα από το κύκλωμα σε σημείο που επηρεάζει μόνο ένα κύκλωμα π.χ. σωληνάκι από το αεροφυλάκιο του οπίσθιου κυκλώματος προς τις φυσούνες υπάρχει πρόβλημα στην πέδηση αλλά υπάρχει πέδηση απλά είναι μεγαλύτερη η απόσταση ακινητοποίησης εφόσον το όχημα φρενάρει με το ένα κύκλωμα δηλαδή με δύο τροχούς. Στην περίπτωση που το όχημα έχει απώλεια αέρα στο κύκλωμα από σωληνάκι που βρίσκεται πριν από τα δύο κυκλώματα π.χ. μετά την κεντρική βαλβίδα τότε δεν είναι εφικτή η πέδηση.

Η πέδη στάθμευσης, το χειρόφρενο δηλαδή, το οποίο έχει ξεχωριστά δικό του κύκλωμα και είναι καθαρά μηχανική η επενέργεια της πέδησης. Έχει σκοπό να μπορεί να κρατάει ακινητοποιημένο το όχημα ακόμα και σε μεγάλες κλίσεις. Ο τρόπος λειτουργίας του είναι ο εξής: Όταν ο οδηγός θέλει να ακινητοποιήσει το όχημα θέτει στην κατάλληλη θέση το χειρόφρενο και έτσι ο πεπιεσμένος αέρας που βρίσκεται μέσα στην φυσούνα διπλής ενέργειας ελευθερώνεται στο περιβάλλον οπότε το ελατήριο που συμπιεζόταν λόγω του αέρα είναι ελεύθερο να ανοίξει (επενέργεια) και να μπλοκάρει τον τροχό. Αντίθετα όταν εισέλθει πεπιεσμένος αέρας στη φυσούνα το ελατήριο συσπειρώνεται και ελευθερώνεται ο τροχός. Στο σχήμα 1.4 απεικονίζεται ένα κοινό κύκλωμα αερόφρενων.



Σχήμα 1.4 Κύκλωμα αερόφρενων.

1.3.4 ΗΛΕΚΤΡΟΦΡΕΝΑ

Γενικά

Θεωρούνται βοηθητικά συστήματα πέδησης και χρησιμοποιούνται μόνο σε μεγάλα οχήματα (φορτηγά κτλ). Είναι ηλεκτροκινητήρες ενωμένοι σε σειρά με τον άξονα μετάδοσης της κίνησης και οι πιθανές θέσεις τοποθέτησης τους είναι τρεις: Είτε αμέσως μετά το κιβώτιο ταχυτήτων, είτε στο μέσο του άξονα, είτε πριν το διαφορικό. Στην βιβλιογραφία αναφέρονται και ως ηλεκτρομαγνητικοί επιβραδυντές ή ηλεκτρικές πέδες. Το ηλεκτροφρένο, επενεργεί μόνο στους οπίσθιους τροχούς και χρησιμοποιείται σε κατηγορικές διαδρομές όπου είναι αναγκαίο το συνεχές φρενάρισμα από τον οδηγό.

Σκοπός

Σκοπός του ηλεκτρόφρενου είναι η αποφυγή συνεχούς φρεναρίσματος των συμβατικών φρένων. Σε καταστάσεις συνεχούς φρεναρίσματος του οχήματος υπάρχει ο κίνδυνος της υπερθέρμανσης των υλικών τριβής με αποτέλεσμα την εμφάνιση του φαινομένου Fading, οπότε και της πρόωρης αντικατάστασης των υλικών τριβής. Με την χρήση του ηλεκτρόφρενου αποφεύγεται η συνεχής πέδηση με τα συμβατικά φρένα όπου αυτό είναι επιτρεπτό και επιτυγχάνεται μεγαλύτερος χρόνος ζωής στα υλικά τριβής και μεγαλύτερη ασφάλεια καθώς τα υλικά τριβής αποφεύγουν τις υψηλές θερμοκρασίες.

Εξαρτήματα των ηλεκτρόφρενων

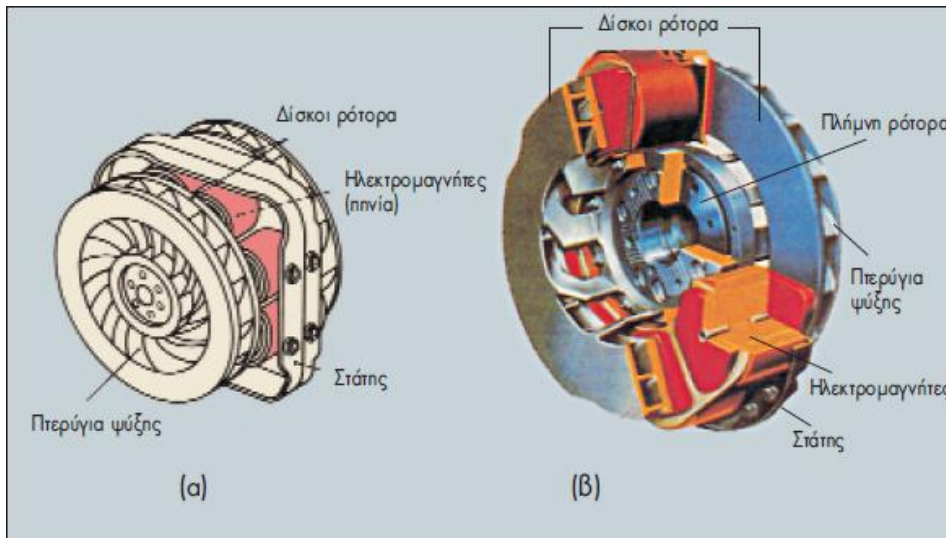
Τα ηλεκτρόφρενα αποτελούνται από δυο κύρια εξαρτήματα και είναι τα εξής:

1) *Το σταθερό μέρος:* Είναι σταθερά στηριγμένο στο σασί του οχήματος και αποτελείται από τον σάτη και τους ηλεκτρομαγνήτες

2) *Το κινητό (περιστρεφόμενο) μέρος:* Αποτελείται από τον άξονα ο οποίος στηρίζεται σε έδρανα κύλισης (ρουλεμάν) και δύο μεταλλικούς δίσκους στερεωμένους πάνω στον άξονα.

Αρχή λειτουργίας ηλεκτρόφρενων

Τα ηλεκτρόφρενα ενεργοποιούνται μέσω ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο προέρχεται από τον συσσωρευτή. Όταν το ρεύμα διεγείρει τα πηνία του σάτη, αυτά γίνονται ηλεκτρομαγνήτες με αποτέλεσμα την άσκηση ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων επάνω στους μεταλλικούς δίσκους και τη δημιουργία ροπής πέδης στον ρότορα όταν οι τροχοί κινούνται. Ακόμα και με τη χρήση του ηλεκτρόφρενου είναι πιθανό, σε πολύ μεγάλες κατηφορικές διαδρομές, όπου η χρήση του γίνεται για μεγάλο χρονικό διάστημα, να αναπτυχθούν μεγάλες θερμοκρασίες καταπονώντας τα εξαρτήματα του ηλεκτρόφρενου. Για αυτό το λόγο αυτό, οι μεταλλικοί δίσκοι είναι σχεδιασμένοι να φέρουν πτερύγια ώστε κατά την περιστροφή τους να δημιουργούν ένα ρεύμα αέρα το οποίο θα ψύχει το σύστημα. Το σχήμα 1.5 απεικονίζει ένα κοινό ηλεκτρόφρενο.



Σχήμα 1.5 Κοινό ηλεκτρόφρενο για οχήματα μεταφοράς υλικών.

1.4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΦΡΕΝΩΝ

1.4.1 ΔΙΣΚΟΦΡΕΝΑ

Γενικά

Η χρήση των φρένων ήταν απαραίτητη από τα πρώτα οχήματα τα οποία χρησιμοποιούσαν πολύ απλά συστήματα πέδησης. Η εξέλιξη τελικά σε μεγάλο βαθμό ήρθε μετά από τη χρονολογία σημείο αναφοράς για την ιστορία των φρένων, το 1954. Εκείνη την χρονιά η Jaguar ήταν η μοναδική εταιρεία που συμμετείχε στον 24ωρο αγώνα του Λε Μαν και χρησιμοποιούσε δισκόφρενα στο αγωνιστικό της αυτοκίνητο. Η λεπτομέρεια αυτή της χάρισε την πρώτη θέση και έδωσε την εικόνα του ικανού πολλά υποσχόμενου δισκόφρενου στο φρένο. Μέχρι τότε όλα τα αυτοκίνητα χρησιμοποιούσαν ταμπούρα και στους τέσσερις τροχούς, τα οποία αποτελούσαν την αιχμή του δόρατος της τεχνολογίας για την εποχή εκείνη. Η χρήση της υποβοήθησης για την αύξηση της ισχύος φρεναρίσματος ήταν ένα αγκάθι για την επικράτηση των δισκοφρένων. Εξαιτίας της συνεχούς αύξησης των αυτοκινήτων, τα οποία παράλληλα γίνονταν όλο και πιο γρήγορα, οι κατασκευαστές υιοθετούσαν συνεχώς νέες λύσεις οι οποίες εφαρμόζονταν πρώτα στα αγωνιστικά αυτοκίνητα για να περάσουν μετέπειτα στα καθημερινά αυτοκίνητα, ακριβώς όπως γίνεται και σήμερα. Στο σχήμα 1.6 απεικονίζεται ένα κοινό δισκόφρενο.



Σχήμα 1.6 Σύνηθες δισκόφρενο.

Σκοπός

Τα βασικά φρένα σε ένα όχημα είναι δύο, το δισκόφρενο και τα τυμπάνου σιαγόνων (ταμπούρα). Και τα δύο έχουν πρωτεύοντα σκοπό να δημιουργήσουν τριβή και να σταματήσει το όχημα. Τα δισκόφρενα είναι πολύ πιο αποδοτικά και για αυτό το λόγο έχουν επικρατήσει. Ένας ακόμη σκοπός είναι η μείωση του κόστους συντήρησης ο οποίος περιλαμβάνει και τη μείωση της προσπάθειας συντήρησης. Σε ένα σύστημα, το οποίο αποτελείται από δισκόφρενα σε όλους τους τροχούς, ο έλεγχος αντικατάστασης γίνεται οπτικά και δεν χρειάζεται να αποσυναρμολογηθεί όπως στα ταμπούρα. Επιπλέον δεν χρειάζονται ρυθμίσεις και μία σχετική εμπειρία για την εγκατάστασή τους όπως στις σιαγόνες. Είναι προφανές, ότι ανάλογα με την ισχύ που διαθέτει ένα όχημα πρέπει να δεχθεί και τα ανάλογα φρένα. Για παράδειγμα, μια μοτοσυκλέτα 250 κυβικών εκατοστών μπορεί να δεχθεί στο οπίσθιο φρένο ταμπούρο αντί δισκοφρένου αλλά μία τέτοια επιλογή σε μοτοσυκλέτα 1000 κυβικών εκατοστών θα ήταν παράλογη.

Εξαρτήματα που αποτελούν τα δισκόφρενα

Τα πιο βασικά εξαρτήματα που αποτελούν ένα κοινό δισκόφρενο είναι τα εξής:

- 1) *Βάση δαγκάνας*: Είναι χαλύβδινη βάση η οποία στη μία πλευρά της στηρίζεται πάνω στο ακίνητο άκρο του άξονα και στην άλλη πλευρά της στηρίζει την δαγκάνα του δισκοφρένου.
- 2) *Δαγκάνα*: Είναι το κάλυμμα για τα πλακάκια πίεσης (τακάκια) το οποίο είναι χαλύβδινο στηρίζεται στην βάση της δαγκάνας και έχει τη δυνατότητα μικρής

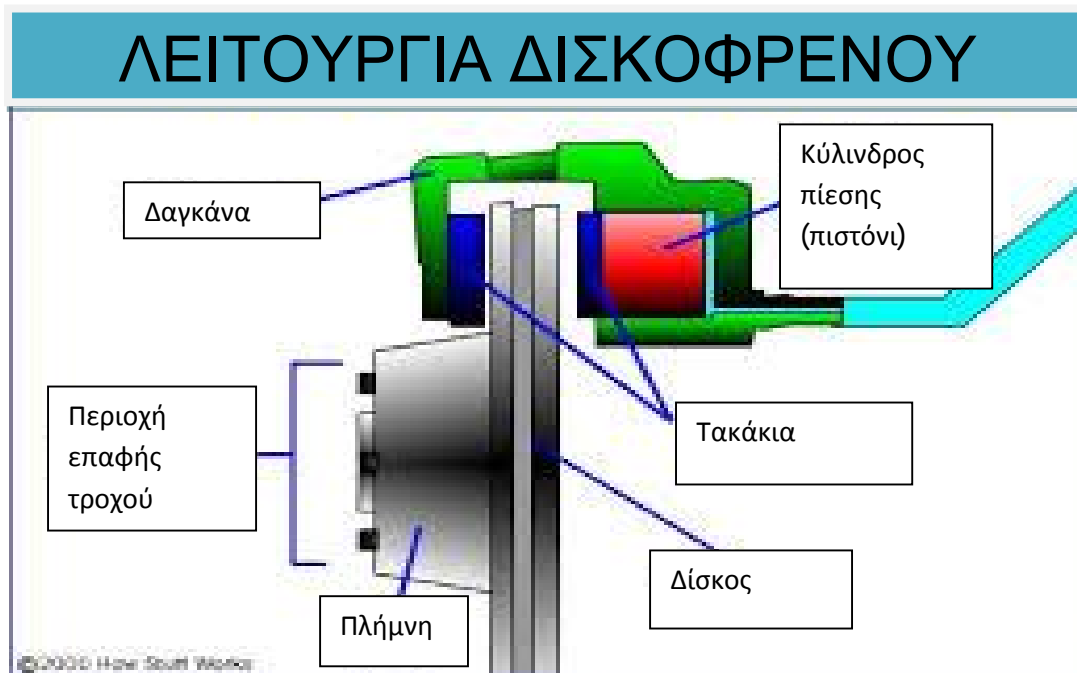
μετακίνησης κατά την διεύθυνση του άξονα του τροχού. Επιπλέον περιλαμβάνει τον κύλινδρο πίεσης ή τους κυλίνδρους πίεσης, ανάλογα το φρένο. Το κύκλωμα είτε μηχανικό είτε υδραυλικό συνδέεται κατευθείαν επάνω στην δαγκάνα για να μεταφέρει την πίεση.

- 3) *Τακάκια*: Είναι το πλακάκι πίεσης το οποίο πιέζεται από τον κύλινδρο πίεσης της δαγκάνας. Αποτελείται από δύο υλικά. Το υλικό που έρχεται σε επαφή με τον κύλινδρο πίεσης είναι χάλυβας, ενώ το υλικό που έρχεται σε επαφή με τον δίσκο ανάλογα την περίπτωση μπορεί να είναι ημι-μέταλλο, μέταλλο, κεραμικό, και τελευταία από ανθρακόνημα. Η κατασκευή των κοινών τακακίων (για καθημερινή χρήση) γινόταν μέσω της ανάμειξης ασαλιού, ειδικών υλικών τριβής (σκόνη από μέταλλα με μεγάλο συντελεστή τριβής) και ειδικής κόλλας για να υπάρχει στο κράμα η απαραίτητη συνοχή. Παρόλα αυτά η συγκεκριμένη μέθοδος υπολείπεται στο ότι δεν συμμετέχει όλο το υλικό στην διαδικασία φρεναρίσματος, καθώς περιέχει την κόλλα. Για αυτό το λόγο αναπτύχθηκε η μέθοδος synterization. Με αυτή την μέθοδο όλο το υλικό συμμετέχει στη διαδικασία φρεναρίσματος. Για την κατασκευή, δεν χρησιμοποιείται κόλλα αλλά εφαρμόζονται μεγάλες πιέσεις σε μεγάλες θερμοκρασίες στο κράμα ώστε να επιτύχει την κατάλληλη συνοχή στο μίγμα. Πλέον τα τακάκια που είναι κατασκευασμένα με την μέθοδο synterization και αποτελούνται καθαρά από μέταλλο. Έτσι, μεταδίδουν περισσότερη θερμότητα στον κύλινδρο πίεσης, η οποία καταλήγει στα υγρά φρένων. Για αυτό το λόγο συνήθως τέτοια τακάκια συνοδεύονται από μονωτικά φύλλα
- 4) *Δίσκος*: Είναι μεταλλικός στα συνήθη φρένα, ενώ υπάρχουν κεραμικοί και από ανθρακόνημα σε αγωνιστικές εφαρμογές. Υπάρχουν ποικιλίες στην γεωμετρία των δίσκων. Υπάρχουν οι απλοί μονοί δίσκοι χωρίς επεξεργασία διάτρησης ή χάραξης στην επιφάνεια τριβής, οι διπλοί δίσκοι για καλύτερη ψύξη, οι δίσκοι που έχουν δεχθεί διάτρηση ή και χάραξη στην επιφάνεια τριβής ή ακόμα και επεξεργασία ώστε να έχουν ελικοειδή περίμετρο και δίσκοι τύπου μαργαρίτας.

Αρχή λειτουργίας δισκοφρένου

Το δισκόφρενο όπως και τα υπόλοιπα φρένα χρησιμοποιεί την τριβή ώστε να μετατρέψει την κινητική ενέργεια σε θερμική και να σταματήσει το όχημα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του δίσκου και μία δαγκάνας η οποία μέσω του κυλίνδρου πίεσης πιέζει τα τακάκια στον δίσκο. Το δισκόφρενο είναι τοποθετημένο συνήθως κοντά στον τροχό με ελάχιστες εξαιρέσεις (πίσω φρένα σε Alfa Romeo 75 όπου τα φρένα βρισκόταν κοντά στο διαφορικό). Όλα ξεκινούν από την πίεση που ασκεί ο οδηγός στο πεντάλ του φρένου. Η πίεση μεταφέρεται μέσα από το κύκλωμα είτε μέσω υγρών σε υδραυλικό κύκλωμα, είτε μέσω ντιζών και μοχλών στην δαγκάνα και

συγκεκριμένα στον κύλινδρο πίεσης. Ο κύλινδρος πίεσης ωθεί το ένα τακάκι στον δίσκο. Καθώς πιέζεται το τακάκι η δαγκάνα υπόκειται σε μικρή μετατόπιση με κατεύθυνση αντίθετη από αυτή της πίεσης παρασέρνοντας έτσι το μέρος που αγκαλιάζει το παθητικό τακάκι επάνω στον δίσκο. Δημιουργείται δηλαδή μέσω της μετατόπισης της δαγκάνας πίεση στο δεύτερο τακάκι. Αυτή η λειτουργία είναι σε δαγκάνες όπου υπάρχει κύλινδρος πίεσης στην μία μεριά της δαγκάνας. Αν υπάρχει και στις δύο μεριές κύλινδρος πίεσης τότε, ο κάθε κύλινδρος είναι υπαίτιος για την πίεση στο τακάκι. Στο σχήμα 1.7 υπάρχει μία σχετική απεικόνιση με το πώς λειτουργεί το δισκόφρενο.



Σχήμα 1.7 Λειτουργία δισκοφρένου.

1.4.2 ΤΥΜΠΑΝΑ ΜΕ ΣΙΑΓΟΝΕΣ (ΤΑΜΠΟΥΡΑ)

Γενικά

Τα φρένα τύπου τυμπάνου σιαγόνων, κοινώς ταμπούρα, ήταν από τα πρώτα που χρησιμοποιήθηκαν ευρέως και είχαν πρωταγωνιστικό ρόλο για περίπου τρεις δεκαετίες. Τα ταμπούρα τοποθετούνται μόνο στους πίσω τροχούς πλέον, γιατί οι πιέσεις που ασκούνται σε αυτούς κατά τη διάρκεια ενός φρεναρίσματος είναι πολύ μικρότερες από αυτές των μπροστινών τροχών. Υπάρχουν συνήθως σε χαμηλού κυβισμού αυτοκίνητα και μοτοσυκλέτες και η κατασκευή τους είναι ιδιαίτερα απλή και χαμηλού κόστους. Αυτό το σύστημα βασικά αποτελείται από το τύμπανο, τις

σιαγόνες και τα ελατήρια επαναφοράς. Στο σχήμα 1.8 φαίνεται ένα φρένο τύπου τυμπάνου σιαγόνων κλειστό, έτσι όπως είναι όταν λειτουργεί.



Σχήμα 1.8 Φρένο τύπου τυμπάνου σιαγόνων κλειστό.

Σκοπός

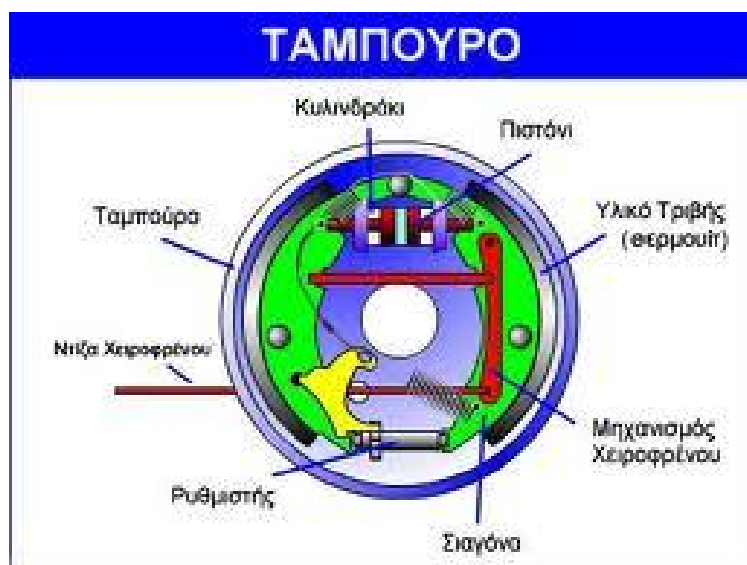
Το σύστημα φρένων τυμπάνου με σιαγόνες δηλαδή τα ταμπούρα χρησιμοποιείται συνήθως σε συστήματα στάθμευσης και πίσω φρένα και σαν σκοπό έχει να καλύψει την ανάγκη για πέδηση στάθμευσης και μία ικανοποιητική πέδη στους πίσω τροχούς σε οχήματα χαμηλών αποδόσεων με ένα σχετικά χαμηλότερο κόστος κατασκευής.

Εξαρτήματα που αποτελούν ένα σύστημα τυμπάνου με σιαγόνες

Ένα κοινό σύστημα τυμπάνου με σιαγόνες αποτελείται από τα εξής εξαρτήματα:

- 1) *Ταμπούρο*: Είναι το κάλυμμα του συστήματος το οποίο κάνει ότι κάνει ο δίσκος στο δισκόφρενο. Είναι τοποθετημένο εσωτερικά του τροχού και έχει τις ίδιες στροφές με τον τροχό ώστε όταν οι σιαγόνες πιεστούν επάνω στο ταμπούρο να φρενάρει ο τροχός. Το υλικό του είναι χάλυβας.
- 2) *Σιαγόνες*: Είναι τα μεταλλικά «πτερύγια» στο εσωτερικό του συστήματος που φέρουν το υλικό τριβής. Όταν μετακινούνται από τον κύλινδρο πίεσης (κυλινδράκια) πιέζονται πάνω στο ταμπούρο και δημιουργείται τριβή.

- 3) *Κύλινδρος πίεσης (κυλινδράκια)*: Μεταφέρουν την πίεση του οδηγού που λαμβάνουν μέσω του κυκλώματος στις σιαγόνες. Όταν το κύκλωμα είναι μηχανικό (πολύ σπάνιο πλέον) υπάρχει ένα μεταλλικό εξάρτημα αντί του κυλίνδρου το οποίο στρεφόμενο ανοίγει τις σιαγόνες.
- 4) *Ρυθμιστής*: Οι σιαγόνες συνήθως έχουν μόνο στην πάνω μεριά κυλινδράκια και στην κάτω ένα σημείο στήριξης. Για να μην φθαρεί το υλικό τριβής από την μία πλευρά μόνο, υπάρχει ένας ρυθμιστής ο οποίος είναι υπεύθυνος για να υπάρχει καλή επαφή της σιαγόνας με το ταμπόουρο σε όσο περισσότερο μήκος του υλικού τριβής είναι δυνατόν. Οι παλαιότεροι ρυθμιστές ρυθμίζονταν από τους τεχνικούς. Πλέον είναι αυτόματοι και με ένα σύστημα καστανίας «μαζεύουν» τα «μπόσικα» του διάκενου μεταξύ σιαγόνας και ταμπόουρου.
- 5) *Μηχανισμός χειρόφρενου*: Βρίσκεται μέσα στο σύστημα και στην κάτω μεριά. Είναι μηχανικό (με ντίζα) και όταν ο οδηγός ανεβάζει το χειρόφρενο ανοίγει και κρατά της σιαγόνες ώστε να δημιουργηθεί η πέδη στάθμευσης.
- 6) *Ελατήρια επαναφοράς*: Είναι ελατήρια που συνδέουν τις σιαγόνες μεταξύ τους και είναι υπεύθυνα για την επαναφορά των σιαγόνων όταν δεν είναι επιθυμητό το φρενάρισμα. Το σχήμα 1.9 δείχνει ένα κοινό πίσω υδραυλικό φρένο τύπου τυμπάνου με σιαγόνες σε ένα αυτοκίνητο.

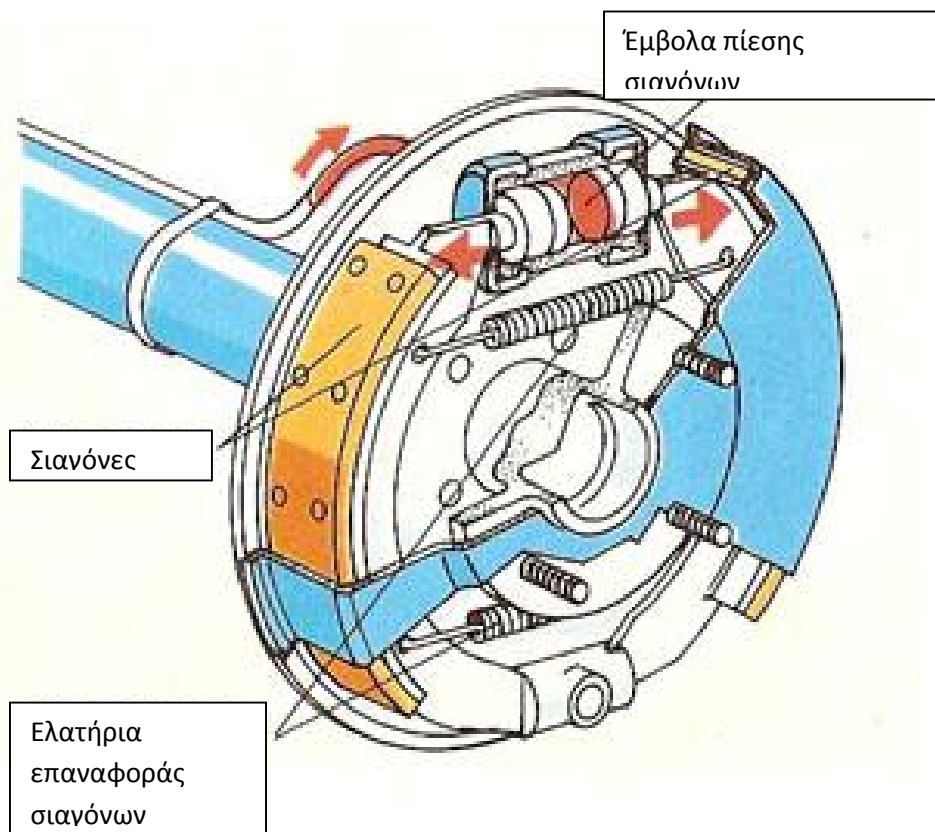


Σχήμα 1.9 Κοινό πίσω υδραυλικό φρένο τύπου τυμπάνου

Αρχή λειτουργίας τυμπάνου με σιαγόνες

Όταν ασκηθεί πίεση από τον οδηγό στο πεντάλ αυτή μεταφράζεται, μέσα στο σύστημα τυμπάνου με σιαγόνες, σαν αντίθετη μετακίνηση δύο εμβόλων στον ίδιο κύλινδρο (κύλινδρος πίεσης). Αποτέλεσμα είναι να πιέζονται οι σιαγόνες πάνω στο

εσωτερικό του ταμπούρου και να δημιουργείται τριβή. Όταν ο οδηγός δεν ασκεί πλέον πίεση τότε τα ελατήρια επαναφοράς των σιαγόνων τις επιστέφουν στην αρχική θέση τους και δεν υπάρχει πέδηση. Ένα πρόβλημα στο συγκεκριμένο σύστημα είναι ο ελλιπής αερισμός, με αποτέλεσμα τη μειωμένη ψύξη του συστήματος. Έτσι σε παρατεταμένα φρεναρίσματα εμφανίζεται μειωμένη απόδοση λόγω της θερμοκρασίας (φαινόμενο Fading). Για την πέδηση στάθμευσης υπάρχει ένα μηχανικό σύστημα που επιδρά στις σιαγόνες, το οποίο φαίνεται στο σχήμα 1.9, Γυρνώντας ο κάθετος μοχλός, ο οποίος στηρίζεται στο πάνω του άκρο, το κάτω άκρο πραγματοποιεί τροχιά έτσι ώστε να πιέζει την απέναντι σιαγόνα. Αυτό γίνεται μέσω του δεύτερου οριζώντιου μοχλού, ο οποίος ανασηκώνεται και μετακινείται προς την απέναντι σιαγόνα. Στο σημείο που ο οριζόντιο μοχλός στηρίζεται στην σιαγόνα που φέρει τον μηχανισμό είναι διαμορφωμένος έτσι ώστε όταν ανασηκώνεται να πιέζει και την σιαγόνα προς το ταμπούρο. Το σχήμα 1.10 δείχνει την ενέργεια του κυλίνδρου πίεσης για να ανοίξει τις σιαγόνες.



Σχήμα 1.10 Ενέργεια εμβόλων πίεσης ώστε να ανοίξουν τις σιαγόνες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΡΕΝΩΝ

2.1 Σύστημα αντιμπλοκαρίσματος των τροχών (ABS).

Γενικά

Η πυκνότητα των οχημάτων που κυκλοφορούν στους δρόμους τις τελευταίες δεκαετίες είναι αυξανόμενη ραγδαία, με αποτέλεσμα την αύξηση των ατυχημάτων και την απώλεια ανθρώπων στην ασφαλτο αλλά και πολλούς τραυματίες. Λόγω αυτών των δεδομένων αναπτύχθηκαν συστήματα ενίσχυσης της παθητικής και ενεργητικής ασφάλειας από τις αυτοκινητοβιομηχανίες, τα οποία αργότερα καθιερώθηκαν στον απαραίτητο εξοπλισμό των οχημάτων μέσω νομοσχεδίων τις εκάστοτε περιοχής-χώρας -ηπείρου (π.χ. Ευρωπαϊκή ένωση). Ένα από τα συστήματα που ενισχύουν την ενεργητική ασφάλεια είναι και το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος των τροχών (ABS), το οποίο συνεργάζεται με το σύστημα πέδησης. Η εφαρμογή του συστήματος αντιμπλοκαρίσματος των τροχών έχει ξεκινήσει να εφαρμόζεται από την δεκαετία του 80' κυρίως σε πολυτελή αυτοκίνητα.

Σκοπός

Κατά την πορεία ενός οχήματος οι απρόβλεπτοι παράγοντες είναι πολλοί. Οι περισσότεροι οδηγοί δεν έχουν τις ικανότητες και τη ψυχραιμία όταν χρειαστεί να αντιμετωπίσουν ξαφνικά φρεναρίσματα και ελιγμούς. Πιέζουν το πεντάλ του φρένου τέρμα, υπάρχει περισσότερη πίεση στο κύκλωμα από την αναγκαία και μπλοκάρουν οι τροχοί. Ο σκοπός του συστήματος αντιμπλοκαρίσματος των τροχών είναι να διαχειριστεί την πίεση πέδησης για να μην μπλοκάρουν οι τροχοί, έτσι ώστε να εκμεταλλευθεί πλήρως τα όρια από τις φυσικές ιδιότητες των ελαστικών και του οδοστρώματος και να επιτευχθεί το ιδανικό διάστημα πέδησης. Επιπλέον λόγω του ότι οι τροχοί δεν μπλοκάρουν συμβάλει στην διατήρηση-διαχείριση της πορείας του οχήματος από τον οδηγό του. Υπάρχουν βέβαια περιπτώσεις όπου η χρήση του ABS ενδέχεται να μεγαλώνει την απόσταση πέδησης, πχ όταν υπάρχουν χαλίκια στο δρόμο ή είναι χιονισμένος-βρεγμένος. Αυτό που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι, το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος των τροχών δεν μπορεί να νικήσει τους νόμους της φυσικής, τόσο για το διάστημα πέδησης όσο και για την οριακή ταχύτητα σε στροφές. Είναι ευθύνη του οδηγού να προσαρμόζει ανάλογα τις ανάγκες την οδήγησή του (καιρικές συνθήκες, οδόστρωμα, κυκλοφοριακό, κλπ).

Εξαρτήματα που αποτελούν το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος των τροχών (ABS)

Τα εξαρτήματα που περιλαμβάνει το σύστημα εκτελούν ενέργειες και για άλλα βοηθητικά συστήματα πέδησης όπως θα δούμε παρακάτω και είναι τα εξής:

1) *Αισθητήρας στροφών:* Αισθητήρας ο οποίος ανιχνεύει την ταχύτητα περιστροφής του τροχού και τη μεταφράζει σε σήματα εξόδου τα οποία ενημερώνουν την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου αν ο τροχός τείνει να μπλοκάρει. Είναι αισθητήρας επαγωγικού τύπου, αποτελείται από ένα πηνίο τυλιγμένο σε ένα μαγνήτη. Ο αισθητήρας τοποθετείται απέναντι από έναν οδοντωτό μεταλλικό τροχό σε απόσταση 1mm έως 1.5mm. Κατά την περιστροφή του τροχού παράγεται εναλλασσόμενη τάση της οποίας η συχνότητα είναι ανάλογη με την περιστροφή του τροχού και πληροφορεί την ηλεκτρονική μονάδα για την περιστροφή του τροχού. Ο οδοντωτός τροχός τοποθετείται συνήθως στο μουςαγιέ. Στο σχήμα 2.1 φαίνεται μία εφαρμογή σε μοτοσυκλέτα μάρκας BMW μοντέλο K του 1994



Σχήμα 2.1 Σύστημα ABS σε μοτοσυκλέτα BMW μοντέλο K του 1994.

2) *Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου:* Το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος των τροχών είναι ηλεκτρονικά ελεγχόμενο, οπότε χρειάζεται έναν εγκέφαλο να διαχειρίζεται τα σήματα των αισθητήρων. Αυτό ακριβώς κάνει η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου. Είναι ένας μικρός υπολογιστής πολλών καναλιών που δέχεται τα σήματα από τους αισθητήρες στροφών των τροχών, υπολογίζει την επιβράδυνση και την ολίσθηση των τροχών και δίνει εντολή στην ηλεκτροϋδραυλική μονάδα για την μείωση ή αύξηση της πίεσης. Επιπλέον περιλαμβάνει ένα σύστημα αυτοδιάγνωσης ώστε να ανάβει η λυχνία του ABS όταν υπάρχει κάποιο πρόβλημα. Συνήθως ενσωματώνεται μέσα στην ηλεκτροϋδραυλική μονάδα αλλά ενδέχεται να είναι στο χώρο του κινητήρα ή στην καμπίνα των επιβατών.

3) *Ηλεκτροϋδραυλική μονάδα*: Λειτουργεί σύμφωνα με τα σήματα που λαμβάνει από την ηλεκτρική μονάδα ελέγχου. Έχει τρεις καταστάσεις λειτουργίας. Μπορεί να συγκρατεί την πίεση, να την μειώνει και να την αυξάνει. Η ηλεκτροϋδραυλική μονάδα είναι ο ενεργοποιητής του συστήματος και περιλαμβάνει τα εξής:

α) *Τον ηλεκτροκινητήρα και την αντλία*: Όταν η ηλεκτροϋδραυλική μονάδα μειώνει την πίεση σε κάποιο τροχό αφαιρείται υγρό φρένων από τα κυλινδράκια του τροχού. Τότε ο ηλεκτροκινητήρας και η αντλία αναλαμβάνουν να διοχετεύσουν το υγρό αυτό πίσω στο αντίστοιχο κύκλωμα των φρένων.

β) *Συσσωρευτής πίεσης του κυκλώματος*: Είναι υπεύθυνος για την διατήρηση της πίεσης στο κύκλωμα.

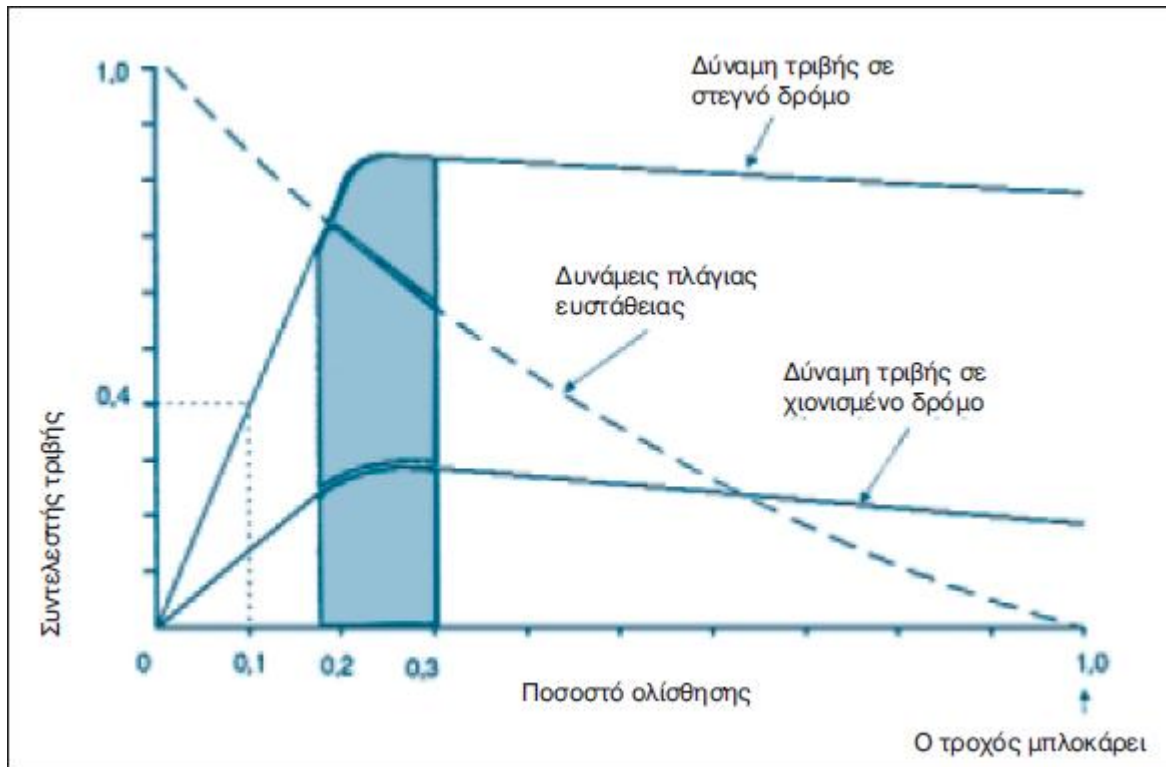
γ) *Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες*: Ρυθμίζουν την πίεση στο κύκλωμα. Έχουν δύο θέσεις, ανοιχτές ή κλειστές. Ανάλογα την περίπτωση, ανοίγουν για να μειωθεί η πίεση ή κλείνουν για να μένει σταθερή ή να αυξηθεί.

δ) *Αποσβεστήρας παλμών*: Λόγω της αυξομείωσης της πίεσης των υγρών φρένων δημιουργούνται παλμικές δονήσεις στο κύκλωμα που τις καταλαβαίνει μέχρι και ο οδηγός στο πεντάλ του φρένου. Ο αποσβεστήρας παλμών είναι υπεύθυνος για την απόσβεση των παλμών.

ε) *Ρελέ*: Τέλος η διάταξη της ηλεκτροϋδραυλικής μονάδας περιέχει διάφορα ρελέ όπως της αντλίας, της έκτακτης ανάγκης κτλ.

Αρχή λειτουργίας συστήματος αντιμπλοκαρίσματος των τροχών (ABS)

Κατά το φρενάρισμα δημιουργούνται η δύναμη τριβής μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος και μία ολίσθηση του ελαστικού με το οδόστρωμα. Το ποσοστό της ολίσθησης (το μπλοκάρισμα του τροχού) είναι ελεγχόμενο από το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος των τροχών. Η μέγιστη δύναμη πέδησης μπορεί να μεταφερθεί μέχρι ένα ποσοστό ολίσθησης του τροχού. Μέσα σε αυτό το πεδίο είναι ρυθμισμένα τα συστήματα αντιμπλοκαρίσματος τροχών να δουλεύουν. Στο σχήμα 2.2 φαίνεται ένα διάγραμμα του ποσοστού ολίσθησης συναρτήσει του συντελεστή τριβής. Στο γραμμοσκιασμένο πεδίο η δύναμη πέδησης που μπορεί να μεταδοθεί φτάνει την μέγιστη τιμή της, σε αυτό το πεδίο δουλεύει το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος των τροχών ρυθμιστικά.



Σχήμα 2.2 Διάγραμμα ποσοστού ολίσθησης συναρτήσει του συντελεστή τριβής

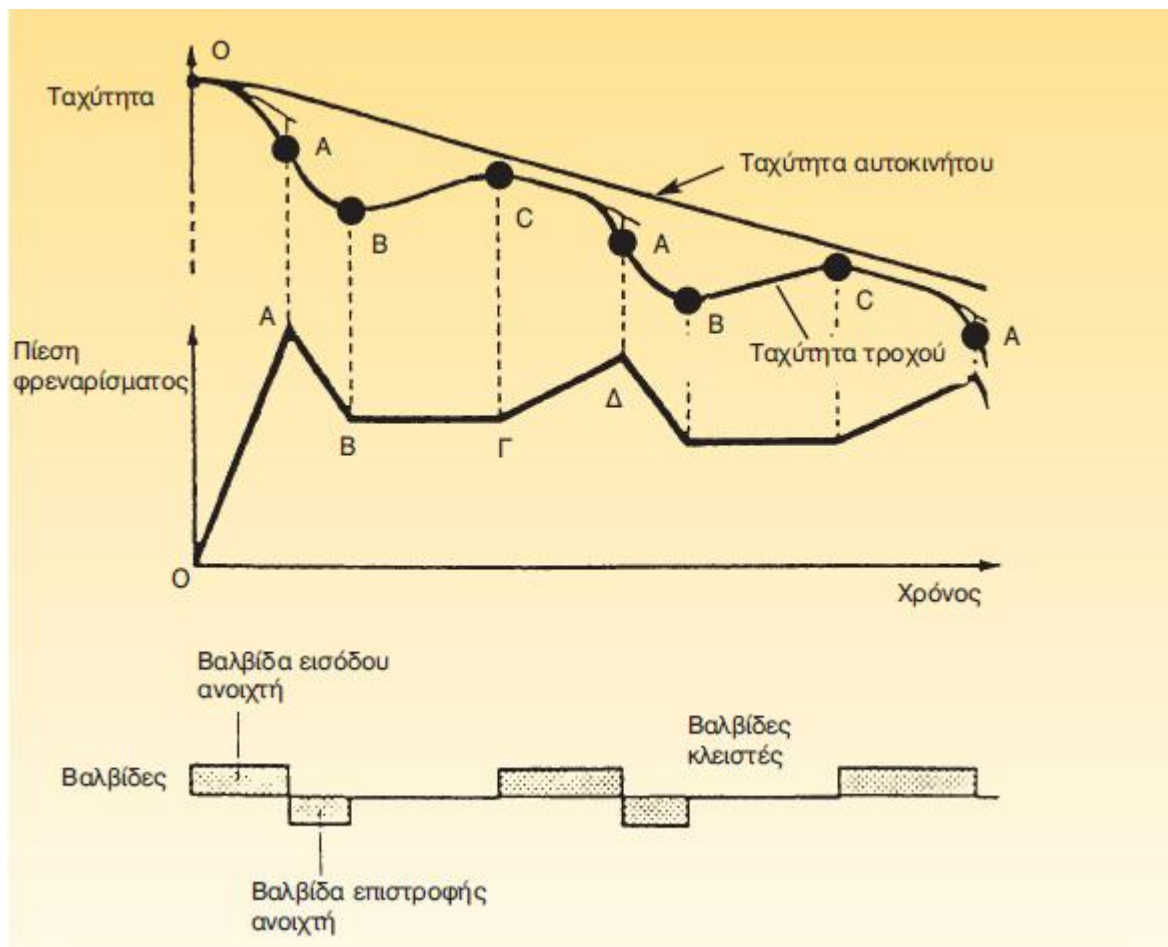
Το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος των τροχών μπορεί και εξασφαλίζει τις κατάλληλες συνθήκες στις δυνάμεις πέδησης ώστε η ολίσθηση να παραμένει μέσα στο γραμμοσκιασμένο πεδίο. Κατά αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η μέγιστη δύναμη τριβής αλλά εξασφαλίζεται και μία αρκετά μεγάλη δύναμη πλάγιας ευστάθειας για την ικανότητα ελιγμών και την ευστάθεια της πορείας. Ο τρόπος που το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος των τροχών διατηρεί τις παραπάνω συνθήκες είναι ελέγχοντας την πίεση των υγρών φρένων στο κύκλωμα. Εφόσον ελέγχεται η πίεση υπάρχει δράση-ενέργεια από το σύστημα. Αυτή η δράση έχει τρία βασικά στάδια:

- α) την αύξηση της πίεσης,
- β) την συγκράτηση της πίεσης σε σταθερή τιμή και
- γ) την μείωση της πίεσης.

Στο πρώτο στάδιο, η αύξηση της πίεσης, η αιτία είναι η πίεση του οδηγού στο πεντάλ του φρένου. Έπειτα το σύστημα είναι υπεύθυνο για τυχόν μείωση, συγκράτηση και αύξηση της πίεσης.

Το σχήμα 2.3 φαίνονται η μεταβολή της ταχύτητας του αυτοκινήτου, η μεταβολή της ταχύτητας του τροχού και η πίεση του φρεναρίσματος. Παρατηρούμε ότι κατά στο διάστημα OA, κατά την αρχή της πέδησης, έχουμε μεγάλη αύξηση της πίεσης και απότομη επιβράδυνση των τροχών. Εκείνη την στιγμή οι αισθητήρες στρωφών των τροχών πληροφορούν την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου ότι οι τροχοί ολισθαίνουν. Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου ενεργοποιεί την ηλεκτροϋδραυλική μονάδα του συστήματος και μειώνει την πίεση στο υδραυλικό κύκλωμα των φρένων (τμήμα AB)

ανοίγοντας τις ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων. Στο επόμενο τμήμα γίνεται συγκράτηση της πίεσης αλλά και μείωση της επιβράδυνσης του τροχού (τμήμα ΒΓ), κρατώντας κλειστές τις βαλβίδες. Στο προηγούμενο στάδιο, η μείωση της επιβράδυνσης κρατάει μέχρι να μηδενιστεί η ολίσθηση των τροχών, ώστε η επιβράδυνση των τροχών να αντιστοιχεί με την επιβράδυνση του αυτοκινήτου. Για να επιτευχθεί αυτό το σύστημα ενεργεί για την αύξηση της πίεσης στο κύκλωμα μέσω της αντλίας υψηλής πίεσης (τμήμα ΓΔ). Με αυτόν τον κύκλο λειτουργίας (ΑΒ-ΒΓ-ΓΔ) ο οποίος επαναλαμβάνεται μέχρι την ακινητοποίηση του οχήματος δημιουργεί συνθήκες επιβράδυνσης όμοιες για τροχό και αυτοκίνητο.



Σχήμα 2.3 Διάγραμμα λειτουργίας του συστήματος αντιμπλοκαρίσματος των τροχών (ABS)

2.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΡΟΣΦΥΣΗΣ (TRACTION CONTROL Ή ASR)

Γενικά

Είναι ένα επιπλέον σύστημα ενεργητικής ασφάλειας του συστήματος πέδησης. Συνεργάζεται με το ABS καθώς σε αυτό χρησιμοποιούνται σχεδόν τα ίδια εξαρτήματα και είναι πλέον στον βασικό εξοπλισμό όλων των αυτοκινήτων στην Ευρωπαϊκή ένωση. Ονομάζεται και ASR (Anti-Slip Regulation) δηλαδή Επιβολή Αντισπιναρίσματος / Αντιολίσθησης.

Σκοπός

Ο σκοπός του συστήματος είναι να αποτρέψει το σπινάρισμα των τροχών, δηλαδή να περιστρέφεται ένας τροχός με ταχύτητα περιστροφής που να αναλογεί σε μεγαλύτερη γραμμική ταχύτητα από αυτή του αυτοκινήτου. Αυτό εμφανίζεται συνήθως σε απότομη επιτάχυνση του οχήματος ή όταν χάνεται η πρόσφυση του τροχού. Η λειτουργία του είναι συμπληρωματική με το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος των τροχών (ABS).

Εξαρτήματα που αποτελούν το σύστημα ελέγχου πρόσφυσης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το σύστημα λειτουργεί συμπληρωματικά και έχει τα ίδια εξαρτήματα με το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος των τροχών αλλά υπάρχει ένα επιπλέον αισθητήρας του οποίου τα σήματα δέχεται και επεξεργάζεται η ίδια ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του Συστήματος αντιμπλοκαρίσματος των τροχών.

1) *Αισθητήρας μέτρησης ταχύτητας τροχών:* Είναι ένα αισθητήρας, ο οποίος μετράει την διαφορά ταχύτητας μεταξύ των τροχών κίνησης σε σχέση με τους άλλους τροχούς ή ακόμα και μεταξύ τους.

Αρχή λειτουργίας του συστήματος ελέγχου πρόσφυσης

Το σύστημα σε πρώτη φάση ελέγχει μέσω του αισθητήρα ταχύτητας τροχών αν κάποιος τροχός ολισθαίνει λόγω υπερβολικής επιτάχυνσης. Όταν αντιλαμβάνεται η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου ότι ο τροχός ολισθαίνει-σπινάρει τότε ανάλογα του συστήματος έχουμε τις εξής αντιδράσεις μεμονωμένα ή και ταυτόχρονα, για μείωση της ταχύτητας του τροχού:

- α) Προσωρινή αναστολή της ανάφλεξης σε έναν ή και περισσότερους κυλίνδρους.
- β) Μείωση της παροχής καυσίμου σε έναν ή και περισσότερους κυλίνδρους.
- γ) Φρενάρισμα σε έναν ή και περισσότερους τροχούς.
- δ) Κλείσιμο της πεταλούδας του γκαζιού.
- ε) Μείωση της ταχύτητας του στροβιλοσυμπιεστή αν διαθέτει το όχημα.

2.3 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ (ESC)

Γενικά

Ο ηλεκτρονικός έλεγχος ευστάθειας (Electronic Stability Control) ή ηλεκτρονικό πρόγραμμα ευστάθειας (Electronic Stability Program) είναι μια λειτουργία που ανιχνεύει της πλαγιολισθήσεις και βελτιώνει την ευστάθεια του αυτοκινήτου. Το σύστημα ανήκει στα συστήματα ενεργητικής ασφάλειας του συστήματος πέδησης και είναι η εξέλιξη της συνεργασίας του συστήματος αντιμπλοκαρίσματος με το σύστημα ελέγχου πρόσφυσης. Το 1987 ξεκίνησε η πρώτη απόπειρα από την Mercedes-Benz να κατασκευάσει ένα σύστημα πλήρους ελέγχου ευστάθειας κάτι που απόφερε καρπούς το 1992 καθώς εκείνη την χρονιά σε συνεργασία με την Bosch ξεκίνησε η μαζική παραγωγή του. Τρία χρόνια αργότερα το 1995 τοποθετήθηκε και στο πρώτο μοντέλο παραγωγής το Mercedes S-Class W140. Αργότερα εδραιώθηκε και από άλλες εταιρίες με διαφορετικές ονομασίες όπως για παράδειγμα από την Toyota Vehicle Stability Control δηλαδή έλεγχος ευστάθειας οχήματος.

Σκοπός

Σκοπός του συστήματος είναι ο έλεγχος ευστάθειας του οχήματος με φρενάρισμα του κάθε τροχού που κρίνεται αναγκαίος για να παραμείνει το όχημα στην πορεία του.

Εξαρτήματα που αποτελούν το σύστημα ελέγχου ευστάθειας

Το σύστημα χρησιμοποιεί τα εξαρτήματα των συστημάτων αντιμπλοκαρίσματος και ελέγχου πρόσφυσης με μερικούς επιπλέον αισθητήρες που ελέγχουν την ευστάθεια του οχήματος και είναι οι εξής:

- 1) Αισθητήρας γωνίας στροφής τιμονιού.
- 2) Αισθητήρας γωνίας στροφής οχήματος: Οι μετρήσεις του ελέγχονται και συγκρίνονται με αυτές του αισθητήρα γωνίας στροφής τιμονιού για να υπολογιστεί αν το όχημα είναι στην επιθυμητή πορεία.
- 3) Αισθητήρας ταχύτητας και επιτάχυνσης του οχήματος
- 4) Αισθητήρας πλευρικής και γωνιακής επιτάχυνσης

Αρχή λειτουργία του συστήματος ελέγχου ευστάθειας

Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του συστήματος λαμβάνει τα σήματα από τους αισθητήρες και ελέγχει 25 φορές το δευτερόλεπτο αν η πορεία του οχήματος είναι ανάλογη με τις εντολές του οδηγού. Αν κρίνει ότι το όχημα πλαγιολισθαίνει τότε εφαρμόζει πίεση στον κατάλληλο τροχό για να φρενάρει και να επανέλθει το όχημα στην σωστή πορεία. Για παράδειγμα αν ένα όχημα παρουσιάσει υπερστροφή το σύστημα θα φρενάρει το εμπρόσθιο εξωτερικό τροχό. Αν το όχημα παρουσιάσει υποστροφή το σύστημα θα φρενάρει το οπίσθιο εσωτερικό τροχό. Επιπλέον κάποια σύγχρονα συστήματα μειώνουν και την απόδοση του κινητήρα αν αυτό κριθεί αναγκαίο.

2.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΠΕΔΗΣΗΣ EBD (Electronic Brake Distribution)

Γενικά

Είναι στην ουσία ένας ηλεκτρονικός κατανομητής πίεσης. Δεν είναι ένα ξεχωριστό σύστημα εξαρτημάτων αλλά χρησιμοποιεί τα εξαρτήματα του συστήματος αντιμπλοκαρίσματος των τροχών. Όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 1 όταν το αυτοκίνητο φρενάρει το κέντρο βάρους μετατοπίζεται προς το εμπρόσθιο άξονα του οχήματος, με αποτέλεσμα να τείνουν οι οπίσθιοι τροχοί να μπλοκάρουν πρόωρα λόγω μεγάλης πίεσης με κίνδυνο ανεξέλεγκτης περιστροφής (τετ α κε).

Σκοπός

Το σύστημα ηλεκτρονικής κατανομής πέδησης είναι ένα πρόγραμμα ενσωματωμένο στην ηλεκτρονική μονάδα του συστήματος αντιμπλοκαρίσματος των τροχών και ως κύριο σκοπό έχει την μείωση της πίεσης στους οπίσθιους τροχούς κατά την μεταβολή του κέντρου βάρους προς τον εμπρόσθιο άξονα για όσο κρίνεται απαραίτητο. Παρόλα αυτά η λειτουργία του δεν περιορίζεται μόνο στους πίσω τροχούς καθώς σε συνεργασία με το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος επεμβαίνει και αλλάζει τη πίεση (μειώνει ή αυξάνει) ανάλογα με τις παραμέτρους σε κάθε τροχό.

Αρχή λειτουργίας συστήματος ηλεκτρονικής κατανομής πέδησης

Το σύστημα όταν αντιληφθεί μέσω των αισθητήρων ότι το όχημα φρενάρει μειώνει και κρατά σταθερή την πίεση στους πίσω τροχούς ανάλογα με την κάθε περίπτωση, ακριβώς όπως θα το έκανε το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος των τροχών καθώς χρησιμοποιεί τα εξαρτήματά του.

2.5 ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΒΟΗΘΗΣΗΣ ΠΕΔΗΣΗΣ (BRAKE ASSIST)

Γενικά

Μετά από έρευνα στον εξομοιωτή της Mercedes-Benz το 1992 ανακαλύφθηκε ότι σε καταστάσεις πανικού το 90% των οδηγών δεν καταφέρνουν να πατήσουν τέρμα το πεντάλ του φρένου είτε λόγω φόβου είτε λόγω φυσικοί λόγων όπως αδυναμία ή μεγάλη ηλικία. Η πρώτη εφαρμογή του συστήματος υποβοήθησης πέδησης έγινε από την Daimler-Benz και την TRW/LucasVarity. Μετά από χρόνια εξέλιξης του συστήματος έχει αποδειχθεί ότι μειώνει την απόσταση ακινητοποίησης έως και 35%. Το σύστημα υπάρχει και με την ονομασία Υδραυλική Υποβοήθηση Πέδησης-Hydraulic Brake Assist. Το σύστημα χρησιμοποιεί τα εξαρτήματα του συστήματος αντιμπλοκαρίσματος των τροχών.

Σκοπός

Υπάρχουν περιπτώσεις φρεναρισμάτων όπου η πίεση του οδηγού στο πεντάλ δεν είναι αρκετή για το επιθυμητό φρενάρισμα. Σε αυτές τις περιπτώσεις ενεργεί το σύστημα υποβοήθησης πέδησης και προσδίδει πίεση στο σύστημα ώστε να ασκείται η μέγιστη πίεση πέδησης στα φρένα.

Αρχή λειτουργίας του συστήματος υποβοήθησης πέδησης

Το σύστημα υποβοήθησης πέδησης λαμβάνει υπόψη την ταχύτητα και την πίεση με την οποία ο οδηγός θα πατήσει το πεντάλ του φρένου καθώς επίσης και την ταχύτητα απελευθέρωσης του πεντάλ της επιτάχυνσης, Σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου κρίνει αν υφίσταται φρενάρισμα έκτακτης ανάγκης. Στην περίπτωση αυτή δίνεται εντολή στην ηλεκτροϋδραυλική μονάδα, ενεργοποιείται η αντλία και ασκείται η μέγιστη πίεση πέδησης.

2.6 ΕΝΕΡΓΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ ARP (Active Rollover Protection)

Γενικά

Το σύστημα προστασίας ανατροπής είναι ένα υποσύστημα του συστήματος προστασίας ευστάθειας.

Σκοπός

Σκοπός του συστήματος είναι η αποτροπή του οχήματος να ανατραπεί λόγω εκτέλεσης απότομων ελιγμών ή σταθερής κυκλικής πορείας. Στο σημείο που διαφέρει με το σύστημα προστασίας ευστάθειας είναι ότι εδώ το σύστημα ενεργεί ακόμα και όταν η πορεία του οχήματος είναι η επιθυμητή.

Αρχή λειτουργίας του συστήματος

Όταν το όχημα πραγματοποιεί κυκλική πορεία και η κλίση του είναι αυξημένη λόγω μεγάλης ταχύτητας. Το σύστημα ενεργεί και φρενάρει τους τροχούς με την καλύτερη πρόσφυση για να μειωθεί η ταχύτητα και η κλίση, αντίστοιχα. Οι ενέργειες δεν έχουν διαφορά με τις ενέργειες από τα συστήματα αντιμπλοκαρίσματος και ευστάθειας. Συνήθως χρησιμοποιείται σε υψηλά οχήματα που έχουν περισσότερες πιθανότητες ανατροπής.

2.7 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΑΒΑΣΗΣ DSC (Descent Control System)

Γενικά-Σκοπός

Το συγκεκριμένο σύστημα είναι υπεύθυνο για ομαλή κατάβαση απότομου δρόμου (μεγάλη κλίση) μέσω ελεγχόμενης σταθερής ταχύτητας π.χ. 4km/h για οχήματα Mercedes, καθώς επεμβαίνει και φρενάρει τους τροχούς για τη διατήρηση της ταχύτητας ενώ ο οδηγός δεν ασκεί πίεση σε κανένα πεντάλ. Η ταχύτητα παραμένει σκόπιμα σε χαμηλές τιμές για την αποφυγή υπερθέρμανσης των φρένων καθώς η διαδρομή ενδέχεται να είναι μεγάλη. Δεν χρειάζεται κάποιος εξοπλισμός διαφορετικός από του συστήματος ελέγχου ευστάθειας, αλλά είναι απαραίτητο ένα ξεχωριστό πρόγραμμα στην ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου.

Γενικά τα συστήματα ενεργητικής ασφάλειας έχουν ως σκοπό να ελαχιστοποιούν τις πιθανότητες ατυχήματος. Υπάρχουν διάφορα συστήματα τα οποία συνεργάζονται με το σύστημα πέδησης και όλα έχουν κοινό παράγοντα το σύστημα αντιμπλοκαρίσματος των τροχών. Οι ικανότητες των συστημάτων ενεργητικής ασφάλειας δεν μπορούν να υπερβούν τους κανόνες της φυσικής, όπως αναφέρθηκε παραπάνω και είναι καθήκον του οδηγού να προσαρμόζει την οδήγηση ανάλογα τις συνθήκες.

2.8 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΔΡΟΜΟ ΜΕ ΚΛΙΣΗ (HILL HOLDER)

Γενικά-Σκοπός

Έχει παρατηρηθεί ότι σε δρόμους με μεγάλη κλίση οι οδηγοί δυσκολεύονται να ξεκινήσουν το όχημα τους, με αποτέλεσμα ανεπιθύμητες διακοπές λειτουργίας του κινητήρα. Έτσι οι κατασκευάστριες εταιρίες σχεδίασαν ακόμα ένα σύστημα το οποίο βοηθάει τον οδηγό. Το συγκεκριμένο σύστημα δεν έχει πολλές αρμοδιότητες. Δεν βοηθάει τόσο στην ενεργητική ασφάλεια του οχήματος, παρά περισσότερο στην ανετότερη εκκίνηση του οχήματος σε δρόμο με μεγάλη κλίση. Ο σκοπός του είναι να κρατάει ακινητοποιημένο το όχημα εωσότου η ροπή στους τροχούς να είναι επαρκής ώστε να αρχίσει να επιταχύνει. Χρησιμοποιεί τα εξαρτήματα του ABS και του ESP όπως άλλωστε σχεδόν όλα τα συστήματα.

2.9 ΣΕΒΡΟΦΡΕΝΟ

Γενικά

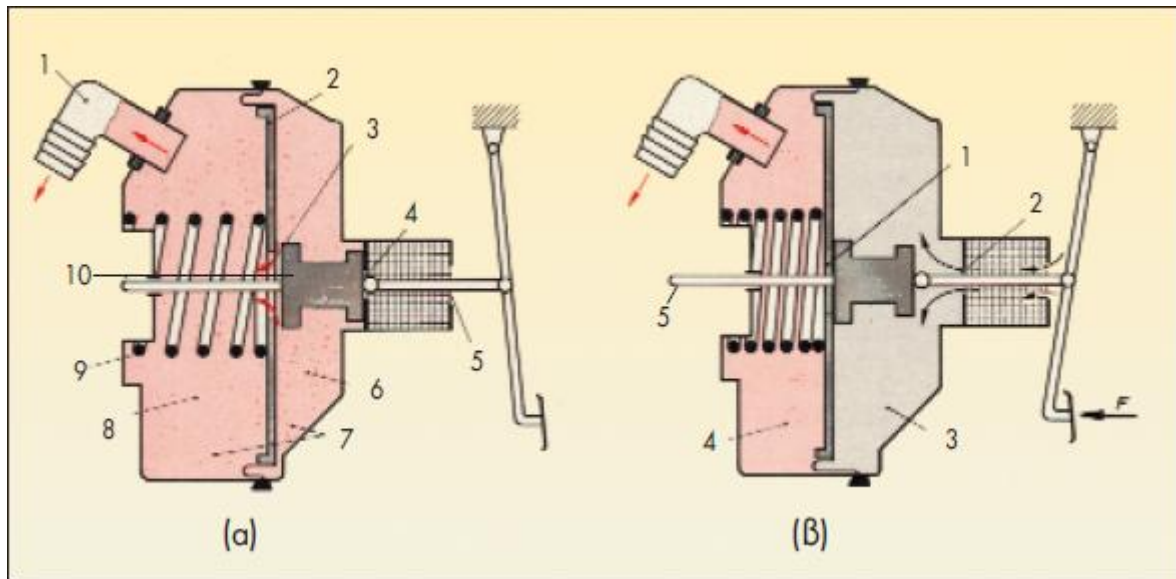
Τα υδραυλικά φρένα και συγκεκριμένα τα δισκόφρενα είναι αποτελεσματικότερα από αυτά του τύμπανου με σιαγόνες. Παρόλα αυτά και τα δυο είδη απαιτούν άσκηση μεγάλης πίεσης για να παρέχουν ικανοποιητικό φρενάρισμα. Αυτό το γεγονός οδήγησε στην ανάπτυξη ενός συστήματος αύξησης της πίεσης που ασκεί ο οδηγός στο πεντάλ για ανετότερο και ασφαλέστερο φρενάρισμα. Το σύστημα αυτό ονομάζεται σεβρόφρενο και λειτουργεί με την υποπίεση του κινητήρα.

Σκοπός

Ένα όχημα για να είναι ασφαλές θα πρέπει να παρέχει και μια άνεση οδήγησης στον οδηγό. Οι ενέργειες να γίνονται ομαλά και αβίαστα. Έτσι λοιπόν και για τα υδραυλικά φρένα το σεβρόφρενο έχει δύο σκοπούς, την αύξηση της πίεσης για ασφαλές φρενάρισμα και ταυτόχρονα να εξασφαλίζει στον οδηγό άνετο και εύκολο φρενάρισμα.

Εξαρτήματα-Αρχή λειτουργία σεβρόφρενου

Το σεβρόφρενο είναι ένα σύστημα εμβόλου κυλίνδρου το οποίο περιλαμβάνει και κάποια εξαρτήματα που εξασφαλίζουν την επιθυμητή λειτουργία του, Στο σχήμα 2.4 απεικονίζεται ένα ενιαίο σύστημα σεβρόφρενου.



Σχήμα 2.4 Ενιαίο σεβρόφρενο.

A) Θέση ηρεμίας

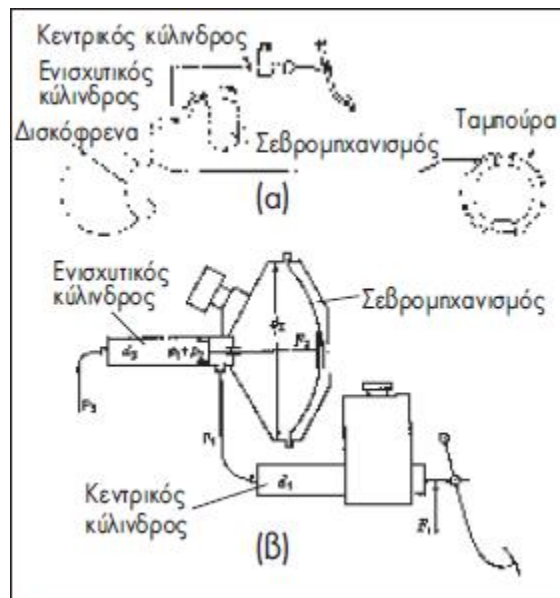
- 1) Ακροσωλήνιο το οποίο συνδέεται με την πολλαπλή εισαγωγής
- 2) Έμβολο-Διάφραγμα
- 3) Δίοδος υποπίεσης (ανοικτή)
- 4) Δίοδος ατμοσφαιρικής πίεσης (κλειστή)
- 5) Είσοδος ατμοσφαιρικής πίεσης
- 6) Θάλαμος ατμοσφαιρικής πίεσης
- 7) Υποπίεση
- 8) Θάλαμος υποπίεσης
- 9) Ελατήριο
- 10) Ελεγκτική βαλβίδα

B) Θέση λειτουργίας

- 1) Δίοδος υποπίεσης (κλειστή)
- 2) Δίοδος ατμοσφαιρικής πίεσης (ανοικτή)
- 3) Ατμοσφαιρική πίεση
- 4) Υποπίεση
- 5) Βάκτρο εμβόλου κεντρικής αντλίας

Στην θέση ηρεμίας το εσωτερικό του καλύμματος έχει υποπίεση και στους δύο χώρους του καθώς το ελατήριο (9) κρατά το διάφραγμα (2) στην ακρότατη δεξιά θέση του και η ελεγκτική βαλβίδα (10) κρατά ανοικτή την δίοδο της υποπίεσης (3) και κλειστή την δίοδο της ατμοσφαιρικής πίεσης (4). Στην θέση λειτουργίας πιέζεται το πεντάλ και παρασέρνει την ελεγκτική βαλβίδα η οποία κλείνει την δίοδο της υποπίεσης και ανοίγει την δίοδο της ατμοσφαιρικής πίεσης. Το διάφραγμα έχει διαφορά πίεσης στα τοιχώματά του καθώς έχει από τα αριστερά την υποπίεση του

κινητήρα και δεξιά την ατμοσφαιρική πίεση. Έτσι παρασέρνεται προς τα αριστερά και προσδίδει πίεση στο φρενάρισμα μέσω του βάκτρου (5) το οποίο συνδέεται με την κεντρική αντλία. Όταν ο οδηγός αφήσει το πεντάλ η ελεγκτική βαλβίδα κλείνει την δίοδο του αέρα και ανοίγει την δίοδο της υποπίεσης. Η πίεση ισορροπεί και το ελατήριο αναλαμβάνει την επαναφορά του διαφράγματος. Αν ο κινητήρας δεν δουλεύει το φρένο λειτουργεί αλλά απαιτείται μεγαλύτερη πίεση από τον οδηγό. Επιπλέον υπάρχει και το έμμεσο σεβρόφρενο το οποίο λειτουργεί όπως το ενιαίο (με την υποπίεση) αλλά δεν ενώνεται με την αντλία απευθείας και καθόλου με το πεντάλ. Υπάρχει ένα ενισχυτικός κύλινδρος ο οποίος συνδέεται με την αντλία και το σεβρόφρενο και ενεργεί μέσα του ένα έμβολο το οποίο πιέζεται από το σεβρόφρενο. Έτσι λοιπόν η πίεση που φεύγει από τον ενισχυτικό κύλινδρο προς τους τροχούς είναι το άθροισμα της πίεσης του οδηγού συν της πίεσης από το σεβρόφρενο. Στο σχήμα 2.5 υπάρχει μία απεικόνιση έμμεσου σεβρόφρενου.



Σχήμα 2.5 Έμμεσο σεβρόφρενο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΕΔΗΣΗ

Γενικά

Όπως γίνεται συνήθως στην ιστορία των οχημάτων, τα καινούργια συστήματα κάνουν την εμφάνιση τους πρώτα σε αγωνιστικά μοντέλα και έπειτα περνάνε στα μοντέλα παραγωγής. Έτσι λοιπόν έγινε και με το σύστημα ανάκτησης ενέργειας από την πέδηση. Έκανε την πρώτη του εμφάνιση σε μονοθέσια της φόρμουλα 1 και η εξέλιξη του από τότε είναι ραγδαία. Πλέον χρησιμοποιείται συνήθως σε υβριδικά αυτοκίνητα παραγωγής (Toyota prius κτλ) προσθέτοντας έτσι ένα επιπλέον θετικό χαρακτηριστικό στα οχήματα που χρησιμοποιούν ηλεκτρικές μηχανές, την εξοικονόμηση της ενέργειας κατά την διάρκεια του φρεναρίσματος. Η αναπαραγόμενη ενέργεια χρησιμοποιείται για την φόρτιση των μπαταριών ή πυκνωτών ανάλογα το σύστημα. Μπαταρίες διαθέτουν τα υβριδικά οχήματα ενώ πυκνωτές τα συμβατικά. Το υπέρ των πυκνωτών σε σχέση με τις μπαταρίες είναι ότι έχουν μικρότερο όγκο και βάρος, επιπλέον φορτίζονται σε λιγότερο χρόνο. Έτσι βελτιώνεται η αυτονομία του οχήματος. Παρόλα αυτά η δέσμευση όλης της διαθέσιμης ενέργειας δεν είναι δυνατή, ειδικά για απότομες επιβραδύνσεις. Η κινητική ενέργεια που έχει αποκτήσει κατά την επιτάχυνση το όχημα είναι η διαθέσιμη ενέργεια κατά την πέδηση. Οπότε η συνολική ενέργεια είναι συνήθως πολύ υψηλή για να την διαχειριστεί ένας κινητήρας ο οποίος χρησιμοποιείται για την επιτάχυνση του οχήματος. Για διαχείριση μεγάλων ποσών ενέργειας σε μικρό χρόνο, θα έπρεπε να υπάρχει στο όχημα ένας τεράστιος ηλεκτροκινητήρας, κάτι που πρακτικά δεν είναι καλή επιλογή και οικονομικά δεν είναι συμφέρον. Άρα είναι εύκολα αντιληπτό ότι τα οχήματα που έχουν το σύστημα ανάκτησης ενέργειας πρέπει να έχουν και συμβατικά φρένα (υδραυλικά) καθώς το σύστημα επεμβαίνει κατά την πέδηση μέχρι ένα ποσοστό. Κατά την λειτουργία της αναγεννητικής πέδησης (σύστημα ανάκτησης ενέργειας από την πέδηση) εξοικονομείται σημαντικό ποσό ενέργειας το οποίο επαναφορτίζει τις μπαταρίες και μεγαλώνει η αυτονομία όπως αναφέρθηκε. Για να γίνει αυτό ο ηλεκτροκινητήρας εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια του οχήματος και την μετατρέπει σε ηλεκτρική, δηλαδή κατά την πέδηση ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια. Η κατεύθυνση της ισχύος είναι ανάποδη από τους τροχούς προς τις μπαταρίες. Το σύστημα ανάκτησης ενέργεια μπορεί να αυξήσει την αυτονομία ενός ηλεκτρικού οχήματος περίπου 10% με 15%. Η ονομασία του KERS προέρχεται από τα αρχικά Kinetic Energy Recovery System.

3.1 Διατάξεις

Η προσθήκη του συστήματος ανάκτησης ενέργειας αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος πέδησης. Ο σχεδιασμός γίνεται πιο δύσκολος και πρέπει να αντιμετωπιστούν τα δύο (2) κύρια προβλήματα:

1. Πώς να κατανεμηθούν οι συνολικές δυνάμεις πέδησης που απαιτούνται, μεταξύ του φρένου επαναπαραγωγής και του μηχανικού φρένου ώστε να ανακτηθεί η κινητική ενέργεια στο μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό
2. Πώς να κατανεμηθούν οι δυνάμεις πέδησης στους μπροστινούς και πίσω τροχούς ώστε να επιτευχθεί σταθερή πέδηση.

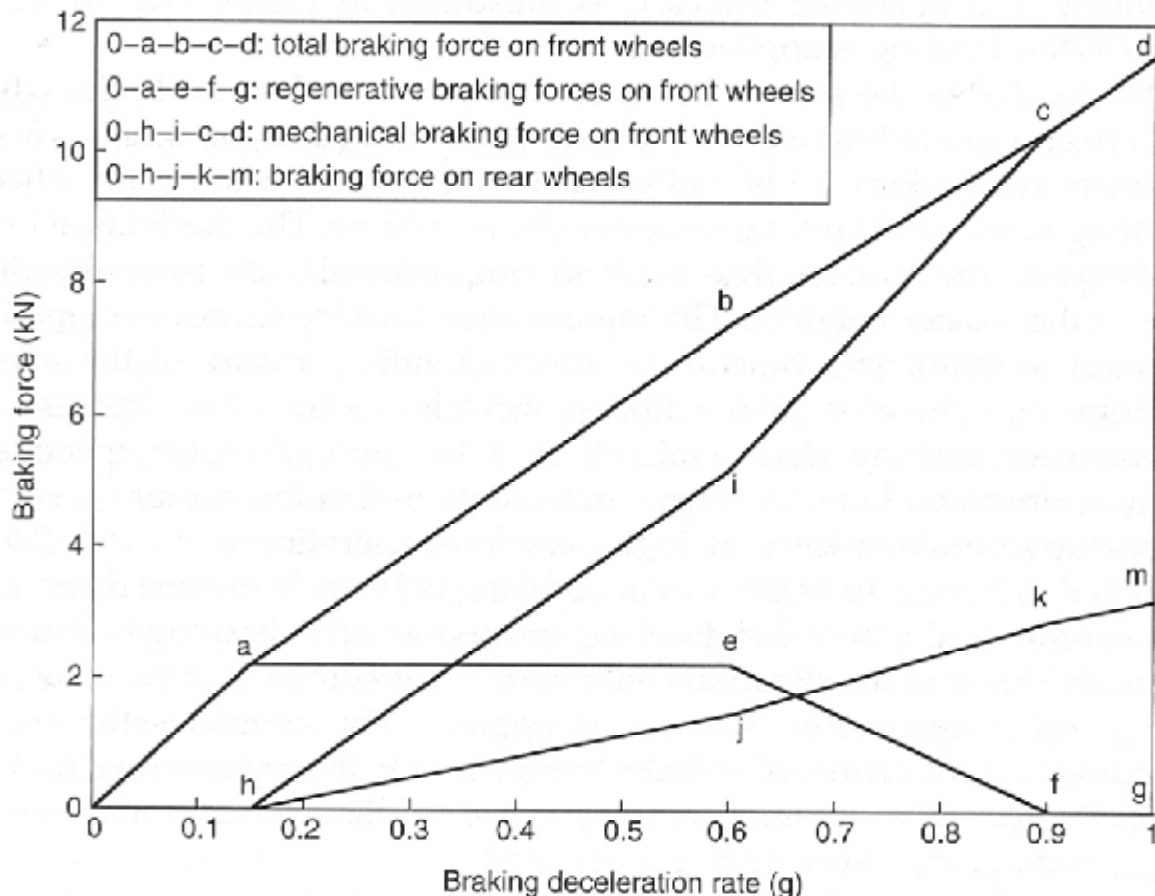
Η αναγεννητική πέδηση χρησιμοποιείται συνήθως στον άξονα κίνησης. Ο έλεγχος του ηλεκτρικού κινητήρα για να δουλέψει σαν γεννήτρια γίνεται για την μέγιστη εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας. Παράλληλα τα συμβατικά φρένα ενεργούν επιπρόσθετα ώστε να ικανοποιείται η εντολή του οδηγού. Είναι γνωστό ότι ένας ηλεκτρικός κινητήρας ελέγχεται σχετικά εύκολα. Το χαρακτηριστικό αυτό βοηθάει στον καλύτερο έλεγχο των τροχών ως προς το μπλοκάρισμα, δηλαδή βλέπουμε ότι έχουμε θετικές επιπτώσεις άσχετες με ενέργεια από ένα σύστημα που αρχικά σχεδιάστηκε για εξοικονόμηση ενέργειας και πλέον βοηθάει και σε άλλους τομείς. Οι κύριες διατάξεις είναι δύο, σε σειρά και παράλληλη πέδηση.

3.1.1 Πέδηση σε σειρά για βέλτιστη αίσθηση

Το σύστημα σειράς για βέλτιστη αίσθηση έχει έναν ελεγκτή πέδησης που κάνει την δουλειά του κατανεμητή. Ελέγχει τις δυνάμεις πέδησης στους εμπρόσθιους και οπίσθιους τροχούς και έχει σαν σκοπό την μικρότερη δυνατή απόσταση ακινητοποίησης και τη βέλτιστη αίσθηση στον οδηγό. Για να πραγματοποιηθεί αυτός ο σκοπός είναι απαραίτητη μία ιδανική καμπύλη κατανομής δυνάμεων πέδησης. Όταν ο οδηγός πιέζει το πεντάλ του φρένου τόσο ώστε η επιβράδυνση είναι κάτω των 0.2g ενεργεί μόνο το ηλεκτρικό φρένο ανάκτησης ενέργειας στους τροχούς της κίνησης. Σε επιβράδυνση όπου τα g είναι μεγαλύτερα του 0.2 ασκούνται δυνάμεις και στους τέσσερις τροχούς με ιδανική κατανομή για την βέλτιστη αίσθηση. Στους κινούμενους τροχούς η δύναμη πέδησης προέρχεται από το συμβατικό σύστημα πέδησης. Στους κινητήριους τροχούς η συνολική δύναμη πέδησης είναι το άθροισμα της δύναμης από το συμβατικό σύστημα πέδησης και το αναγεννητικό φρένο. Εφόσον χρειάζεται περισσότερη δύναμη από αυτήν που μπορεί να εφαρμόσει ο ηλεκτροκινητήρας δουλεύοντας σαν γεννήτρια, λειτουργεί στο μέγιστο που μπορεί και συμπληρώνεται η δύναμη από τα συμβατικά φρένα. Αν επαρκεί η δύναμη του ηλεκτροκινητήρα τότε δεν εφαρμόζεται δύναμη από τα συμβατικά φρένα βοηθώντας καλύτερα στην μείωση κόστους ανά χιλιόμετρο του αυτοκινήτου καθώς τα αναλώσιμα των φρένων (τακάκια, σιαγόνες) αντέχουν περισσότερα χιλιόμετρα.

3.1.2 Παράλληλη πέδηση

Είναι ένα σύστημα το οποίο περιλαμβάνει το ηλεκτρικό αναγεννητικό φρένο και τα συμβατικά φρένα τα οποία ενεργούν παράλληλα. Στο σύστημα παράλληλης πέδησης το συμβατικό φρένο έχει σταθερό λόγω κατανομής της δύναμης πέδησης μεταξύ εμπρόσθιων και οπίσθιων τροχών. Το ηλεκτρικό φρένο προσθέτει δύναμη πέδησης στους κινητήριους τροχούς, ώστε να ικανοποιηθεί η συνθήκη επιβράδυνσης. Η δύναμη πέδησης στους τροχούς που προέρχεται από τα συμβατικά φρένα είναι ανάλογη της πίεσης στον κύριο κύλινδρο. Η δύναμη πέδησης που προέρχεται από το ηλεκτρικό φρένο στους κινητήριους τροχούς είναι συνάρτηση της υδραυλικής πίεσης στον κύριο κύλινδρο. Εφόσον η δύναμη της ηλεκτρικής πέδησης είναι συνάρτηση της ταχύτητας του ηλεκτροκινητήρα και σχεδόν μηδενική κινητική ενέργεια ανακτάτε σε χαμηλές ταχύτητες, η ηλεκτρική δύναμη πέδησης σχεδιάζεται να είναι μηδενική σε πολύ χαμηλές ταχύτητες. Υπάρχουν κοινά στοιχεία της παράλληλης πέδησης με την πέδηση σε σειρά. Όταν η επιβράδυνση είναι μικρότερη από κάποια ορισμένη τιμή για παράδειγμα 0.2g τότε ενεργεί μόνο το ηλεκτρικό φρένο. Αν η τιμή ξεπεραστεί τότε ενεργεί και το συμβατικό σύστημα πέδησης. Το παράλληλο σύστημα πέδησης σε σύγκριση με τα άλλα δύο συστήματα σειράς είναι πολύ πιο απλό σύστημα και σε κατασκευή και σε έλεγχο. Το μείον σε σχέση με τα άλλα δύο συστήματα είναι ότι γίνεται ένα συμβιβασμός σε ότι αφορά την αίσθηση του οδηγού και το ποσοστό της ενέργειας που ανακτάται. Σαν σύστημα είναι απλούστερο και δεν είναι αναγκαία η συνεργασία με ένα ηλεκτρονικά ελεγχόμενο συμβατικό σύστημα πέδησης. Περιλαμβάνει ένα αισθητήρα που ανιχνεύει την πίεση στον κύριο κύλινδρο και στέλνει το σήμα στον ελεγκτή του ηλεκτροκινητήρα. Ο ελεγκτής δίνει την εντολή σύμφωνα με το σήμα που έλαβε στον ηλεκτροκινητήρα για να παράγει την απαιτούμενη ροπή πέδησης. Στο σχήμα 3.1 φαίνονται οι ενέργειες του κάθε φρένου ανάλογα με τα g της επιβράδυνσης.



ΣΧΗΜΑ 3.1 Μεταβολή δυνάμεων πέδησης με το ρυθμό επιβράδυνσης στο παράλληλο σύστημα πέδησης.

3.2 Κατανάλωση ενέργειας κατά την πέδηση

Σημαντικό ποσό ενέργειας καταναλώνεται κατά την πέδηση. Το φρενάρισμα ενός οχήματος 1500kg από τα 100km/h στη μηδενική ταχύτητα απαιτεί την κατανάλωση περίπου ενέργειας 0.16kWh σε μερικές δεκάδες μέτρα. Εάν αυτή η ενέργεια καταναλώνονταν κατά την κίνηση του οχήματος με μοναδική απαίτηση την υπερπήδηση των αντιστάσεων (αντίσταση κύλισης και αεροδυναμική αντίσταση) χωρίς πέδηση, το όχημα θα ταξίδευε περίπου 2km. Όταν τα οχήματα ταξιδεύουν σε αστικές περιοχές κάτω από συνθήκες συνεχών εκκινήσεων και στάσεων, ένα σημαντικό ποσό ενέργειας καταναλώνεται στα απότομα και συνεχή φρεναρίσματα, που οδηγεί σε υψηλή κατανάλωση καυσίμου. Ο πίνακας 3.2 παρουσιάζει τη μέγιστη ταχύτητα, τη μέση ταχύτητα, τη συνολική ενέργεια έλξης στους τροχούς κίνησης και τη συνολική ενέργεια που καταναλώνεται από αντιστάσεις και πέδηση ανά 100km διανυόμενης απόστασης από ένα επιβατηγό αυτοκίνητο. Είναι φανερό από τον πίνακα ότι η ενέργεια πέδησης σε τυπικές αστικές περιοχές μπορεί να φτάσει στο 25% της συνολικής ενέργειας έλξης του οχήματος. Σε μεγάλες πόλεις, όπως η Νέα Υόρκη, μπορεί να φτάσει το 70%. Συνεπώς, η αποτελεσματική αναγεννητική πέδηση μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την οικονομία καυσίμου στα οχήματα.

Πίνακας 3.1: Μέγιστη ταχύτητα, μέση ταχύτητα, συνολική ενέργεια έλξης στους τροχούς κίνησης και συνολική ενέργεια που καταναλώνεται από αντιστάσεις και πέδηση ανά 100km διανυόμενης απόστασης από ένα επιβατηγό αυτοκίνητο.

	FTP 75 Αστική	FTP 75 Ταχείας κυκλοφορίας	US06 Αυτοκινητόδρομος	Νέα Υόρκη
Μέγιστη ταχύτητα (km/h)	86,4	97,7	128,5	44,6
Μέση ταχύτητα (km/h)	27,9	79,3	77,5	12,2
Συνολική ενέργεια αντιστάσεων (kWh)	10,47	10,45	17,03	15,51
Συνολική ενέργεια έλξης (kWh)	5,95	9,47	11,73	4,69
Συνολική ενέργεια κατά την πέδηση (kWh)	4,52	0,98	5,3	10,82
Ποσοστό (%) ενέργειας πέδης προς συνολική	43,17	9,38	31,12	69,76

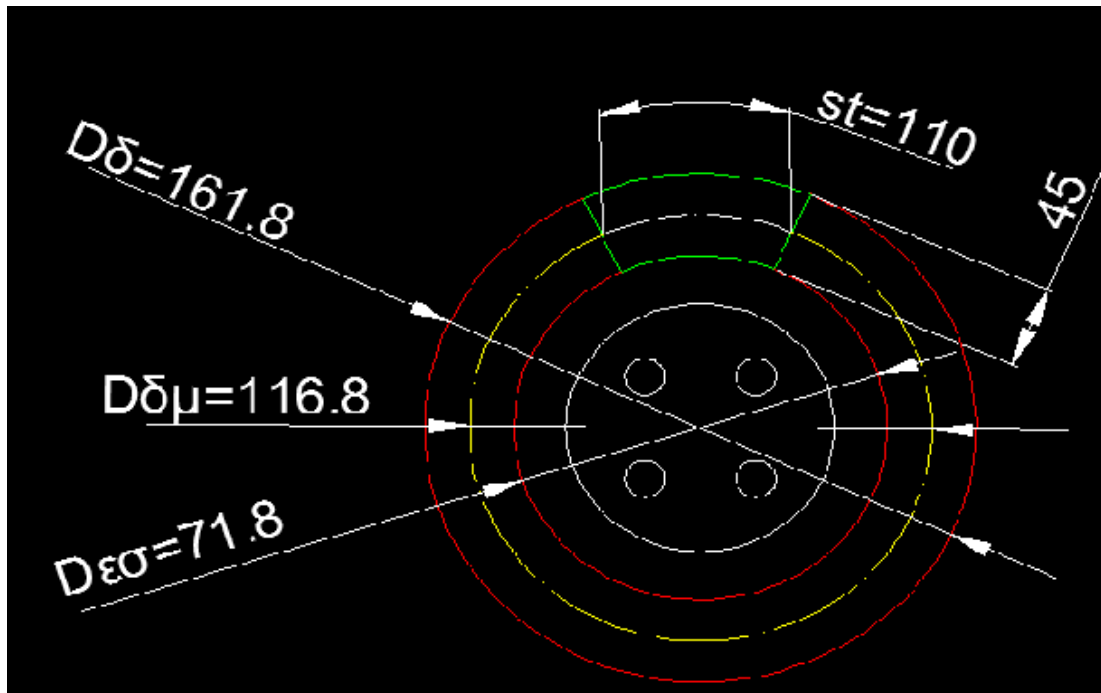
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΣΚΟΦΡΕΝΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΩΝ

4.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό μελετάται το διπλό αεριζόμενο υδραυλικό δισκόφρενο του αυτοκινήτου Fiat Punto GT 1.4 1995, το οποίο φαίνεται στην Σχήμα 4.1. Η μάζα του αυτοκινήτου είναι, μάζας $m=1000$ kg. Ο κάθε δίσκος είναι διαμέτρου $D_{\delta} = 161.8$ mm, η μέση διάμετρος της επιφάνειας τριβής $D_{\delta\mu}=116.8$ mm και η εσωτερική διάμετρος της επιφάνειας τριβής $D_{\delta\epsilon\sigma}=71.8$ mm και πάχους $t_{\Delta}= 15$ mm. Η γεωμετρία του τακακίου είναι κυκλικός τομέας με μήκος τόξου, που αντιστοιχεί σε μέση ακτίνα $S_T = 110$ mm και πάχος $t_T= 15$ mm, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2. Οι θερμομηχανικές ιδιότητες των δυο υλικών, του δίσκου και του τακακίου, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1, [6].



Σχήμα 4.1: Δισκόφρενο του Fiat Punto GT 1.4 1995.



Σχήμα 4.2: Γεωμετρία δίσκου και τακακίου

Πίνακας 4.1: Θερμομηχανικές ιδιότητες των υλικών του δίσκου και του τακακίου

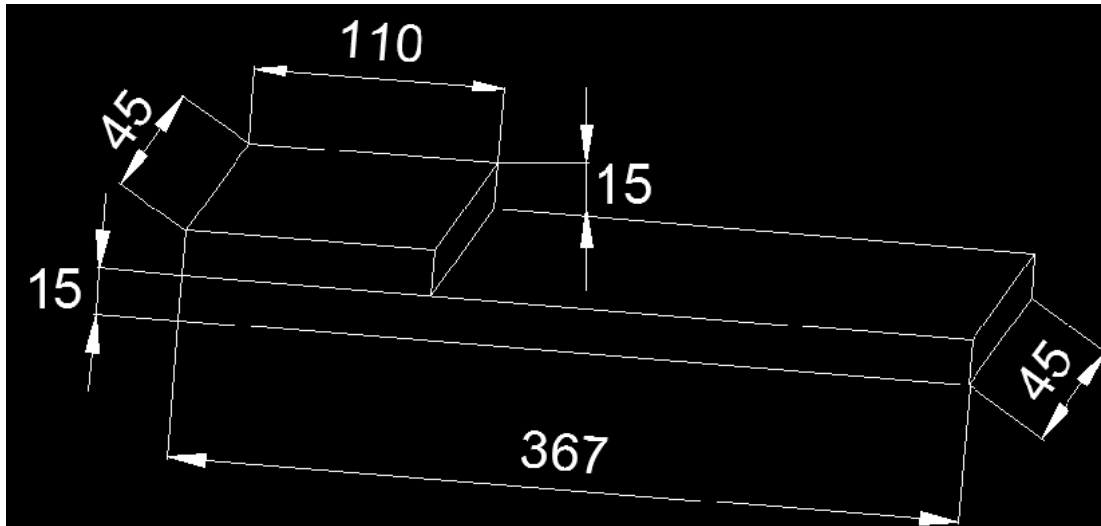
Ειδιότητες υλικών	Pad	Disk
Θερμική αγωγημότητα, K (w/m k)	5	57
Πυκνότητα, ρ (kg/m ³)	1400	7100
Ειδική θερμότητα, c (j/kg k)	1000	452
Λόγος Poisson, ν	0.25	0.25
Θερμική διαστολή, α (10 ⁻⁶ /k)	10	11
Μέτρο ελαστικότητας, E (Gra)	1	106

Το πρόβλημα μελετάται για την περίπτωση στιγμιαίου φρεναρίσματος αρχικής ταχύτητας του οχήματος $u = 50$ Km/h και διάρκειας φρεναρίσματος $t = 0.51$ sec. Η σχετικά μικρή διάρκεια του φρεναρίσματος επιβλήθηκε από τις πολύ μεγάλες απαιτήσεις του αριθμητικού μοντέλου σε σχέση με τη διαθέσιμη υπολογιστική ισχύ.

Η επίλυση του προβλήματος γίνεται μέσω μη γραμμικής θερμοελαστικής ανάλυσης, λαμβάνοντας υπόψη στη μοντελοποίηση το μηχανισμό της τριβής. Το πρόβλημα επιλύεται με το εμπορικό λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων Ansys Workbench 14 trial version. Η συγκεκριμένη έκδοση είναι ποιο φιλική και εύχρηστη προς τον χρήστη. Επιπλέον και στην έκδοση αυτή υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής εντολών της κλασικής έκδοσης του προγράμματος, ώστε να μην περιορίζονται οι δυνατότητες ανάλυσης.

Λόγω της πολυπλοκότητας της γεωμετρίας του δισκόφρενου και του τακακίου αλλά και της περιορισμένης υπολογιστικής ισχύς που είχαμε στη διάθεση μας, η μοντελοποίηση του προβλήματος έγινε με απλοποίηση της γεωμετρίας θεωρώντας ισοδύναμη ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση. Τόσο ο δίσκος όσο και το τακάκι

μοντελοποιήθηκαν ως ορθογώνια παραλληλόγραμμα ίσων παχών, αντίστοιχα. Τα μήκη των δύο ορθογωνίων αντιστοιχούν το μεν πρώτο στη περιφέρεια της μέσης διαμέτρου της επιφάνειας τριβής ($D_{\delta\mu}=116.8 \text{ mm}$), ήτοι $L=\pi D_{\delta\mu}=367\text{mm}$ και το δεύτερο στο μήκος τόξου που αντιστοιχεί στη μέση διάμετρο της επιφάνειας τριβής και το μήκος του τακακίου, ήτοι $l = 110\text{mm}$. Το πλάτος και των δύο ορθογωνίων παραλληλεπιπέδων ισούται με $b= 45\text{mm}$ το οποίο αντιστοιχεί στη διαφορά της εξωτερικής μείον της εσωτερικής ακτίνας του τακακίου. Η απλοποιημένη γεωμετρία φαίνεται στο σχήμα 4.3.



ΣΧΗΜΑ 4.3 Γεωμετρία απλοποιημένου μοντέλου. Οι διαστάσεις είναι σε mm.

Χωρίς βλάβη της γενικότητας ενώ στην πραγματικότητα κινείται ο δίσκος εκτελώντας περιστροφική κίνηση και το τακάκι παραμένει σταθερό, στο μοντέλο ο δίσκος παραμένει σταθερός και κινείται το τακάκι εκτελώντας ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση. Μια πλήρη περιστροφή του δίσκου στην πραγματικότητα αντιστοιχεί σε μια μεταφορά του τακακίου σε όλο το ευθύγραμμο ανηγμένο μήκος του δίσκου στο μοντέλο.

Οι επιπλέον παραδοχές του μοντέλου είναι οι εξής:

A) Η θερμοκρασία της μίας δισκόπλακας δεν επηρεάζει την άλλη καθώς είναι αεριζόμενες ενδιάμεσα, ως εκ τούτου χωρίς βλάβης της γενικότητας μοντελοποιείται μόνο ένας από τους δύο δίσκους και ένα από τα δύο τακάκια.

B) Ο συντελεστής τριβής ανάμεσα στο δίσκο και στο τακάκι θεωρήθηκε ίσος με $\mu_{\text{τακ}}=0,2$ [6].

Γ) Η επιφάνεια τριβής του τακακίου έχει σταθερό εμβαδό κατά το φρενάρισμα.

Δ) Θεωρούμε ότι η ροή θερμότητας που παράγεται λόγω της τριβής στην επιφάνεια επαφής είναι ίση και προς το εσωτερικό του τακακίου και προς το εσωτερικό του δίσκου.

Ε) Η μάζα των τροχών είναι αμελητέα σε σχέση με τη μάζα του οχήματος.

Ζ) Έχουμε ευθύγραμμη ομαλά επιβραδυνόμενη κίνηση.

ΣΤ) Η δύναμη πέδησης είναι ίση σε όλους τους τροχούς.

Η) Θεωρούμε ότι το φρενάρισμα γίνεται σε στεγνό οδόστρωμα χωρίς να ολισθαίνει ο τροχός και ως εκ' τούτου, ο συντελεστής ολίσθησης των τροχών είναι $\mu_{\text{οδ}}=0,6$ [2].

4.2 Υπολογισμός της Πίεσης Πέδησης

Η κινητική ενέργεια οχήματος μάζας m που τη χρονική στιγμή $t=0$ κινείται με ταχύτητα U_0 , είναι:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot U_0^2 \quad (1)$$

Στο SI, οι μονάδες της μάζας m είναι σε kg, της ταχύτητας U_0 σε m/s και της ενέργειας E_k σε Joule.

Για να σταματήσει το όχημα θα πρέπει εξ' ολοκλήρου η κινητική ενέργεια να μετατραπεί σε θερμότητα μέσω του έργου τριβής. Το σώμα παράγει έργο κατά την πέδηση, το οποίο ισούται με την κινητική ενέργεια και ονομάζεται έργο πέδησης ή τριβής (W) και δίνεται από τη σχέση:

$$W = F_{\pi} \cdot S_{\pi} \quad (2)$$

όπου F_{π} η συνολική δύναμη πέδησης στους τροχούς (δύναμη τριβής μεταξύ ελαστικών και οδοστρώματος) και S_{π} το διάστημα φρεναρίσματος του οχήματος. Στο SI, οι μονάδες της δύναμης F_{π} είναι σε N, και διαστήματος S σε m.

Εξισώνοντας τα δύο πρώτα μέλη των (1) και (2) προκύπτει:

$$\frac{1}{2} m \cdot U_0^2 = F_{\pi} \cdot S_{\pi} \quad \Rightarrow \quad S_{\pi} = \frac{m \cdot U_0^2}{2F_{\pi}} \quad (3)$$

Η δύναμη τριβής κατά την επαφή των ελαστικών με το οδόστρωμα F_{π} δίνεται, για οριζόντιο έδαφος, από τη σχέση:

$$F_{\pi} = \mu_{o\delta} \cdot B = \mu_{o\delta} \cdot m \cdot g \quad (4)$$

όπου B (σε N) το βάρος του οχήματος, $\mu_{o\delta}=0,6$ ο συντελεστής ολίσθησης μεταξύ τροχών και οδοστρώματος και $g=9.81 \text{ m/sec}^2$ η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Αντικαθιστώντας την (4) στην (3), προκύπτει:

$$S_{\pi} = \frac{U_0^2}{2g \cdot \mu_{o\delta}} \quad (5)$$

Θεωρώντας ευθύγραμμη ομαλά επιβραδυνόμενη κίνηση, ο δεύτερος νόμος του Newton γράφεται

$$\Sigma f = m \cdot \alpha \Rightarrow F_{\pi} = m \cdot \alpha \quad (6)$$

όπου $\alpha \text{ (m/sec}^2\text{)}$ είναι η σταθερή επιβράδυνση του οχήματος.

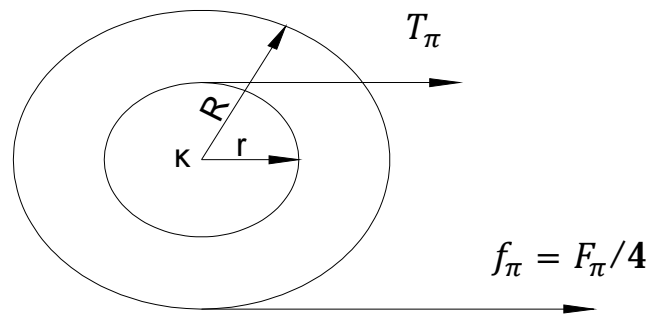
Συνδυάζοντας τις (4) και (6) προκύπτει

$$\mu_{o\delta} = \frac{\alpha}{g} \quad (7)$$

Αντικαθιστώντας την (7) στην (5) έχουμε:

$$S_{\pi} = \frac{U_0^2}{2\alpha} \quad (8)$$

Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζεται το Διάγραμμα Ελευθέρου Σώματος (ΔΕΣ) του τροχού κατά τη διάρκεια του φρεναρίσματος, όπου f_{π} η δύναμη πέδησης ανά τροχό, ήτοι $f_{\pi} = F_{\pi}/4$ υπό την παραδοχή της ισοκατανομής στους τέσσερις (4) τροχούς.



Σχήμα 4.4: ΔΕΣ του τροχού κατά τη διάρκεια του φρεναρίσματος

Επιπλέον, θεωρώντας αμελητέα τη μάζα του τροχού σε σχέση με τη μάζα του οχήματος, ο δεύτερος νόμος του Newton για περιστροφή ως προς το κέντρο μάζας K , εκφυλίζεται σε στατική ισορροπία, ήτοι,

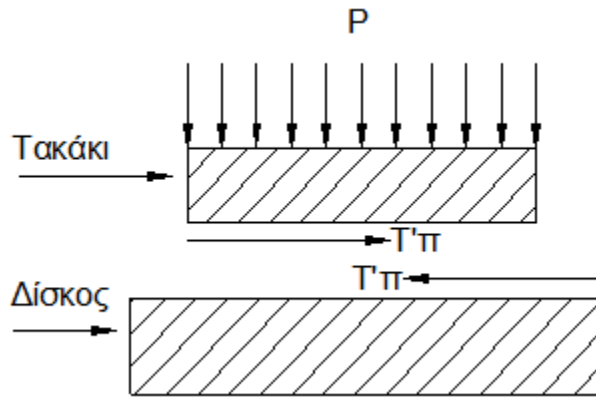
$$\Sigma M_K = \mathbf{0} \Rightarrow f_{\pi} \cdot R = T_{\pi} \cdot r \Rightarrow T_{\pi} = f_{\pi} \frac{R}{r} \quad (9)$$

όπου $r = D_{\delta\mu} / 2 = 116.8 / 2 = 58.4\text{mm}$, η μέση ακτίνα της επιφάνειας τριβής και R η ακτίνα του τροχού. Για το υπό μελέτη όχημα θεωρήθηκε $R=225\text{mm}$.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι, η δαγκάνα του φρένου χρησιμοποιεί δύο τακάκια, υπάρχουν δύο επιφάνειες εφαρμογής της δύναμης πέδησης T_{π} . Οπότε, σύμφωνα με τις (4) και (9) η δύναμη πέδησης ανά επιφάνεια επαφής T'_{π} θα είναι:

$$T'_{\pi} = \frac{T_{\pi}}{2} = \frac{\mu_{\text{οδ}} \cdot m \cdot g}{8} \frac{R}{r} \quad (10)$$

Στο Σχήμα 4.5, φαίνονται τα ΔΕΣ του τακακίου και του δίσκου, όπου P (N/m^2) είναι η πίεση των υγρών φρένων στο τακάκι.



Σχήμα 4.5: ΔΕΣ του τακακίου και του δίσκου

Θεωρώντας ισοκατανομή της πίεσης στο τακάκι, η συνολική κάθετη δύναμη $F = P \cdot A$ (όπου A η επιφάνεια του τακακίου) συνδέεται με τη δύναμη πέδησης T'_{π} μέσω του συντελεστή τριβής στην επιφάνεια τριβής, ήτοι:

$$T'_{\pi} = \mu_{\tau\alpha\kappa} F = \mu_{\tau\alpha\kappa} \cdot P \cdot A \quad (11)$$

Συνδυάζοντας τις (10) και (11) προκύπτει ότι η πίεση στο τακάκι δίνεται από τη σχέση:

$$P = \frac{\mu_{\circ\delta} \cdot m \cdot g \cdot R}{8\mu_{\tau\alpha\kappa} \cdot A \cdot r} \quad (12)$$

Λαμβάνοντας ότι στο υπό μελέτη όχημα έχουμε θεωρήσει:

$$\mu_{\circ\delta} = 0.6, \mu_{\tau\alpha\kappa} = 0.2, m = 1000\text{kg}, r = 58.4\text{mm}, R = 225\text{mm}, A = 0.005\text{m}^2$$

Από τη (12) προκύπτει:

$$P = 2.83 \text{ MPa.}$$

4.3 Υπολογισμός του Χρόνου Πέδησης για πλήρη ακινητοποίηση

Δεδομένου ότι έχουμε θεωρήσει ομαλά επιβραδυνόμενη κίνηση, αρχικής ταχύτητας U_0 , με σταθερή επιβράδυνση α , η ταχύτητα κάθε χρονική στιγμή δίνεται από τη σχέση:

$$u(t) = U_0 - a \cdot t \quad (13)$$

Σύμφωνα με την (13), ο χρόνος $t_{ολ}$ ο οποίος απαιτείται ώστε να ακινητοποιηθεί το όχημα είναι:

$$u(t_{ολ}) = 0 \Rightarrow t_{ολ} = \frac{U_0}{a} \quad (14)$$

Η (14) σύμφωνα με την (7) γίνεται

$$t_{ολ} = \frac{U_0}{\mu_{οδ}g} \quad (15)$$

Λαμβάνοντας ότι στο υπό μελέτη όχημα έχουμε θεωρήσει $\mu_{οδ} = 0.6$ και $U_0 = 50$ km/h ή 13.88m/s, από την (15) προκύπτει:

$$t_{ολ} = 2.35s$$

4.4 Υπολογισμός του χρόνου πέδησης ως συνάρτηση του διαστήματος

Προκειμένου να εισαχθούν οι συνοριακές συνθήκες στο μοντέλο των πεπερασμένων στοιχείων, πρέπει να περιγραφεί η θέση του τακακίου (γνωστή μετατόπιση) για κάθε χρονική στιγμή.

Δεδομένου ότι έχουμε θεωρήσει ομαλά επιβραδυνόμενη κίνηση, αρχικής ταχύτητας U_0 , με σταθερή επιβράδυνση a , η ταχύτητα κάθε χρονική στιγμή δίνεται από την (13) και ο ολικός χρόνος ακινητοποίησης υπολογίζεται από την (14). Το διάστημα που θα έχει διανύσει το όχημα σε χρόνο t θα είναι:

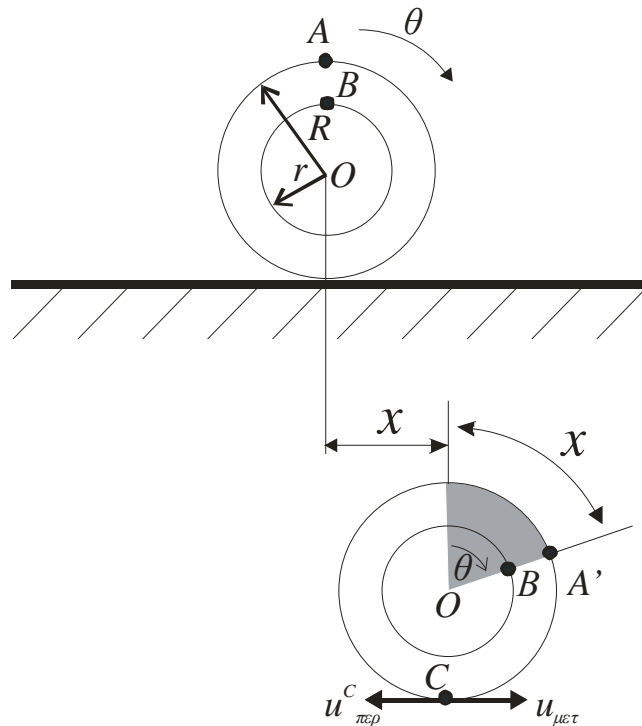
$$s_{ολ}(t) = U_0 t - \frac{1}{2} a t^2 \quad (16)$$

Από τη (16) και λαμβάνοντας υπόψη την (14), το συνολικό διάστημα που θα διανύσει το όχημα μέχρι την ακινητοποίηση του θα είναι:

$$s_{ολ}(t_{ολ}) = \frac{1}{2} \frac{U_0^2}{a} \quad (17)$$

Ο τροχός, υπό την παραδοχή ότι κατά το φρενάρισμα συνεχίζει να περιστρέφεται χωρίς να ολισθαίνει, κινείται εκτελώντας ταυτόχρονα δύο κινήσεις: μια

μεταφορά και μια περιστροφή ως προς το κέντρο του (θεωρούμε ομοιόμορφη κατανομή μάζας στον τροχό), όπως φαίνεται στο σχήμα 4.6.



Σχήμα 4.6: Ο τροχός κινείται εκτελώντας ταυτόχρονα δύο κινήσεις: μια μεταφορά και μια περιστροφή ως προς το κέντρο του.

Ως εκ' τούτου, κάθε χρονική στιγμή, η συνολική γραμμική ταχύτητα $u_{tot}(t)$ σε οποιοδήποτε σημείο στο τακάκι είναι το άθροισμα των γραμμικών ταχυτήτων λόγω μεταφοράς $u(t)$ και λόγω περιστροφής $u_{περ}(t)$, ήτοι:

$$u_{tot}(t) = u(t) + u_{περ}(t) \quad (18)$$

Η γραμμική ταχύτητα λόγω περιστροφής σε ένα σημείο που απέχει από το κέντρο απόσταση ρ , είναι:

$$u_{περ}(t) = \Omega(t) \cdot \rho \quad (19)$$

Δεδομένου ότι ο τροχός περιστρέφεται χωρίς να ολισθαίνει σε όλη τη διάρκεια του φρεναρίσματος, στο σημείο C, το οποίο στιγμιαία βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος (μηδενική ταχύτητα), η συνολική γραμμική ταχύτητα θα είναι μηδέν και επομένως συνδυάζοντας τις (18) και (19), προκύπτει:

$$u_{tot}^C(t) = u(t) + u_{περ}^C(t) \Rightarrow 0 = u_{μετ}(t) - \Omega(t) \cdot R \Rightarrow \Omega(t) = \frac{u_{μετ}(t)}{R} \quad (20)$$

Η ψ του δίσκου με το τακάκι (περιφέρεια κύκλου ακτίνας r της μέσης επιφάνειας επαφής), σύμφωνα με τις (13) και (18)-20 θα είναι:

$$u_{tot}^B(t) = u(t) + u_{\pi\epsilon\rho}^B(t) = u(t) + \frac{u(t)}{R}r \Rightarrow$$

$$u_{tot}^B(t) = \left(1 + \frac{r}{R}\right)u(t) = (U_0 - a \cdot t) \left(1 + \frac{r}{R}\right) \quad (21)$$

Ολοκληρώνοντας την (21), ως προς το χρόνο t , προκύπτει η συνάρτηση του διαστήματος $S^B(t)$ του σημείου επαφής B :

$$S^B(t) = \left(U_0 t - \frac{1}{2}at^2\right) \left(1 + \frac{r}{R}\right) \quad (22)$$

Δεδομένου ότι στο μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων απαιτείται να περιγραφεί η θέση του σημείου επαφής B σε τακτά διαστήματα (στην αρχή και στο τέλος της παλινδρομικής διαδρομής), η (22) επιλύεται ως προς το χρόνο t και προκύπτει:

$$t = \frac{U_0 \left(1 + \frac{r}{R}\right) \pm \sqrt{\left(U_0^2 \left(1 + \frac{r}{R}\right)^2 - 2a \left(1 + \frac{r}{R}\right) S(t)\right)}}{a \left(1 + \frac{r}{R}\right)} \quad (23)$$

Εφαρμόζοντας την (23) για τακτά διαστήματα που $S(t)$ που αντιστοιχούν στα ακέραια πολλαπλάσια της περιμέτρου της μέσης ακτίνας $r=58.4\text{mm}$ του δισκόφρενου (όσο είναι και το μήκος του ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου) προκύπτουν οι χρονικές στιγμές που διέρχεται το σημείο επαφής B από τα σημεία αυτά, όπως φαίνονται στον πίνακα 4.2

Πίνακας 4.2 Χρόνοι που αντιστοιχούν σε ακέραια πολλαπλάσια της μέσης περιμέτρου επαφής (σημείο B, ακτίνας $r=58.4\text{mm}$)

	A	B	C
1		Απόσταση ανά διαδρομή (mm)	Χρόνος (s)
2	1	0,366938022	0,020745937
3	2	0,733876044	0,042026688
4	3	1,100814066	0,063508826
5	4	1,467752088	0,085198178
6	5	1,83469011	0,10710086
7	6	2,201628132	0,129223292
8	7	2,568566154	0,151572224
9	8	2,935504176	0,17415476
10	9	3,302442197	0,196978381
11	10	3,669380219	0,220050978
12	11	4,036318241	0,243380881
13	12	4,403256263	0,266976895
14	13	4,770194285	0,29084834
15	14	5,137132307	0,315005092
16	15	5,504070329	0,339457632
17	16	5,871008351	0,3642171
18	17	6,237946373	0,389295351
19	18	6,604884395	0,414705025
20	19	6,971822417	0,440459621
21	20	7,338760439	0,466573577
22	21	7,705698461	0,49306237
23	22	8,072636483	0,51994262

4.5 Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων

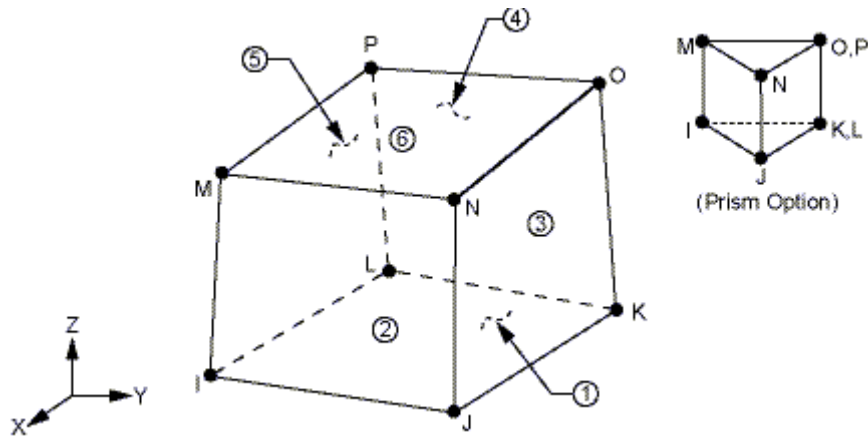
Δεδομένα του θερμομηχανικού μοντέλου

Συνοψίζοντας τα δεδομένα που απαιτούνται στο ANSYS Workbench για την κατασκευή του θερμομηχανικού μοντέλου είναι τα εξής:

- 1) Η γεωμετρία, η οποία φαίνεται στο σχήμα 4.3
- 2) Η πίεση που ασκείται από το υδραυλικό σύστημα στο τακάκι, η οποία δίνεται από την (12) και προέκυψε $P=2.83\text{ MPa}$
- 3) Αρχική ταχύτητα οχήματος τη στιγμή $t=0$ που ξεκινά η πέδηση $U_0=13.88\text{m/s}$ ή 50Km/h
- 4) Αρχική θερμοκρασία $T_0=22^\circ\text{C}$
- 5) Συνολικός χρόνος φρεναρίσματος $t_{0\lambda}=0.51\text{s}$. Ο σχετικά αυτός μικρός χρόνος επιβλήθηκε από τη διαθέσιμη υπολογιστική ισχύ και από την ισχυρή μη γραμμικότητα του προβλήματος, η οποία απαιτεί πολύ μικρό χρονικό βήμα επίλυσης ώστε να εξασφαλισθεί η σύγκλιση των αποτελεσμάτων.

Τύπος πεπερασμένου στοιχείου

Ο τύπος του πεπερασμένου στοιχείου που χρησιμοποιήθηκε για τη διακριτοποίηση του όγκου των δύο ορθογωνίων παραλληλεπίπεδων είναι το SOLID5, και η γεωμετρία του φαίνεται στο σχήμα 4.5. Έχει τέσσερις βαθμούς ελευθερίας ανά κόμβο (3 βαθμοί ελευθερίας για τις μετατοπίσεις U_x , U_y και U_z και έναν βαθμό ελευθερίας για τη θερμοκρασία T). Οι συναρτήσεις παρεμβολής του στοιχείου των είναι 1^{ου} βαθμού.



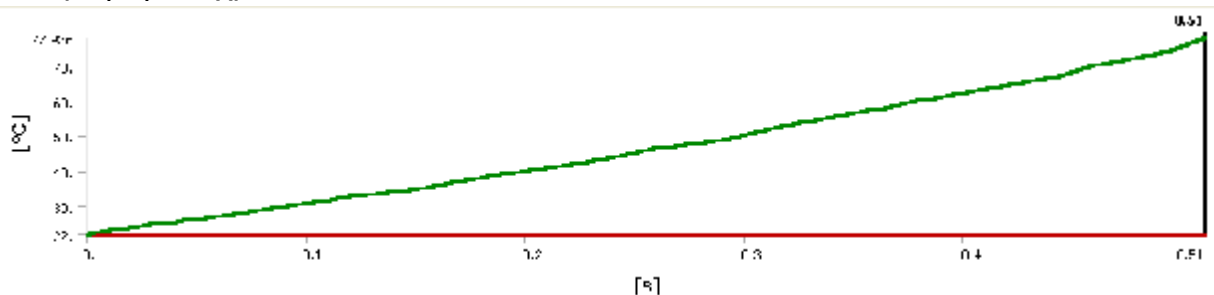
Σχήμα 4.5 Απεικόνιση πεπερασμένου στοιχείου SOLID5.

Η βήμα προς βήμα διαδικασία κατασκευής του μοντέλου παρουσιάζεται στο Παράρτημα «Βήμα προς βήμα η σχεδίαση του ευθύγραμμου μοντέλου δίσκου-τακακίου στο Ansys Workbench 14»

Όπως αναφέρθηκε, λόγω της ισχυρής μη γραμμικότητας του προβλήματος, απαιτήθηκε πολύ μικρό χρονικό βήμα επίλυσης. Το βήμα που χρησιμοποιήθηκε είναι $\Delta t = 0,00001 \text{ sec}$.

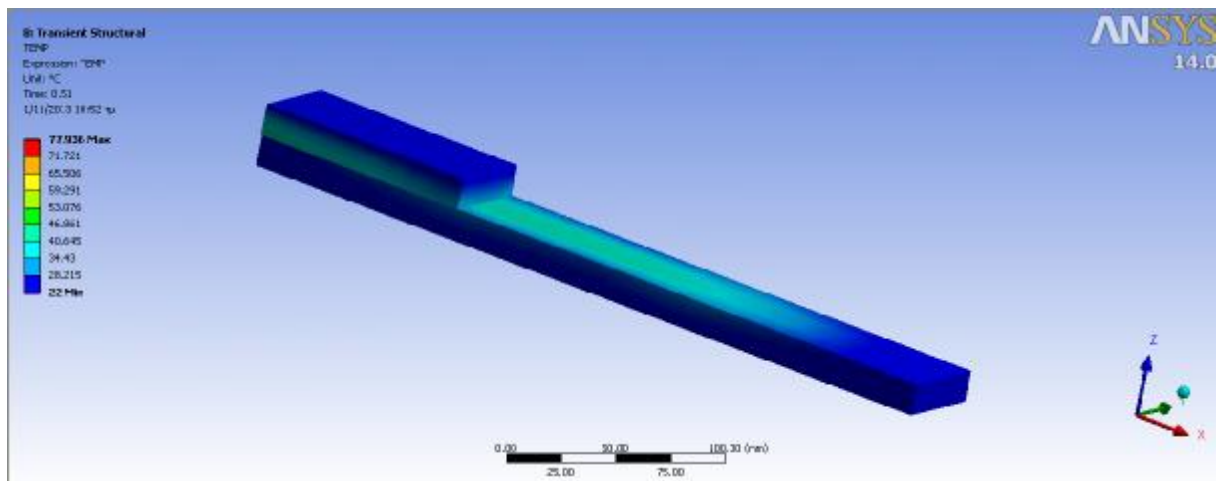
4.6 Αποτελέσματα-Συμπεράσματα

Στα σχήμα 4.6 παρουσιάζεται η θερμοκρασία στο μέσο της δισκόπλακας ως συνάρτηση του χρόνου.



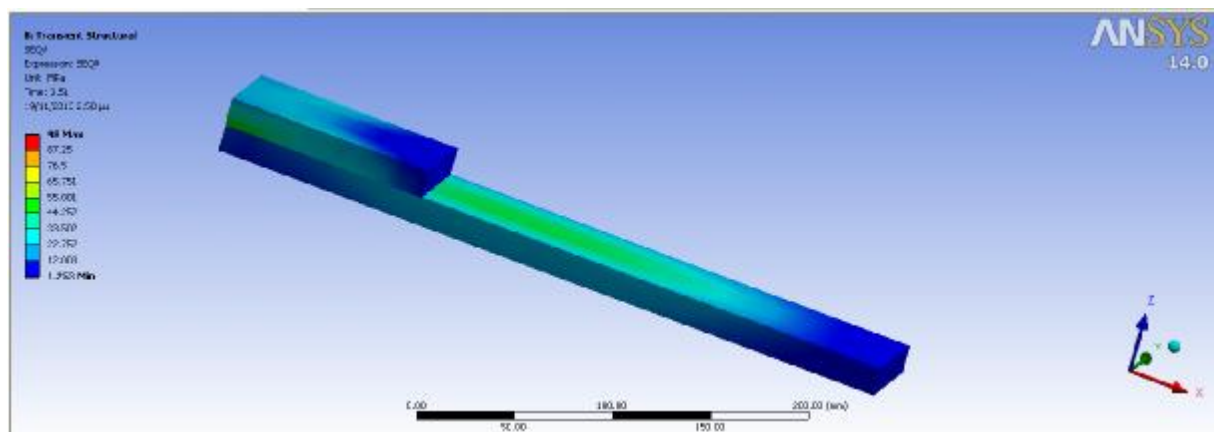
Σχήμα 4.6: Θερμοκρασία στο μέσο της δισκόπλακας ως συνάρτηση του χρόνου

Στα σχήμα 4.7 παρουσιάζεται κατανομή της θερμοκρασίας στη δισκόπλακα την χρονική στιγμή $t=0.51 \text{ sec}$.



Σχήμα 4.7: Κατανομή της θερμοκρασίας στη δισκόπλακα την χρονική στιγμή $t=0.51$ sec.

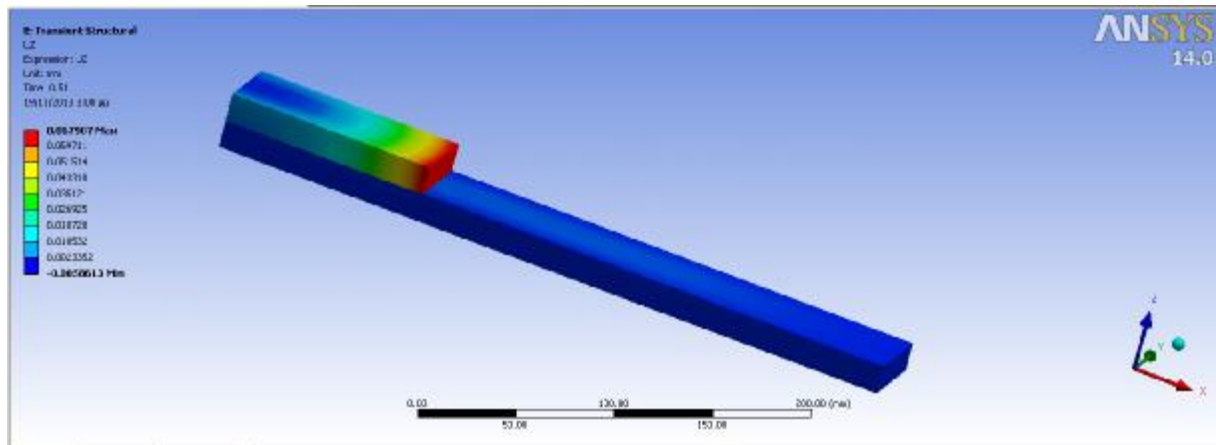
Στο σχήμα 4.8 παρουσιάζεται η ισοδύναμη τάση, σύμφωνα με το κριτήριο αστοχίας Von Mises, στη δισκόπλακα την χρονική στιγμή $t=0.51$ sec.



Σχήμα 4.8: Κατανομή της ισοδύναμης τάσης κατά Von Mises στη δισκόπλακα την χρονική στιγμή $t=0.51$ sec.

Παρατηρώντας τα σχήματα 4.6 έως 4.8 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- A) Η θερμοκρασία αυξάνει από 22°C σε 80°C κατά τη διάρκεια του φρεναρίσματος. Η μέγιστη θερμοκρασία είναι στην επιφάνεια επαφής ενώ στο μέσο της δισκόπλακας η θερμοκρασία κυμαίνεται από 40 έως 45°C .
- B) Για το υπό μελέτη διάστημα η αύξηση της θερμοκρασίας είναι φαίνεται γραμμική.
- Γ) Σε χρόνο $t=0.51\text{sec}$, η μέγιστη ισοδύναμη τάσης κατά Von Mises είναι περίπου 100 MPa και αναπτύσσεται στιγμιαία κατά τη διάρκεια της επαφής. Η ισοδύναμη τάση στο μέσο της δισκόπλακας είναι της τάξης των 55MPa .



Σχήμα 4.9: Κατανομή της κάθετης μετατόπισης στη δισκόπλακα την χρονική στιγμή $t=0.51$ sec.

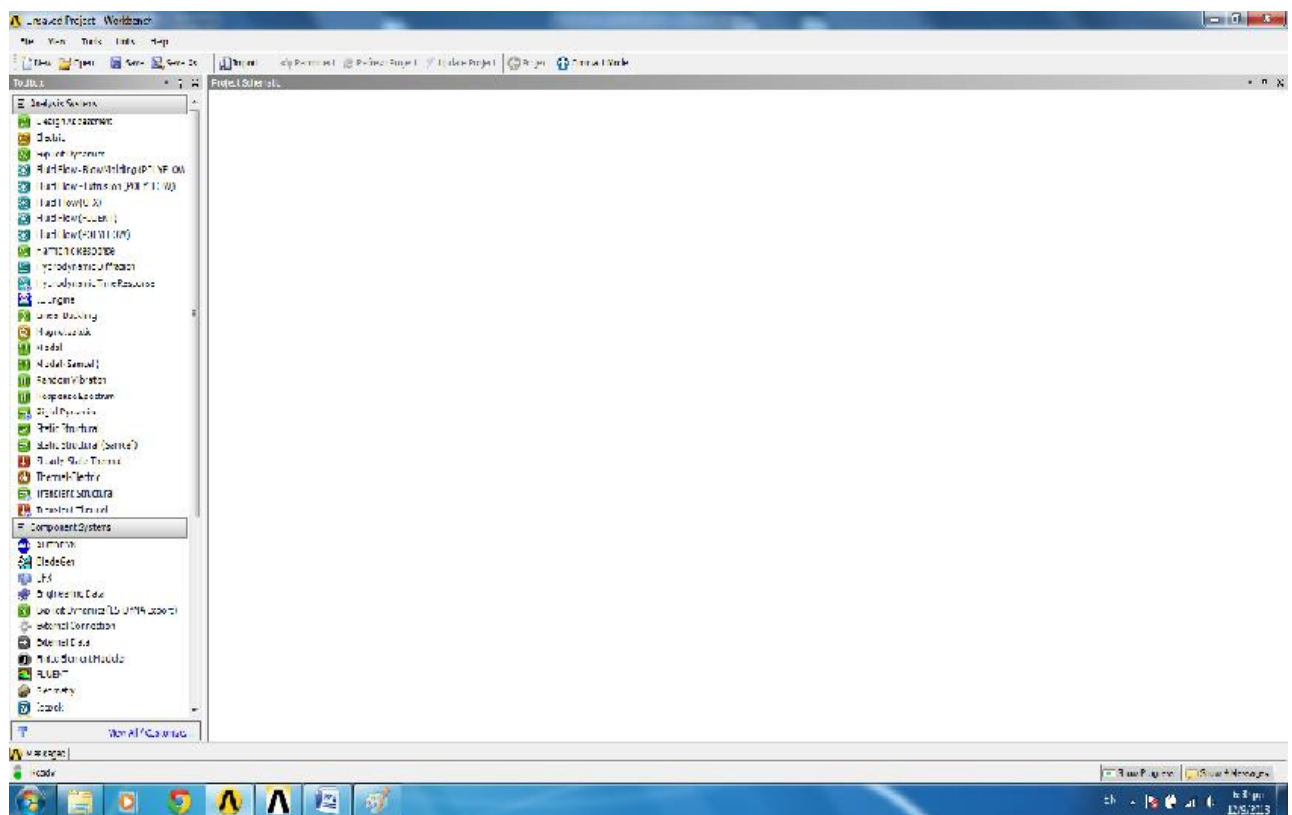
Η μέγιστη τιμή της κάθετης μετατόπισης είναι 0,07mm. Δεν δημιουργεί πρόβλημα στο μοντέλο. Εμφανίζεται στις άκρες του τακακίου.

Το πρόβλημα της υπερβολικής ανάπτυξης θερμοκρασίας σε ένα φρένο μπορεί να αντιμετωπιστεί από τον κατασκευαστή με διάφορους τρόπους. Αρχικά μεγάλο ρόλο παίζουν τα υλικά. Η επιλογή των υλικών πρέπει να γίνεται πάντα με βάση τις συνθήκες λειτουργίας. Η επιλογή διπλών αεριζόμενων δίσκων είναι από τις πιο δημοφιλείς. Σε υπερβολικά αντίξοες συνθήκες, δηλαδή όταν οι απαιτήσεις λόγω ταχύτητας, βάρους και χρόνου είναι μεγάλες όπως για παράδειγμα αγώνες ταχύτητας με τράκτορες, στα φρένα υπάρχει σύστημα που ψεκάζει νερό στην δαγκάνα των φρένων για υδρόψυκτη ψύξη. Στα συμβατικά και όχι μόνο συστήματα δίνεται μεγάλη προσοχή στην αερόψυκτη ψύξη.

Παράρτημα

Βήμα προς βήμα η σχεδίαση του ευθύγραμμου μοντέλου δίσκου-τακακίου στο Ansys Workbench 14.

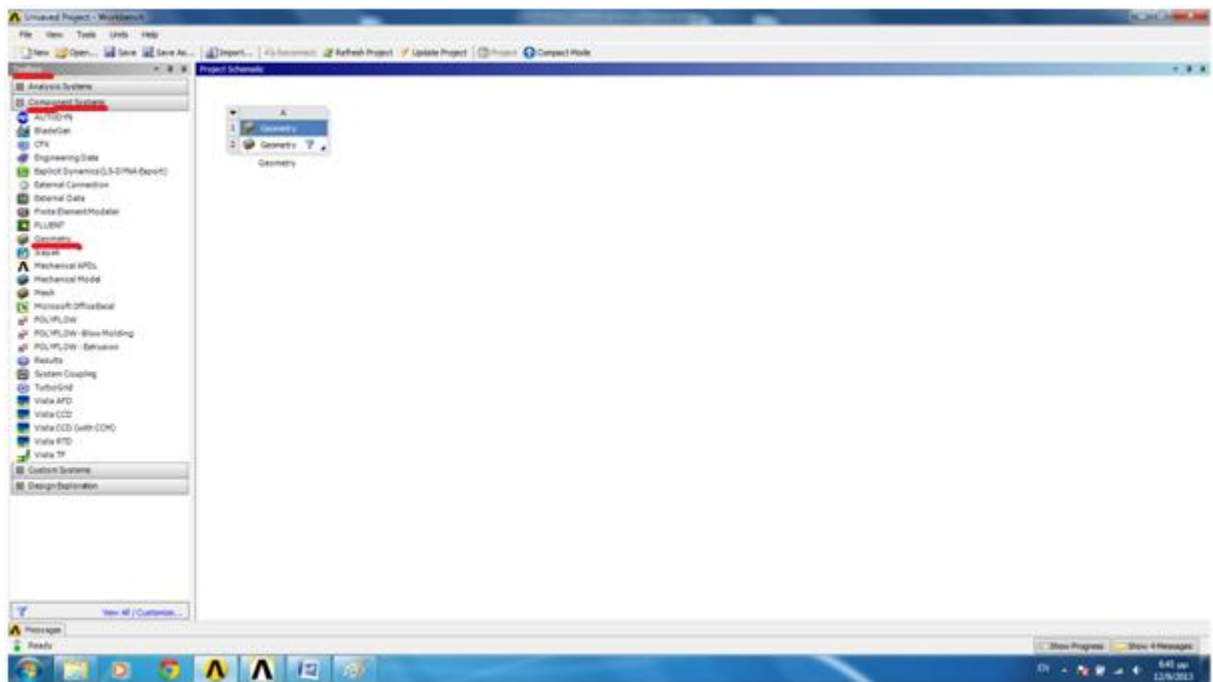
Το πρώτο βήμα είναι να ανοίξουμε το πρόγραμμα βλέποντας το αρχικό μενού.



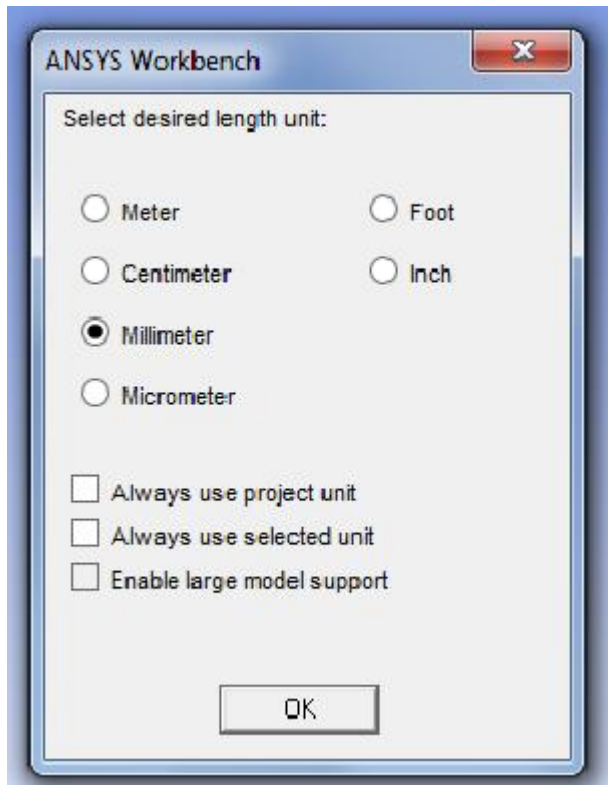
Αποθηκεύουμε το αρχείο μας από το File>save as ή από το εικονίδιο save as πάνω αριστερά (κυκλωμένο).



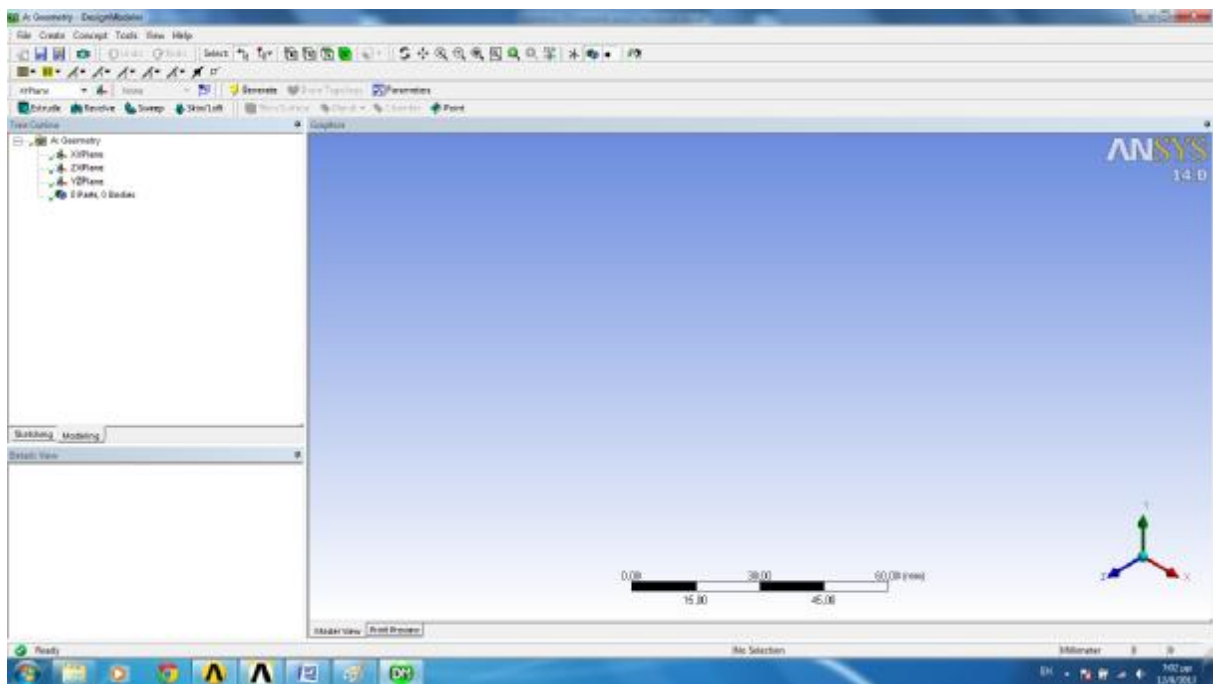
Αριστερά στο toolbox επιλέγουμε component systems θα βρούμε το geometry στο οποίο θα κάνουμε διπλό κλικ ώστε να εμφανιστεί στο Project schematic (κεντρικό παράθυρο εργασίας).



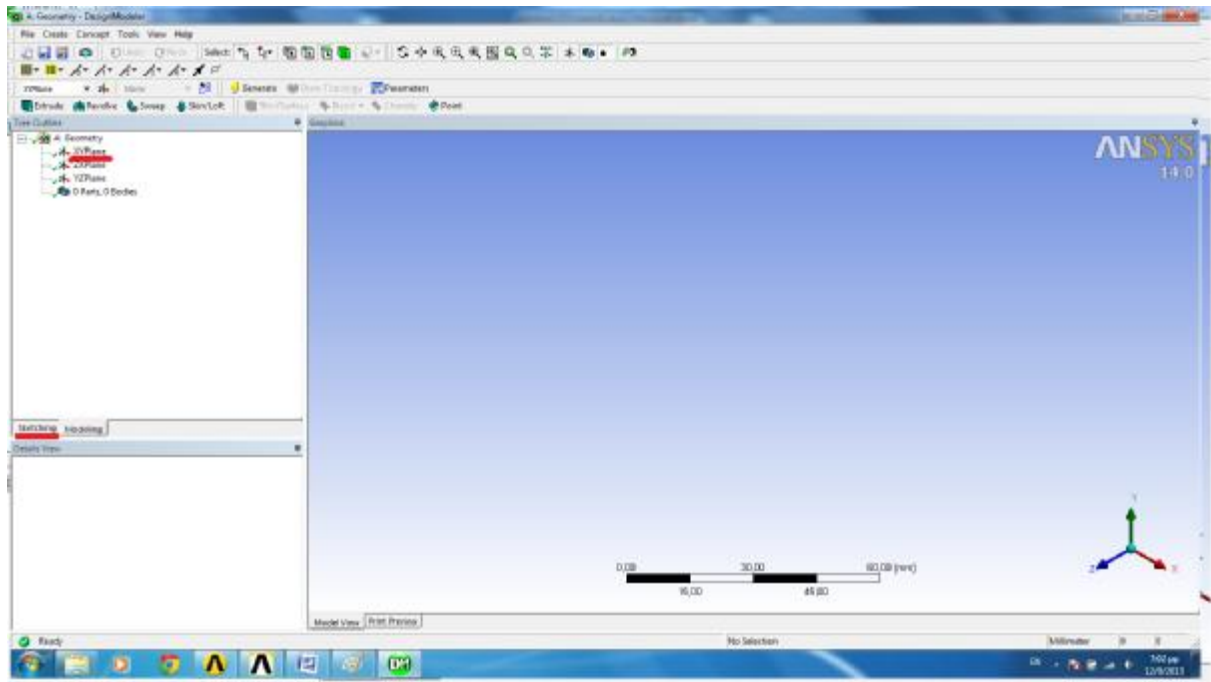
Θέλουμε να σχεδιάσουμε το μοντέλο μας. Θα κάνουμε διπλό κλικ στο geometry ώστε να ανοίξει το desingmodeler. Πριν ανοίξει θα μας εμφανιστεί το παρακάτω παράθυρο για ορισμό μονάδων επιλέγουμε τα χιλιοστά.



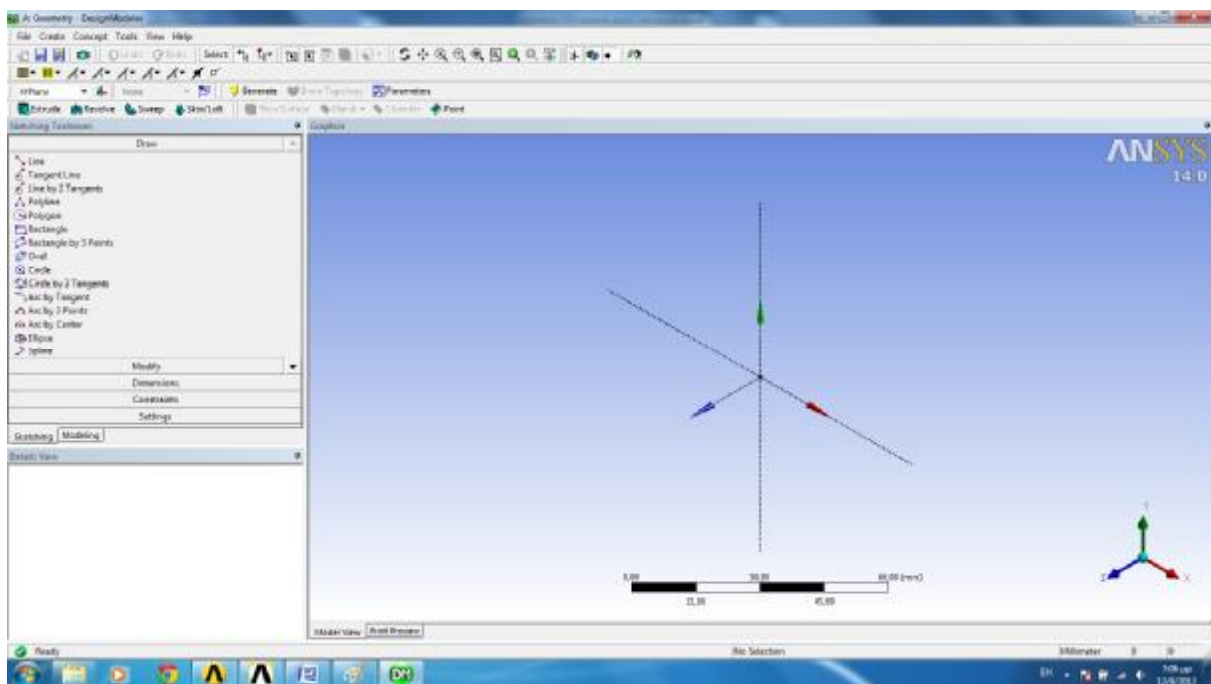
Πλέον πρέπει να βλέπουμε το παράθυρο του desingmodeler όπως παρακάτω



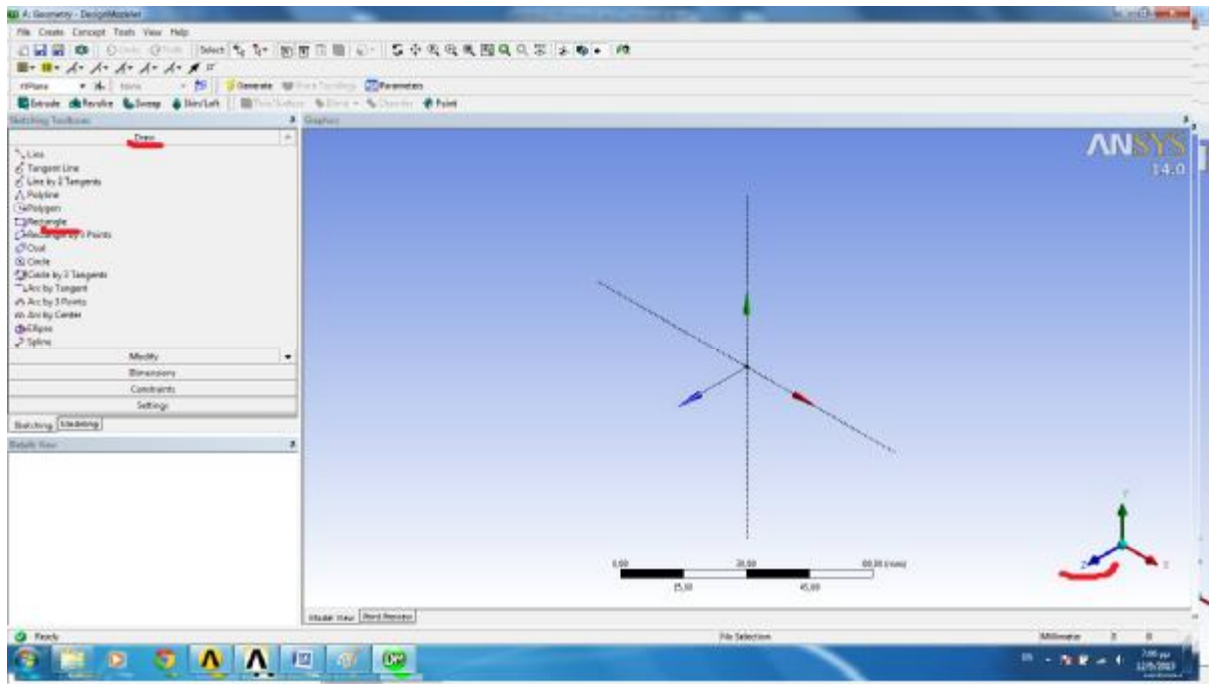
Στο δέντρο πληροφορίας βλέπουμε τα επίπεδα XY, ZX, YZ. Επιλέγουμε το XY και το sketching.



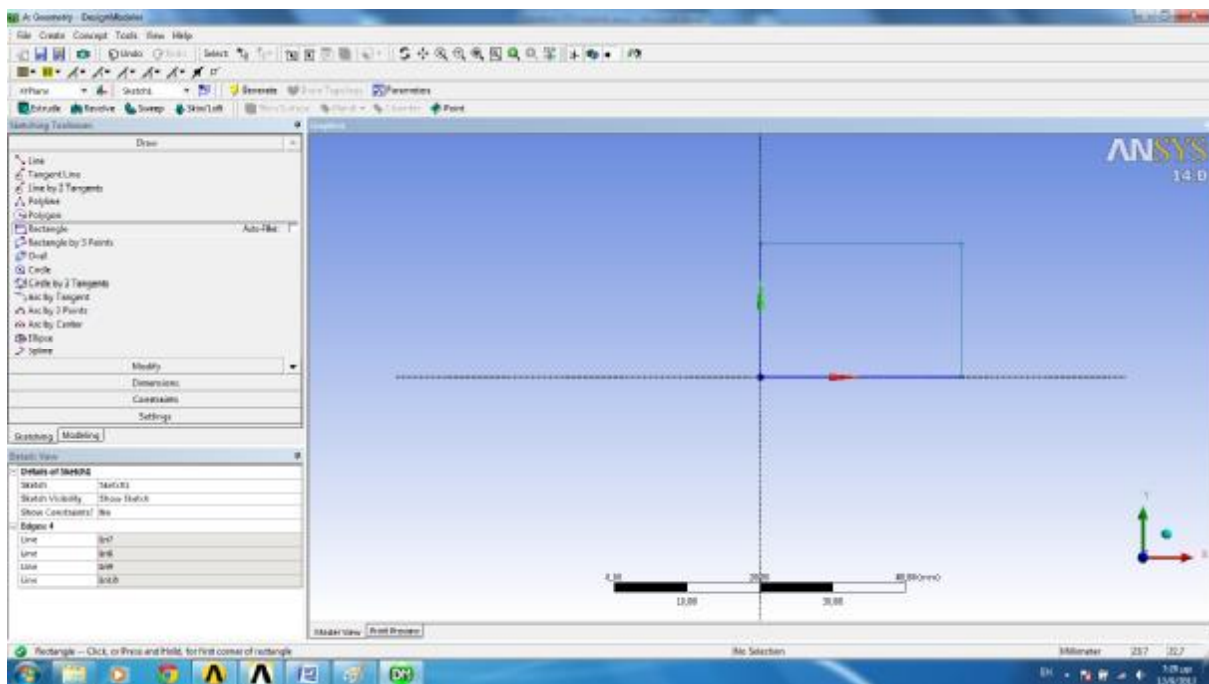
Και θα έχουμε το εξής παράθυρο πλέον



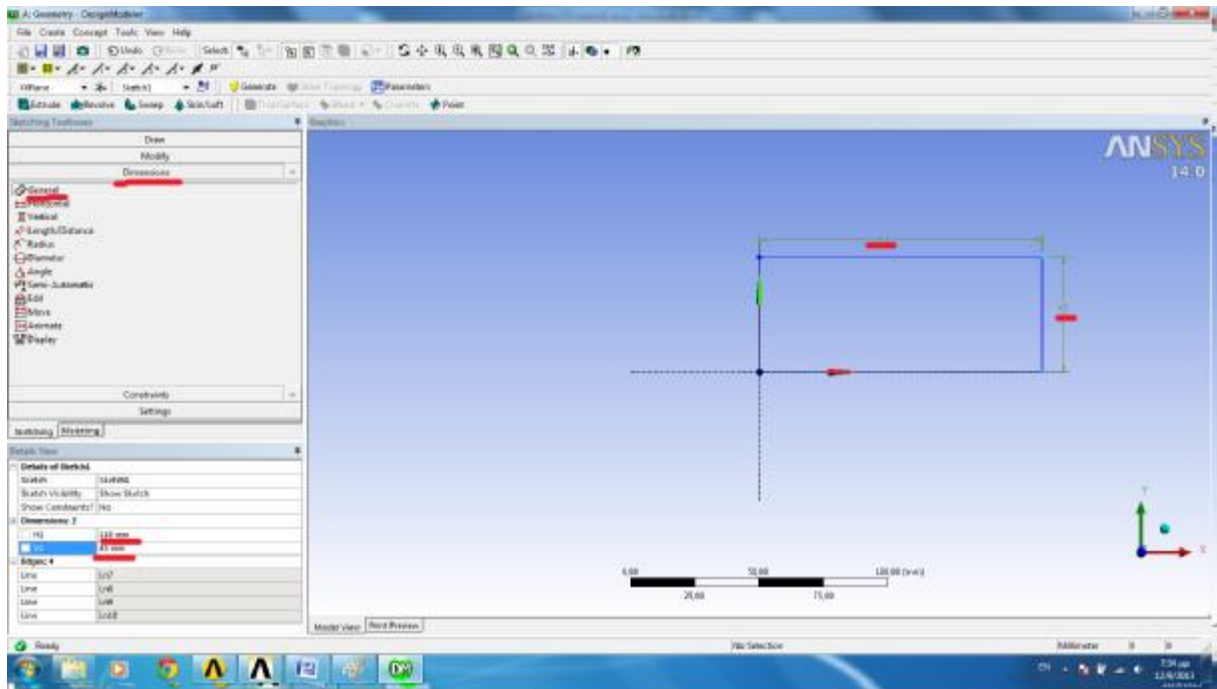
Θα επιλέξουμε από το σύστημα αξόνων τον Z ώστε να βλέπουμε το επίπεδο XY σε δύο διαστάσεις. Από το Draw το Rectangle και θα σχεδιάσουμε ένα ορθογώνιο τυχαίων διαστάσεων με αρχή το κέντρο των αξόνων.



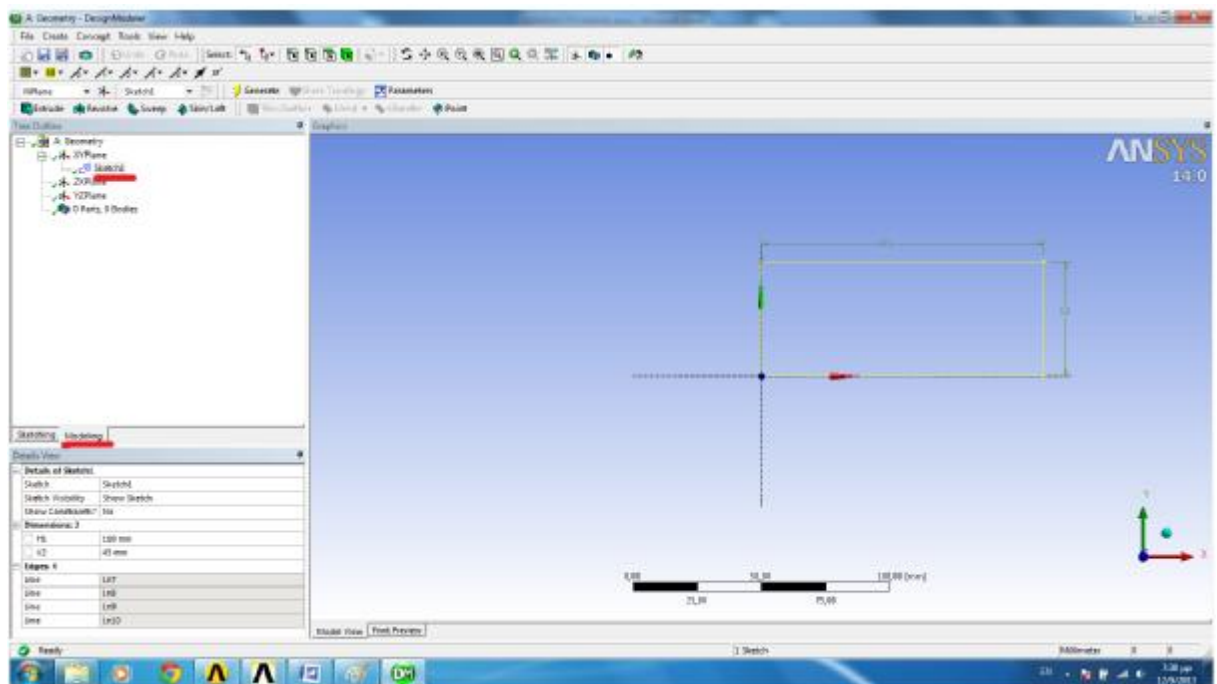
Και θα έχουμε το εξής παράθυρο



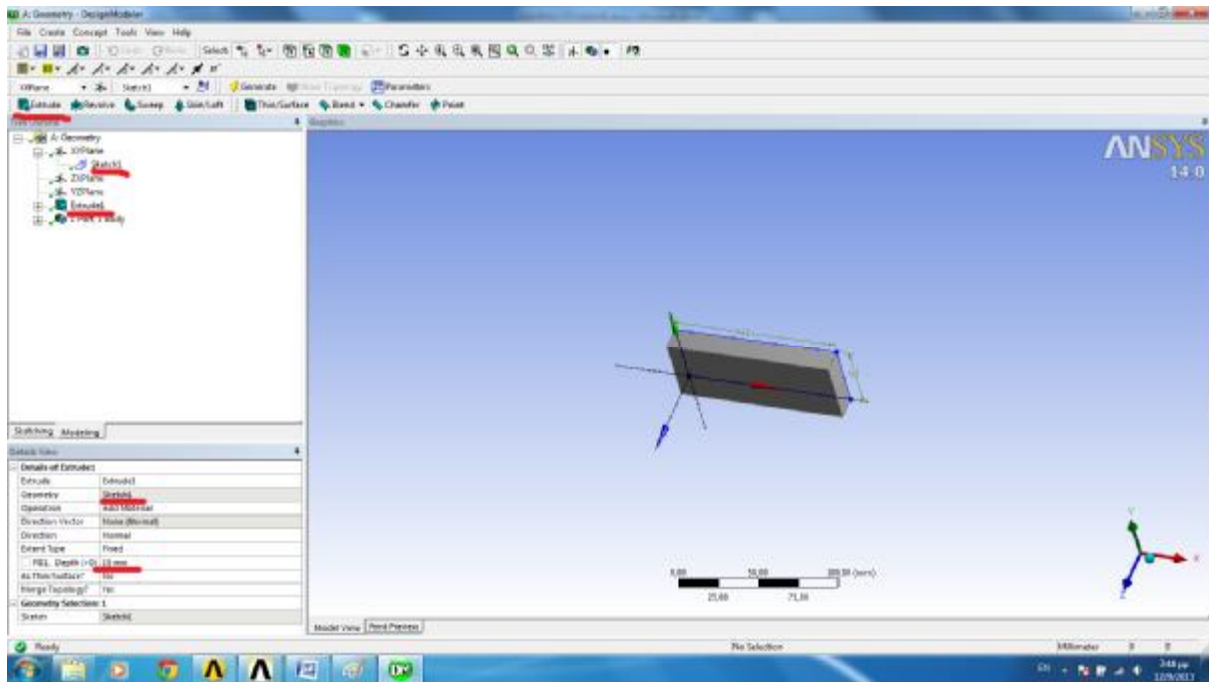
Επιλέγω dimensions, με επιλεγμένο το general δημιουργώ διαστάσεις σε δύο πλευρές του ορθογωνίου και στα κουτάκια των διαστάσεων βάζω τις επιθυμητές τιμές. $H1=110$ και $V2=45$.



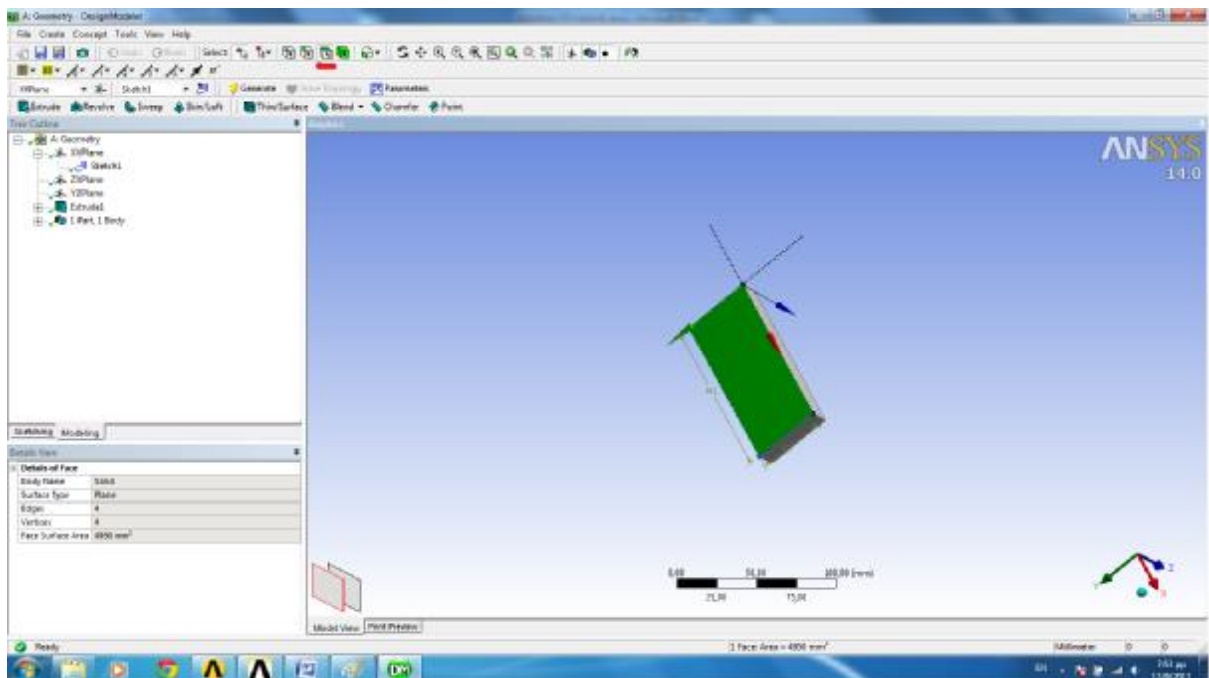
Αλλάζουμε καρτέλα και επιλέγουμε την modeling. Στο δέντρο πληροφοριών, στο XY plane, βρίσκεται πλέον το sketch1.



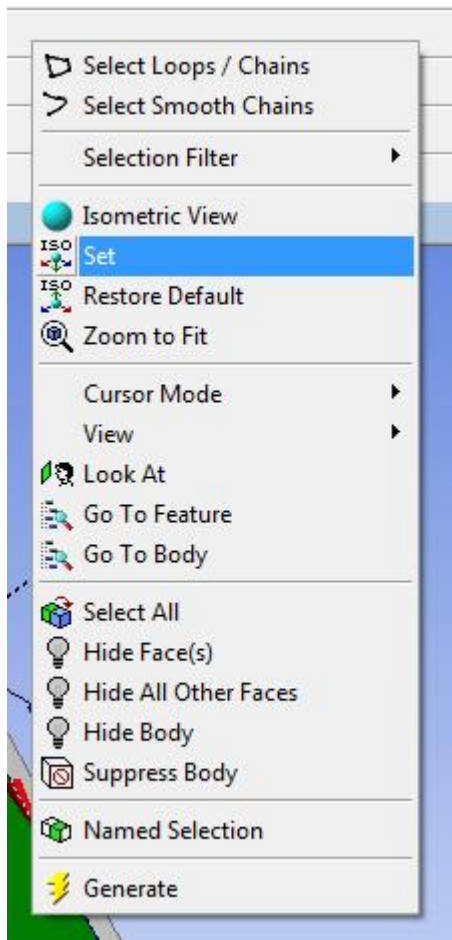
Επιλέγουμε extrude. Κάνουμε κλικ στο sketch1 και μετά επιλέγουμε apply στο geometry του extrude. Στο depth βάζουμε τιμή 15. Δεξί κλικ στο extrude και επιλέγουμε generate. Το πρώτο σώμα είναι πλέον έτοιμο (τακάκι).



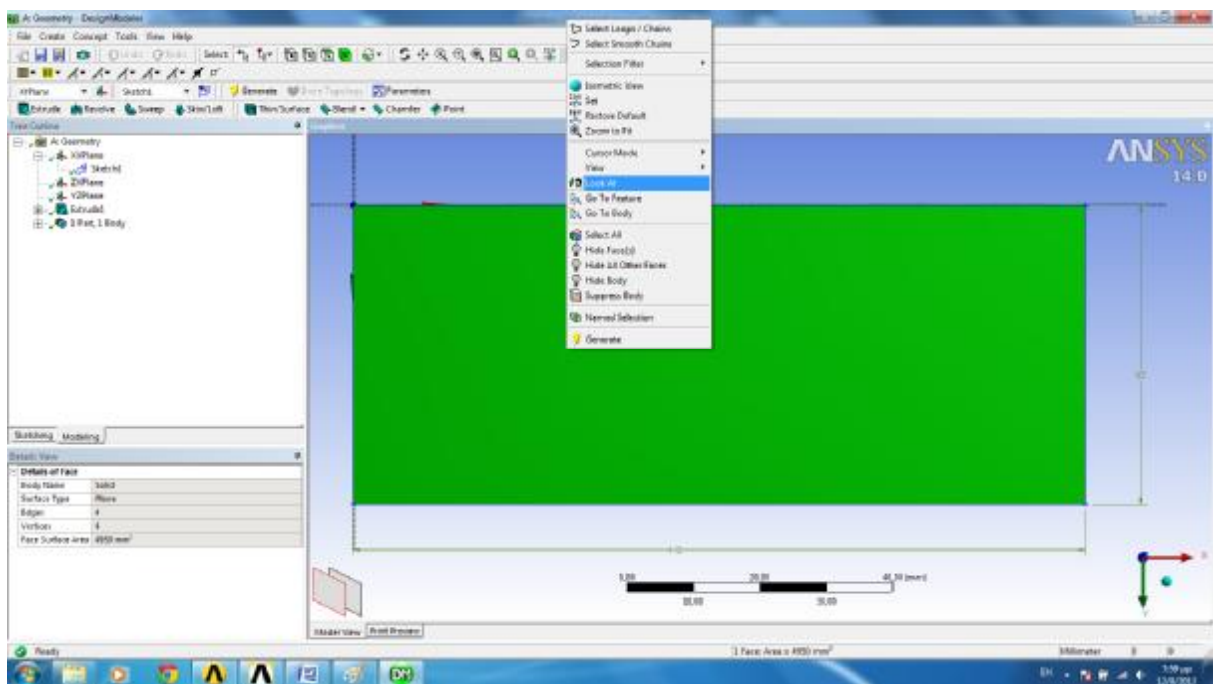
Για να φτιάξουμε το δεύτερο σώμα πρέπει αρχικά να γυρίσουμε την λάμα ώστε να βλέπουμε την κάτω όψη της. Έπειτα από τα εικονίδια στο πάνω μέρος επιλέγουμε το εικονίδιο που αντιστοιχεί σε επιλογή πλευράς του σώματος (selection filter: Model faces (3D)). Επιλέγουμε την κάτω όψη (θα γίνει πράσινη).



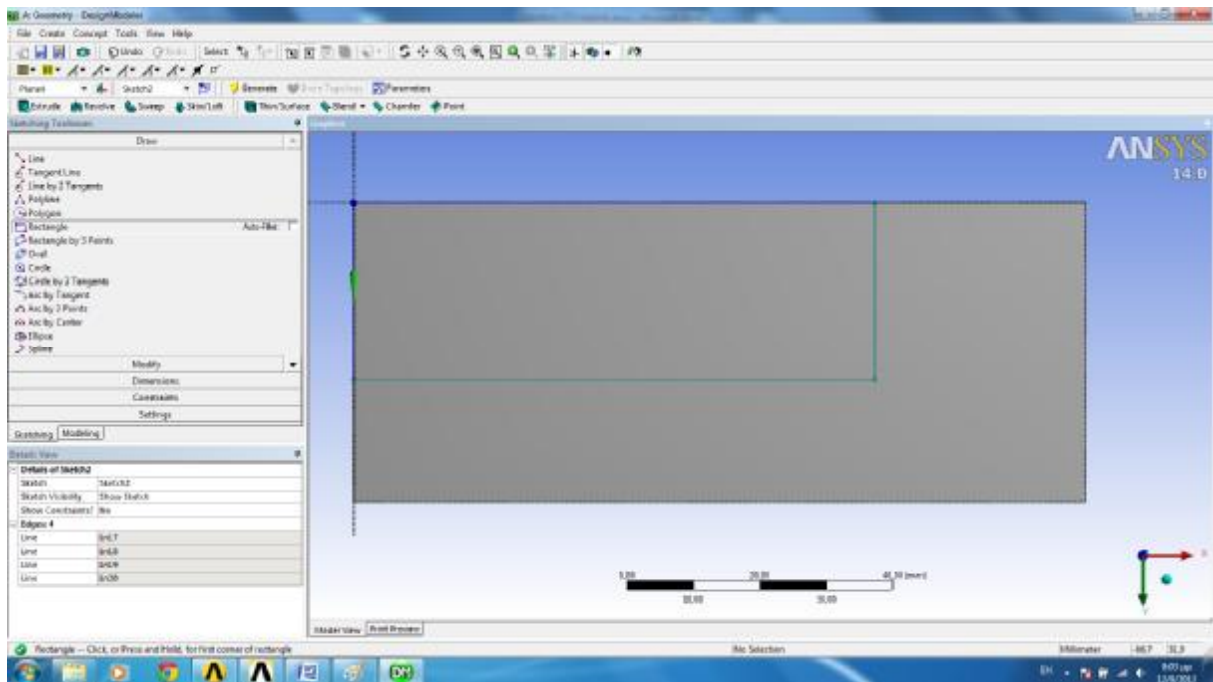
Στην πράσινη περιοχή κάνουμε δεξί κλικ και επιλέγουμε το set. Έτσι θέτουμε ένα καινούργιο σύστημα αξόνων στην συγκεκριμένη όψη.



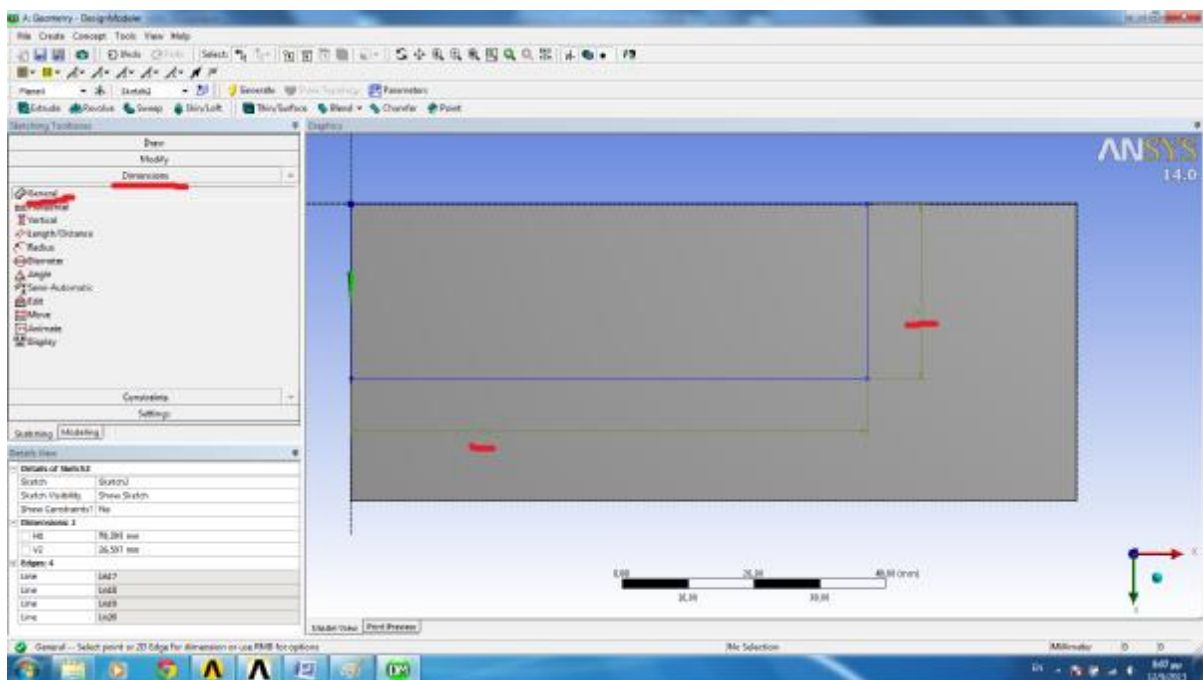
Ξανακάνουμε δεξί κλικ και επιλέγουμε Look at ώστε να βλέπουμε 2D την όψη προς διευκόλυνσης μας στο σχεδιασμό.

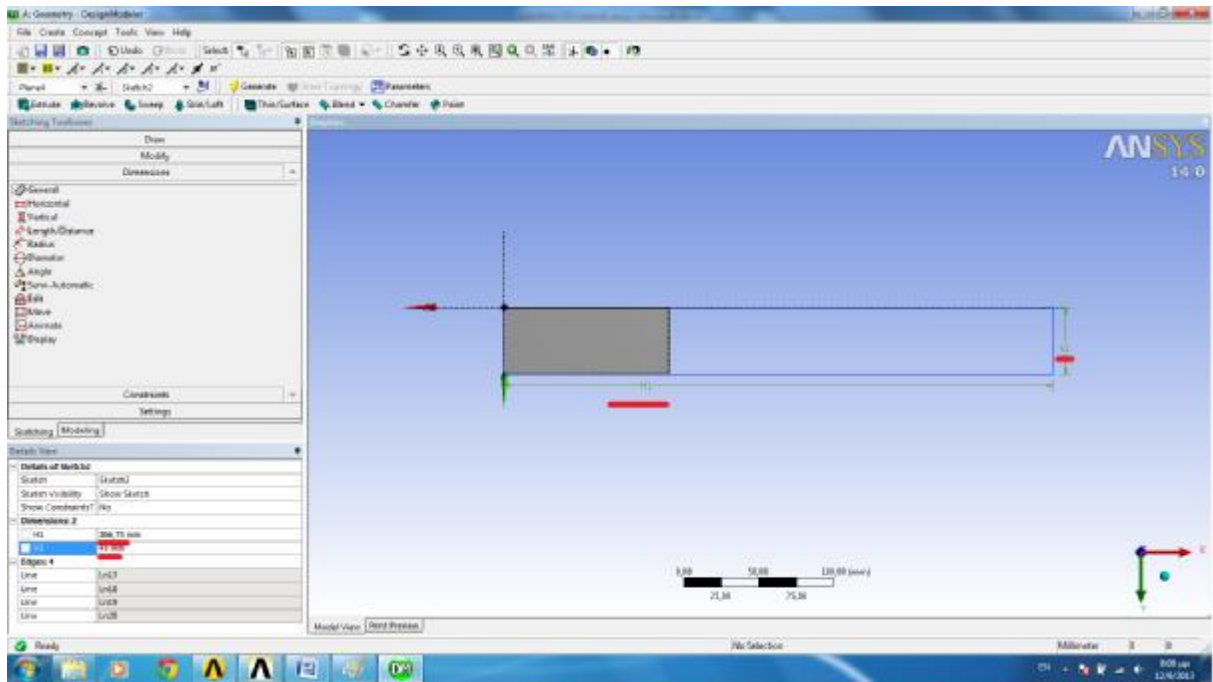


Αλλάζουμε καρτέλα και πάμε στο Sketching. Επιλέγουμε από το Draw το Rectangle και σχεδιάζουμε ένα τυχαίο ορθογώνιο με αρχή το κέντρο των αξόνων(φαίνεται μόνο ο Υ-πράσινος).

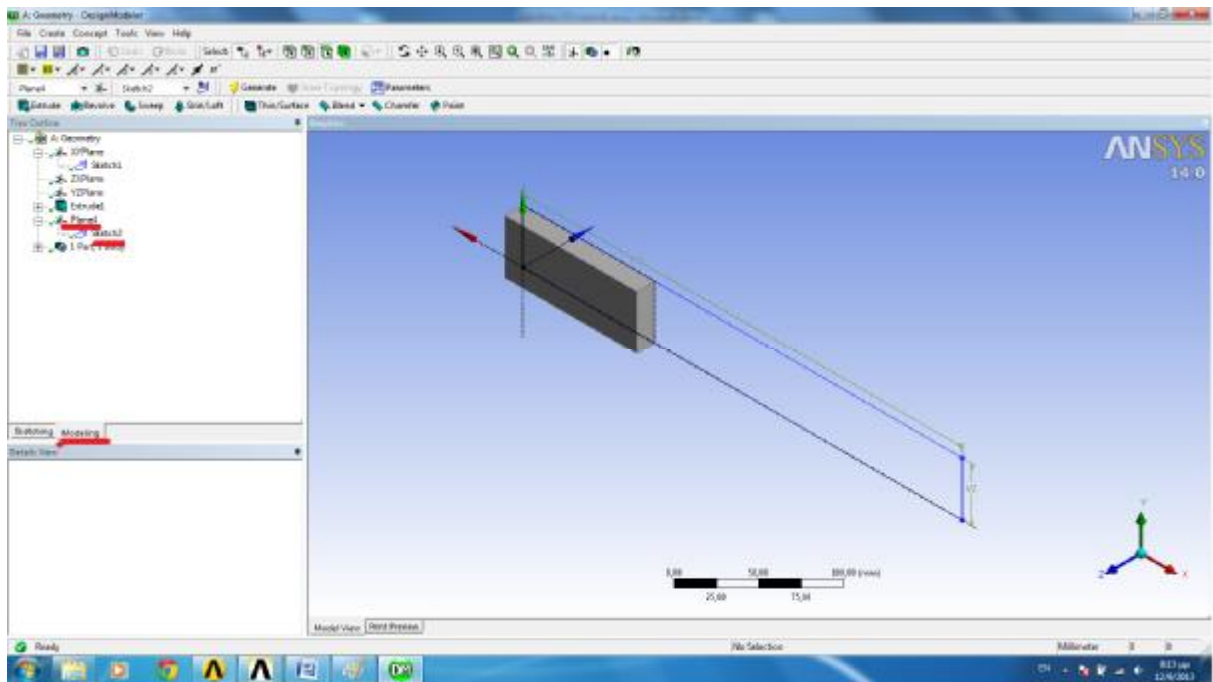


Επιλέγουμε το Dimensions. Πρέπει να είναι επιλεγμένο το General. Δημιουργούμε τις διαστάσεις σε δύο πλευρές και θέτουμε τις επιθυμητές τιμές στα κουτάκια των διαστάσεων. **Η1=366,75 και V2=45 ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Τα δεκαδικά θέλουν κόμμα.**

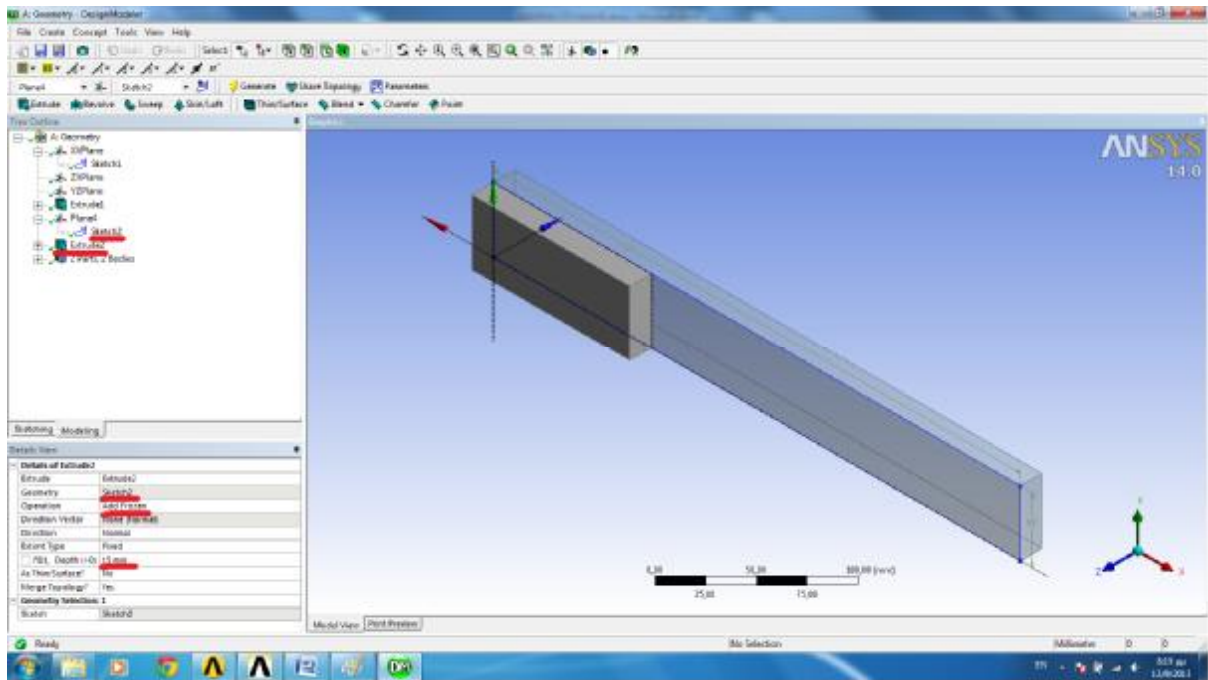




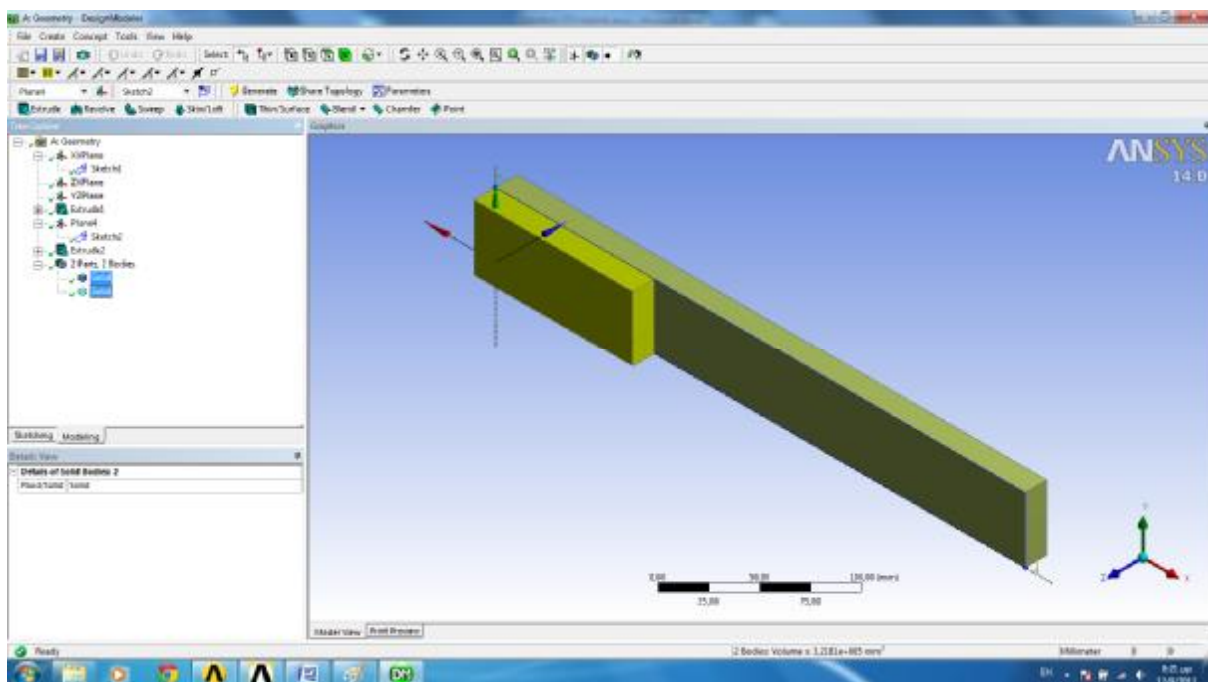
Αλλάζουμε καρτέλα. Επιλέγουμε Modeling. Θα δούμε ότι στο δέντρο πληροφοριών έχει εμφανιστεί ένα καινούργιο plane4 στο οποίο βρίσκεται το sketch2.



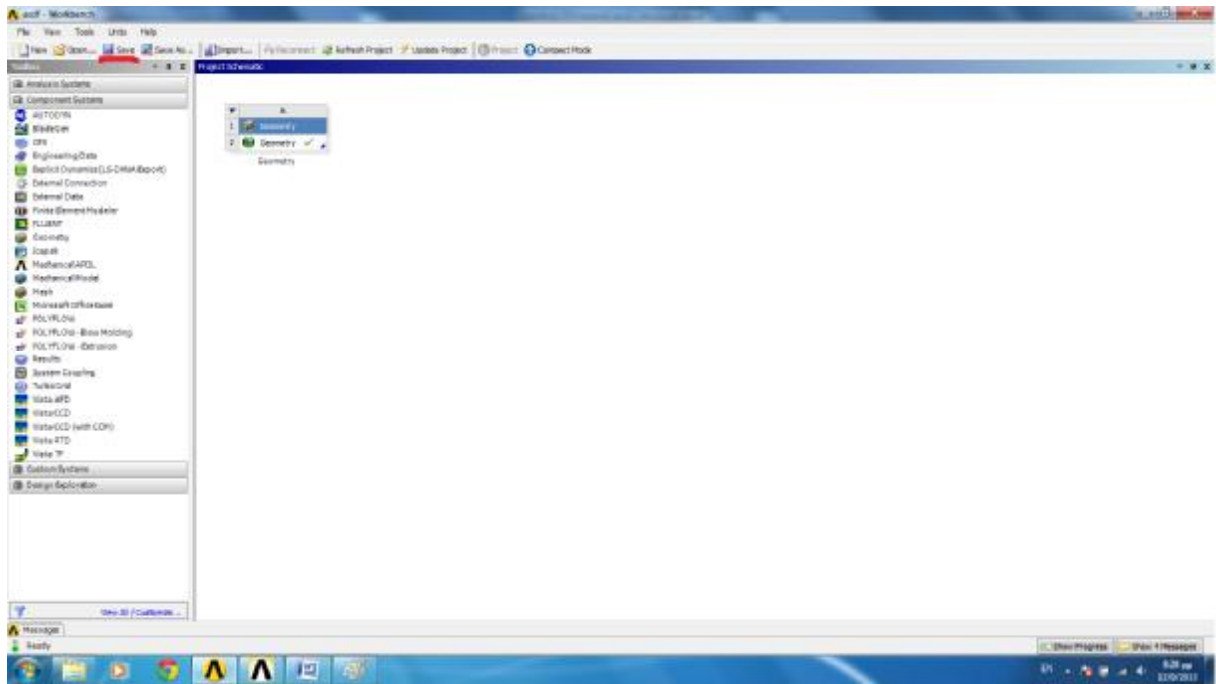
Επιλέγουμε το sketch2 και έπειτα το extrude. Κάνουμε κλικ στο apply του geometry. Στο operation επιλέγουμε Add Frozen. Ελέγχουμε αν το depth είναι 15. Τέλος κάνουμε δεξί κλικ στο extrude2 και επιλέγουμε generate. Το δεύτερο σώμα είναι έτοιμο (Δίσκος).



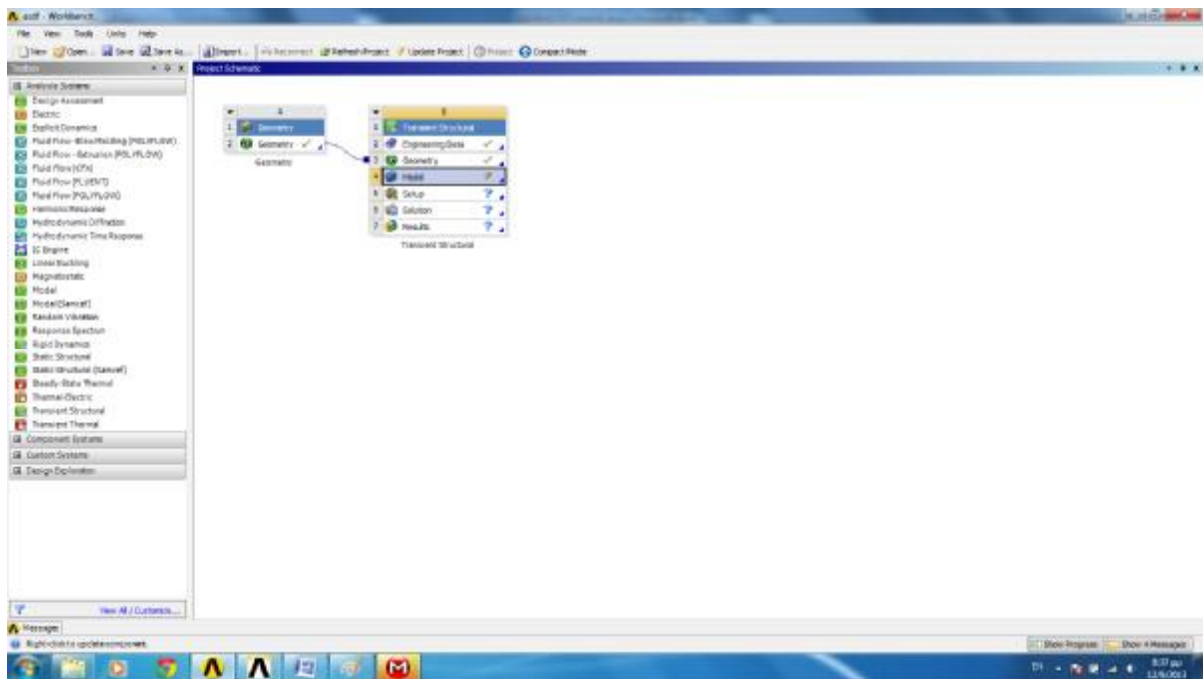
Βλέπουμε ότι έχουμε δύο ανεξάρτητα σώματα.



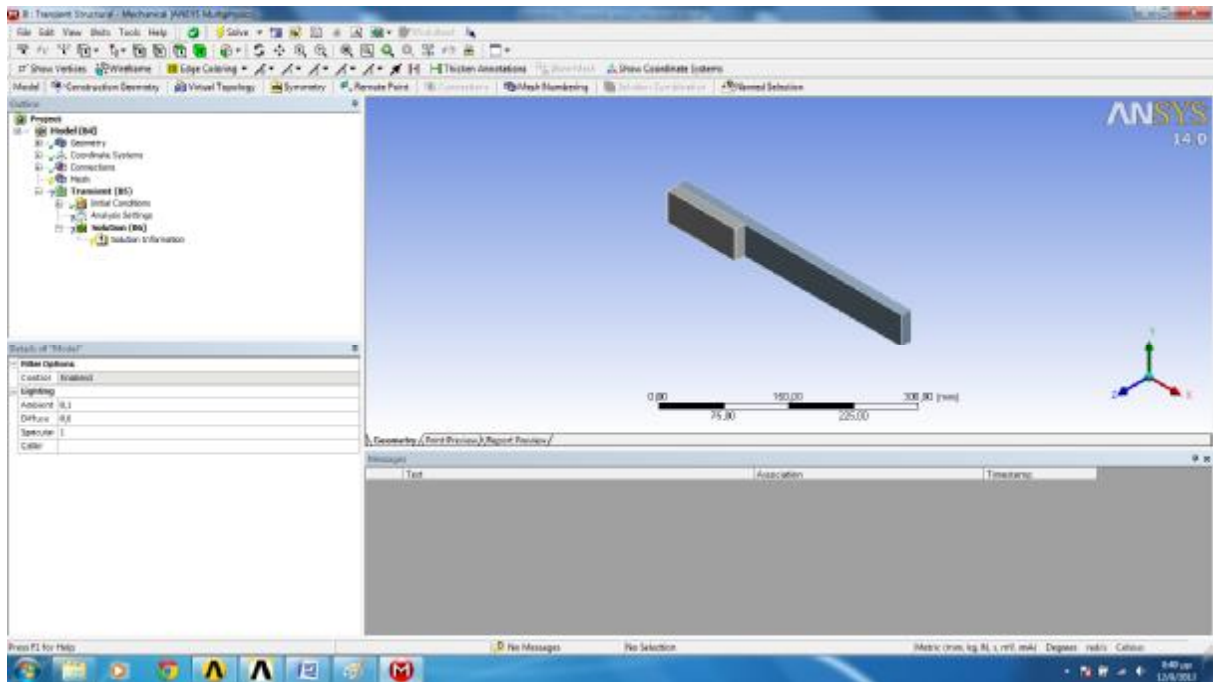
Πλέον δεν χρειαζόμαστε το DesingModeler. Ότι έχουμε κάνει μέχρι στιγμής είναι αποθηκευμένο στο workbench.**ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Στον υπολογιστή δεν έχει γίνει αποθήκευση.** Θα κλείσουμε το DesingModeler και θα επιστρέψουμε στο αρχικό παράθυρο του Workbench που έχει κρατήσει την πρόοδο μας και θα πατήσουμε save.



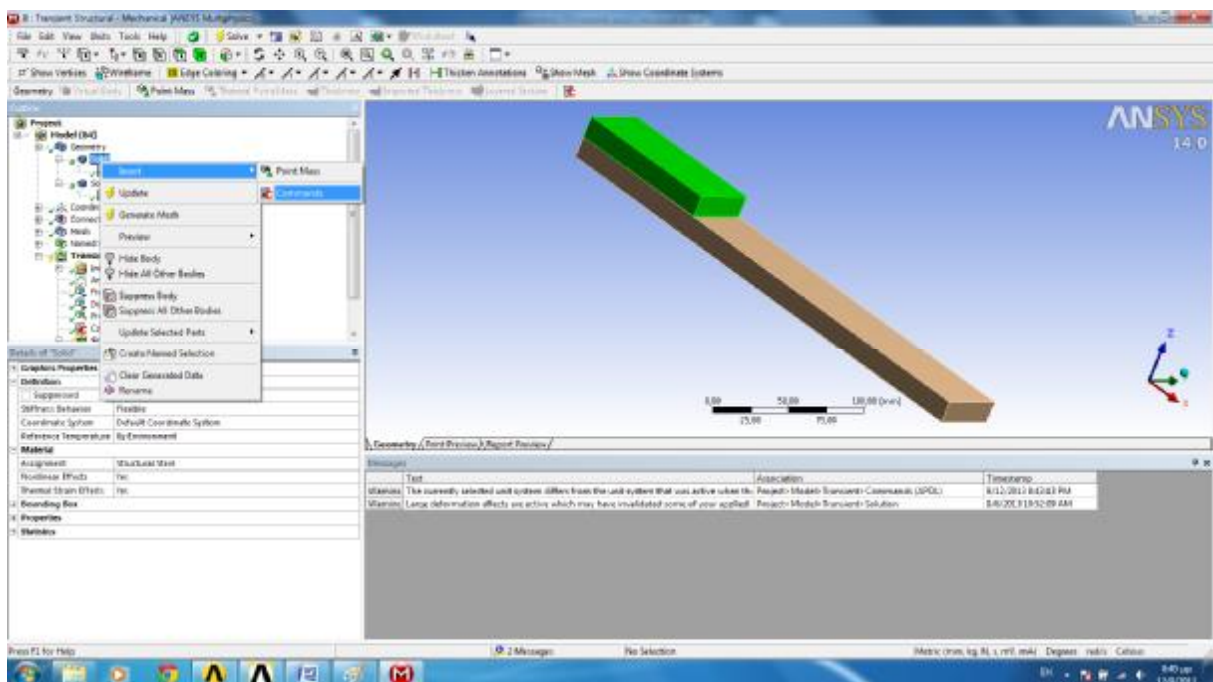
Αριστερά στα tool box επιλέγουμε Analysis Systems εκεί θα βρούμε το Transient Structural, με παρατεταμένο κλικ το σέρνουμε επάνω στο Geometry. Πλέον το Project Schematic πρέπει να έχει την παρακάτω εικόνα.



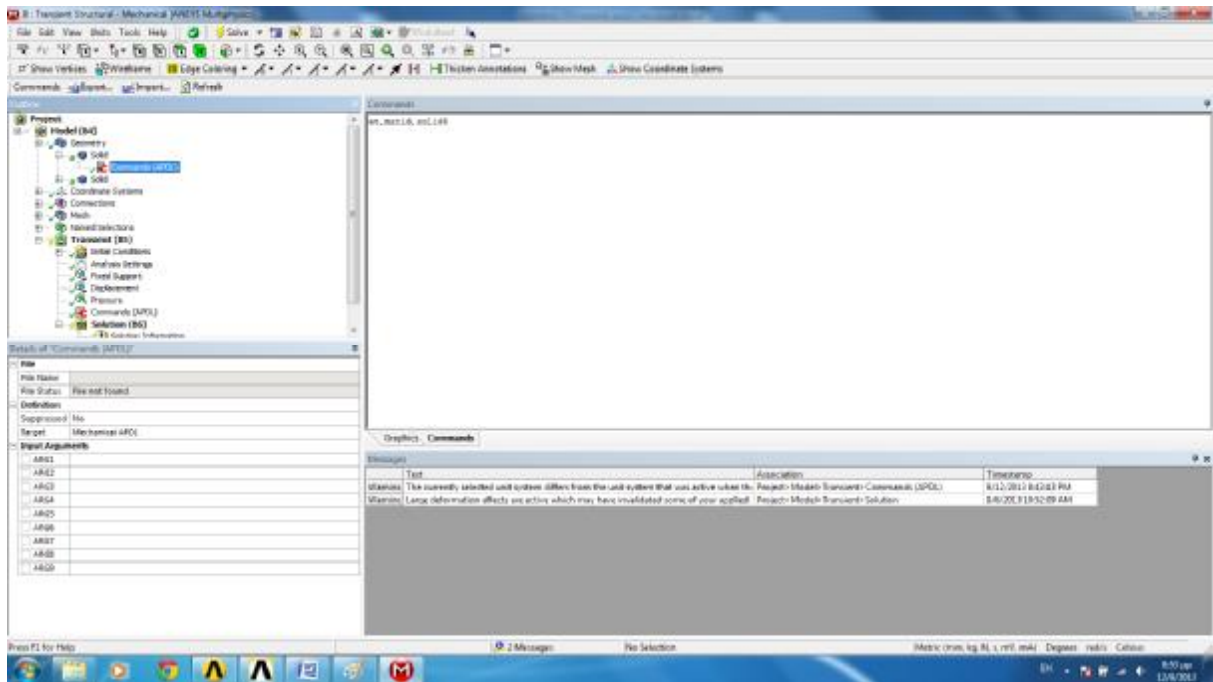
Είμαστε έτοιμοι να ανοίξουμε το Mechanical. Διπλό κλικ στο model και θα εμφανιστεί το παράθυρο του Mechanical.



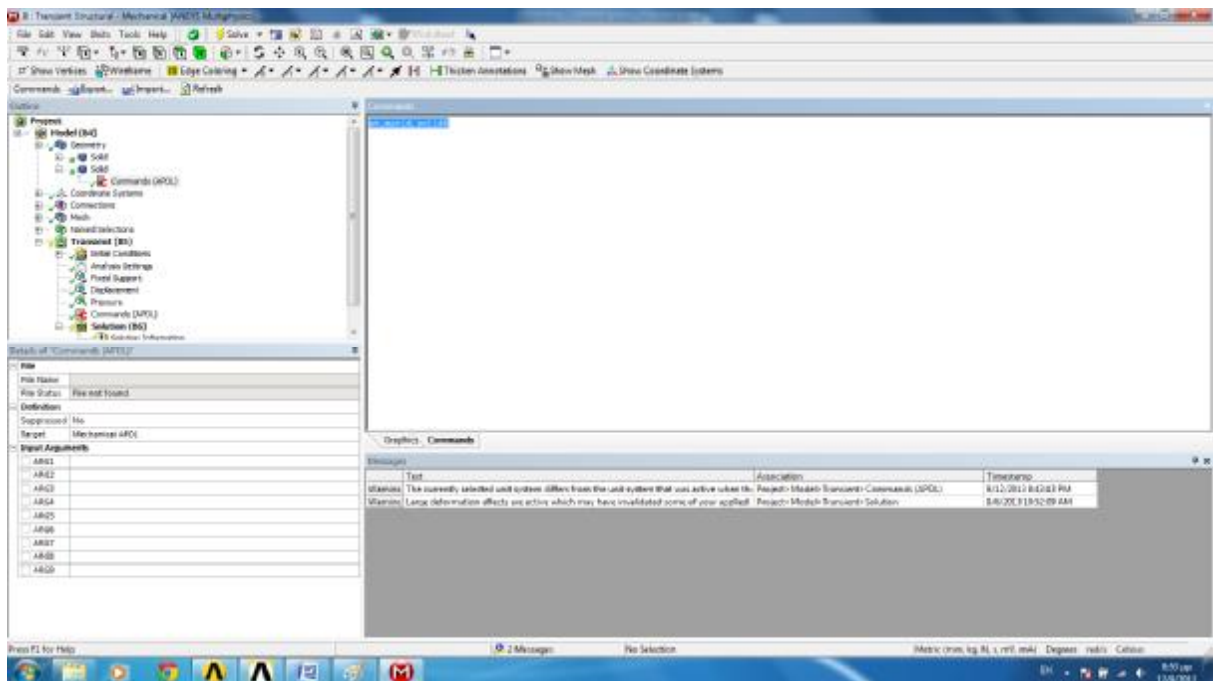
Ξεκινάμε να κάνουμε τις κατάλληλες ρυθμίσεις. Πρώτα θα ασχοληθούμε με τα σώματα. Στο δέντρο πληροφοριών επιλέγουμε Geometry>Solid δεξιά κλικ insert>commands.



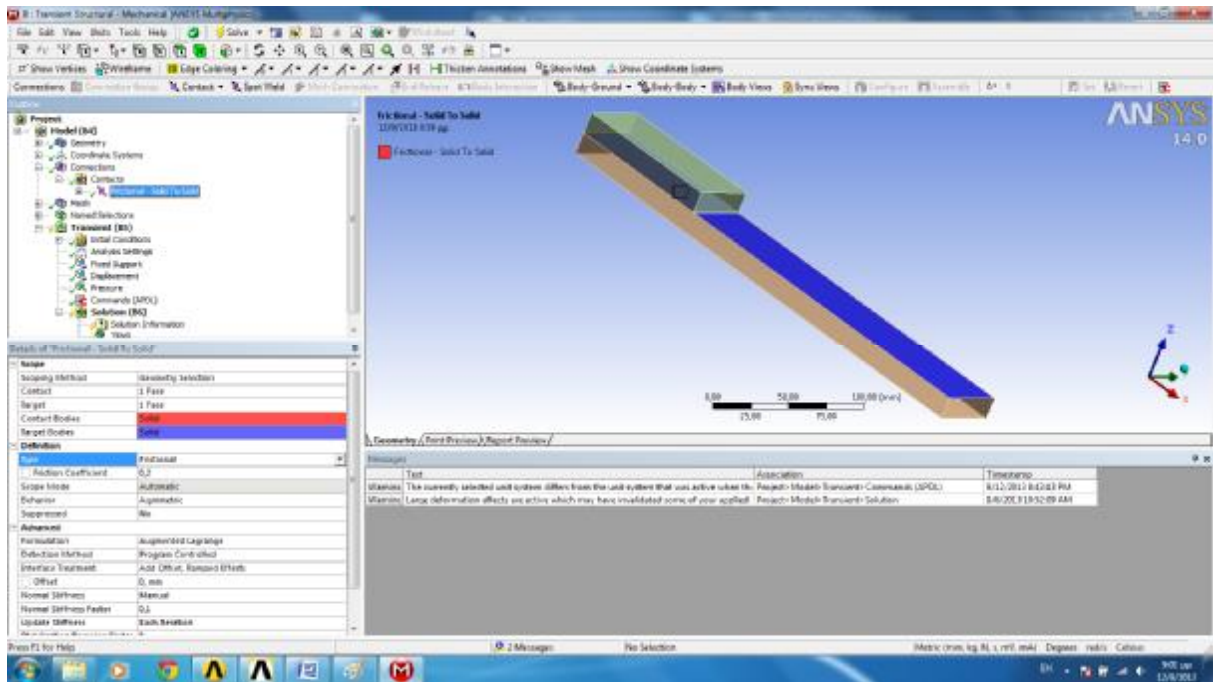
Με αυτό τον τρόπο θα εισάγουμε command (APDL) στο Workbench. Μέσω της εντολής θα ορίσουμε τα πεπερασμένα στοιχεία που επιθυμούμε. Κάνουμε κλικ στην εντολή (Commands (APDL)) και στο παράθυρο δεξιά γράφουμε et,matid,solid5. Με αυτή την εντολή επιλέγουμε τα στοιχεία μας να είναι κατάλληλα για το πρόβλημα καθώς το στοιχείο solid5 δέχεται στους κόμβους του θερμοκρασία.



Με την ίδια διαδικασία εισάγουμε και την εντολή στο δεύτερο solid.

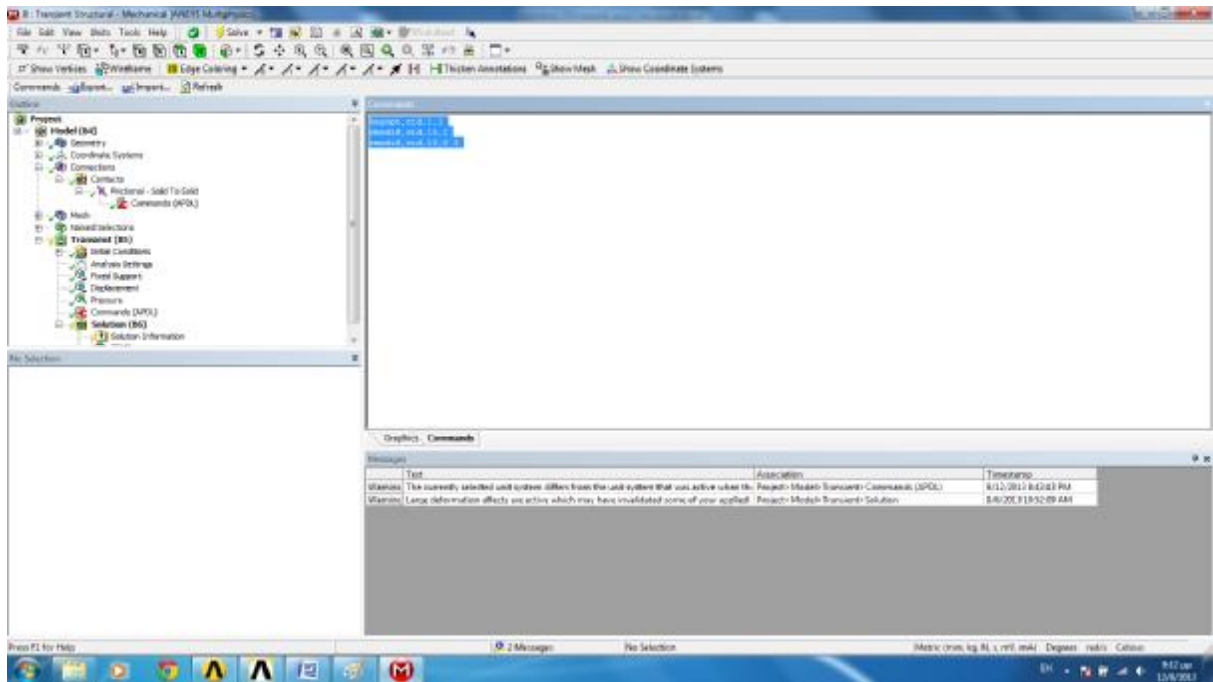


Επόμενο βήμα είναι να ρυθμίσουμε την επαφή μεταξύ των σωμάτων. Επιλέγουμε Connections>Contacts>Bonded. Βλέπουμε ότι έχει εμφανιστεί ένα παράθυρο κάτω αριστερά Details of "Bonded-Solid to Solid". Αλλάζουμε το type σε Frictional και διορθώνουμε τις ρυθμίσεις σύμφωνα με τον πίνακα Details of "Frictional -Solid to Solid"



Details of "Frictional - Solid To Solid"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	1 Face
Target	1 Face
Contact Bodies	Solid
Target Bodies	Solid
Definition	
Type	Frictional
<input type="checkbox"/> Friction Coefficient	0,2
Scope Mode	Automatic
Behavior	Asymmetric
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Augmented Lagrange
Detection Method	Program Controlled
Interface Treatment	Add Offset, Ramped Effects
<input type="checkbox"/> Offset	0, mm
Normal Stiffness	Manual
Normal Stiffness Factor	0,1
Update Stiffness	Each Iteration
Stabilization Damping Factor	0,
Pinball Region	Program Controlled
Time Step Controls	None

Επιλέγουμε Connections>Contacts>Frictional-Solid to Solid δεξί κλικ insert>Commands. Θα εμφανιστεί commands (APDL), στο παράθυρο δεξιά γράφουμε keyopt,cid,1,1 rmodif,cid,15,1 rmodif,cid,18,0.5. Με αυτή την εντολή αλλάζουμε την ροή θερμότητας αλλάζοντας τον συντελεστή ροής θερμότητας FHTG=1, επιπλέον θέτουμε πάνω κάτω ομοιόμορφη ροή θερμότητας.

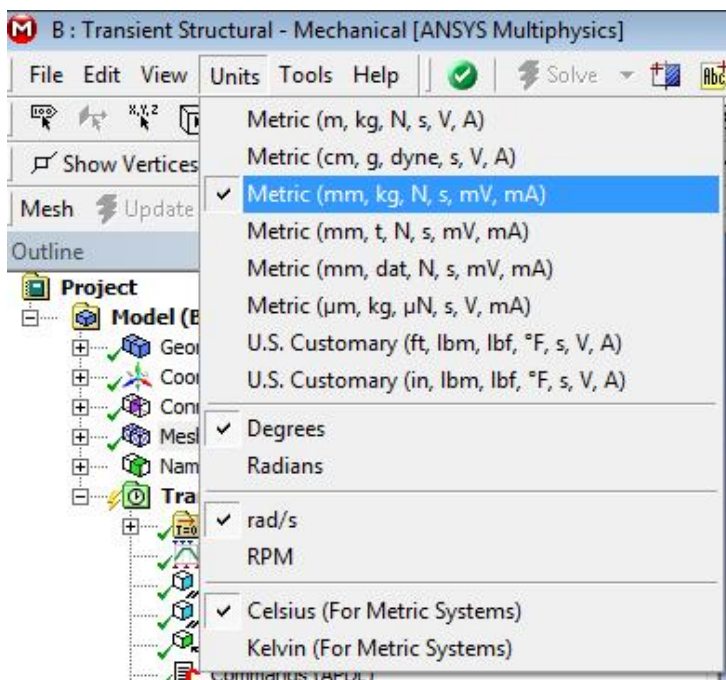


```

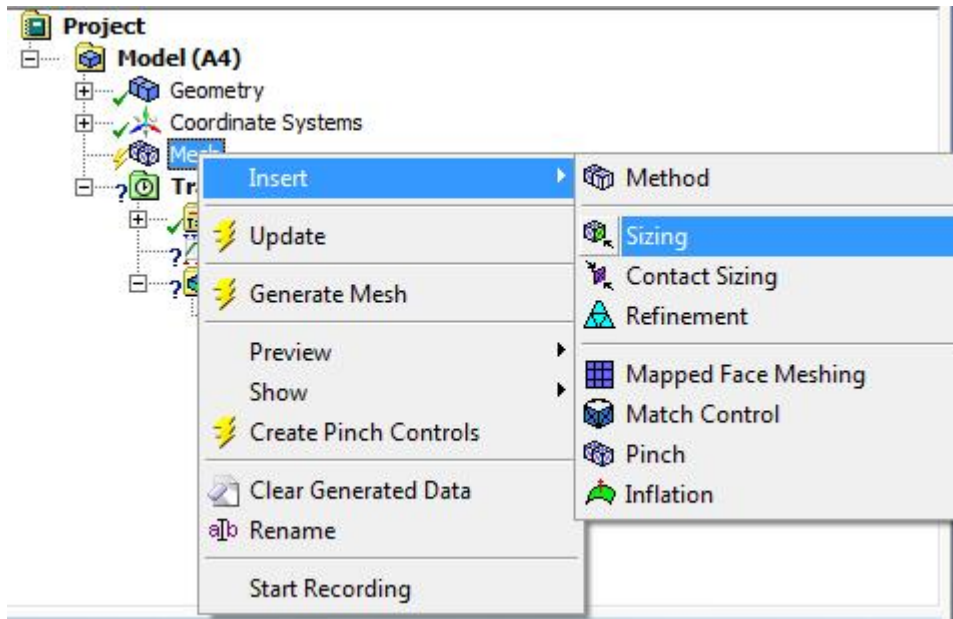
Commands
keyopt, cid, 1, 1
rmodif, cid, 15, 1
rmodif, cid, 18, 0.5

```

Το επόμενο βήμα είναι πολύ σημαντικό. Πρέπει να οριστεί το Mesh του μοντέλου. Αρχικά πρέπει να ελέγξουμε αν δουλεύουμε τις επιθυμητές μονάδες. Επιλέγουμε το Units> Metric(mm,kg,N,s,mV,mA).



Επιλέγουμε Mesh δεξί κλικ insert>Sizing.



Στο details of Sizing επιλέγουμε στο Geometry και τα δύο σώματα (εφόσον έχουμε ενεργοποιημένη την επιλογή για να επιλέγουμε σώματα και όχι επιφάνειες) και κάνουμε κλικ στο apply. Πλέον το παράθυρο των ρυθμίσεων γράφει details of Body Sizing-Sizing. Ρυθμίζουμε τις παραμέτρους σύμφωνα με το παρακάτω πίνακα

B : Transient Structural - Mechanical [ANSYS Mult

File Edit View Units Tools Help

Show Vertices Wireframe Edge Colo

Mesh Update Mesh Mesh Control

Outline

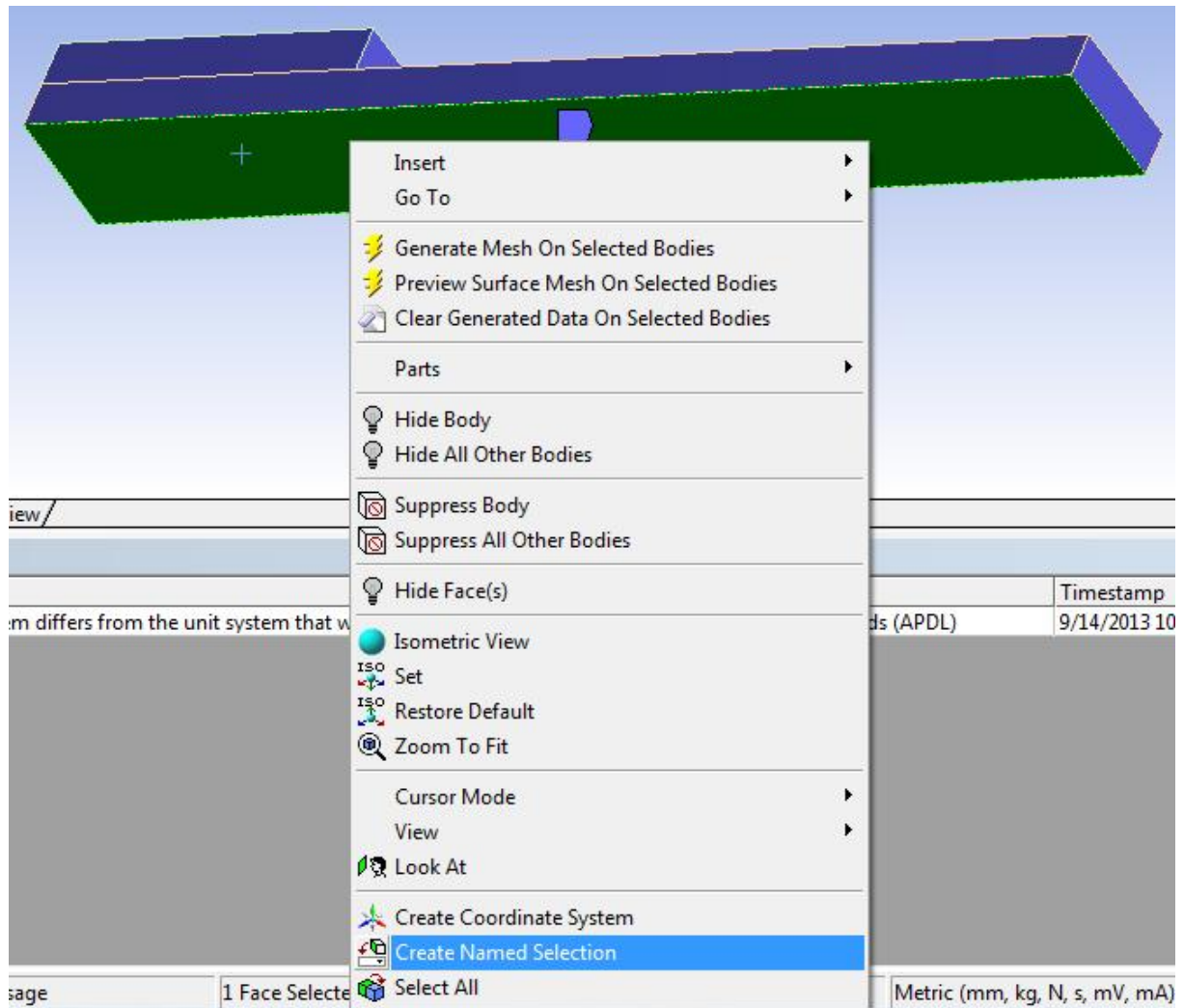
Project

- Model (B4)
 - Geometry
 - Coordinate Systems
 - Connections
 - Mesh
 - Body Sizing
 - Named Selections
 - Transient (B5)
 - Initial Conditions
 - Analysis Settings
 - Fixed Support
 - Displacement
 - Pressure
 - Commands (APDL)
 - Solution (B6)
 - Solution Information
 - TEMP

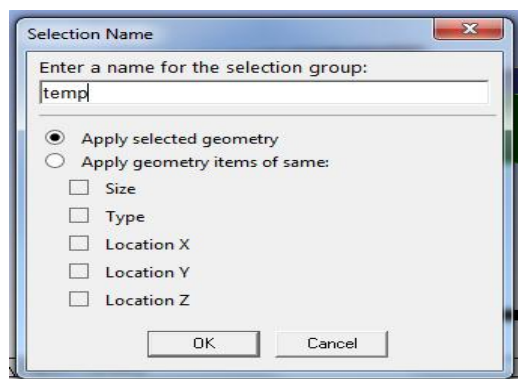
Details of "Body Sizing" - Sizing

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	<u>2 Bodies</u>
Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
<input type="checkbox"/> Element Size	<u>15. mm</u>
Behavior	Soft

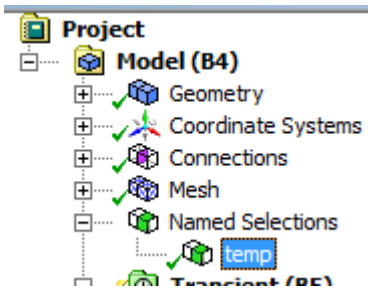
Θα χρειαστούμε μία επιφάνεια στην οποία θα ορίσουμε μέσω εντολής (commands APDL) συγκεκριμένη θερμοκρασία. Οπότε θα δημιουργήσουμε ένα Named Selections. Περιστρέφουμε τα σώματα, ώστε να μπορούμε να επιλέξουμε την κάτω επιφάνεια της μεγάλης λάμας. Πρέπει να προσέξουμε να έχουμε επιλεγμένη την επιλογή Face. Έπειτα κάνουμε δεξί κλικ και Create Named Selections.



Στο παράθυρο που θα εμφανιστεί εισάγουμε το όνομα temp και πατάμε ok, όπως στον παρακάτω πίνακα.



Πλέον στο δέντρο πληροφοριών έχει εμφανιστεί το Named Selections που δημιουργήσαμε.

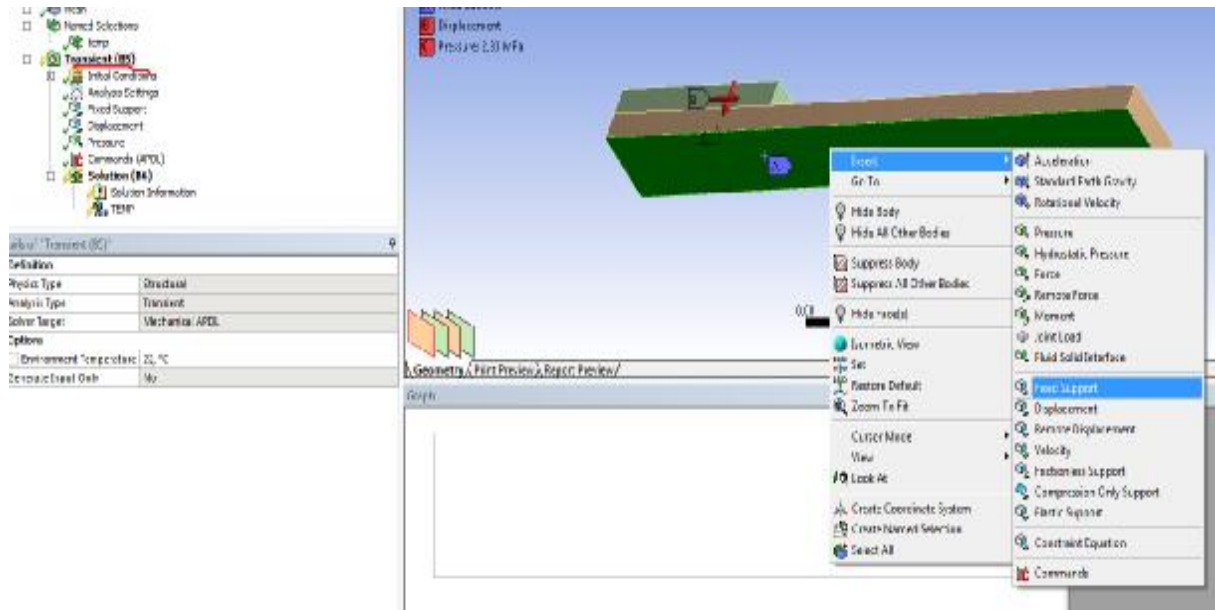


Το πρώτο σκέλος έχει τελειώσει. Πλέον πρέπει να βάλουμε ρυθμίσεις υπολογισμού, στηρίξεις, μετατοπίσεις, πίεση και μία τελευταία εντολή (commands APDL) όπου θα ορίζει μία θερμοκρασία βάσης $22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

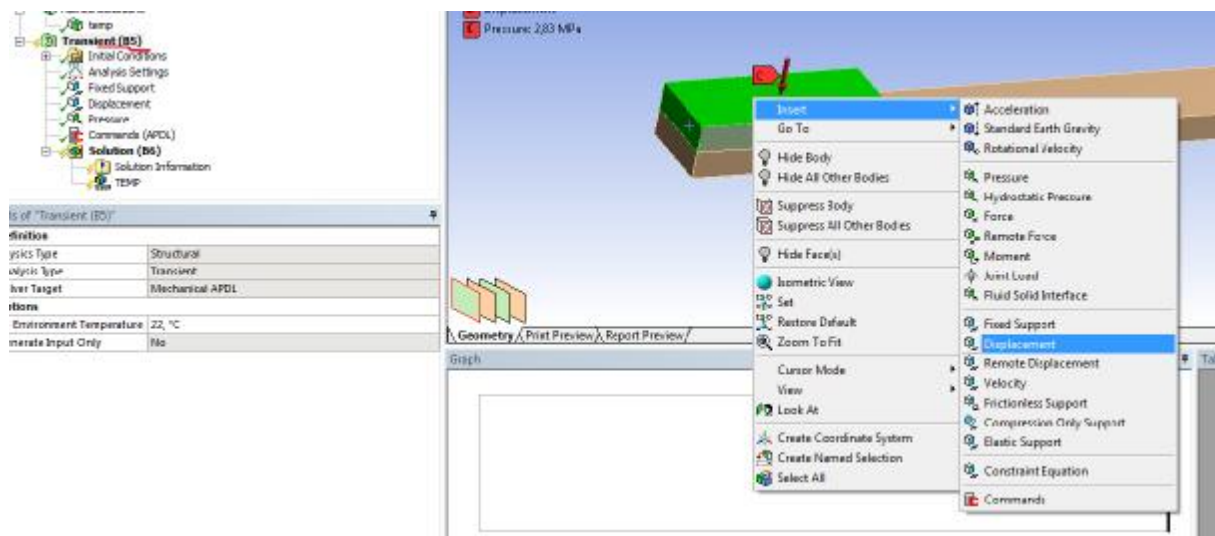
Ξεκινάμε θέτοντας τον χρόνο πέδησης που θα υπολογίσουμε και τα διαστήματα που θα υπολογίζει το πρόγραμμα θερμοκρασίες. Επιλέγουμε Analysis Settings και ρυθμίζουμε το παράθυρο Details of Analysis Settings σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα. Επιπλέον το πρόγραμμα έχει 10000 θέσεις για αποτελέσματα θερμοκρασιών. Για να χωρέσουν τα αποτελέσματα πρέπει να αυξήσουμε τις θέσεις. Στην επιλογή Max Number of Results Sets εισάγουμε ένα αριθμό μεγαλύτερο από το αποτέλεσμα της διαίρεσης του συνολικού χρόνου διά τον χρόνο διαστήματος υπολογισμού θερμοκρασίας. Δηλαδή $1,22/0,00001=12200$. Έχουμε εισάγει 230000 αριθμός υπέρ αρκετός.

Details of "Analysis Settings"	
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	0.51 s
Auto Time Stepping	On
Define By	Time
Initial Time Step	1.e-005 s
Minimum Time Step	1.e-005 s
Maximum Time Step	1.e-005 s
Time Integration	On
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Large Deflection	On
Restart Controls	
Nonlinear Controls	
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Calculate Results At	All Time Points
Max Number of Res...	2.3e+005
Damping Controls	
Analysis Data Management	
Visibility	

Επόμενο βήμα είναι η στήριξη στην κάτω επιφάνεια της μεγάλης λάμας. Αρχικά κάνουμε κλικ στο Transient. Επιλέγουμε την επιφάνεια δεξί κλικ insert>Fixed support.



Επόμενο βήμα είναι η μετατόπιση. Επιλέγουμε δύο επιφάνειες της μικρής λάμας. Την πάνω και την πίσω, δεξί κλικ insert>Displacement.



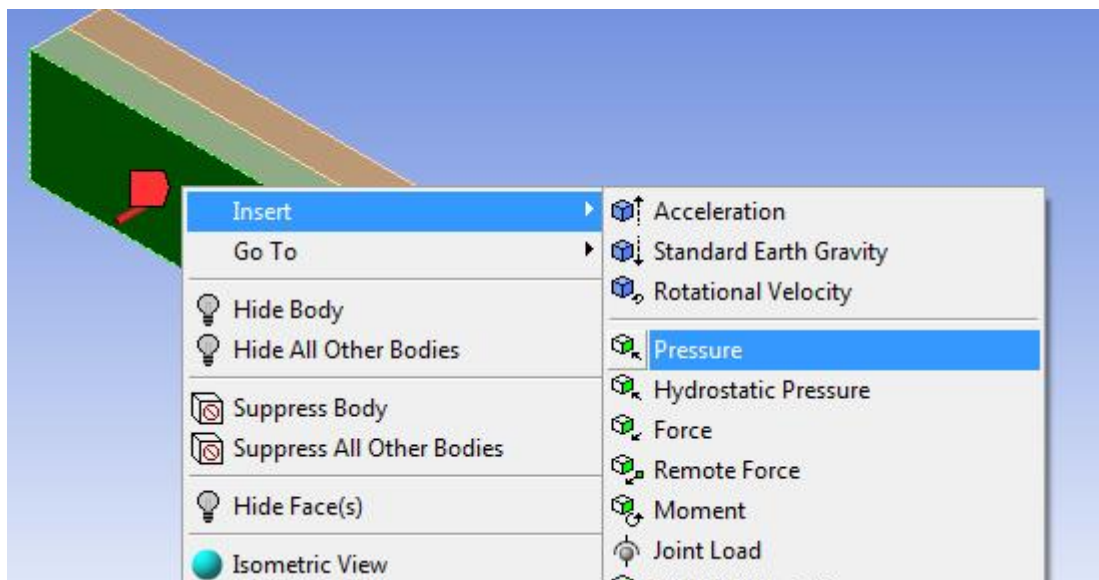
Πρέπει η μετατόπιση να ρυθμιστεί σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα. Επιλέγουμε το Displacement ρυθμίζουμε το παράθυρο Details of Displacement. Το παράθυρο tabular data μέχρι το 0,51s και για τις δύο περιπτώσεις σύμφωνα με τις τιμές που έχουμε από την εξίσωση του χρόνου με βάση την απόσταση πέδησης.

	A	B	C
1		Απόσταση ανά διαδρομή (mm)	Χρόνος (s)
2	1	0,366938022	0,020745937
3	2	0,733876044	0,042026688
4	3	1,100814066	0,063508826
5	4	1,467752088	0,085198178
6	5	1,83469011	0,10710086
7	6	2,201628132	0,129223292
8	7	2,568566154	0,151572224
9	8	2,935504176	0,17415476
10	9	3,302442197	0,196978381
11	10	3,669380219	0,220050978
12	11	4,036318241	0,243380881
13	12	4,403256263	0,266976895
14	13	4,770194285	0,29084834
15	14	5,137132307	0,315005092
16	15	5,504070329	0,339457632
17	16	5,871008351	0,3642171
18	17	6,237946373	0,389295351
19	18	6,604884395	0,414705025
20	19	6,971822417	0,440459621
21	20	7,338760439	0,466573577
22	21	7,705698461	0,49306237
23	22	8,072636483	0,51994262

Details of "Displacement"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	2 Faces
Definition	
Type	Displacement
Define By	Components
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	Tabular Data
Y Component	Free
Z Component	Free
Suppressed	No
Tabular Data	
Independent Variable	Time

Tabular Data			
	Steps	Time [s]	X [mm]
1	1	0.	0.
2	1	2.e-002	256.75
3	1	4.e-002	0.
4	1	6.e-002	256.75
5	1	8.e-002	0.
6	1	0.1	256.75
7	1	0.12	0.
8	1	0.15	256.75
9	1	0.17	0.
10	1	0.19	256.75
11	1	0.22	0.
12	1	0.24	256.75
13	1	0.26	0.
14	1	0.29	256.75
15	1	0.31	0.
16	1	0.33	256.75
17	1	0.36	0.
18	1	0.38	256.75
19	1	0.41	0.
20	1	0.44	256.75
21	1	0.46	0.
22	1	0.49	256.75
23	1	0.51	0.

Προτελευταίο βήμα είναι η εισαγωγή πίεσης. Ενεργεί στην άνω επιφάνεια της μικρής λάμας. Επιλέγουμε την επιφάνεια και κάνουμε δεξί κλικ insert>Pressure.



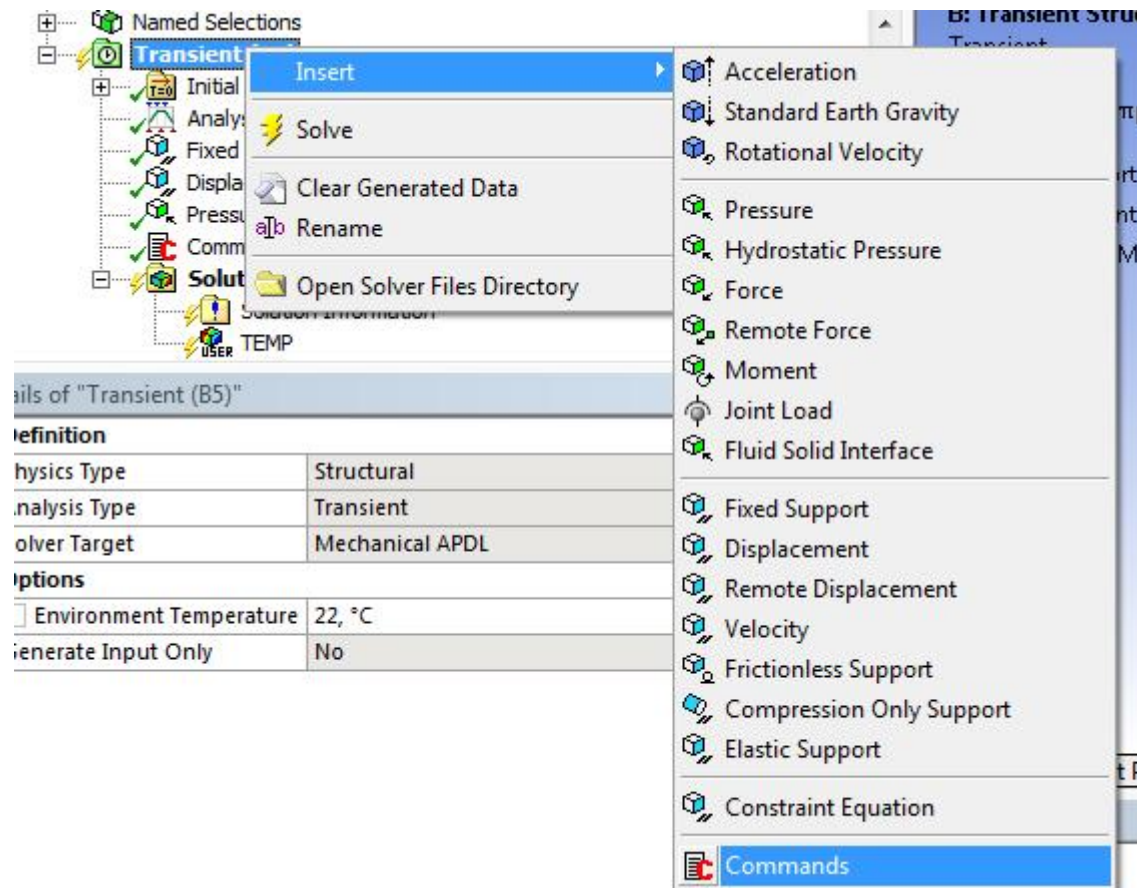
Ρυθμίζουμε τα παράθυρα Details of Pressure και tabular data σύμφωνα με το παρακάτω πίνακα.

Details of "Pressure"

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
Definition	
Type	Pressure
Define By	Normal To
Magnitude	Tabular Data
Suppressed	No
Tabular Data	
Independent Variable	Time

Tabular Data			
	Steps	Time [s]	Pressure [MPa]
1	1	0.	2.83
2	1	0.51	= 2.83

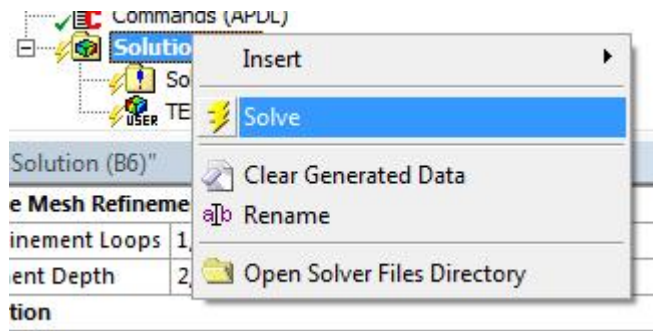
Το τελευταίο βήμα είναι η εισαγωγή εντολής. Επιλέγουμε το Transient δεξί κλικ insert>Commands.



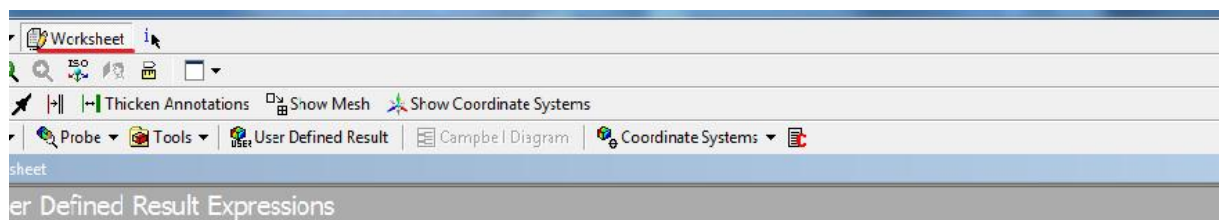
Παρατηρούμε ότι στο δέντρο πληροφοριών έχει εμφανιστεί η Commands (APDL). Την επιλέγουμε και γράφουμε δεξιά στο παράθυρο την εξής εντολή `tref,22`
`Cmsel,s,temp` `d,all,temp,22` `allsel,all`. Έτσι δίνουμε την θερμοκρασία 22 σε όλους τους κόμβους, σαν αρχική θερμοκρασία.



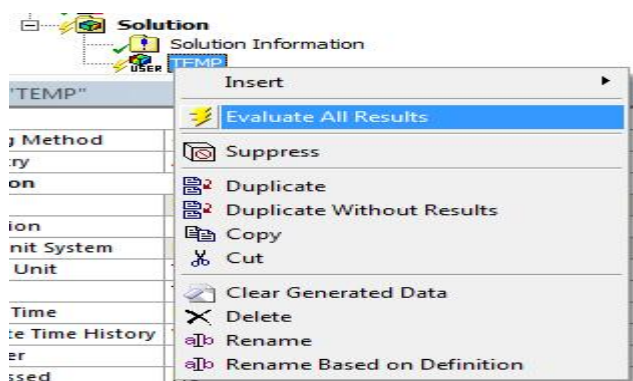
Πλέον είμαστε έτοιμοι να λύσουμε το πρόβλημα. Επιλέγουμε το Solution δεξί κλικ και Solve.



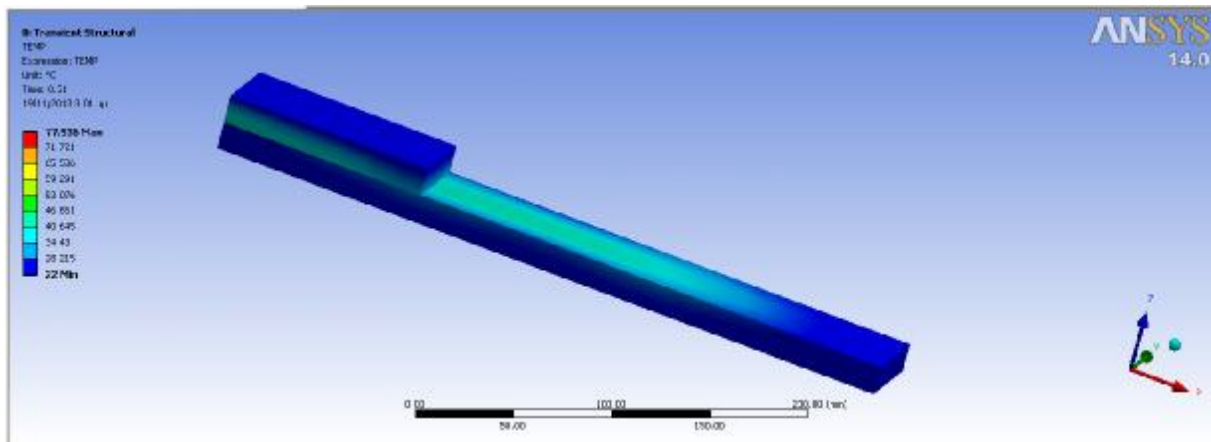
Όταν το πρόγραμμα τελειώσει την επίλυση ελέγχουμε να είναι επιλεγμένο το Solution και επιλέγουμε το εικονίδιο του Worksheet στο παράθυρο που θα εμφανιστεί πάμε στο TEMP δεξί κλικ Create User Defined Result όπως στο παρακάτω πίνακα.



Παρατηρούμε ότι στο δέντρο πληροφοριών έχει εμφανιστεί κάτω από το Solution το TEMP. Το επιλέγουμε δεξί κλικ Evaluate All Results.



Πλέον το πρόγραμμα έχει υπολογίσει την θερμοκρασία. Επιλέγοντας το TEMP και την καρτέλα Γραφή μπορούμε να δούμε σε εικονική πραγματικότητα την λειτουργία του μοντέλου καθώς και την ανάπτυξη της θερμοκρασίας.



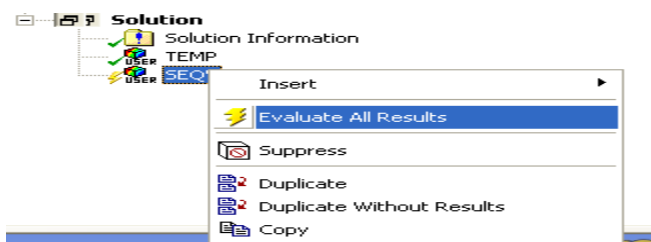
Παρατηρούμε το μοντέλο έχει μέγιστη θερμοκρασία $77,9C^0$.

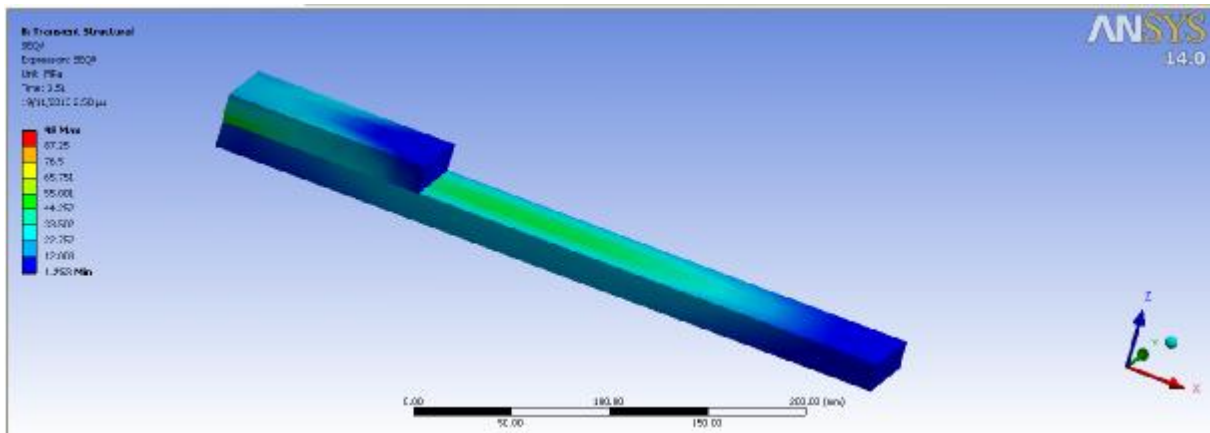
Με τον ίδιο τρόπο θα βγάλουμε τα αποτελέσματα για τις τάσεις.

Worksheet

User Defined Result Expressions

Type	Data Type	Data Style	Component	Expression	Output Unit
A	Nodal	Scalar	Z	AZ	Acceleration
A	Nodal	Scalar	SUM	ASUM	Acceleration
A	Nodal	Vector	VECTORS	AVECTORS	Acceleration
S	Element Nodal	Scalar	X	SX	Stress
S	Element Nodal	Scalar	Y	SY	Stress
S	Element Nodal	Scalar	Z	SZ	Stress
S	Element Nodal	Scalar	XY	SXY	Stress
S	Element Nodal	Scalar	YZ	SYZ	Stress
S	Element Nodal	Scalar	XZ	SXZ	Stress
S	Element Nodal	Scalar	I	S1	Stress
S	Element Nodal	Scalar	Z	S2	Stress
S	Element Nodal	Scalar	3	S3	Stress
S	Element Nodal	Scalar	INT	SINT	Stress
S	Element Nodal	Scalar	EQW	SEQW	Create User Defined Result
S	Element Nodal	Tensor	VECTORS	SVECTORS	Stress
S	Element Nodal	Scalar	MAXSHEAR	SMAXSHEAR	Stress
EPTO	Element Nodal	Scalar	X	EPTOX	Strain





Πλέον έχουμε υπολογίσει και τις τάσεις στο μοντέλο μας με μέγιστη τιμή 98MPa.

Με τον ίδιο τρόπο θα βγάλουμε τα αποτελέσματα για τις κάθετες ως προς το μήκος μετατοπίσεις.

Worksheet

User Defined Result Expressions

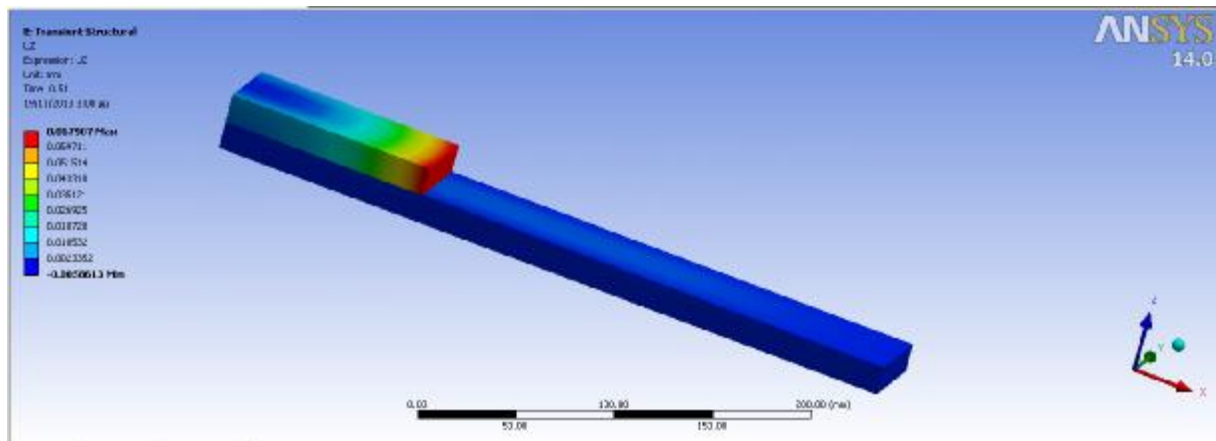
Type	Data Type	Data Style	Component	Expression	Output Unit
U	Nodal	Scalar	X	UX	Displacement
U	Nodal	Scalar	Y	UY	Displacement
U	Nodal	Scalar	Z	UZ	Displacement
U	Nodal	Vector	VECTORS	USUM	Displacement
TEMP	Nodal	Scalar		TEMP	Temperature
VOLT	Nodal	Scalar		VOLT	Voltage

Solution

- Solution Information
- TEMP
- SEQW
- USER UZ

Insert

- Evaluate All Results
- Suppress
- Duplicate



Υπολογίσαμε και την μετατόπιση με μέγιστη τιμή 0,067mm.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1) ANSYS 14.0 help

2) Συστήματα αυτοκινήτου ΙΙ, Αλέξανδρος Δημήτριος, Γιάννος Γεώργιος, Καπετανάκης Γεώργιος, Εκδόσεις ΑΘΗΝΑ

3) Συστήματα αυτοκινήτου Ι Ανδρινός Νικόλαος, Παναγιωτίδης Παναγιώτης, Παπαδόπουλος Νικόλαος, Εκδόσεις ΑΘΗΝΑ

&

4) Τεχνολογία αυτοκινήτου-Πέρα από το 2000, Ζαχμάνογλου Θ. , Καπετανάκης Γ. , Καραμπίλας Π. , Πατσιαβός Γ., Εκδόσεις Ι.Δ.Ε.Ε.Α.

5) Τεχνικά εγχειρίδια Fiat www.Fiat.com

6) Transient thermoelastic analysis of disk brake using ansys software, Rajesh Kumar, M.Sc thesis, Mechanical Engineering Department, Thapar University, India, 2008.

7) Τεχνολογία υλικών αυτοκινήτου, Σαμαράς Βασίλης, Σκοτάρας Νίκος, Εκδόσεις ΑΘΗΝΑ.

8) Τεχνολογία ελέγχου και διαγνώσεων, Δουγλέρης Γεώργιος, Ζαραγκούλιας Νικόλαος, Κουτσούκος Βλάσης, Εκδόσεις ΑΘΗΝΑ