

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

Πρότυπα και δοκιμαστικές διατάξεις για συστήματα πέδησης δίσκου

Standards and test devices for disc braking systems



ΟΝΟΜΑ:ΣΠΥΡΟΣ

ΕΠΩΝΥΜΟ: ΜΑΣΤΟΡΑΣ

ΑΜ:44457

ΟΝΟΜΑ:ΝΙΚΟΣ

ΕΠΩΝΥΜΟ: ΓΙΑΝΝΙΚΟΣ

ΑΜ:42236

Επιβλέπων Καθηγητής :



## **Ευχαριστίες**

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή μας ... για την πολύτιμη βοήθεια του καθόλη την διάρκεια της εργασίας. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας για όλη την υλική αλλά κυριώς ψυχολογική υποστήριξη που μας παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια.

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα .....	4
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> Ιστορική Αναδρομή .....	6
1.1 Προέλευση και ανάπτυξη .....	6
1.2 Τακάκια και εξωτερικά φρένα με τακάκια στις τρεχούμενες επιφάνειες του τροχού .....	8
1.3 Ζώνη και εξωτερικά φρένα .....	10
1.4 Εσωτερικά φρένα με τύμπανα με μηχανική ενεργοποίηση καλωδίων .....	13
1.5 Υδραυλική ενεργοποίηση του φρένου .....	16
1.6 Φρένο δίσκου .....	17
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> Βασικοί ορισμοί .....	19
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> Συστήματα πέδησης αυτοκινήτων .....	24
3.1 Συμβατικά συστήματα πέδησης .....	24
3.2 Ηλεκτρονικά συστήματα πέδησης.....	25
3.3 Ταξινόμηση των συστημάτων πέδησης αυτοκινήτων.....	30
3.3.1 Ταξινόμηση με βάση το σχεδιασμό.....	30
3.3.2 Ταξινόμηση ανάλογα με τις μεθόδους λειτουργίας.....	32
3.4 Συστατικά ενός συστήματος πέδησης αυτοκινήτων .....	33
3.5 Διαμόρφωση του κυκλώματος του συστήματος πέδησης.....	35
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> Δισκόφρενα .....	38
4.1 Συστατικά ενός δισκόφρενου .....	39
4.2 Φρένο σταθερής σιαγόνας .....	42
4.3 Λειτουργία πέδησης με πλέουσα σιαγόνα.....	44
4.4 Φρένο με ολισθαίνουσα σιαγόνα.....	47
4.5 Υλικά Δισκοφρένων .....	49
4.6 Αεριζόμενοι δίσκοι.....	51
4.7 Πρότυπα δισκοφρένων.....	52
Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup> Δοκιμές φρένων.....	54
5.1 Παράμετροι δοκιμής απόδοσης πέδησης .....	54
5.2 Είδη δοκιμών – Σύγκριση βασικών παραμέτρων .....	55
Κεφάλαιο 6 <sup>ο</sup> Σχεδιασμός δισκοφρένων .....	59

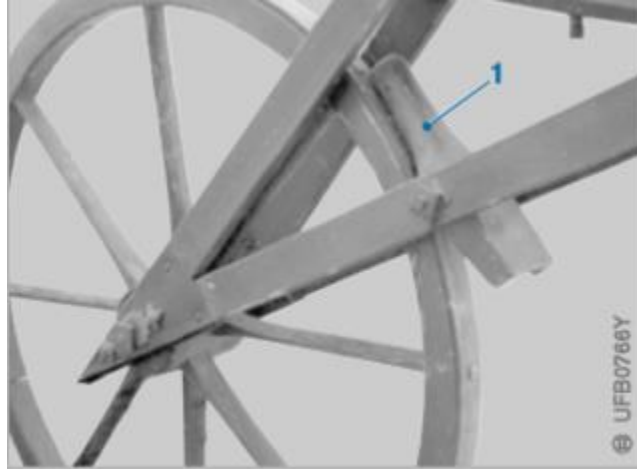
6.1	ΚΑτανομή πίεσης .....	59
6.2	Αυτενέργεια σε δισκόφρενα.....	61
6.3	Συντελεστής πέδησης σε δισκόφρενα.....	64
6.4	Υπολογισμός δύναμης και ροπής πέδησης.....	65
Κεφάλαιο 7 <sup>ο</sup> Συστήματα μέτρησης.....		66
7.1	Βασικά ζητήματα στην διενέργεια μετρήσεων σε δισκόφρενα.....	66
7.2	Υπάρχουσες μέθοδοι.....	68
7.2	Δοκιμές μέτρησης ήχου φρένων .....	71
Βιβλιογραφία .....		76

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> Ιστορική Αναδρομή

### 1.1 Προέλευση και ανάπτυξη

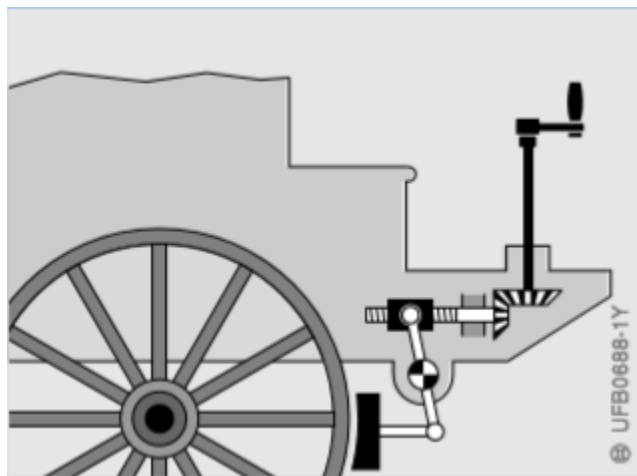
Η πρώτη χρήση του τροχού χρονολογείται στα 5.000 π.Χ. Στα πρώιμα οχήματα που χρησιμοποίησαν τον τροχό, ως πάροχοι ισχύος χρησιμοποιούνταν βοοειδή αρχικά ενώ αργότερα χρησιμοποιήθηκαν άλογα και γαϊδούρια. Η εφεύρεση του τροχού κατέστησε αναγκαία την ανακάλυψη του φρένου. Υπήρχε άμεση ανάγκη τόσο για την επιβράδυνση μιας ιππήλατης άμαξας που κινείται σε μια κατηφόρα, όσο και για την διατήρηση της ταχύτητάς της εντός ορίων ώστε να είναι δυνατός ο έλεγχος της αλλά και η μετακίνηση με ασφάλεια. Επίσης, για να αποφευχθεί το ενδεχόμενο να συγκρουστεί η άμαξα με το πίσω μέρος των αλόγων που την σέρνουν. Αυτό αρχικά έγινε πιθανότατα με τη χρήση ξύλινων ράβδων που έρχονταν σε επαφή με το έδαφος ή τους τροχούς, που ήταν ξύλινοι. Αρχίζοντας γύρω στα 700 π.Χ., οι τροχοί απέκτησαν σιδερένια επίστρωση για να αποτραπεί η πρόωρη φθορά του χείλους τους.

Αρκετούς αιώνες αργότερα, το 1690, οι οδηγοί των αμαξών χρησιμοποιούσαν ένα «τσοκ» για να φρενάρουν τα οχήματα τους. Κατά την οδήγηση σε κατηφόρα, χρησιμοποιούσαν μια λαβή που έπιανε κάτω από έναν τροχό, ο οποίος στη συνέχεια ακινητοποιούταν. Αρκετά αργότερα, το 1817, στην αυγή της βιομηχανικής εποχής, ο βαρώνος Karl Drais οδήγησε από την Καρλσρούη στη νότια Γερμανία μέχρι το Kehl, αποδεικνύοντας σε ένα έκπληκτο κοινό ότι είναι δυνατή η οδήγηση σε δύο τροχούς χωρίς να πέσει. Για τις ανάγκες ελέγχου του δίτροχου οχήματος του και με στόχο την επιβράδυνση του σε κίνηση σε κατηφορικό δρόμο, το νέο μοντέλο που παρουσίασε το 1820 παρουσίαζε ένα φρένο τριβής στον πίσω τροχό (Εικ. 3).



Εικόνα 1 Το φρένο τριβής του Karl Drais

Τέλος, το 1850, ο σιδερένιος άξονας εισήχθη στην κατασκευή των αμαξιών, μαζί με το φρένο με τακάκια. Σε αυτόν τον τύπο φρένου, τα τακάκια των φρένων πιέζονταν πάνω στη καλυμμένη με μέταλλο εξωτερική επιφάνεια των ξύλινων τροχών. Το φρένο με τακάκια μπορούσε να λειτουργήσει από το κάθισμα του οδηγού με τη βοήθεια μανιβέλας και ζεύξης οδοντωτών τροχών (Εικ. 4).



Εικόνα 2 Φρένο με τακάκια

Η χαμηλή ταχύτητα και η υποτονική οδήγηση των πρώτων αυτοκινήτων δεν έθεσαν μεγάλες απαιτήσεις στην αποτελεσματικότητα των φρένων. Εκείνη την εποχή, τα φρένα με τακάκια, ζωνών και σφήνων, τα οποία ήταν είτε χειροκίνητα ή ενεργοποιούνταν με το πόδι, χρησιμοποιώντας μοχλούς και καλώδια στους σταθερούς πίσω άξονες, ήταν επαρκή για 'αυτό το σκοπό.

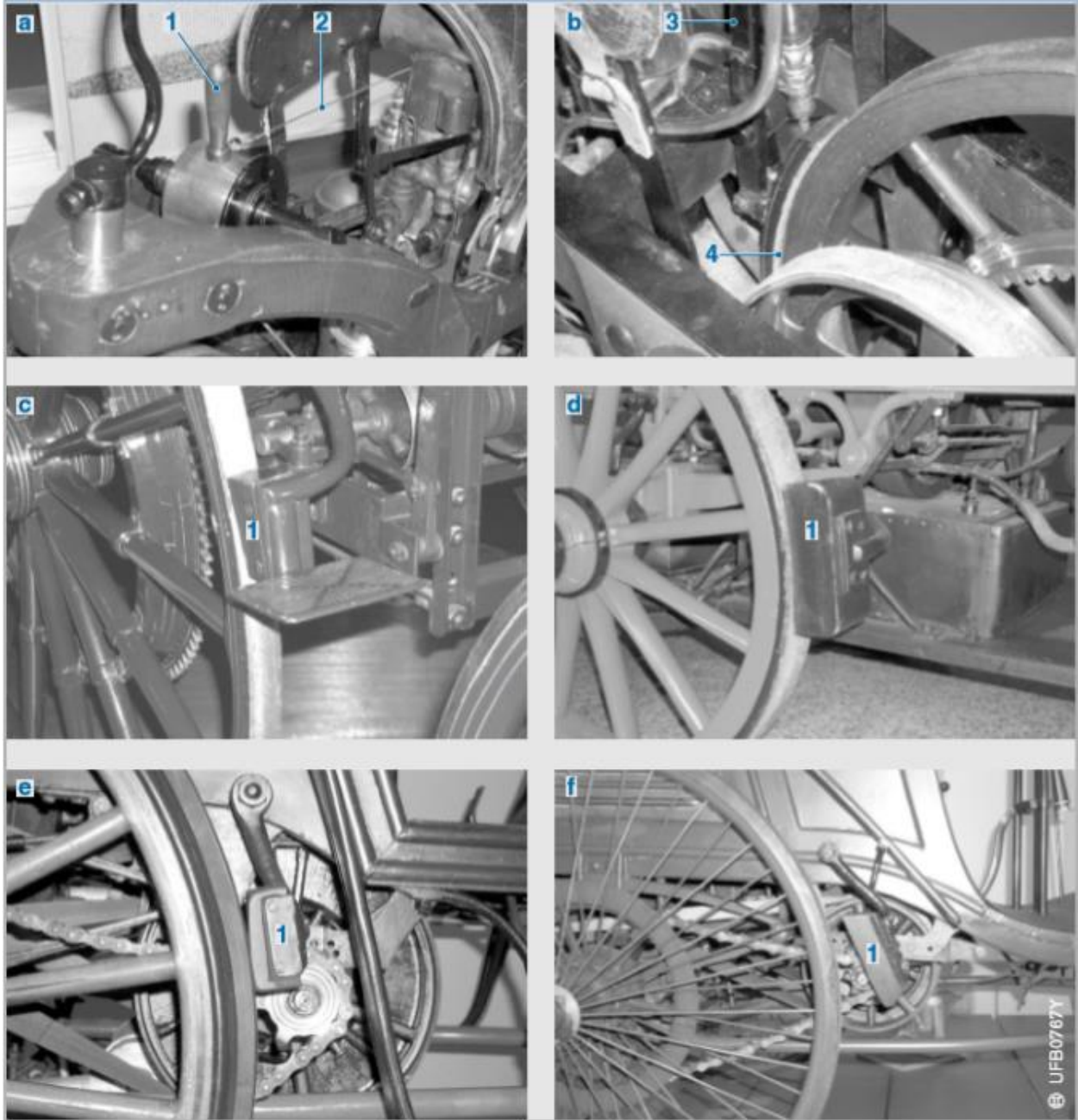
Αρχικά, μόνο οι πίσω τροχοί είχαν πέδηση. Οι εμπρόσθιοι τροχοί του αυτοκινήτου εξοπλίστηκαν με φρένα (με καλώδιο) περίπου 35 χρόνια μετά την εμφάνιση τους. Ακόμη περισσότερα χρόνια πέρασαν πριν αρχίσουν τα οχήματα να εξοπλίζονται με υδραυλικά φρένα, τα οποία, αρχικά, ήταν μόνο φρένα τυμπάνου. Η χρήση της παλιάς μεθόδου ενεργοποίησης μέσω καλωδίων συνεχίστηκε σε μερικά μοντέλα, όπως το VW Beetle, μέχρι και μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Άλλα σημαντικά ορόσημα ήταν η χρήση δισκόφρενων και, στην παρούσα εποχή, η εισαγωγή και η σταδιακή ανάπτυξη διαφόρων συστημάτων σταθερότητας οδήγησης.

## 1.2 Τακάκια και εξωτερικά φρένα με τακάκια στις τρεχούμενες επιφάνειες του τροχού

Τα πρώτα οχήματα με κινητήρα χρησιμοποιούσαν ξύλινους τροχούς με χαλύβδινη επίστρωση ή επίστρωση από καουτσούκ ή ακτινικούς τροχούς με λάστιχα από καουτσούκ. Για το φρενάρισμα, μοχλοί (όπως και με τις άμαξες) έσπρωχναν τα τακάκια των φρένων με επενδύσεις τριβής στις επιφάνειες των πίσω τροχών. Ένα πρώτο παράδειγμα είναι το "riding carriage" που αναπτύχθηκε από τον Gottlieb Daimler ως πειραματικό όχημα το 1885 (η πρώτη μοτοσικλέτα, με απόδοση κινητήρα 0,5 ίππων και μέγιστη ταχύτητα 12 km / h). Ένα καλώδιο οδηγούταν από τον μοχλό ενεργοποίησης του φρένου που βρισκόταν στο μπροστινό μέρος, κοντά στο βραχίονα διεύθυνσης, στο εξωτερικό φρένο με τακάκι στον πίσω τροχό (Εικόνες 3 a, b).

Το 1886 εισήχθησαν τα πρώτα επιβατικά αυτοκίνητα με κινητήρες εσωτερικής καύσης: το αυτοκίνητο του Daimler (1,1 hp, 16 km / h), το οποίο προήλθε από την ιππύλατη άμαξα και το αυτοκίνητο του Benz, το οποίο σχεδιάστηκε εξ' ολοκλήρου ως αυτοκίνητο. Και τα δύο είχαν φρένα με τακάκια, όπως επίσης και το πρώτο φορτηγό του κόσμου, που κατασκευάστηκε το 1896. Το φρένο με τακάκια εγκαταστάθηκε μπροστά από τους πίσω τροχούς κάθε οχήματος (Εικόνες 3 c, d, e, f).





Εικόνα 3 Ιστορικά οχήματα και τα συστήματα πέδησης τους

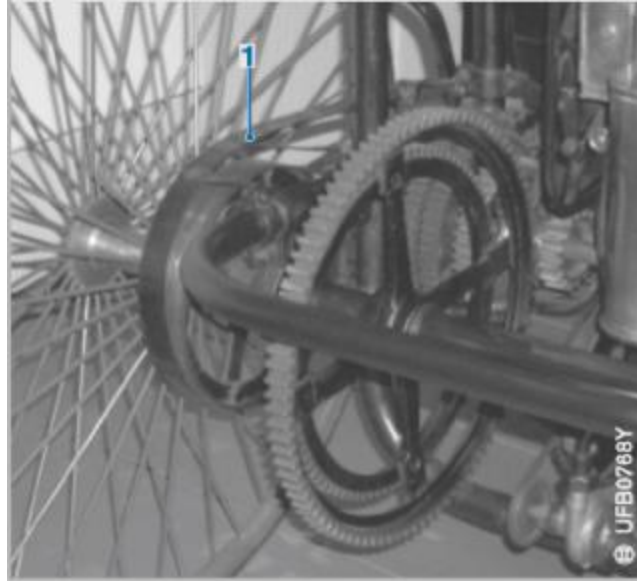
### 1.3 Ζώνη και εξωτερικά φρένα

Καθώς τα συμπαγή ελαστικά άρχισαν γρήγορα να χάνουν την πρωτοκαθεδρία τους στα οχήματα με κινητήρα (που είχαν εγκαθιδρύσει από το αυτοκίνητο του Benz το 1886 και το αυτοκίνητο Daimler το 1889) και αντικαταστάθηκαν σύντομα από τα ελαστικά γεμάτα αέρα για πιο άνετη οδήγηση, η εποχή του φρένου με τακάκια που πιέζονταν απευθείας στους τροχούς στα αυτοκίνητα είχε ήδη τελειώσει.

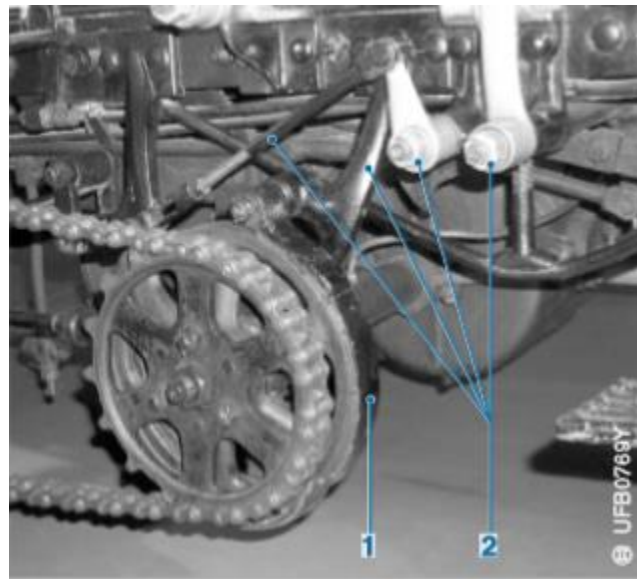
Από τότε άρχισαν να χρησιμοποιούνται τα φρένα συγκράτησης (εύκαμπτες χαλύβδινες φρέζες που δημιουργούσαν πέδηση είτε απευθείας είτε μέσω διάφορων τακακιών φρένων) και των εξωτερικών φρένων (άκαμπτα τακάκια από χυτοσίδηρο ή χάλυβα με επενδύσεις φρένων). Αυτά τα φρένα με πεντάλ λειτουργούσαν με εξωτερικά τύμπανα φρένων τα οποία κανονικά ήταν εγκατεστημένα στον κινητήριο άξονα στην περιοχή του πίσω τροχού.

Για παράδειγμα, το Fahrzeugfabrik Eisenach παρήγαγε το πρώτο αυτοκίνητο Wartburg το 1898. Το μοντέλο 1 είχε ένα εκτεθειμένο κιβώτιο ταχυτήτων και τροχούς. Τα φρένα ζώνης επιβράδυναν τόσο τον άξονα όσο και τους δύο πίσω τροχούς.

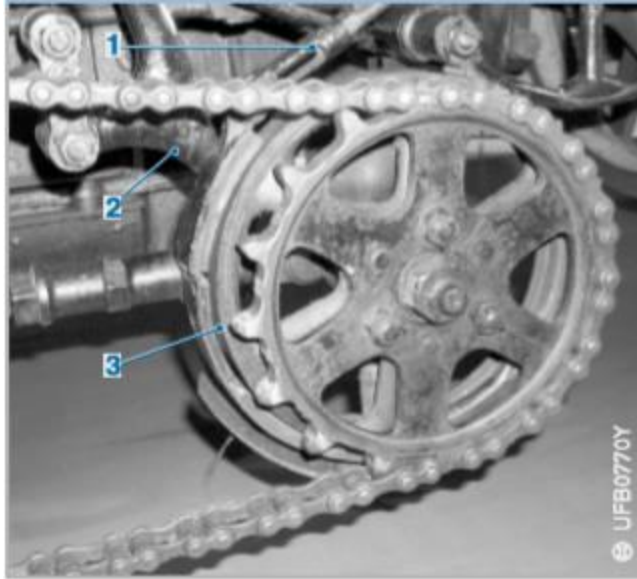
Το 1899, το αυτοκίνητο από χάλυβα του Daimler είχε στερεά ελαστικά και φρένα χαλύβδινων ταινιών στους πίσω τροχούς (Εικ. 4). Το Daimler "Phoenix", που χρονολογείται επίσης από το 1899, είχε ακόμα στερεά λάστιχα από καουτσούκ, αλλά αυτά σύντομα αντικαταστάθηκαν από ελαστικά με αέρα. Ένα ποδόφρενο λειτουργούσε ως εξωτερικό φρένο στον μπροστινό άξονα κίνησης (εικ. 5,6) και το χειρόφρενο επενεργούσε στους πίσω τροχούς. Επιπλέον, αυτό το αυτοκίνητο είχε - όπως και το αγωνιστικό αυτοκίνητο του Benz του 1899 (εικόνα 7) - ένα "φρένο με σφυρί", μια ισχυρή ράβδο τοποθετημένη στο πίσω μέρος που είχε σκοπό να οδηγηθεί στο (συνήθως σχετικά μαλακό) οδόστρωμα.



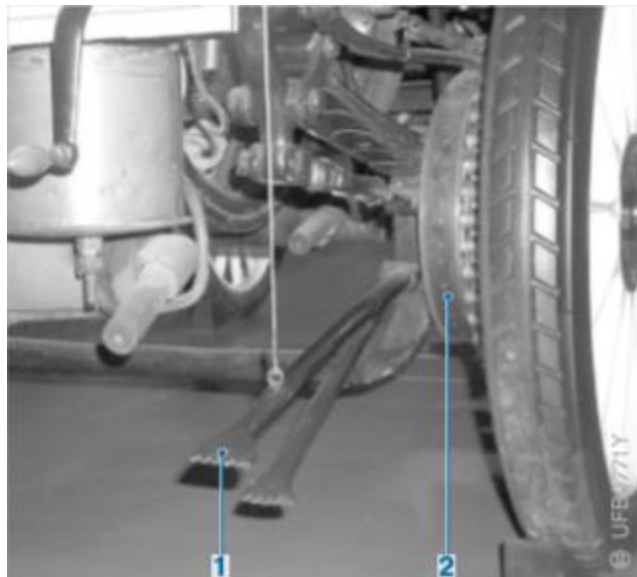
Εικόνα 4 Φρένο και χειρόφρενο στο αυτοκίνητο του Daimler: 1 Φρένο ζώνης στον πίσω άξονα



Εικόνα 5 Μπροστά όψη του άξονα του Daimler "Phoenix": 1 Εξωτερικό φρένο τακακιών, μπροστινό τμήμα 2 Μοχλός φρένου και σύνδεσμος φρένου



Εικόνα 6 Πίσω όψη του άξονα του Daimler "Phoenix": 1 Ράβδος φρένου 2 Μοχλός φρένου 3 Εξωτερικό φρένο τακακιών, πίσω τμήμα



Εικόνα 7 Αγωνιστικό αυτοκίνητο του Benz: 1 "Φρένο με σφυρί" 2 Εξωτερικό φρένο ζώνης με τακάκια φρένου

Ένα απόσπασμα από το αρχικό κείμενο του εγχειριδίου χρήσης για το "Phaeton" της Benz & Co. Rheinische Gasmotoren-Fabrik AG Mannheim από το 1902 αναφέρει ως εξής: "Εκτός από το χειρόφρενο που συνδέεται στην αριστερή του πλευρά, το αυτοκίνητο επιβραδύνει κυρίως πιέζοντας το αριστερό ποδόπληκτρο, στο οποίο λειτουργεί ένα φρένο ζωνών στους δίσκους των

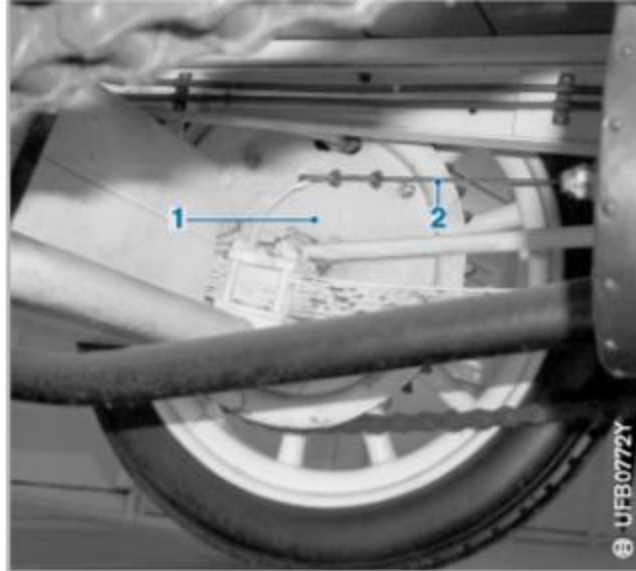
φρένων που είναι στερεωμένοι στους δύο πίσω τροχούς. Ταυτόχρονα, όπως προαναφέρθηκε, ο ιμάντας μετακινείται αυτόματα. Για να σταματήσετε αμέσως το αυτοκίνητο, πιέστε ταυτόχρονα τόσο το αριστερό όσο και το δεξί πεντάλ, γεγονός που προκαλεί το φρένο ζώνης που συνδέεται με το δεξί πεντάλ να επενεργεί στο δίσκο του φρένου και έτσι να φρενάρει το μειωτήρα. "

#### 1.4 Εσωτερικά φρένα με τύμπανα με μηχανική ενεργοποίηση καλωδίων

Με την πάροδο του χρόνου, τα οχήματα έγιναν ταχύτερα και βαρύτερα. Ως εκ τούτου, απαιτούσαν ένα πιο αποτελεσματικό σύστημα πέδησης. Έτσι, τα εξωτερικά φρένα με τακάκια άρχισαν σύντομα να φτάνουν στο εσωτερικό φρένο τυμπάνου με τακάκια, για το οποίο ο Louis Renault υπέβαλε αίτηση για δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1902. Ένας μηχανισμός διάνοιξης ωθούσε δύο τακάκια με σχήμα ημισελήνου στην εσωτερική επιφάνεια των τυμπάνων από χυτοσίδηρο ή χάλυβα, που συνδέονταν με τον τροχό. Λόγω της λειτουργίας του, το φρένο τυμπάνου διαθέτει πιο χαμηλές δυνάμεις λειτουργίας σε σύγκριση με τις δυνάμεις πέδησης, ενώ παράλληλα έχει μακρές περιόδους μεταξύ συντηρήσεων και επενδύσεις υλικού φρένων (φερμουί) μακράς διάρκειας.

Αρχικά, η δύναμη πέδησης ματαδιδόταν στα δύο φρένα τυμπάνων των πίσω τροχών χρησιμοποιώντας καλώδια φρένων.

Για παράδειγμα, το Mercedes Simplex είχε φρένα πίσω τροχού (εικόνα 8), επιπλέον του φρένου ζώνης στον άξονα. Λόγω της υψηλότερης απόδοσης του κινητήρα (40 ίππους), προστέθηκε και ένα δεύτερο ποδόπληκτρο (Εικ. 9), το οποίο λειτουργούσε και σαν φρένο ζώνης στον ενδιάμεσο άξονα. Παρεμπιπτόντως, και τα τέσσερα φρένα ψύχονταν με ψεκασμό νερού, το οποίο, κατά τη διάρκεια της πέδησης, έσταζε πάνω στις επιφάνειες τριβής από μια δεξαμενή.



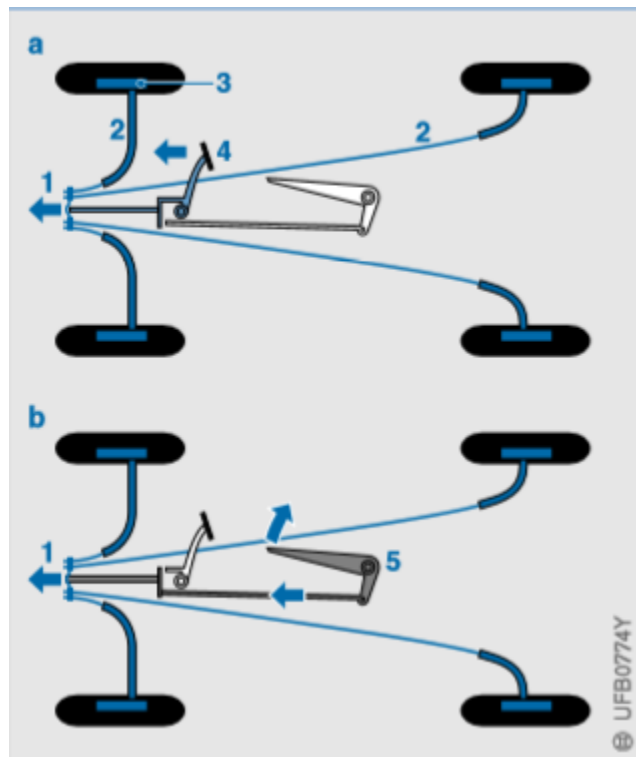
*Εικόνα 8 Το Mercedes Simplex με ενεργοποιούμενο από καλώδια φρένο τυμπάνου στο πίσω τροχό*



*Εικόνα 9 Μηχανισμός πεντάλ και μοχλού στο Mercedes Simplex*

Περίπου από το 1920, τα οχήματα ήταν εφοδιασμένα με φρένα τυμπάνων και στους τέσσερις τροχούς. Η δύναμη πέδησης εξακολουθούσε να μεταδίδεται με μηχανικά μέσα, δηλαδή με μοχλούς, αρμούς και καλώδια φρένου.

Αυτά τα φρένα πέδησης που ενεργοποιούνταν με καλώδιο παρέμειναν σε χρήση για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ένα παράδειγμα ήταν το τυπικό μοντέλο VW της δεκαετίας του 1950 (Εικ. 10): Το κύριο στοιχείο αυτού του συστήματος πέδησης ήταν μια μπάρα πίεσης των φρένων (1). Τα τέσσερα καλώδια φρένων (2) που ήταν προσαρτημένα σε αυτό το στοιχείο οδηγούνταν μέσω των οδηγών των καλωδίων στα φρένα τύμπανου των τεσσάρων τροχών (3). Το πίσω μέρος της μπάρας στηριζόταν από ένα βραχύ μοχλό που συνδεόταν στον άξονα του πεντάλ φρένου. Όταν το πεντάλ φρένου (4) αφηνόταν, η μπάρα πίεσης πέδησης πιεζόταν προς τα εμπρός μαζί με τα τέσσερα καλώδια. Τα καλώδια μετέδιδαν τη δύναμη στα φρένα των τροχών. Ο μοχλός για το χειρόφρενο (5) ήταν πιο πίσω στο αυτοκίνητο. Ωστόσο, μέσω μιας ράβδου, το χειρόφρενο τελικά επενεργούσε στον ίδιο μηχανισμό με το πεντάλ φρένων και, συνεπώς, επενεργούσε και στους τέσσερις τροχούς.



Εικόνα 10 Τυπικό σύστημα φρένου της VW



## 1.5 Υδραυλική ενεργοποίηση του φρένου

Το κύριο πρόβλημα της ενεργοποίησης των φρένων με καλώδια ήταν η μεγάλη προσπάθεια που απαιτούνταν για τη συντήρηση και η ανομοιογενής επίδραση της πέδησης που προκαλούταν από την ανομοιόμορφη τριβή κατά τη μηχανική μετάδοση. Αυτό διορθώθηκε όταν η Lockheed εισήγαγε ένα υδραυλικά ενεργοποιούμενο φρένο το 1919. Ένα ειδικό υγρό φρένων μετέδιδε τη δύναμη του πεντάλ φρένου ομοιόμορφα στους κυλίνδρους ενεργοποίησης των φρένων των τροχών πάνω σε μεταλλικές γραμμές και εύκαμπτους σωλήνες, χωρίς την ανάγκη μοχλών, αρμών και καλωδίων.

Η υδραυλική ενεργοποίηση του φρένου επέτρεψε επίσης την ενίσχυση της δύναμης του ποδιού που εφάρμοζε ο οδηγός χρησιμοποιώντας την πίεση της πολλαπλής εισαγωγής ως πηγή ισχύος για ένα σερβομηχανισμό στο σύστημα φρένων. Η αρχή κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1919 από την Hispano-Suiza.

Όσον αφορά τα επαγγελματικά οχήματα και τα σιδηροδρομικά οχήματα, τα φρένα αέρα καθιερώθηκαν ως η κύρια επιλογή συστήματος.

Το 1926, το "Adler Standard" ήταν το πρώτο αυτοκίνητο στην Ευρώπη εξοπλισμένο με ένα υδραυλικό σύστημα πέδησης. Το πρώτο σύστημα υδραυλικής πέδησης σε αγωνιστικά αυτοκίνητα χρησιμοποιήθηκε στα "Silver Arrows" της Mercedes-Benz το 1954. Αυτό έγινε τελικά ο στάνταρ εξοπλισμός για πολλά οχήματα μαζικής παραγωγής.

Επειδή μια πιθανή βλάβη του κυκλώματος φρένων θα μπορούσε να απενεργοποιήσει εντελώς τα φρένα ενός πρώιμου κυκλώματος, το φρένο διπλού κυκλώματος καθορίστηκε αργότερα ως πρότυπο από το νόμο. Σύμφωνα με τον σχεδιαστή του VW Golf Ernst Fiala, τα πρώτα "Beetles" (το πρότυπο μοντέλο VWs) είχαν ακόμα φρένο με καλώδιο για τον ίδιο λόγο: φοβόταν ότι θα μπορούσε να αστοχήσει ένας εύκαμπτος σωλήνας στα υδραυλικά φρένα. Αργότερα, ωστόσο - αν και μόνο για ανταγωνιστικούς λόγους - τα VW Export και VW Transporter παρουσίαζαν υδραυλικά συστήματα πέδησης.



## 1.6 Φρένο δίσκου

Παρόλο που η βρετανική αυτοκινητοβιομηχανία Lancaster είχε κατοχυρώσει με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το δισκόφρενο το 1902, πέρασε πολύς καιρός μέχρι να εισαχθεί αυτός ο τύπος φρένων. Περίπου πενήντα χρόνια αργότερα, αρχής γενομένης το 1955, το θρυλικό Citroën DS-19 έγινε το πρώτο αυτοκίνητο μαζικής παραγωγής που θα εφοδιαζόταν με δισκόφρενα. Το δισκόφρενο προέρχεται από το φρένο πολλαπλών πλακών και αναπτύχθηκε αρχικά για τη βιομηχανία αεροσκαφών.

Στο δισκόφρενο, μία επένδυση τριβής (φερμουί) πιέζει το δισκόφρενο από το εσωτερικό και το εξωτερικό. Ο δίσκος (ο οποίος συνήθως κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο ή, λιγότερο συχνά, από χάλυβα) συνδέεται με τον τροχό. Το πλεονέκτημά του είναι η απλή και εύκολη στη συναρμολόγησή δομή του. Αντιμετωπίζει επίσης τη μείωση του φρεναρίσματος που προκαλείται από την υπερθέρμανση και αποτρέπει την κακή ευθυγράμμιση των τροχών ενός άξονα.

Το πρώτο γερμανικό αυτοκίνητο με δισκόφρενα στους μπροστινούς τροχούς ήταν η BMW 502 το 1959. Τα πρώτα αυτοκίνητα που είχαν δισκόφρενα και στους τέσσερις τροχούς ήταν τα Mercedes 300 SE, Lancia Flavia και Fiat 2300 το 1961. Σήμερα, σχεδόν όλα τα αυτοκίνητα διαθέτουν σύστημα πέδησης με δίσκο, τουλάχιστον στους εμπρός τροχούς. Το 1974, εισήχθησαν τα πρώτα αμαξίδια Formula 1 με συνθετικούς δίσκους φρένων από ανθρακονήματα. Αυτοί οι δίσκοι θεωρούνται ιδιαίτερα ελαφροί και ανθεκτικοί στη θερμότητα και έτσι έχουν αποκτήσει ευρεία χρήση στα μηχανοκίνητα αθλήματα και την αεροπορία.

Έπρεπε να αναπτυχθούν κατάλληλες επενδύσεις φρένων για φρένα τύμπανου και δίσκου, για τα οποία ο αμιάντος αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματικός. Αυτό ήταν το υλικό, μέχρι να γίνει γνωστό ότι οι ίνες αμιάντου ήταν επιβλαβείς για την υγεία και αντικαταστάθηκαν από πλαστικές ίνες.

Η εποχή των ηλεκτρονικών συστημάτων πέδησης ξεκίνησε το 1978 με την άφιξη του συστήματος αντιμπλοκαρίσματος (ABS) για τα αυτοκίνητα που αναπτύχθηκε από τη Bosch. Κατά τη διάρκεια της πέδησης, το ABS παρέχει έγκαιρη ανίχνευση της αρχής του μπλοκαρίσματος ενός ή περισσοτέρων τροχών και εμποδίζει το κλείδωμα τους. Εξασφαλίζει τη δυνατότητα οδήγησης του οχήματος και μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο ολίσθησης. Το 1986,

ακολουθήθηκε από το σύστημα ελέγχου της πρόσφυσης (TCS), με το οποίο η Bosch επέκτεινε την ικανότητα του συστήματος να ελέγχει την περιστροφή των τροχών κατά την επιτάχυνση. Η εικ. 11 παρουσιάζει τις δοκιμές οδοστρώματος αυτών των συστημάτων στους χώρους δοκιμών της Bosch στο Boxberg της νότιας Γερμανίας.



*Εικόνα 11 Δοκιμές του συστήματος ελέγχου πρόσφυσης*

Ως περαιτέρω βελτίωση της οδικής ασφάλειας, η Bosch εισήγαγε το πρόγραμμα ηλεκτρονικής σταθερότητας (ESP) το 1995, το οποίο ενσωματώνει τις λειτουργίες ABS και TCS. Δεν εμποδίζει μόνο τους τροχούς των οχημάτων από το κλείδωμα και την ολίσθηση, αλλά επίσης διατηρεί το όχημα από το να «φεύγει» προς τα πλάγια. Εναλλακτικά συστήματα, όπως η στροφή των τεσσάρων τροχών και η κινηματική του οπίσθιου άξονα, τα οποία αναπτύχθηκαν τη δεκαετία του 1980 και του 90 και εγκαταστάθηκαν σε ορισμένα οχήματα μαζικής παραγωγής, δεν είχαν πετύχει, επειδή ζύγιζαν πάρα πολύ, κόστιζαν πάρα πολύ ή δεν ήταν αρκετά αποτελεσματικά. Εν τω μεταξύ, ο (ηλεκτροϋδραυλικός) έλεγχος φρένων με χρήση αισθητήριων έχει βρει τη θέση του στην κατασκευή αυτοκινήτων. Παρέχει όλες τις λειτουργίες ESP και αποσυνδέει τη μηχανική λειτουργία του πεντάλ φρένου μέσω ηλεκτρονικού συστήματος ελέγχου. Για λόγους ασφαλείας, είναι διαθέσιμο αυτόματα ένα σύστημα υδραυλικής εναλλαγής.

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> Βασικοί ορισμοί

Για την καλύτερη κατανόηση από τον αναγνώστη, στο εισαγωγικό κεφάλαιο αυτό αναφέρονται οι ορισμοί βασικών εννοιών και δυνάμεων που αφορούν στην λειτουργία του συστήματος πέδησης ενός αυτοκινήτου.

**Ακολουθία πέδησης** Όπως ορίζεται στο ISO 611, ο όρος "ακολουθία πέδησης" αναφέρεται σε όλες τις λειτουργίες που πραγματοποιούνται μεταξύ του σημείου κατά το οποίο αρχίζει η λειτουργία της διάταξης ενεργοποίησης (της πέδησης) και του σημείου κατά το οποίο η επίδραση της πέδησης σταματά (όταν απελευθερώνεται το φρένο ή το όχημα είναι ακινητοποιημένο).

**Μεταβλητή πέδηση** Ένας τύπος συστήματος πέδησης που επιτρέπει στον οδηγό ανά πάσα στιγμή να αυξάνει ή να μειώνει τη δύναμη πέδησης σε επαρκώς ακριβή βαθμό με τη λειτουργία της διάταξης ενεργοποίησης εντός του φακέλου κανονικής λειτουργίας. Εάν η λειτουργία της διάταξης ενεργοποίησης αυξάνει με συγκεκριμένο τρόπο τη δύναμη πέδησης, τότε η αντίθετη ενέργεια πρέπει να αντιστρέψει το αποτέλεσμα και να μειώσει τη δύναμη πέδησης.

**Υστέρηση συστήματος πέδησης** Η υστέρηση του συστήματος πέδησης είναι η διαφορά μεταξύ των δυνάμεων ενεργοποίησης όταν το φρένο ενεργοποιείται και απελευθερώνεται υπό σταθερή ροπή πέδησης.

**Υστέρηση πέδησης** Η υστέρηση των φρένων είναι η διαφορά μεταξύ των δυνάμεων εφαρμογής όταν το φρένο ενεργοποιείται και απελευθερώνεται υπό σταθερή ροπή πέδησης.

**Δύναμη ενεργοποίησης** Η δύναμη ενεργοποίησης, FC, είναι η δύναμη που ασκείται στη συσκευή ενεργοποίησης (πεντάλ φρένου).

**Δύναμη εφαρμογής** Σε ένα φρένο τριβής, η δύναμη εφαρμογής είναι η ολική δύναμη που ασκείται στο στήριγμα του τακακιού του φρένου, προκειμένου να δημιουργηθεί η τριβή που απαιτείται για τη δύναμη πέδησης.

**Συνολική δύναμη πέδησης** Η συνολική δύναμη πέδησης,  $F_f$ , είναι το άθροισμα των δυνάμεων πέδησης σε κάθε τροχό που παράγονται από την επίδραση του συστήματος πέδησης και οι οποίες αντιτίθενται στην κίνηση του οχήματος ή στην τάση του να μετακινείται.

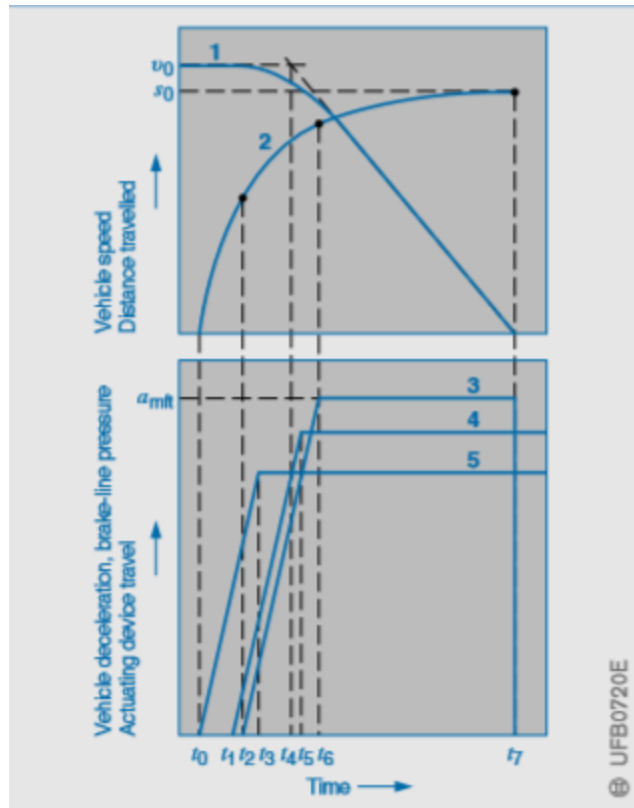
**Ροπή πέδησης** Η ροπή πέδησης είναι το αποτέλεσμα των δυνάμεων τριβής που παράγονται στο φρένο με την εφαρμογή των δυνάμεων πέδησης και την απόσταση του σημείου δράσης των δυνάμεων αυτών από τον άξονα περιστροφής του τροχού.

**Κατανομή της δύναμης πέδησης** Η κατανομή της δύναμης πέδησης υποδεικνύει σε ποσοστιαία αναλογία τον τρόπο κατανομής της συνολικής δύναμης πέδησης  $F_f$  μεταξύ των εμπρόσθιων και του πίσω τροχών, π.χ. εμπρός 60%, πίσω 40%.

**Συντελεστής εξωτερικής πέδησης, C** Ο συντελεστής εξωτερικής πέδησης,  $C$ , είναι ο λόγος της παραγόμενης προς την προκαλούμενη ροπή ή της επιβαλλόμενης προς την παραγομένη δύναμη σε ένα φρένο..

**Εσωτερικός συντελεστής πέδησης,  $C^*$**  Ο συντελεστής εσωτερικής πέδησης,  $C^*$ , είναι ο λόγος της συνολικής εφαπτομενικής δύναμης που δρα στην αποτελεσματική ακτίνα πέδησης του φρένου προς την εφαρμοζόμενη δύναμη  $F_S$ . Τυπικές τιμές: για τα φρένα τυμπάνων, οι τιμές μπορούν να φτάσουν έως  $C^* = 10$ , για φρένα δίσκων  $C^* \approx 1$ .

**Χρονικές περίοδοι** Η ακολουθία φρεναρίσματος χαρακτηρίζεται από έναν αριθμό χρονικών περιόδων οι οποίες ορίζονται με αναφορά στις ιδανικές καμπύλες που φαίνονται στην εικόνα 1.



Εικόνα 12 Χρονικές περιόδους κατά την λειτουργία της πέδησης: 1 Ταχύτητα οχήματος 2 Διανυθείσα απόσταση κατά την πέδηση 3 Επιβράδυνση οχήματος 4 Πίεση της γραμμής φρένου (πίεση πέδησης) 5 Διαδρομή της διάταξης ενεργοποίησης  $t_0$  Χρόνος κατά τον οποίο ο οδηγός αρχίζει να ασκείται δύναμη στη διάταξη ενεργοποίησης  $t_1$  Η πίεση της πέδησης (πίεση πέδησης) αρχίζει να αυξάνεται  $t_2$  η επιβράδυνση του οχήματος αρχίζει  $t_3$  Η διάταξη ενεργοποίησης έχει φτάσει στην επιθυμητή θέση  $t_4$  Τομή των τμημάτων καμπύλης της ταχύτητας  $t_5$  Η πίεση της φρένου έχει φτάσει σε σταθερό επίπεδο  $t_6$  Η επιβράδυνση του οχήματος έχει φτάσει σε σταθεροποιημένο επίπεδο  $t_7$  Το όχημα σταματά

**Περίοδος μετακίνησης της διάταξης ενεργοποίησης** Η περίοδος κίνησης της διάταξης ενεργοποίησης είναι ο χρόνος από το σημείο στο οποίο αρχικά εφαρμόζεται η δύναμη στη διάταξη ενεργοποίησης ( $t_0$ ), μέχρι το σημείο στο οποίο φθάνει στην τελική της θέση ( $t_3$ ) όπως καθορίζεται από η δύναμη ενεργοποίησης ή τη διαδρομή δράσεως. Το ίδιο ισχύει αναλογικά με την απελευθέρωση των φρένων.

**Χρόνος απόκρισης** Ο χρόνος απόκρισης,  $t_a$ , είναι ο χρόνος από το σημείο στο οποίο αρχικά εφαρμόζεται η δύναμη στη διάταξη ενεργοποίησης μέχρι το σημείο που παράγεται αρχικά η δύναμη πέδησης (πίεση που παράγεται στις γραμμές φρένων) ( $t_1 - t_0$ ).

**Χρόνος συσσώρευσης πίεσης** Ο χρόνος συντήρησης της πίεσης,  $t_s$ , είναι ο χρόνος από το σημείο στο οποίο παράγεται για πρώτη φορά η δύναμη πέδησης μέχρι το σημείο στο οποίο η πίεση στα φρένα φθάνει στο υψηλότερο επίπεδο ( $t_5 - t_1$ ).

**Συνολικός χρόνος πέδησης** Ο χρόνος πέδησης,  $t_b$ , είναι ο χρόνος που διαρκεί από το σημείο κατά το οποίο η δύναμη εφαρμόζεται αρχικά στη διάταξη ενεργοποίησης μέχρι το σημείο στο οποίο παύει η ισχύς πέδησης ( $t_7 - t_0$ ). Εάν το όχημα σταματήσει, τότε η στιγμή κατά την οποία το όχημα είναι ακίνητο για πρώτη φορά είναι η στιγμή κατά την οποία τελειώνει ο χρόνος πέδησης.

**Ο πραγματικός χρόνος πέδησης** Ο πραγματικός χρόνος πέδησης,  $t_w$ , είναι ο χρόνος που παρήλθε από τη στιγμή κατά την οποία παράγεται για πρώτη φορά η δύναμη πέδησης έως τη στιγμή που παύει η ισχύς πέδησης ( $t_7 - t_2$ ). Εάν το όχημα σταματήσει, τότε η στιγμή στην οποία το όχημα αρχίζει να είναι ακίνητο, είναι η στιγμή κατά την οποία τελειώνει ο πραγματικός χρόνος πέδησης.

**Απόσταση πέδησης** Η απόσταση πέδησης,  $s_1$ , είναι η απόσταση που διανύει ένα όχημα κατά την περίοδο του πραγματικού χρόνου πέδησης ( $t_7 - t_2$ ).

**Συνολική απόσταση πέδησης** Η συνολική απόσταση πέδησης  $s_0$  είναι η απόσταση που διανύεται από ένα όχημα κατά την περίοδο του συνολικού χρόνου πέδησης ( $t_7 - t_0$ ). Αυτή είναι η απόσταση που διανύεται από το σημείο στο οποίο ο οδηγός αρχικά ασκεί δύναμη στη συσκευή ενεργοποίησης σημείο στο οποίο το όχημα βρίσκεται σε στάση.

**Στιγμιαία επιβράδυνση** Η στιγμιαία επιβράδυνση,  $a$ , είναι η παράγωγος της ταχύτητας ως προς το χρόνο πέδησης.  $a = du / dt$

**Μέση επιβράδυνση κατά τη διάρκεια της συνολικής απόστασης πέδησης** Από την ταχύτητα του οχήματος  $v_0$  κατά το χρόνο  $t_0$ , η μέση επιβράδυνση,  $a_{ms}$ , μέχρι την απόσταση στάσης,  $s_0$ , υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον τύπο  $a_{ms} = v_0^2 / 2s_0$

**Μέση πλήρως ανεπτυγμένη επιβράδυνση** Η τιμή της μέσης πλήρως ανεπτυγμένης επιβράδυνσης αντιπροσωπεύει τον μέσο όρο της επιβράδυνσης κατά την περίοδο στην οποία η επιβράδυνση βρίσκεται στο πλήρως ανεπτυγμένο επίπεδο ( $t_7 - t_6$ ).

**Συντελεστής πέδησης** Ο συντελεστής πέδησης  $Z$  είναι ο λόγος μεταξύ της συνολικής δύναμης πέδησης  $F_f$  και του συνολικού στατικού βάρους  $G_S$  (βάρος οχήματος) που επενεργεί στις οριζόντιες κινήσεις του οχήματος. Αυτό είναι ισοδύναμο με την αναλογία επιβράδυνσης πεδήσεως  $a$ , προς την βαρυτική επιτάχυνση  $g$  ( $g = 9,81 \text{ m / s}^2$ ).

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> Συστήματα πέδησης αυτοκινήτων

Τα συστήματα πέδησης είναι απαραίτητα για τον έλεγχο και την ασφαλή λειτουργία ενός οχήματος σε συνθήκες οδικής κυκλοφορίας. Κατά συνέπεια, υπόκεινται σε αυστηρές νομικές απαιτήσεις. Η αυξανόμενη αποτελεσματικότητα και πολυπλοκότητα που απαιτούνταν από τα συστήματα πέδησης με την πάροδο του χρόνου σημαίνει ότι τα μηχανικά συστήματα αυτά βρίσκονται υπό διαρκή βελτίωση. Πλέον, με την εμφάνιση της μικροηλεκτρονικής, το σύστημα πέδησης έχει γίνει ένα πολύπλοκο ηλεκτρονικό σύστημα.

### ΣΦΑΙΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ

Τα συστήματα πέδησης αυτοκινήτου πρέπει να εκτελούν τις ακόλουθες θεμελιώδεις λειτουργίες:

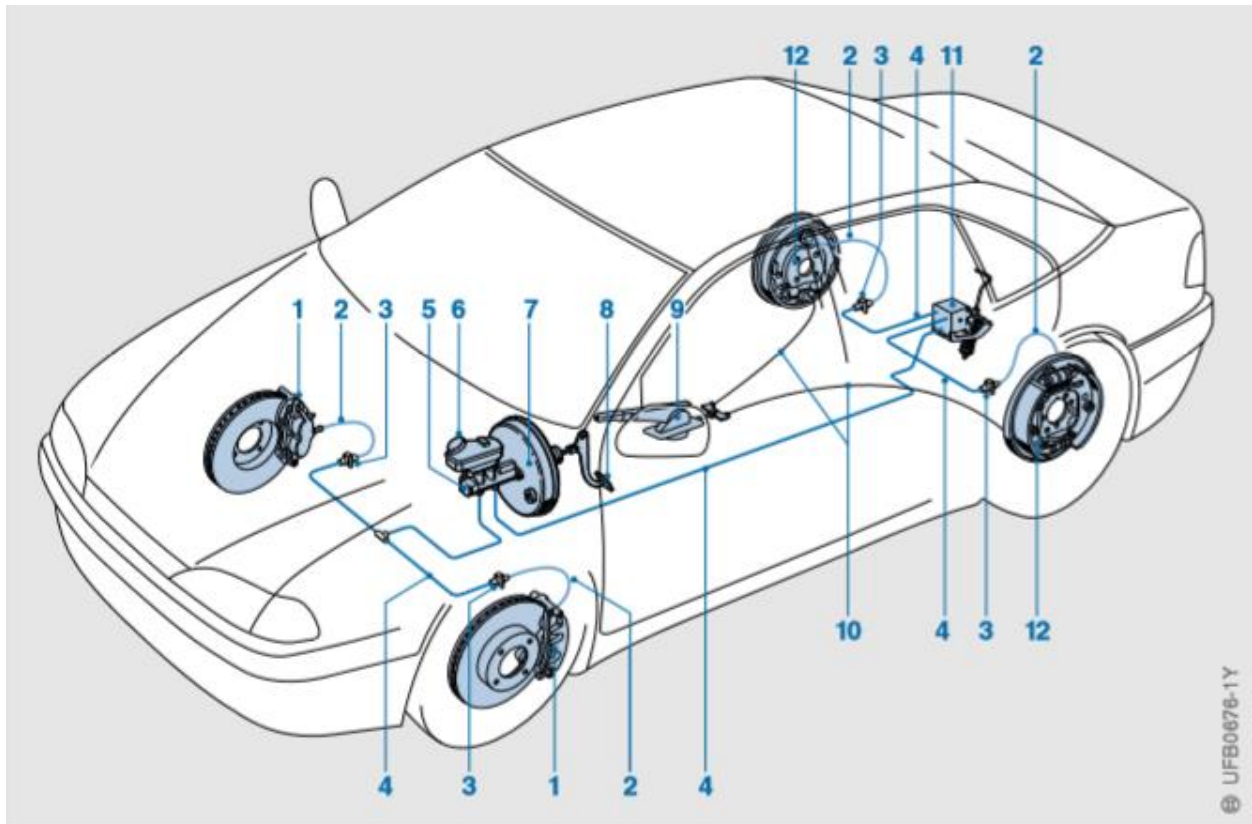
- Μείωση της ταχύτητας του οχήματος
- Στάση του οχήματος
- Μείωση της ανεπιθύμητης επιτάχυνσης κατά την οδήγηση σε κατηφόρα
- Διατήρηση του οχήματος σε ακινησία όταν σταματήσει

Οι πρώτες τρεις λειτουργίες εκτελούνται από τα φρένα. Ο οδηγός ελέγχει τα φρένα λειτουργώντας με το πεντάλ φρένου. Το χειρόφρενο διατηρεί το όχημα ακίνητο όταν βρίσκεται σε στάση και αναμονή.

### 3.1 Συμβατικά συστήματα πέδησης

Στα συμβατικά συστήματα πέδησης, η ακολουθία πέδησης ξεκινάει αποκλειστικά με την εφαρμογή της δύναμης στο πεντάλ ενεργοποίησης. Στον κύλινδρο πίεσης του συστήματος πέδησης, η δύναμη μετατρέπεται σε υδραυλική πίεση. Το υγρό φρένων λειτουργεί ως μέσο μετάδοσης της δύναμης μεταξύ του κύριου κυλίνδρου και των φρένων (Εικόνα 13).





Εικόνα 13 Τυπικό σύστημα πέδησης αυτοκινήτου: 1 εμπρός φρένο (φρένο δίσκου) 2 Σωλήνας φρένου 3 Σύνδεση σωλήνα φρένου με αγωγό υγρού φρένου 4 Αγωγός υγρού φρένου 5 Κύριος κύλινδρος 6 Δεξαμενή υγρού φρένου 7 Μονάδα Σέρβο φρένου 8 Πεντάλ φρένου 9 Μοχλός χειρόφρενου 10 Καλώδιο φρένου (φρένο στάθμευσης) 11 μειωτήρας δύναμης πέδησης 12 Πίσω φρένο (στη συγκεκριμένη περίπτωση φρένο τύμπανου)

Σε συστήματα πέδησης με υποβοήθηση πέδησης, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται συχνότερα σε αυτοκίνητα και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα, η πίεση ενεργοποίησης ενισχύεται από ένα σερβομηχανισμό φρένου (ενισχυτής φρένων).

### 3.2 Ηλεκτρονικά συστήματα πέδησης

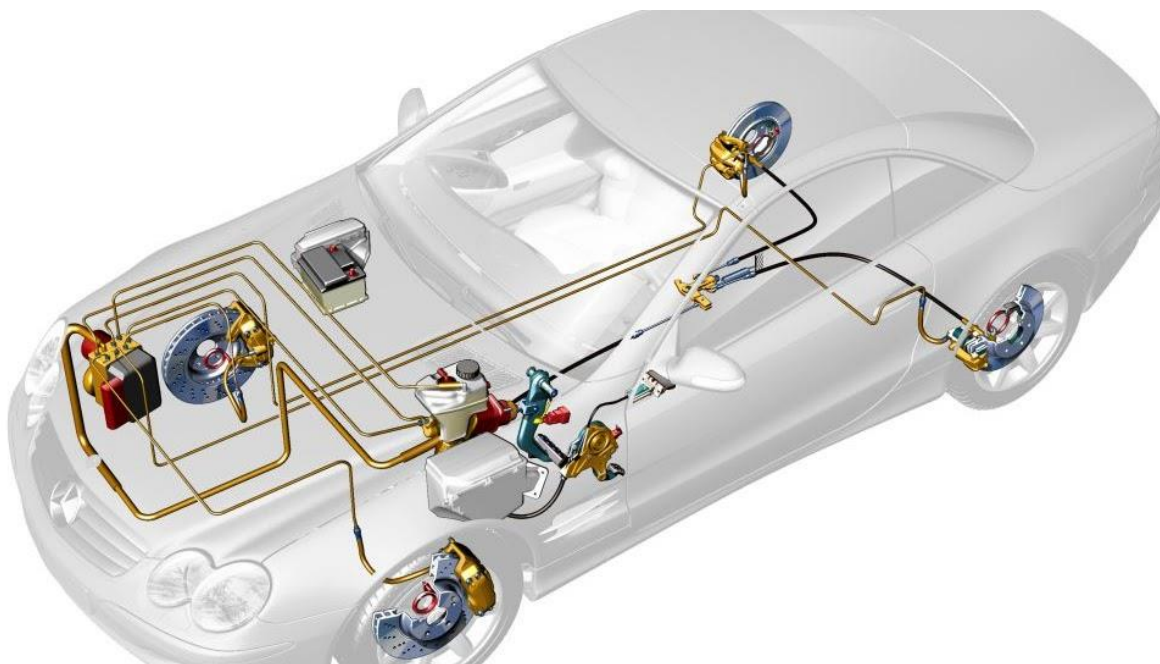
**Σύστημα αντιμπλοκαρίσματος φρένων (ABS)** Πρόκειται για σύστημα ηλεκτρονικής πέδησης που χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε ένα όχημα παραγωγής το 1978. Το ABS (Σύστημα

αντιμπλοκαρίσματος φρένων) εμποδίζει τους τροχούς να κλειδώνουν και απομακρύνει την περίπτωση το όχημα να μην μπορεί να ελεγχθεί σε περίπτωση έντονου φρεναρίσματος.

Όπως συμβαίνει και με τα συμβατικά συστήματα, ένα σύστημα ABS έχει μηχανική σύνδεση μεταξύ του πεντάλ φρένου και των φρένων, αλλά περιλαμβάνει επίσης ένα πρόσθετο στοιχείο, τον υδραυλικό ελεγκτή. Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες στον υδραυλικό ελεγκτή ελέγχονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε, εάν ο βαθμός γλιστήματος των τροχών υπερβεί ένα δεδομένο μέγεθος, η πίεση πέδησης στους ξεχωριστούς κυλίνδρους των τροχών περιορίζεται επιλεκτικά για να αποφευχθεί το μπλοκάρισμα των τροχών.

Το ABS βελτιώνεται συνεχώς και έχει εξελιχθεί σε τέτοιο βαθμό, ώστε αποτελεί σήμερα τον βασικό εξοπλισμό για σχεδόν όλα τα καινούρια οχήματα που πωλούνται.

**Ηλεκτροϋδραυλικά φρένα (SBC)** Το SBC (Sensotronic Brake Control) (εικόνα 14) αντιπροσωπεύει μια νέα γενιά συστημάτων πέδησης. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, δεν έχει καμία μηχανική σύνδεση μεταξύ του πεντάλ φρένου και των κυλίνδρων τροχών. Το σύστημα ηλεκτροϋδραυλικών συστημάτων SBC ανιχνεύει τη μετάβαση του πεντάλ φρένου ηλεκτρονικά χρησιμοποιώντας διπλά συστήματα αισθητήρων και αναλύει τα αισθητήρια σήματα σε μια αντίστοιχη μονάδα. Αυτό το σύστημα αναφέρεται συχνά ως "brake by wire". Ο υδραυλικός ελεγκτής ελέγχει την πίεση στα μεμονωμένα φρένα μέσω των σωληνοειδών βαλβίδων. Η λειτουργία των φρένων εξακολουθεί να πραγματοποιείται υδραυλικά χρησιμοποιώντας υγρό φρένων ως μέσο μετάδοσης.

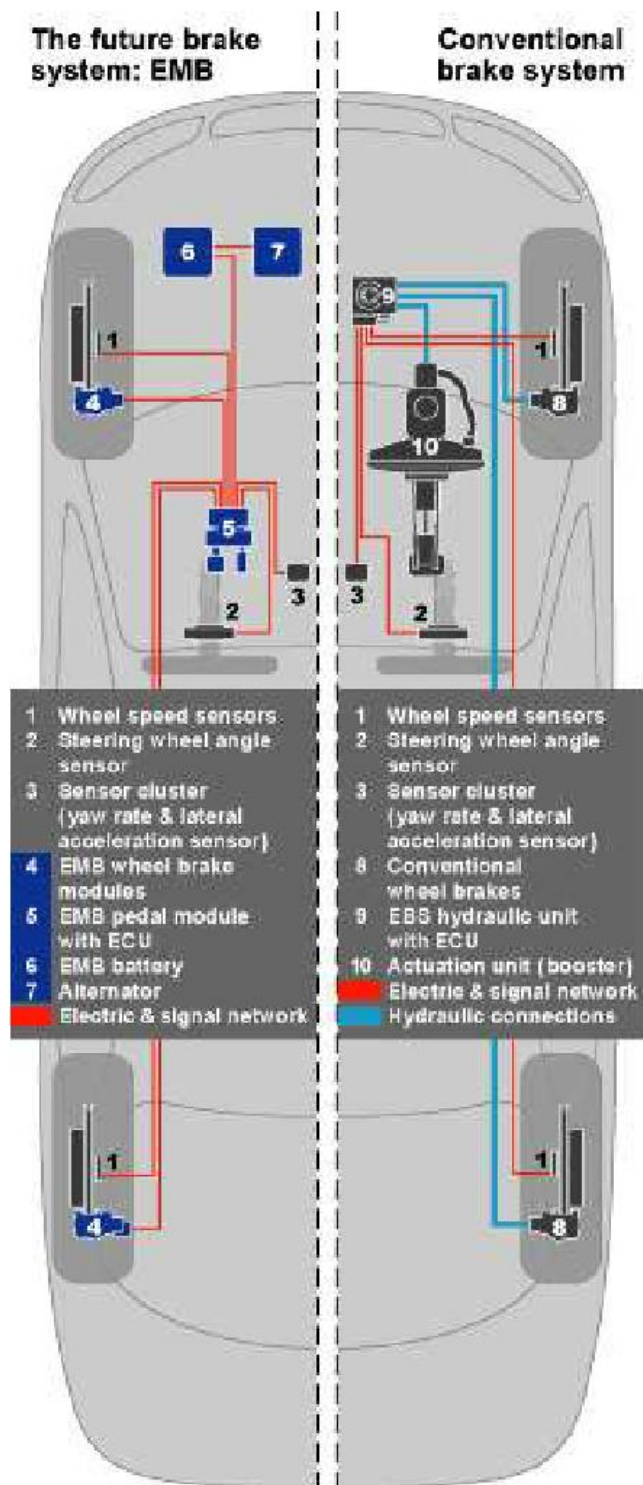


*Εικόνα 14 Sensotronic Brake Control*

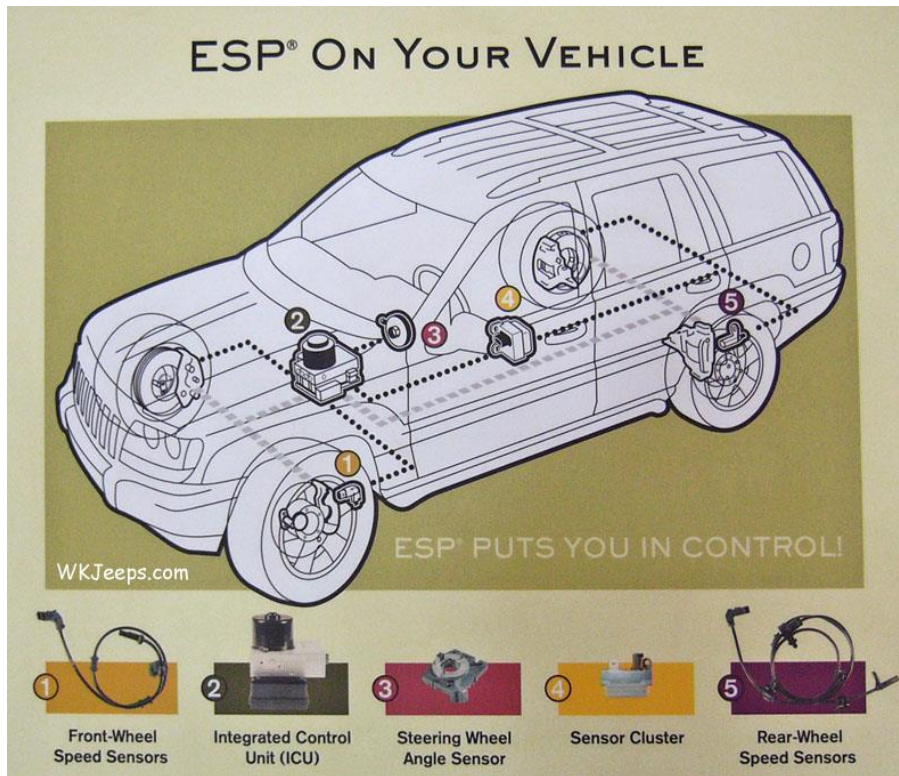
**Ηλεκτρομηχανικά φρένα (EMB)** Στο μέλλον θα υπάρξει ένα άλλο ηλεκτρονικό σύστημα πέδησης EMB (ηλεκτρομηχανικά φρένα) (εικόνα 15), το οποίο θα λειτουργεί ηλεκτρομηχανικά αντί να χρησιμοποιεί υδραυλικά συστήματα. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες θα ωθούν τα τακάκια των φρένων στους δίσκους προκειμένου να παράσχουν τη δράση πέδησης. Η σύνδεση μεταξύ του πεντάλ φρένου και των φρένων θα είναι καθαρά ηλεκτρονική.

**Ηλεκτρονικά συστήματα δυναμικής οχημάτων** Η συνεχής ανάπτυξη του συστήματος ABS οδήγησε στη δημιουργία συστήματος ελέγχου πρόσφυσης (TCS). Το σύστημα αυτό, το οποίο παρουσιάστηκε για πρώτη φορά σε αυτοκίνητα παραγωγής το 1987, εμποδίζει την ολίσθηση των τροχών λόγω επιτάχυνσης και βελτιώνει έτσι το χειρισμό του οχήματος. Κατά συνέπεια, δεν είναι ένα σύστημα πέδησης με την αυστηρή έννοια της λέξης. Παρ' όλα αυτά, χρησιμοποιεί και λειτουργεί ενεργά το σύστημα πέδησης για να αποτρέψει την απώλεια πρόσφυσης ενός τροχού.

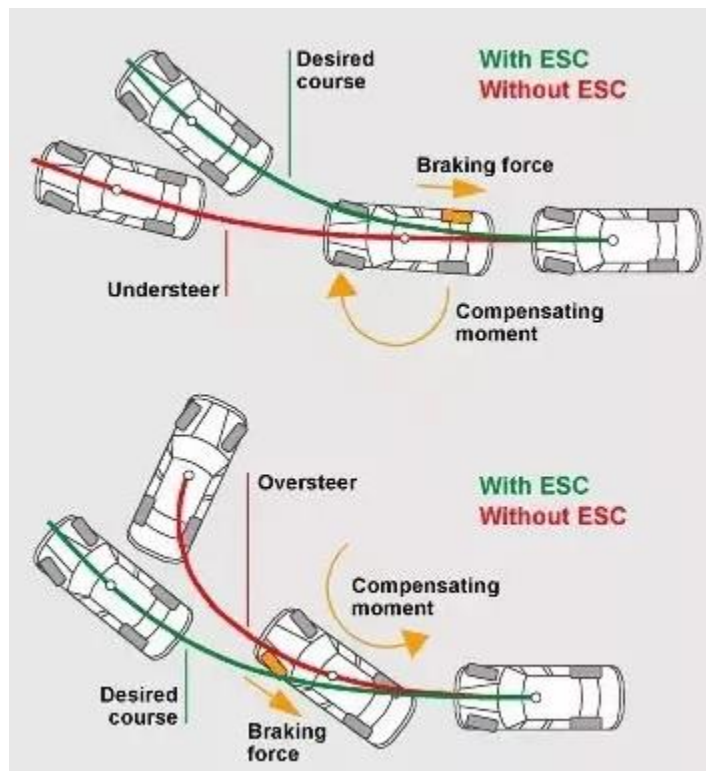
Ένα άλλο σύστημα δυναμικής οχημάτων είναι το ESP (Ηλεκτρονικό Πρόγραμμα Σταθερότητας) (Εικόνα 16), το οποίο εμποδίζει το όχημα να χάσει την πρόσφυση του μέσα σε φυσικά καθορισμένες παραμέτρους. Χρησιμοποιεί και ελέγχει ενεργά το σύστημα πέδησης προκειμένου να σταθεροποιηθεί το όχημα.



Εικόνα 15 Διαφορά τυπικού συστήματος πέδησης και ηλεκτρομηχανικού συστήματος πέδησης



Εικόνα 16 Ηλεκτρονικό Πρόγραμμα Σταθερότητας



Εικόνα 17 Λειτουργία ESP



**Συμπληρωματικές λειτουργίες ηλεκτρονικών συστημάτων** Η ηλεκτρονική επεξεργασία δεδομένων καθιστά επίσης δυνατή μια σειρά βοηθητικών λειτουργιών που μπορούν να ενσωματωθούν στα συνολικά ηλεκτρονικά συστήματα πέδησης και δυναμικής οχημάτων.

- Ο Βοηθός Φρένων (BA) αυξάνει την πίεση πέδησης εάν ο οδηγός διστάζει να εφαρμόσει την πλήρη ισχύ των φρένων σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.
- Η ηλεκτρονική κατανομή της δύναμης πέδησης ελέγχει τη δύναμη πέδησης στους πίσω τροχούς έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή ισορροπία μεταξύ της δύναμης πέδησης μεταξύ του εμπρός και πίσω τροχού στην κάθε πλευρά του οχήματος.
- Το σύστημα ελέγχου καθόδου (HDC) φρενάρει αυτόματα το όχημα σε απότομες καθόδους.

### 3.3 Ταξινόμηση των συστημάτων πέδησης αυτοκινήτων

Το σύνολο των συστημάτων πέδησης ενός οχήματος αναφέρεται ως εξοπλισμός πέδησης. Τα συστήματα πέδησης αυτοκινήτων μπορούν να ταξινομηθούν βάσει του σχεδιασμού και της μεθόδου λειτουργίας.

#### 3.3.1 Ταξινόμηση με βάση το σχεδιασμό

Με βάση τις νομικές απαιτήσεις, οι λειτουργίες του εξοπλισμού πέδησης κατανέμονται μεταξύ τριών συστημάτων πέδησης: τα φρένα λειτουργίας, το σύστημα δευτερεύοντος φρένου και το χειρόφρενο [8]

Στα επαγγελματικά οχήματα, ο εξοπλισμός πέδησης περιλαμβάνει επίσης ένα σύστημα πέδησης συνεχούς λειτουργίας (π.χ. επιβραδυντή) που επιτρέπει στον οδηγό να διατηρεί το όχημα σε σταθερή ταχύτητα σε μακρά κατηφόρα. Ο εξοπλισμός πέδησης ενός επαγγελματικού οχήματος περιλαμβάνει επίσης αυτόματο σύστημα πέδησης το οποίο ενεργοποιεί τα φρένα ενός ρυμουλκούμενου εφόσον αποσπάται από το όχημα έλξης είτε εσκεμμένα είτε τυχαία [8].

- Φρένα λειτουργίας

Το σύστημα φρένων ("φρένο ποδιού") χρησιμοποιείται για να επιβραδύνει το όχημα, να διατηρήσει σταθερή την ταχύτητά του σε κάθοδο ή να το σταματήσει τελείως [8].

Ο οδηγός μπορεί να αλλάξει άπειρα το αποτέλεσμα του φρεναρίσματος μέσω της πίεσης που εφαρμόζεται στο πεντάλ του φρένου. Το σύστημα εφαρμόζει τα φρένα στους τέσσερις τροχούς.

- Σύστημα δευτερεύοντος φρένου

Το σύστημα δευτερεύοντος φρένου πρέπει να είναι ικανό να παρέχει τουλάχιστον κάποιο βαθμό πέδησης σε περίπτωση αποτυχίας ή αστοχίας του συστήματος πέδησης. Πρέπει να είναι δυνατόν να μεταβάλλεται απεριόριστα το επίπεδο πέδησης που εφαρμόζεται [8].

Το σύστημα δευτερεύοντος φρένου δεν χρειάζεται να είναι ένα εντελώς ξεχωριστό τρίτο σύστημα πέδησης (εκτός από τα φρένα λειτουργίας και το φρένο στάθμευσης) με τη δική του ξεχωριστή διάταξη ενεργοποίησης. Μπορεί να αποτελείται από το εναπομένον άθικτο κύκλωμα ενός συστήματος φρένων με διπλό κύκλωμα, στο οποίο έχει αποτύχει ένα κύκλωμα ή μπορεί να είναι ένα φρένο στάθμευσης που είναι ικανό για βαθμιαία εφαρμογή [8].

- Σύστημα φρένου στάθμευσης

Το χειρόφρενο εκτελεί την τρίτη λειτουργία που απαιτείται για τον εξοπλισμό πέδησης. Πρέπει να εμποδίζει το όχημα από το να κινείται όταν είναι σε στάση και αναμονή, ακόμη και σε κλίση και όταν το όχημα δεν είναι επιτηρούμενο.

Σύμφωνα με τις νομικές απαιτήσεις, το σύστημα φρένου στάθμευσης πρέπει επίσης να διαθέτει μη συνεπαγόμενο μηχανικό σύνδεσμο, π.χ. μια ράβδο σύνδεσης ή ένα καλώδιο, μεταξύ της διάταξης ενεργοποίησης και των φρένων που λειτουργεί. Το σύστημα φρένου στάθμευσης λειτουργείται με μοχλό χειρόφρενου που βρίσκεται κοντά στο κάθισμα του οδηγού ή σε μερικές περιπτώσεις με πεντάλ ποδιού. Αυτό σημαίνει ότι τα συστήματα πέδησης και φρένου στάθμευσης ενός μηχανοκίνητου οχήματος έχουν ξεχωριστές διατάξεις ενεργοποίησης και μέσα μετάδοσης δύναμης [8].

Το σύστημα φρένου στάθμευσης είναι ικανό για βαθμιαία εφαρμογή και ενεργοποιεί τα φρένα μόνο σε ένα ζεύγος τροχών (εμπρός ή πίσω).

### 3.3.2 Ταξινόμηση ανάλογα με τις μεθόδους λειτουργίας

Ανάλογα με το αν λειτουργούν εν όλω ή εν μέρει με ανθρώπινη προσπάθεια ή με άλλη πηγή ενέργειας, τα συστήματα πέδησης μπορούν να ταξινομηθούν είτε ως συστήματα πέδησης μυϊκής ενέργειας (χωρίς υποβοήθηση), με συστήματα πέδησης με υποβοήθηση πέδησης ή με συστήματα φρένων ισχύος [8],

- Συστήματα πέδησης με μυϊκή ενέργεια

Σε αυτό το είδος συστήματος πέδησης που συναντάται συχνά στα αυτοκίνητα και στις μοτοσυκλέτες, η δύναμη που ασκείται στο πεντάλ φρένου ή στον μοχλό του φρένου μεταδίδεται στα φρένα είτε με μηχανικό τρόπο (μέσω ράβδου ή καλωδίου) είτε υδραυλικά. Η ενέργεια με την οποία παράγεται η δύναμη πέδησης παράγεται εξ ολοκλήρου από τη φυσική δύναμη του οδηγού [8].

- Συστήματα πέδησης με υποβοήθηση ισχύος

Το σύστημα πέδησης με υποβοήθηση ηλεκτροκίνησης είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος σε αυτοκίνητα και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα. Ενισχύει τη δύναμη που ασκεί ο οδηγός μέσω ενός σερβομηχανισμού πέδησης που χρησιμοποιεί μια άλλη πηγή ενέργειας (υδραυλική). Η ενισχυμένη δύναμη από τον οδηγό μεταδίδεται υδραυλικά στα φρένα [8].

- Συστήματα με φρένο ισχύος

Τα συστήματα φρένων ισχύος χρησιμοποιούνται γενικά σε επαγγελματικά οχήματα, αλλά περιστασιακά τοποθετούνται σε μεγάλα αυτοκίνητα σε συνδυασμό με ενσωματωμένο σύστημα ABS. Αυτός ο τύπος συστήματος πέδησης λειτουργεί εξ ολοκλήρου χωρίς μυϊκή ενέργεια.

Το σύστημα λειτουργεί με υδραυλική ισχύ (η οποία βασίζεται στην πίεση ρευστού) που μεταδίδεται με υδραυλικά μέσα. Το υγρό φρένων αποθηκεύεται σε συσσωρευτές ενέργειας (υδραυλικοί συσσωρευτές) οι οποίοι περιέχουν επίσης συμπιεσμένο αέριο (συνήθως άζωτο). Το αέριο και το υγρό είναι διαχωρισμένα με διαφράγματα (διάφραγμα) ή ένα έμβολο με ελαστική σφράγιση (συσσωρευτής εμβόλου). Μια υδραυλική αντλία δημιουργεί την πίεση ρευστού, η

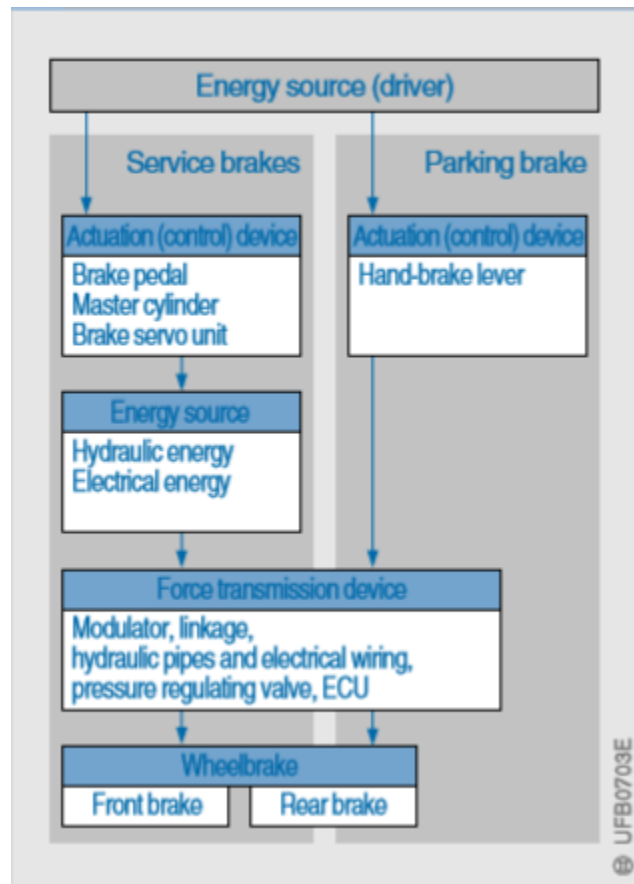


οποία βρίσκεται πάντα σε ισορροπία με την πίεση αερίου στον συσσωρευτή ενέργειας. Ένας ρυθμιστής πίεσης μεταφέρει την υδραυλική αντλία σε αδράνεια μόλις επιτευχθεί η μέγιστη πίεση [8].

Δεδομένου ότι το υγρό φρένων μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά μη συμπιέσιμο, μικρές ποσότητες υγρού φρένων μπορούν να μεταδώσουν μεγάλες πιέσεις του συστήματος πέδησης.

### 3.4 Συστατικά ενός συστήματος πέδησης αυτοκινήτων

Η εικόνα 18 δείχνει τη σχηματική διάταξη ενός συστήματος πέδησης αυτοκινήτου. Αποτελείται από τις ακόλουθες κύριες ομάδες συστατικών: Σύστημα ενεργειακής τροφοδότησης, Συσκευή ενεργοποίησης, Σύστημα μετάδοσης δύναμης και Φρένα τροχών [8].



Εικόνα 18 Δομή συστήματος πέδησης αυτοκινήτου

- Σύστημα παροχής ενέργειας

Το σύστημα παροχής ενέργειας περιλαμβάνει εκείνα τα μέρη του συστήματος πέδησης που παρέχουν, ελέγχουν και (σε ορισμένες περιπτώσεις) ρυθμίζουν την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία των φρένων. Καταλήγει στο σημείο όπου ξεκινά το σύστημα μετάδοσης ισχύος, δηλαδή όπου τα διάφορα κυκλώματα του συστήματος πέδησης είναι απομονωμένα από το σύστημα παροχής ενέργειας ή το ένα από το άλλο. Τα συστήματα πέδησης αυτοκινήτων είναι τα κύρια συστήματα πέδησης με υποβοήθηση τροφοδοσίας, στα οποία η σωματική προσπάθεια του οδηγού, ενισχυμένη από το σερβομηχανισμό πέδησης, παρέχει την ενέργεια για το φρενάρισμα [8].

- Διάταξη ενεργοποίησης

Η διάταξη ενεργοποίησης περιλαμβάνει εκείνα τα μέρη του συστήματος πέδησης που χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση και τον έλεγχο της δράσης του συστήματος πέδησης. Το σήμα ελέγχου μπορεί να μεταδοθεί εντός της συσκευής ενεργοποίησης και η χρήση πρόσθετης πηγής ενέργειας είναι επίσης δυνατή. Η διάταξη ενεργοποίησης ξεκινά από το σημείο στο οποίο εφαρμόζεται άμεσα η δύναμη ενεργοποίησης. Μπορεί να λειτουργεί με τους ακόλουθους τρόπους: με άμεση εφαρμογή δύναμης με το χέρι ή το πόδι από τον οδηγό, ή με έμμεσο έλεγχο της δύναμης από τον οδηγό [8].

Η διάταξη ενεργοποίησης τελειώνει στο σημείο όπου αρχίζει η κατανομή της ενέργειας του συστήματος πέδησης ή όπου ένα τμήμα αυτής της ενέργειας εκτρέπεται για τον έλεγχο της πέδησης. Μεταξύ των βασικών συνιστωσών της διάταξης ενεργοποίησης είναι ο κεντρικός κύλινδρος.

- Σύστημα μετάδοσης δύναμης

Το σύστημα μετάδοσης δύναμης περιλαμβάνει εκείνα τα τμήματα του συστήματος που μεταδίδουν την ενέργεια που παράγεται από το (τα) ενεργό (-α) σύστημα (-τα) τροφοδοσίας και ελέγχονται από τη διάταξη ενεργοποίησης. Ξεκινά από το σημείο όπου η διάταξη ενεργοποίησης και το σύστημα τροφοδοσίας ενέργειας τελειώνουν. Τερματίζει στο σημείο όπου διασυνδέεται με εκείνα τα μέρη του συστήματος πέδησης που παράγουν την ενέργεια πέδησης. Μπορεί να

είναι μηχανικό ή υδρομηχανικό στο σχεδιασμό. Τα εξαρτήματα του συστήματος μετάδοσης δύναμης περιλαμβάνουν το μέσο μετάδοσης κίνησης, σωλήνες, και, σε ορισμένα συστήματα, βαλβίδα ρύθμισης πίεσης για τον περιορισμό της δύναμης πέδησης στους πίσω τροχούς [8].

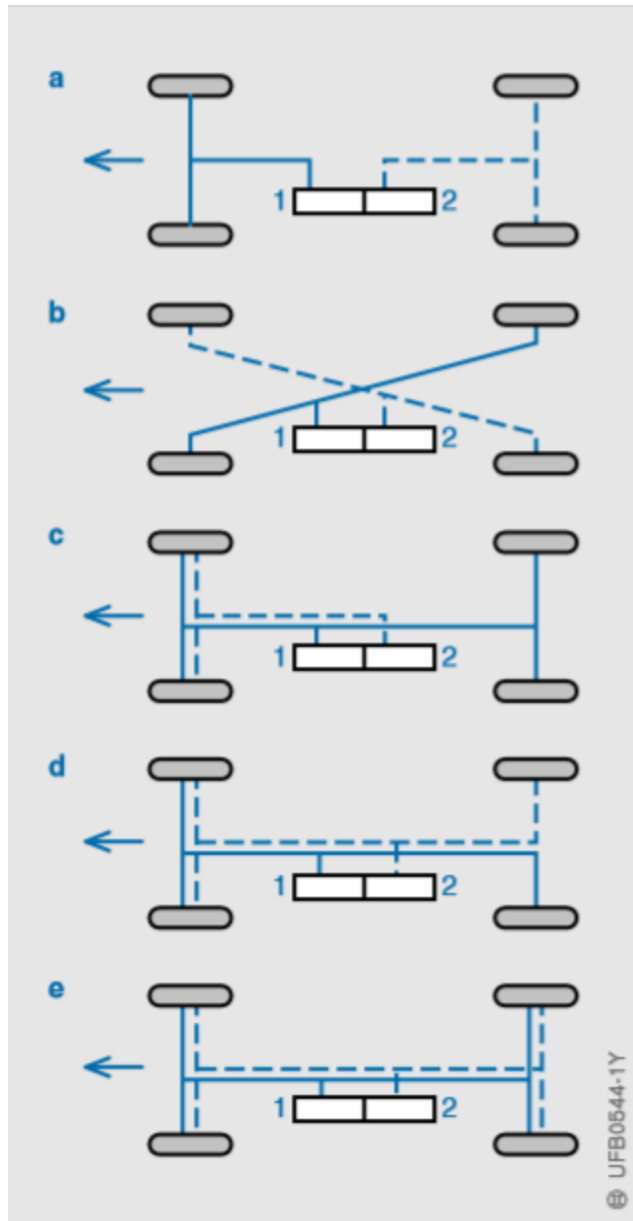
- Φρένα τροχού

Τα φρένα τροχών αποτελούνται από εκείνα τα μέρη του συστήματος πέδησης στα οποία παράγονται οι δυνάμεις που εμποδίζουν ή καθυστερούν την κίνηση του οχήματος. Στα συστήματα πέδησης αυτοκινήτων, είναι φρένα τριβής (φρένα δίσκων ή τύμπανων) [8].

### 3.5 Διαμόρφωση του κυκλώματος του συστήματος πέδησης

Οι νομικές απαιτήσεις απαιτούν από τα συστήματα πέδησης να ενσωματώνουν ένα σύστημα μετάδοσης δύναμης διπλού κυκλώματος.

Σύμφωνα με το DIN 74 000, υπάρχουν πέντε τρόποι με τους οποίους τα δύο κυκλώματα φρένων μπορούν να χωριστούν (εικόνα 19). Χρησιμοποιεί τους ακόλουθους συνδυασμούς γραμμάτων για να ορίσει τις πέντε διαφορετικές διαμορφώσεις: Π, Χ, ΗΙ, ΛΛ και ΗΗ. Αυτά τα γράμματα επιλέγονται επειδή τα σχήματά τους προσεγγίζουν περίπου τη διάταξη των γραμμών φρένων που συνδέουν τον κύλινδρο και τα φρένα. Από τις πέντε αυτές δυνατότητες, οι διαμορφώσεις Π και Χ, οι οποίες περιλαμβάνουν την ελάχιστη ποσότητα σωληνώσεων φρένων, εύκαμπτων σωλήνων, αποσυνδέσιμων αρμών και στατικών ή δυναμικών σφραγισμάτων, έχουν αποδειχθεί οι πλέον ευρέως αποδεκτές. Γενικά θεωρείται ότι παρουσιάζουν επίπεδο κίνδυνου βλάβης καθενός από τα μεμονωμένα κυκλώματα τους λόγω διαρροής ρευστού τόσο χαμηλό όσο για ένα σύστημα πέδησης ενός κυκλώματος. Σε περίπτωση βλάβης του κυκλώματος φρένου λόγω υπερθέρμανσης ενός από τα φρένα, οι διαμορφώσεις ΗΙ, ΛΛ και ΗΗ έχουν κρίσιμη αδυναμία λόγω της σύνδεσης των μεμονωμένων φρένων και στα δύο κυκλώματα, γεγονός που σημαίνει ότι η αποτυχία ενός φρένου μπορεί να οδηγήσει σε ολική βλάβη του συστήματος πέδησης στο σύνολό του [8].



Εικόνα 19 Διαμορφώσεις συστήματος πέδησης: (α) Π διαμόρφωση (β) Χ διαμόρφωση (γ) ΗΙ διαμόρφωση (δ) ΛΛ διαμόρφωση (ε)

ΗΗ διαμόρφωση 1 κύκλωμα 1 2 κύκλωμα 2

Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι νομικές απαιτήσεις σχετικά με την αποτελεσματικότητα πέδησης, τα οχήματα με μπροστινή κατανομή βάρους είναι συνήθως εφοδιασμένα με τη

διαμόρφωση X. Η διαρρύθμιση Π είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για αυτοκίνητα με κατανομή βάρους προς τα πίσω [8].

Π διαμόρφωση Αυτή η διάταξη περιλαμβάνει έναν εμπρόσθιο άξονα / οπίσθιο κύκλωμα - ένα κύκλωμα λειτουργεί τα οπίσθια φρένα, το άλλο λειτουργεί τα μπροστινά φρένα.

X διαμόρφωση Αυτή η διάταξη περιλαμβάνει διαγώνιο διαχωρισμό - κάθε κύκλωμα λειτουργεί με ένα εμπρόσθιο φρένο και το διαγώνιο οπίσθιο φρένο.

Διαμόρφωση ΗΙ Αυτή η διάταξη περιλαμβάνει δύο κυκλώματα διανομής – το βασικό λειτουργεί το φρένο σε όλους τους τροχούς (εμπρός και πίσω) και το δευτερεύον λειτουργεί μόνο τα μπροστινά φρένα.

Διαμόρφωση LL Αυτή η διάταξη περιλαμβάνει δύο κυκλώματα διανομής – το βασικό λειτουργεί το φρένο σε τρεις τροχούς (τους εμπρός και έναν εκ των πίσω) και το δευτερεύον λειτουργεί επίσης τους μπροστά τροχούς και τον έτερο πίσω τροχό.

Διαμόρφωση ΗΗ Αυτή η διάταξη περιλαμβάνει διαχωρισμό τόσο εμπρός όσο και πίσω. Κάθε κύκλωμα λειτουργεί και τους τέσσερις τροχούς.

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> Δισκόφρενα

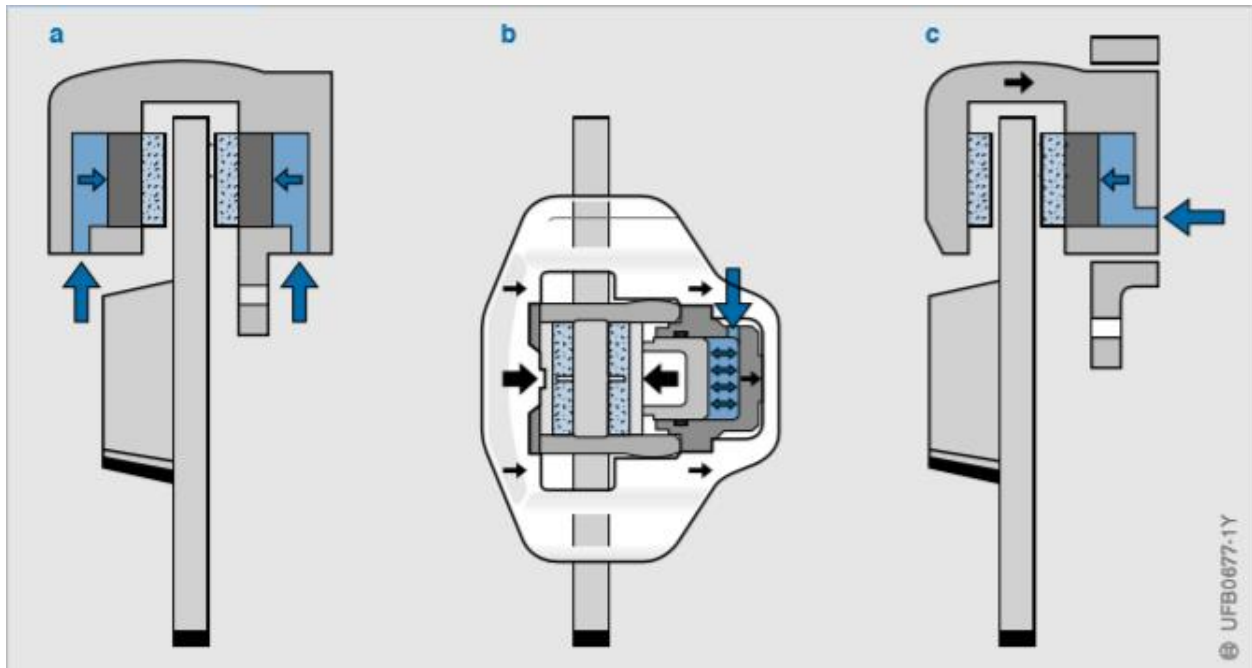
Τα δισκόφρενα παράγουν τις δυνάμεις πέδησης στην επιφάνεια ενός δίσκου φρένου που περιστρέφεται με τον τροχό. Ο δακτύλιος του φρένου σχήματος U είναι προσαρτημένος σε μη περιστρεφόμενα εξαρτήματα ανάρτησης [8].

Υπάρχουν τρεις τύποι δισκόφρενων που μπορούν να διακριθούν. Οι βασικές αρχές τους εξηγούνται εν συντομία παρακάτω και περιγράφονται λεπτομερέστερα στις επόμενες σελίδες.

**Φρένο σταθερής σιαγόνας** Δύο έμβολα σε μια άκαμπτα τοποθετημένη σιαγόνα πιέζουν τα τακάκια φρένων στον δίσκο και από τις δύο πλευρές (Εικ 20a) [8].

**Φρένο πλέουσας σιαγόνας** Η άκαμπτη στεφάνη της σιαγόνας διαθέτει μια "πλωτή" σιαγόνα (Σχήμα 20b). Το μοναδικό έμβολο πιέζει το εσωτερικό τακάκι πέδης στο δίσκο του φρένου ενώ το σώμα του κυλίνδρου πιέζεται ταυτόχρονα προς την αντίθετη κατεύθυνση, κινώντας με αυτό τον τρόπο την πλέουσα σιαγόνα, και πιέζοντας έμμεσα το εξωτερικό τακάκι στον δίσκο [8].

**Φρένο ολισθαίνουσας σιαγόνας** Το φρένο ολισθαίνουσας σιαγόνας είναι μια παραλλαγή του φρένου με πλέουσα σιαγόνα (εικ. 20c). Το μοναδικό έμβολο στο εσωτερικό της ολισθαίνουσας σιαγόνας πιέζει το εσωτερικό τακάκι του φρένου απευθείας στο δίσκο. Η προκύπτουσα δύναμη αντίδρασης μετατοπίζει ταυτόχρονα το σώμα της σιαγόνας προς την αντίθετη κατεύθυνση, οπότε πιέζει έμμεσα το εξωτερικό τακάκι έναντι του δίσκου [8].

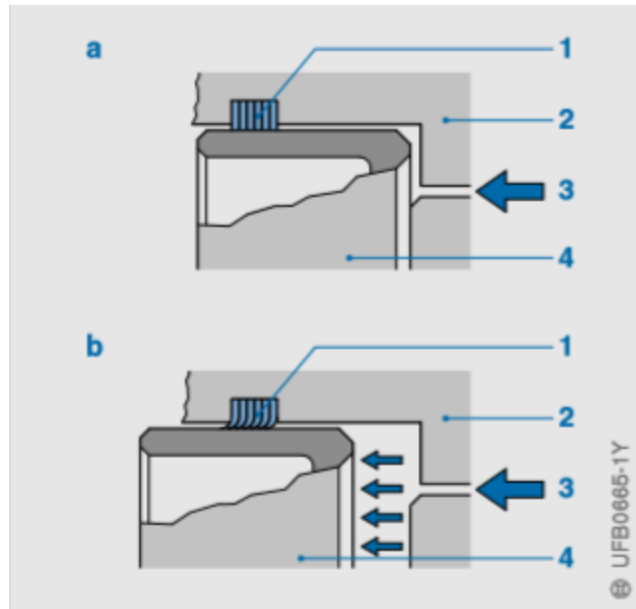


Εικόνα 20 Τυπικοί τύποι δισκόφρενου

#### 4.1 Συστατικά ενός δισκόφρενου

- Τσιμούχα εμβόλου

Ένα ελαστικό σφράγισμα με ορθογώνια διατομή τοποθετείται σε μια αυλάκωση γύρω από την εσωτερική πλευρά του κυλίνδρου και σχηματίζει μια σφράγιση γύρω από το έμβολο, ενώ επίσης ρυθμίζει αυτόματα το διάκενο μεταξύ του τακακιού και του δίσκου (Εικόνα 21). Η εσωτερική διάμετρος του σφραγίσματος είναι ελαφρώς μικρότερη από τη διάμετρο του εμβόλου, έτσι ώστε η τσιμούχα να υποχωρεί και να συγκρατεί το έμβολο. Όταν εφαρμόζονται τα φρένα, το έμβολο κινείται προς το δίσκο του φρένου και έτσι τεντώνει τη σφράγιση, η οποία έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε η στατική τριβή να την εμποδίζει να ολισθαίνει πάνω στο έμβολο μέχρις ότου η απόσταση που διανύει το έμβολο για να κλείσει το χάσμα μεταξύ του εαυτού του και του δίσκου να είναι μεγαλύτερη από το διάκενο σχεδιασμού [8].



Εικόνα 21 Λειτουργία τσιμούχας εμβόλου *a* μια κατάσταση μη φρεναρίσματος *b* Λειτουργία πέδησης, 1 Σφράγισμα εμβόλου 2

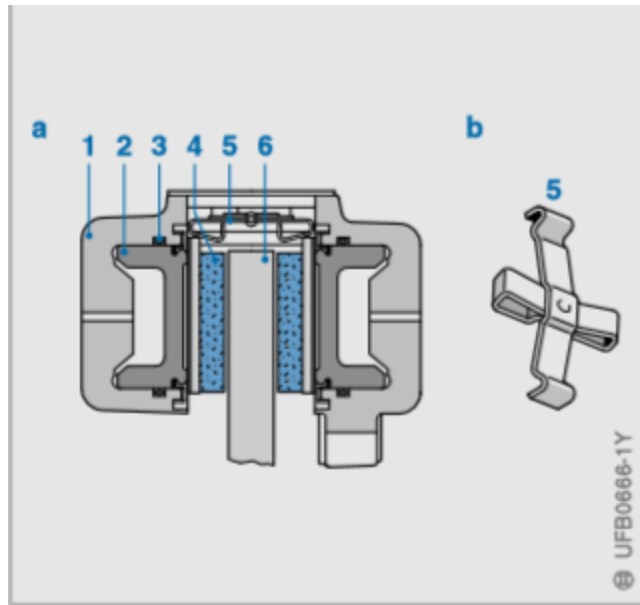
Σώμα σιαγόνας 3 Θύρα εισόδου 4 Έμβολο

Επειδή η τσιμούχα είναι ελαστική, αποθηκεύει ενέργεια που την επιστρέφει στο αρχικό της σχήμα και θέση έτσι ώστε να τραβά το έμβολο πίσω όταν απελευθερώνεται το φρένο, δηλαδή όταν αφαιρείται η υδραυλική πίεση. Αυτό είναι εφικτό μόνο όταν η πίεση στους σωλήνες των φρένων που τροφοδοτούν το φρένο έχει μειωθεί τελείως. Το διάκενο του δίσκου και τακακιού σε ένα φρένο είναι περίπου 0,15 mm και επομένως αποτελεί την μέγιστη επιτρεπόμενη διάταξη. Καθώς το τακάκι φθείρεται και η διαδρομή του εμβόλου αυξάνεται, το σφράγισμα ολισθαίνει επάνω του, επιτρέποντάς του έτσι να προεξέχει περαιτέρω. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται αυτόματη απείρως μεταβλητή ρύθμιση του διαστήματος μεταξύ του δίσκου και του τακακιού. Κατά συνέπεια, το κενό δίσκου και τακακιού διατηρείται σταθερό και ο δίσκος μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα όταν το τακάκι δεν πιέζεται πάνω του [8].

- Ελατήριο εκτόνωσης

Το ελατήριο που χρησιμοποιείται σε φρένα σταθερών σιαγόνων έχει σχήμα σταυρού και χρησιμοποιείται για να πιέζει τα τακάκια των φρένων έναντι των εμβόλων ενώ βοηθά επίσης στην απελευθέρωση των φρένων (Εικόνα 22) [8].



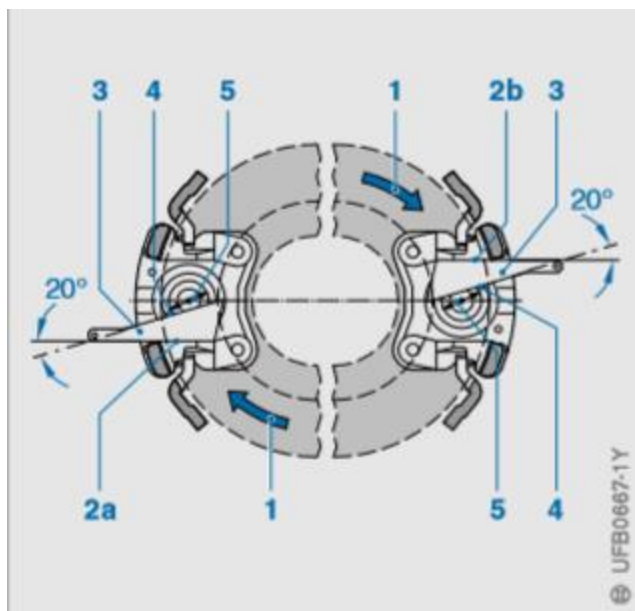


Εικόνα 22 Ελατήριο εκτόνωσης α ελατήριο στη θέση τοποθέτησης (όψη από πάνω) b ελατήριο εκτόνωσης 1 Σώμα σιαγόνας 2

Έμβολο 3 Σφραγίδα εμβόλου 4 τακάκι φρένου 5 Ελατήριο εκτόνωσης 6 Δίσκος φρένου

- Έμβολο φρένου

Εάν τα έμβολα των δισκόφρενων σταθερού διαμετρήματος και πλωτής σιαγόνας έχουν τακάκια (Εικόνα 23, Θέση 4) με βάθος περίπου 3 mm στην πλευρά του οδηγικού άκρου του δίσκου, τα τακάκια αυτά πρέπει να τοποθετηθούν σε γωνία  $20^\circ$  προς την οριζόντια θέση με τη χρήση ενός εμβόλου (3). Η δράση του εμβόλου πέδησης στην σιαγόνα μειώνει την πίεση στο τακάκι έναντι του δίσκου στην πρόσθια άκρη του και ως εκ τούτου συμβάλλει στην παραγωγή πιο ομοιόμορφης φθοράς. Παρόμοιο αποτέλεσμα παράγεται με την εκτροπή του εμβόλου, όπου το έμβολο δεν δρα κεντρικά επί του τακακιού, αλλά μετατοπίζεται μεταξύ 2 και 6 mm προς την οπίσθια ακμή του. Η πιο ομοιόμορφα κατανεμημένη πίεση που παράγει αυτή η διάταξη οδηγεί σε πιο ομοιόμορφη φθορά. Ως πρόσθετο πλεονέκτημα, αυτό το χαρακτηριστικό έχει επίσης επίδραση μείωσης του θορύβου [8].



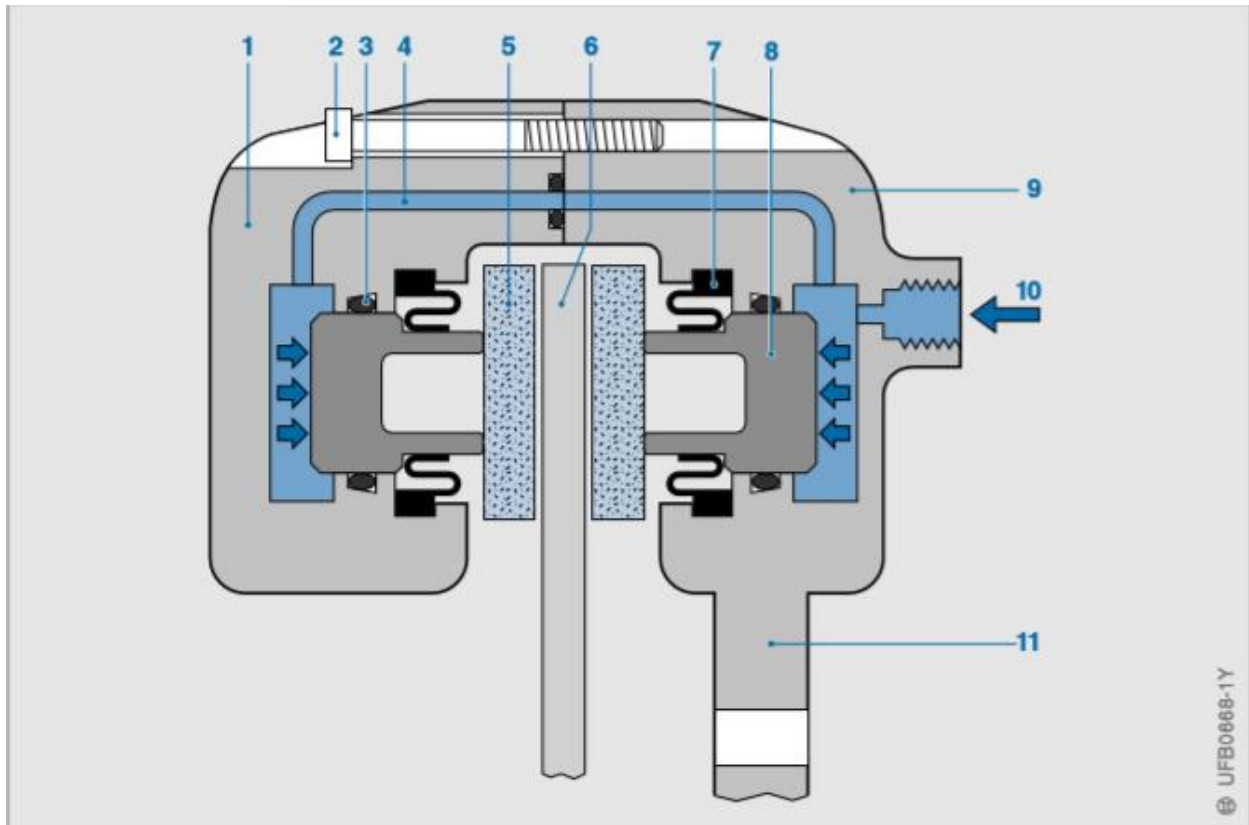
Εικόνα 23 Έμβολο φρένου: 1 Κατεύθυνση περιστροφής δίσκου κατά τη μετακίνηση προς τα εμπρός 2α Άνω επιφάνεια επαφής στο άνοιγμα της σιαγόνας 2b Κάτω επιφάνεια επαφής στο άνοιγμα της σιαγόνας 3 Έμβολο 4 Πέλμα εμβόλου 5 Κύλινδρος εμβόλου

## 4.2 Φρένο σταθερής σιαγόνας

Η υδραυλική πίεση από τον κύριο κύλινδρο μεταδίδεται στο φρένο σταθερής σιαγόνας, στην οποία παράγεται η δύναμη εφαρμογής για τα τακάκια των φρένων. Η σταθερή σιαγόνα συγκρατεί τα τακάκια των φρένων, ενισχύει τις δυνάμεις του φρένου και ρυθμίζει αυτόματα το διάκενο μεταξύ των φρένων και του δίσκου.

Η σιαγόνα αποτελείται από δύο μισά (Εικόνα 24, στοιχεία 1 και 9) που συγκρατούνται μαζί με τον κοχλία (2). Σε κάθε μισό της σιαγόνας μπορεί να είναι τοποθετημένα ένα ή δύο έμβολα (8) που πιέζουν τα τακάκια (5) πέδης έναντι του δίσκου (6). Το υγρό φρένων εισέρχεται στη σιαγόνα και διέρχεται μέσα στους θαλάμους του εμβόλου μέσω της θυρίδας εισόδου (10) και του καναλιού σύνδεσης (4). Κάθε έμβολο σφραγίζεται από τη σιαγόνα με δακτυλιοειδή σφράγιση (3) και προστατεύεται (7) κατά της εισροής ακαθαρσιών, υγρασίας και σκόνης υλικού

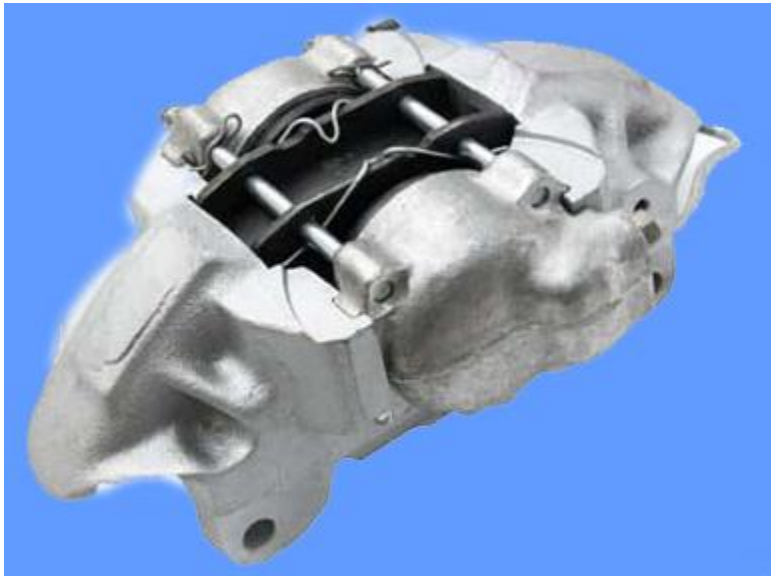
τριβής. Το φρένο σταθερής σιαγόνας είναι προσαρτημένο στο φορέα πλήμνης μέσω της φλάντζας τοποθέτησης (11) [8].



Εικόνα 24 Φρένο σταθερής σιαγόνας: 1 Μισό σιαγόνας 2 Κοχλίας σιαγόνας 3 Τσιμούχα εμβόλου 4 Σωλήνας σύνδεσης υδραυλικού ρευστού 5 τακάκι 6 Δίσκος φρένου 7 Σφράγιση σκόνης 8 έμβολο 9 Μισό σιαγόνας 10 Θύρα εισόδου από κύριο κύλινδρο 11 Φλάντζα συναρμολόγησης

Όταν εφαρμόζονται τα φρένα, η υδραυλική πίεση από τον κύριο κύλινδρο δρα μέσω της θυρίδας εισόδου (10) και στα δύο έμβολα (8), παράγοντας έτσι τη δύναμη ενεργοποίησης με την οποία πιέζονται τα τακάκια (5) στις επιφάνειες τριβής το δίσκο φρένων (6). Το μέγεθος αυτής της ελεγχόμενης δύναμης ενεργοποίησης καθορίζεται από την πίεση του ποδιού του οδηγού που εφαρμόζεται στο πεντάλ του φρένου. Όταν το φρένο απελευθερωθεί, το έμβολο κυλίνδρου επιστρέφει στην αρχική του θέση με τη δύναμη του ελατηρίου συμπίεσης και η πίεση που μεταδίδεται στη σιαγόνα του φρένου μέσω του σωλήνα φρένου απελευθερώνεται. Τα έμβολα (8)

στη συνέχεια τραβιούνται πίσω στις αρχικές θέσεις τους από τις ελαστικές τσιμούχες (3). Έχοντας απελευθερωθεί από τα τακάκια των φρένων, ο δίσκος φρένου (6) απελευθερώνεται [8].



Εικόνα 25 Τυπική σταθερή σιαγόνα

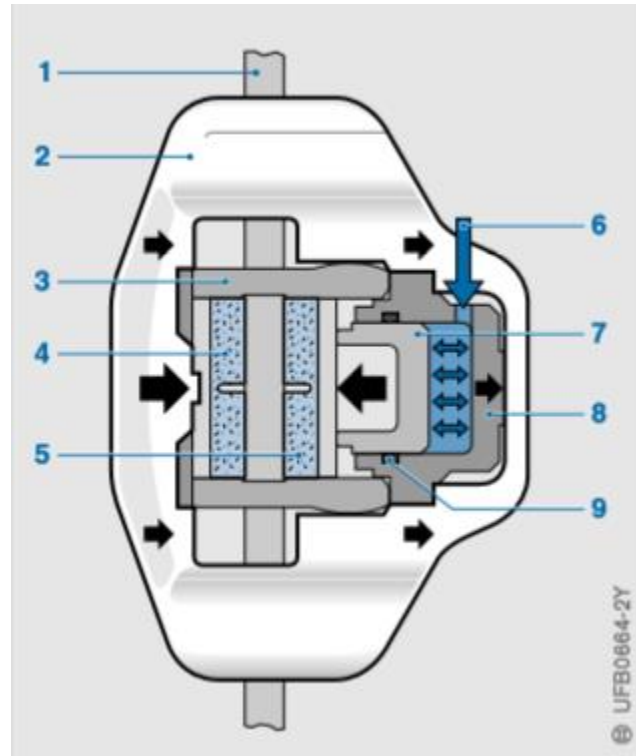
Η ρύθμιση ή η αναπροσαρμογή του φρένου με σταθερή σιαγόνα δεν είναι απαραίτητη λόγω της αυτορρυθμιστικής επίδρασης των ελαστικών σφραγισμάτων εμβόλων. Λόγω της μεγάλης μηχανικής τους αντοχής, τα φρένα σταθερών σιαγόνων χρησιμοποιούνται σε βαρέα και υψηλής ταχύτητας αυτοκίνητα. Το μειονέκτημα τους είναι η ευαισθησία τους στη θερμότητα σε παρατεταμένες περιόδους φρεναρίσματος (π.χ. σε μεγάλες καταβάσεις) [8].

#### 4.3 Λειτουργία πέδησης με πλέουσα σιαγόνα

Το φρένο με πλέουσα σιαγόνα δημιουργεί τη δύναμη ενεργοποίησης των τακακίων από την υδραυλική πίεση που δημιουργείται στον κύριο κύλινδρο, που συγκρατεί τα τακάκια των φρένων, ενισχύει τις δυνάμεις του φρένου και ρυθμίζει αυτόματα το διάκενο των φρένων [8].

Το φρένο με πλέουσα σιαγόνα αποτελείται από δύο κύριες συνιστώσες (Εικόνα 26): το στήριγμα της σιαγόνας (3), το οποίο συγκρατεί το συγκρότημα του κυλίνδρου (8) και του εμβόλου (7) και τα τακάκια φρένων (4, 5), που ολισθαίνουν στους καμπύλους οδηγούς του βραχίονα της σιαγόνας [8].

Ένας οδηγός βοηθά το βραχίονα της σιαγόνας και τη πλέουσα σιαγόνα να ολισθαίνουν ομαλά το ένα πάνω στο άλλο. Το υγρό φρένων εισέρχεται στο θάλαμο μεταξύ του κυλίνδρου και του εμβόλου μέσω της θυρίδας εισόδου (6) [8].



Εικόνα 26 Φρένο πλωτής σιαγόνας: 1 Δίσκος φρένου 2 Πλωτή σιαγόνα 3 Βραχίονας 4 Εξωτερικό τακάκι φρένων 5 Εσωτερικό τακάκι φρένων 6 Θύρα εισόδου (από κύλινδρο) 7 Έμβολο 8 Κύλινδρος 9 Τσιμούχα εμβόλου

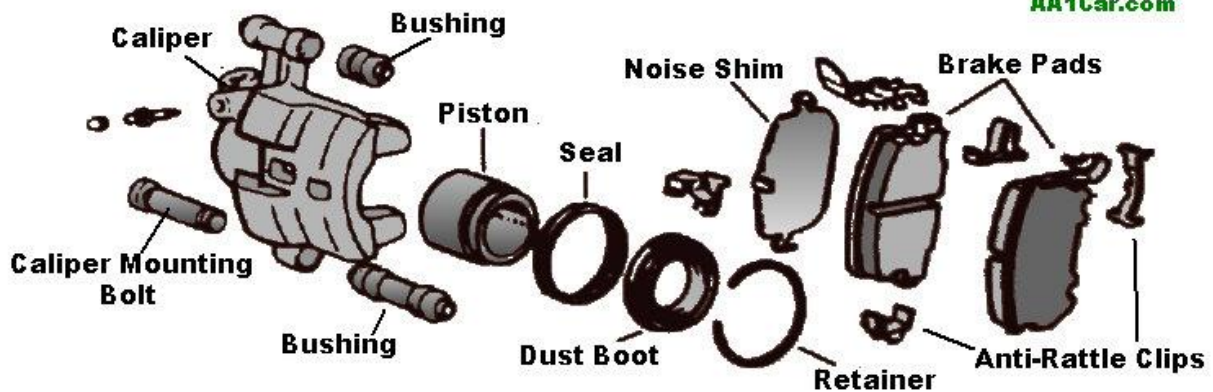
Κατά την εφαρμογή των φρένων, η υδραυλική πίεση από τον κύριο κύλινδρο λειτουργεί μέσω της θυρίδας εισόδου (6) στο έμβολο (7) που κινείται έξω από τον κύλινδρο, κλείνοντας το κενό που έχει από το εσωτερικό τακάκι (5) και πιέζοντας το στο δίσκο του φρένου (1). Η υδραυλική πίεση επενεργεί ταυτόχρονα στο σώμα του κυλίνδρου (8), μετακινώντας τη πλέουσα σιαγόνα (2) προς την αντίθετη κατεύθυνση σε σχέση με την κίνηση που εκτελεί το έμβολο και πιέζοντας έμμεσα το εξωτερικό τακάκι (4) προς το δίσκο μετά το κλείσιμο του διακένου ανοχής στην πλευρά αυτή. Όταν το φρενάρισμα σταματήσει, το υδραυλικό ρευστό απομακρύνεται μέσω της

θύρας εισόδου (6). Η ελαστική τσιμούχα (9) τραβάει το έμβολο (7) πίσω για ένα μήκος ισοδύναμο με το διάκενο ανοίγματος και ο δίσκος είναι ελεύθερος να περιστραφεί ξανά [8].

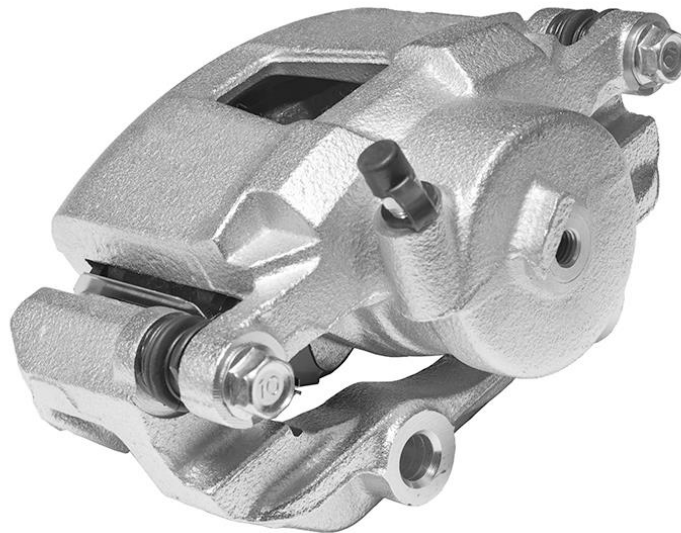
Όπως και το φρένο σταθερής σιαγόνας, αυτό της πλωτής σιαγόνας δεν απαιτεί προσαρμογή ή απλή ρύθμιση. Εξαιτίας αυτού του τύπου, αυτό το φρένο είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για χρήση σε οχήματα όπου ο χώρος είναι περιορισμένος. Επειδή ο αέρας μπορεί να κυκλοφορεί ελεύθερα γύρω από τα υδραυλικά συστατικά, το υδραυλικό ρευστό ψύχεται επαρκώς. Τα φρένα του τύπου μπορούν να ενσωματώνουν και χειρόφρενο.

## Typical Single Piston Floating Caliper Assembly

AA1Car.com



Εικόνα 27 Τυπικά μέρη συστήματος πλέουσας σιαγόνας



Εικόνα 28 Τυπική πλέουσα σιαγόνα

#### 4.4 Φρένο με ολισθαίνουσα σιαγόνα

Το φρένο ολισθαίνουσας σιαγόνας (Εικόνα 29) παράγει τη δύναμη εφαρμογής για τα τακάκια των φρένων με τη χρήση της υδραυλικής πίεσης από τον κύριο κύλινδρο. Η ολισθαίνουσα σιαγόνα συγκρατεί τα τακάκια των φρένων, ευθυγραμμίζει τις δυνάμεις του φρένου και ρυθμίζει αυτόματα το διάκενο των φρένων [8].

Σε σύγκριση με το φρένο με πλέουσα σιαγόνα, το φρένο με ολισθαίνουσα σιαγόνα είναι πιο εύκολο στη συντήρηση. Όπως και το φρένο πλέουσας σιαγόνας, και αυτό διαθέτει επίσης μια κινούμενη σιαγόνα (3, 10) και ένα μόνο έμβολο (9). Παρόμοιος είναι ο τρόπος με τον οποίο η υδραυλική πίεση κινεί το έμβολο προς το εσωτερικό, ενώ ταυτόχρονα πιέζει το σώμα της σιαγόνας (3) προς την αντίθετη κατεύθυνση έτσι ώστε να πιέσει έμμεσα το εξωτερικό τακάκι (4) έναντι του δίσκου (5). Ωστόσο, η σιαγόνα ολισθαίνει σε δύο οδηγούς πείρους (2) αντί σε ένα στήριγμα σιαγόνας [8].

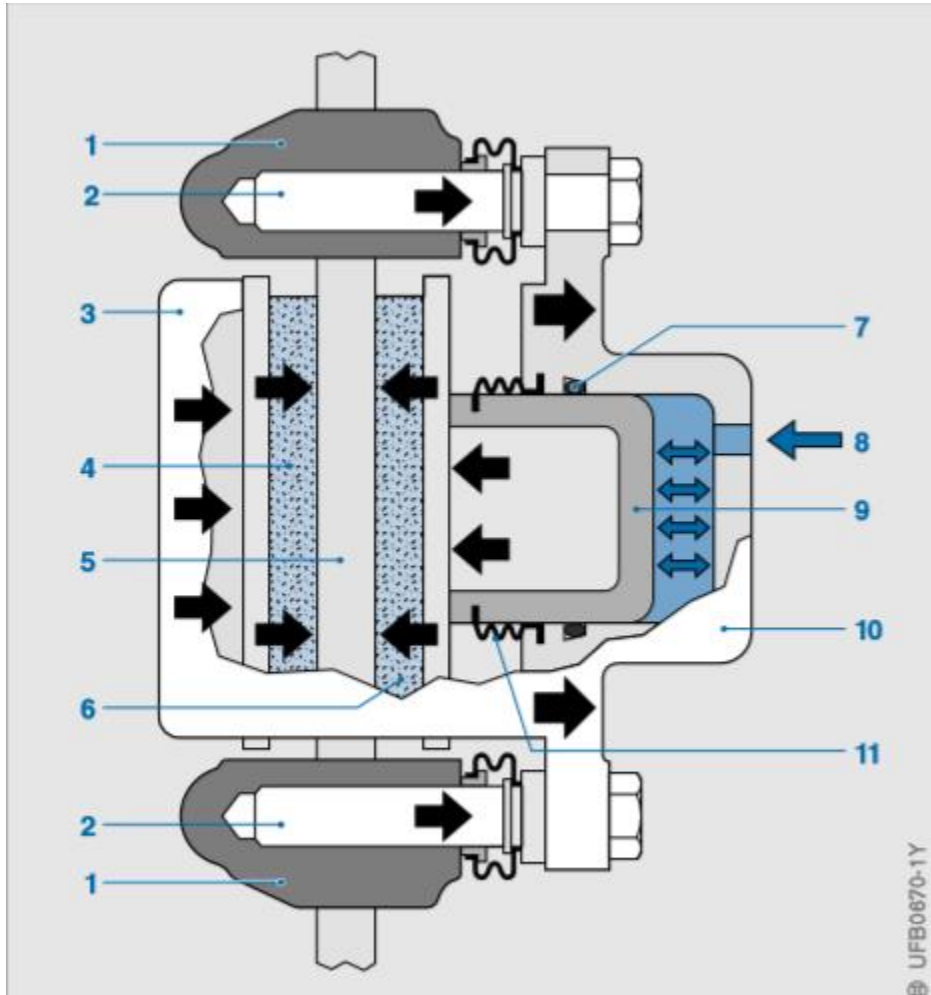
Η ολισθαίνουσα σιαγόνα (3, 10) είναι τοποθετημένη σε δύο οδηγούς πείρους (2) στους οποίους μπορεί να γλιστρήσει μέσα και έξω. Ένας βραχίονας (1) που συνδέεται με τον φορέα πλήμνης συγκρατεί τους δύο οδηγούς πείρους. Το έμβολο (9) επενεργεί κατευθείαν στο εσωτερικό τακάκι (6) και έμμεσα στο εξωτερικό τακάκι (4). Η θύρα εισόδου (8) συνδέει τη σιαγόνα με τον κύριο κύλινδρο του υδραυλικού ρευστού.

Όταν ενεργοποιούνται τα φρένα, η υδραυλική πίεση από τον κύριο κύλινδρο λειτουργεί μέσω της θυρίδας εισόδου (8) στο έμβολο (9) που μετακινείται έξω από τη σιαγόνα και πιέζει απευθείας το εσωτερικό τακάκι (6) και έμμεσα στο εξωτερικό (4). Η εσωτερική θύρα εισόδου συνδέει την σιαγόνα με τον κύριο κύλινδρο [8].

Όταν τα φρένα ενεργοποιούνται, η υδραυλική πίεση από τον κύριο κύλινδρο δρα μέσω της θύρας εισόδου (8) στο έμβολο (9) που κινείται εκτός από την σιαγόνα και πιέζει άμεσα το εσωτερικό τακάκι (6) στο δίσκο (5). Καθώς η πίεση του υγρού φρένων λειτουργεί με την ίδια δύναμη στο έμβολο και στη σιαγόνα (10), η ολισθαίνουσα σιαγόνα ωθείται προς την αντίθετη κατεύθυνση προς το έμβολο. Στη συνέχεια ο δακτύλιος ολισθαίνει πάνω στους οδηγούς πείρους (2) και τραβάει το εξωτερικό τακάκι (4) πάνω στο δίσκο. Και τα δύο τακάκια φρένων πιέζονται



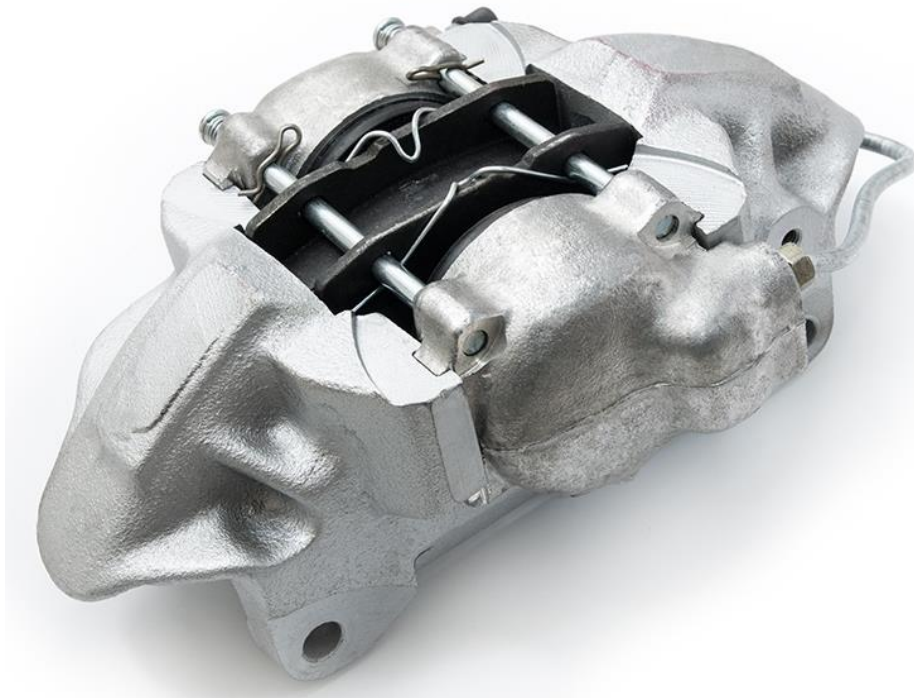
στη συνέχεια πάνω στο δίσκο με την ίδια δύναμη. Όταν το φρένο απελευθερωθεί, η ελαστική τσιμούχα (7) τραβά το έμβολο στην αρχική του θέση [8].



Εικόνα 29 Φρένο ολισθαίνουσας σιαγόνας: 1 Βραχίονας 2 Πείρος οδηγού 3 Στέλεχος σιαγόνας 4 Εξωτερικό τακάκι 5 Δίσκος φρένου 6 Εσωτερικό τακάκι 7 Τσιμούχα εμβόλου 8 Θύρα εισόδου από κύριο κύλινδρο 9 Έμβολο 10 Σώμα σιαγόνας 11

Σφράγιση σκόνης

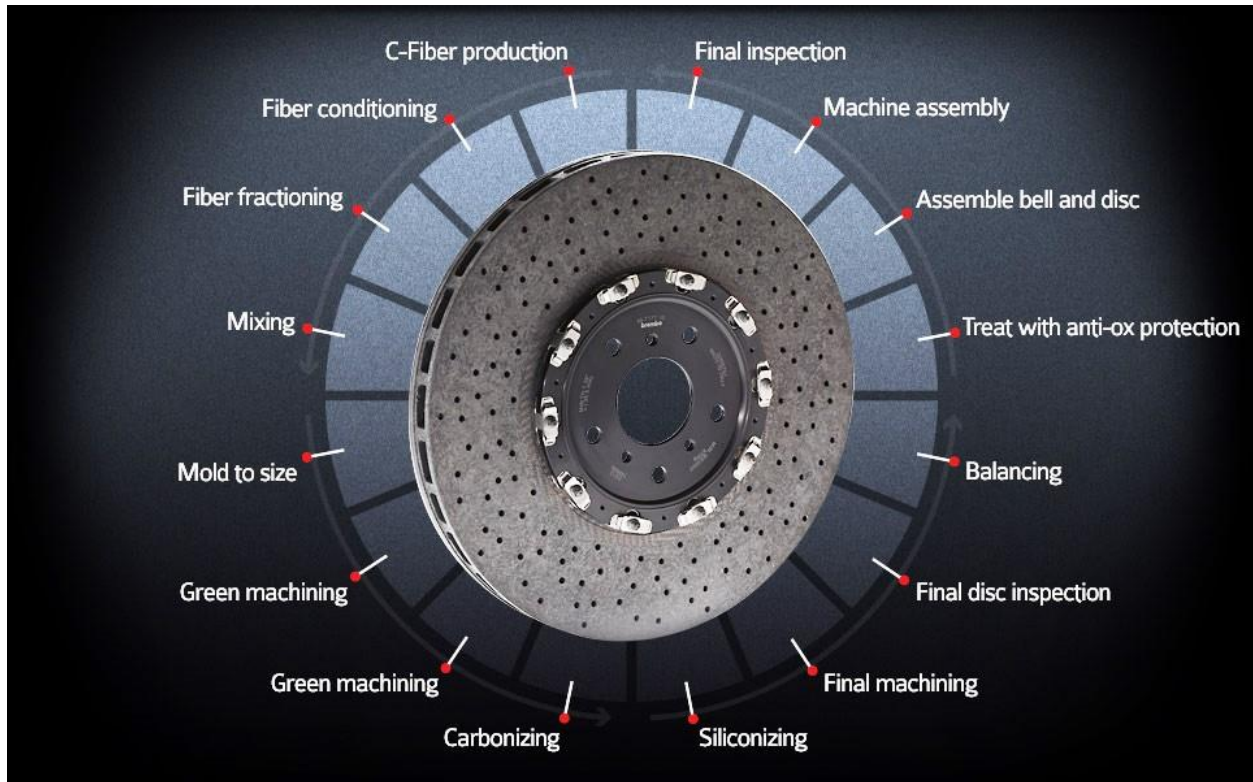




Εικόνα 30 Τυπική ολισθαίνουσα σιαγόνα

#### 4.5 Υλικά Δισκοφρένων

Το υλικό κατασκευής των περισσότερων δίσκων είναι ο χυτοσίδηρος. Αυτός έχει χαμηλό κόστος και ικανοποιητική απόδοση, αλλά μεγάλο βάρος. Αυτό οδήγησε τους κατασκευαστές στην αναζήτηση νέων υλικών κατασκευής. Έτσι για παράδειγμα τα ανθρακονήματα είναι περίπου 4 φορές ελαφρύτερα από το χυτοσίδηρο και έχουν καλύτερο συντελεστή τριβής, ενώ είναι εξαιρετικά ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες. Όμως η χρήση τους δεν ενδείκνυται για καθημερινή χρήση γιατί υπάρχει μεγάλη φθορά του υλικού, ενώ ο επιθυμητός συντελεστής τριβής του υλικού καθίσταται εφικτός σε θερμοκρασίες άνω των 200 βαθμών Κελσίου. Ένα νέο υλικό κατασκευής δίσκων από ανθρακονήματα με υγρό πυρίτιο, οδήγησε στα "κεραμικά" φρένα. Αυτά αντέχουν σε θερμοκρασίες πολύ πάνω από τους 2.000 βαθμούς Κελσίου και είναι ανθεκτικότερα και ελαφρύτερα από όλα τα άλλα είδη, αλλά εξαιρετικά ακριβά σε κόστος [8].



Εικόνα 31 Δίσκος από ανθρακονήματα



Εικόνα 32 Κεραμικοί δίσκοι

Τα τακάκια έχουν συνήθως τραπεζοειδές σχήμα με μία εγκοπή στη μέση, μπορεί όμως να είναι επίσης τετράγωνα, παραλληλόγραμμα ή ελλειψοειδή. Σε μερικά αυτοκίνητα χρησιμοποιούνται τακάκια που έχουν μια μεταλλική επαφή στο εσωτερικό τους. Όταν η φθορά τους ξεπεράσει τα

όρια, η επαφή κλείνει ένα κύκλωμα που ανάβει ένα ενδεικτικό λαμπάκι στον πίνακα των οργάνων του ελέγχου [8].

Μερικοί τύποι σιαγόνας διαθέτουν κυλίνδρους μόνο από τη μία πλευρά ενός δισκόφρενού, αν και οι πιο διαδεδομένοι είναι αυτοί με έμβολα και από τις δύο πλευρές. Στην τελευταία και δημοφιλέστερη περίπτωση, τα τακάκια πιέζονται πάνω στο δίσκο από ένα ή περισσότερα έμβολα, κάθε φορά που αυξάνεται η πίεση στο υδραυλικό κύκλωμα, δηλαδή κάθε φορά που ο οδηγός πιέζει το πεντάλ του φρένου [8].

Ο δίσκος θερμαίνεται ελαφρά με την τριβή αλλά αντί να τείνει να απομακρυνθεί από τα τακάκια όπως τα ταμπούρα από τις σιαγόνες, έρχεται πιο κοντά σε αυτά. Η είσοδος της σκόνης και της υγρασίας στους κυλίνδρους ή τις υποδοχές των εμβόλων της σιαγόνας εμποδίζεται από δαχτυλίδια στεγανοποίησης από καουτσούκ (τσιμούχες). Επειδή από την σιαγόνα καλύπτεται ένα μόνο μέρος του δίσκου, ο τελευταίος ψύχεται πολύ πιο εύκολα από τον αέρα απ' ότι ένα ταμπούρο, και στεγνώνει σχεδόν αμέσως. Ένα κάλυμμα προστατεύει την εσωτερική επιφάνεια του δίσκου που δεν καλύπτεται από την σιαγόνα [8].

Ελατήρια - λεπτά μεταλλικά ελάσματα με κυρτές άκρες, βοηθούν στην συγκράτηση των τακακιών στην θέση τους. Τα τακάκια διακρίνονται μέσα από ένα άνοιγμα της σιαγόνας και αντικαθίστανται εύκολα όταν φθαρούν. Κάθε τακάκι συγκρατείται στην θέση του από δύο πείρους στηρίξεως, που περνάνε μέσα από τις οπές της σιαγόνας, της μεταλλικής πλάτης των τακακιών και των ελατηρίων. Οι πείροι ασφαλίζονται με ασφαλιστικές περόνες (κοπίλιες).

#### 4.6 Αεριζόμενοι δίσκοι

Λόγω της τριβής οι δίσκοι υπερθερμαίνονται και για την αποτελεσματική τους ψύξη χρησιμοποιούνται αεριζόμενα δισκόφρενα τα οποία για την ικανοποιητική αποβολή της θερμότητας αποτελούνται από δύο λεπτές πλάκες αντί μιας μεγάλου πάχους, ενωμένες με μεταλλικά νεύρα (πτερύγια). Τα νεύρα είναι έτσι διατεταγμένα ώστε να επιτρέπουν την ροή του αέρα στο εσωτερικό του δίσκου για να ψύχονται γρήγορα οι πλάκες. Επίσης υπάρχουν και οι διάτρητοι δίσκοι. Οι χαράξεις σε αγωνιστικού τύπου δισκόπλακες χρησιμεύουν στην αποβολή του υλικού τριβής από τα τακάκια, ώστε αυτά να μην στομώνουν [8].



Εικόνα 33 Αεριζόμενοι δίσκοι

Τα σύγχρονα αυτοκίνητα εξοπλίζονται με αεριζόμενους δίσκους εμπρός, ενώ πίσω τοποθετούνται απλοί δίσκοι ή ταμπούρα. Σε σπορ μοντέλα μπορεί να συναντήσει κανείς αεριζόμενους δίσκους και στον πίσω άξονα. Στα αυτοκίνητα παραγωγής τα δισκόφρενα διαθέτουν διπίστονες δαγκάνες, ενώ πολλές γρήγορες εκδόσεις τετραπίστονες για τους εμπρός τροχούς [8].

Τα μονοθέσια στη Φόρμουλα Ένα έχουν εξαπίστονες δαγκάνες, οι οποίες συνδυάζονται με τις εξωτερικού κόστους δισκόπλακες από ανθρακονήματα. Τα εργοστασιακά αγωνιστικά στο WRC συνήθως διαθέτουν οκταπίστονες δαγκάνες εμπρός και τετραπίστονες πίσω. Ωστόσο, σε μερικές «ειδικές» εκδόσεις, με ιδιαίτερα αυξημένη ισχύ, όπως η AMG έκδοση της Mercedes-Benz SL, τοποθετούνται δεκαπίστονες δαγκάνες, ενώ υπάρχουν και αυτοκίνητα με δωδεκαπίστονες.

#### 4.7 Πρότυπα δισκοφρένων

Τα πρότυπα των δισκοφρένων αυτή τη στιγμή σε ισχύ είναι τα ακόλουθα [8]:

- ECE R90 ή Regulation 90 (EE)

Η ευρωπαϊκή νομοθεσία άρχισε να ισχύει τον Σεπτέμβριο του 1999 με τίτλο ECE R90 και με την τελευταία ανανέωση της το 2016, ορίζει ότι όλα τα τακάκια φρένων που πωλούνται για

χρήση σε οχήματα που κατασκευάζονται μετά την ημερομηνία αυτή πρέπει να ελέγχονται και να συμμορφώνονται με τα πρότυπα R90.

Αυτή η δοκιμή, η οποία περιλαμβάνει τη χρήση ενός οχήματος από το κάθε τύπο οχήματος που χρησιμοποιείται στους δημόσιους δρόμους της Ευρώπης και τη σύγκριση των επιδόσεων των εμπρός και πίσω φρένων τόσο με τα εργοστασιακά τακάκια όσο και με τα διαθέσιμα ανταλλακτικά, έκλεισε την πόρτα σε φτηνά και άσχημα εισαγόμενα τακάκια φρένων σε όλη την Ευρώπη.

Η δοκιμή περιλαμβάνει ανάλυση τριβής των τακακιών τόσο με ψυχρή όσο και με θερμή τριβή και αν έχει εγκριθεί ένα εξάρτημα βάσει το R90, μπορεί να θεωρηθεί ότι το προϊόν είναι ίσο ή καλύτερο από το αρχικό προϊόν με το οποίο εξοπλίστηκε εργοστασιακά το όχημα. Στη συνέχεια, τα τακάκια φρένων φέρουν τον κωδικό R90 και έναν κωδικό χώρας σε έναν κύκλο, όπως το E1 για τη Γερμανία ή το E11 για το Ηνωμένο Βασίλειο, το οποίο υποδηλώνει την έγκριση εγκεκριμένων φρένων EBC ECE R90.

- ISO 43.040.40 Braking systems

Περιλαμβάνει μια σειρά από επί μέρους πρότυπα που αφορούν στην λειτουργία, δοκιμές και πιστοποίηση συστημάτων πέδησης οχημάτων.

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> Δοκιμές φρένων

Η απόδοση των φρένων από την αυτοκινητοβιομηχανία είναι πολύ σημαντική από την άποψη της ασφάλειας των οχημάτων και των πεζών. Τα φρένα των οχημάτων πρέπει να είναι αποτελεσματικά σε διάφορες οδικές επιφάνειες. Δεδομένου ότι τα φρένα λειτουργούν με βάση την αρχή της τριβής, πρέπει επίσης να αντιμετωπιστεί η επίδραση της θερμότητας που αναπτύσσεται από την πέδηση στην απόδοσή της. Περαιτέρω, η υγρή επιφάνεια οδοστρώματος ή η παρουσία νερού (βροχή, υγρασία) επηρεάζουν δυσμενώς την απόδοση του φρένου.

Έχουν καταρτιστεί αυστηρά πρότυπα που περιλαμβάνουν διάφορους τύπους δοκιμών σε όλο τον κόσμο για να εξασφαλιστεί η ασφαλής εφαρμογή των φρένων αυτοκινήτων. Το όχημα υποτίθεται ότι πληροί τις απαιτήσεις αυτών των προτύπων για να είναι επιλέξιμο για τεχνικό έλεγχο.

Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει τη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται γενικά και το θεωρητικό υπόβαθρο της δοκιμής πέδησης. Η επισκόπηση των διαφόρων τύπων δοκιμών πέδησης μαζί με τα απαιτούμενα όργανα παρουσιάζεται με τρόπο ώστε να είναι σε θέση ο αναγνώστης να εκτιμήσει την αυστηρότητα που απαιτείται από τις δοκιμές πέδησης.

### 5.1 Παράμετροι δοκιμής απόδοσης πέδησης

Ακολουθούν οι κύριες παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό της απόδοσης πέδησης.

- Χρόνος πέδησης: Ο χρόνος που παρήλθε μεταξύ της στιγμής που ασκείται η δύναμη πέδησης στο πεντάλ και το όχημα σταματά (θεωρώντας την πλήρη στάση).
- Απόσταση πέδησης: Η απόσταση που καλύπτεται από το όχημα από τη στιγμή που ο οδηγός αρχίζει να ενεργοποιεί το (τα) χειριστήριο (α) των φρένων μέχρι τη στιγμή που το όχημα σταματά .

Οι μαθηματικές εκφράσεις για αυτές τις παραμέτρους είναι όπως παρουσιάζονται στις εξισώσεις. (1) και (2):

Χρόνος ακινητοποίησης

$$\text{Stopping time} = V_o/D_x \quad (1)$$

Απόσταση ακινητοποίησης

$$\text{Stopping distance} = V_o^2/2D_x \quad (2)$$

όπου  $V_o$  είναι η αρχική ταχύτητα και η  $D_x$  είναι η επιβράδυνση λόγω της εφαρμογής του φρένου. Έχει υποτεθεί ότι η τελική ταχύτητα του οχήματος είναι μηδέν (πλήρης στάση) και ότι οι άλλες δυνάμεις στο όχημα παραμένουν σταθερές κατά την εφαρμογή των φρένων.

Οι παράμετροι επιρροής στην απόδοση πέδησης είναι η αρχική ταχύτητα και η επιβράδυνση του οχήματος.

## 5.2 Είδη δοκιμών – Σύγκριση βασικών παραμέτρων

Διάφορα πρότυπα χρησιμοποιούνται παγκοσμίως για την αξιολόγηση της απόδοσης των φρένων των οχημάτων. Κάποια από αυτά είναι τα FMVSS στις Η.Π.Α., τα πρότυπα της ΕΕ, το ινδικό πρότυπο IS, το J 12-61 (Ιαπωνικό πρότυπο ασφάλειας) και ο αυστραλιανός κανόνας σχεδίασης 33/00. Αυτά περιλαμβάνουν διάφορα τμήματα που περιγράφουν λεπτομερώς τις απαιτήσεις και τις διαδικασίες για τους διάφορους τύπους οχημάτων, αν και η προσέγγιση και η μεθοδολογία παραμένουν κοινά. Η μελέτη αυτή επικεντρώνεται στα IS 14664: 1999, FMVSS 122 και ECE R78 [2-7].

Οι μέθοδοι δοκιμής ECE R78 επιτρέπουν την μέτρηση της απόδοσης πέδησης μέσω της χρήσης είτε της επιβράδυνσης είτε της απόστασης ακινητοποίησης, ενώ το FMVSS 122 αξιολογεί την



απόδοση μόνο με βάση την απόσταση στάσης. Το IS προδιαγράφει είτε την επιβράδυνση είτε την απόσταση στάσης, όπως συμβαίνει και με το ECE [2-7].

Το FMVSS 122 απαιτεί επί του παρόντος να διεξάγονται οι οδικές δοκιμές σε οδόστρωμα συνολικού μήκους 8 ποδών με αριθμό ολίσθησης 81. Το ECE R78 δεν καθορίζει τον συντελεστή τριβής για την επιφάνεια δοκιμής αλλά περιγράφει ότι η επιφάνεια δοκιμής πρέπει να είναι επίπεδη, στεγνή και να προσφέρει καλή πρόσφυση. Το πλάτος της δοκιμαστικής λωρίδας καθορίζεται επίσης ως 2,5 m (8 πόδια) [2-7].

Σύμφωνα με το IS, η δοκιμή απαιτεί δοκιμαστική τροχιά επί ξηρού επιπέδου με συντελεστή πρόσφυσης όχι  $<0,8$  που ισοδυναμεί με αριθμό ολίσθησης 81.

Δεν υπάρχει συγκεκριμένη σειρά δοκιμών στο ECE R78. Το FMVSS 122 απαιτεί όλες οι δοκιμές να διεξάγονται σε συγκεκριμένη ακολουθία, καταλήγοντας στη δοκιμή βρεγμένων φρένων. Το IS επίσης δεν προσδιορίζει μια σειρά δοκιμών, ωστόσο, για δοκιμές εξασθένησης λόγω θερμότητας και εξασθένησης λόγω νερού, ο έλεγχος γραμμής βάσης αναφέρεται στο επίπεδο απόδοσης κατά τη διάρκεια της δοκιμής δυναμικής απόδοσης [2-7].

Ο Πίνακας 1 συνοψίζει τις δυνάμεις ενεργοποίησης των φρένων για αυτά τα πρότυπα.

Πίνακας 1 Δυνάμεις ενεργοποίησης ανά πρότυπο

<b>Regulation</b>	<b>Foot control <math>F_P</math> (N)</b>	<b>Hand control <math>F_L</math> (N)</b>
FMVSS 122	$25 < F_P < 400$	$10 < F_L < 245$
ECE R78	$F_P < 350$	$F_L < 200$
IS 14664:1999	$F_P < 330$	$F_L < 260$

Το FMVSS 122 περιλαμβάνει μια προδιαγραφή για θερμοστοιχεία τύπου βύσματος, συμπεριλαμβανομένων λεπτομερών σχημάτων που αφορούν την τοποθέτησή τους σε φρένα τύπου δίσκου ή τυμπάνου. Παρόλο που το ECE R78 απαιτεί μέτρηση της θερμοκρασίας των φρένων, δεν αναφέρεται σε συγκεκριμένο εξοπλισμό μέτρησης ή σε μεθόδους εγκατάστασης. Το



IS δεν εξετάζει τη μέτρηση της θερμοκρασίας ως παραμέτρου κατά τη δοκιμή εξασθένησης των φρένων λόγω θερμότητας.

Το ECE R78 ορίζει ότι το IBT (αρχική θερμοκρασία φρένων) πρέπει να είναι  $\leq 100$  ° C (212 ° F), ενώ το FMVSS 122 καθορίζει ένα IBT μεταξύ 55 και 65 ° C (130 ° F και 150 ° F).

Σε σχέση με την προετοιμασία για την δοκιμή, το FMVSS 122 αναφέρει μια διαδικασία λείανσης, ενώ η ECE R78 δεν περιλαμβάνει καμία διαδικασία λείανσης για δοκιμές φρένων. Το IS επίσης δεν απαιτεί πλύση των φρένων κατά τη διάρκεια των δοκιμών τους [2-7].

Οι κανονισμοί ECE R78 απαιτούν την αξιολόγηση της απόδοσης πέδησης ξεχωριστά για κάθε έλεγχο φρένων, με το όχημα σε κατάσταση μεταφοράς πρότυπου φορτίου και σε ταχύτητες δοκιμών 40 ή 60 km / h ανάλογα με την κατηγορία του οχήματος. Οι βασικές απαιτήσεις επιδόσεων FMVSS είναι αρκετά διαφορετικές, με την δοκιμή δοκιμές να λαμβάνουν χώρα με το όχημα να φέρει ένα ελαφρύτερο πρότυπο φορτίο και όλα τα χειριστήρια φρένων να εφαρμόζονται ταυτόχρονα. Το FMVSS απαιτεί επίσης δοκιμές πέδησης με ταχύτητα οχήματος σε 30 mph (48,3 km / h), 60 mph (96,6 km / h) και 80 mph (128,8 km / h). Το IS καθορίζει τη δοκιμή σε συνθήκες φορτίου και χωρίς φορτίο. με χωριστές και ταυτόχρονες εφαρμογές πέδησης και σε ταχύτητα 30 και 40 km/h ή 60% της μέγιστης ταχύτητας, όποιο από τα δύο είναι χαμηλότερο.

Η δοκιμή ECE R78 εκτελείται από ταχύτητα 160 km / h ή 0,8 της μέγιστης ταχύτητας του οχήματος ( $V_{max}$ ), όποια είναι μικρότερη. Η δοκιμή αποτελεσματικότητας σε υψηλή ταχύτητα του FMVSS 122 διεξάγεται από μια ταχύτητα δοκιμής που βασίζεται στην μέγιστη ταχύτητα του οχήματος, που όμως δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 193,2 km / h (120 mph). Όταν γίνεται δοκιμή με μέγιστη ταχύτητα 120 μίλια / ώρα, η απαιτούμενη απόσταση στάσης αντιστοιχεί σε μέση επιβράδυνση 5,5 m / s<sup>2</sup>. Το IS συνιστά τη δυναμική δοκιμή σε 30 km/h ή 40 km/h ή το 60% της μέγιστης ταχύτητας, όποιο είναι χαμηλότερο [2-7].

Προκειμένου να προσομοιωθούν οι συνθήκες βαριάς βροχής, η δοκιμή ECE R78 απαιτεί δοκιμή επιδόσεων πέδησης με βρεγμένο φρένο. Αυτό επιτυγχάνεται με ψεκασμό νερού απευθείας στα φρένα κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Η αξιολόγηση των επιδόσεων υπό βαριά βροχή του ECE R78 ξεκινά με μια δοκιμή βασικής γραμμής όπου το σύστημα των φρένων απαιτείται να επιβραδύνει το όχημα φορτωμένο με ένα αντίστοιχο πρότυπο φορτίο και κινούμενο με

καθορισμένη ταχύτητα, χρησιμοποιώντας τις συνθήκες της δοκιμής σταματήματος σε ξηρή ατμόσφαιρα. Για λόγους σύγκρισης, επαναλαμβάνεται η ίδια δοκιμή, αλλά με σταθερό ψεκασμό νερού στα φρένα.

Η δοκιμή FMVSS βασίζεται στην ανάκτηση των επιδόσεων πέδησης καθώς το όχημα διασχίζει μια περιοχή στάσιμου νερού. Ως εκ τούτου, η διαδικασία διαβροχής συνίσταται στη βύθιση των εμπρός και πίσω φρένων στο νερό, ξεχωριστά, για 2 λεπτά το καθένα [2-7]. Η απόδοση αξιολογείται με την πραγματοποίηση πέντε δοκιμών πέδησης, και τα δεδομένα προκύπτουν από την τελευταία (πέμπτη) δοκιμή.

Σύμφωνα με τις διατάξεις του IS., αντίστοιχος εξοπλισμός διαβροχής χρησιμοποιείται στα φρένα, και η δοκιμή που ακολουθεί αποτελείται από 15 φρεναρίσματα. Το πρότυπο αναφέρει ότι η επιβράδυνση που επιτυγχάνεται κατά την πρώτη εφαρμογή του φρένου δεν πρέπει να είναι <60% της τιμής που προέκυψε από αντίστοιχη μέτρηση σε ξηρή ατμόσφαιρα (χωρίς διαβροχή). Στο τέλος της δέκατης πέμπτης στάσης, το σύστημα πέδησης θα πρέπει να επιτυγχάνει τουλάχιστον το 90% της τιμής του βασικού ελέγχου [2-7].

## Κεφάλαιο 6° Σχεδιασμός δισκοφρένων

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η αναφερόμενη στην συναφή βιβλιογραφία θεωρία που αφορά στον σχεδιασμό των δισκοφρένων. Τα εξεταζόμενα μεγέθη που παρουσιάζονται είναι η κατανομή της πίεσης από το τακάκι στον δίσκο, ο υπολογισμός του συντελεστή πέδησης και η αυτενέργεια στα δισκόφρενα.

### 6.1 Κατανομή πίεσης

Για τα δισκόφρενα, η παραγωγή της ροπής πέδησης εξαρτάται από την κατανομή πίεσης μεταξύ του τακακιού και του δίσκου (ρότορα) όπως φαίνεται στο στην εικόνα 34. Η μέση πίεση  $P_{mean}$  μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση [9,10]

$$P_{mean} = \frac{\int_{R_i}^{R_o} p(r) r dr}{\int_{R_i}^{R_o} r dr} , \text{ psi} \quad (3)$$

όπου

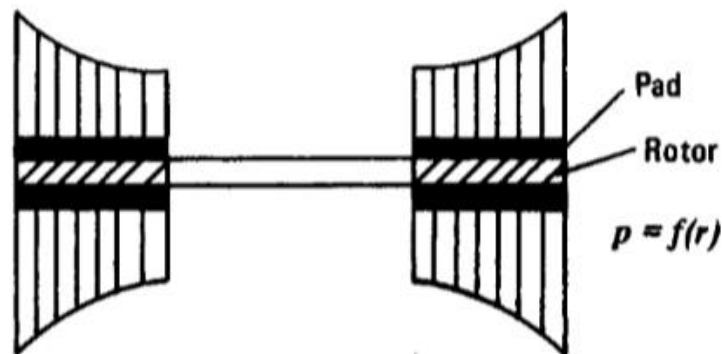
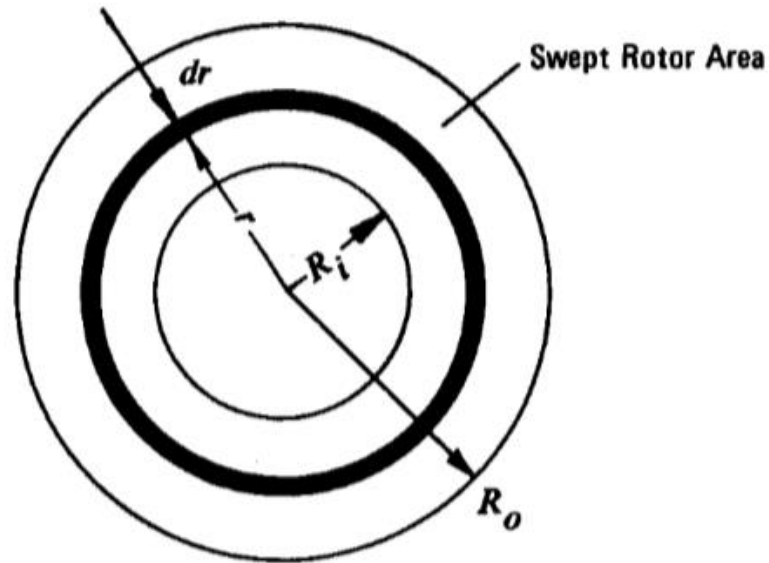
$dr$  στοιχειώδες μέρος ακτίνας

$p(r)$  κατανομή πίεσης ως συνάρτηση της ακτίνας

$R_i$  Εσωτερική ακτίνα της επιφάνειας του δίσκου που σαρώνεται από την επιφάνεια του τακακιού

$R_o$  Εξωτερική ακτίνα της επιφάνειας του δίσκου που σαρώνεται από την επιφάνεια του τακακιού

$r$  ακτίνα δίσκου



Εικόνα 34 Κατανομή πίεσης σε δισκόφρενο

Η κατανομή της πίεσης καθορίζεται από τα ελαστικά χαρακτηριστικά και τα χαρακτηριστικά φθοράς του τακακιού και του δίσκου. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ωστόσο, θεωρείται ότι είτε η πίεση ( $p = \text{σταθερή}$ ) είτε το προϊόν της πίεσης, ταχύτητας και ολίσθησης είναι σχετικά σταθερά στην περιοχή επαφής ( $p \cdot v = \text{σταθερό}$ ). Η εξέταση των παραπάνω μέσω αριθμητικών μεθόδων κατέληξε στο συμπέρασμα ότι σε τυπικά δισκόφρενα ισχύει εν γένει η συνθήκη  $P = \text{σταθερή}$ , η οποία εφαρμόζεται σε όλα τα δισκόφρενα πλέον. Η σταθερή τιμή της πίεσης στην

περιοχή επαφής, έχει ως αποτέλεσμα μια μέση πραγματική ακτίνα και επομένως ροπή πέδησης που είναι περίπου 2 έως 3% μεγαλύτερη από αυτή που λαμβάνονταν από την δεύτερη συνθήκη. Για τις περισσότερες πρακτικές περιπτώσεις η πίεση μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι αντιστρόφως ανάλογη της ακτίνας. Η μέση πραγματική ακτίνα μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ίση με τη μέση τιμή μεταξύ εξωτερικής και εσωτερικής ακτίνας της περιοχής του δίσκου που σαρώνεται από το τακάκι [9,10].

## 6.2 Αυτενέργεια σε δισκόφρενα

Ο βασικός σφηνοειδής σχεδιασμός ενός δισκόφρενου με αυτόματη ενεργοποίηση απεικονίζεται στην εικ. 36. Το φαινόμενο αυτόματης ενεργοποίησης επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός σφηνοειδούς τακακιού φρένου. Η δύναμη τριβής μεταξύ του τακακιού και του δίσκου τείνει να ωθεί το τακάκι στο έμβολο σχήματος σφήνας. Αυτή η μικρή μετατόπιση του τακακιού προκαλεί μία αυξημένη δύναμη μεταξύ του δίσκου και του εμβόλου και κατά συνέπεια μεταξύ της επιφάνειας τριβής και του τακακιού. Αυτή η αυξημένη κάθετη δύναμη οδηγεί σε μεγαλύτερη δύναμη ολίσθησης του άξονα και συνεπώς αυξημένη δύναμη πέδησης. Τα δισκόφρενα που χρησιμοποιούνται συνήθως στα αυτοκίνητα και στα φορτηγά δεν χρησιμοποιούν μηχανισμούς αυτενέργειας.

Τα πλήρως καλυμμένα δισκόφρενα έχουν σχεδιαστεί για να διευκολύνουν την ενεργοποίηση του φρένου. Ο μηχανισμός αυτόματης ενεργοποίησης συνίσταται στις περισσότερες περιπτώσεις σε σχέδιο τύπου μπάλας και ράμπας όπως απεικονίζεται στην εικόνα 37 [9,10].

Η δύναμη ενεργοποίησης είναι η δύναμη που ασκείται άμεσα πάνω στο δίσκο. Αυτή η δύναμη αυξάνεται από τη δύναμη τριβής η οποία προκαλεί μια επιπλέον σχετική περιστροφή και ως εκ τούτου πιέζει εκτός των κυλίνδρων τα τακάκια των φρένων και αυξάνει την κάθετη δύναμη μέσω του μηχανισμού σφαίρας και ράμπας, εισάγοντας έτσι την αυτοενεργοποίηση. Με τη χρήση της συμβολής της εικόνας 37, η δύναμη τριβής ενός δισκόφρενου δίνεται από τη σχέση [9,10]

$$F_d = \mu_L \left[ F_a + F_d \left( \frac{r_m}{r_k} \right) \right] \cot \delta , \text{ lb}$$

$$\frac{F_d}{F_a} = \frac{\mu_L \left( \frac{r_k}{r_m} \right)}{(\tan \delta) \left( \frac{r_k}{r_m} \right) - \mu_L} , \text{ d'less}$$

(4)

όπου

$r_k$  = διάσταση δισκοφρένου

$r_m$  = διάσταση δισκοφρένου

$\delta$  = γωνία κλίσης δισκοφρένου.

$\mu_L$  = συντελεστής τριβής στο τακάκι

Δεδομένου ότι υπάρχουν δύο επιφάνειες τριβής, ο συνολικός συντελεστής πέδησης γίνεται

$$BF = 2 \left( \frac{r_k}{r_m} \right) \frac{\frac{\mu_L}{\mu_{L\infty}}}{1 - \frac{\mu_L}{\mu_{L\infty}}} ,$$

(5)

όπου το όριο αυτό-κλειδώματος δίνεται από

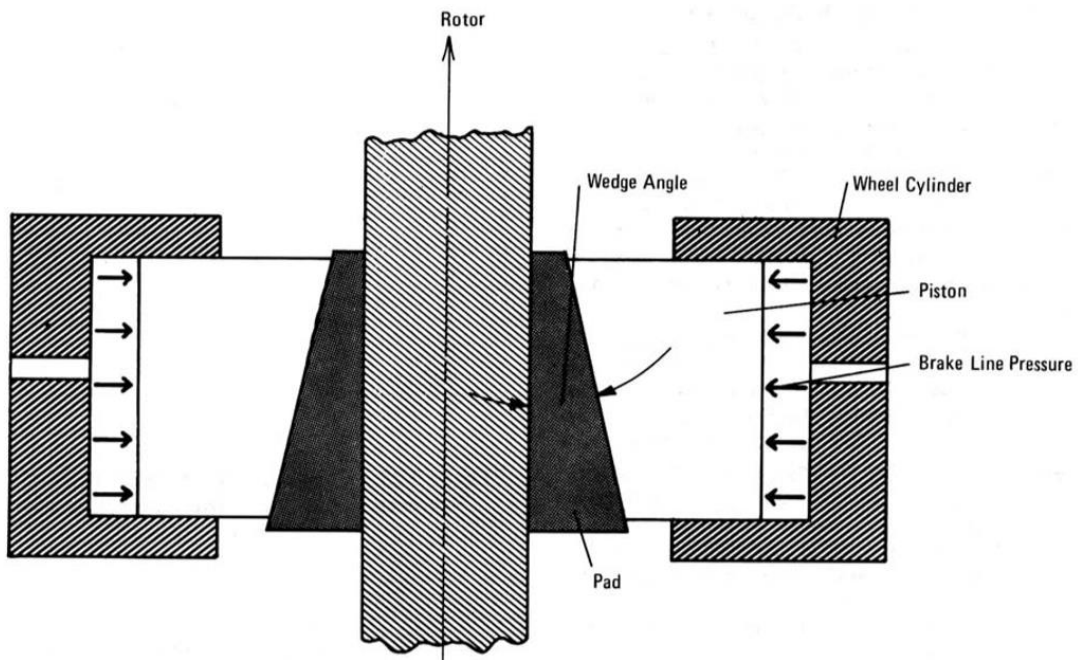
$$\mu_{L\infty} = (\tan \delta) \frac{r_k}{r_m}$$

(6)

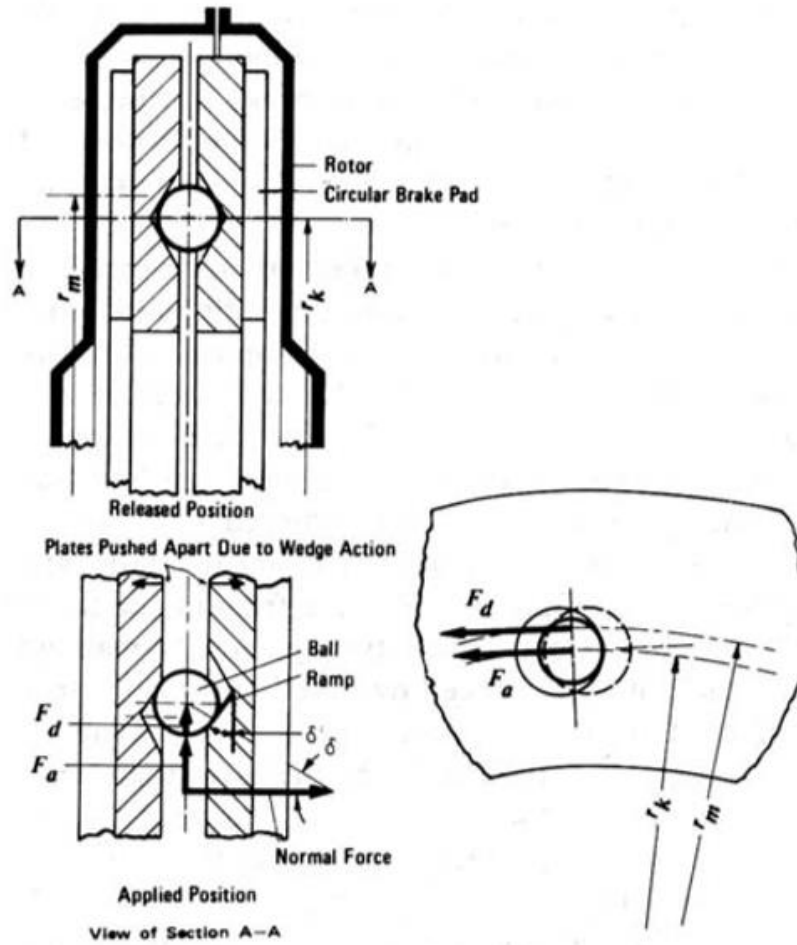
Η ευαισθησία του φρένου εκφράζεται από τη σχέση:

$$S_B = \frac{2 \cot \delta}{\left(1 - \frac{\mu_L}{\mu_{L\infty}}\right)^2}$$

(7)



Εικόνα 35 Αυτενέργεια δισκόφρενου



Εικόνα 36 Σχηματική αναπαράσταση αυτενέργειας σε δισκόφρενο

### 6.3 Συντελεστής πέδησης σε δισκόφρενα

Για ένα δισκόφρενο χωρίς αυτενέργεια, ο συντελεστής πέδησης  $BF$  είναι ίσος με

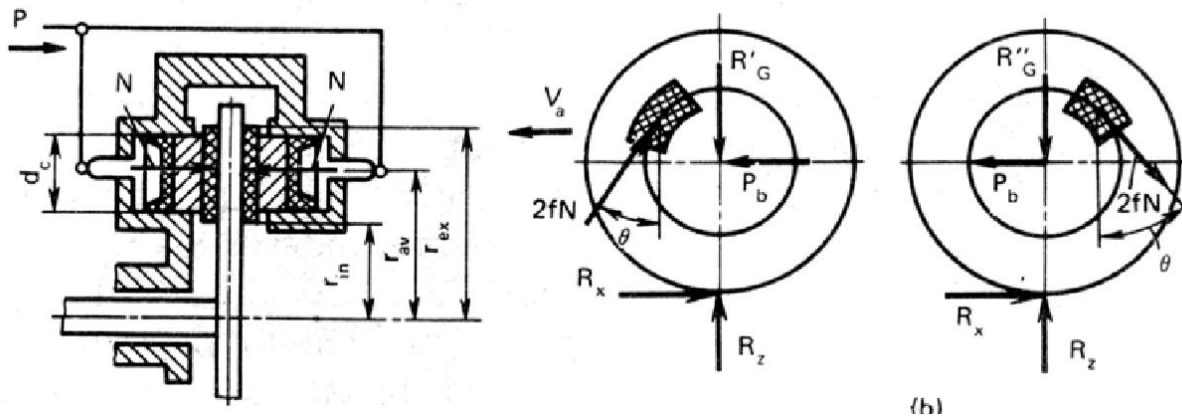
$$BF = \frac{F_d}{F_a} = 2\mu_L \quad (8)$$

όπου  $\mu_L$  = ο συντελεστής τριβής του υλικού τριβής.



#### 6.4 Υπολογισμός δύναμης και ροπής πέδησης

Η δύναμη  $N$  με την οποία η επένδυση πιέζεται πάνω στο δίσκο, προσδιορίζεται από την πίεση του υγρού φρένων  $p$ , τον αριθμό των τριβόμενων επιφανειών  $i$  και τη διάμετρο  $d_c$  των φρένων των κυλίνδρων στη μια πλευρά της αρπάγης (εικόνα 38).



Εικόνα 37

Εν γένει η δύναμη  $N$  δίνεται ως:

$$N = 0.25\pi p \sum_{i=1}^n d_c^2 \cdot i \quad (9)$$

Αντίστοιχα η ροπή πέδησης δίνεται ως:

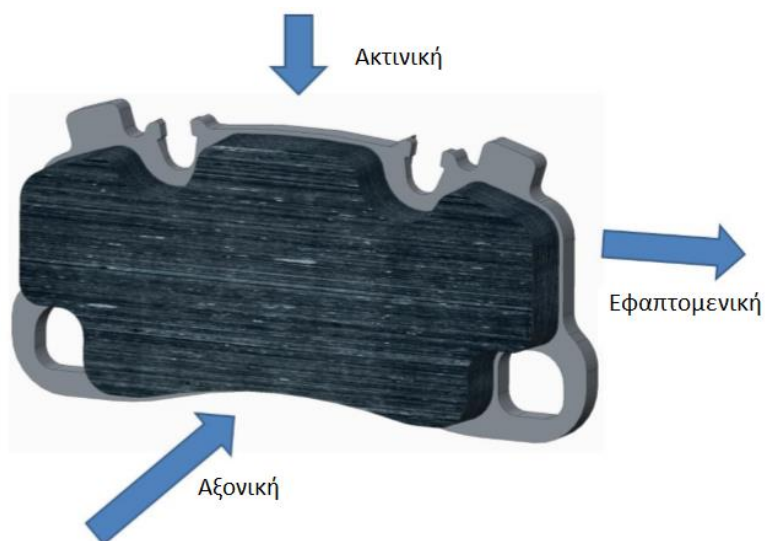
$$T_T = i f N r_{av} \quad (10)$$

## Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup> Συστήματα μέτρησης

### 7.1 Βασικά ζητήματα στην διενέργεια μετρήσεων σε δισκόφρενα

Στην πράξη τα τακάκια των φρένων είναι απαραίτητο να πιέζονται κατά την λειτουργία του συστήματος μεταξύ τουλάχιστον άλλων δύο τμημάτων, του δίσκου και του εμβόλου της σιαγόνας. Σε ορισμένες περιπτώσεις επιπλέον μπορεί να απαιτείται και προ φόρτιση των τακακίων κατά την τοποθέτησή τους.

Κατά συνέπεια η σωστή σύσφιξη του τακακιού για την μέτρηση αποτελεί σημαντικό θέμα κατά την διενέργεια μετρήσεων. Οι οριακές συνθήκες στον μηχανισμό μέτρησης πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο όμοιες με τις οριακές συνθήκες που θα απαντηθούν στην πραγματική του λειτουργία. Αυτό σημαίνει ότι οι δυνάμεις στο τακάκι θα πρέπει να εισαχθούν όπως φαίνεται στην εικ 38. [14,15]



Εικόνα 38 Συνιστώσες δύναμης σε τακάκι

Η ακτινική δύναμη ωθεί το τακάκι στο κέντρο της περιστροφής του δίσκου. Σε πραγματικές συνθήκες, αυτή η δύναμη εισάγεται από ελατήριο μεταλλικού φύλλου και έχει ως κύριο στόχο την σωστή ευθυγράμμιση του τακακιού. Η σωστή θέση είναι σημαντική για την εισαγωγή των δυνάμεων πέδησης στις σωστές τοποθετήσεις και για την παρακολούθηση των αντιδράσεων στις

απαιτούμενες κατευθύνσεις. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο πρέπει πρώτα να εφαρμοστεί αυτή η δύναμη. Η ακτινική συνιστώσα της ολικής δύναμης είναι αμελητέα σε σύγκριση με τις άλλες δύο.

Η αξονική δύναμη αντιστοιχεί στη δύναμη του εμβόλου που προκαλείται από την υδραυλική πίεση. Αυτή είναι η δύναμη δράσης και εξαρτάται από την ένταση της πέδησης. Σπρώχνει το τακάκι πάνω στον δίσκο. Το μέγεθος της δύναμης αντιστοιχεί στην υδραυλική πίεση και είναι η μεγαλύτερη από όλες τις δυνάμεις. Οι επιλογές εισαγωγής αυτής της συνιστώσας δύναμης είναι ευρείες, αλλά περιορίζονται από το μέγεθός της [16].

Η εφαπτομενική δύναμη είναι αποτέλεσμα της αξονικής δύναμης και της σχετικής κίνησης μεταξύ του δίσκου και του τακακιού σε πραγματικές συνθήκες. Αυτό το μέρος της δύναμης δρα ενάντια στην κατεύθυνση της περιστροφής και είναι επιθυμητό αποτέλεσμα της πέδησης. Η εφαπτομενική δύναμη είναι συνάρτηση της αξονικής δύναμης και πάντα λαμβάνει μικρότερες τιμές από την αξονική δύναμη - εξαρτάται από το συντελεστή τριβής και συνήθως ισούται με το 40% της αξονικής δύναμης.

Το πραγματικό μέγεθος αυτών των δυνάμεων εξαρτάται από τον συγκεκριμένο τύπο φρένων και τακάκια φρένων καθώς και τη θέση των δυνάμεων, διότι οι σιαγόνες διαφέρουν ως προς τους αριθμούς και τις θέσεις των υδραυλικών εμβόλων και των οδηγών πείρων. Πρακτικά, η περιοχή επαφής εξαρτάται κυρίως από τη θέση των εμβόλων, πράγμα που περιορίζει την ευελιξία της εξέδρας δοκιμής [16].

Η διέγερση πρέπει να γίνει ενεργοποιώντας το σωστό υλικό τριβής του τακακιού σε εύρος συχνοτήτων 2Hz - 7kHz. Εάν είναι δυνατόν, η συχνότητα διέγερσης πρέπει να φτάσει τα 10kHz. Η διέγερση πρέπει να εφαρμόζεται ανάλογα σε όλες τις καρτεσιανές κατευθύνσεις τόσο μεμονωμένα σε ακτινική, αξονική και εφαπτόμενη κατεύθυνση, όσο και σαν σύνολο.

Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι για την διέγερση σε αξονική κατεύθυνση είναι απαραίτητο να υπάρχει μια οπή στο σώμα δοκιμαστικής εξέδρας για την εισαγωγή μιας ράβδου σύνδεσης μεταξύ με το τακάκι. Αυτό είναι μειονεκτικό για την κατανομή της πίεσης επαφής, λόγω της θέσης της οπής, ενώ επιπλέον, επηρεάζεται και η γύρω περιοχή. Για το λόγο αυτό, επιτρέπεται η δυνατότητα αξονικής διέγερσης μέσω του σώματος δοκιμής.

Ένα πολύ σημαντικό θέμα είναι επίσης να αποφευχθεί η επιρροή της ίδιας της πλατφόρμας (δυναμική συμπεριφορά) στις μετρούμενες ποσότητες. Αυτό σημαίνει ότι η εξέδρα δοκιμής πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο άκαμπτη, αλλά πρέπει επίσης να επιτρέπει την παραμόρφωση του υλικού τριβής που λαμβάνει χώρα στο τακάκι.

Τα πρακτικά ζητήματα της δοκιμαστικής εξέδρας αντιπροσωπεύονται από απλή λειτουργικότητα και μεγάλη διάρκεια ζωής. Η συναρμολόγηση της εξέδρας πρέπει να είναι κινητή, οπότε το συνολικό βάρος πρέπει να είναι μικρότερο από 50 κιλά. Πρακτικά, αυτό σημαίνει την κινητικότητα και τη λειτουργικότητα ενός ατόμου. Το σύνολο του συγκροτήματος πρέπει να είναι ανθεκτικό στη διάβρωση και να είναι κατασκευασμένο από χάλυβα. Συνεπώς, η συναρμολόγηση χρειάζεται κάποιο φινιρίσμα επιφάνειας για την προστασία από τη σκουριά

## 7.2 Υπάρχουσες μέθοδοι

Υπάρχουν πολλά μοντέλα για την ανάλυση της συμπεριφοράς των δισκοφρένων. Οι περισσότερες από τις μεθόδους για την πρόβλεψη βασίζονται στη προσομοίωση του συγκροτήματος πέδης. Ο δίσκος έχει αποφασιστική επίδραση στη συμπεριφορά του μηχανισμού και η εκτίμησή αυτή είναι απαραίτητη για την πρόβλεψη του φρεναρίσματος [17].

Οι μέθοδοι των πεπερασμένων στοιχείων για την πρόβλεψη μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες: συγκριτική ανάλυση ιδιοτιμών και δυναμική μεταβατική ανάλυση. Και οι δύο μέθοδοι λειτουργούν με προσομοίωση περιστροφικής κίνησης και οι δύο έχουν τα υπέρ και τα κατά τους. Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά.

### **Συγκριτική ανάλυση ιδιοτιμών**

Η κύρια ιδέα της συγκριτικής ανάλυσης ιδιοτιμών περιλαμβάνει τα επιχειρήματα συμμετρίας της μήτρας ακαμψίας και τη διαμόρφωση μιας σύζευξης τριβής. Αυτή η μέθοδος υποτίθεται ότι είναι πιο αποτελεσματική από τη δυναμική μεταβατική ανάλυση και παρέχει περισσότερες πληροφορίες για τη δυναμική αστάθεια που προκαλείται από την τριβή του συστήματος δισκοφρένων [17, 18].

Η πρόβλεψη της λειτουργίας του συστήματος υπολογίζεται ποσοτικά από τη δυναμική αστάθεια ενός συγκεκριμένου τρόπου λειτουργίας του συστήματος. Μπορούν να βρεθούν πολυάριθμα παραδείγματα, ειδικά για περιπτώσεις διεγέρσεων χαμηλής συχνότητας. Σε αυτή την περιοχή συχνότητας τα υλικά τριβής δεν είναι συνήθως πολύ αποτελεσματικά. Εν πάση περιπτώσει, η αποτελεσματικότητα μεταβάλλεται κατά περίπτωση, και είναι σύνηθες το φαινόμενο μια καλή λύση (πρόβλεψη λειτουργίας) για ένα συγκεκριμένο σύστημα πέδησης να είναι ελάχιστα αποδεκτή σε κάποιο άλλο. Ο σχεδιασμός πρέπει να αναπτυχθεί από τις πληροφορίες που παρέχονται τόσο από τις αναλυτικές όσο και από τις πειραματικές προσπάθειες έως ότου γίνει κατανοητός ο πλήρης μηχανισμός λειτουργίας των εξεταζόμενων φρένων [18].

Συμπληρωματικές ιδιοτιμές με θετικά αληθινά μέρη αναγνωρίζονται ως ασταθείς τρόποι λειτουργίας, οι οποίοι εμφανίζονται πάντοτε σε σύνθετα ζεύγη. Όταν η μήτρα απόσβεσης είναι αμελητέα, τότε οι δύο ρίζες ενός πολύπλοκου ζεύγους έχουν ουσιαστικά τις ίδιες φανταστικές τιμές και οι πραγματικές τιμές έχουν αντίθετες ενδείξεις. Τα ιδιοδιανύσματα είναι επίσης τα ίδια εκτός από το αντίθετο πρόσημο των γωνιών φάσης.

Προκειμένου να εφαρμοστεί αυτή η θεωρία σε ένα φυσικό σύστημα, όπως ένα δισκόφρενο, απαιτούνται οι ακόλουθες πρόσθετες απλουστεύσεις [19]:

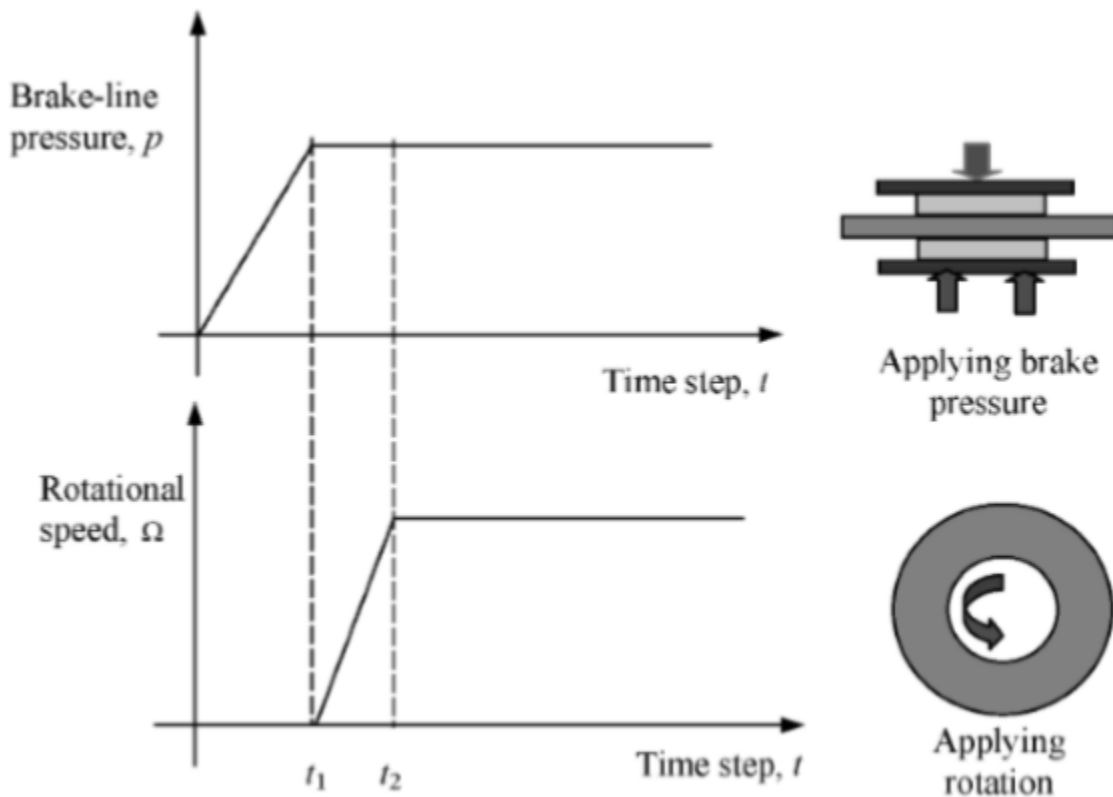
1. Γραμμικές ιδιότητες ελαστικού και ομοιογενούς υλικού.
2. Ο συντελεστής τριβής  $\mu$  μεταξύ του δίσκου και των επιφανειών τριβής υποτίθεται ότι είναι σταθερός.
3. Η ταχύτητα του κύματος κραδασμών υποτίθεται ότι είναι πολύ μεγαλύτερη από την ταχύτητα της επιφάνειας του δίσκου.
4. Απόλυτα επίπεδη επαφή μεταξύ του δίσκου και των επιφανειών τριβής.

### **Δυναμική μεταβατική ανάλυση**

Για την μεταβατική ανάλυση, το ιστορικό της πίεσης της γραμμής πέδησης και της ταχύτητας περιστροφής χρησιμοποιείται για την περιγραφή των συνθηκών λειτουργίας του μοντέλου του δισκόφρενου. Αυτό φαίνεται στην εικόνα 39. Πρώτον, εφαρμόζεται μια σταδιακά αυξανόμενη

πίεση πέδησης μέχρι να φτάσει στο  $t_1$ , και στη συνέχεια παραμένει σταθερή. Ο δίσκος αρχίζει να περιστρέφεται στο  $t_1$  και η ταχύτητα αυξάνεται γραμμικά μέχρι το  $t_2$ . Στη συνέχεια, η ταχύτητα περιστροφής παραμένει επίσης σταθερή. Για την δοκιμή, ο συντελεστής τριβής είναι συνήθως σταθερός, και λαμβάνεται από πειράματα squeal (Βλ. παρακάτω) [11,12,13,16, 20].

Προς το παρόν προτιμάται η πολύπλοκη μέθοδος των ιδιοτιμών έναντι της δυναμικής μεταβατικής ανάλυσης. Χρησιμοποιείται ευρέως στην πρόβλεψη της λειτουργίας του συστήματος πέδησης, συμπεριλαμβανομένης της επαφής και της απόσβεσης, καθώς η μεταβατική δυναμική ανάλυση είναι υπολογιστικά δαπανηρή. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι και οι δύο προσεγγίσεις ανάλυσης εκτελούνται απουσία θερμικής επίδρασης [20].



Εικόνα 39 Σχηματικό διάγραμμα της δυναμικής μεταβατικής ανάλυσης [20]

## Επιταχυνσιόμετρα - Αισθητήρες

Το επιταχυνσιόμετρο είναι ένα εργαλείο, το οποίο μετρά τη δόνηση ή την επιτάχυνση της δομής. Τυπικές σημαντικές παράμετροι είναι το εύρος ζώνης και η ευαισθησία. Το ζητούμενο εύρος ζώνης ορίζεται από τις απαιτήσεις διέγερσης, δηλαδή από 2 Hz έως 10 kHz. Γενικά, το πιο ευαίσθητο επιταχυνσιόμετρο είναι καλύτερο. Αυτό σημαίνει ότι για μια δεδομένη αλλαγή στην επιτάχυνση, θα υπάρξει μια μεγαλύτερη αλλαγή στο σήμα που θα επιτρέψει ακριβέστερες μετρήσεις. Αυτό συνδέεται με τη μάζα του επιταχυνσιόμετρου. Η μικρότερη μάζα έχει μεγαλύτερα πλάτη και παρέχει μεγαλύτερη ευαισθησία [21].

Για τη μέτρηση επιταχύνσεων προς όλες τις κατευθύνσεις ταυτόχρονα, πρέπει να τοποθετηθούν, για παράδειγμα, 3 επιταχυνσιόμετρα με ένα μόνο άξονα. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να τοποθετηθούν ξεχωριστά και ότι το αποτέλεσμα είναι λιγότερο καθοριστικό. Η τοποθέτηση τριών επιταχυνσιομέτρων σε μια ενδιαφέρουσα θέση στη δομή (με μεγάλα πλάτη σε σημαντικές ιδιοσυχνότητες) φαίνεται να είναι καλύτερη επιλογή εργασίας [21].

Κάθε αισθητήρας τοποθετημένος στη δομή σημαίνει πρόσθετη μάζα και επαφή. Για καλύτερα αποτελέσματα, αυτές οι αρνητικές επιπτώσεις θα πρέπει να μειωθούν όσο το δυνατόν περισσότερο.

Η δύναμη είναι ένας φορέας, οπότε έχει πάντα την κατεύθυνση της. Τα αισθητήρια είναι συνήθως σε θέση να μετρήσουν το μέγεθος της δύναμης μόνο σε μία κατεύθυνση, οπότε πρέπει αυτό να ληφθεί υπόψη πριν από τη τοποθέτηση και τον προσανατολισμό τους. Οι τύποι των αισθητήρων δύναμης επηρεάζονται σημαντικά από το σύστημα προφόρτισης.

### 7.2 Δοκιμές μέτρησης ήχου φρένων

Ο θόρυβος του φρένου είναι ένας θόρυβος που σχετίζεται με το σασί και είναι ένα μεγάλο πρόβλημα για τους κατασκευαστές αυτοκινήτων. Ο θόρυβος προκαλείται από δονήσεις που προκαλούνται από τριβή, οι οποίες καθιστούν το σύστημα πέδησης να παράγει θόρυβο. Αυτό με τη σειρά του θα προκαλέσει ενοχλήσεις στον ιδιοκτήτη του αυτοκινήτου και σε οποιοδήποτε άτομο κοντά στο όχημα όταν συμβεί. Ο θόρυβος των φρένων μπορεί να οδηγήσει σε ανεπαρκή αποτελέσματα στις έρευνες για την ικανοποίηση του πελάτη και το υψηλό κόστος εγγύησης. Ως

εκ τούτου, η ανάπτυξη συστημάτων πέδησης με ελάχιστα ζητήματα θορύβου έχει μεγάλη προτεραιότητα στην αυτοκινητοβιομηχανία. Ο θόρυβος της πέδης είναι ένα πολύ περίπλοκο πρόβλημα και η έρευνα στον τομέα αυτό βρίσκεται σε συνεχή πρόοδο.

Επιπλέον, η ηλεκτροκίνηση των οχημάτων απαιτεί νέο σχεδιασμό φρένων καθώς και αυξημένη εστίαση στον θόρυβο, καθώς η ακουστική κάλυψη από τον κινητήρα εξαφανίζεται. Ωστόσο, τα παραδοσιακά συστήματα πέδησης θα χρησιμοποιηθούν σε μικρότερο βαθμό σε ηλεκτρικό όχημα. Υπάρχει μια διαδικασία αναγέννησης κατά τη διάρκεια της επιβράδυνσης που χρησιμοποιείται για την παροχή της φόρτισης της μπαταρίας η οποία σε πολλές περιπτώσεις θα επαρκεί για τον έλεγχο της ταχύτητας του οχήματος χωρίς τη χρήση του πεντάλ φρένου.

Η συνήθης διαδικασία ανάπτυξης για την αποφυγή του θορύβου των φρένων χωρίζεται σε διάφορα στάδια που ξεκινούν όταν έχουν καθοριστεί οι απαιτήσεις για την απόδοση πέδησης:

- Επιλογή προτάσεων
- Επισκόπηση σχεδιασμού, έλεγχοι βέλτιστης πρακτικής
- Προβλέψεις θορύβου μέσω υπολογιστών (CAE)
- Δοκιμή εξαρτημάτων, ανάλυση - Επαλήθευση των τρόπων λειτουργίας για όλα τα εξαρτήματα των πεδών, ιδίως για τα τακάκια και το στροφέα
- Δοκιμή συστήματος, Brake Noise ( Brake Squeal)
- Δοκιμή οχήματος (μετά την έγκριση της δοκιμής συστήματος)

Η δοκιμή Brake Noise (Brake Squeal) και η δοκιμή wheelhouse περιλαμβάνουν τη δοκιμή με μικρόφωνα. Τα χαρακτηριστικά θορύβου από τον πιο κοινό τύπο φρένων, δηλ. Το δισκόφρενο, είναι τα ακόλουθα:

- Χαμηλής συχνότητας (συχνά ευρυζωνικός) θόρυβος μεταξύ 100 - 1.000 Hz, που αναφέρεται ως απόξεση, λείανση, τρίξιμο ανάλογα με τον χαρακτήρα.
- Τονικό θόρυβο μέσης έως υψηλής συχνότητας μεταξύ 1 - 5 kHz. Αυτός είναι ο θόρυβος που προκαλείται από τις τριβές που συνήθως προκαλούνται από συζευγμένους τρόπους λειτουργίας μεταξύ των τακακιών και του δίσκου που προκαλούν κραδασμούς εκτός επιπέδου. Το σφύριγμα ξεκινάει από συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης φρένων, θερμοκρασίας δίσκου και περιβάλλοντος.



- Τονικός θόρυβος υψηλής συχνότητας, squeal φρεναρίσματος πάνω από 5 kHz. Αυτός είναι επίσης ένας θόρυβος που προκαλείται από τη τριβή, αλλά με διεγερτικούς συντονισμούς στο επίπεδο του δίσκου των φρένων.

### Δοκιμή Brake Noise ( Brake Squeal)

Η δοκιμή Brake Noise (Brake Squeal) είναι σαφώς καθορισμένη και αποδείχθηκε ότι εξασφαλίζει ότι τα φρένα θα είναι στην καλύτερη δυνατή κατάσταση πριν από την έναρξη της δοκιμής του οχήματος.

Εκτελείται σε δυναμόμετρο πέδησης θορύβου, κραδασμών και βαρύτητας (NVH) σύμφωνα με το πρότυπο SAE J2521. Το τσίριγμα (squeal) φρένου ορίζεται μεταξύ 1 - 17 kHz.

Η δοκιμή Brake Noise (Brake Squeal) γίνεται σύμφωνα με την ακόλουθη διαδικασία:

- Το πλήρες σύστημα πέδησης τοποθετείται σε ένα εξάρτημα που περιέχει μια γωνία οχήματος, δηλ. Το ¼ του πλήρους πλαισίου με ανάρτηση.
- Ελέγχονται αρκετές χιλιάδες συνθήκες φρένων, μεταξύ άλλων σε διαφορετική ταχύτητα τροχών, πίεση φρένων, θερμοκρασία δίσκου, διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες και φθορά φρένων για να αναφέρουμε μερικές.
- Ένα μικρόφωνο μέτρησης καταγράφει το τσίριγμα (squeal) των φρένων.
- Τα επιταχυνσιόμετρα καταγράφουν κραδασμούς για συσχέτισμό με τον θόρυβο.
- Μερικές φορές χρησιμοποιείται μετρητής δόνησης 3D ή ακουστικές κάμερες για έρευνες βασικών αιτιών.
- Σε περίπτωση τσίριγματος των φρένων πέραν των αποδεκτών επιπέδων, αυτή η δοκιμή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δοκιμή μιας σειράς διαφορετικών εξαρτημάτων φρένων. Αυτό περιλαμβάνει τροποποιήσεις των τακακιών των φρένων, σύνθεση του υλικού επένδυσης, σχεδιασμό σιαγόνας, προσθήκη εσοχών, μαζική φόρτιση και απόσβεση ή τροποποίηση του δίσκου ή της σιαγόνας, συμπεριλαμβανομένης της μαζικής φόρτισης της σιαγόνας.



*Εικόνα 40 Τοποθέτηση μικροφώνων και δοκιμή squeal δυναμομέτρου φρένου*

### Δοκιμή wheelhouse

Ο τελικός σημαντικός έλεγχος είναι η δοκιμή οδικής κυκλοφορίας. Αυτό γίνεται σε ακριβείς θέσεις δοκιμών και συνθήκες δοκιμής για μεγάλες χρονικές περιόδους για να καταγραφούν όλες οι σημαντικές συνθήκες οδήγησης, περιβάλλοντος και πέδησης. Ο θόρυβος καταγράφεται στο εσωτερικό του οχήματος και θέση οδήγησης ταυτόχρονα με πολλές άλλες παραμέτρους όπως οι δονήσεις των φρένων, η πίεση πέδησης, η θερμοκρασία των φρένων, οι συνθήκες οδήγησης, η επιβράδυνση και, τέλος, οι σημαντικές υποκειμενικές εντυπώσεις.

Η δοκιμή πρέπει να επαναληφθεί για πολλά οχήματα και για πολλά χιλιόμετρα σε όλες τις εποχές, ειδικά κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Ένας κατασκευαστής θα χρησιμοποιεί, για παράδειγμα, 25 αυτοκίνητα εξοπλισμένα με τέσσερα μικρόφωνα θέση οδήγησης, ένα μικρόφωνο αναφοράς στο αυτί του οδηγού και τουλάχιστον τέσσερα επιταχυνσιόμετρα για την οδήγηση των αποκλειστικών κύκλων δοκιμών για 50.000 χιλιόμετρα. Εκτός από τις δοκιμές σε διαφορετικές συνθήκες οδοστρώματος, αυτό περιλαμβάνει επίσης και άλλες δοκιμές, όπως είναι η διαβροχή

στις εγκαταστάσεις ψύξης, η οδήγηση στις διαδρομές εκτόξευσης πριν την πέδηση και άλλες ειδικές δοκιμές. Αυτό επιτρέπει στον μηχανικό να καταγράψει τα αποτελέσματα θορύβου φρεναρίσματος σε όλες τις πιθανές εξωτερικές συνθήκες.

## Βιβλιογραφία

- [1] T.D. Gillespie, *Fundamentals of Vehicle Dynamics* (SAE International, Warrendale, 1992), pp. 45–47
- [2] Indian Standards (IS) 14664:1999, Edition 1.1, (2003-12)
- [3] Federal Motor Vehicle Safety Standards (FMVSS) 122 (2006)
- [4] European Economic Commission (ECE) Standards R78 (2006)
- [5] Working paper on informal group meeting, 31-GTRBR-05
- [6] R. Limpert, *Brake Design and Safety*, 2nd edn. (SAE International, Warrendale, 1992).
- [7] S.R. Marathe, in *Two Wheeler Safety in India*. 2nd AAI—Summit, Motorcycle Safety Session Denpasar, Indonesia (2013)
- [8] Reif, K. (2014). *Brakes, Brake control and driver assistance systems*. Weisbaden, Germany, Springer Vieweg.
- [9] Limpert, R. (1985). *Analysis and design of automotive brake systems*. The US Army Materiel Development and Readiness Command.
- [10] Erjavec, J., & Thompson, R. (2014). *Automotive technology: a systems approach*. Cengage learning.
- [11] Renault A, Massa F, Lallemand B, Tison T. Experimental investigations for uncertainty quantification in brake squeal analysis. *J Sound Vib* [Internet]. 2015;367:37–55.

- [12] Bin Z, Ripin M. Analysis Of Disc Brake Squeal Using The Finite Element Method. 1995;(September).
- [13] Bakar ARA, Ouyang H, Siegel JE. Brake Pad Surface Topography Part II: Squeal Generation and Prevention. Sae Tech Pap. 2005;
- [14] Olesen HP, Randall RB. A Guide to Mechanical Impedance and Structural Response Techniques (17-179). Bruel Kjaer Appl Note
- [15] Wiertlewski M, Hayward V. Transducer for mechanical impedance testing over a wide frequency range. 2011
- [16] Liu P, Zheng H, Cai C, Wang YY, Lu C, Ang KH, et al. Analysis of disc brake squeal using the complex eigenvalue method. Appl Acoust. 2007;68(6):603–15.
- [17] Kung S, Dunlap KB, Ballinger RS. SAE TECHNICAL Complex Eigenvalue Analysis for Reducing Low Frequency Brake Squeal. Engineering. 2000;(724).
- [18] Rahim AbuBakar A, Ouyang H, AbuBakar A, Ouyang H. Complex eigenvalue analysis and dynamic transient analysis in predicting disc brake squeal. Int J Veh Noise Vib J Veh Noise Vib. 2006;2(2):143–55.
- [19] Vacher P. Extensions of the MAC criterion to complex modes. Proc ISMA ... [Internet]. 2010;2713–26.
- [20] Pastor M, Binda M, Harčarik T. Modal assurance criterion. Procedia Eng. 2012;48:543–8.
- [21] Semiconductor F. Accelerometer Terminology Guide. Sensors (Peterborough, NH). 2007

