



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ



Κουφαλλάκης Ιωάννης

A.M. 6168

Επιβλέπων

Δρ. Παπαδάκης Νικόλαος

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2018

Περίληψη πτυχιακής εργασίας

Η πτυχιακή εργασία αυτή έχει σαν θέμα την μελέτη και την κατασκευή ενός αποσβεστήρα ταλαντώσεων. Τα πρώτα κεφάλαια της εργασίας αναφέρονται σε βασικές θεωρητικές έννοιες, που σχετίζονται άμεσα με την λειτουργία ενός συμβατικού αποσβεστήρα ταλαντώσεων. Έπειτα η εργασία περνάει σε πιο ειδικό, ως προς το θέμα, μοτίβο στο οποίο αναλύεται ο σκοπός και οι επιδράσεις που φέρουν οι αποσβεστήρες ταλαντώσεων στα οχήματα και συγκεκριμένα στα αυτοκίνητα. Αναφέρονται και αναλύονται βασικές έννοιες, απαραίτητες για την κατανόηση της λειτουργίας ενός αποσβεστήρα ταλαντώσεων. Στην συνέχεια αφού έχουν αναφερθεί όλα τα παραπάνω, παρουσιάζεται μια περιγραφή της κατασκευής ενός συμβατικού αποσβεστήρα ταλαντώσεων, που έγινε στα πλαίσια της εργασίας αυτής. Μετά από την παρουσίαση της κατασκευής, γίνεται μια αναφορά στην συναρμολόγηση αυτού του αποσβεστήρα και παρουσιάζεται η εργαστηριακή δοκιμή αυτού. Κατά την εργαστηριακή δοκιμή πραγματοποιήθηκαν κάποια πειράματα. Τα πειράματα αυτά είχαν σαν σκοπό την παραλλαγή ενός εξαρτήματος, με ένα την ίδιας σειράς, το οποίο όμως θα φέρει κάποιες διαφορετικές διαστάσεις (πάχος και αριθμό οπών). Τέλος, πραγματοποιείται μια ανάλυση στα δεδομένα που προέκυψαν από τις παραλλαγές της εργαστηριακής δοκιμής. Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψαν κάποια μαθηματικά μοντέλα, τα οποία περιγράφουν ποσότητες που ορίζουν το πως συμπεριφέρεται ο αποσβεστήρας ταλαντώσεων έπειτα από τις παραπάνω παραλλαγές.

Λέξεις κλειδιά: Αποσβεστήρας ταλαντώσεων. Αμορτισέρ. Απόσβεση ταλαντώσεων. Αποσβεστήρας ταλαντώσεων διπλού σωλήνα.

Abstract of thesis

The main subject of this thesis is the research and the construction of a shock absorber. The first chapters covers the basic theoretical concepts, which are directly correlated to the operation of a conventional shock absorber. Moving on, the thesis goes over particular issues as the effects of shock absorbers in vehicles and specifically in cars. The basic concepts this thesis points to, are essential to the understanding of the function of shock absorber. Having expounded all that, a description of the constructed shock absorber is shown. Following the construction and the assembly process, the laboratory tests are presented. Those laboratory tests aimed the variation of a component with one of the same series, but with different dimensions (thickness and number of holes). Finally, an analysis is conducted on the data retrieved from and tests mentioned. The analysis of the data resulted in some mathematical models, which describing quantities that defines how the shock absorber behaves after the above variations

Keywords: Shock absorber. Damper. Damped oscillation. Twin tube shock absorber.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1-8
1.1	Ευχαριστίες	1-9
2	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2-10
2.1	Σκοπός	2-11
3	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	3-12
3.1	Ταλαντώσεις	3-12
3.1.1	Απλή αρμονική ταλάντωση	3-12
3.1.2	Αποσβεννύμενη ταλάντωση	3-13
3.2	Δυναμική ρευστών	3-16
3.2.1	Ροή ρευστού σε αγωγό	3-16
3.2.2	Στρωτή και τυρβώδης ροή	3-17
3.3	Απόσβεση	3-18
3.3.1	Βασικές παράμετροι απόσβεσης	3-19
3.3.2	Καταστάσεις απόσβεσης	3-21
4	ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ	4-24
4.1	Αναρτημένες και μη αναρτημένες μάζες	4-24
4.1.1	Επιδράσεις αναρτημένης και μη αναρτημένης μάζας	4-27
4.1.2	Η αναλογία της αναρτημένης προς τη μη αναρτημένη μάζα	4-30
4.2	Ορισμός αποσβεστήρα ταλαντώσεων	4-31
4.2.1	Μορφές απόσβεσης με τριβή	4-32
4.2.2	Το αμορτισέρ και η βασική λειτουργία του	4-33
4.2.3	Ο στοιχειώδης αποσβεστήρας ταλαντώσεων	4-36
4.3	Βασικοί τύποι τηλεσκοπικών αποσβεστήρων ταλαντώσεων	4-38
4.3.1	Αποσβεστήρας ταλαντώσεων διπλού σωλήνα	4-38
4.3.2	Αποσβεστήρας ταλαντώσεων μονού σωλήνα	4-43
4.3.3	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αποσβεστήρων μονού και διπλού σωλήνα	4-46

4.4 Μελέτη αποσβεστήρα ταλαντώσεων διπλού σωλήνα	4-48
4.4.1 Εξωτερικό σώμα	4-48
4.4.2 Ράβδος – βάκτρο	4-49
4.4.3 Στοιχεία στεγάνωσης	4-50
4.4.4 Οδηγός ράβδου - βάκτρου και εσωτερικός σωλήνας	4-50
4.4.5 Διάταξη εμβόλου	4-52
4.4.6 Διάταξη βαλβίδας συμπίεσης – βάσης	4-55
4.4.7 Ρευστά αποσβεστήρα ταλαντώσεων	4-56
4.5 Λειτουργία αποσβεστήρα ταλαντώσεων διπλού σωλήνα	4-57
4.5.1 Φάσης συμπίεσης	4-57
4.5.2 Φάση εκτόνωσης	4-59
5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ	5-60
5.1 Συναρμολόγηση διάταξης εμβόλου	5-61
5.2 Συναρμολόγηση διάταξης βαλβίδας συμπίεσης – βάσης	5-62
5.3 Πλήρωση του αποσβεστήρα με ρευστά	5-64
6 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ	6-66
6.1 Εξοπλισμός	6-66
6.1.1 Δυναμόμετρο Αποσβέσεων	6-66
6.2 Σχεδιασμός πειράματος	6-70
6.2.1 Παράμετροι συστήματος	6-70
6.2.2 Παραλλαγές στον αποσβεστήρα	6-71
6.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων	6-73
7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	7-75
7.1 Περιγραφή μεθοδολογίας	7-75
7.1.1 Μεθοδολογία εξαγωγής μοντέλων	7-75
7.1.2 Μεθοδολογία σύγκρισης μοντέλων	7-76
7.2 Μοντέλο εκτόνωσης	7-78
7.2.1 Υπολογισμός μοντέλων	7-78
7.2.2 Σύγκριση μοντέλων	7-79

7.2.3	Γραφικές παραστάσεις	7-81
7.3	Μοντέλο συμπίεσης	7-87
7.3.1	Υπολογισμός μοντέλων	7-87
7.3.2	Σύγκριση μοντέλων	7-88
7.3.3	Γραφικές παραστάσεις	7-90
7.4	Σταθερά απόσβεσης b	7-96
7.4.1	Μεθοδολογία υπολογισμού σταθεράς απόσβεσης	7-96
7.4.2	Μοντέλο σταθεράς b εκτόνωσης	7-98
7.4.3	Μοντέλο σταθεράς b συμπίεσης	7-108
7.5	Συμπεράσματα ανάλυσης αποτελεσμάτων	7-116
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	8-118
9	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	9-119
10	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	10-120
11	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	11-122

1 Πρόλογος

Όπως είναι γνωστό, ένα μέσο μεταφοράς (ποδήλατο, αυτοκίνητο, μοτοσυκλέτα, αεροπλάνο κτλ.) αποτελείται από διάφορες πολύπλοκες διατάξεις οι οποίες συνεργάζονται ταυτόχρονα για να επιτύχουν το κύριο σκοπό για τον οποίο έχει κατασκευαστεί, που δεν είναι άλλος από την ασφαλή μεταφορά των επιβατών του από ένα αρχικό σημείο, σε ένα τελικό.

Η εν λόγω πτυχιακή εργασία πρόκειται να ασχοληθεί με τον τομέα των αυτοκινήτων. Μιλώντας πιο ειδικά, πρόκειται να ασχοληθεί με μια διάταξη η οποία υπάρχει σε όλα τα σύγχρονα αυτοκίνητα και συμβάλει, κυρίως, στην ασφαλή λειτουργία αυτών. Η διάταξη αυτή ονομάζεται αποσβεστήρας ταλαντώσεων και εδώ και πολλά χρόνια αποτελεί βασικό μέρος ενός συστήματος ανάρτησης.

1.1 Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω για την υποστήριξη και την συμβολή τους στην ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, την οικογένεια μου, τον επιβλέπων της εργασίας Δρ. Παπαδάκη Νικόλαο, τον κύριο Χριστοδουλάκη Μάριο, τον κύριο Λιμνιωτάκη Νικόλαο και όλο το προσωπικό της βιοτεχνικής μονάδας υδραυλικών συστημάτων BiMors.

2 Εισαγωγή

Ανάμεσα στις διάφορες κατηγορίες διατάξεων οι οποίες συνθέτουν ένα αυτοκίνητο, υπάρχει και μια κατηγορία η οποία αναφέρεται ως **σύστημα ανάρτησης αυτοκινήτου**. Χονδρικά, το σύστημα ανάρτησης του αυτοκινήτου είναι μια σύνθεση εξαρτημάτων που συνδέουν τους τροχούς με το αμάξωμα και αντίθετα, επιτρέποντας την σχετική κίνηση τους, μέσα σε κάποια όρια. Ο κύριος σκοπός του συστήματος ανάρτησης είναι, η παροχή της απαραίτητης πρόσφυσης σε κάθε τροχό του αυτοκινήτου, όποιες και αν είναι οι εξωτερικές συνθήκες.

Το σύστημα ανάρτησης αποτελείται από ένα σύνολο αρθρώσεων και διατάξεων, οι οποίες συνεργάζονται ταυτόχρονα για να ελέγξουν, κάθε μορφής **δονήσεις** και **ταλαντώσεις** που καταπονούν το αυτοκίνητο και τους επιβάτες του. Τα συνηθισμένα αίτια που προκαλούν αυτές τις δονήσεις και ταλαντώσεις είναι: κάθε είδους οδόστρωμα, οι διάφορες στροφές, η επιτάχυνση και η επιβράδυνση του αυτοκινήτου, η απότομη πλευρική επίδραση του ανέμου και πολλά άλλα. Δύο βασικά στοιχεία ενός συστήματος ανάρτησης είναι, τα ελατήρια (ό,τι μορφής και αν είναι αυτά) και οι **αποσβεστήρες ταλαντώσεων**.

Σε ένα **παθητικό σύστημα ανάρτησης**, οι αποσβεστήρες ταλαντώσεων είναι υδραυλικές διατάξεις οι οποίες έχουν σαν σκοπό την **απόσβεση** των ταλαντώσεων που δημιουργούνται από τα ελατήρια. Αυτό το επιτυγχάνουν μετατρέποντας, την κινητική ενέργεια της **παλινδρομικής κίνησης** που αναγκάζονται να εκτελέσουν, σε τριβή μεταξύ των μορίων του υδραυλικού λαδιού που εμπεριέχουν και τελικά σε θερμότητα, η οποία αποβάλλεται στο περιβάλλον.

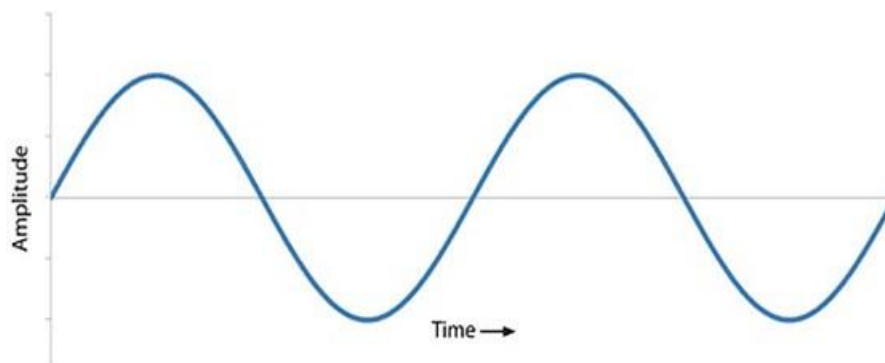
2.1 Σκοπός

Ο σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι αρχικά, να εξετάσει την θεωρία και την λειτουργία των συμβατικών αποσβεστήρων ταλαντώσεων. Στην συνέχεια, να μελετηθεί ο ρόλος και η λειτουργία κάθε εξαρτήματος και να κατασκευαστεί ένας συμβατικός αποσβεστήρας ταλαντώσεων. Έπειτα, να γίνουν κάποια πειράματα στον κατασκευασμένο αποσβεστήρα ούτως ώστε να μελετηθεί η συμπεριφορά του και τέλος, να αναλυθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα πειράματα αυτά, με μαθηματικό τρόπο.

3 Θεωρητικό υπόβαθρο

3.1 Ταλαντώσεις

Στη φυσική, με τον όρο ταλάντωση χαρακτηρίζεται οποιαδήποτε παλινδρομική περιοδική μεταβολή, οποιουδήποτε φυσικού μεγέθους, γύρω από μία κεντρική τιμή σε τακτά χρονικά διαστήματα. Με άλλα λόγια ταλάντωση ονομάζεται η περιοδική κίνηση ενός σώματος που γίνεται παλινδρομικά γύρω από μια θέση, σε τακτά χρονικά διαστήματα (Wikipedia, 2016). Για να μελετήσει κάποιος τα φαινόμενα των ταλαντώσεων πρέπει εκτός την θεωρητική εισαγωγή που θα αναφερθεί σε αυτό το κεφάλαιο, να μελετήσει και διάφορους, μαθηματικούς και φυσικούς τύπους, καθώς και κάθε μέγεθος που εμπεριέχουν αυτοί (Young, 1994).



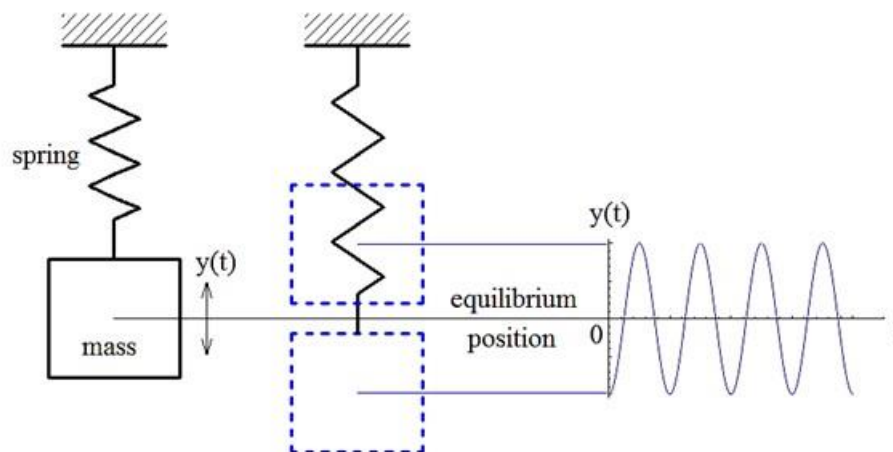
Εικόνα 1: Φυσική ημιτονοειδή ταλάντωση.

Πηγή: <https://stackoverflow.com/questions/35691584/animate-a-uiview-on-a-sine-wave-path>

3.1.1 Απλή αρμονική ταλάντωση

Οι ταλαντώσεις είναι πολλών ειδών, χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η περίπτωση της απλής αρμονικής ταλάντωσης όπως και η περίπτωση της ηλεκτρικής ταλάντωσης. Στη απλή αρμονική ταλάντωση, η οποία έχει νόημα να αναφερθεί στα πλαίσια της εργασίας αυτής, μεταβάλλεται αρμονικά η θέση ενός σώματος γύρω από μια θέση ισορροπίας και μεταξύ δύο ακραίων σημείων, σε τακτά χρονικά διαστήματα. Ένα από τα απλούστερα συστήματα που μπορούν να εκτελέσουν περιοδική κίνηση, δηλαδή ταλάντωση, είναι ένα σύστημα μάζας και ελατηρίου όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2 παρακάτω. Το σώμα με μάζα m , κινείται σε κάθετη διεύθυνση, σε σχέση με την πάκτωση που έχει πακτωθεί το ελατήριο, χωρίς καθόλου εξωτερικές επιδράσεις.

Το ελατήριο είναι ιδανικό και έχει τη δυνατότητα να συμπιέζεται και να εκτονώνεται χωρίς τριβές και απώλειες. Εάν αφεθεί το σώμα ελεύθερο, θα παρατηρηθεί ότι, εφόσον το άνω άκρο του ελατηρίου είναι σταθερό και το κάτω κινείται με το σώμα, το σύστημα εκτελεί μια παλινδρομική κίνηση η οποία κάτω από ιδανικές συνθήκες δεν έχει τέλος. Με λίγα λόγια, εκτελεί μια απλή αρμονική ταλάντωση.



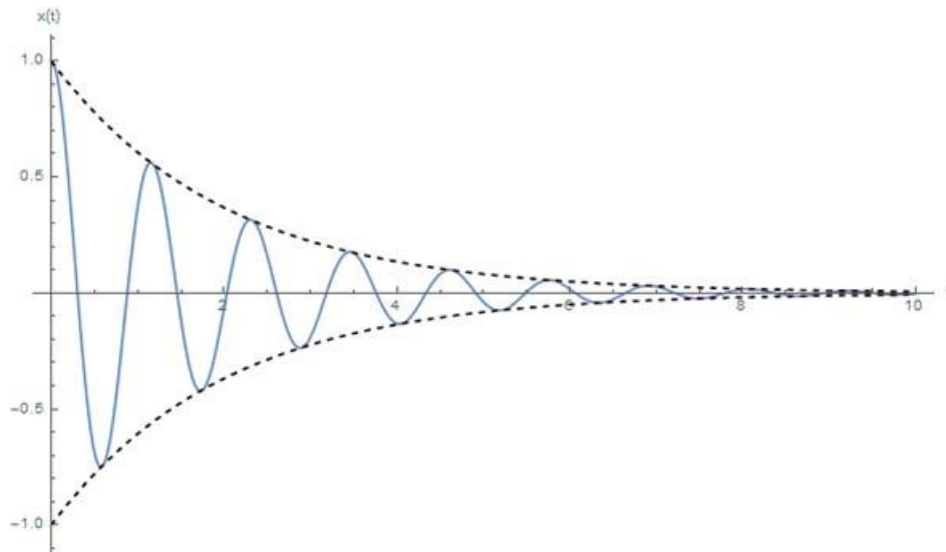
Εικόνα 2: Σύστημα μάζας και ελατηρίου το οποίο εκτελεί αρμονική ταλάντωση.

Πηγή: <http://www.posterus.sk/?p=14142>

3.1.2 Αποσβεννύμενη ταλάντωση

Ένα άλλο είδος ταλάντωσης που είναι σημαντικό να αναφερθεί στο θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας αυτής, είναι αυτό των φθινουσών ή αλλιώς αποσβεννύμενων ταλαντώσεων, το οποίο προσεγγίζει κάποια από τα φαινόμενα της καθημερινότητας. Φθίνουσες ονομάζονται οι ταλαντώσεις στις οποίες, λόγω των εξωτερικών δυνάμεων που αντιτίθενται στην κίνηση (π.χ. τριβές, αντιστάσεις κ.ά.), παρατηρείται μείωση του πλάτους της ταλάντωσης, οπότε και μείωση της ενέργειας της ταλάντωσης. Οι δυνάμεις που αντιτίθενται στην κίνηση μετατρέπουν την δυναμική και κινητική ενέργεια από το ταλαντούμενο σύστημα σε θερμική, που αποδίδεται στο περιβάλλον. Το φαινόμενο της ελάττωσης του πλάτους λέγεται απόσβεση και θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο. Μια περίπτωση που μπορεί να αναφερθεί είναι αυτή της δύναμης απόσβεσης λόγω τριβών, η οποία είναι ανάλογη της ταχύτητας του σώματος που ταλαντώνεται (Young, 1994).

Τέτοια συμπεριφορά έχουν οι δυνάμεις τριβής που ασκούνται κατά τη ροή ιξώδους ρευστού, όπως συμβαίνει στους αποσβεστήρες ταλαντώσεων, η αλλιώς, τα αμορτισέρ (Young, 1994).



Εικόνα 3: Φθίνουσα ταλάντωση.

Πηγή: <https://brilliant.org/wiki/damped-harmonic-oscillators>

Στην περίπτωση των αποσβεστήρων, παρατηρείται μια πρόσθετη δύναμη στο σώμα λόγω τριβής, την

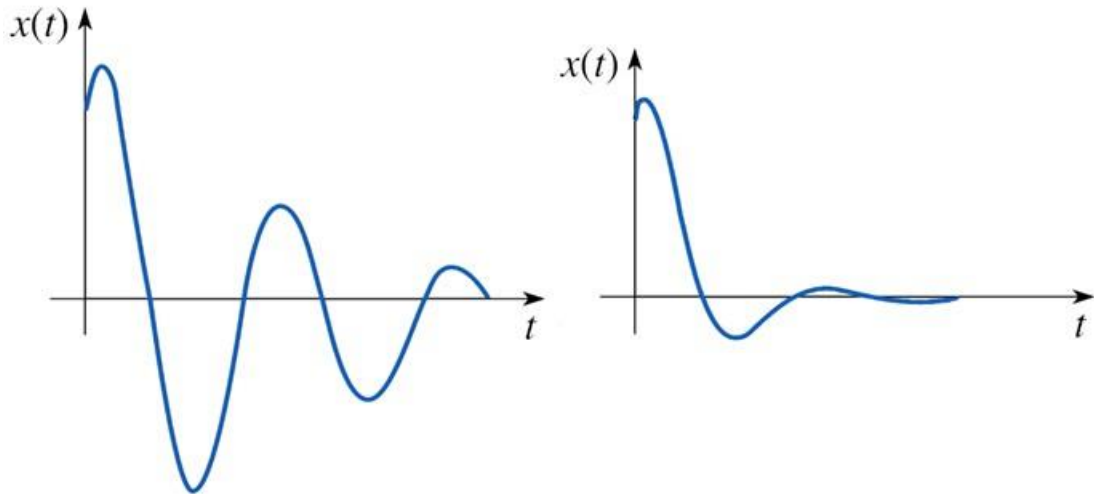
$$F = -b * u$$

Όπου :

- $u = \frac{dx}{dt}$ και είναι η ταχύτητα σε $[\frac{m}{sec}]$.
- b ονομάζεται μια σταθερά απόσβεσης και περιγράφει το πόσο μεγάλη είναι η δύναμη απόσβεσης, οι μονάδες μέτρησης της σταθεράς είναι $[\frac{N*sec}{m}]$.

Το αρνητικό πρόσημο συμβολίζει ότι η δύναμη, είναι πάντοτε αντίθετη στην κατεύθυνση της ταχύτητας και αυτό σημαίνει πρακτικά, ότι “φρενάρει” την ταλάντωση και την αποσβένει. Στο επόμενο κεφάλαιο της απόσβεσης, θα αναφερθούν περισσότερα για τις τιμές της σταθεράς b και για το τι επιδράσεις έχει στην συμπεριφορά της ταλάντωσης, παρόλα αυτά, στην Εικόνα 4 μπορεί κανείς να παρατηρήσει την επίδραση της αύξησης της σταθεράς b σε μια ήδη αποσβεσμένη ταλάντωση.

Στα παρακάτω γραφήματα της Εικόνα 4, παρουσιάζονται δυο γραφικές παραστάσεις ταλαντώσεων, οι οποίες αποσβένονται με την πάροδο του χρόνου, η κάθε μια με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά αυτά αναφέρονται και αναλύονται, στο κεφάλαιο 3.3.2.



Εικόνα 4: Αποσβεννύμενες ταλαντώσεις με διαφορετικά χαρακτηριστικά.

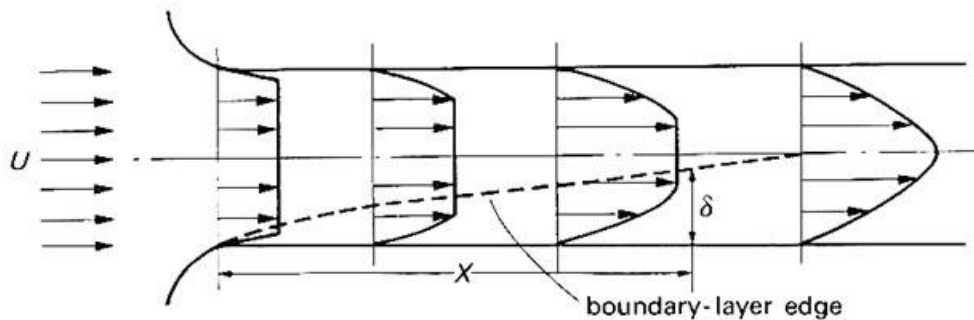
Πηγή: http://www.met.reading.ac.uk/pplato2/h-flap/phys5_5.html

3.2 Δυναμική ρευστών

Ρευστό ονομάζεται μια ποσότητα ύλης, που έχει την ικανότητα να ρέει και να παίρνει το σχήμα του δοχείου που το περιέχει. Όλα τα ρευστά είναι σε κάποιο βαθμό συμπιεστά και παρουσιάζουν μικρή αντίσταση σε αλλαγές του σχήματος τους. Διακρίνονται σε υγρά και αέρια και παρουσιάζουν κάποιες διαφορές. Μια από αυτές είναι ότι, τα υγρά είναι πρακτικά, ασυμπίεστα, ενώ τα αέρια είναι συμπιεστά (Giles & Μέγγος, 1976). Για να μελετηθεί η μηχανική των ρευστών προϋποθέτει την γνώση κάποιων βασικών εννοιών οι οποίες περιγράφουν ένα ρευστό, όπως η πυκνότητα, το ιξώδες ή αλλιώς συνεκτικότητα, το τι είναι πίεση, τι είναι διατμητικές τάσεις και άλλα (Giles & Μέγγος, 1976).

3.2.1 Ροή ρευστού σε αγωγό

Το κομμάτι της μηχανικής των ρευστών που θα αναλυθεί στην εργασία αυτή, είναι αυτό της ροής των ρευστών. Η ροή ενός ρευστού μπορεί να είναι εξαιρετικά πολύπλοκη. Όμως μερικές καταστάσεις μπορούν να εξηγηθούν με σχετικά απλά μοντέλα. Για παράδειγμα, όταν ένα ρευστό ρέει μέσα σε ένα αγωγό, εξαιτίας διατμητικών τάσεων που οφείλονται στην παρουσία του τοιχώματος του αγωγού, επιβραδύνεται το ρευστό κοντά στο τοίχωμα και θεωρητικά, η ταχύτητα του είναι μηδέν. Αυτό φαίνεται και παρακάτω στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5: Επίδραση διατμητικών τάσεων κατά τη ροή ρευστού σε αγωγό.

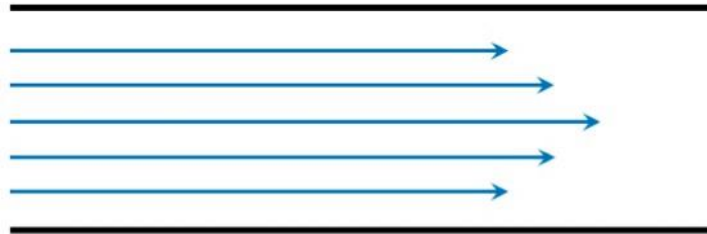
Πηγή:http://www.bg.ic.ac.uk/research/k.parker/homepage/Mechanics%20of%20the%20Circulation/Chap_05/_Chapter_05.htm

Ένα δεύτερο στρώμα, που έχει επαφή με το πρώτο, εξαιτίας μικρότερων σε μέτρο διατμητικών τάσεων ξεκινά να ρέει, αν και πολύ αργά. Ένα τρίτο στρώμα, σε μία πιο απομακρυσμένη επιφάνεια, κινείται γρηγορότερα από το δεύτερο κ.ο.κ.

Συνοψίζοντας λοιπόν, η ταχύτητα ροής του ρευστού αυξάνεται σύμφωνα με την απόσταση από το τοίχωμα προς το κέντρο του αγωγού. Τέλος, υπάρχουν δύο τύποι μόνιμης ροής πραγματικών ρευστών, για τους οποίους ισχύουν διαφορετικοί νόμοι. Ο πρώτος τύπος, ονομάζεται στρωτή ροή και ο δεύτερος τύπος ονομάζεται τυρβώδης ροή.

3.2.2 Στρωτή και τυρβώδης ροή

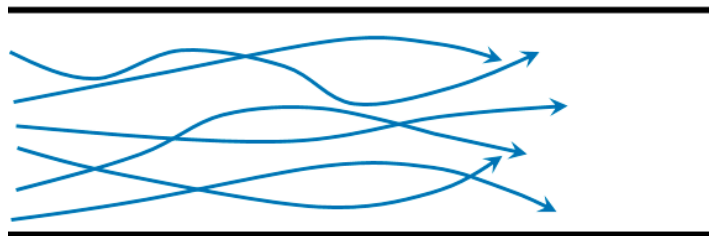
Στη στρωτή ροή (laminar), τα σωματίδια του ρευστού κινούνται κατά μήκος παράλληλων τροχιών κατά στρώσεις. Τα μέτρα των ταχυτήτων των γειτονικών στρώσεων, δεν είναι ίδια. Η στρωτή ροή διέπεται από το νόμο που συσχετίζει τις διατμητικές τάσεις, με τη μεταβολή της γωνιακής παραμόρφωσης, δηλαδή το γινόμενο της συνεκτικότητας του ρευστού (η αλλιώς του ιξώδες) και της κλίσης της ταχύτητας. Η συνεκτικότητα του ρευστού κυριαρχεί και έτσι αποτρέπει κάθε τάση για τυρβώδη ροή.



Εικόνα 6: Στρωτή ροή ρευστού σε αγωγό.

Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laminar_and_turbulent_flows.svg

Πάνω από μία ορισμένη ταχύτητα, τα στρώματα εξαφανίζονται και τα σωματίδια του ρευστού αρχίζουν να ρέουν διαταραγμένα, έτσι ώστε ακόμη και αν το σύνολο της ροής κινείται προς μια καθορισμένη κατεύθυνση, κάθε ένα σωματίδιο του �ευστού να κινείται προς μια τυχαία κατεύθυνση. Αυτός ο τύπος ροής ονομάζεται τυρβώδης (turbulent) και είναι αδύνατο να προσδιοριστεί η κίνηση ενός συγκεκριμένου σωματιδίου.

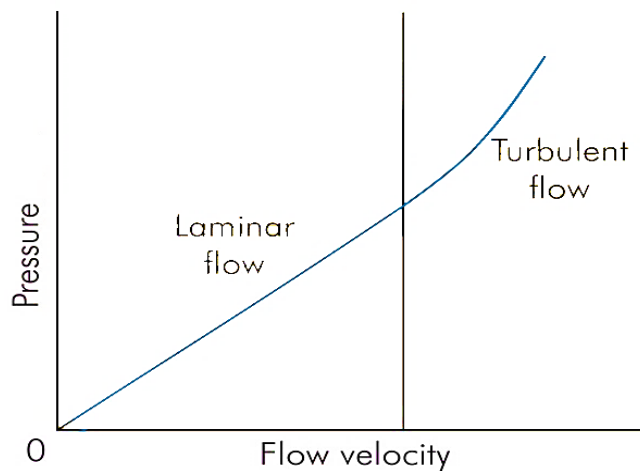


Εικόνα 7: Τυρβώδης ροή ρευστού σε αγωγό.

Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laminar_and_turbulent_flows.svg

Η αντίσταση που προσφέρεται από ένα ρευστό που κινείται με στρωτή ροή, αυξάνεται γραμμικά με την ταχύτητα του, ενώ η αντίσταση που προσφέρεται από ένα ρευστό που

κινείται με τυρβώδη ροή, αυξάνεται παραβολικά, ενώ μεταξύ των δύο καταστάσεων υπάρχει μία μεταβατική περιοχή. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται και στην Εικόνα 8 παρακάτω, μέσω της απλής γραφικής παράστασης.



Εικόνα 8: Επίδραση της ταχύτητας του ρευστού στην ροή του. Γράφημα ταχύτητας ροής – πίεσης, όπου από την αρχή των αξόνων (0,0) έως τη κάθετη στον x άξονα, η πίεση αυξάνεται γραμμικά σε σχέση με την ταχύτητα (στρωτή ροή) και έπειτα, αυξάνεται παραβολικά, σε σχέση με την ταχύτητα (τυρβώδης ροή).

Πηγή:http://www.schoolphysics.co.uk/age1619/Properties%20of%20matter/Fluid%20flow/text/Laminar_and_turbulent_flow/index.html

3.3 Απόσβεση

Στο προηγούμενο κεφάλαιο των ταλαντώσεων (παράγραφος 3.1) είχαν αναφερθεί δύο διαφορετικές μορφές ταλάντωσης, αυτή της απλής αρμονικής ταλάντωσης και αυτή της αποσβεννύμενης η αλλιώς, φθίνουσας ταλάντωσης. Η περίπτωση της απλής αρμονικής ταλάντωσης είναι μια ιδανική κατάσταση και υπό πραγματικές συνθήκες δεν θα την συναντήσει κάποιος σαν φυσικό φαινόμενο, στην καθημερινότητα. Αντιθέτως, η περίπτωση της αποσβεννύμενης ταλάντωσης, συναντάται καθημερινά και αρκετοί μηχανικοί την μελετούν συνεχώς σε διάφορα προβλήματα.

Μελετώντας ένα πραγματικό σύστημα που ταλαντώνεται και έχει τριβές θα παρατηρηθεί ότι, στην περίπτωση που δεν υπάρχει κάποια εξωτερική δύναμη, η οποία αντικαθιστά τη μηχανική ενέργεια που πάει χαμένη λόγω των τριβών αυτών, το πλάτος της ταλάντωσης του συστήματος μειώνεται εκθετικά, έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο των ταλαντώσεων με απόσβεση (παράγραφος 3.1.2). Η απόσβεση λοιπόν είναι μια δύναμη που πηγάζει από διάφορες μορφές τριβών και αντιστέκεται στην κίνηση της ταλάντωσης.

Με άλλα λόγια, είναι μια δύναμη αντίθετη στην κατεύθυνση της ταχύτητας. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι που μπορεί να αποσβέσει κάποιος μια ταλάντωση και αυτοί εξαρτώνται από κάποιες βασικές παραμέτρους. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούν κάποιες μορφές απόσβεσης, οι οποίες εξαρτώνται από την τιμή της σταθεράς b .

Αρχικά, κάθε εφαρμογή που απαιτεί απόσβεση έχει διαφορετικές απαιτήσεις. Για παράδειγμα, ένα όχημα δύο τόνων απαιτεί διαφορετικές παραμέτρους απόσβεσης απ' ό,τι ένα όχημα ενός τόνου. Ο λόγος που απαιτεί διαφορετικές παραμέτρους απόσβεσης εξαρτάται από διάφορους φυσικούς συντελεστές που έχουν να κάνουν με την μάζα, την ιδιοσυχνότητα του συστήματος, το πλάτος της ταλάντωσης και αναφέρονται στο κεφάλαιο 3.3.1, παρακάτω.

3.3.1 Βασικές παράμετροι απόσβεσης

Έστω ότι έχουμε ένα σύστημα που ταλαντώνεται και φέρει αποσβεστήρα ταλαντώσεων, ο οποίος παράγει μια δύναμη απόσβεσης. Δίνοντας στο σύστημα μια αρχική μετατόπιση πλάτους A , ξεκινάει να παλινδρομεί. Η κίνηση αυτή περιγράφεται από την σχέση:

$$x = Ae^{-(b/2m)t} \cos(\omega_d t)$$

(Young, 1994)

Όπου:

- ω_d : η γωνιακή συχνότητα της ταλάντωσης σε $[\frac{rad}{sec}]$.
- A : το πλάτος της ταλάντωσης σε $[m]$.
- m : η μάζα του συστήματος σε $[kg]$.
- t : ο χρόνος σε $[sec]$.

Ακόμα, η γωνιακή συχνότητα ω_d της ταλάντωσης περιγράφεται από τη σχέση:

$$\omega_d = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{b^2}{4m^2}}$$

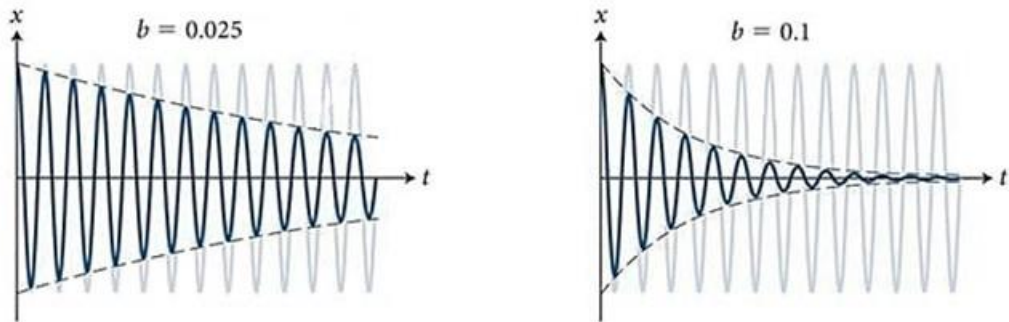
(Young, 1994)

Όπου:

- k η σταθερά επαναφοράς της ταλάντωσης σε $[\frac{N}{m}]$ και εξαρτάται από τα φυσικά χαρακτηριστικά του συστήματος που κάνει ταλάντωση.
- m η μάζα του συστήματος σε $[kg]$.

Η κίνηση που περιγράφεται από την εξίσωση απομάκρυνσης x διαφέρει από την περίπτωση όπου δεν υπάρχει απόσβεση σε δυο σημεία.

Πρώτον, το πλάτος $Ae^{-(b/2m)t}$ δεν είναι σταθερό, αλλά ελαττώνεται με την πάροδο του χρόνου, λόγω του εκθετικού παράγοντα $e^{-(b/2m)t}$. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του b , τόσο γρηγορότερα μειώνεται το πλάτος. Αυτό φαίνεται και στην Εικόνα 9 παρακάτω (Young, 1994).



Εικόνα 9: Επίδραση της σταθεράς b στην εκθετική μείωση του πλάτους.

Πηγή: <http://slideplayer.com/slide/9341864>

Δεύτερον, η γωνιακή συχνότητα ω_d , που δίνεται από την παραπάνω εξίσωση, δεν είναι πλέον ίδια με την γνωστή $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$, αλλά είναι λίγο μικρότερη, λόγω του όρου που ακολουθεί. Τέλος, μηδενίζεται όταν το b γίνει τόσο μεγάλο ώστε να είναι ίσο με:

$$b = 2\sqrt{km}$$

(Young, 1994)

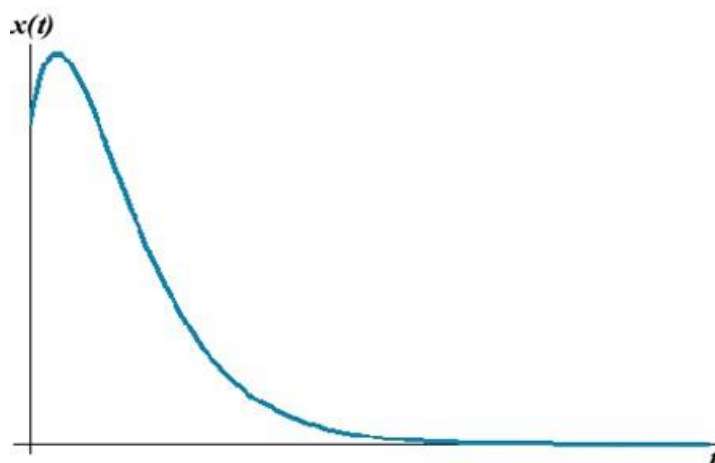
Όπου:

- k και m είναι τα ίδια με παραπάνω.

3.3.2 Καταστάσεις απόσβεσης

Όλα τα παραπάνω είναι αναγκαία ώστε να κατανοηθούν κάποιες βασικές καταστάσεις απόσβεσης, οι οποίες κάτω από σωστή μελέτη των αποσβεστών αλλά και του εκάστοτε συστήματος, είναι εφικτό να επιτευχθούν και στην πράξη όπως για παράδειγμα στα οχήματα και συγκεκριμένα στο σύστημα ανάρτησης αυτών. Σίγουρα, υπάρχουν ειδικά μαθηματικά μοντέλα τα οποία προσεγγίζουν την συμπεριφορά του συστήματος ανάρτησης. Άλλα με απλό τρόπο και άλλα με πιο σύνθετο. Οι βάσεις για να μελετηθούν αυτά παρουσιάζονται παρακάτω.

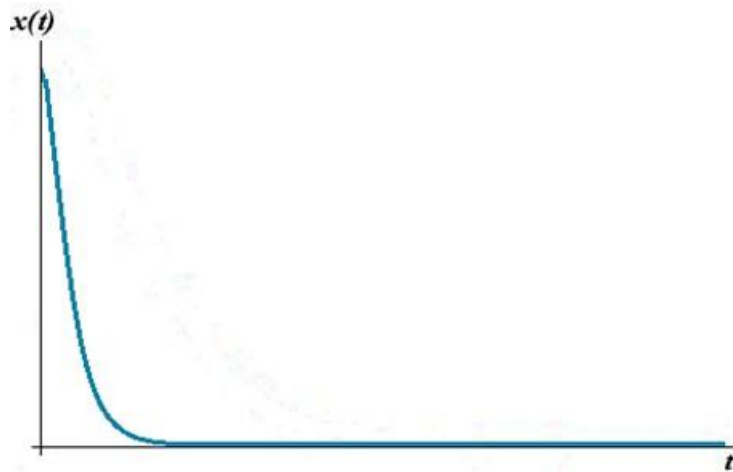
Όταν η παραπάνω εξίσωση ($b = 2\sqrt{km}$) ικανοποιείται, τότε λέμε ότι το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση κρίσιμης απόσβεσης. Όταν το σύστημα βρίσκεται σε αυτή την κατάσταση, τότε η δυναμική απόκριση του συστήματος φθίνει εκθετικά προς την κατάσταση ηρεμίας χωρίς ταλαντώσεις, όπως φαίνεται στην Εικόνα 10 παρακάτω.



Εικόνα 10: Κρίσιμη απόσβεση ταλάντωσης.

Πηγή: http://www.met.reading.ac.uk/pplato2/h-flap/phys5_5.html

Όταν η τιμή της σταθεράς b ξεπερνά την τιμή της παραπάνω εξίσωσης, δηλαδή είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στην περίπτωση της κρίσιμης ταλάντωσης, τότε το σύστημα πάλι δεν ταλαντώνεται καθόλου, φθίνει ξανά εκθετικά, όμως με πιο 'απότομο' τρόπο θα έλεγε κανείς. Αυτή η κατάσταση ονομάζεται κατάσταση υπερκρίσιμης απόσβεσης και φαίνεται στην Εικόνα 11 παρακάτω.

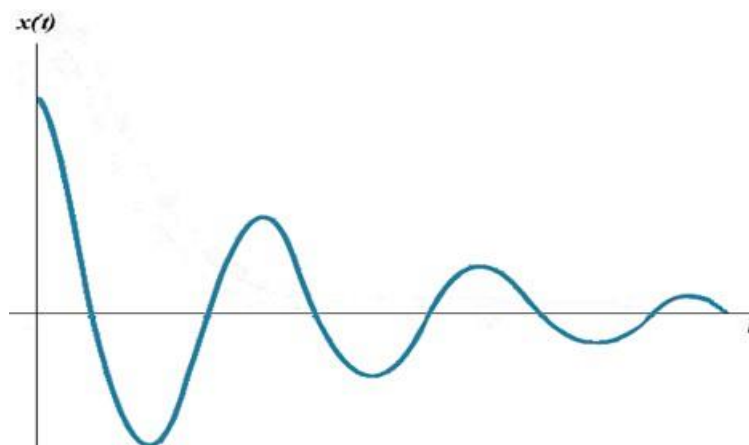


Εικόνα 11: Υπερκρίσιμη απόσβεση ταλάντωσης.

Πηγή: http://www.met.reading.ac.uk/pplato2/h-flap/phys5_5.html

Η τρίτη κατάσταση απόσβεσης εμφανίζεται όταν η τιμή της σταθεράς b είναι μικρότερη από αυτή της κρίσιμης τιμής και ονομάζεται κατάσταση υποκρίσιμης απόσβεσης. Η κατάσταση αυτή είναι η πιο συνηθισμένη στην πράξη. Ενδεικτικά, να αναφερθεί ότι, η τιμή της σταθεράς απόσβεσης για μεταλλικές κατασκευές είναι 0.005 και για λάστιχο 0.04. Στη παρακάτω Εικόνα 12 φαίνεται ότι η ταλάντωση δεν αποσβένεται άμεσα, συγκριτικά με τις προηγούμενες περιπτώσεις.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα υποκρίσιμης απόσβεσης ταλαντώσεων είναι ένα όχημα με φθαρμένους αποσβεστήρες, το οποίο έπειτα από τη διέλευση πάνω από ανομοιομορφία στο δρόμο συνεχίζει να ταλαντώνεται και η ταλάντωση αποσβένεται υποκρίσιμα.



Εικόνα 12: Υποκρίσιμη απόσβεση ταλάντωσης.

Πηγή: http://www.met.reading.ac.uk/pplato2/h-flap/phys5_5.html

Ο ρόλος των αποσβεστήρων ταλαντώσεων (αμορτισέρ) στο σύστημα ανάρτησης των αυτοκινήτων είναι, να εξασφαλίζουν δύναμη απόσβεσης, τέτοια ώστε όταν το αυτοκίνητο περνά πάνω από ένα εξόγκωμα του δρόμου, να μη συνεχίζει να αναπηδά επ' αορίστο. Για να βελτιστοποιηθεί η άνεση των επιβατών, θα πρέπει το σύστημα να είναι κρίσιμα αποσβεσμένο ή ελαφρώς υποκρίσιμα αποσβεσμένο. Καθώς οι αποσβεστήρες ταλαντώσεων παλιώνουν και φθείρονται, η τιμή του b ελαττώνεται και η αναπήδηση διαρκεί περισσότερο. Δεν είναι μόνον ότι προκαλεί ναυτία ,αλλά είναι και κακό για άλλα συστήματα του αυτοκινήτου για τον λόγο ότι οι ρόδες έχουν λιγότερη επαφή με το έδαφος αλλά και για πολλά άλλα (Young, 1994).



Εικόνα 13: Υδραυλικός τηλεσκοπικός αποσβεστήρας ταλαντώσεων διπλού σωλήνα.

Πηγή:<https://www.koni.com/Cars/Technology/Working-Principles>

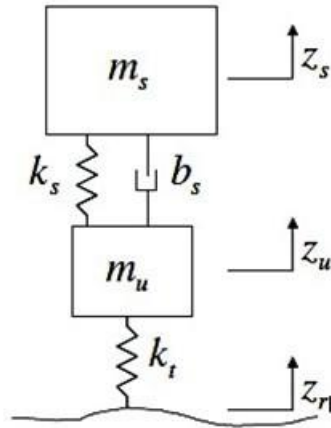
4 Αποσβεστήρας ταλαντώσεων

4.1 Αναρτημένες και μη αναρτημένες μάζες

Ο πιο απλός τρόπος σύνδεσης του αμαξώματος του αυτοκινήτου με τους άξονες των τροχών θα ήταν με μια σταθερή άκαμπτη στήριξη, όπως παραδείγματος χάρη σε ένα κάρο. Μια κατασκευή όμως αυτού του είδους, έχει το μειονέκτημα ότι θα μεταβιβάζει όλους τους κραδασμούς και τις ανωμαλίες του οδοστρώματος προς τα επάνω, 'αφιλτράριστες'. Οι κραδασμοί αυτοί ενεργούν εις βάρος της ευστάθειας του οχήματος και μπορεί να προκαλέσουν ζημιές στο όχημα, στο μεταφερόμενο φορτίο και φυσικά στους επιβάτες, για τους οποίους είναι ενοχλητικοί και επικίνδυνοι (Καλλικούρδη & Βάου, 1978).

Για να ελαττωθεί το σοβαρό αυτό μειονέκτημα, έπρεπε με κάποιο τρόπο να διαχωριστεί το μέρος του οχήματος που φέρει τους διάφορους μηχανισμούς, από τις σταθερές συνδέσεις. Δηλαδή, να ανεξαρτητοποιηθούν οι επιβάτες, το φορτίο, το αμάξιμα, ο κινητήρας, από, τους άξονες, τις ατράκτους, τους τροχούς που έρχονται σε επαφή με το οδόστρωμα και τις ανωμαλίες του (Καλλικούρδη & Βάου, 1978).

Με λίγα λόγια, έπρεπε να στερεωθεί, η μάλλον να αναρτηθεί το αμάξιμα επάνω στους άξονες ή το αντίθετο, με τέτοιο τρόπο, ώστε να μη μεταδίδονται οι κραδασμοί που δημιουργούνται από την κίνηση του οχήματος επάνω στις ανωμαλίες του δρόμου ή τουλάχιστον, να μεταδίδονται με πολύ μειωμένη ένταση. Αυτή η κατάσταση έγινε εφικτή με τη χρήση ελατηρίων ανάρτησης, τα οποία τοποθετήθηκαν ανάμεσα στην αναρτημένη και την μη αναρτημένη μάζα. Γι' αυτό λοιπόν ορίστηκε το εξής, το μέρος του αυτοκινήτου, που είναι επάνω από τα ελατήρια, το ονομάζουμε αναρτημένο μέρος η αλλιώς αναρτημένη μάζα, ενώ τους τροχούς, τους άξονες τον τροχών και ότι βρίσκεται κάτω από τα ελατήρια, μαζί με τα ίδια τα ελατήρια, τα ονομάζουμε μη αναρτημένο μέρος ή αλλιώς μη αναρτημένη μάζα (Καλλικούρδη & Βάου, 1978).

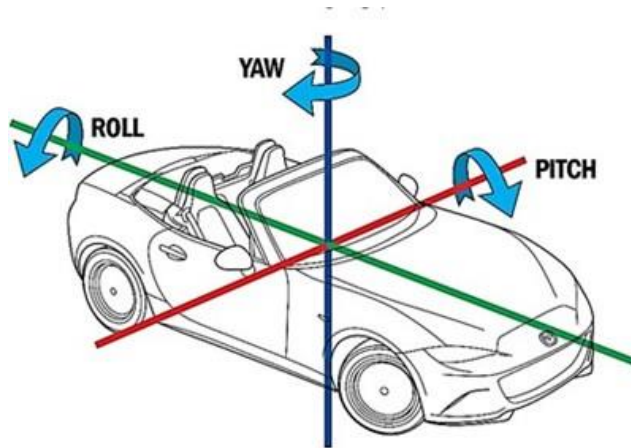


Εικόνα 14: Σκαρίφημα μοντέλου αναρτημένης και μη αναρτημένης μάζας του ¼ του συστήματος ανάρτησης ενός αυτοκινήτου.

Πηγή:<http://www.expertsmind.com/questions/derive-the-solution-of-the-characteristic-equation-30144110.aspx>

Μεταξύ αναρτημένου και μη αναρτημένου τμήματος του αυτοκινήτου δεν είναι μόνο οι δυνάμεις του βάρους που ενεργούν, αλλά και οι δυνάμεις που μεταβιβάζουν οι τροχοί προς το αμάξωμα για να το θέσουν σε κίνηση όπως και οι δυνάμεις αδράνειας, που το αμάξωμα μεταβιβάζει στους τροχούς. Οι δυνάμεις αδράνειας, αντιδρούν σε κάθε αλλαγή της κινητικής του κατάστασης. Όταν δηλαδή ένα αυτοκίνητο κινείται, αντιδρούν στο σταμάτημα, και όταν είναι σταματημένο, στην εκκίνηση του, με αποτέλεσμα, η αδράνεια αυτή να δημιουργεί σοβαρές σε μέτρο δυνάμεις μεταξύ του αναρτημένου και του μη αναρτημένου μέρους (Καλλικούρδη & Βάου, 1978).

Η αναρτημένη μάζα είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από τη μη αναρτημένη μάζα, οπότε οι κινήσεις της γύρω από τους άξονες, όπως, περιστροφή γύρω από το διαμήκη, εγκάρσιο ή κάθετο άξονα, συμβαίνουν σε χαμηλότερη ταχύτητα όμως, σε μεγαλύτερα πλάτη από ότι οι κινήσεις των μη αναρτημένων μαζών (Panzieri, Κινήσεις αναρτημένων και μη αναρτημένων μαζών, 2014). Αυτό είναι εύκολο να παρατηρηθεί στο δρόμο, παρατηρώντας ένα αυτοκίνητο να περνάει πάνω από ανομοιόμορφο οδόστρωμα και συγκεκριμένα, δίνοντας έμφαση στην περιοχή του τροχού.



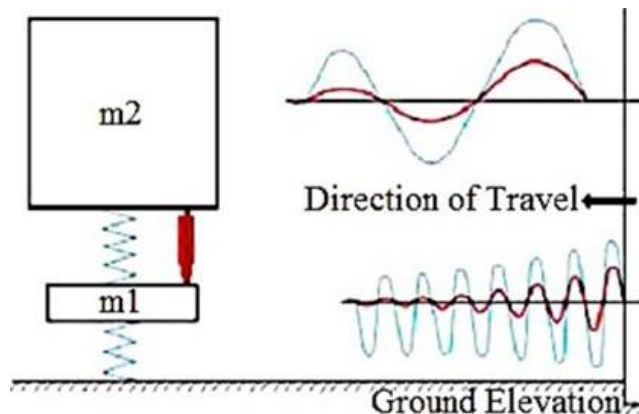
Εικόνα 15: Άξονες περιστροφής αυτοκινήτου. Roll: Διαμήκης, Pitch: Εγκάρσιος, Yaw: Κάθετος.

Πηγή:<http://dsportmag.com/the-cars/new-brakes-tires-aero-chassis-parts-project-mazda-mx-5-miata-part-four>

Στην πραγματικότητα, εάν η διάταξη της ανάρτησης είναι τέτοια ώστε ο τροχός, τα ελατήρια και οι αποσβεστήρες κινούνται με τις ίδιες ταχύτητες τότε:

- Η περιστροφή γύρω από τον διαμήκη, εγκάρσιο και κάθετο άξονα συμβαίνει σε μία ταχύτητα μεταξύ 0 και $0.13 \left[\frac{m}{sec} \right]$.
- Η περιστροφή ως προς τον κάθετο άξονα μεταξύ 0 και $0.39 \left[\frac{m}{sec} \right]$.
- Οι ταλαντώσεις και το τίναγμα της ανάρτησης, μέχρι περισσότερο ή λιγότερο από $2.5 \left[\frac{m}{sec} \right]$.

Φυσικά, αυτά τα δεδομένα είναι κατά προσέγγιση και μπορούν να αλλάξουν κατά πού ανάλογα με το αυτοκίνητο, τα βάρη και τους μοχλοβραχίονες στήριξης (Panzieri, Κινήσεις αναρτημένων και μη αναρτημένων μαζών, 2014).

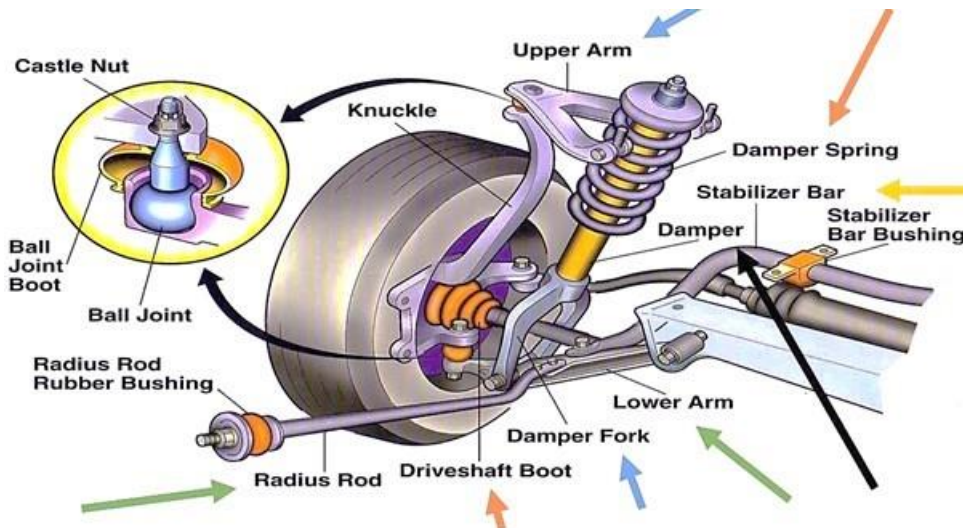


Εικόνα 16: Ταλαντώσεις αναρτημένης και μη αναρτημένης μάζας.

Πηγή:http://ijer.irponline.in/ijer/publication/v2s7/IJER_2013_712.pdf

4.1.1 Επιδράσεις αναρτημένης και μη αναρτημένης μάζας

Η μάζα του τροχού επηρεάζει άμεσα την ικανότητα του ως προς το να ακολουθεί ένα ανομοιόμορφο οδόστρωμα, αλλά και την ικανότητα του να εξαλείφει η καλύτερα, να αποσβένει, κάποιους κραδασμούς. Οι επιφανειακές ατέλειες και οι ανωμαλίες του δρόμου προκαλούν συμπίεση του ελαστικού το οποίο φαινόμενο έχει σαν αποτέλεσμα να μεταφέρονται και να ασκούνται δυνάμεις στην μη αναρτημένη μάζα, που με την σειρά της αντιδρά σε αυτές τις δυνάμεις με την μετατόπιση της.

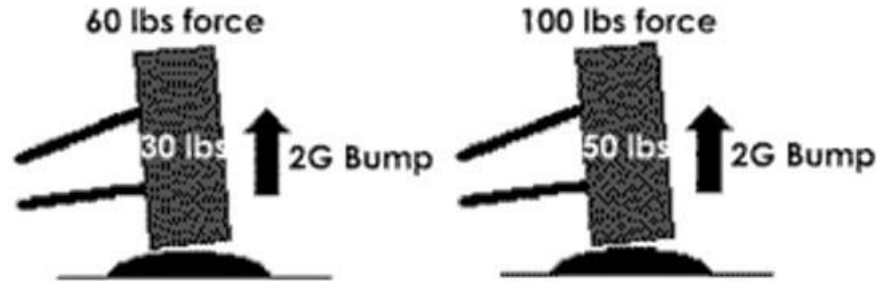


Εικόνα 17: Διάταξη μη αναρτημένης μάζας αυτοκινήτου.

Πηγή: <https://www.quora.com/What-is-suspension-system>

Σε περιπτώσεις μικρών ατελειών του δρόμου, οι οποίες δημιουργούν ταλαντώσεις υψηλών συχνοτήτων, το πλάτος της κίνησης του τροχού και γενικά της μη αναρτώμενης μάζας, είναι ανάλογο με την μάζα της. Γι' αυτό τον λόγο δίνεται μεγάλη έμφαση από τους κατασκευαστές στην μάζα του τροχού, της βάσης του, των φρένων, της ζάντας και του ελαστικού. Μια διάταξη των παραπάνω με μικρή μάζα, παρουσιάζει περισσότερη πρόσφυση όταν κινείται πάνω σε ανώμαλο οδόστρωμα με μικρές ανομοιομορφίες για τον εξής λόγο: οι δυνάμεις που προκαλούνται από τις μικρές ανομοιομορφίες και θέτουν σε κίνηση, τη μη αναρτημένη μάζα, όπως είναι γνωστό, μεταφέρονται στα ελατήρια. Έχοντας ελαφριά μη αναρτημένη μάζα, το ποσό της κινητικής ενέργειας που αποκτάει είναι μικρότερο, συγκριτικά το ποσό που θα αποκτούσε μια μεγαλύτερη σε βάρος μη αναρτημένη μάζα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να προκαλείται μικρότερη συμπίεση του ελατηρίου.

Η δύναμη που θα αναπτύξει το ελατήριο θα είναι μικρότερη σε μέτρο και ο τροχός θα επιστρέψει στο οδόστρωμα, έχοντας καλύτερη επαφή, συνεπώς και πρόσφυση. Για αυτό τον λόγο, οι ελαφρύτεροι τροχοί χρησιμοποιούνται ειδικά σε εφαρμογές υψηλής απόδοσης.



Εικόνα 18: Επίδραση βάρους μη αναρτημένης μάζας.

Πηγή: http://www.formula1-dictionary.net/unsprung_weight.html

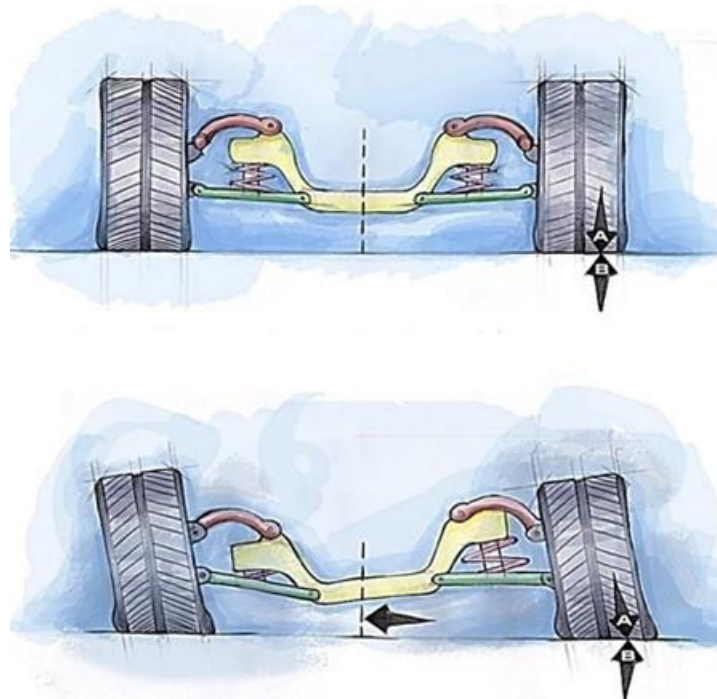
Τα ελαστικά έχουν την ιδιότητα ελατηρίου και αποσβεστήρα. Δηλαδή, μπορούν να συμπιέζονται και επανέρχονται ξανά στην αρχική τους κατάσταση. Όμως, η απόσβεση που μπορεί να προσφέρει ένα ελαστικό είναι πολύ περιορισμένη. Οι αποσβεστήρες ταλαντώσεων, όπως έχει αναφερθεί και παρακάτω, αποσβένουν τις ταλαντώσεις του ελατηρίου. Για να είναι σε θέση να αποσβέσουν τις ταλαντώσεις που δημιουργούνται από την συμπίεση και την εκτόνωση των ελαστικών, πρέπει να αποδίδουν ικανοποιητικές σε μέτρο δυνάμεις απόσβεσης, στο εύρος των ταλαντώσεων αυτών των συχνοτήτων και αυτού του πλάτους (Wikipedia, 2007).

Πλεονέκτημα λοιπόν της μικρής σε βάρος μη αναρτημένης μάζας είναι, η παροχή πρόσφυσης όταν το αυτοκίνητο διασχίζει οδόστρωμα με ανωμαλίες και αυτός είναι ένας λόγος για τον οποίο οι κατασκευαστές αυτοκινήτων χρησιμοποιούν ελαφριές ζάντες, παραδείγματος χάρη αλουμινίου. Όμως αυτό έχει επίδραση στην άνεση των επιβατών, για τον λόγω του ότι οι ήχοι και δονήσεις που προκαλούνται δεν εξαλείφονται πλήρως. Παρ' όλα αυτά, χρησιμοποιούνται διάφορα ελαστικά στοιχεία ανάμεσα στην ανάρτηση και το αμάξωμα, όπως σάιλεντ μπλοκ ή rubber για το φιλτράρισμα των συχνοτήτων αυτών (Wikipedia, 2007).

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, η αναρτημένη μάζα αναρτάται πάνω στα ελατήρια του αυτοκινήτου. Η ακαμψία των ελατηρίων είναι αυτή που καθορίζει το πώς θα συμπεριφερθεί η αναρτημένη μάζα, όταν το αυτοκίνητο κινείται και εκτελεί ταλαντώσεις.

Τα ελατήρια με χαμηλή ακαμψία, κοινώς ‘μαλακά’ ελατήρια ή ελατήρια με μικρή σταθερά ελατηρίου k , παρέχουν κινήσεις μικρότερης ταχύτητας σε σχέση με ελατήρια υψηλής σταθεράς k και αυτός είναι ένας λόγος, για τον οποίο τοποθετούνται από τους κατασκευαστές σε εφαρμογές που απαιτείται άνετη οδήγηση.

Με λίγα λόγια, έχουν την ιδιότητα να ακολουθούν το σχήμα του οδοστρώματος με πιο ομαλό τρόπο, μαζί με τα μειονεκτήματα που μπορεί να έχει αυτό, όπως παραδείγματος χάρη το λεγόμενο body roll στην περίπτωση που το αυτοκίνητο στρίβει (Abhishek, 2011).



Εικόνα 19: Φαινόμενο body roll, όταν το αυτοκίνητο στρίβει.

Πηγή http://trackpedia.winhpde.com/wiki/Suspension_basics

Όσο πιο βαριά είναι η αναρτημένη μάζα του οχήματος, τόσο περισσότερη δύναμη χρειάζεται το όχημα για να κινηθεί. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να ασκούνται δυνάμεις στα ελατήρια, οι οποίες μεταφράζονται σε ταλαντώσεις από αυτά και καλούνται να αποσβεστούν, από τους αποσβεστήρες. Τα χαρακτηριστικά των ταλαντώσεων αυτών συνδέονται άμεσα με το βάρος την αναρτημένης μάζας και πρακτικά επηρεάζουν την συμπεριφορά του αυτοκινήτου σε θέματα χειρισμού. Αυτός είναι και ένας λόγος για τον οποίο οι κατασκευαστές τείνουν να μειώνουν σε βάρος και την αναρτημένη μάζα με την χρήση υλικών που προσφέρουν μεγαλύτερη αντοχή, με μικρότερο βάρος (Abhishek, 2011).

4.1.2 Η αναλογία της αναρτημένης προς τη μη αναρτημένη μάζα

Η επίδραση της αναρτημένης και της μη αναρτημένης μάζας ενός αυτοκινήτου στο κομμάτι της απόσβεσης λαμβάνει πρωταρχικό ρόλο. Οι συνέπειες του βάρους της αναρτημένης και της μη αναρτημένης μάζας, στην συμπεριφορά του αυτοκινήτου, έχουν αναφερθεί παραπάνω και είναι ξεκάθαρο ότι απασχολεί αρκετά τους σχεδιαστές των αυτοκινήτων.

Ένα σύστημα ανάρτησης, όπως είναι γνωστό, πρέπει να είναι έχει την ικανότητα να κρατάει τους τροχούς στο οδόστρωμα, εξασφαλίζοντας την καλύτερη δυνατή πρόσφυση και ταυτόχρονα, να μην επιβαρύνει τους επιβάτες σε θέματα άνεσης και ευκολίας στην οδήγηση. Σε αυτό το κεφάλαιο της εργασίας, θα αναφερθούν κάποιες τιμές μέσα στις οποίες η αναρτημένη και η μη αναρτημένη μάζα κυμαίνονται, ώστε να είναι σε θέση το σύστημα ανάρτησης να πετύχει το σκοπό του. Όλα αυτά σχετίζονται άμεσα με την έννοια της απόσβεσης και αυτό μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί, από κάθε μαθηματικό μοντέλο ανάρτησης αυτοκινήτου.

Όπως έχει αναφερθεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι κάθετες δυνάμεις που παράγονται από τις ανομοιομορφίες του δρόμου πρέπει να υπερνικηθούν από τα ελατήρια, για να κρατηθούν οι τροχοί σε επαφή με το οδόστρωμα. Η δύναμη των ελατηρίων είναι ανάλογη με το βάρος του οχήματος που αναρτάται σε αυτά και που όπως είναι λογικό, τα συμπιέζει. Ένα ελαφρύ όχημα θα συμπιέζει ένα ελατήριο λιγότερο, με αποτέλεσμα αυτό να μην αποθηκεύει μεγάλο ποσό ενέργειας. Επομένως, όσο πιο ελαφρύ είναι το όχημα, τόσο μικρότερη δύναμη λόγω συμπίεσης είναι διαθέσιμη και είναι ευκολότερο οι κάθετες μετατοπίσεις των τροχών να υπερνικήσουν την αδράνεια της αναρτημένης μάζας αλλά και να μεταφέρουν την κίνηση τους σε αυτή (Riley, 2010).

Ο ιδανικός συνδυασμός εμφανίζεται όταν η κάθετη δύναμη που ασκείται στο ελαστικό από το ελατήριο αυξάνεται και οι δυνάμεις αδράνειας μειώνονται από υψηλό λόγο αναρτημένης προς μη αναρτημένη μάζα. Η υψηλή αναλογία αποδεδειγμένα κρατάει τους τροχούς σε καλύτερη επαφή με το οδόστρωμα και ταυτόχρονα παράγει καλύτερη και πιο άνετη οδήγηση. Συγκεκριμένα, στα σημερινά 'συμβατικά' οχήματα, το βάρος της μη αναρτημένης μάζας κυμαίνεται, συνήθως, από 13% έως 15% του βάρους όλου του οχήματος.

Για παράδειγμα, εάν ένα όχημα ζυγίζει 1500 [kg], το βάρος της μη αναρτημένης μάζας είναι το πολύ 225 [kg]. Η μη αναρτημένη μάζα των 225 [kg] υπόσχεται να αντιδράει κατευθείαν σε ανομοιομορφίες του οδοστρώματος (Riley, 2010).

Τέλος, ο λόγος της αναρτημένης προς την μη αναρτημένη μάζα πρέπει να είναι πολύ υψηλός, ειδικά κατά τον σχεδιασμό μικρών και ελαφριών αυτοκινήτων. Τα οχήματα αυτά τείνουν να υποφέρουν από υψηλές συχνότητες ταλάντωσης του συστήματος ανάρτησης, σε συνδυασμό με τα μικρά ελαστικά που φέρουν, τα οποία δεν έχουν την ικανότητα να 'φιλτράρουν' και να αποσβένουν κραδασμούς τόσο αποτελεσματικά (Riley, 2010).

4.2 Ορισμός αποσβεστήρα ταλαντώσεων

Η απόσβεση ταλαντώσεων είναι ένα κομμάτι της φυσικής το οποίο οι μηχανολόγοι καλούνται να εφαρμόσουν σε διάφορες εφαρμογές της καθημερινότητας μας. Εξετάζεται από πολλών ειδών μηχανικούς και σε διαφορετικές σε αντικείμενο εφαρμογές, όμως όλες πηγάζουν από κάποιες βασικές αρχές. Όπως είναι αντιληπτό, αυτή η εργασία θα ασχοληθεί με την απόσβεση ταλαντώσεων στο κομμάτι των οχημάτων και αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθεί ειδικά στους αποσβεστήρες που χρησιμοποιούν τα συμβατικά αυτοκίνητα, αυτά δηλαδή που οι περισσότεροι άνθρωποι οδηγούν.

Από πολύ παλιά έγινε φανερή η ανάγκη απόσβεσης των ταλαντώσεων. Τα πρωτόγονα συστήματα τριβής δεν επαρκούσαν σε δυνάμεις απόσβεσης και γι' αυτό αναζητήθηκε ένα σύστημα, το οποίο θα αποσβένει τις ταλαντώσεις πιο αποτελεσματικά. Κάπου εκεί πήραν θέση τα σημερινά αμορτισέρ, ή αλλιώς οι αποσβεστήρες ταλαντώσεων. Το γεγονός του ότι υπάρχουν από πολύ παλιά, δεν σημαίνει ότι γνωρίζουν και ασχολούνται αρκετοί με αυτό το κομμάτι ενός οχήματος, και γι' αυτό τον λόγο κρίθηκε αναγκαίο να εμβαθύνουμε σε αυτό το κομμάτι της εργασίας.



Εικόνα 20: Ξηρή μορφή απόσβεσης με ημιελλειπτικά ελατήρια (σούστες).

Πηγή:<http://suspensionsecrets.co.uk/leaf-springs/?i=1>

4.2.1 Μορφές απόσβεσης με τριβή

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η απόσβεση ταλαντώσεων με τον 'συμβατικό' αποσβεστήρα ταλαντώσεων που ξέρουμε σήμερα και χρησιμοποιείται κατά κόρο στα οχήματα μας, δεν ανακαλύφθηκε 'πρώτη' και δεν είναι η μοναδική μορφή απόσβεσης. Για την ακρίβεια, υπάρχουν τρεις βασικές μορφές απόσβεσης:

- Η απόσβεση με ξηρή τριβή.
- Η απόσβεση με τριβή ρευστού με ιξώδες.
- Η απόσβεση με δυναμική τριβή ρευστού.

Οι παραπάνω μορφές απόσβεσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αναρτήσεις οχημάτων, όμως η κάθε μια έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά και φέρει διαφορετικά αποτελέσματα. Δηλαδή, η απόσβεση με ξηρή τριβή που παρέχουν τα ημιελλειπτικά ελατήρια τύπου σούστας, δεν μπορεί να ανταπεξέλθει πλέον στις απαιτήσεις των σημερινών οχημάτων, γι' αυτό και οι σχεδιαστές χρησιμοποιούν διαφορετική μέθοδο (Dixon, 2007).

Συγκεκριμένα, η ξηρή τριβή που δημιουργείται ανάμεσα σε σκληρά υλικά, δημιουργεί διατμητικές τάσεις οι οποίες είναι ανάλογες με την κάθετη δύναμη που ασκείται σε αυτά. Με αυτό τον τρόπο αποσβένουν τα ημιελλειπτικά ελατήρια. Όμως αυτή η μέθοδος είναι ευαίσθητη στην θερμοκρασία γι' αυτό και κατά την λειτουργία της καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, η απόδοση τους μειώνεται (Dixon, 2007).

Για τη δεύτερη μέθοδο απόσβεσης, ισχύει το εξής: η τριβή που αναπτύσσεται μέσω της τριβής ρευστού με ιξώδες είναι ανάλογη με την παροχή που ρέει το ρευστό. Αυτό το φαινόμενο είναι αρκετά επιθυμητό. Όμως, δυστυχώς, η συνεκτικότητα των ρευστών επηρεάζεται πολύ από την θερμοκρασία και μετά από ένα σημείο η απόσβεση που προσφέρει δεν είναι επαρκής. Ακόμα, έχει παρατηρηθεί ότι σε πολύ χαμηλή παροχή, η δύναμη απόσβεσης είναι αρκετά μικρή σε μέτρο και καθώς αυξάνεται η παροχή, η δύναμη απόσβεσης αυξάνεται πάρα πολύ, το οποίο φαινόμενο είναι ανεπιθύμητο (Dixon, 2007).

Η τρίτη μέθοδος απόσβεσης είναι και αυτή που έχει κυριαρχήσει μέχρι τώρα και χρησιμοποιείται στους τηλεσκοπικούς αποσβεστήρες, σαν αυτό που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής (Εικόνα 22). Αυτή η μέθοδος εφαρμόζει φαινόμενα της δυναμικής των ρευστών για να επιτύχει την επιθυμητή τριβή και τελικά την δύναμη απόσβεσης. Με την χρήση βαλβίδων μεταβλητής διατομής, οι οποίες είναι ευαίσθητες στην πίεση επιτυγχάνεται η επιθυμητή δύναμη απόσβεσης, η οποία είναι σχεδόν ανάλογη με την ταχύτητα. Τέλος, πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι το γεγονός του ότι δεν είναι υπερβολικά ευαίσθητη στην θερμοκρασία (Dixon, 2007).

4.2.2 Το αμορτισέρ και η βασική λειτουργία του

Η λέξη αμορτισέρ είναι γαλλική και πηγάζει από το ρήμα amortir που σημαίνει αποσβένω. Στην καθημερινότητα έχει επικρατήσει αυτή η λέξη και όχι η ελληνική, η οποία είναι αποσβεστήρας ταλαντώσεων. Ακόμα, υπάρχει και η λέξη αποσβεστήρας κραδασμών η οποία δεν αντιπροσωπεύει την λειτουργία της διάταξης αυτής, για τον λόγο του ότι δεν αποσβένει τους κραδασμούς. Η απόσβεση των κραδασμών στην πραγματικότητα, είναι δουλειά των ελατηρίων του συστήματος ανάρτησης και των ελαστικών και των ελαστικών στοιχείων.

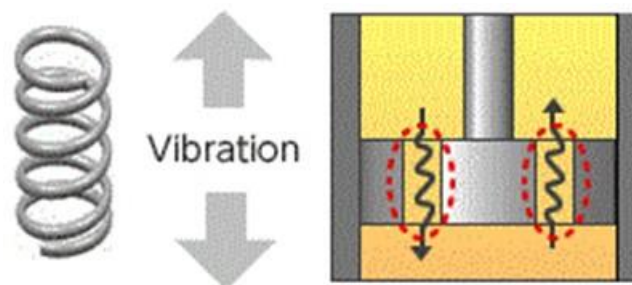
Παίρνοντας τα πράγματα από την αρχή. Μια από τις δουλείες του ελατηρίου είναι να εξασφαλίσει το ότι οι κραδασμοί που δημιουργούνται από τις ανομοιομορφίες του δρόμου δεν μεταφέρονται στην αναρτημένη μάζα. Το ελατήριο το καταφέρει αυτό με την συμπίεση του και έτσι, επιτρέπει στους τροχούς να κινηθούν ανάλογα με την μη αναρτημένη μάζα, με το μειονέκτημα ότι δημιουργεί δυνάμεις επιταχύνσεων στη αναρτημένη και τη μη αναρτημένη μάζα. Καθώς το ελατήριο συμπιέζεται, ένα μεγάλο ποσοστό κινητικής ενέργειας αποθηκεύεται σε αυτό. Όταν η δύναμη που προκάλεσε την συμπίεση απομακρυνθεί, η αποθηκευμένη ενέργεια απελευθερώνεται και το ελατήριο εκτονώνεται με μεγάλη δύναμη. Αν δεν υπήρχαν οι αποσβεστήρες, το ελατήριο θα εκτελούσε ταλάντωση στην ιδιοσυχνότητα του συστήματος έως ότου η κινητική ενέργεια του ελατηρίου τελικά απελευθερωνόταν. Το γεγονός αυτό θα είχε αρνητικές επιπτώσεις στη πρόσφυση του ελαστικού με το δρόμο και προφανώς στην φυσική και πνευματική υγεία του οδηγού (Smith, 1978).



Εικόνα 21: Τα καθήκοντα του αποσβεστήρα ταλαντώσεων.

Πηγή: http://ijer.irponline.in/ijer/publication/v2s7/IJER_2013_712.pdf

Ο αποσβεστήρας ταλαντώσεων κατασκευάστηκε για να αποσβένει την ενέργεια που δημιουργείται από την ταλάντωση του ελατηρίου μετατρέποντας την κινητική ενέργεια, σε θερμική ή σε θερμότητα, η οποία με την σειρά της απελευθερώνεται στο περιβάλλον. Πλέον, οι αποσβεστήρες ταλαντώσεων είναι υδραυλικές διατάξεις, οι οποίες αποτελούνται από ένα έμβολο το οποίο παλινδρομεί μέσα ένα κύλινδρο γεμάτο με υδραυλικό λάδι. Το έμβολο είναι συνδεδεμένο στην αναρτημένη μάζα μέσω ενός άξονα (ράβδου - βάρδου) και ο κύλινδρος (ή ο εξωτερικός κύλινδρος - σώμα, αναλόγως τον τύπο του αποσβεστήρα) είναι συνδεδεμένος στη μη αναρτημένη μάζα. Όταν προκληθεί κίνηση ανάμεσα στην αναρτημένη και τη μη αναρτημένη μάζα, το έμβολο παλινδρομεί μέσα στο κύλινδρο ο οποίος είναι γεμάτος με υδραυλικό λάδι και εξαναγκάζει το λάδι να περάσει μέσα από διάφορες οπές και βαλβίδες. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται το φαινόμενο της απόσβεσης. Τα χαρακτηριστικά της απόσβεσης, μπορούν να τροποποιηθούν με την αλλαγή της επιφάνειας των οπών αλλά και με την πολυπλοκότητα των βαλβίδων (Smith, 1978).



Εικόνα 22: Σκαρίφημα διέλευσης λαδιού μέσα από οπές εμβόλου αποσβεστήρα (το δεξιό θέλος αντιστοιχεί στη φάση της συμπίεσης και το αριστερό θέλος αντιστοιχεί στη φάση της εκτόνωσης).

Πηγή: https://www.showa1.com/en/product/motorcycle/shock_absorber_f.html

Οι αποσβεστήρες ταλαντώσεων είναι εκ φύσεως 'ευαίσθητοι' στην ταχύτητα (παράγραφος 3.1.2). Όσο πιο γρήγορα παλινδρομεί το έμβολο (ή όσο πιο μεγάλη κάθετη δύναμη δέχεται) τόσο μεγαλύτερη δύναμη απόσβεσης αποδίδουν. Αυτό σχετίζεται άμεσα με νόμους της δυναμικής των ρευστών και πιο συγκεκριμένα με της ροής ρευστού μέσα σε αγωγό (παράγραφος 3.2.1). Οι νόμοι προφανώς δεν μπορούν να καταρριφθούν, αλλά μπορούν να επιτευχθούν διάφορες συμπεριφορές με την χρήση βαλβίδων προ φορτισμένες με ελατήριο, ή με την χρήση βαθμιαίων βαλβίδων τοποθετημένες κατάλληλα έτσι ώστε, να ρυθμίζουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά (Smith, 1978).

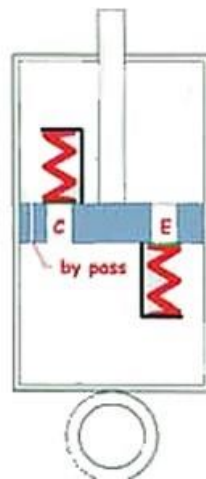
Τα χαρακτηριστικά κάθε αποσβεστήρα είναι μια έκφραση, η οποία χρησιμοποιείται για να περιγράψει η σχέση ανάμεσα στην ταχύτητα του εμβόλου και την αποδιδόμενη δύναμη απόσβεσης. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να έχουν τρεις μορφές. Μπορούν να είναι:

- Γραμμικά
- Προοδευτικά
- Οπισθοδρομικά

Στην περίπτωση που είναι γραμμικά, η δύναμη απόσβεσης αυξάνεται ανάλογα με την ταχύτητα παλινδρόμησης του αποσβεστήρα. Στην περίπτωση που είναι προοδευτικά η δύναμη απόσβεσης έχει μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης σε σχέση με την ταχύτητα του εμβόλου και στην περίπτωση που είναι οπισθοδρομικά, όσο η ταχύτητα του εμβόλου αυξάνεται, ο ρυθμός αύξησης της δύναμης απόσβεσης μειώνεται (Smith, 1978).

4.2.3 Ο στοιχειώδης αποσβεστήρας ταλαντώσεων

Απλοποιώντας τα μέρη ενός αποσβεστήρα ταλαντώσεων, θα βρούμε τον εξωτερικό σωλήνα ή αλλιώς **σώμα**, το υδραυλικό λάδι, τη ράβδο ή αλλιώς βάκτρο και το έμβολο, όπως φαίνεται στο σχέδιο στην Εικόνα 23.



Εικόνα 23: Σχέδιο στοιχειώδης αποσβεστήρα ταλαντώσεων.

Πηγή:<http://www.e-autonaprawa.pl/artykuly/6203/rola-amortyzatora-w-zawieszeniu.html>

Αν υποθέσουμε ότι το έμβολο έχει τρεις οπές:

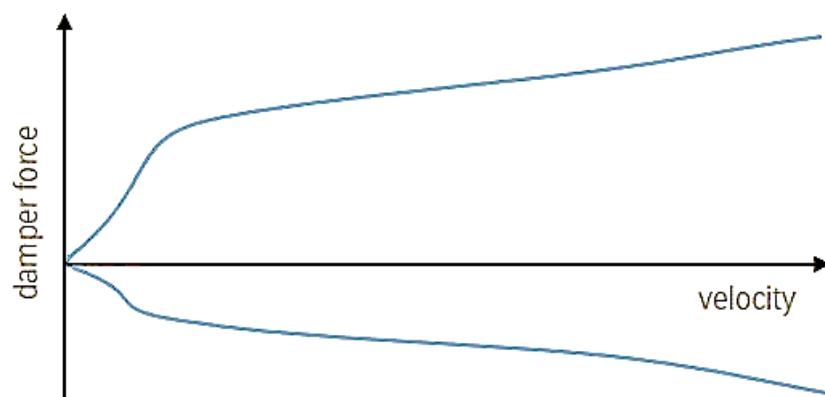
- Την οπή παράκαμψης (by pass), με μια πολύ μικρή διάμετρο, πάντα ανοικτή επιτρέποντας την διέλευση λαδιού και προς τις δύο κατευθύνσεις.
- Την οπή E που έχει μια πολύ μεγαλύτερη διάμετρο και η οποία είναι κλειστή από μία ροδέλα προ φορτισμένη από ένα ελατήριο, οπότε το λάδι μπορεί να περάσει μέσα από αυτήν μόνο αφού υπερβεί τη δύναμη του ελατηρίου και στη διάρκεια της διαδρομής εκτόνωσης.
- Την οπή C που λειτουργεί ακριβώς σαν την E αλλά με αντίθετη φορά, δηλαδή λειτουργεί κατά τη φάση της συμπίεσης.

Όταν ο αποσβεστήρας εκτονώνεται ή συμπιέζεται, το υδραυλικό λάδι περνά από τον πάνω θάλαμο προς τον κάτω θάλαμο. Εάν ο αποσβεστήρας κινείται πολύ αργά, το υδραυλικό λάδι κινείται μέσα από την οπή παράκαμψης με μια στρωτή ροή, προσφέροντας μια δύναμη απόσβεσης η οποία αυξάνεται γραμμικά σε σχέση με την ταχύτητα (Panzieri, Κινήσεις αναρτημένων και μη αναρτημένων μαζών, 2014).

Με την **αύξηση της ταχύτητας του αποσβεστήρα**, αυξάνεται και η ταχύτητα ροής του υδραυλικού λαδιού, δημιουργώντας μια τυρβώδη ροή και αυξάνοντας παραβολικά την αποδιδόμενη δύναμη απόσβεσης. Όταν η αντίσταση που ασκείται από το υδραυλικό λάδι που περνά από την οπή παράκαμψης, φτάσει την τιμή της προ φόρτισης του ελατηρίου που κλείνει την οπή E, τότε το υδραυλικό λάδι περνά μέσα από την οπή παράκαμψης και την οπή E (Panzieri, Κινήσεις αναρτημένων και μη αναρτημένων μαζών, 2014).

Εφόσον η διατομή της οπής E είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από αυτή της οπής παράκαμψης, η ταχύτητα ροής του υδραυλικού λαδιού μειώνεται πολύ επιστρέφοντας, πάλι, σε στρωτή ροή, οπότε η αποδιδόμενη δύναμη απόσβεσης του αποσβεστήρα ξεκινά πάλι να αυξάνεται γραμμικά. Όταν ο αποσβεστήρας αποκτήσει πολύ υψηλές ταχύτητες, τότε η ροή του υδραυλικού λαδιού που περνά από την οπή E γίνεται πάλι τυρβώδης και η αποδιδόμενη δύναμη απόσβεσης αυξάνεται πάλι παραβολικά (Panzieri, Κινήσεις αναρτημένων και μη αναρτημένων μαζών, 2014).

Στην φάση της συμπίεσης του αποσβεστήρα, συμβαίνουν τα ίδια φαινόμενα και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του C, η δύναμη απόσβεσης γίνεται μεγαλύτερη ή μικρότερη σε μέτρο. Στο παρακάτω χαρακτηριστικό γράφημα της Εικόνα 24, είναι εμφανείς οι επιπτώσεις της αλλαγής της ροής που περιγράφονται παραπάνω στην αποδιδόμενη δύναμη απόσβεσης (Panzieri, Κινήσεις αναρτημένων και μη αναρτημένων μαζών, 2014).



Εικόνα 24: Γράφημα αποδιδόμενης δύναμης απόσβεσης - ταχύτητας παλινδρόμησης αποσβεστήρα ταλαντώσεων με έμφαση στις γραμμικές και παραβολικές περιοχές.

Πηγή: https://www.svtperformance.com/forums/attachments/damptronic1_zpsa4d3d7f1-jpg.474516/

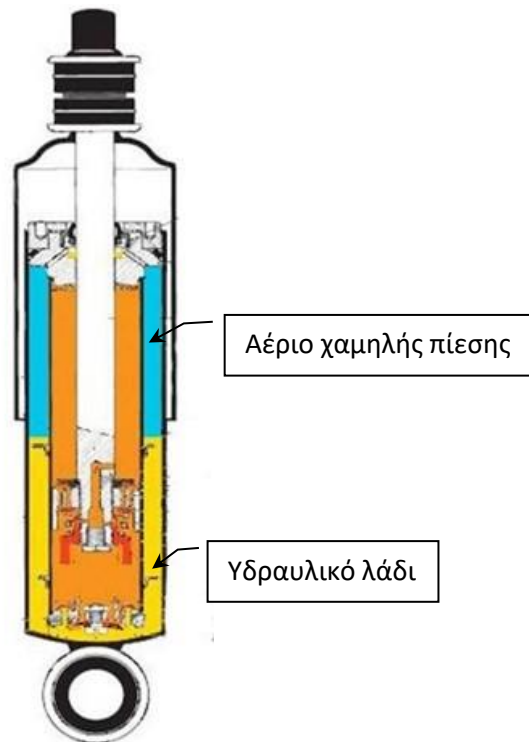
4.3 Βασικοί τύποι τηλεσκοπικών αποσβεστήρων ταλαντώσεων

Οι τηλεσκοπικοί αποσβεστήρες ταλαντώσεων που χρησιμοποιούνται στα συμβατικά οχήματα χωρίζονται σε δύο βασικούς τύπους. Ο ένας είναι αυτός του **μονού σωλήνα**, ή πίεσης γκαζιού όπως αναφέρεται στην αγορά (monotube, single tube ή αλλιώς gas filled shock) και ο άλλος τύπος, ο οποίος θα μελετηθεί στα πλαίσια της εργασίας αυτής είναι αυτός του **διπλού σωλήνα** ή πίεσης λαδιού όπως αναφέρεται στην αγορά (twintube, double tube). Οι δυο αυτοί τύποι έχουν βασικές διαφορές στον σχεδιασμό, στα εξαρτήματα, στην διάταξη τοποθέτησης τους και προφανώς παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα και κάποια μειονεκτήματα. Σε αυτό το κεφάλαιο της εργασίας θα αναφερθούν οι βασικές διαφορές των αποσβεστήρων αυτών καθώς και τα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα που παρουσιάζει η κάθε διάταξη.

4.3.1 Αποσβεστήρας ταλαντώσεων διπλού σωλήνα

Αρχικά πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν δύο τύποι αποσβεστήρων ταλαντώσεων διπλού σωλήνα και παρουσιάζουν μια μόνο διαφορά. Έχουν δηλαδή τα ίδια ακριβώς εξαρτήματα και την ίδια λειτουργία μόνο που ο ένας τύπος περιέχει αέριο χαμηλής πίεσης μαζί με το υδραυλικό λάδι (gas twintube shock absorber) και ο άλλος τύπος περιέχει μόνο υδραυλικό λάδι (hydraulic shock absorber). Εφόσον τα εξαρτήματα και η λειτουργία τους είναι ίδια, στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθεί ο τύπος που περιέχει αέριο μαζί με το υδραυλικό λάδι, για να καλυφθούν και οι δύο περιπτώσεις.

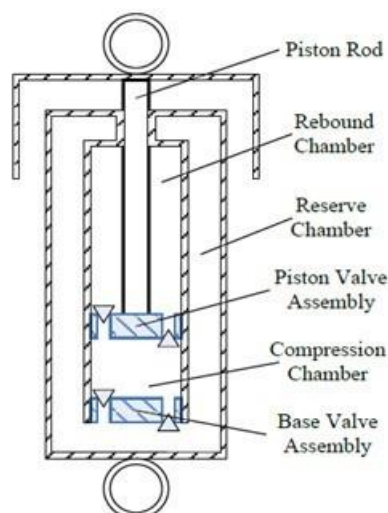
Ο τηλεσκοπικός αποσβεστήρας διπλού σωλήνα αποτελείται από δύο σωλήνες, τον εξωτερικό και τον εσωτερικό. Ο εξωτερικός σωλήνας λειτουργεί σαν θάλαμος αποθήκης υδραυλικού λαδιού και αερίου, ενώ ο εσωτερικός σωλήνας είναι ο θάλαμος στον οποίο παλινδρομεί το έμβολο και η διάταξη του. Ο εσωτερικός σωλήνας αποτελείται από τον θάλαμο εκτόνωσης, τον θάλαμο συμπίεσης, την διάταξη του εμβόλου και την διάταξη της βαλβίδας βάσης - συμπίεσης. Η διάταξη του εμβόλου και της βαλβίδας βάσης αποτελείται από διάφορες ροδέλες και αντεπιστροφές βαλβίδες οι οποίες ρυθμίζουν την δύναμη απόσβεσης κατά την συμπίεση και την εκτόνωση αντίστοιχα, ελέγχοντας την ροή του λαδιού που περνάει από αυτές. Για να λειτουργεί ο αποσβεστήρας σωστά πρέπει ο εσωτερικός σωλήνας να είναι πάντα πλήρης από υδραυλικό λάδι, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 25 παρακάτω, αλλιώς θα εισέρχεται και θα εξέρχεται αέριο από τις βαλβίδες, προκαλώντας δυσλειτουργίες.



Εικόνα 25: Τηλεσκοπικός αποσβεστήρας ταλαντώσεων διπλού σωλήνα με έμφαση στο 'διαχωρισμό' του υδραυλικού λαδιού από το αέριο χαμηλής πίεσης.

Πηγή https://www.tirerack.com/images/suspension/koni/koni_a.gif

Αντιθέτως, ο εξωτερικός σωλήνας πρέπει να έχει συγκεκριμένη ποσότητα λαδιού, τέτοια ώστε να εξασφαλίζει ότι ο εσωτερικός σωλήνας θα παραμένει πάντα γεμάτος σε όλο το πλάτος λειτουργίας του (Μοργουε, 2017). Στην παρακάτω Εικόνα 26 φαίνεται ένα σκαρίφημα ενός τηλεσκοπικού αποσβεστήρα ταλαντώσεων διπλού σωλήνα.



Εικόνα 26: Σκαρίφημα τηλεσκοπικού αποσβεστήρα ταλαντώσεων διπλού σωλήνα.

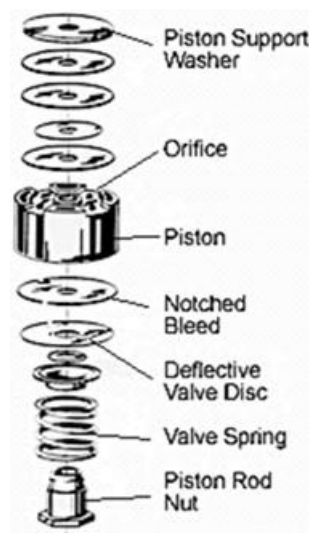
Πηγή: <http://www.ep.liu.se/ecp/063/096/ecp11063096.pdf>

Η διάταξη του εμβόλου είναι τοποθετημένη σε μια ράβδο - βάκτρο η οποία είναι αρθρωμένη ή κάποιες φορές πακτωμένη στην αναρτημένη μάζα του αυτοκινήτου. Οδηγείται από ένα 'οδηγό' που υπάρχει στο άνω μέρος του εξωτερικού σωλήνα και πάνω από τον οδηγό υπάρχει το στοιχείο στεγάνωσης της διάταξης του αποσβεστήρα, μια ειδική τσιμούχα.

Σε αυτό τον τύπο αποσβεστήρα, η διάταξη του εμβόλου χρησιμοποιείται κυρίως για τον έλεγχο της ροής υδραυλικού λαδιού κατά την εκτόνωση του αποσβεστήρα και όχι κατά την συμπίεση. (Monroe, 2017) Πιο ειδικά, ένας συνηθισμένος αποσβεστήρας αποτελείται από τρεις τύπους ελαστικών στοιχείων:

- Από εύκαμπτες ροδέλες με διαφυγές (οπές) οι οποίες ελέγχουν δυνάμεις απόσβεσης κυρίως σε χαμηλές ταχύτητες παλινδρόμησης, έως $0.13 \left[\frac{m}{sec} \right]$.
- Από εύκαμπτες ροδέλες χωρίς διαφυγές, οι οποίες ελέγχουν δυνάμεις απόσβεσης κυρίως σε μεσαίες ταχύτητες παλινδρόμησης, έως $0.42 \left[\frac{m}{sec} \right]$.
- Και από το έμβολο, το οποίο αποτελείται από διαμπερή οπές, και ελέγχει δυνάμεις απόσβεσης σε ταχύτητες παλινδρόμησης, έως $0.76 \left[\frac{m}{sec} \right]$.

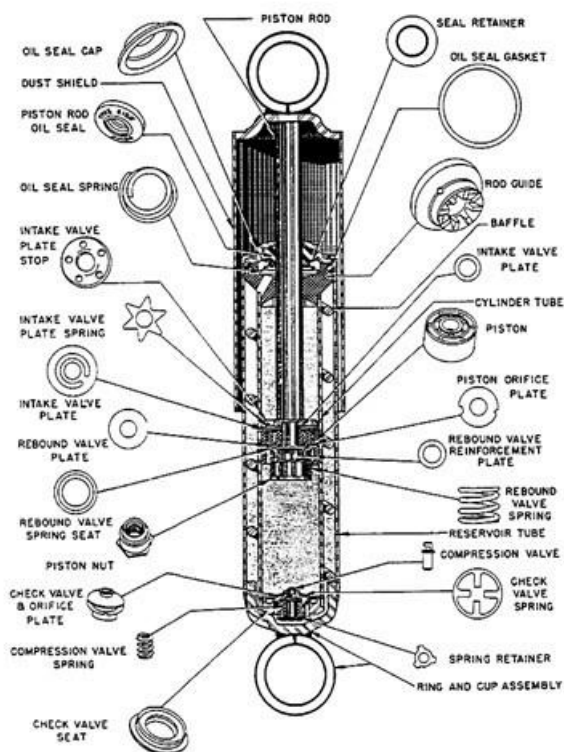
(Monroe, 2017).



Εικόνα 27: Τυπική διάταξη εμβόλου τηλεσκοπικού αποσβεστήρα ταλαντώσεων διπλού σωλήνα. Οι ροδέλες πάνω από το έμβολο ελέγχουν την ροή λαδιού κατά την φάση της συμπίεσης (σε συνεργασία με την βαλβίδα βάσης) και οι ροδέλες κάτω από το έμβολο ελέγχουν την ροή λαδιού κατά της φάση της εκτόνωσης.

Πηγή: <http://monroe-sea.com/support/shock-absorbers.html>

Η βαλβίδα βάσης ή αλλιώς βαλβίδα συμπίεσης, είναι τοποθετημένη στο κάτω μέρος του εσωτερικού σωλήνα, όπως φαίνεται και στο σκαρίφημα παραπάνω. Η διάταξη της βαλβίδας είναι παρόμοια με αυτή της διάταξης του εμβόλου, αλλά ‘ανεστραμμένη’. Διαθέτει και αυτή εύκαμπτες ροδέλες με οπές και χωρίς, όπως φαίνεται και στην παρακάτω Εικόνα 28. Οι ροδέλες που βρίσκονται πάνω από το κέλυφος της βαλβίδας, ελέγχουν την ροή του λαδιού κατά την συμπίεση και οι ροδέλες που βρίσκονται κάτω από το κέλυφος της βαλβίδας, ελέγχουν την ροή λαδιού κατά την εκτόνωση, σε συνεργασία με την διάταξη του εμβόλου. (Μονroe, 2017). Τα ελαστικά της στοιχεία, είναι πιο μικρά σε διαστάσεις από αυτά της διάταξης του εμβόλου, δηλαδή οι ροδέλες αλλά και η αντίστοιχη βαλβίδα (η οποία κάνει την ίδια δουλειά με το έμβολο), έχουν μικρότερους διαμέτρους και οπές, όχι όμως πάχος.



Εικόνα 28: Σύνολο εξαρτημάτων τηλεσκοπικού αποσβεστήρα ταλαντώσεων διπλού σωλήνα.

Πηγή: Dixon, John C. *Types of friction. The shock absorber handbook*. Great Britain : Professional engineering publishing Ltd and John Wiley and sons, Ltd, 2007, Τόμ. II, σσ. 15-17.

Πλέον στους τηλεσκοπικούς αποσβεστήρες ταλαντώσεων διπλού σωλήνα, αντικαθιστούμε τον αέρα που υπάρχει στον θάλαμο αποθήκης λαδιού και αερίου με άζωτο χαμηλής πίεσης(1.5[bar] έως 3.5[bar]), όπως φαίνεται και στην παραπάνω Εικόνα 25.

Αυτή η ενέργεια έχει σαν σκοπό το να αποφευχθεί το φαινόμενο του αερισμού ή αλλιώς της δημιουργίας αφρών στο υδραυλικό λάδι, κατά την λειτουργία του αποσβεστήρα. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει λόγω των υπερβολικών διαφορών πίεσης, που δημιουργούνται όταν το λάδι ρέει μέσα από τις βαλβίδες σε υψηλές ταχύτητες παλινδρόμησης και συνέπεια αυτού είναι θόρυβος, μειωμένη απόδοση ακόμα και δυσλειτουργία του αποσβεστήρα κατά την διάρκεια του κύκλου του (Monroe, 2017).

Μιλώντας πιο πρακτικά, το άζωτο χαμηλής πίεσης ασκεί συνεχή πίεση στο υδραυλικό λάδι που υπάρχει στον θάλαμο αποθήκης και το 'κατευθύνει' προς τον εσωτερικό σωλήνα. Με αυτό τον τρόπο διατηρείται πάντα γεμάτος ο εσωτερικός θάλαμος.

Κατά την φάση της συμπίεσης, το άζωτο συμπιέζεται, εφόσον λάδι ρέει από τον εσωτερικό θάλαμο στον εξωτερικό (λόγω της συμπίεσης της ράβδου – βάρδου) και καθώς το άζωτο έχει συμπιεστεί, κατά την φάση της εκτόνωσης, βοηθάει τον αποσβεστήρα να εκτονωθεί γρηγορότερα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο αποσβεστήρας να αντιδρά πιο άμεσα, βοηθώντας τον τροχό να έχει καλύτερη επαφή και πρόσφυση με τον δρόμο (Monroe, 2017).

Τέλος, μπορεί εύκολα κάποιος να ξεχωρίσει πότε ένας αποσβεστήρας διπλού σωλήνα περιέχει αέριο, με τον εξής τρόπο: έχοντας τον αποσβεστήρα στην φορά λειτουργίας του (χωρίς το ελατήριο ή οποιοδήποτε εξωτερικό κομμάτι προστασίας) και σε πλήρη έκταση ξεκινάει να πιέζει την ράβδο προς τα μέσα, ώστε να συμπιεστεί ο αποσβεστήρας. Αφού φτάσει στο μέγιστο πλάτος συμπίεσης, ελευθερώνει απότομα την ράβδο. Εάν ο η ράβδος εξέλθει μόνη της είναι ένδειξη ότι υπάρχει αέριο στον αποσβεστήρα και γι' αυτό και έχει ξεκινήσει η φάση της εκτόνωσης του, χωρίς κάποιο εξωτερικό παράγοντα.

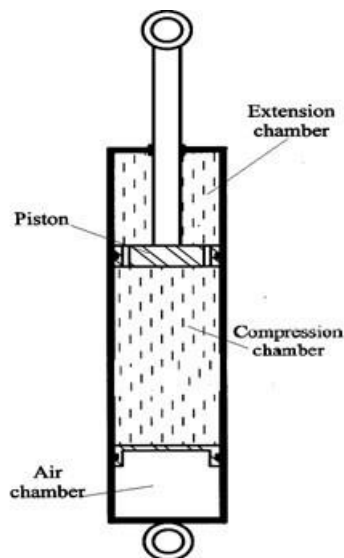
4.3.2 Αποσβεστήρας ταλαντώσεων μονού σωλήνα

Ο τηλεσκοπικός αποσβεστήρας μονού σωλήνα, όπως αναφέρεται και στο όνομα, αποτελείται μόνο από ένα σωλήνα. Αυτός ο σωλήνας είναι και το εξωτερικό σώμα και χωρίζεται σε δύο διαφορετικά τμήματα. Το ένα τμήμα, είναι αυτό που παλινδρομεί η διάταξη του εμβόλου και ονομάζεται θάλαμος λειτουργίας. Ο θάλαμος λειτουργίας είναι πληρωμένος με υδραυλικό λάδι και χωρίζεται σε δυο διαφορετικούς θαλάμους, τον θάλαμο συμπίεσης και τον θάλαμο εκτόνωσης, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 29 παρακάτω. Το δεύτερο τμήμα είναι ο θάλαμος αερίου. Στο θάλαμο αυτό, υπάρχει αέριο και συγκεκριμένα άζωτο, σε υψηλή πίεση, η οποία κυμαίνεται από 18[bar] έως και 28 [bar] (Monroe, 2017).

Ο θάλαμος αερίου διαχωρίζεται από τον θάλαμο λειτουργίας. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση ενός ειδικού εμβόλου διαχωριστή, το οποίο έχει την ικανότητα να παλινδρομεί σύμφωνα με την φάση την οποία εκτελεί ο αποσβεστήρας ενώ ταυτόχρονα, κρατάει το αέριο πλήρως διαχωρισμένο, από το υδραυλικό λάδι. Πιο αναλυτικά, κατά την φάση της συμπίεσης, το υδραυλικό λάδι που βρίσκεται κάτω από την διάταξη του εμβόλου και συγκεκριμένα στον θάλαμο συμπίεσης, διαπερνά το έμβολο από κάτω προς τα επάνω, στον θάλαμο εκτόνωσης. Ο διαχωριστής παλινδρομεί, συμπιέζοντας τον θάλαμο αερίου και δημιουργώντας έναν όγκο διαθέσιμο για το υδραυλικό λάδι, ισοδύναμο με τον όγκο της ράβδου που έχει περάσει κάτω από τον οδηγό του αποσβεστήρα. Επειδή η διατομή του εμβόλου διαχωριστή είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή της ράβδου, ο διαχωριστής παλινδρομεί γραμμικά και σε μικρή απόσταση. Για παράδειγμα, κάθε φορά που μια ράβδος των 12[mm] μετατοπίζεται κατά 10[mm], ένας διαχωριστής με διάμετρο 36[mm] μετατοπίζεται μόνο 1.11[mm]. Στη φάση της εκτόνωσης, το υδραυλικό λάδι που βρίσκεται πάνω από τη διάταξη του εμβόλου και συγκεκριμένα στον θάλαμο εκτόνωσης, διαπερνά το έμβολο προς τα κάτω, στον θάλαμο συμπίεσης. Καθώς η ράβδος εξέρχεται από τον αποσβεστήρα και περνάει επάνω από τον οδηγό και το αέριο πιέζει τον διαχωριστή, αυξάνοντας τον όγκο του σύμφωνα με τον όγκο που είχε πριν καταληφθεί από την ράβδο (Panzieri, Λειτουργία, 2014).

Τέλος, το παραπάνω φαινόμενο έχει σαν αποτέλεσμα, την πλήρη αποφυγή του φαινομένου του αερισμού του υδραυλικού λαδιού, λόγω της μικρής διαφοράς πίεσης που υπάρχει, αλλά και την εξασφάλιση του ότι, το τμήμα του αποσβεστήρα που περιέχει υδραυλικό λάδι θα είναι πάντοτε πλήρες ώστε να μην υπάρξει δυσλειτουργία του αποσβεστήρα (Monroe, 2017).

Το διαχωρισμένο αέριο υψηλής πίεσης εξαλείφει το φαινόμενο του αερισμού, ή αλλιώς αφρισμού του λαδιού, που όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω προκαλεί σοβαρές δυσλειτουργίες, με αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης του αποσβεστήρα, ειδικά όταν η διάταξη λειτουργεί σε υψηλές ταχύτητες για αρκετό χρονικό διάστημα. Επίσης, αυξάνει το ρυθμό αντίδρασης του αποσβεστήρα κατά την αλλαγή του κύκλου του. Για παράδειγμα, όταν το αυτοκίνητο ακινητοποιείται έπειτα από φρενάρισμα, ο αποσβεστήρας είναι σε θέση να περάσει από την φάση της συμπίεση στην φάση της εκτόνωσης γρηγορότερα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται πιο αποτελεσματική απόσβεση της ταλάντωσης που εκτελεί το ελατήριο σε αυτή την περίπτωση (Monroe, 2017).

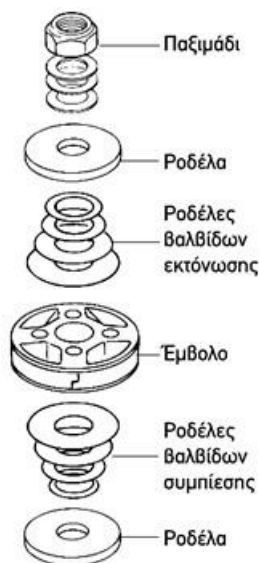


Εικόνα 29: Σκαρίφημα τηλεσκοπικού αποσβεστήρα ταλαντώσεων μονού σωλήνα.

Πηγή:http://ijer.irponline.in/ijer/publication/v2s7/UER_2013_712.pdf

Σε αυτό τον τύπο αποσβεστήρα, η διάταξη του εμβόλου είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο της ροής του λαδιού κατά τις δύο φάσεις του αποσβεστήρα. Όπως και στον αποσβεστήρα διπλού σωλήνα, στη διάταξη του εμβόλου υπάρχουν εύκαμπτες ροδέλες οι οποίες ελέγχουν την ροή του λαδιού κατά την φάση της συμπίεσης και κατά την φάση της εκτόνωσης.

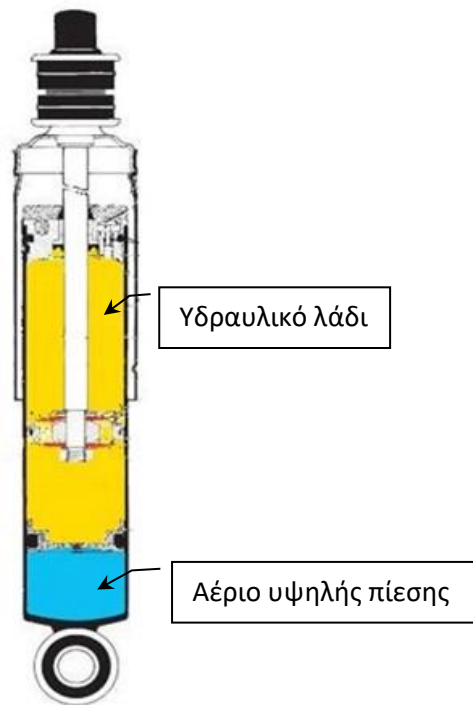
Συγκεκριμένα, οι ροδέλες που βρίσκονται πάνω από το έμβολο ελέγχουν την ροή λαδιού κατά την συμπίεση και οι ροδέλες που βρίσκονται κάτω από το έμβολο, ελέγχουν την ροή λαδιού κατά την εκτόνωση, όπως ακριβώς και στον αποσβεστήρα διπλού σωλήνα, με την διαφορά ότι σε αυτή την διάταξη δεν υπάρχει βαλβίδα βάσης για τον επιπλέον έλεγχο κατά την φάση την συμπίεσης. Σημαντική διαφορά παρατηρείται στο μέγεθος του εμβόλου αλλά και των ροδελών συγκριτικά με του διπλού σωλήνα. Σε αυτή την περίπτωση, το έμβολο είναι μεγαλύτερης εξωτερικής διαμέτρου, όπως και οι ροδέλες, οι οποίες παρουσιάζουν και μεγαλύτερο πάχος.



Εικόνα 30: Τυπική διάταξη εμβόλου τηλεσκοπικού αποσβεστήρα μονού σωλήνα. Οι ροδέλες κάτω από το έμβολο ελέγχουν την ροή λαδιού κατά την φάση της συμπίεσης και οι ροδέλες πάνω από το έμβολο ελέγχουν την ροή λαδιού κατά την φάση της εκτόνωσης.

Πηγή: Panzieri, Carlos. Αμορτισέρ μονού σωλήνα. Το συνεργείο του αυτοκινήτου. Νοέμβριος 2014, 1054, σσ. 20-22.

Αυτός ο τύπος αποσβεστήρα, έχει αποδειχθεί ότι προσφέρει καλύτερη πρόσφυση και πιο άμεσο έλεγχο του αυτοκινήτου σε σχέση με τον αποσβεστήρα διπλού σωλήνα. Όμως, παρουσιάζει σαν μειονέκτημα την μείωση της άνεσης του οχήματος, μεταφέροντας αρκετές αναταράξεις από τον δρόμο στην καμπίνα του οδηγού και των επιβατών. Γι' αυτό το λόγο, της ο τύπος αποσβεστήρα συναντάται συχνά και σε οχήματα αγώνων, σε οχήματα σπορ συμπεριφοράς ή σε οχήματα SUV.



Εικόνα 31: Τηλεσκοπικός αποσβεστήρας ταλαντώσεων μονού σωλήνα με έμφαση στο διαχωρισμό του υδραυλικού λαδιού από το αέριο υψηλής πίεσης.

Πηγή https://www.tirerack.com/images/suspension/koni/koni_c.gif

4.3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αποσβεστήρων μονού και διπλού σωλήνα

Αφού έχουν αναφερθεί οι δύο βασικές διατάξεις των αποσβεστήρων τηλεσκοπικού τύπου και τα χαρακτηριστικά αυτών, σε αυτό το κεφάλαιο της εργασίας, θα αναφερθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν οι διατάξεις αυτές

Πλεονεκτήματα τηλεσκοπικού αποσβεστήρα ταλαντώσεων μονού σωλήνα	Πλεονεκτήματα τηλεσκοπικού αποσβεστήρα ταλαντώσεων διπλού σωλήνα
Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, το υδραυλικό λάδι έχει την δυνατότητα να απελευθερώνει θερμότητά με λιγότερες απώλειες.	Η χαμηλή πίεση αζώτου, έχει σαν πλεονέκτημα την δημιουργία μικρότερων τάσεων, στα εξαρτήματα που κρατούν στεγανή την διάταξη
Δεν υπάρχει κανένας περιορισμός στην γωνία τοποθέτησης και λειτουργίας. Παρατηρούνται και διατάξεις οι οποίες λειτουργούν με το βάκτρο του αποσβεστήρα πακτωμένο στην μη αναρτημένη μάζα και το σώμα του αποσβεστήρα στην αναρτημένη μάζα, το γνωστό upside down.	Εάν υπάρξει εξωτερική ζημιά στο σώμα, δεν επηρεάζει την λειτουργία του αποσβεστήρα γιατί η παλινδρόμηση του εμβόλου γίνεται στον εσωτερικό σωλήνα

Λιγότερες πιθανότητες σε αστοχία λειτουργίας λόγω έλλειψης λαδιού.	Έχει χαμηλότερο κόστος κατασκευής συγκριτικά με τον αποσβεστήρα ταλαντώσεων μονού σωλήνα
Περιέχει περισσότερη ποσότητα λαδιού οπότε παρουσιάζει καλύτερη αποβολή της θερμότητας, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα, θεωρητικά, μια σταθερή και συνεχόμενη δύναμη απόσβεσης.	Η πίεση του αζώτου βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, σε συνεργασία με την βαλβίδα της βάσης, πιο γραμμικά αποδιδόμενη δύναμη απόσβεσης.
Θεωρητικά, αμετάβλητος βαθμός απόδοσης σε όλο το εύρος θερμοκρασιών.	-
Το έμβολο συνήθως παρουσιάζει μεγαλύτερη εξωτερική διάμετρο άρα και διατομή από αυτό του διπλού σωλήνα με αποτέλεσμα μεγαλύτερη επιφάνεια πίεσεως και εν τέλει δύναμη απόσβεσης.	-

Πίνακας 1: Πλεονεκτήματα αποσβεστήρων μονού και διπλού σωλήνα

(ISC Suspension, 2017).

Μειονεκτήματα τηλεσκοπικού αποσβεστήρα ταλαντώσεων μονού σωλήνα	Μειονεκτήματα τηλεσκοπικού αποσβεστήρα ταλαντώσεων διπλού σωλήνα
Παρουσιάζει μεγαλύτερες σε μέτρο δυνάμεις απόσβεσης, λόγω του αερίου υψηλής πίεσης που περιέχει.	Υπάρχουν δυσκολίες στην τοποθέτηση, διότι δεν μπορεί να λειτουργήσει σε όλες τις θέσεις και γωνίες.
Το αέριο υψηλής πίεσης δημιουργεί μεγαλύτερες σε μέτρο τάσεις στα εξαρτήματα που κρατούν στεγανή την διάταξη έχοντας σαν αποτέλεσμα την φθορά αυτών.	Το φαινόμενο της εκροής του αερίου είναι πιθανό, διότι βρίσκεται ακριβώς 'κάτω' από το κύριο στοιχείο στεγάνωσης του αποσβεστήρα.
Έχει υψηλότερο κόστος κατασκευής.	Το έμβολο συνήθως παρουσιάζει μικρότερη εξωτερική διάμετρο, σε σύγκριση με αυτό του μονού σωλήνα και για αυτό τον λόγο παράγει μικρότερες σε μέτρο δυνάμεις απόσβεσης.
Εάν υπάρξει εξωτερική ζημιά στο σώμα, ταυτοχρόνως επηρεάζεται και εσωτερικά, οπότε δεν μπορεί να λειτουργήσει.	Λόγο της μίξης υδραυλικού λαδιού και αζώτου στον ίδιο θάλαμο, παρουσιάζει βαθμό απωλειών έως και 35%.

Πίνακας 2: Μειονεκτήματα αποσβεστήρων μονού και διπλού σωλήνα

(ISC Suspension, 2017).

4.4 Μελέτη αποσβεστήρα ταλαντώσεων διπλού σωλήνα

Αφού έχουν αναφερθεί οι βασικές έννοιες οι οποίες σχετίζονται με τους τηλεσκοπικούς αποσβεστήρες ταλαντώσεων ενός παθητικού συστήματος ανάρτησης και έχει αναλυθεί η αρχή λειτουργίας αυτών, οι βασικοί τύποι και τα πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα που παρουσιάζουν, η εργασία περνάει σε επόμενο κεφάλαιο, αυτό της μελέτης ενός αποσβεστήρα. Το κεφάλαιο αυτό αναφέρει τα στάδια της μελέτης και της κατασκευής, του αποσβεστήρα ταλαντώσεων που κατασκευάστηκε στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής εργασίας. Όλα τα μέρη καθώς και η συνδεσμολογία του αποσβεστήρα, προέρχονται από οίκο κατασκευής εξαρτημάτων για αποσβεστήρες, ονόματι Emmetec, που φέρει έδρα στην Ιταλία. Επίσης, η συνδεσμολογία και το τεχνικό σχέδιο του αποσβεστήρα υπάρχει στο Παράρτημα που βρίσκεται στο τέλος της εργασίας.

4.4.1 Εξωτερικό σώμα

Το εξωτερικό σώμα, ή αλλιώς ο εξωτερικός σωλήνας του αποσβεστήρα ταλαντώσεων αποτελείται από ένα σωλήνα χωρίς ραφή και εσωτερικά λείο. Ο σωλήνας αυτός, φέρει στη μια πλευρά του (κάτω), συγκολλημένη, με συγκόλληση MIG, μια τάπα που πάνω σε αυτή έχει συγκολληθεί, επίσης με συγκόλληση MIG, ένα ελαστικό στοιχείο silent block το οποίο αρθρώνεται στην μη αναρτημένη μάζα του εκάστοτε αυτοκινήτου. Ακόμα, στον σωλήνα αυτό έχει δημιουργηθεί σπείρωμα 60° και διαστάσεων 42×1 [mm] ώστε να μπορεί να βιδωθεί ένα δαχτυλίδι, το οποίο ασφαλίζει όλη την διάταξη.



Εικόνα 32: Εξωτερικό σώμα – σωλήνας και βιδωτό δαχτυλίδι ασφάλισης της διάταξης αποσβεστήρα ταλαντώσεων κατασκευής.

4.4.2 Ράβδος – βάκτρο

Η ράβδος του αποσβεστήρα, η κοινώς βάκτρο, είναι το ευαίσθητο σημείο της διάταξης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός του ότι έχει περάσει από διαδικασία επιχρωμίσωσης και φέρει μια λεπτή επίστρωση χρωμίου, ώστε να είναι λείο και να αποκτήσει την επιθυμητή αντοχή. Στο βάκτρο έχουν δημιουργηθεί τα εξής σπειρώματα: στη άνω πλευρά, που βιδώνεται το άνω silent block, σπείρωμα 60° και διαστάσεων 12x1 [mm] ενώ στην κάτω πλευρά, που βιδώνεται το παξιμάδι ασφάλισης της διάταξης του εμβόλου, σπείρωμα διαστάσεων 7.9 [mm] x 5/16". Ακόμα, έχει γίνει μια διαμόρφωση βαθμίδων στην πλευρά της διάταξης του εμβόλου και έχει συγκολληθεί στο βάκτρο, με συγκόλληση TIG ένα δαχτυλίδι – στοπ το οποίο ορίζει το μέγιστο μήκος του αποσβεστήρα κατά την φάση της εκτόνωσης. Τέλος, πάνω από το δαχτυλίδι – στοπ τοποθετείται ένα εύκαμπτο ελαστικό στοιχείο για την προστασία από τυχών συγκρούσεις του δαχτυλιδιού.



Εικόνα 33: Ράβδος - Βάκτρο αποσβεστήρα ταλαντώσεων κατασκευής.

4.4.3 Στοιχεία στεγάνωσης

Εφόσον ο αποσβεστήρας ταλαντώσεων είναι μια υδραυλική διάταξη, στην οποία αναπτύσσονται πιέσεις, πρέπει να είναι στεγανή ούτως ώστε να μην υπάρχει διαρροή λαδιού αλλά και να μην εισχωρούν στο εσωτερικό του σωματίδια από το περιβάλλον. Για αυτόν τον λόγο, κάτω από το βιδωτό δαχτυλίδι, τοποθετούνται τα εξής:

- Μια ειδική τσιμούχα υδραυλικής πίεσεως.
- Ένα O-Ring, υδραυλικής πίεσεως.

Τοποθετούνται και τα δύο αυτά στεγανά για τον λόγο του ότι, η τσιμούχα, στεγανώνει 'εσωτερικά', δηλαδή ανάμεσα στην εσωτερική επιφάνεια της οπής της και την επιφάνεια του βάκτρου, ενώ το O-Ring, στεγανώνει 'εξωτερικά', δηλαδή ανάμεσα σε αυτό και την εσωτερική επιφάνεια του εξωτερικού σωλήνα.



Εικόνα 34: Στοιχεία στεγάνωσης αποσβεστήρα ταλαντώσεων κατασκευής. Αριστερά, το O-ring και δεξιά η τσιμούχα.

4.4.4 Οδηγός ράβδου - βάκτρου και εσωτερικός σωλήνας

Εφόσον ο αποσβεστήρας αυτός είναι διπλού σωλήνα, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω στη παράγραφο 4.3.1, περιέχει και ένα εσωτερικό σωλήνα. Ο εσωτερικός σωλήνας είναι αρκετά λείος, κοινώς, ρεκτιφιαρισμένος και χωρίς ραφή, ώστε να παλινδρομεί και να στεγανώνει το έμβολο όσο πιο αποτελεσματικά γίνεται, αποδίδοντας στο μέγιστο. Επίσης, ο εσωτερικός σωλήνας, έχει εξωτερική διάμετρο αρκετά μικρότερη από την εσωτερική του σώματος.



Εικόνα 35: Οδηγός ράβδου – βάκτρου αποσβεστήρα ταλαντώσεων κατασκευής.

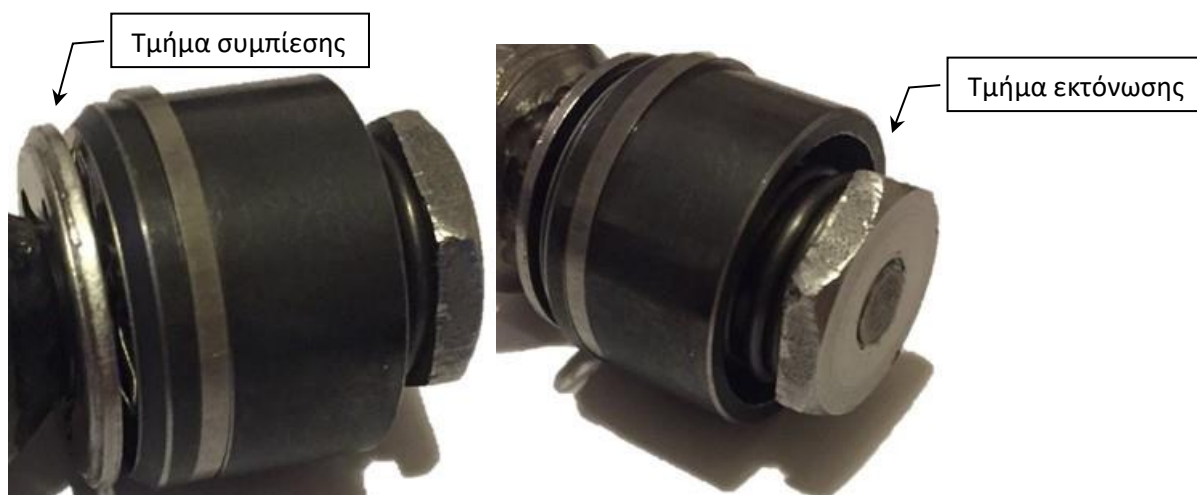
Ένας λόγος που χρησιμοποιείται ο οδηγός του βάκτρου είναι, για να τοποθετείται ο εσωτερικός σωλήνας μέσα σε μια διαμόρφωση του οδηγού αυτού, ούτως ώστε να μην μετατοπίζεται 'τρελά' μέσα στο σώμα του αποσβεστήρα κατά την λειτουργία. Ο οδηγός αυτός έχει εξωτερική διάμετρο ίση με την εσωτερική του σώματος και με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μια σταθερή διάταξη η οποία είναι πλευρικά ευσταθής.



Εικόνα 36: Αριστερά εσωτερικός σωλήνας και δεξιά διάταξη εσωτερικού σωλήνα συναρμολογημένη με οδηγό ράβδου - βάκτρου και ράβδο – βάκτρο.

4.4.5 Διάταξη εμβόλου

Αυτό το σημαντικό σημείο της μελέτης, κρίθηκε αναγκαίο να χωριστεί σε δύο υπό κεφάλαιά ούτως ώστε να δοθεί έμφαση στα τρία μέρη που αποτελείται η διάταξη του εμβόλου. Όπως φαίνεται και στην παραπάνω Εικόνα 27 το έμβολο βρίσκεται ανάμεσα στο τμήμα συμπίεσης και το τμήμα εκτόνωσης.



Εικόνα 37: Συναρμολογημένη διάταξη εμβόλου.

4.4.5.1 Τμήμα συμπίεσης

Το τμήμα της διάταξης του εμβόλου, το οποίο ελέγχει την ροή του ρευστού κατά της φάση της συμπίεσης, όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως στη παράγραφο 4.3.1, αποτελείται από εύκαμπτες ροδέλες. Μιλώντας πιο ειδικά, ο αποσβέστηρας που κατασκευάστηκε περιέχει τα εξής στοιχεία (σύμφωνα με τις ονομασίες του κατασκευαστή):

- Μία ροδέλα μεμβράνη.
- Μία αποστατική ροδέλα.
- Ένα 'ελατήριο' αστέρι.
- Μία τερματική ροδέλα.



Εικόνα 38: Τμήμα συμπίεσης διάταξης εμβόλου αποσβεστήρα ταλαντώσεων κατασκευής.

4.4.5.2 Τμήμα εκτόνωσης

Το ίδιο ισχύει και για το τμήμα της εκτόνωσης. Σε αυτό το τμήμα της διάταξης του εμβόλου το οποίο φαίνεται αποσυναρμολογημένο στην Εικόνα 39, είναι που έγιναν οι παραλλαγές στο πειραματικό κομμάτι της εργασίας και περιέχει τα εξής στοιχεία (σύμφωνα με τις ονομασίες του κατασκευαστή):

- Ένα παξιμάδι ασφάλισης της διάταξης του εμβόλου.
- Ένα ελατήριο συμπίεσης της διάταξης του εμβόλου.
- Ένα οδηγό για το ελατήριο της διάταξης του εμβόλου.
- Μία ροδέλα κλειδώματος.
- Μία εύκαμπτη ροδέλα χωρίς διαφυγές.
- Μία εύκαμπτη ροδέλα με διαφυγές – οπές.



Εικόνα 39: Τμήμα εκτόνωσης διάταξης εμβόλου αποσβεστήρα ταλαντώσεων κατασκευής.



Εικόνα 40: Ολοκληρωμένη διάταξη εμβόλου αποσβεστήρα ταλαντώσεων κατασκευής.

4.4.6 Διάταξη βαλβίδας συμπίεσης – βάσης

Αυτό το κομμάτι της μελέτης του αποσβεστήρα ταλαντώσεων της εργασίας αναφέρεται στην διάταξη της βαλβίδας συμπίεσης – βάσης.



Εικόνα 41:Συναρμολογημένη βαλβίδα βάσης.

Ομοίως, έχει αναφερθεί στη παράγραφο 4.3.1 ότι και αυτή η διάταξη αποτελείται από ένα σύνολο εύκαμπτων ροδελών. Συγκεκριμένα, η διάταξη της βαλβίδας συμπίεσης αποτελείται από τα εξής στοιχεία (σύμφωνα με τις ονομασίες του κατασκευαστή):

- Μια βίδα.
- Τη βαλβίδα συμπίεσης.
- Μία ροδέλα με διαφυγές – οπές.
- Μία ροδέλα χωρίς διαφυγές.
- Μία αποστατική ροδέλα.
- Το κέλυφος της βαλβίδας βάσης – συμπίεσης.
- Δύο κυματοειδή ελατήρια.
- Μία τερματική ροδέλα.
- Ένα παξιμάδι.



Εικόνα 42: Διάταξη βαλβίδας συμπίεσης - βάσης αποσβεστήρα ταλαντώσεων κατασκευής.

4.4.7 Ρευστά αποσβεστήρα ταλαντώσεων

Το τελευταίο κομμάτι της μελέτης του αποσβεστήρα είναι σχετικό με τα ρευστά που χρησιμοποιούνται για να είναι σε θέση να λειτουργήσει σωστά ο αποσβεστήρας ταλαντώσεων. Το υδραυλικό λάδι που χρησιμοποιείται στον αποσβεστήρα πρέπει να έχει την ικανότητα να διατηρεί σταθερά τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του (π.χ. το ιξώδες του), σε όλο το φάσμα των θερμοκρασιών λειτουργίας του. Ακόμα πρέπει να τονισθεί ότι είναι σημαντικό το υδραυλικό λάδι να αντιστέκεται στην τάση αφρισμού, για λόγους που αναφέρονται επίσης, στη παράγραφο 4.3.1. Στον αποσβεστήρα ταλαντώσεων που κατασκευάστηκε, χρησιμοποιήθηκε υδραυλικό λάδι (Fork Oil) της εταιρίας Eni με χαρακτηριστικά SAE 7.5W, όπως φαίνεται και στην εικόνα παρακάτω.



Εικόνα 43: Υδραυλικό λάδι που χρησιμοποιήθηκε στον αποσβεστήρα της κατασκευής.

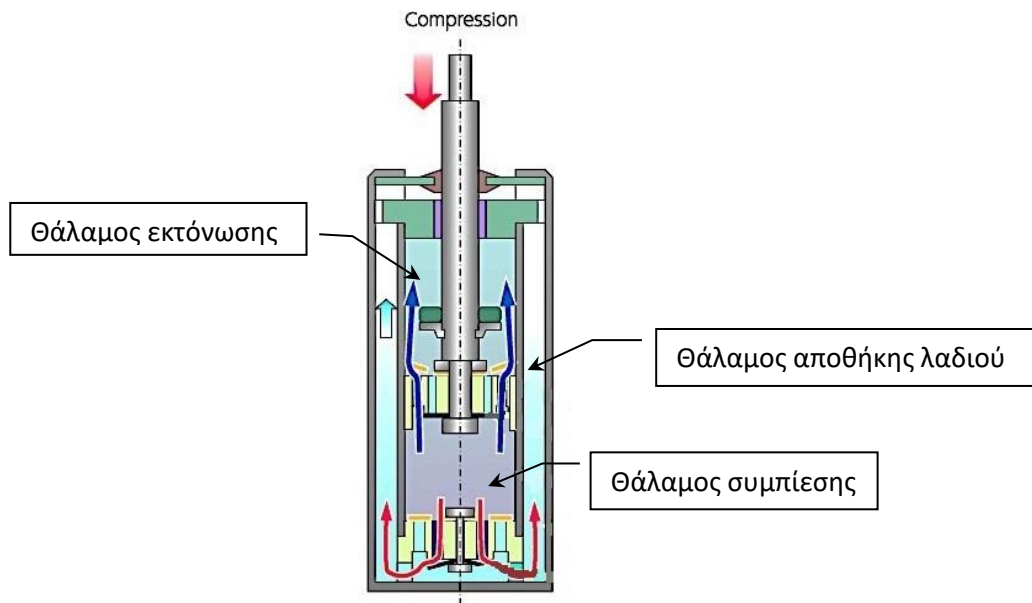
Πηγή: <http://www.agip.com.au/product/7-5w>

4.5 Λειτουργία αποσβεστήρα ταλαντώσεων διπλού σωλήνα

Αυτό το κεφάλαιο της εργασίας θα αναλύσει πως παραγεται η δύναμη απόσβεσης σε ένα αποσβεστήρα ταλαντώσεων διπλού σωλήνα. Συγκεκριμένα, θα μελετηθεί ο τρόπος με τον οποίο το υδραυλικό λάδι ρέει από τις διάφορες οπές και βαλβίδες, παράγοντας την δύναμη απόσβεσης. Η βασική λειτουργία του αποσβεστήρα αυτού αναλύεται στη παράγραφο 4.3.1.

4.5.1 Φάσης συμπίεσης

Η φάση της συμπίεσης είναι η μία από τις δύο φάσεις κατά την οποία ο αποσβεστήρας παράγει δύναμη απόσβεσης. Για να λειτουργήσει ο αποσβεστήρας σε αυτή την φάση, πρέπει από κάποιο εξωτερικό παράγοντα να συμπιεστεί, δηλαδή να εισχωρήσει η ράβδος στο σώμα της διάταξης. Αφού συμβεί αυτό, ένα μέρος της ποσότητας του υδραυλικού λαδιού αναγκάζεται να περάσει από τον θάλαμο συμπίεσης προς τον θάλαμο εκτόνωσης και προς τον θάλαμο αποθήκης λαδιού, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 44 παρακάτω.



Εικόνα 44: Ροή υδραυλικού λαδιού κατά την φάση της συμπίεσης. Τα μπλέ βέλη υποδουκνείουν την ροή του λαδιού από τον θάλαμο συμπίεσης προς τον θάλαμο εκτόνωσης, ενώ τα κόκκινα βέλη υποδουκνείουν την ροή λαδιού από τον θάλαμο συμπίεσης προς τον θάλαμο αποθήκης λαδιού

Πηγή: <http://thetightychallenge.com/cylinder-images/unique-cylinder-images-double-tube-type-details-showa-corporation/>

Αρχικά, το λάδι αναγκάζεται να περάσει μέσα από τις οπές των βαλβίδων του εμβόλου και έπειτα από το τμήμα της διάταξης, το οποίο λειτουργεί κατά την συμπίεση. Αυτό που συμβαίνει σε αυτή την περίπτωση είναι το ότι η ροδέλα μεμβράνη (παράγραφος 4.4.5.1), δέχεται μία δύναμη που έχει την κατεύθυνση της ροής του λαδιού η οποία εξαρτάται από την ταχύτητα μετατόπισης της ράβδου.

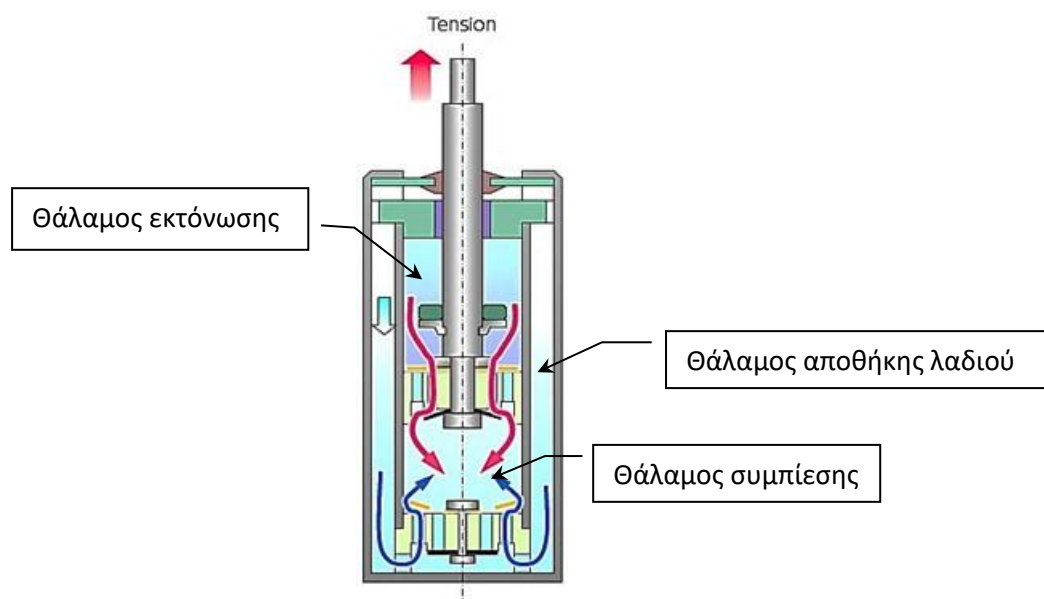
Αυτή η δύναμη, στην συνέχεια μεταφέρεται προς τα 'επάνω' έως ότου υπερνικήσει την δύναμη του ελατηρίου - αστέρι. Αφού συμβεί αυτό, η ροδέλα μεμβράνη παραμορφώνεται, εξαιτίας της δύναμης του υδραυλικού λαδιού και πλέον το λάδι κυκλοφορεί με μία αντίσταση προς τον θάλαμο εκτόνωσης.

Παράλληλα με τα παραπάνω, το λάδι ρέει και μέσα από τις οπές της βαλβίδας βάσης. Για την ακρίβεια, συμβαίνει ένα ανάλογο φαινόμενο με παραπάνω. Οι ροδέλες δέχονται μια δύναμη με κατεύθυνση ίδια με αυτή της ροής του λαδιού και έπειτα, ξεκινάνε να παραμορφώνονται ελαστικά. Το πόσο πρέπει να είναι το μέτρο αυτής της δύναμης για να παραμορφώσει τις ροδέλες, εξαρτάται από τα πάχη αυτών αλλά και τις ιδιότητες του υλικού κατασκευής τους.

Τέλος μιλώντας πιο ειδικά, το λάδι ξεκινάει και περνάει μέσα από τις οπές της βαλβίδας συμπίεσης (παράγραφος 4.4.6) και συνεχίζει οδεύοντας από τις διαφυγές της ροδέλας με τις οπές. Έπειτα, αφού η δύναμη που παράγεται από τη ροή του λαδιού αυξηθεί, οι υπόλοιπες ροδέλες ξεκινάνε να παραμορφώνονται, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται οδεύσεις από τις οποίες διαφεύγει το λάδι, πάντα με αντίσταση.

4.5.2 Φάση εκτόνωσης

Η φάση της εκτόνωσης είναι η δεύτερη φάση κατά την οποία παράγεται δύναμη απόσβεσης. Για να τεθεί σε λειτουργία ο αποσβεστήρας κατά αυτή την φάση πρέπει να δεχθεί μια εξωτερική δύναμη, η οποία έχει κατεύθυνση σαν αυτή που φαίνεται στην Εικόνα 45 παρακάτω. Η δύναμη αυτή συνήθως προέρχεται από εκτόνωση του ελατηρίου μετά από συμπίεση αυτού ή έπειτα από απώλεια πρόσφυσης μετά από απότομο σαμαράκι π.χ. Αφού συμβεί αυτό, δημιουργείται μια υπό πίεση στο εσωτερικό του αποσβεστήρα και το υδραυλικό λάδι αναγκάζεται να οδεύσει από τον θάλαμο αποθήκης λαδιού και τον θάλαμο εκτόνωσης, προς τον θάλαμο συμπίεσης.



Εικόνα 45: Ροή υδραυλικού λαδιού κατά την φάση της εκτόνωσης. Τα κόκκινα βέλη υποδεικνύουν τη ροή του υδραυλικού λαδιού από την θάλαμο εκτόνωσης, προς τον θάλαμο συμπίεσης, ενώ τα μπλέ βέλη, την ροή από τον θάλαμο αποθήκης λαδιού προς τον θάλαμο συμπίεσης.

Πηγή:<http://themightychallenge.com/cylinder-images/unique-cylinder-images-double-tube-type-details-showa-corporation/>

Καθώς εκτονώνεται ο αποσβεστήρας, το λάδι ρέει από τις βαλβίδες του εμπόλου όπως φαίνεται παραπάνω, έως ότου φτάσει στο σημείο του τμήματος της εκτόνωσης.

Εκεί, περνάει από τις οπές της ροδέλας με διαφυγές (παράγραφος 4.4.5.2) και βρίσκει εμπόδιο στην επόμενη ροδέλα, χωρίς διαφυγές, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια αντίσταση στην ροή του. Έπειτα, η δύναμη της ροής του λαδιού που ασκείται στο τμήμα, υπερνικαίει την αντίσταση των ροδελών και τις παραμορφώνει ελαστικά όπως φαίνεται και στην Εικόνα 45, ανοίγοντας έτσι οδεύσεις για την κυκλοφορία του, πάντα με αντίσταση. Ακόμα, μέσο του ελατηρίου που υπάρχει στο τμήμα της εκτόνωσης μπορεί να ρυθμιστεί, σε μικρό βαθμό, η δύναμη την οποία πρέπει να υπερνικήσει η ροή του λαδιού για να 'ανοίξουν' οι οδεύσεις κυκλοφορίας του.

Παράλληλα με τα παραπάνω το λάδι ρέει και μέσα από τις οπές της βαλβίδας συμπίεσης – βάσης. Καθώς το λάδι οδεύει από τον θάλαμο αποθήκης προς τον θάλαμο συμπίεσης, βρίσκεται αντιμέτωπο με την τερματική ροδέλα (παράγραφος 4.4.5.2) στην οποία ασκείται μια δύναμη, αντίθετης κατεύθυνσης σε σχέση με αυτή που παράγεται από τη ροή του λαδιού. Αυτή η δύναμη πηγάζει από τα δύο κυματοειδή ελατήρια που υπάρχουν, με αποτέλεσμα όταν η δύναμη της ροής του λαδιού την υπερνικήσει, να ανοίγουν πλήρως οι οδεύσεις και το λάδι να ρέει, όμως και πάλι με κάποια αντίσταση.

5 Διαδικασία συναρμολόγησης

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η διαδικασία συναρμολόγησης του αποσβεστήρα ταλαντώσεων. Για την ευκολότερη κατανόηση της διαδικασίας, η συναρμολόγηση χωρίστηκε σε 3 στάδια. Στο πρώτο στάδιο περιγράφεται η διαδικασία συναρμολόγησης της διάταξης του εμβόλου. Στο δεύτερο στάδιο, περιγράφεται η διαδικασία συναρμολόγησης της διάταξης της βαλβίδας συμπίεσης και στο τρίτο στάδιο, περιγράφεται η διαδικασία της πλήρωσης του αποσβεστήρα με τα κατάλληλα ρευστά.

5.1 Συναρμολόγηση διάταξης εμβόλου

Αρχικά τοποθετούνται όλα τα εξαρτήματα της διάταξης του εμβόλου, με μια λογική σειρά, σε ένα πολύ καθαρό από σκόνες, λάδια κτλ. πάγκο εργασίας που φέρει μέγγενη με αλουμινένια ή μπρούτζινα 'μάγουλα', για ευνόητους λόγους. Σφίγγεται η ράβδος - βάκτρο του αποσβεστήρα προσεκτικά και ήπια στην μέγγενη με την φορά της διαμόρφωσης που τοποθετείται η διάταξη του εμβόλου προς τα επάνω. Η πορεία της διαδικασίας έχει ως εξής:

- Τοποθετείται η τερματική ροδέλα.
- Το 'ελατήριο' αστέρι.
- Η αποστατική ροδέλα.
- Και η ροδέλα μεμβράνη.



Εικόνα 46: Συναρμολογημένο τμήμα συμπίεσης διάταξης εμβόλου.

Έπειτα, τοποθετείται το έμβολο μαζί με το ελατήριο στεγάνωσης του, με τη σωστή φορά όπως φαίνεται και στην Εικόνα 47 παρακάτω.



Εικόνα 47: Τμήμα διάταξης εμβόλου με συναρμολογημένο έμβολο.

Στην συνέχεια τοποθετούνται:

- Η εύκαμπτη ροδέλα με διαφυγές – οπές.
- Η εύκαμπτη ροδέλα χωρίς διαφυγές.
- Η ροδέλα κλειδώματος.
- οδηγός για το ελατήριο της διάταξης του εμβόλου.
- Το ελατήριο συμπίεσης της διάταξης του εμβόλου.
- Το παξιμάδι ασφάλισης της διάταξης του εμβόλου.

Αφού τοποθετηθούν όλα τα παραπάνω, το παξιμάδι ασφάλισης σφίγγεται έως ότου συμπιεστεί το ελατήριο συμπίεσης και ασφαλίσει η διάταξη και τέλος τοποθετείται πάνω από το στοπ εκτόνωσης το εύκαμπτο δαχτυλίδι του.



Εικόνα 48: Συναρμολογημένη διάταξη εμβόλου.

5.2 Συναρμολόγηση διάταξης βαλβίδας συμπίεσης – βάσης

Το επόμενο στάδιο της συναρμολόγησης είναι αυτό της βαλβίδας συμπίεσης. Τοποθετώντας πάλι τα εξαρτήματα σε λογική σειρά, η πορεία της διαδικασίας έχει ως εξής. Πάνω στην βίδα της διάταξης τοποθετούνται:

- Η βαλβίδα συμπίεσης.
- Η ροδέλα με διαφυγές – οπές.
- Η ροδέλα χωρίς διαφυγές.
- Η αποστατική ροδέλα.



Εικόνα 49: Συναρμολογημένη βαλβίδα συμπίεσης.

Έπειτα, τα παραπάνω τοποθετούνται στο κέλυφος της βαλβίδας, φροντίζοντας να εφαρμόζει σωστά η βαλβίδα συμπίεσης στο κέλυφος της. Στη συνέχεια τοποθετούνται:

- Τα δύο κυματοειδή ελατήρια, με την σωστή φορά, όπως στην Εικόνα 50 παρακάτω.
- Η τερματική ροδέλα.
- Το παξιμάδι ασφάλισης της διάταξης.



Εικόνα 50: Κέλυφος βαλβίδας βάσης – συμπίεσης δεξιά και σωστή τοποθέτηση κυματοειδή ελατηρίων αριστερά.

Αφού τοποθετηθεί και το παξιμάδι, σφίγγεται με προσοχή και έπειτα η συναρμολογημένη βαλβίδα βάσης τοποθετείται στην κάτω πλευρά του εσωτερικού σωλήνα με προσοχή ώστε να ‘πατήσει’ ευθεία και να επιτευχθεί μια ‘σφιχτή’ εφαρμογή.



Εικόνα 51: Συναρμολογημένη βαλβίδα συμπίεσης - βάσης αποσβεστήρα ταλαντώσεων κατασκευής.

5.3 Πλήρωση του αποσβεστήρα με ρευστά

Αφού έχει συναρμολογηθεί η διάταξη του εμβόλου και η διάταξη της βαλβίδας βάσης, το επόμενο στάδιο είναι αυτό της πλήρωσης του αποσβεστήρα ταλαντώσεων με υδραυλικό λάδι. Αρχικά, να τονιστεί ότι πριν ξεκινήσει η διαδικασία πρέπει ο εσωτερικός σωλήνας και το σώμα του αποσβεστήρα να είναι πολύ καθαρά και στεγνά. Αφού τοποθετηθεί το σώμα του αποσβεστήρα σε μια μέγγενη και σφιχθεί απαλά, εισάγεται σε αυτό ο εσωτερικός σωλήνας μαζί με την συναρμολογημένη βαλβίδα βάσης. Στη συνέχεια, με ένα ογκομετρικό δοχείο, **γεμίζεται πλήρως ο εσωτερικός σωλήνας**. Έπειτα, με τη βοήθεια ενός κατάλληλου χιτώνιού τοποθετείται η συναρμολογημένη διάταξη του εμβόλου, μαζί με τη ράβδο, μέσα στον εσωτερικό σωλήνα. Αφού περάσει το ελατήριο του εμβόλου από την άνω άκρη του σωλήνα, αφαιρείται το χιτώνιο και με μια μικρή ποσότητα δύναμης, πιέζεται η ράβδος ώστε να συμπιεστεί πλήρως.



Εικόνα 52: Πλήρωση του εσωτερικού σωλήνα με υδραυλικό λάδι.

Στην συνέχεια, συμπληρώνονται στον θάλαμο αποθήκης λαδιού 200[ml] υδραυλικό λάδι τοποθετείται ο οδηγός της ράβδου, φροντίζοντας ώστε να εφαρμόσει σφιχτά στο επάνω μέρος του εσωτερικού σωλήνα χωρίς να υπάρχουν τζόγοι. Αφού γίνουν όλα αυτά, τοποθετείται με προσοχή το O-Ring της διάταξης και μετά η τσιμούχα, αφού πρώτα αλειφθεί με λίγο ειδικό γράσο η εσωτερική της επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με την ράβδο. Τέλος με το ένα χέρι και την βοήθεια από ένα κατσαβίδι (που δεν είναι αιχμηρό), πιέζουμε την μία πλευρά της τσιμούχας ενώ ταυτόχρονα με το άλλο χέρι τραβάμε την ράβδο προς τα επάνω και εκτελούμε τη φάση της εκτόνωσης έως την πλήρη έκταση της ράβδου. Αφού γίνουν όλα τα παραπάνω, βιδώνεται το δαχτυλίδι της διάταξης και με την βοήθεια ενός δυναμόμετρου αποσβέσεων, ελέγχεται η σωστή λειτουργία του αποσβεστήρα.

A/A	Όνομα Εξαρτήματος	Βασικές Διαστάσεις Εξαρτήματος [mm]	Κωδικός Καταλόγου Emmetec [2016]
1	Εξωτερικός Σωλήνας Με Τάπα	45 x 41 x 2 x 230	40-611
2	Ράβδος - Βάκτρο	Φ14 x 235	-
3	Βιδωτό Δαχτυλίδι Διάταξης	Φ42 x 8 x 26.5 ρ:1	02-146
4	Τσιμούχα 5PM	Φ14 x 41 x 3	03-186
5	O-Ring	2.7 x 41.4	04-100
6	Οδηγός Βάκτρου	27 x 32 x 38 x 41	06-180
7	Εύκαμπτο Δαχτυλίδι Στοπ Εκτόνωσης	Φ14 x 23 x 6	07-146
8	Στοπ Εκτόνωσης	Φ14 x 24 x 7	07-560
9	Τερματική Ροδέλα	8.1 x 25 x 1.5	08-110
10	Ελατήριο Αστέρι	8.1 x 18.5 x 0.20	10-122
11	Αποστατική Ροδέλα	8.1 x 11.15 x 0.25	09-122
12	Ροδέλα Μεμβράνη	8.1 x 18.5 x 0.20	11-103
13	Έμβολο Riv 1P	Φ27 x 7.9	12-102
14	Ελατήριο Στεγάνωσης Εμβόλου	25 x 27 x 2	13-101
15α	Εύκαμπτη Ροδέλα Με Διαφυγές (1 Οπή)	8.1 x 19 x 0.10	14-101
15β	Εύκαμπτη Ροδέλα Με Διαφυγές (1 Οπή)	8.1 x 19 x 0.15	14-104
15γ	Εύκαμπτη Ροδέλα Με Διαφυγές (2 Οπές)	8.1 x 19 x 0.15	14-114
15δ	Εύκαμπτη Ροδέλα Με Διαφυγές (2 Οπές)	8.1 x 19 x 0.10	14-112
15ε	Εύκαμπτη Ροδέλα Με Διαφυγές (3 Οπές)	8.1 x 19 x 0.10	14-122
15στ	Εύκαμπτη Ροδέλα Με Διαφυγές (3 Οπές)	8.1 x 19 x 0.15	14-123
16	Εύκαμπτη Ροδέλα Χωρίς Διαφυγές	8.1 x 19 x 0.15	15-102
17	Ροδέλα Κλειδώματος	8.1 x 12.7 x 0.20	16-100
18	Οδηγός Ελατηρίου Διάταξης Εμβόλου	12.2 x 20 x 4	17-101
19	Ελατήριο Συμπίεσης Διάταξης Εμβόλου	14.4 x 24 x 2	18-200
20	Παξιμάδι Ασφάλισης Διάταξης Εμβόλου	7.9 x 5/16"	19-101
21	Εσωτερικός Σωλήνας	30 x 25 x 1.5 x 197	20-127
22	Βίδα-Παξιμάδι Βαλβίδας Βάσης- Συμπίεσης	5.5 x 0.8	21-050
23	Βαλβίδα Συμπίεσης (4 Οπές)	5.5 x 14.5 x 5.5	22-116
24	Ροδέλα Με Διαφυγές (1 Διαφυγή)	5.5 x 14.5 x 0.1	23-132
25	Ροδέλα Χωρίς Διαφυγές	5.5 x 14.5 x 0.2	24-166
26	Αποστατική Ροδέλα	5.5 x 8.2 x 0.4	25-181
27	Κέλυφος Βαλβίδας Βάσης - Συμπίεσης	30 x 10	26-250
28	Κυματοειδή Ελατήρια Βαλβίδας Συμπίεσης (2)	19 x 22 x 0.20	27-301
29	Τερματική Ροδέλα	6 x 22 x 0.40	28-350

Πίνακας 3: Σύνολο εξαρτημάτων αποσβεστήρα ταλαντώσεων διπλού σωλήνα πτυχιακής εργασίας.

6 Εργαστηριακή δοκιμή

6.1 Εξοπλισμός

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής εργασίας όσο αφορά το εργαστηριακό κομμάτι. Έπειτα από φιλική παραχώρηση των εγκαταστάσεων αλλά και όλων των απαραίτητων, έγινε εφικτή η κατασκευή του αποσβεστήρα που παρουσιάζεται παραπάνω (παράγραφος 4.4) αλλά και η εργαστηριακή δοκιμή αυτού. Όλος ο εξοπλισμός, όπως π.χ. το δυναμόμετρο αποσβέσεων (παράγραφος 6.1.1), τα διάφορα εργαλεία, οι μηχανές συγκολλήσεων, οι εργαλειομηχανές, τα υλικά, τα διάφορα ανταλλακτικά και αναλώσιμα αλλά και οι θεωρητικές και οι τεχνικές συμβουλές προέρχονται από τον κύριο Χριστοδουλάκη Μάριο (Τεχνολόγος Μηχανολόγος Μηχανικός) και το εξειδικευμένο προσωπικό της βιοτεχνικής μονάδας υδραυλικών συστημάτων BiMors, η οποία φέρει έδρα στη Βιομηχανική Περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης.

6.1.1 Δυναμόμετρο Αποσβέσεων

Οι διατάξεις με τις οποίες μπορούμε να μελετήσουμε την συμπεριφορά των αποσβεστήρων ταλαντώσεων, ονομάζονται δυναμόμετρα αποσβέσεων - δονήσεων (Shock dynamometer). Κάθε τέτοια διάταξη συλλέγει δεδομένα, με σκοπό να παρουσιάσει με γραφικές παραστάσεις και με πίνακες, το τρόπο με τον οποίο μεταβάλλεται η δύναμη απόσβεσης που παράγει ένας αποσβεστήρας, καθώς μεταβάλλεται η ταχύτητα της ράβδου (βάκτρου) του. Με την ανάλυση των δεδομένων αυτών είναι εφικτό, εκτός από τη ρύθμιση της δύναμης απόσβεσης του αποσβεστήρα, να γίνει και διάγνωση βλαβών αυτού.

Ο αποσβεστήρας αρθρώνεται στο ένα άκρο του (άνω) ενώ το άλλο άκρο του (κάτω) συνδέεται με ένα κάθετο άξονα, ο οποίος έχει ένα βαθμό ελευθερίας. Το κάτω άκρο του κάθετου άξονα αρθρώνεται μέσω μιας διάταξης στροφάλου – διωστήρα στην άτρακτο ενός ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος ελέγχεται με ένα αναστροφέα (inverter). Ο αναστροφέας φροντίζει για την αύξηση και την μείωση των στροφών του κινητήρα που σημαίνει, εν τέλει, την ταχύτητα μετατόπισης της ράβδου του αποσβεστήρα. Στο άνω άκρο της διάταξης, εκεί που αρθρώνεται το ένα άκρο του αποσβεστήρα δηλαδή, είναι τοποθετημένος ένας αισθητήρας δύναμης (δυναμοκυψέλη) ο οποίος χρησιμοποιείται για την ανάγνωση και λήψη των δεδομένων της αποδιδόμενης δύναμης απόσβεσης.

Στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά μεταφέρονται μέσω μιας ειδικής κάρτας σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος με τη σειρά του τα επεξεργάζεται και τα εμφανίζει στην οθόνη του. Πρέπει να τονιστεί ότι, ο κινητήρας περιστρέφεται με διάφορα προφίλ ταχυτήτων, τα οποία μπορούν να αλλάξουν εύκολα από τον χρήστη και σχετίζονται άμεσα με τις ταχύτητες που αναπτύσσει ο αποσβεστήρας κατά την λειτουργία του (παράγραφος 4.1), οι οποίες τείνουν να διαφέρουν σε κάθε εφαρμογή. Παρακάτω, αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο το δυναμόμετρο παρουσιάζει τα δεδομένα αυτά.

Αρχικά, παρουσιάζονται σε μορφή πίνακα, όπως φαίνεται στη παρακάτω Εικόνα 53, τα εξής δεδομένα:

- Στην πρώτη στήλη, με τα σύμβολα V1,V2...V5, ορίζονται τα πέντε διαφορετικά προφίλ στα οποία μπορούν να οριστούν οι διάφορες ταχύτητες του τεστ.
- Στην δεύτερη στήλη, με το όνομα r.p.m., ορίζονται οι στροφές ανά λεπτό, κατά τις οποίες θα γίνει η λήψη των πέντε διαφορετικών δυνάμεων απόσβεσης.
- Στην τρίτη στήλη, με το όνομα Sec.Period, ορίζονται οι χρόνοι σε δευτερόλεπτα, κατά τους οποίους ο κινητήρας θα περιστρέφεται σταθερά με τις αντίστοιχες στροφές της προηγούμενης στήλης.

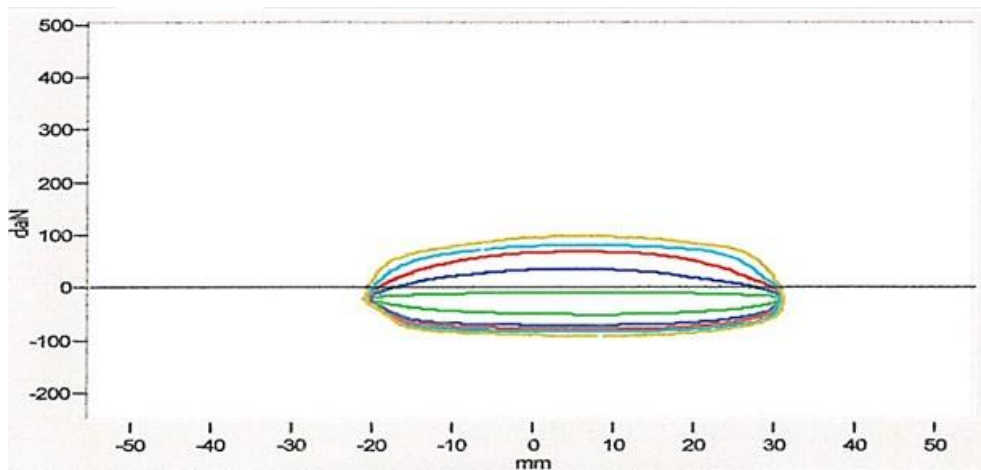
	r.p.m.	Sec.Period	daN.Distens.	daN.Compres.	T.Body	T.Room
V1	20	2	-9	-52	28	33
V2	60	2	36	-73	28	33
V3	90	2	68	-80	28	33
V4	120	2	80	-86	28	34
V5	160	2	97	-93	28	34

Εικόνα 53: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων δυναμόμετρου αποσβέσεων Precisa – Emmetec.

- Στην τέταρτη στήλη, με το όνομα daN.Distens., ορίζονται οι **μέγιστες** αποδιδόμενες δυνάμεις απόσβεσης κατά της φάση της εκτόνωσης σε [dNewton].
- Στην πέμπτη στήλη, με όνομα daN.Compres., ορίζονται οι **μέγιστες** αποδιδόμενες δυνάμεις απόσβεσης κατά της φάση της συμπίεσης σε [dNewton].
- Στην επόμενη στήλη, με όνομα T.Body, ορίζεται η θερμοκρασία σε °C του θαλάμου του δυναμόμετρου.
- Και στην έβδομη στήλη, με το όνομα T.Room, ορίζεται η θερμοκρασία του χώρου.

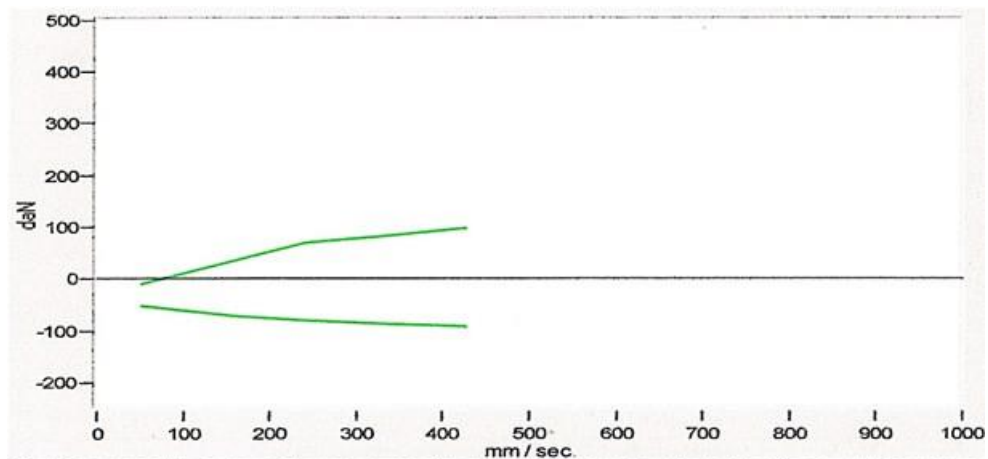
Στην συνέχεια, παρουσιάζονται δύο γραφήματα:

- Ένα γράφημα: Μετατόπισης ράβδου σε [mm] – Αποδιδόμενες δυνάμεις απόσβεσης σε [dNewton]. (Εικόνα 54)



Εικόνα 54: Γράφημα μετατόπισης ράβδου αποσβεστήρα - αποδιδόμενες δυνάμεις απόσβεσης, δυναμόμετρου αποσβέσεων Precisa – Emmetec.

- Ένα γράφημα: Γραμμικής ταχύτητας ράβδου σε [mm/sec] – Αποδιδόμενες δύναμης απόσβεσης σε [dNewton]. (Εικόνα 55).



Εικόνα 55: Γράφημα γραμμικής ταχύτητας αποσβεστήρα - αποδιδόμενης δύναμης απόσβεσης, δυναμόμετρου Precisa – Emmetec.

Ακόμα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 53 παραπάνω, δίνονται διάφορες πληροφορίες σχετικά με το πλάτος της παλινδρόμησης, τις στροφές του ηλεκτροκινητήρα την στιγμή της λήψης των δεδομένων, τον χρόνο τον οποίο ο κινητήρας περιστρέφονταν με αυτές τις στροφές, την θερμοκρασία του δωματίου και τέλος τη θερμοκρασία του θαλάμου του δυναμόμετρου.



Εικόνα 56: Δυναμόμετρο αποσβέσεων αποσβεστήρων ταλαντώσεων Precisa της εταιρίας Emmetec.

6.2 Σχεδιασμός πειράματος

6.2.1 Παράμετροι συστήματος

Αφού κατασκευάστηκε ο αποσβεστήρας ταλαντώσεων που παρουσιάζεται στη παραπάνω παράγραφο 4.4, μέσω του δυναμόμετρου αποσβέσεων που φαίνεται στην παραπάνω Εικόνα 56, έγινε δυνατή η μελέτη της συμπεριφοράς του. Αρχικά, αφού λήφθηκαν όλα τα μέτρα προστασίας και έγιναν οι απαραίτητοι έλεγχοι, πραγματοποιήθηκε το πρώτο πείραμα. Έπειτα, αφού εκτελέστηκαν και τα υπόλοιπα τα πειράματα, έπρεπε να μελετηθούν και να συγκριθούν όλα τα αποτελέσματα μεταξύ τους. Οι κύριοι παράμετροι στους οποίους έπρεπε να δοθεί έμφαση κατά την σύγκριση των αποτελεσμάτων, ήταν:

- Η ταχύτητα παλινδρόμησης αποσβεστήρα.
- Η αποδιδόμενη δύναμη απόσβεσης κατά την φάση της εκτόνωσης, στις διάφορες ταχύτητες παλινδρόμησης.
- Η αποδιδόμενη δύναμη απόσβεσης κατά την φάση της συμπίεσης, στις διάφορες ταχύτητες παλινδρόμησης.

Ο σκοπός του πειράματος ήταν να μελετηθεί η συμπεριφορά του αποσβεστήρα και συγκεκριμένα η αποδιδόμενη δύναμη απόσβεσης, κατά της φάση της εκτόνωσης, αλλάζοντας **ένα** στοιχείο του, με ένα άλλο κατάλληλο της ίδιας σειράς.

Το στοιχείο το οποίο αποφασίστηκε να αλλαχθεί ήταν μια εύκαμπτη ροδέλα με διαφυγές στην διάταξη του εμβόλου. Η ροδέλα αυτή τοποθετείται, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 57 παρακάτω, κάτω ακριβώς από το έμβολο του αποσβεστήρα και επηρεάζει τα μέτρα των δυνάμεων απόσβεσης κυρίως στις χαμηλές ταχύτητες παλινδρόμησης του αποσβεστήρα. Ακολουθώντας το σχέδιο του κατασκευαστή και χρησιμοποιώντας στοιχεία από τον κατάλογο ανταλλακτικών του, είχαμε την δυνατότητα να πειραματιστούμε με έξι διαφορετικές παραλλαγές, δηλαδή να αλλαχθούν έξι εύκαμπτες ροδέλες με διαφυγές. Από τις παραλλαγές αυτές προκύψανε έξι διαφορετικά αποτελέσματα του ίδιου πειράματος τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω στο κεφάλαιο 6.3.



Εικόνα 57: Αποσυναρμολογημένη διάταξη εμβόλου και σύνολο εύκαμπτων ροδελών των έξι πειραμάτων (μέσα στο πλαίσιο).

6.2.2 Παραλλαγές στον αποσβεστήρα

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στο πειραματικό μέρος της εργασίας, υπήρξε η δυνατότητα να γίνουν έξι παραλλαγές στον αποσβεστήρα και να προκύψουν έξι διαφορετικά πειράματα. Αυτές οι έξι παραλλαγές στις εύκαμπτες ροδέλες με διαφυγές, παρουσιάζονται στον πίνακα παρακάτω.

Πάχος – Ύψος Εύκαμπτης Ροδέλας [mm]	Αριθμός Οπών Εύκαμπτης Ροδέλας	Τίτλος Αρχείου Αποτελεσμάτων [pdf]	Συνοτομογραφία Τίτλου Πειράματος
0.15	3	Shock Absorber Test 1	S1-015.3
0.10	3	Shock Absorber Test 2	S2-010.3
0.10	2	Shock Absorber Test 3	S3-010.2
0.15	2	Shock Absorber Test 4	S4-015.2
0.10	1	Shock Absorber Test 5	S5-010.1
0.15	1	Shock Absorber Test 6	S6-0.15.1

Πίνακας 4: Ροή πειραμάτων και αντιστοιχία των αποτελεσμάτων σε σχέση με τις ροδέλες



Εικόνα 58: Εύκαμπτες ροδέλες παραλλαγών πειραμάτων.

Ανάμεσα σε κάθε αλλαγή του εκάστοτε εξαρτήματος, έπρεπε με ασφαλή και προσεκτικό τρόπο να ανοιχτεί ο αποσβεστήρας. Έπειτα, να αποσυναρμολογηθούν τα στοιχεία που στεγανοποιούν την διάταξη, ούτως ώστε να γίνει εφικτή η πρόσβαση στην διάταξη του εμβόλου για να αλλαχθεί η εύκαμπτη ροδέλα. Αφού γινόντουσαν αυτά, τοποθετούνταν υδραυλικό λάδι ίδιας ακριβώς ποιότητας και χαρακτηριστικών και δεν γινότανε καμία άλλη παραλλαγή στον αποσβεστήρα, έτσι ώστε τα αποτελέσματα που προκύπταν να ήταν όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα γίνεται.

Η ταχύτητα παλινδρόμησης του αποσβεστήρα από το δυναμόμετρο, είχε οριστεί με σκοπό τα αποτελέσματα που θα προκύψουν, να βρίσκονται μέσα στα πλαίσια που θα λειτουργεί ο αποσβεστήρας σε πραγματικές συνθήκες, εάν τοποθετούνταν σε μια κατάλληλη εφαρμογή. Στο παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται τα δεδομένα των ταχυτήτων των τεστ.

<i>Ταχύτητα Περιστροφής Ηλεκτροκινητήρα [rpm]</i>	<i>Γραμμική Ταχύτητα Αποσβεστήρα [mm/sec]</i>	<i>Περίοδος συγκράτησης ταχύτητας [sec]</i>
20	54.45	2
60	163.36	2
90	245.04	2
120	326.72	2
160	435.63	2

Πίνακας 5: Πίνακας παρουσίασης ταχυτήτων παλινδρόμησης πειράματος

6.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τα έξι διαφορετικά τεστ που εκτελέστηκαν στο δυναμόμετρο αποσβέσεων. Η σειρά και οι παραλλαγές που έγιναν στον αποσβεστήρα, πριν από κάθε τεστ, αναγράφονται παραπάνω στον Πίνακα 4. Στην Εικόνα 59 φαίνεται το πρώτο τεστ, παρόλα αυτά τα αποτελέσματα όλων των τεστ υπάρχουν στον παρακάτω συγκεντρωτικό Πίνακα 6. Στο παράρτημα στο τέλος της εργασίας μπορούν να βρεθούν όλα τα υπόλοιπα, στην μορφή παρουσίασης του δυναμόμετρου.

Emmetec

Telephone Fax

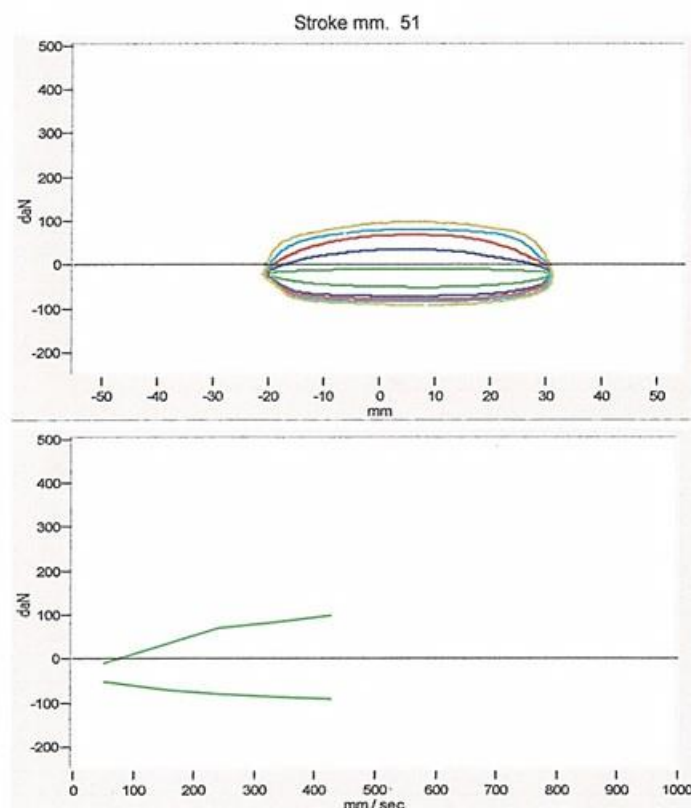
Model
Customer

Shock Absorber Test 1

Operator:

Tested 23/9/2017 10:28:06 πμ

	r.p.m.	Sec.Period	daN Distens.	daN Compres.	T.Body	T.Room
V1	20	2	-9	-52	28	33
V2	60	2	36	-73	28	33
V3	90	2	68	-80	28	33
V4	120	2	80	-86	28	34
V5	160	2	97	-93	28	34



Εικόνα 59: Αποτελέσματα πρώτου τεστ με εύκαμπτη ροδέλα 3 οπών και ύψους 0.15 [mm].

<i>Συντομογραφία Τίτλου Πειράματος</i>	<i>R.p.m.</i>	<i>Distens. [DaN]</i>	<i>Compres. [DaN]</i>
<i>S1-015.3</i>	<i>20</i>	<i>-9</i>	<i>-52</i>
<i>S1-015.3</i>	<i>60</i>	<i>36</i>	<i>-73</i>
<i>S1-015.3</i>	<i>90</i>	<i>68</i>	<i>-80</i>
<i>S1-015.3</i>	<i>120</i>	<i>80</i>	<i>-86</i>
<i>S1-015.3</i>	<i>160</i>	<i>97</i>	<i>-93</i>
<i>S2-010.3</i>	<i>20</i>	<i>5</i>	<i>-47</i>
<i>S2-010.3</i>	<i>60</i>	<i>56</i>	<i>-70</i>
<i>S2-010.3</i>	<i>90</i>	<i>67</i>	<i>-77</i>
<i>S2-010.3</i>	<i>120</i>	<i>77</i>	<i>-83</i>
<i>S2-010.3</i>	<i>160</i>	<i>92</i>	<i>-90</i>
<i>S3-010.2</i>	<i>20</i>	<i>14</i>	<i>-49</i>
<i>S3-010.2</i>	<i>60</i>	<i>62</i>	<i>-74</i>
<i>S3-010.2</i>	<i>90</i>	<i>72</i>	<i>-82</i>
<i>S3-010.2</i>	<i>120</i>	<i>81</i>	<i>-88</i>
<i>S3-010.2</i>	<i>160</i>	<i>95</i>	<i>-96</i>
<i>S4-015.2</i>	<i>20</i>	<i>0</i>	<i>-45</i>
<i>S4-015.2</i>	<i>60</i>	<i>64</i>	<i>-70</i>
<i>S4-015.2</i>	<i>90</i>	<i>74</i>	<i>-77</i>
<i>S4-015.2</i>	<i>120</i>	<i>83</i>	<i>-81</i>
<i>S4-015.2</i>	<i>160</i>	<i>98</i>	<i>-89</i>
<i>S5-010.1</i>	<i>20</i>	<i>34</i>	<i>-59</i>
<i>S5-010.1</i>	<i>60</i>	<i>45</i>	<i>-85</i>
<i>S5-010.1</i>	<i>90</i>	<i>52</i>	<i>-94</i>
<i>S5-010.1</i>	<i>120</i>	<i>61</i>	<i>-99</i>
<i>S5-010.1</i>	<i>160</i>	<i>75</i>	<i>-105</i>
<i>S6-015.1</i>	<i>20</i>	<i>26</i>	<i>-61</i>
<i>S6-015.1</i>	<i>60</i>	<i>48</i>	<i>-84</i>
<i>S6-015.1</i>	<i>90</i>	<i>55</i>	<i>-92</i>
<i>S6-015.1</i>	<i>120</i>	<i>65</i>	<i>-100</i>
<i>S6-015.1</i>	<i>160</i>	<i>79</i>	<i>-105</i>

Πίνακας 6: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων πειραμάτων.

7 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Το τελευταίο κεφάλαιο της πτυχιακής εργασίας θα αναφερθεί στην ανάλυση των μετρήσεων που λήφθηκαν από το δυναμόμετρο αποσβέσεων. Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η εξαγωγή **δύο μαθηματικών μοντέλων** τα οποία θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εύρεση των αποδιδόμενων δυνάμεων απόσβεσης κατά την φάση της εκτόνωσης και της συμπίεσης.

7.1 Περιγραφή μεθοδολογίας

7.1.1 Μεθοδολογία εξαγωγής μοντέλων

Για την εξαγωγή των μοντέλων – εξισώσεων πρόκειται να επιλυθεί ένα μαθηματικό πρόβλημα. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της **πολλαπλής παλινδρόμησης**.

Αρχικά, αφού πρόκειται να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος αυτή, πρέπει να τεθούν οι όροι που θα ορίζονται ως **ανεξάρτητες** μεταβλητές και ο όρος που θα τεθεί ως **εξαρτημένη** μεταβλητή.

Εφόσον το ζητούμενο είναι η **δύναμη εκτόνωσης**, μπορούμε να πούμε ότι η **εξαρτημένη** μεταβλητή είναι αυτή. Επίσης, εφόσον η δύναμη εκτόνωσης εξαρτάται από τις **τρύπες της ροδέλας**, το **πάχος της ροδέλας** και τις **rpm**, μπορούμε να πούμε ότι οι **τρύπες της ροδέλας**, το **πάχος της ροδέλας** και οι **rpm** είναι οι **ανεξάρτητες** μεταβλητές.

Αφού ορίστηκαν τα παραπάνω, μπορούμε να πούμε ότι ζητούνται εξισώσεις της μορφής:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 * \chi_1 + \alpha_2 * \chi_2 + \alpha_3 * \chi_3.$$

Οι εξισώσεις αυτές, στη περίπτωση μας, μπορούν να έχουν την μορφή:

$$\text{Δύναμη εκτόνωσης} = \alpha_0 + \alpha_1 * \text{ΤρύπεςΡοδέλας} + \alpha_2 * \text{ΠάχοςΡοδέλας} + \alpha_3 * \text{rpm}$$

7.1.1.1 Διαδικασία στο excel

Με την χρήση του excel έγινε δυνατή η ανάλυση των δεδομένων και η εξαγωγή των **συντελεστών** των εξισώσεων για το κάθε μοντέλο. Τα βήματα της διαδικασίας με την οποία έγινε η εξαγωγή των δεδομένων είναι τα εξής:

- 1) Αρχικά, ανατρέχουμε στην καρτέλα **Δεδομένα**
- 2) Επιλέγουμε την **Ανάλυση δεδομένων** (εάν δεν εμφανίζεται η επιλογή ανάλυσης δεδομένων πρέπει να την επιλέξουμε/ενεργοποιήσουμε από τα 'πρόσθετα' εργαλεία του excel)
- 3) Στις διάφορες επιλογές που προσφέρει η ανάλυση δεδομένων, επιλέγουμε την **Παλινδρόμηση**
- 4) Αφού γίνει αυτό, εμφανίζεται ένα παράθυρο στο οποίο γίνονται τα εξής:
 - a) Στο πεδίο του εύρους Y επιλέγουμε τη στήλη των μετρήσεων της εξαρτημένης μεταβλητής, δηλαδή της δύναμης εκτόνωσης.
 - b) Στο πεδίο του εύρους X επιλέγουμε όλες τις στήλες των δεδομένων των ανεξάρτητων μεταβλητών, δηλαδή: τρύπες στη ροδέλα, πάχος ροδέλας και rpm κ.ο.κ.
- 5) Τέλος, ορίζουμε ένα νέο φύλλο στο οποίο θα γίνει η εξαγωγή των αποτελεσμάτων και εμφανίζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

7.1.2 Μεθοδολογία σύγκρισης μοντέλων

Επειδή θα προκύψουν αρκετά διαφορετικά μοντέλα για κάθε φάση και πρέπει με κάποιο τρόπο στο τέλος να επιλεγθούν δύο από αυτά, τα οποία θα προσεγγίζουν όσο το δυνατόν καλύτερα τις πραγματικές τιμές και ταυτόχρονα δικαιολογούν την πολυπλοκότητα τους. Πρέπει λοιπόν να συγκριθούν οι αποδιδόμενες δυνάμεις απόσβεσης των μοντέλων για να καταλήξουμε σε αυτά που θα χρησιμοποιηθούν τελικά. Για την σύγκριση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της ανάλυσης διακύμανσης κατά ένα παράγοντα (ANOVA – Analysis Of Variance).

Για την ακρίβεια, πρόκειται να συγκριθούν τα μοντέλα εκτόνωσης και συμπίεσης με κάθε άλλο μοντέλο (της ίδιας φάσης) έως ότου βρεθούν αυτά τα δύο, τα οποία όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, θα προσεγγίζουν καλύτερα τις πραγματικές τιμές και ταυτόχρονα θα δικαιολογούν την πολυπλοκότητα του.

Αρχικά, διακρίνεται ότι στο πρόβλημα μας έχουμε τις **ποιοτικές** μεταβλητές (τα μοντέλα L111, L211, C212, C111 κ.ο.κ.) και μία **ποσοτική** μεταβλητή (αυτή της δύναμης απόσβεσης που έχουμε τα αποτελέσματα από τα μοντέλα).

Προτού ξεκινήσει η σύγκριση πρέπει να οριστούν δυο υποθέσεις. Η μια υπόθεση ονομάστηκε μηδενική υπόθεση H_0 , ενώ η δεύτερη υπόθεση ονομάστηκε εναλλακτική υπόθεση H_1 και για αυτές τις υποθέσεις, ισχύουν τα εξής:

- H_0 : Δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων των μοντέλων, δηλαδή $\mu_1 = \mu_2$.
- H_1 : Υπάρχει διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων των μοντέλων, δηλαδή $\mu_1 \neq \mu_2$.

Ακόμα, για να γίνει το τεστ ANOVA, πρέπει να ισχύουν τα εξής:

- Πρέπει η δύναμη απόσβεσης, η αλλιώς η ποσοτική μεταβλητή, να κατανέμεται κανονικά σε κάθε κατηγορία των μοντέλων, η αλλιώς της ποιοτικής μεταβλητής.
- Οι διακυμάνσεις της δύναμης απόσβεσης να είναι ίσες σε κάθε κατηγορία των μοντέλων
- Τα δείγματα να είναι ανεξάρτητα

Αφού όλα τα παραπάνω ισχύουν, στα επόμενα υποκεφάλαια 7.2.2 και 7.3.2 υπάρχουν όλα τα αποτελέσματα των τεστ ANOVA μεταξύ των μοντέλων.

Τέλος, η ανάλυση ANOVA πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα R. Όταν εξάγει το R τα αποτελέσματα της σύγκρισης παρατηρούμε:

- Την τιμή **Pr-value(>F)**. Αν είναι μεγαλύτερη από το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha = 0.05 (5\%)$ τότε λέγεται ότι πρακτικά η διαφορά ανάμεσα στα δύο προς σύγκριση μοντέλα **δεν είναι στατιστικά σημαντική**.

Η διαδικασία του υπολογισμού σύγκρισης μοντέλων έγινε σε περιβάλλον προγραμματισμού R.

7.2 Μοντέλο εκτόνωσης

7.2.1 Υπολογισμός μοντέλων

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης του excel, που φαίνονται στην Εικόνα 60 παρακάτω, βλέπουμε ότι στη στήλη με όνομα coefficients, εμφανίζονται οι ζητούμενοι συντελεστές, ενώ στις γραμμές αριστερά από την στήλη των συντελεστών αναφέρεται σε ποια ανεξάρτητη μεταβλητή αντιστοιχεί ο κάθε συντελεστής. Παρατηρούμε ότι οι συντελεστές α_0 , α_1 , α_2 και α_3 που προκύπτουν, είναι 12,0431, 1,45, -32, 0,5273 αντίστοιχα.

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0,897263954							
R Square	0,805082603							
Adjusted R Square	0,782592134							
Standard Error	13,44516239							
Observations	30							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	3	19413,11782	6471,039272	35,79661259	2,21988E-09			
Residual	26	4700,082184	180,7723917					
Total	29	24113,2						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	12,04310345	14,62402307	0,823515075	0,417705313	-18,01700648	42,10321338	-18,01700648	42,10321338
Τρύπες στην ροδέλα	1,45	3,006429707	0,482299651	0,633628679	-4,729804768	7,629804768	-4,729804768	7,629804768
Πάχος ροδέλας	-32	98,18958307	-0,325900152	0,747108452	-233,8315786	169,8315786	-233,8315786	169,8315786
rpm	0,527298851	0,050963757	10,34654599	1,03804E-10	0,422541349	0,632056352	0,422541349	0,632056352

Εικόνα 60:Αποτελέσματα εξαγωγής μοντέλου εκτόνωσης L111.

Συνεπώς, αντικαθιστώντας του συντελεστές στην εξίσωση, έχουμε:

$$\text{Δύναμη εκτόνωσης} = 12,043 + 1,45 * \text{ΤρύπεςΡοδέλας} - 32 * \text{ΠάχοςΡοδέλας} + 0,527 * \text{rpm}$$

Αναζητώντας τον καλύτερο δυνατό συνδυασμό, ώστε τα αποτελέσματα του τελικού μοντέλου να προσεγγίζουν όσο το δυνατόν καλύτερα τις τιμές του δυναμόμετρου, δημιουργήθηκαν συνολικά 8 διαφορετικά μοντέλα – εξισώσεις για τις δυνάμεις εκτόνωσης των οποίων τα ονόματα και οι συντελεστές, παρουσιάζονται στον παρακάτω συγκεντρωτικό Πίνακας 7.

Όνομα Μοντέλου	Τρύπες Ροδέλας	Πάχος Ροδέλας	Rpm	Τρύπες Ροδέλας ²	Πάχος Ροδέλας ²	Rpm ²	Σταθερός όρος
L111	1,450	-32,000	0,527	0,000	0,000	0,000	12,043
L211	36,850	-32,000	0,527	-8,850	0,000	0,000	-17,457
L121	1,450	-32,000	0,527	0,000	0,000	0,000	12,043
L112	1,450	-32,000	-0,003	0,000	0,000	1,072	-5,464
L221	36,850	-32,000	0,527	-8,850	0,000	0,000	-17,457
L212	36,850	-32,000	1,072	-8,850	0,000	-0,003	-34,964
L222	36,850	-32,000	1,072	-8,850	0,000	-0,003	-34,964
L122	1,450	-32,000	1,072	0,000	0,000	-0,003	-5,464

Πίνακας 7: Συγκεντρωτικός πίνακας εξαγόμενων μοντέλων για τις δυνάμεις εκτόνωσης.

7.2.2 Σύγκριση μοντέλων

Τα αποτελέσματα της πρώτης σύγκρισης μεταξύ των μοντέλων εκτόνωσης L111 και L211 φαίνονται στο Πλαίσιο 1 παρακάτω.

```
## Analysis of Variance Table
##
## Model 1: DaNDistens ~ NoHoles + Thickness + rpm
## Model 2: DaNDistens ~ NoHoles + I(NoHoles^2) + Thickness + rpm
##   Res.Df    RSS Df Sum of Sq    F Pr(>F)
## 1      26 4700.1
## 2      25 4177.9  1    522.15 3.1245 0.08933 .
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Πλαίσιο 1: Αποτελέσματα σύγκρισης μοντέλων εκτόνωσης L111 και L211.

Στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα παρουσιάζονται όλες οι συγκρίσεις που έγιναν και οι αντίστοιχες τιμές του Pr-value. Σε όσα Pr-value υπάρχει (-) σημαίνει ότι τα μοντέλα είναι όμοια.

Μοντέλα προς σύγκριση	Df1	RSS	Df2	RSS	Pr-value σύγκρισης
L111 vs L211	26	4700.1	25	4177.9	8.93%
L111 vs L121	26	4700.1	26	4700.1	-
L111 vs L112	26	4700.1	25	3449.0	0.58%
L111 vs L221	26	3449.0	25	4177.9	8.93%
L111 vs L212	26	4177.9	24	2926.9	0.34%
L111 vs L122	26	4700.1	25	3449.0	0.58%
L111 vs L222	26	4700.1	24	2926.9	0.34%
L212 vs L222	24	2926.9	24	2926.9	-

Πίνακας 8:Αποτελέσματα συγκρίσεων ANOVA για τα μοντέλα των δυνάμεων εκτόνωσης.

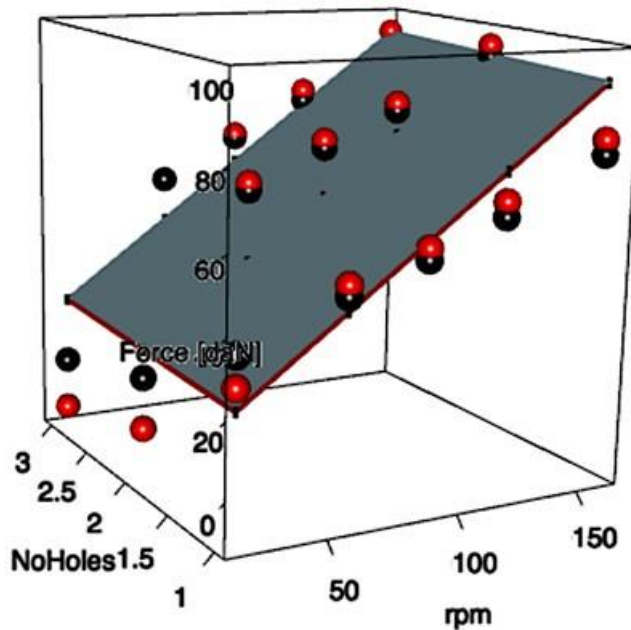
Από τις συγκρίσεις μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι μεταξύ των μοντέλων εκτόνωσης L111 και L212, έχουμε μια τιμή Pr-value=0.34% < α=5%. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το μοντέλο L212 (που είναι όμοιο με το L222), που προσεγγίζει καλύτερα από το L111 τα δεδομένα, ταυτόχρονα δικαιολογεί την πολυπλοκότητα του. Οπότε, εν τέλει, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτό.

Άρα, το τελικό μοντέλο που επιλέχθηκε για τις δυνάμεις εκτόνωσης είναι το L212, που μέσω των συγκρίσεων, αποδείχθηκε, ότι κανένα άλλο μοντέλο δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές ώστε να το αντικαταστήσει.

$$L212 = 36,85 * ΤρύπεςΡοδέλας - 32 * ΠάχοςΡοδέλας + 1,072 * rpm + 8,85 * (ΤρύπεςΡοδέλας)^2 - 0,003 * (rpm)^2 - 34,964$$

7.2.3 Γραφικές παραστάσεις

Σε αυτό το υποκεφάλαιο υπάρχουν κάποιες γραφικές παραστάσεις και κάποια διαγράμματα των μοντέλων εκτόνωσης που έχουν δημιουργηθεί παραπάνω. Δημιουργήθηκαν με σκοπό να μπορέσει κάποιος να κατανοήσει την συμπεριφορά του αποσβεστήρα ταλαντώσεων και να είναι σε θέση να προβλέψει την συμπεριφορά του, πριν προχωρήσει σε παραλλαγές της συνδεσμολογίας του.

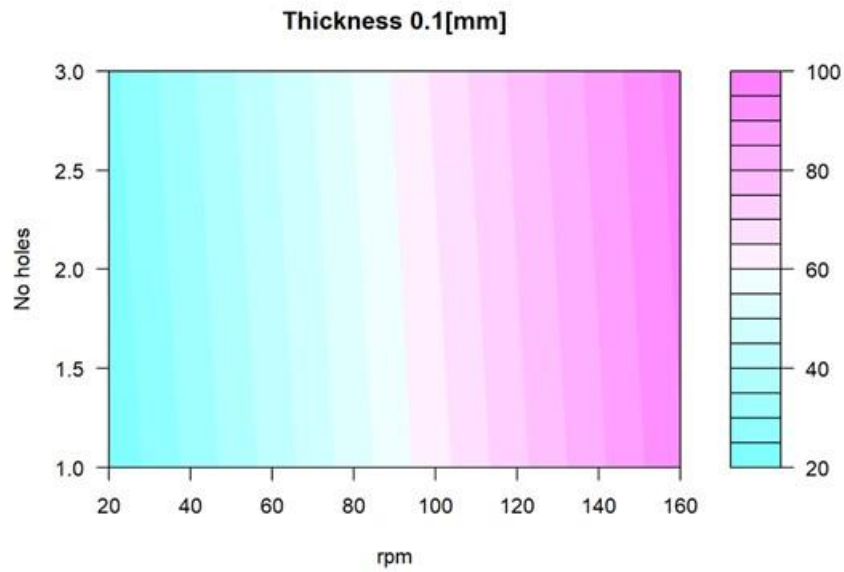


Εικόνα 61: Τρισδιάστατα γραφήματα μοντέλου εκτόνωσης L111 για πάχη ροδέλας 0,10[mm] (γκρι γραφική) και 0,15[mm] (κόκκινη γραφική από κάτω).

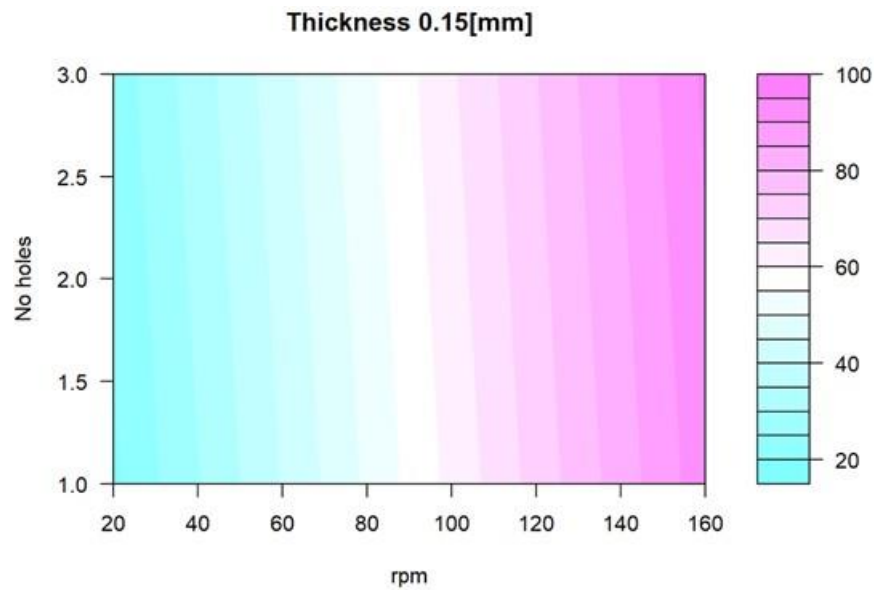
Με μια γρήγορη παρατήρηση φαίνεται ότι, όταν η ροδέλα με διαφυγές φέρει **πάχος 0,10[mm]**, η **δύναμη απόσβεσης είναι μεγαλύτερη σε μέτρο** από ότι θα ήταν όταν το πάχος της ροδέλας είναι 0,15[mm]. Αυτό ισχύει για τον λόγο του ότι η γκρι γραφική βρίσκεται 'πάνω' από την κόκκινη και στον άξονα z υπάρχουν οι δυνάμεις απόσβεσης. Παρατηρείται ότι με την αλλαγή του πάχους της ροδέλας δεν παρουσιάζονται μεγάλες αλλαγές στην δύναμη απόσβεσης.

Από τα διαγράμματα που υπάρχουν στην Εικόνα 62 και στην Εικόνα 63 παρακάτω, μπορεί να κατανοηθεί η σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην δύναμη απόσβεσης και των αριθμό των διαφυγών – τρυπών, του πάχους της ροδέλας με διαφυγές και των στροφών. Για παράδειγμα, βλέποντας το διάγραμμα της Εικόνα 62 φαίνεται (όχι τόσο ξεκάθαρα όσο φαίνεται σε άλλα διαγράμματα παρακάτω) ότι **όσο ανεβαίνει ο αριθμός των διαφυγών** στην ροδέλα, η **δύναμη απόσβεσης μειώνεται**. Στην περίπτωση που το πάχος της ροδέλας είναι 0,15[mm], ίσως φαίνεται καλύτερα απ' ότι στην περίπτωση των

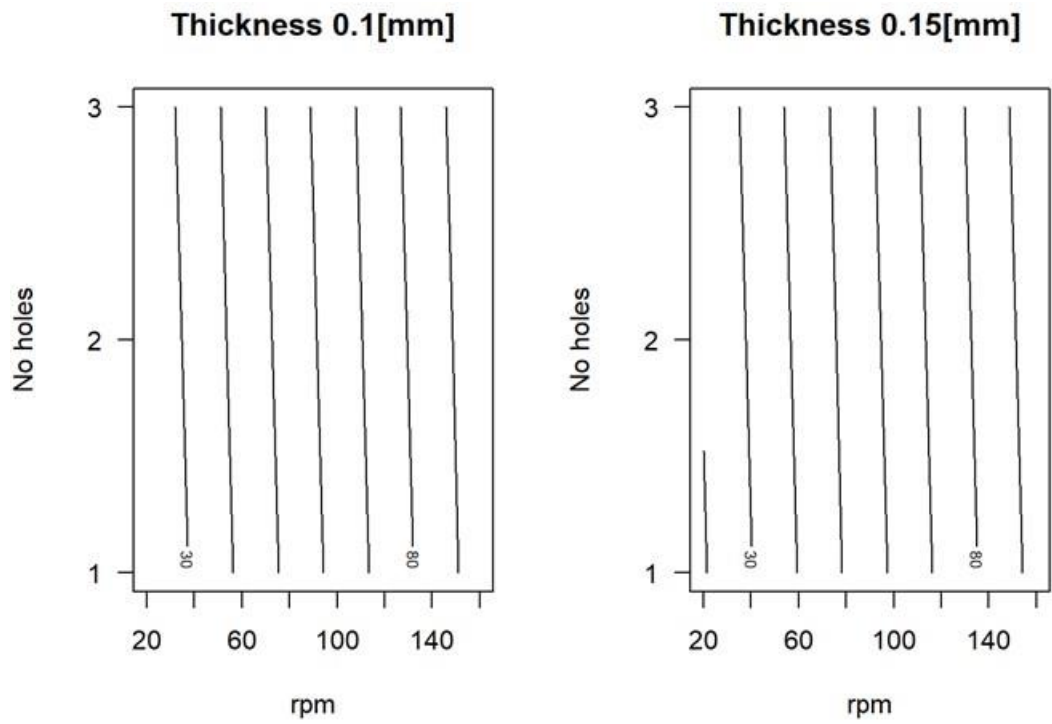
0,10[mm]. Ακόμα, όσο **ανεβαίνουν οι στροφές**, δηλαδή η ταχύτητα παλινδρόμησης, η **δύναμη απόσβεσης αυξάνεται**, όπως και είναι λογικό.



Εικόνα 62: Διάγραμμα σχέσης μεταξύ αποδιδόμενης δύναμης απόσβεσης και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,10[mm] μοντέλου εκτόνωσης L111.

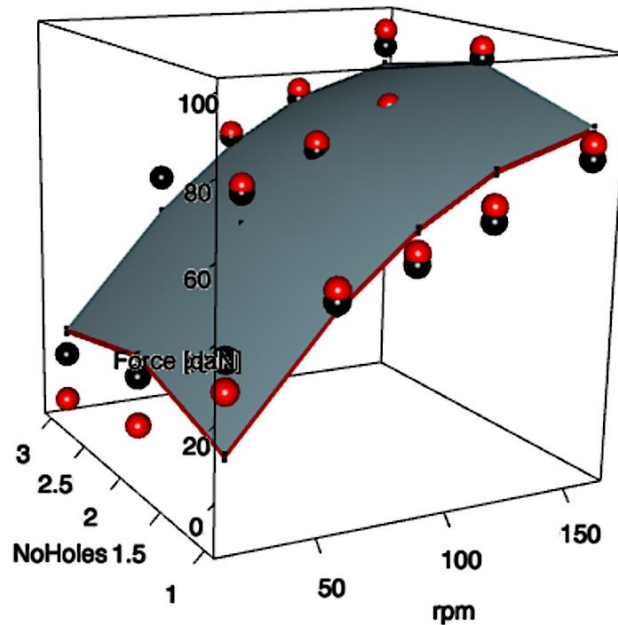


Εικόνα 63: Διάγραμμα σχέσης μεταξύ αποδιδόμενης δύναμης απόσβεσης και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,15[mm] μοντέλου εκτόνωσης L111.



Εικόνα 64:Ισοΰψιής γραφήματα σχέσης μεταξύ αποδιδόμενης δύναμης απόσβεσης και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,10[mm] αριστερά και 0,15[mm] δεξιά, μοντέλου εκτόνωσης L111.

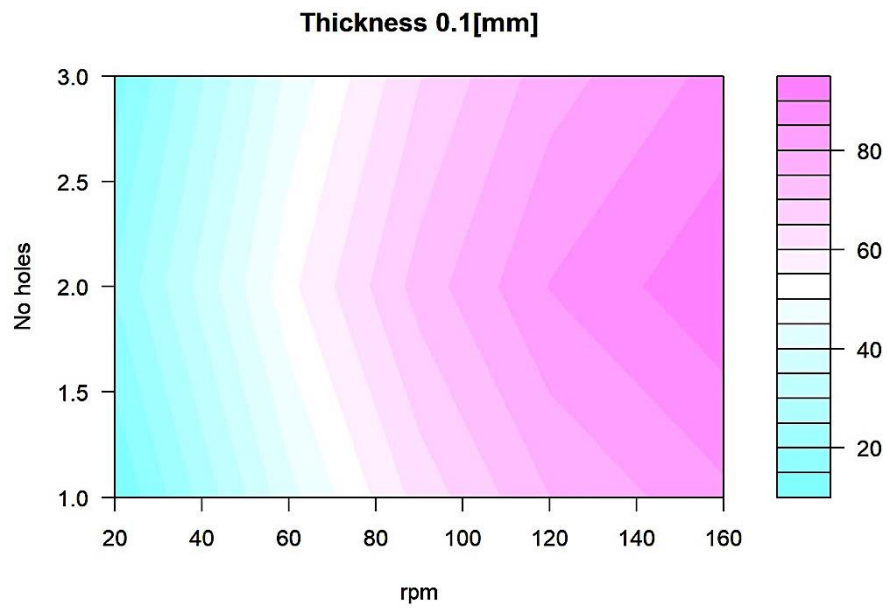
Στο τρισδιάστατο γράφημα της Εικόνα 65 παρακάτω, όπως και πριν, υπάρχουν οι δύο γραφικές παραστάσεις του μοντέλου εκτόνωσης L212.



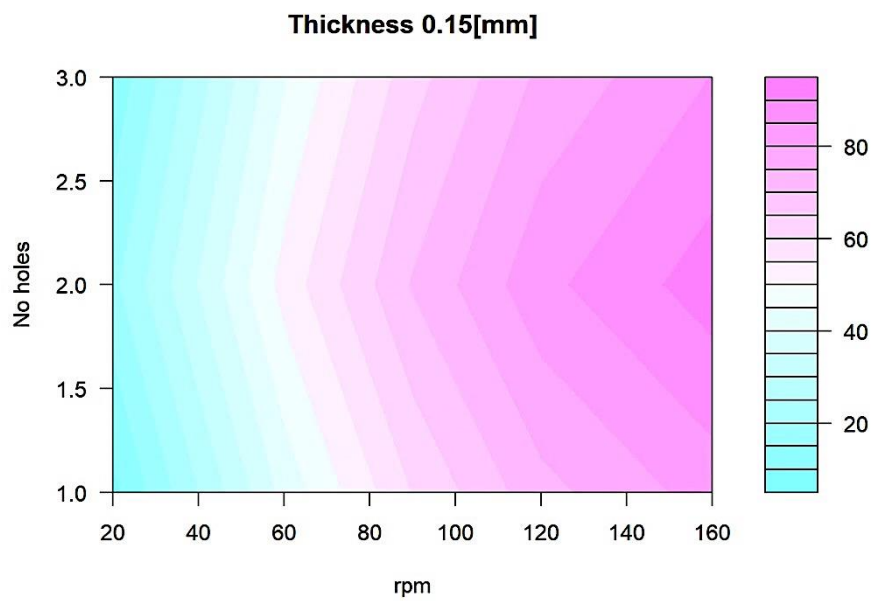
Εικόνα 65:Τρισδιάστατο γράφημα μοντέλου εκτόνωσης L212 για πάχη ροδέλας 0,10mm (γκρι γραφική) και 0,15mm (κόκκινη γραφική από κάτω).

Τα χρώματα των γραφικών δηλώνουν και πάλι τα ίδια πάχη με πριν και με μια ματιά μπορεί και εδώ να καταλάβει κανείς ότι, όταν το **πάχος της ροδέλας** με διαφυγές είναι **0,10[mm]**, η **δύναμη απόσβεσης είναι μεγαλύτερη** σε μέτρο απ'ότι όταν το πάχος της είναι 0,15[mm].

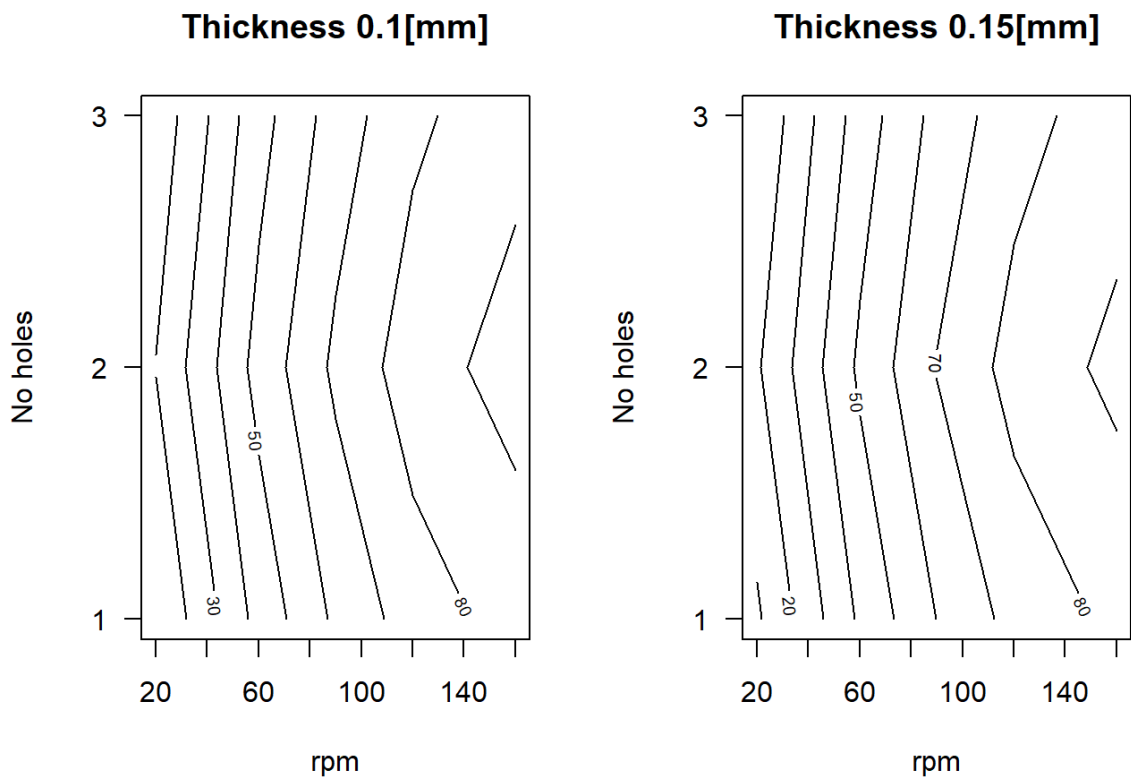
Ακόμα, από τα διαγράμματα στην Εικόνα 66 και στην Εικόνα 67 παρατηρεί κάποιος ότι η **μέγιστη δύναμη απόσβεσης** επιτυγχάνεται όταν οι **διαφυγές** στην ροδέλα είναι **δύο** και η **ελάχιστη δύναμη απόσβεσης** επιτυγχάνεται όταν οι **διαφυγή** στην ροδέλα είναι **μία**. Ακόμα, στις **χαμηλές ταχύτητες παλινδρόμησης** φαίνεται ότι η **δύναμη απόσβεσης** είναι **σχεδόν ίση** για **μία** και **τρεις διαφυγές**.



Εικόνα 66: Διάγραμμα σχέσης μεταξύ αποδιδόμενης δύναμης απόσβεσης και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,10[mm] μοντέλου εκτόνωσης L212.



Εικόνα 67: Διάγραμμα σχέσης μεταξύ αποδιδόμενης δύναμης απόσβεσης και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,15[mm] μοντέλου εκτόνωσης L212.



Εικόνα 68:Ισοϋψής γραφήματα σχέσης μεταξύ αποδιδόμενης δύναμης απόσβεσης και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,10[mm] αριστερά και 0,15[mm] δεξιά, μοντέλου εκτόνωσης L212.

7.3 Μοντέλο συμπίεσης

7.3.1 Υπολογισμός μοντέλων

Όπως και στα μοντέλα εκτόνωσης, από την ανάλυση του excel που φαίνεται στην Εικόνα 69 παρακάτω, φαίνονται οι ζητούμενοι συντελεστές και σε ποια ανεξάρτητη μεταβλητή αντιστοιχεί ο κάθε συντελεστής.

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,933871047							
R Square	0,872115132							
Adjusted R Square	0,857359185							
Standard Error	6,377664316							
Observations	30							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	3	7211,927011	2403,97567	59,10262289	9,61249E-12			
Residual	26	1057,539655	40,67460212					
Total	29	8269,466667						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-67,37068966	6,93685263	-9,711996672	3,88229E-10	-81,62959445	-53,11178486	-81,62959445	-53,11178486
Τρύπες στην ροδέλα	6,65	1,426089095	4,663102764	8,17938E-05	3,718631884	9,581368116	3,718631884	9,581368116
Πάχος ροδέλας	13,33333333	46,5758748	0,286271238	0,776939075	-82,40474844	109,0714151	-82,40474844	109,0714151
rpm	-0,301436782	0,024174474	-12,4692177	1,78292E-12	-0,351128125	-0,251745438	-0,351128125	-0,251745438

Εικόνα 69:Αποτελέσματα εξαγωγής μοντέλου συμπίεσης C111.

Ομοίως, αντικαθιστώντας τους συντελεστές στην εξίσωση έχουμε:

$$\begin{aligned} & \text{Δύναμη συμπίεσης} \\ & = -67,371 + 6,650 * \text{ΤρύπεςΡοδέλας} + 13,333 * \text{ΠάχοςΡοδέλας} - 0,301 * \text{rpm} \end{aligned}$$

Δημιουργήθηκαν συνολικά 8 διαφορετικά μοντέλα – εξισώσεις για τις δυνάμεις συμπίεσης των οποίων τα ονόματα και οι συντελεστές, παρουσιάζονται στον παρακάτω συγκεντρωτικό Πίνακας 9.

Όνομα Μοντέλου	Τρύπες Ροδέλας	Πάχος Ροδέλας	Rpm	Τρύπες Ροδέλας ²	Πάχος Ροδέλας ²	Rpm ²	Σταθερός όρος
C111	6,650	13,333	-0,301	0,000	0,000	0,000	-67,371
C211	33,250	13,333	-0,301	-6,650	0,000	0,000	-89,537
C121	6,650	13,333	-0,301	0,000	0,000	0,000	-67,371
C112	6,650	13,333	-0,666	0,000	0,000	0,002	-55,680
C221	33,250	13,333	-0,301	-6,650	0,000	0,000	-89,537
C212	33,250	13,333	-0,666	-6,650	0,000	0,002	-77,840
C222	33,250	13,333	-0,666	-6,650	0,000	0,002	-77,840
C122	6,650	13,333	-0,666	0,000	0,000	0,002	-55,680

Πίνακας 9: Συγκεντρωτικός πίνακας εξαγόμενων μοντέλων για τις δυνάμεις συμπίεσης.

7.3.2 Σύγκριση μοντέλων

Τα αποτελέσματα της πρώτης σύγκρισης μεταξύ των μοντέλων συμπίεσης C111 και C211 φαίνονται στο Πλαίσιο 2 παρακάτω.

```
## Analysis of Variance Table
##
## Model 1: DaNcompressive ~ NoHoles + Thickness + rpm
## Model 2: DaNcompressive ~ NoHoles + I(NoHoles^2) + Thickness + rpm
##   Res.Df    RSS Df Sum of Sq    F    Pr(>F)
## 1      26 1057.54
## 2      25  762.72  1    294.82 9.6633 0.004645 **
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Πλαίσιο 2: Αποτελέσματα σύγκρισης μοντέλων συμπίεσης C111 και C211.

Όλες οι συγκρίσεις που έγιναν παρουσιάζονται στον παρακάτω συγκεντρωτικό Πίνακα 10.

Μοντέλα προς σύγκριση	Df1	RSS	Df2	RSS	Pr-value σύγκρισης
C111 vs C211	26	1057.54	25	762.72	0.46%
C111 vs C121	26	1057.5	26	1057.5	-
C111 vs C112	26	1057.54	25	499.26	0,001 %
C111 vs C221	26	1057.54	25	762.72	0.46%
C111 vs C212	26	1057.54	24	204.44	0,0002%
C111 vs C122	26	1057.54	25	499.26	0,001 %
C111 vs C222	26	1057.54	24	204.44	0,0002%
C212 vs C222	24	204.44	24	204.44	-

Πίνακας 10: Αποτελέσματα συγκρίσεων ANOVA για τα μοντέλα των δυνάμεων συμπίεσης.

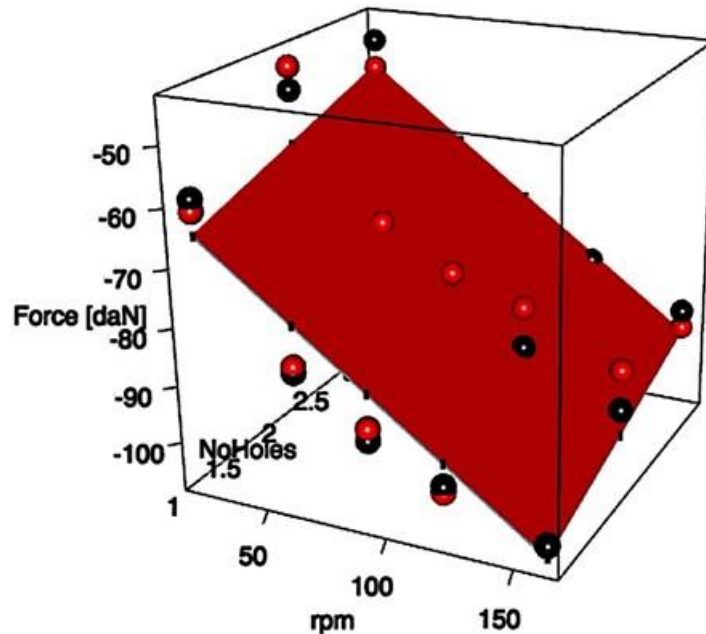
Μεταξύ των μοντέλων συμπίεσης C111 και C212, έχουμε μια τιμή Pr-value=0,0002% < α=0.5%. Το μοντέλο C212 προσεγγίζει καλύτερα από το C111 τα δεδομένα και χωρίς καμία αμφιβολία, δικαιολογεί πολύ καλά την πολυπλοκότητα του.

Οπότε, το τελικό μοντέλο που επιλέχθηκε για τις δυνάμεις συμπίεσης είναι το C212 που μέσω των συγκρίσεων, αποδείχθηκε, ότι κανένα άλλο μοντέλο δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές ώστε να το αντικαταστήσει.

$$C212 = 33,250 * ΤρύπεςΡοδέλας + 13,333 * ΠάχοςΡοδέλας - 0,666 * rpm - 6,650 * (ΤρύπεςΡοδέλας)^2 + 0,002 * (rpm)^2 - 77,840$$

7.3.3 Γραφικές παραστάσεις

Σε αυτό το υποκεφάλαιο υπάρχουν κάποιες γραφικές παραστάσεις και κάποια διαγράμματα των μοντέλων συμπίεσης που έχουν δημιουργηθεί παραπάνω.

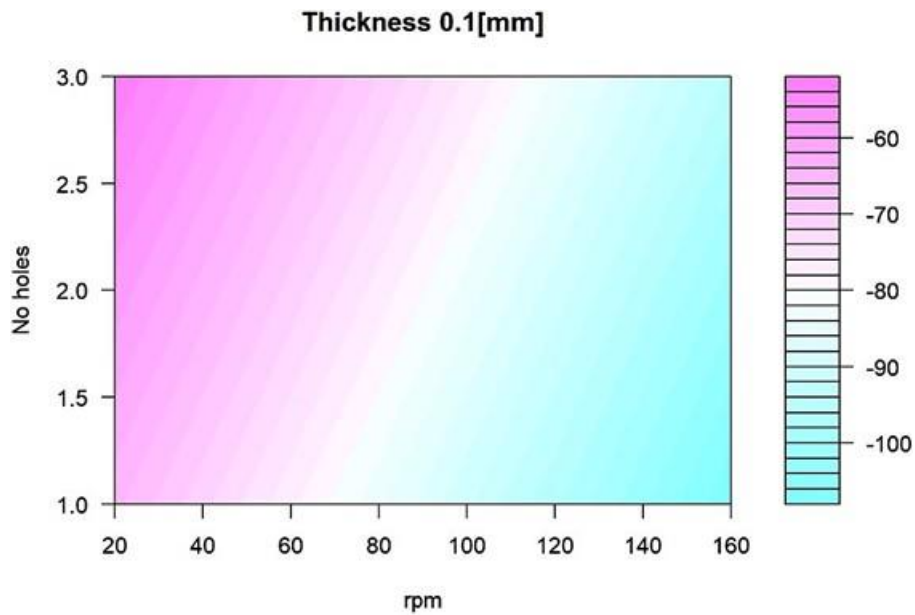


Εικόνα 70: Τρισδιάστατο γράφημα μοντέλου συμπίεσης C111 για πάχη ροδέλας 0,10mm (γκρι γραφική από κάτω) και 0,15mm (κόκκινη γραφική).

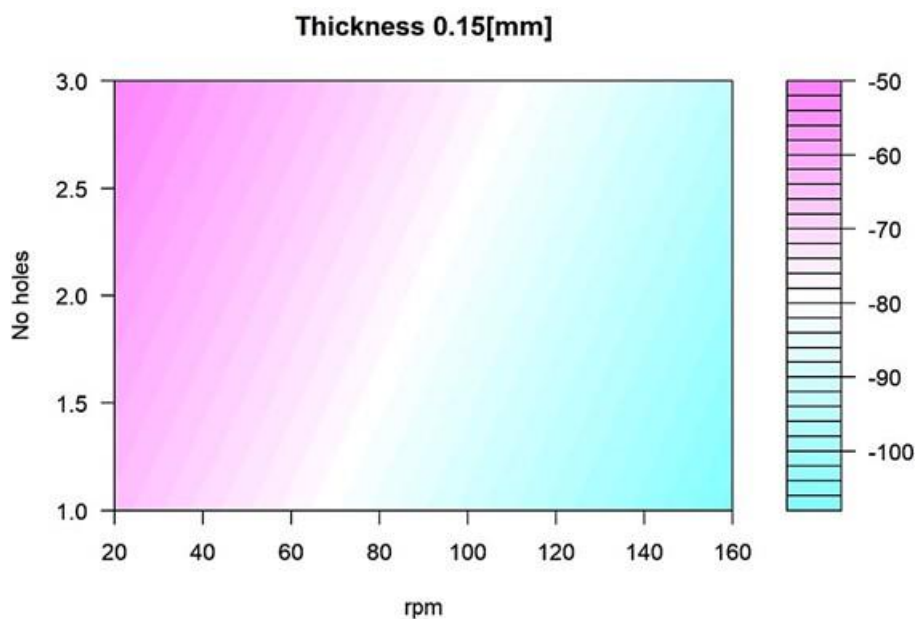
Αρχικά, φαίνεται ότι, όταν η ροδέλα με διαφυγές φέρει **πάχος 0,10[mm]**, η **δύναμη απόσβεσης είναι μεγαλύτερη σε μέτρο** από ότι θα ήταν όταν το πάχος της ροδέλας είναι 0,15[mm]. Ο λόγος που στην περίπτωση αυτή, των δυνάμεων συμπίεσης δηλαδή, βρίσκεται η γκρι γραφική από κάτω, είναι γιατί οι δυνάμεις έχουν αρνητικό πρόσημο εξαιτίας της κατεύθυνσης τους.

Όπως και πριν, από τα διαγράμματα στην Εικόνα 71 και στην Εικόνα 72 παρακάτω, φαίνεται η σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην δύναμη απόσβεσης και των αριθμό των διαφυγών – τρυπών, του πάχους της ροδέλας με διαφυγές και των στροφών.

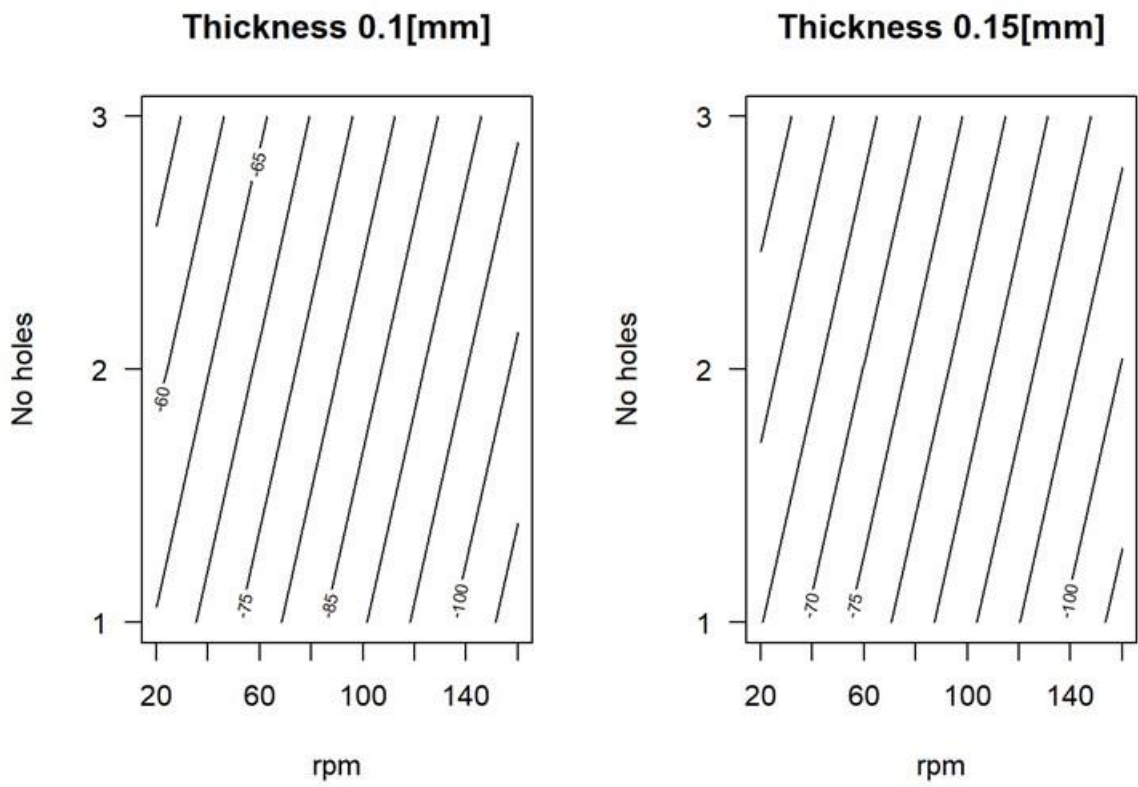
Σε αυτό το γράφημα φαίνεται, πιο ξεκάθαρα, ότι όσο ανεβαίνει ο αριθμός των διαφυγών στην ροδέλα, η αποδιδόμενη δύναμη απόσβεσης κατά την φάση της συμπίεσης μειώνεται.



Εικόνα 71:Διάγραμμα σχέσης μεταξύ αποδιδόμενης δύναμης απόσβεσης και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,10[mm] μοντέλου συμπίεσης C111.

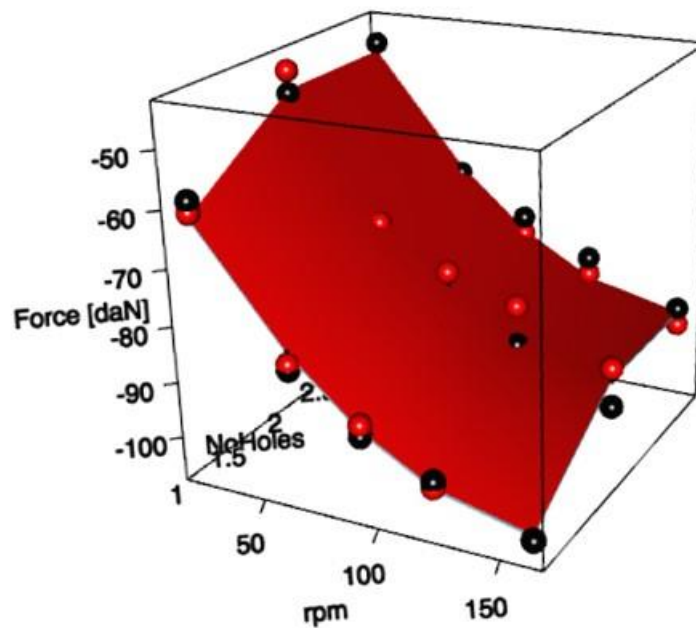


Εικόνα 72:Διάγραμμα σχέσης μεταξύ αποδιδόμενης δύναμης απόσβεσης και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,15[mm] μοντέλου συμπίεσης C111.



Εικόνα 73:Ισοϋψής γραφήματα σχέσης μεταξύ αποδιδόμενης δύναμης απόσβεσης και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,10[mm] αριστερά και 0,15[mm] δεξιά, μοντέλου συμπίεσης C111.

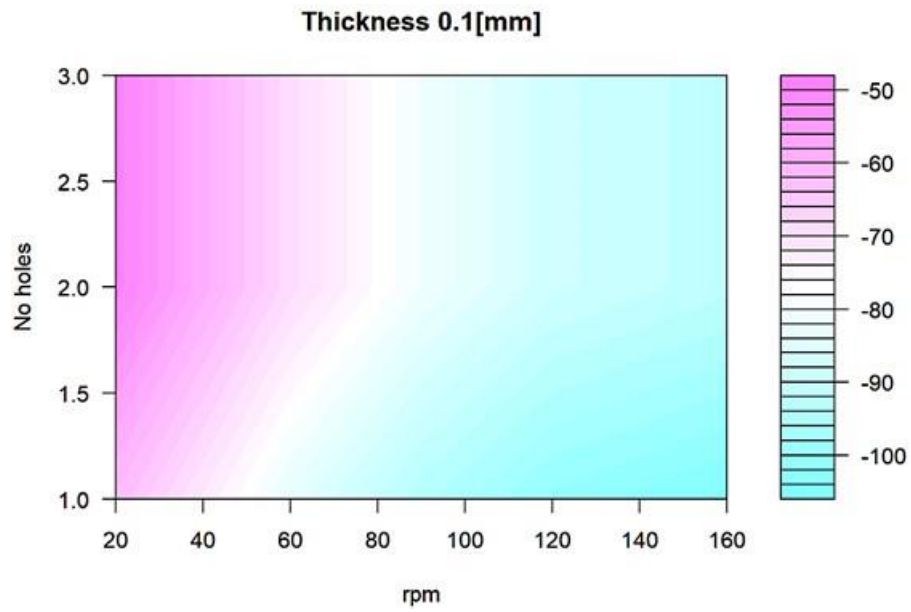
Πάλι στο τρισδιάστατο γράφημα της Εικόνα 74 παρακάτω, όπως και πριν, υπάρχουν οι δύο γραφικές παραστάσεις του μοντέλου συμπίεσης C212.



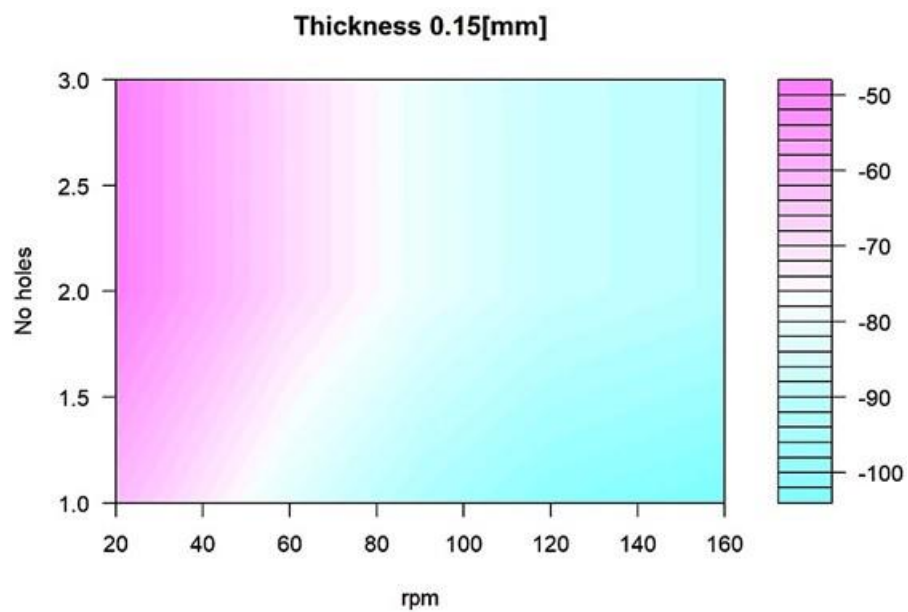
Εικόνα 74: Τρισδιάστατο γράφημα μοντέλου συμπίεσης C212 για πάχη ροδέλας 0,10mm (γκρι γραφική από κάτω) και 0,15mm (κόκκινη γραφική).

Και πάλι μπορεί να καταλάβει εύκολα κανείς ότι, όταν το **πάχος της ροδέλας** με διαφυγές είναι **0,10[mm]**, η **δύναμη απόσβεσης** είναι **μεγαλύτερη** σε μέτρο απ'ότι όταν το πάχος της είναι 0,15[mm].

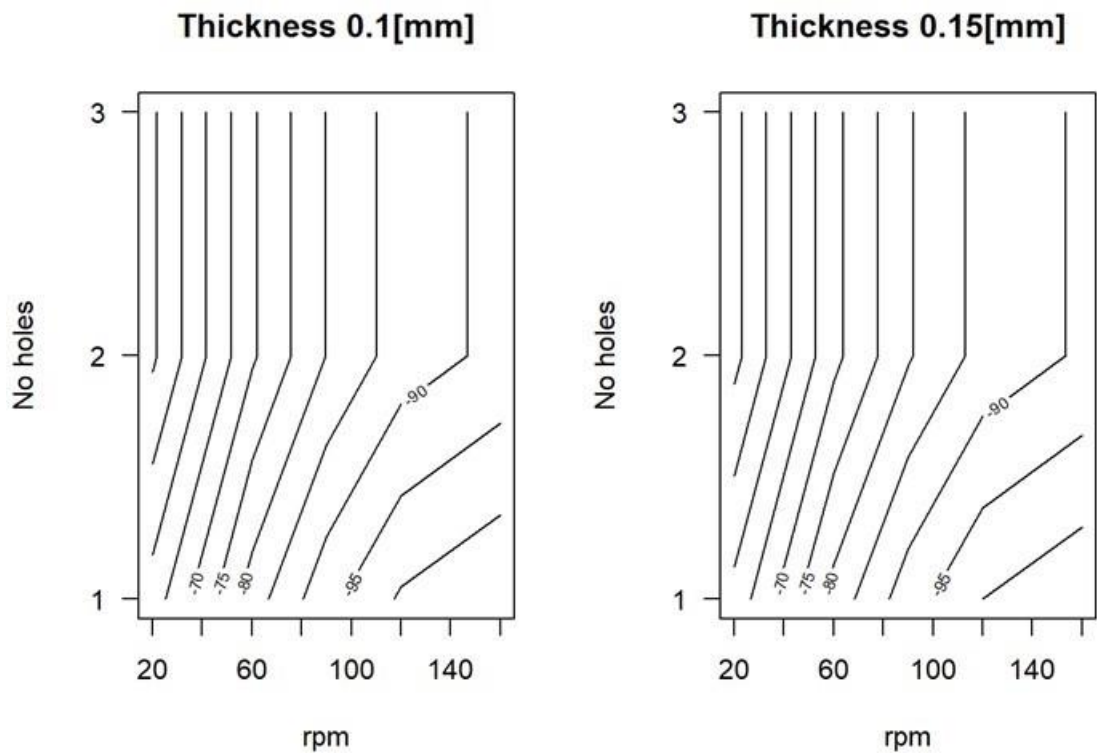
Βλέποντας το διάγραμμα στην Εικόνα 75 και στην Εικόνα 76 φαίνεται για άλλη μια φορά, ότι **όσο ανεβαίνει ο αριθμός των διαφυγών** στην ροδέλα, η **δύναμη απόσβεσης μειώνεται**. Πρέπει να σημειωθεί ότι, στις δυνάμεις εκτόνωσης, το μοντέλο L212 είχε διαφορετική συμπεριφορά (παράγραφος 7.2.3) σε σχέση με το μοντέλο C212.



Εικόνα 75:Διάγραμμα σχέσης μεταξύ αποδιδόμενη δύναμη απόσβεσης και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,10[mm] μοντέλου συμπίεσης C212.



Εικόνα 76:Διάγραμμα σχέσης μεταξύ αποδιδόμενη δύναμη απόσβεσης και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,15[mm] μοντέλου συμπίεσης C212.



Εικόνα 77: Ισοϋψής γραφήματα σχέσης μεταξύ αποδιδόμενης δύναμης απόσβεσης και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,10[mm] αριστερά και 0,15[mm] δεξιά, μοντέλου συμπίεσης C212.

7.4 Σταθερά απόσβεσης b

7.4.1 Μεθοδολογία υπολογισμού σταθεράς απόσβεσης

Όπως έχει αναφερθεί και στα θεωρητικά κεφάλαια της εργασίας ένα σημαντικό μέγεθος το οποίο παίζει ρόλο στην απόσβεση των ταλαντώσεων είναι ο συντελεστής ή αλλιώς η σταθερά απόσβεσης b (εδώ θα μπει μια αναφορά στην θεωρητική παράγραφο).

Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει τη μεθοδολογία με την οποία υπολογίστηκε η σταθερά απόσβεσης b για την φάση της εκτόνωσης και για την φάση της συμπίεσης.

Από τη θεωρία φαίνεται ότι ο τύπος υπολογισμού της σταθεράς απόσβεσης είναι:

$$F = -b * u$$

Όπου:

- $u = \frac{dx}{dt}$ και είναι η ταχύτητα σε $[\frac{m}{sec}]$.
- b ονομάζεται μια σταθερά απόσβεσης και περιγράφει το πόσο μεγάλη είναι η δύναμη απόσβεσης, οι μονάδες μέτρησης της σταθεράς είναι $[\frac{N*sec}{m}]$.

Η ταχύτητα u όπως φαίνεται και από τις μονάδες μέτρησης της είναι γραμμική ταχύτητα. Οπότε, πρέπει για τον υπολογισμό της, να μετατραπεί η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα που φέρει το δυναμόμετρο, σε γραμμική. Για να γίνει η μετατροπή αυτή, εφόσον η γωνιακή ταχύτητα μετατρέπεται σε γραμμική μέσω ενός συστήματος διωστήρα – στροφάλου, πρέπει να είναι γνωστή η κάθετη απόσταση μεταξύ της άρθρωσης του διωστήρα και του κέντρου περιστροφής του στροφάλου.

Η κάθετη απόσταση που αναφέρεται παραπάνω, είναι 26[mm] και προκύπτει από τα τεστ. Ο τύπος μετατροπής της περιστροφικής κίνησης σε γραμμική είναι ο εξής:

$$u = \frac{2 * \pi}{60} * r * rpm = 0.1047 * r * rpm$$

Όπου:

- u είναι η γραμμική ταχύτητα σε $[\frac{m}{sec}]$.
- r είναι η κάθετη απόσταση μεταξύ της 'κάτω' άρθρωσης του διωστήρα και του κέντρου περιστροφής του στροφάλου [m].
- rpm είναι η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, άρα και του στροφάλου.

Αφού έγιναν οι πράξεις, στον παρακάτω Πίνακας 11 φαίνονται οι τιμές που προέκυψαν έπειτα από κάθε μετατροπή.

<i>Ταχύτητα Περιστροφής Ηλεκτροκινητήρα [rpm]</i>	<i>Γραμμική Ταχύτητα [mm/sec]</i>
20	54.45
60	163.36
90	245.04
120	326.72
160	435.63

Πίνακας 11:Αποτελέσματα μετατροπής περιστροφικής ταχύτητας σε γραμμική.

Εφόσον έγιναν οι παραπάνω μετατροπές, μπορεί να υπολογιστεί η σταθερά απόσβεσης b με τον εξής τύπο:

$$b = \frac{F}{u}$$

Τα αποτελέσματα των σταθερών b που έχουν προκύψει παρουσιάζονται στα παρακάτω υποκεφάλαια.

7.4.2 Μοντέλο σταθεράς b εκτόνωσης

7.4.2.1 Υπολογισμός μοντέλων

Παρακάτω στο Πλαίσιο 3 φαίνεται η ανάλυση, που έγινε στο πρόγραμμα R, του πρώτου μοντέλου που αναφέρεται στην σταθερά απόσβεσης b κατά την φάση της εκτόνωσης.

```
##
## Call:
## lm(formula = c.tens.Nspm ~ NoHoles + Thickness + rpm, data = x
.data)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -363.98  -56.71   19.04   72.09  291.59
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  472.8867   146.1230    3.236  0.00329 **
## NoHoles      -44.5965    30.0402   -1.485  0.14968
## Thickness   -897.7971   981.1089   -0.915  0.36856
## rpm          -0.2863     0.5092   -0.562  0.57881
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 134.3 on 26 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.1144, Adjusted R-squared:  0.01217
## F-statistic: 1.119 on 3 and 26 DF,  p-value: 0.3594
```

Πλαίσιο 3: Αποτελέσματα εξαγωγής μοντέλου σταθεράς απόσβεσης εκτόνωσης b BT111.

Αφού έγινε η ίδια διαδικασία, όπως έγινε δηλαδή και στα μοντέλα των δυνάμεων απόσβεσης παραπάνω, προέκυψαν άλλα 7 μοντέλα των οποίων οι τιμές παρουσιάζονται στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα.

Όνομα Μοντέλου	Τρύπες Ροδέλας	Πάχος Ροδέλας	Rpm	Τρύπες Ροδέλας ²	Πάχος Ροδέλας ²	Rpm ²	Σταθερός όρος
BT111	-44,596	-897,797	-0,286	0,000	0,000	0,000	472,887
BT211	-897,797	22,687	-0,286	-16,821	0,000	0,000	416,817
BT121	-44,596	-897,797	-0,286	0,000	0,000	0,000	472,887
BT112	-44,596	-897,797	2,127	0,000	0,000	-0,013	395,383
BT221	22,687	-897,797	-0,2863	-16,821	0,000	0,000	416,817
BT212	22,687	-897,797	2,127	-16,821	0,000	-0,013	339,313
BT222	22,687	-897,797	2,127	-16,821	0,000	-0,013	339,313
BT122	-44,596	-897,797	2,127	0,000	0,000	0.013	395,383

Πίνακας 12: Συγκεντρωτικός πίνακας εξαγόμενων μοντέλων συντελεστή απόσβεσης b εκτόνωσης.

7.4.2.2 Σύγκριση μοντέλων

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε και πάλι σύγκριση των μοντέλων με την μέθοδο Ανονα, όπως έγινε και σε προηγούμενα κεφάλαια για τις δυνάμεις. Στο παρακάτω Πλαίσιο 4 φαίνεται η πρώτη σύγκριση που πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα R, ενώ στον συγκεντρωτικό Πίνακας 13, τα αποτελέσματα όλων των συγκρίσεων.

```
## Analysis of Variance Table
##
## Model 1: c.tens.Nspm ~ NoHoles + Thickness + rpm
## Model 2: c.tens.Nspm ~ NoHoles + I(NoHoles^2) + Thickness + rpm
##      Res.Df    RSS Df Sum of Sq      F Pr(>F)
## 1         26 469255
## 2         25 467369  1    1886.3 0.1009 0.7534
```

Πλαίσιο 4: Αποτελέσματα σύγκρισης μοντέλων BT111 και BT211.

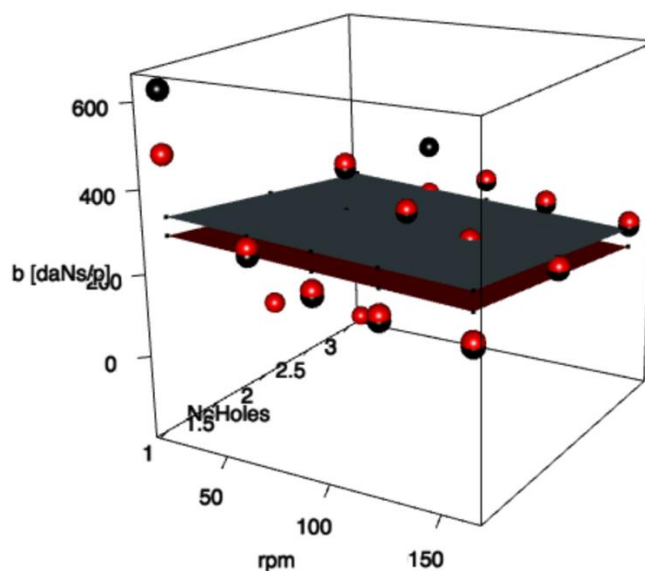
Μοντέλα προς σύγκριση	Df1	RSS	Df2	RSS	Pr-value σύγκρισης
<i>BT111 vs BT211</i>	26	469255	25	467369	75%
<i>BT111 vs BT121</i>	26	469255	26	469255	-
<i>BT111 vs BT112</i>	26	469255	25	444736	25 %
<i>BT111 vs BT221</i>	26	469255	25	467369	75%
<i>BT111 vs BT212</i>	26	469255	24	442850	49%
<i>BT111 vs BT122</i>	26	469255	25	444736	25 %
<i>BT111 vs BT222</i>	26	469255	24	442850	49%
<i>BT212 vs BT222</i>	24	442850	24	442850	-

Πίνακας 13:Αποτελέσματα συγκρίσεων ANOVA για τα μοντέλα των συντελεστών απόσβεσης b εκτόνωσης.

Από τον παραπάνω Πίνακας 13 φαίνεται ότι κανένα μοντέλο δεν έχει στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με το γραμμικό BT111, ώστε να επιλεγθεί για την ανάλυση. Με λίγα λόγια, τα υπόλοιπα εξαγόμενα μοντέλα δεν προσφέρουν ‘κάτι παραπάνω’ σε σχέση με το BT111. Συνεπώς, για την ανάλυση της σταθεράς απόσβεσης b , κατά την φάση της εκτόνωσης, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο BT111 και σαν γενικό συμπέρασμα εξάγεται, ότι δεν χρειάζεται να προχωρήσουμε σε μοντέλο υψηλότερης τάξης από αυτό.

7.4.2.3 Γραφικές παραστάσεις

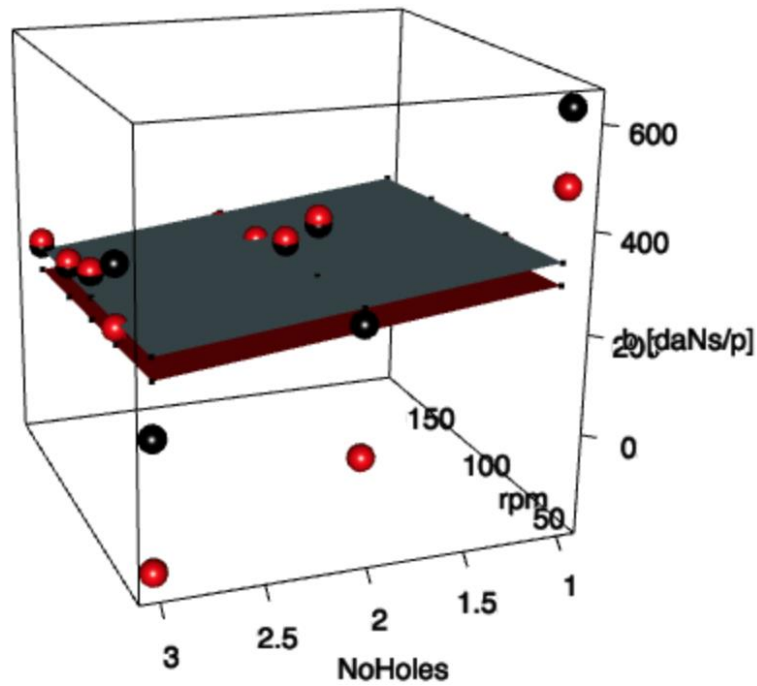
Όπως και στα προηγούμενα υποκεφάλαια που αναφέρονται σε γραφικές παραστάσεις, έτσι και σε αυτό, παρουσιάζονται οι τρισδιάστατες γραφικές παραστάσεις του εξαγόμενου μοντέλου BT111.



Εικόνα 78: Τρισδιάστατο γράφημα σταθεράς απόσβεσης b για πάχη ροδέλας 0,10[mm] (γκρι γραφική) και 0,15[mm] (κόκκινη γραφική) μοντέλου BT111.

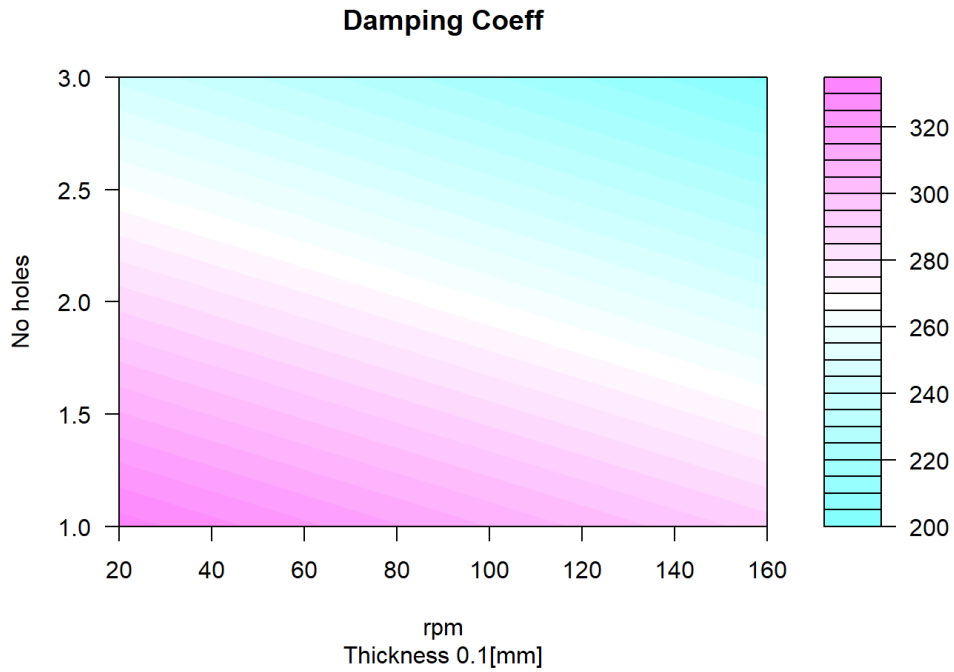
Από τα τρισδιάστατα γραφήματα της παραπάνω Εικόνα 78, μπορεί να παρατηρήσει κανείς άμεσα την επίδραση του πάχους της ροδέλας στην σταθερά b κατά την φάση της εκτόνωσης. Για παράδειγμα, όταν το πάχος της ροδέλας είναι 0,10[mm], τότε η σταθερά b εκτόνωσης είναι μεγαλύτερη, συγκριτικά με το όταν το πάχος της ροδέλας είναι 0,15[mm].

Ακόμα, στην Εικόνα 79 παρακάτω φαίνεται επίσης άμεσα ότι, όταν οι τρύπες - διαφυγές της ροδέλας με τις διαφυγές αυξάνονται, η σταθερά απόσβεσης b κατά την φάση εκτόνωσης, μειώνεται.

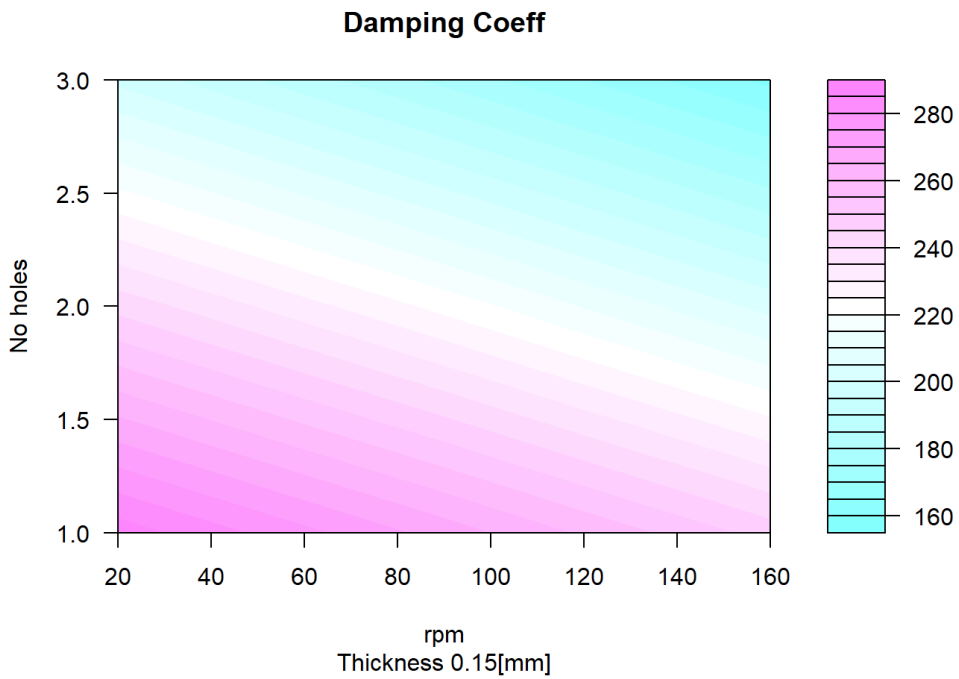


Εικόνα 79: Τρισδιάστατο γράφημα σταθεράς απόσβεσης b για πάχη ροδέλας $0,10[\text{mm}]$ (γκρι γραφική) και $0,15[\text{mm}]$ (κόκκινη γραφική) μοντέλου BT111 (σε διαφορετική οπτική γωνία).

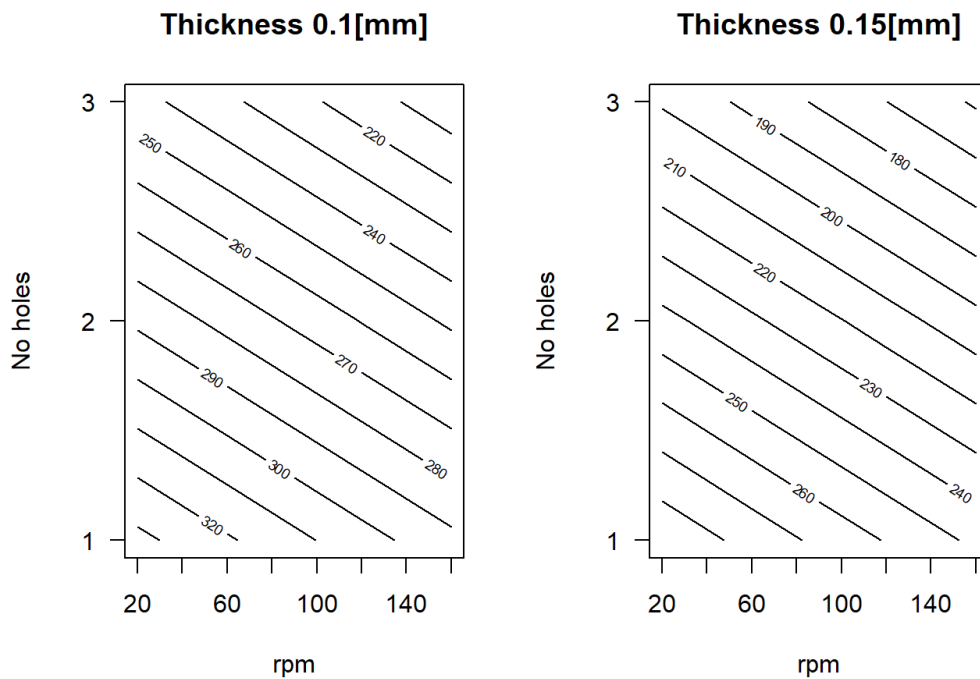
Και πάλι από τα διαγράμματα στην Εικόνα 80 και στην Εικόνα 81 παρακάτω, φαίνεται η σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην σταθερά απόσβεσης b κατά την εκτόνωση και των αριθμό των διαφυγών – τρυπών, του πάχους της ροδέλας με διαφυγές και των στροφών. Με τα διαγράμματα αυτά επαληθεύονται τα παραπάνω, δηλαδή το ότι όταν οι τρύπες - διαφυγές της ροδέλας με τις διαφυγές αυξάνονται, τότε η σταθερά απόσβεσης b κατά την φάση εκτόνωσης, μειώνεται και στην περίπτωση που το πάχος είναι $0,10[\text{mm}]$, αλλά και όταν είναι $0,15[\text{mm}]$. Επίσης, φαίνεται ότι οι μεγαλύτερες τιμές της σταθεράς απόσβεσης b εκτόνωσης προκύπτουν για 1 διαφυγή και για ροδέλα που φέρει πάχος $0,10[\text{mm}]$, το οποίο συμβαδίζει με προηγούμενα συμπεράσματα.



Εικόνα 80: Διάγραμμα σχέσης μεταξύ σταθεράς απόσβεσης b κατά την εκτόνωση και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,10[mm] μοντέλου εκτόνωσης BT111.

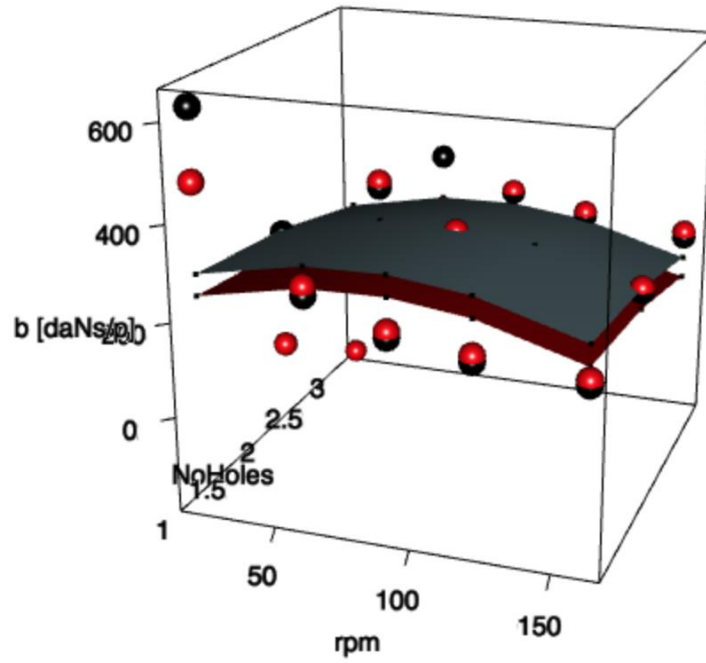


Εικόνα 81: Διάγραμμα σχέσης μεταξύ σταθεράς απόσβεσης b κατά την εκτόνωση και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,15[mm] μοντέλου εκτόνωσης BT111.

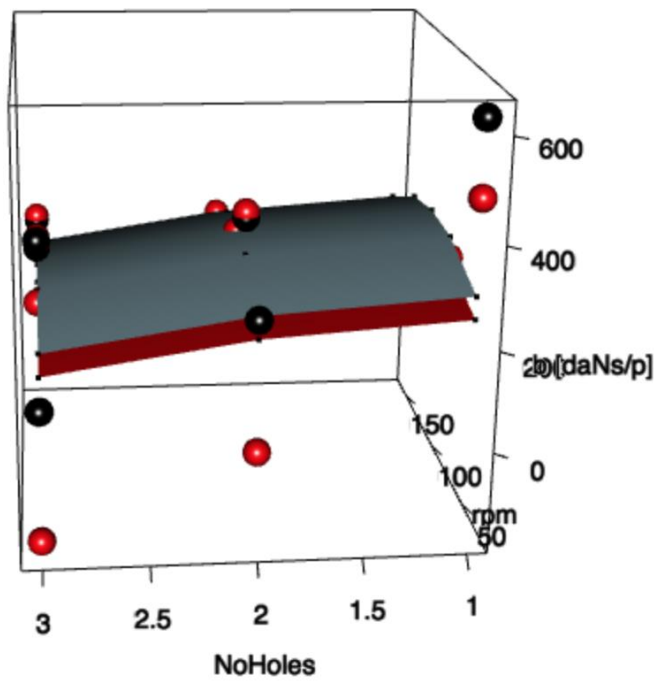


Εικόνα 82: Ισοϋψής γραφήματα σχέσης μεταξύ σταθεράς απόσβεσης b κατά την εκτόνωση και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,10[mm] αριστερά και 0,15[mm] δεξιά, μοντέλου εκτόνωσης BT111.

Από τα τρισδιάστατα γραφήματα της Εικόνα 78 και της Εικόνα 79, φαίνεται και πάλι ότι το πάχος της ροδέλας παίζει σημαντικό ρόλο στην σταθερά απόσβεσης b κατά την φάση της εκτόνωσης καθώς και πάλι, αυξάνει την σταθερά με την μείωση του. Επίσης, ισχύει ξανά, ότι όσο ανεβαίνουν οι διαφυγές – τρύπες στην ροδέλα με τις διαφυγές, η σταθερά απόσβεσης b κατά την εκτόνωση μειώνεται.



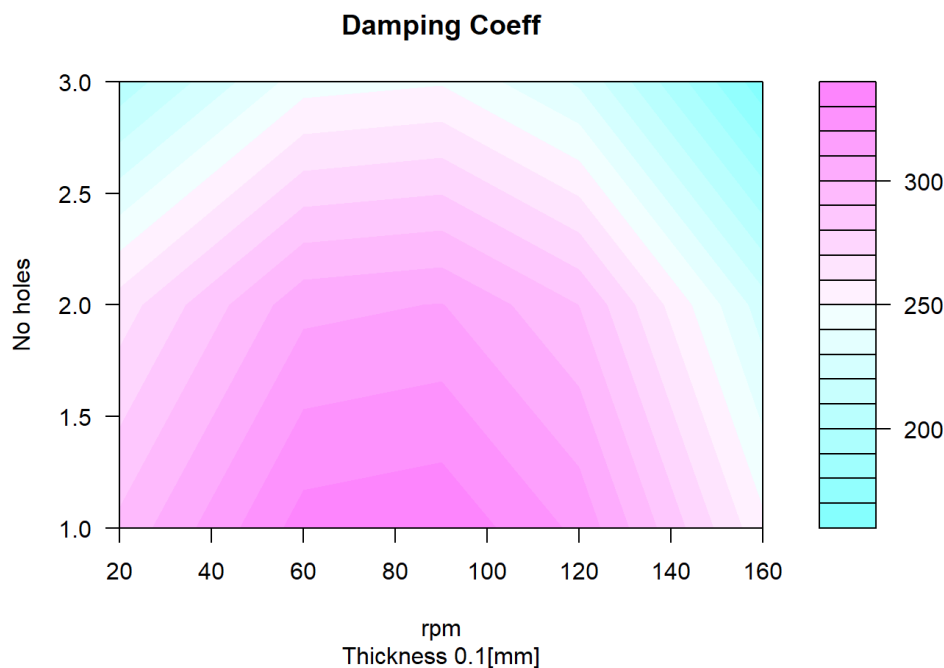
Εικόνα 83: Τρισδιάστατο γράφημα σταθεράς απόσβεσης b για πάχη ροδέλας 0,10[mm] (γκρι γραφική) και 0,15[mm] (κόκκινη γραφική) μοντέλου BT212.



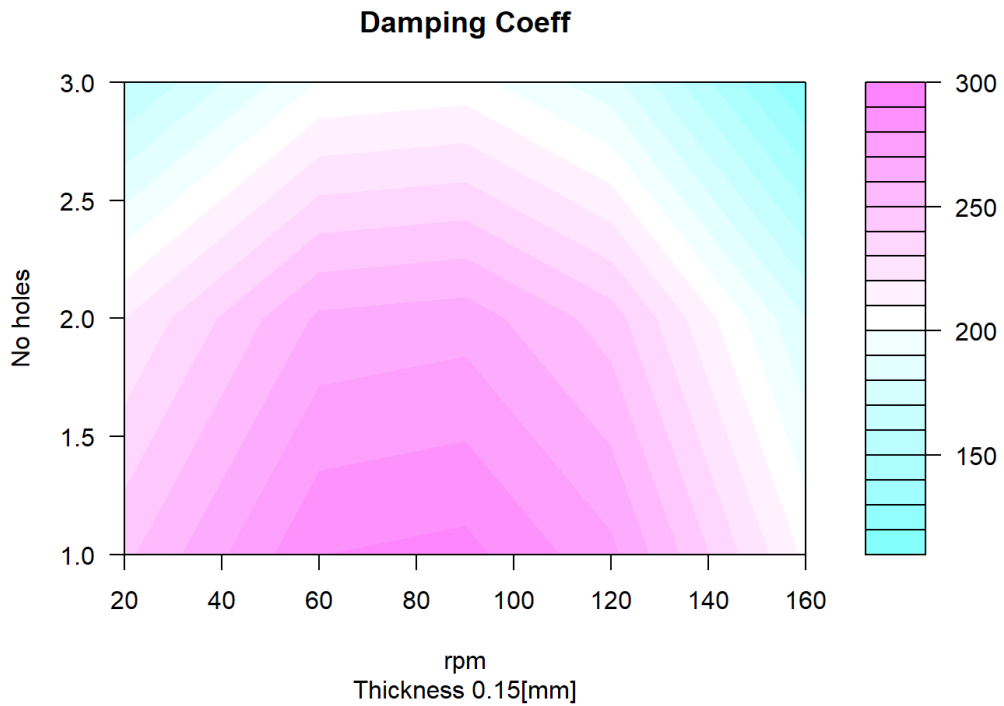
Εικόνα 84: Τρισδιάστατο γράφημα σταθεράς απόσβεσης b για πάχη ροδέλας 0,10[mm] (γκρι γραφική) και 0,15[mm] (κόκκινη γραφική) μοντέλου BT212 (σε διαφορετική οπτική γωνία).

Στα διαγράμματα της Εικόνα 85 και Εικόνα 86 φαίνεται ότι οι μεγαλύτερες τιμές της σταθεράς απόσβεσης b κατά την εκτόνωση, προκύπτουν όταν η ροδέλα με τις διαφυγές έχει πάχος $0,10[\text{mm}]$, φέρει 1 διαφυγή - τρύπα και η ταχύτητα περιστροφής είναι από $60[\text{rpm}]$ έως $100[\text{rpm}]$ περίπου. Πριν από τις $60[\text{rpm}]$ και μετά από τις $100[\text{rpm}]$ φαίνεται ότι η σταθερά απόσβεσης b μειώνεται για όλους τους αριθμούς διαφυγών αλλά και για τα δύο πάχη.

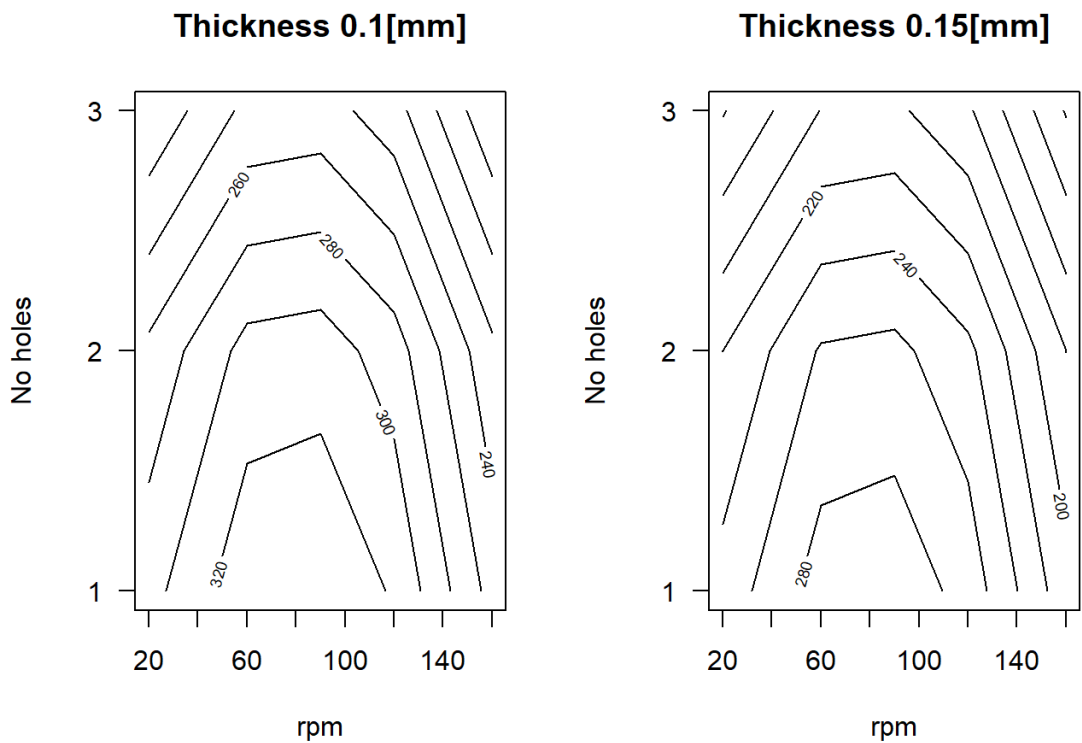
Τέλος, στο διάγραμμα της Εικόνα 86 εκτός από το ότι η μέγιστη τιμή της σταθεράς απόσβεσης b εκτόνωσης είναι χαμηλότερη από ότι στο διάγραμμα της Εικόνα 85, φαίνεται και ότι οι μεγαλύτερες τιμές της παρουσιάζονται για 1 διαφυγή και πάλι, αλλά για μικρότερο εύρος στροφών, περίπου, από $70 [\text{rpm}]$ έως $90 [\text{rpm}]$.



Εικόνα 85: Διάγραμμα σχέσης μεταξύ σταθεράς απόσβεσης b κατά την εκτόνωση και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας $0,10[\text{mm}]$ μοντέλου εκτόνωσης BT212.



Εικόνα 86: Διάγραμμα σχέσης μεταξύ σταθεράς απόσβεσης b κατά την εκτόνωση και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,15[mm] μοντέλου εκτόνωσης BT212.



Εικόνα 87: Ισοϋψής γραφήματα σχέσης μεταξύ σταθεράς απόσβεσης b κατά την εκτόνωση και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,10[mm] αριστερά και 0,15[mm] δεξιά, μοντέλου εκτόνωσης BT212.

7.4.3 Μοντέλο σταθεράς b συμπίεσης

7.4.3.1 Υπολογισμός μοντέλων

Παρακάτω στο Πλαίσιο 5 φαίνεται η ανάλυση, που έγινε στο πρόγραμμα R, του πρώτου μοντέλου που αναφέρεται στην σταθερά απόσβεσης b κατά την φάση της συμπίεσης.

```
##
## Call:
## lm(formula = c.comp.Nspm ~ NoHoles + Thickness + rpm, data = x
.data)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -281.26 -101.20   36.42  115.96  171.96
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) -976.9907   147.3823  -6.629 4.96e-07 ***
## NoHoles      40.8472    30.2991   1.348  0.189
## Thickness   -10.8824   989.5638  -0.011  0.991
## rpm          4.9413     0.5136   9.621 4.72e-10 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 135.5 on 26 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.784, Adjusted R-squared:  0.7591
## F-statistic: 31.46 on 3 and 26 DF, p-value: 8.334e-09
```

Πλαίσιο 5: Αποτελέσματα εξαγωγής μοντέλου σταθεράς απόσβεσης συμπίεσης b BC111.

Και πάλι, αφού έγινε η ίδια διαδικασία με προηγουμένως, προέκυψαν άλλα 7 μοντέλα των οποίων οι τιμές παρουσιάζονται στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα.

Όνομα Μοντέλου	Τρύπες Ροδέλας	Πάχος Ροδέλας	Rpm	Τρύπες Ροδέλας ²	Πάχος Ροδέλας ²	Rpm ²	Σταθερός όρος
BC111	40,850	-10,882	4,941	0,000	0,000	0,000	-976,990
BC211	233,414	-10,882	4,941	-48,142	0,000	0,000	-1137,463
BC121	40,850	-10,882	4,941	0,000	0,000	0,000	-976,991
BC112	40,850	-10,882	14,450	0,000	0,000	-0,053	-1282
BC221	233,414	-10,882	4,941	-48,142	0,000	0,000	-1137,463
BC212	2334	-10,882	14,450	-48,142	0,000	-0,053	-1443
BC222	2334	10,882	14,450	-48,142	0,000	-0,053	-1443
BC122	40,850	10,882	14,450	0,000	0,000	-0,053	-1282

Πίνακας 14: Συγκεντρωτικός πίνακας εξαγόμενων μοντέλων συντελεστή απόσβεσης b συμπίεσης.

7.4.3.2 Σύγκριση μοντέλων

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε και πάλι σύγκριση με την μέθοδο Anova. Στο παρακάτω Πλαίσιο 6 φαίνεται η πρώτη σύγκριση που πραγματοποιήθηκε, ενώ ο Πίνακας 15 παρουσιάζει, τα αποτελέσματα όλων των συγκρίσεων.

```
## Analysis of Variance Table
##
## Model 1: c.comp.Nspm ~ NoHoles + Thickness + rpm
## Model 2: c.comp.Nspm ~ NoHoles + I(NoHoles^2) + Thickness + rpm
##   Res.Df    RSS Df Sum of Sq    F Pr(>F)
## 1      26 477378
## 2      25 461927  1    15451 0.8362 0.3692
```

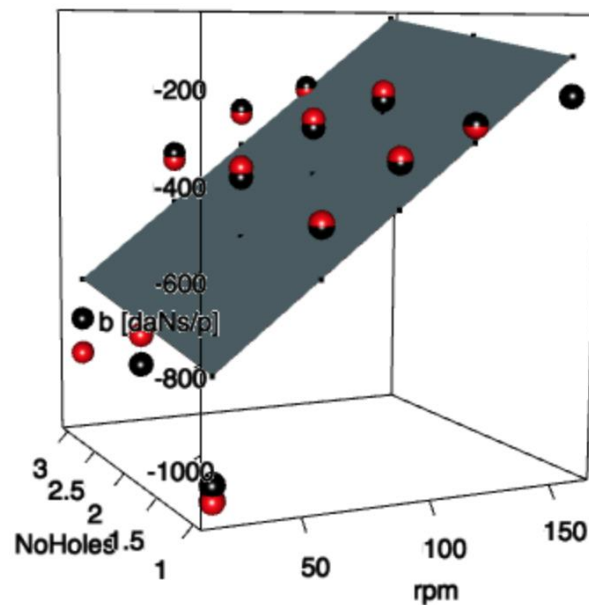
Πλαίσιο 6: Αποτελέσματα σύγκρισης μοντέλων BC111 και BC211.

Μοντέλα προς σύγκριση	Df1	RSS	Df2	RSS	Pr-value σύγκρισης
BC111 vs BC211	26	477378	25	461927	36%
BC111 vs BC121	26	477378	26	477378	-
BC111 vs BC112	26	477378	25	96968	3.899e-10
BC111 vs BC221	26	477378	25	461927	37%
BC111 vs BC212	26	477378	24	81517	6.146e-10
BC111 vs BC122	26	477378	25	96968	3.899e-10
BC111 vs BC222	26	477378	24	81517	6.146e-10
BC212 vs BC222	24	81517	24	81517	-

Πίνακας 15: Αποτελέσματα συγκρίσεων ANOVA για τα μοντέλα των συντελεστών απόσβεσης b συμπίεσης.

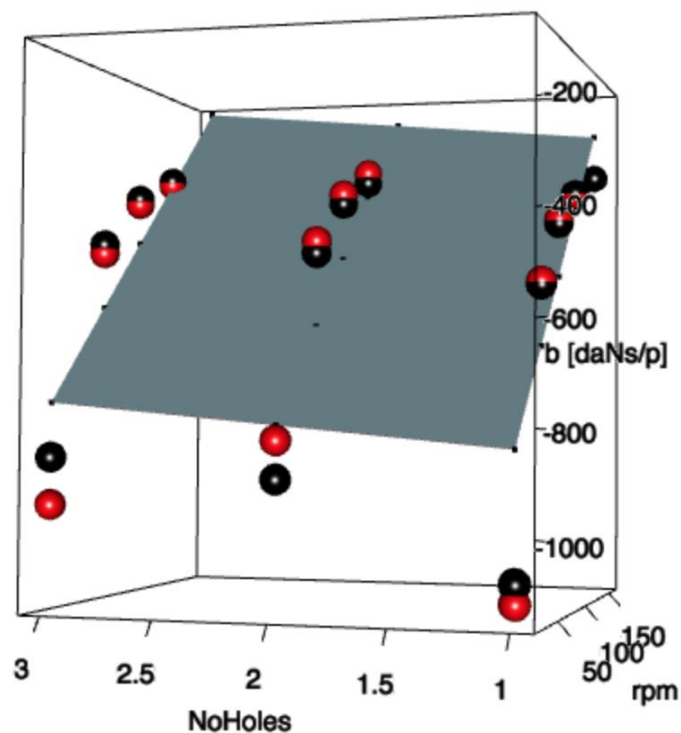
7.4.3.3 Γραφικές παραστάσεις

Και πάλι αυτό το υποκεφάλαιο αναφέρεται σε γραφικές παραστάσεις και διαγράμματα των εξαγόμενων μοντέλων BC111 και BC212.



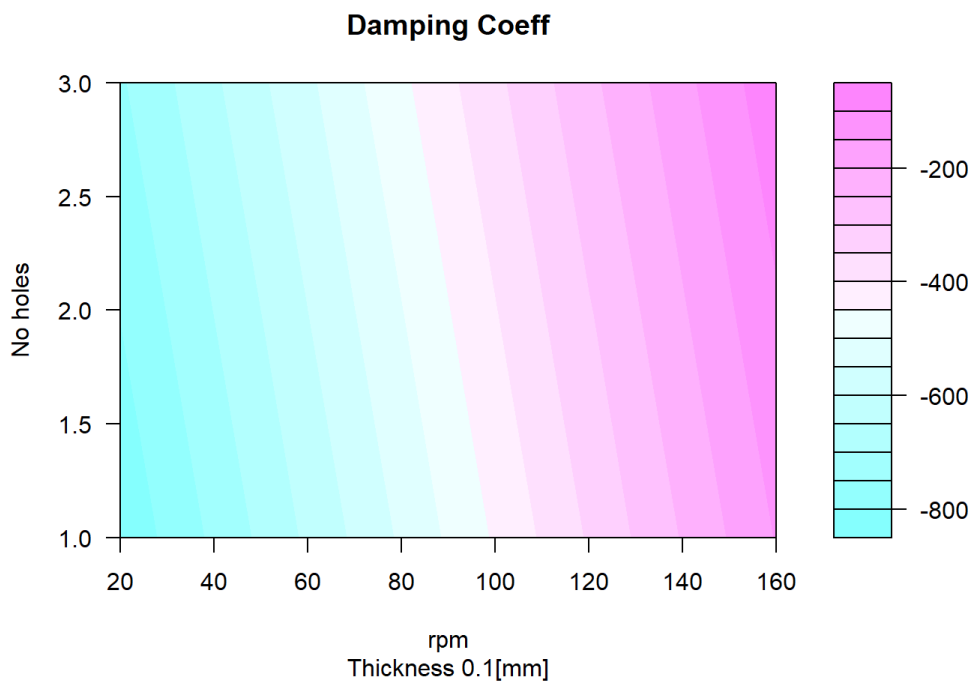
Εικόνα 88: Τρισδιάστατο γράφημα σταθεράς απόσβεσης b για πάχη ροδέλας 0,10[mm] (γκρι γραφική) και 0,15[mm] (κόκκινη γραφική από κάτω) μοντέλου συμπίεσης BC111.

Από τα τρισδιάστατα γραφήματα της Εικόνα 88 φαίνεται άμεσα ότι η αλλαγή του πάχους της ροδέλας με τις διαφυγές δεν επηρεάζει σημαντικά την σταθερά απόσβεσης b κατά την φάση της συμπίεσης. Ίσως μπορεί να ειπωθεί ότι η παραλλαγή αυτή φέρει μηδαμινή αλλαγή στην σταθερά απόσβεσης b κατά αυτή την φάση. Όμως, από τα γραφήματα της Εικόνα 89 φαίνεται ότι η αλλαγή στον αριθμών των διαφυγών στην ροδέλας με τις διαφυγές επηρεάζει την σταθερά απόσβεσης b συμπίεσης. Συγκεκριμένα, φαίνεται ότι όσο ανεβαίνουν οι διαφυγές στην ροδέλα η σταθερά απόσβεσης b συμπίεσης μειώνεται, ενώ όσο οι διαφυγές στην ροδέλα μειώνονται, η σταθερά απόσβεσης b συμπίεσης αυξάνεται πράγμα που συμβαίνει και προηγουμένως.

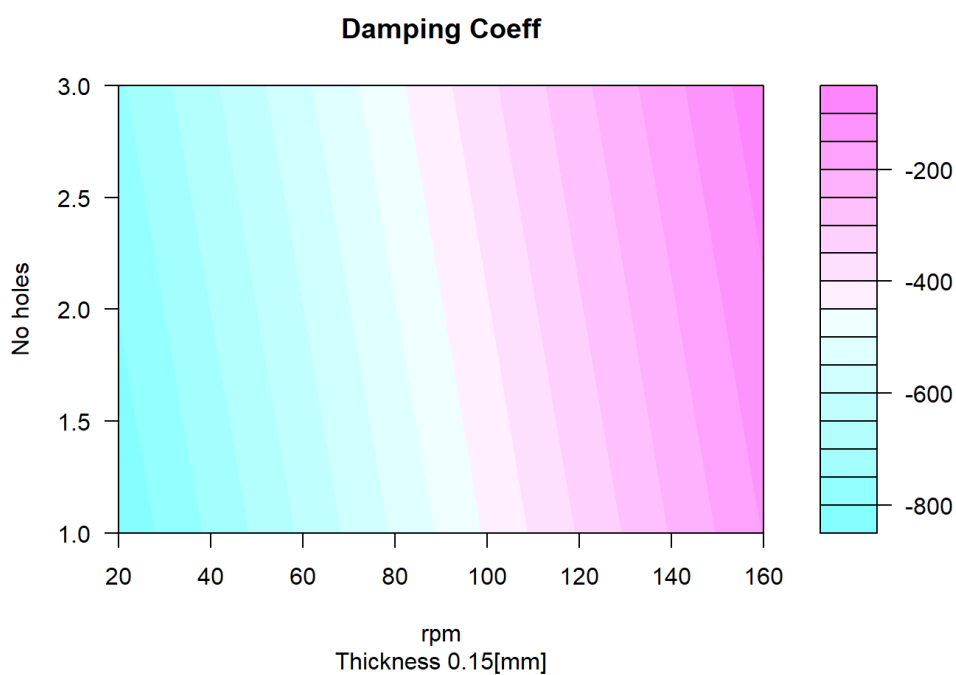


Εικόνα 89: Τρισδιάστατο γράφημα σταθεράς απόσβεσης b για πάχη ροδέλας 0,10[mm] (γκρι γραφική) και 0,15[mm] (κόκκινη γραφική από κάτω) μοντέλου συμπίεσης BC111 (σε άλλη οπτική γωνία).

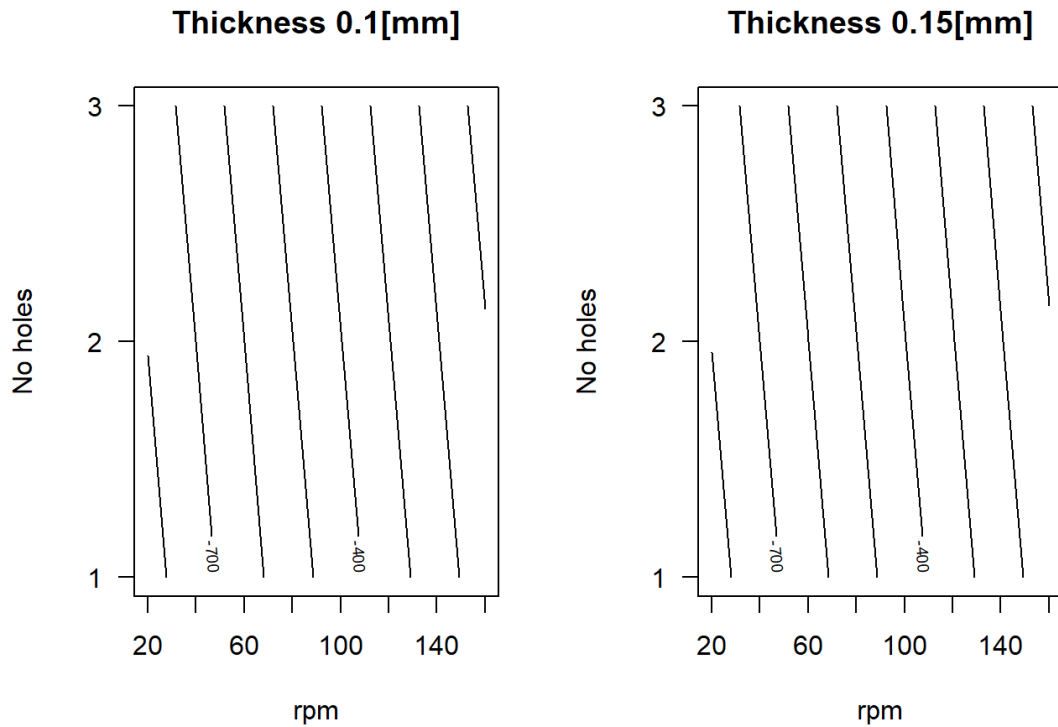
Για τα διαγράμματα της Εικόνα 90 και Εικόνα 91 φαίνεται ότι οι μεγαλύτερες τιμές της σταθεράς απόσβεσης b συμπίεσης παρουσιάζονται σε πολύ χαμηλές στροφές και για ροδέλα με 1 διαφυγή, ενώ σε όλο το εύρος των στροφών δεν φαίνεται να υπάρχουν μεγάλες διαφορές ανάμεσα στα δυο πάχη. Γενικώς σε αυτό το μοντέλο δεν παρουσιάζονται μεγάλες αλλαγές (συγκριτικά με προηγουμένως στην φάση της εκτόνωσης), από της παραλλαγή της ροδέλας με τις διαφυγές, πράγμα που είναι λογικό.



Εικόνα 90: Διάγραμμα σχέσης μεταξύ σταθεράς απόσβεσης b κατά την συμπίεση και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,10 [mm] μοντέλου συμπίεσης BC111.

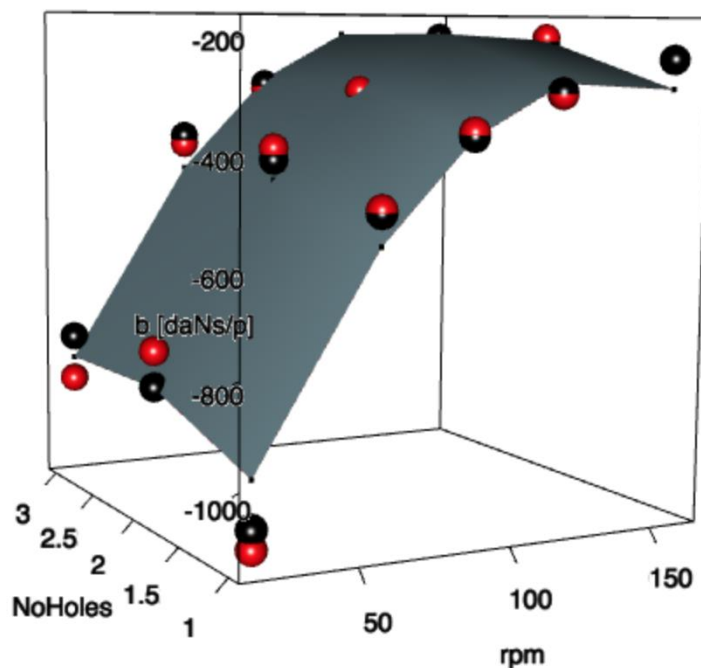


Εικόνα 91: Διάγραμμα σχέσης μεταξύ σταθεράς απόσβεσης b κατά την συμπίεση και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,15 [mm] μοντέλου συμπίεσης BC111.

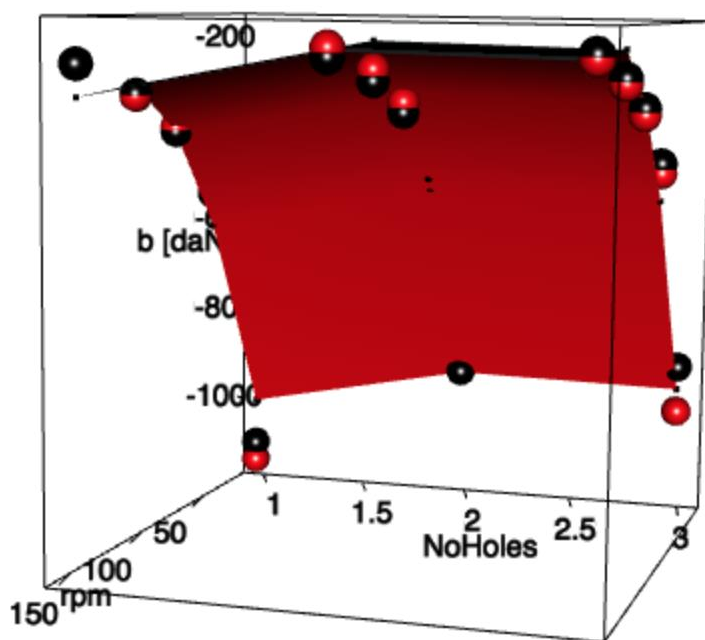


Εικόνα 92:Ισοϋψής γραφήματα σχέσης μεταξύ σταθεράς απόσβεσης b κατά την συμπίεση και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,10[mm] αριστερά και 0,15[mm] δεξιά, μοντέλου συμπίεσης BC111.

Από τα τρισδιάστατα γραφήματα της Εικόνα 93 παρακάτω φαίνεται ότι, όπως και πριν στο μοντέλο BC111, δεν επηρεάζεται σημαντικά η σταθερά απόσβεσης b συμπίεσης από την αλλαγή του πάχους της ροδέλας με τις διαφυγές, ενώ από την Εικόνα 94 φαίνεται, ότι η αλλαγή του αριθμού των διαφυγών, στην ροδέλα με τις διαφυγές, επηρεάζει τις τιμές της σταθεράς απόσβεσης b συμπίεσης.

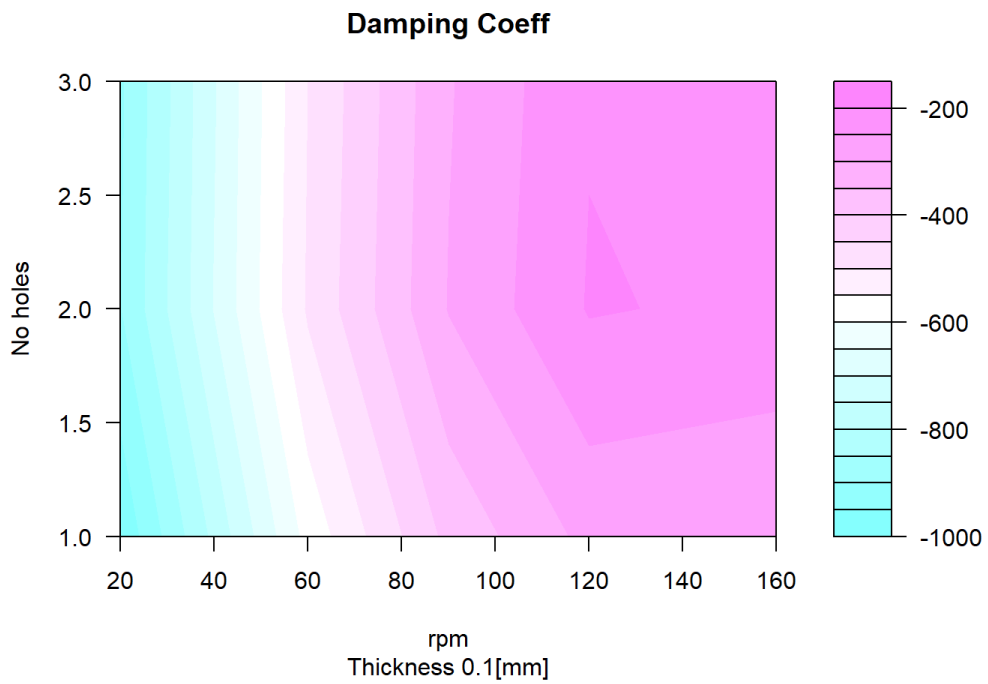


Εικόνα 93: Τρισδιάστατο γράφημα σταθεράς απόσβεσης b για πάχη ροδέλας $0,10[mm]$ (γκρι γραφική) και $0,15[mm]$ (κόκκινη γραφική από κάτω) μοντέλου συμπίεσης BC212.

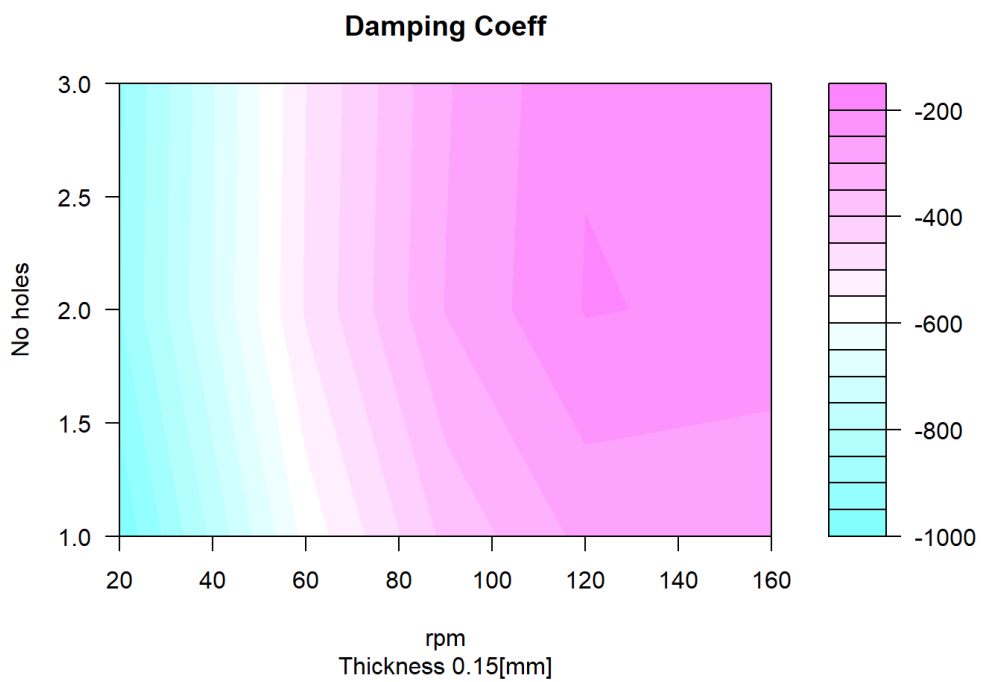


Εικόνα 94: Τρισδιάστατο γράφημα σταθεράς απόσβεσης b για πάχη ροδέλας $0,10[mm]$ (γκρι γραφική) και $0,15[mm]$ (κόκκινη γραφική από κάτω) μοντέλου συμπίεσης BC212 (σε άλλη οπτική γωνία).

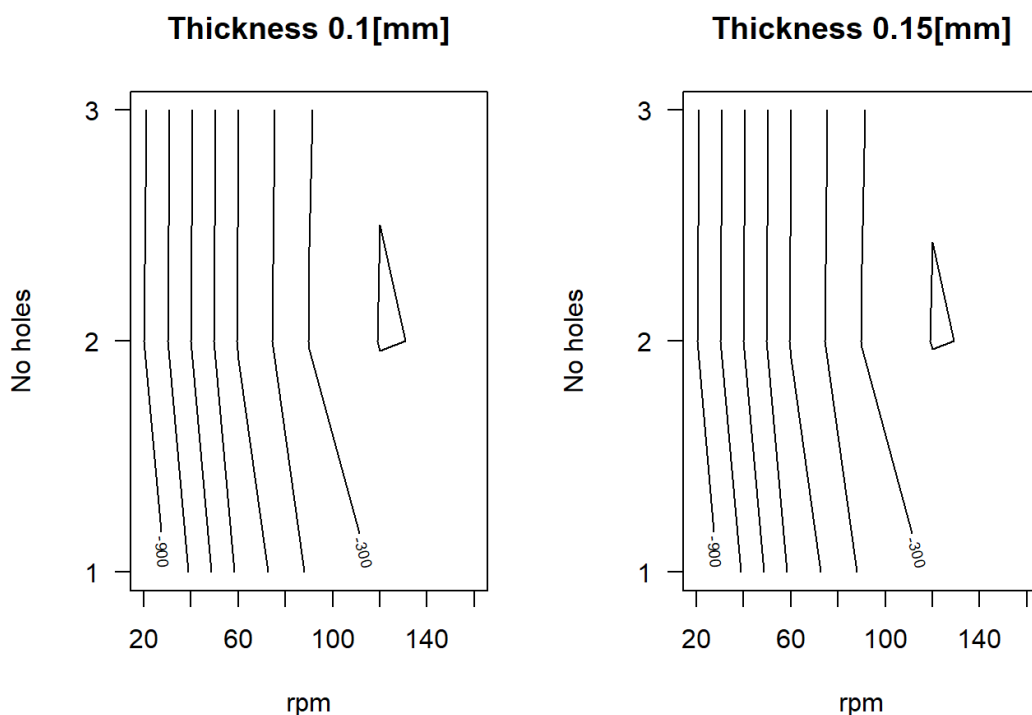
Αρχικά, σαν πρώτη εικόνα φαίνεται ότι τα διαγράμματα της Εικόνα 95 και Εικόνα 96 δεν διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους, πράγμα που επαληθεύει και πάλι, ότι πρακτικά, φέρει σχεδόν μηδαμινές διαφορές η παραλλαγή της ροδέλας με τις διαφυγές στην σταθερά απόσβεσης b , κατά την φάση της συμπίεσης.



Εικόνα 95: Διάγραμμα σχέσης μεταξύ σταθεράς απόσβεσης b κατά την συμπίεση και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας $0,10[mm]$ μοντέλου συμπίεσης BC212.



Εικόνα 96: Διάγραμμα σχέσης μεταξύ σταθεράς απόσβεσης b κατά την συμπίεση και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας $0,10[mm]$ μοντέλου συμπίεσης BC212.



Εικόνα 97: Ισοϋψής γραφήματα σχέσης μεταξύ σταθεράς απόσβεσης b κατά την συμπίεση και στροφών - αριθμού τρυπών για πάχος ροδέλας 0,10 [mm] αριστερά και 0,15 [mm] δεξιά, μοντέλου συμπίεσης BC212.

7.5 Συμπεράσματα ανάλυσης αποτελεσμάτων

Από το κεφάλαιο της ανάλυσης των αποτελεσμάτων μπορεί κάποιος ο οποίος δεν είναι εξοικειωμένος με την λειτουργία των αποσβεστήρων, όμως έχει κάποιες μαθηματικές γνώσεις, να κατανοήσει τον τρόπο λειτουργίας τους. Αφού παρατηρήσει τις γραφικές παραστάσεις και τα διαγράμματα που υπάρχουν, μπορεί να είναι σε θέση να αναγνωρίσει, ίσως και να προβλέψει, αλλαγές που θα προκύψουν έπειτα από παραλλαγές στην συνδεσμολογία. Τέλος, ο σκοπός ήταν δημιουργήσει ο καθένας μια άποψη ως προς την συμπεριφορά ενός τέτοιου αποσβεστήρα ταλαντώσεων σε μετατροπές.

Από μοντέλα των δυνάμεων απόσβεσης που έχουν προκύψει, των οποίων τα αποτελέσματα σίγουρα έχουν κάποιο σφάλμα σε σχέση με τις πραγματικές τιμές, μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα. **Για τον αποσβεστήρα ταλαντώσεων της εργασίας αυτής**, αντικαθιστώντας την ροδέλα με διαφυγές με μια της ίδιας σειράς, και π.χ., με διαφορετικό πάχος και αριθμό τρυπών – διαφυγών πρόκειται να προκύψουν σημαντικές διαφορές στην δύναμη απόσβεσης **κυρίως στις χαμηλές ταχύτητες παλινδρόμησης και για τις αποδιδόμενες δυνάμεις απόσβεσης κατά την**

φάση της εκτόνωσης. Επίσης, **δεν** φαίνεται να προκύπτουν σημαντικές αλλαγές στις **αποδιδόμενες δυνάμεις κατά την φάση της συμπίεσης.**

Από τα μοντέλα των σταθερών απόσβεσης b που έχουν προκύψει, μπορεί να εξαχθεί σαν γενικό συμπέρασμα ότι στην **φάση της εκτόνωσης**, από την παραλλαγή της ροδέλας με τις διαφυγές προκύπτουν **σημαντικές διαφορές**, πράγμα που **δεν** φαίνεται να ισχύει κατά την **φάση της συμπίεσης.** Στην ουσία αυτά τα μοντέλα φαίνεται να επαληθεύουν τα παραπάνω συμπεράσματα, άρα και τις αρχικές προβλέψεις που είχαν γίνει.

Όσο αφορά το μαθηματικό κομμάτι, σαν συμπέρασμα εξάγεται ότι, τα **μοντέλα πρώτου βαθμού δεν** επαρκούσαν ώστε να προβλέψουν τις **δυνάμεις απόσβεσης** αποτελεσματικά, **κατά την φάση της εκτόνωσης και της συμπίεσης.** Γι' αυτό εξετάστηκαν μοντέλα μεγαλύτερης τάξης και αλληλεπιδράσεων που εξηγούσαν καλύτερα τα αποτελέσματα. Κάτι που **δεν φάνηκε να ισχύει** στην περίπτωση της **σταθεράς απόσβεσης b κατά την φάση της εκτόνωσης**, που φάνηκε ότι το **μοντέλο πρώτου βαθμού εξηγούσε αρκετά καλά** τα αποτελέσματα, σε σχέση με τα υπόλοιπα, πολυπλοκότερα μοντέλα, κάτι που **δεν ίσχυε** όμως για την **σταθερά απόσβεσης b κατά την φάση της συμπίεσης.**

8 Συμπεράσματα

Ο γενικός σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να κατανοηθεί σε ένα ικανοποιητικό ποσοστό η λειτουργία ενός συμβατικού αποσβεστήρα ταλαντώσεων. Από τα πρώτα κεφάλαια φαίνεται ότι η λειτουργία αυτού του συστήματος συνδέεται άμεσα με φαινόμενα φυσικής και αυτό παρατηρείται αφού γίνει ανάγνωση του θεωρητικού υπόβαθρου.

Στην αρχή του επόμενου κεφαλαίου 4 και πιο συγκεκριμένα στα πρώτα υποκεφάλαια, σαν γενικό συμπέρασμα εξάγεται ότι κάθε όχημα, παρουσιάζει και διαφορετικές απαιτήσεις όσο αφορά το κεφάλαιο της απόσβεσης ταλαντώσεων. Έπειτα στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται και η μελέτη του αποσβεστήρα της πτυχιακής εργασίας. Αυτό είναι και ένα από τα κυριότερα σημεία της εργασίας αυτής. Η αναφορά στα διάφορα εξαρτήματα του συστήματος, ο διαχωρισμός αυτών και έπειτα η επεξήγηση της λειτουργίας τους, συμπερασματικά εξάγει σαν συμπέρασμα ότι, όλα τα εξαρτήματα δημιουργούν μια αλυσίδα με σχετικά μικρές ανοχές στις διαστάσεις. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί και στην διαδικασία της συναρμολόγησης του επόμενου κεφαλαίου.

Από το κεφάλαιο 6, στο οποίο παρουσιάζεται η εργαστηριακή δοκιμή του αποσβεστήρα, φαίνεται ότι το σύνολο αυτό με τις κατάλληλες παραλλαγές, μπορεί να αλλάξει συμπεριφορά. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι μπορεί να τροποποιηθεί ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής ή και του οδηγού. Ακόμα, συμπερασματικά, πέρα από παραλλαγές με γνώμονα τις απαιτήσεις της εφαρμογής, με αυτόν τον τρόπο είναι εφικτό να γίνει και η περιοδική συντήρηση του συστήματος.

Τέλος, από το τελευταίο κεφάλαιο 7, όπου αναλύονται τα αποτελέσματα των παραπάνω δοκιμών, εξετάζεται η συμπεριφορά του συστήματος στις αλλαγές που έγιναν και από τα μοντέλα που προκύπτουν φαίνεται ότι είναι εφικτή η πρόβλεψη της συμπεριφοράς του.

9 Επίλογος

Το πρώτο πράγμα που καταλαβαίνει κανείς έπειτα από την ανάγνωση αυτής της πτυχιακής εργασίας, είναι ότι οι απόσβεση ταλαντώσεων είναι ένα φαινόμενο με το οποίο έρχεται σχεδόν καθημερινά σε επαφή, ειδικά εάν ο ίδιος είναι οδηγός οχημάτων.

Οι αποσβεστήρες ταλαντώσεων είναι εξαρτήματα των οχημάτων που όπως και σχεδόν ότι υπάρχει σε αυτά, χρειάζεται περιοδικό έλεγχο και συντήρηση, όμως δεν είναι λίγοι αυτοί που το αγνοούν. Από τα παραπάνω κεφάλαια, στα οποία γίνεται περιγραφή της λειτουργίας ενός αποσβεστήρα και των εξαρτημάτων που αποτελείται αυτός, μπορεί κανείς να καταλάβει, πόση ακρίβεια χρειάζεται ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός αποσβεστήρα εξ ολοκλήρου από το μηδέν.

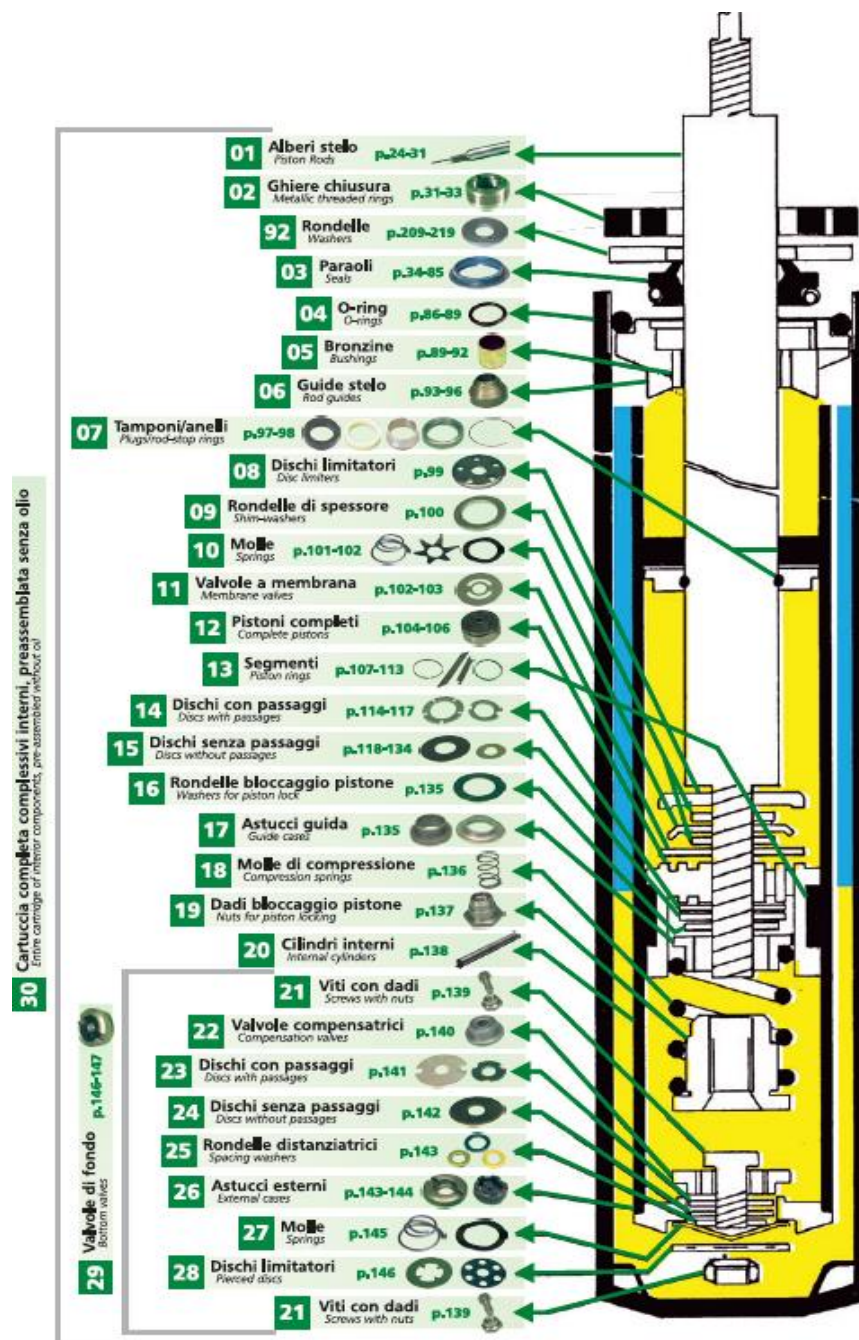
Ελπίζω κάθε αναγνώστης της πτυχιακής εργασίας αυτής να κατανοήσει την βασική ιδέα με την οποία λειτουργεί ένας συμβατικός αποσβεστήρας ταλαντώσεων και να είναι σε θέση να μπορεί να καταλάβει, τότε ένα όχημα έχει φθαρμένους αποσβεστήρες.

10 Βιβλιογραφία

- Abhishek, C. (2011, Αυγουστος -). *Zigwheels*. Ανάκτηση Νοέμβριος 10, 2017, από Zigwheels: <https://www.zigwheels.com/news-features/auto-insight/sprung-mass-and-unsprung-mass/9188/>
- Dixon, J. C. (2007). Types of friction. Στο J. C. Dixon, *The shock absorber handbook* (Τόμ. II, σσ. 15-17). Great Britain: Professional engineering publishing Ltd and John Wiley and sons, Ltd.
- Giles, R. V., & Μέγγος, Α. (1976). Ιδιότητες των ρευστών. Στο R. V. Giles, *Μηχανική των ρευστών και υδραυλική*. Guildford: McGraw-Hill, New York.
- ISC Suspension. (2017). *ISC Suspension*. Ανάκτηση November 13, 2017, από ISC Suspension: <http://iscsuspension-na.com/monotube-vs-twin-tube-difference-better/>
- Monroe. (2017). *Monroe*. Ανάκτηση 12 6, 2017, από Monroe: <http://www.monroe.com/en-emea/shockopedia/shocks-vs-struts>
- Panzieri, C. (2014, Νοέμβριος). Αμορτισέρ μονού σωλήνα. *Το συνεργείο του αυτοκινήτου*(1054), σσ. 20-22.
- Panzieri, C. (2014, Οκτώμβριος). Εισαγωγή στα αμορτισέρ. *Το συνεργείο του αυτοκινήτου*(1053), σσ. 20-23.
- Riley, R. Q. (2010, - -). *Robert Q. Riley enterprises. Product & development*. (R. Q. Riley, Επιμελητής, & R. Q. Riley, Παραγωγός) Ανάκτηση November 12, 2017, από Robert Q. Riley enterprises. Product & development: <https://www.rqriley.com/suspensn.htm>
- Smith, C. (1978). The shock absorber. Στο C. Smith, *Tune to win* (σ. 74). United States, United States: Aero publishers, inc.
- Wikipedia. (2007, May -). *Wikipedia*. Ανάκτηση November 10, 2017, από Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Unsprung_mass
- Wikipedia. (2016, Αύγουστος 1). *Wikipedia*. Ανάκτηση Νοέμβριος 10, 2017, από Βικιπαίδεια: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B1%CE%BB%CE%AC%CE%BD%CF%84%CF%89%CF%83%CE%B7>
- Young, H. D. (1994). Αποσβενόμενες ταλαντώσεις. Στο H. D. Young, *Πανεπιστημιακή φυσική* (Ε. Αναστασάκης, Σ. Βλασσόπουλος, Ε. Δρης, Η. Ζουμπούλης, Η. Κουτσούφης, Γ. Κουρούκλης, . . . Κ. Χριστοδουλίδης, Μεταφρ., Τόμ. 8ή, σσ. 363-365). Εκδόσεις Παπαζήση.

Καλλικούρδη, Μ., & Βάου, Ε. Δ. (1978). Σύστημα αναρτήσεως, ωθήσεως και αντιδράσεως.
Στο Μ. Καλλικούρδη, & Ε. Δ. Βάου, *Βιβλιοθήκη του τεχνίτη, Αυτοκίνητο* (σ. 237).
Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου.

11 Παράρτημα



Εικόνα 98: Σχέδιο και συνδεσμολογία εξαρτημάτων αποσβεστήρα ταλαντώσεων διπλού σωλήνα Emmetec. Το παραπάνω σχέδιο χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του αποσβεστήρα ταλαντώσεων της πτυχιακής εργασίας.

Πηγή: Shock Absorber Catalogue Emmetec 2016

Emmetec

Telephon Fax

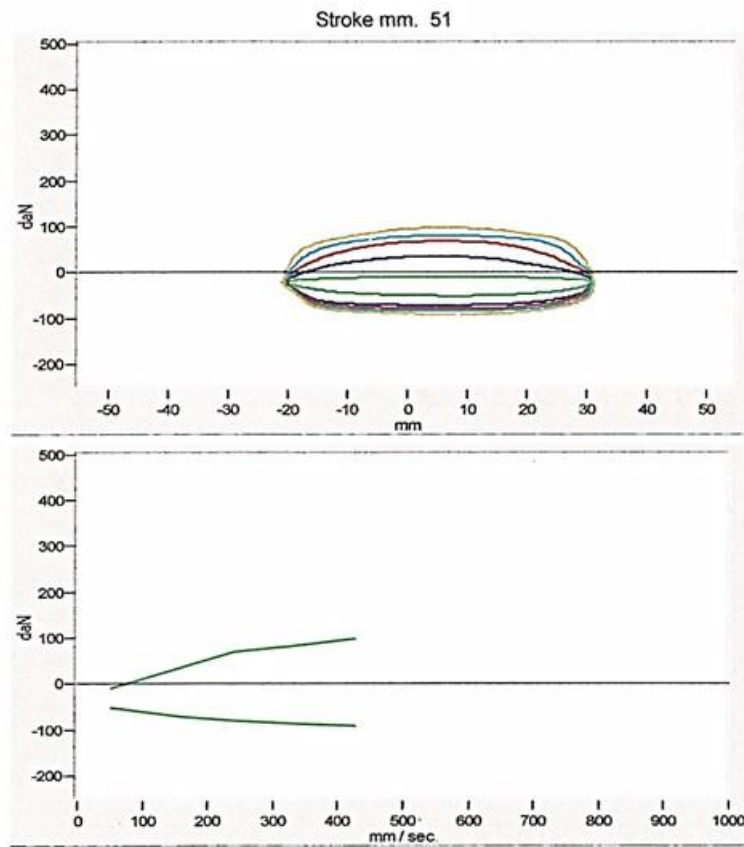
Model
Customer

Shock Absorber Test 1

Operator:

Tested 23/9/2017 10:28:06 πμ

	r.p.m.	Sec.Period	daN Distens.	daN Compres.	T.Body	T.Room
V1	20	2	-9	-52	28	33
V2	60	2	36	-73	28	33
V3	90	2	68	-80	28	33
V4	120	2	80	-86	28	34
V5	160	2	97	-93	28	34



Εικόνα 99: Αποτελέσματα πρώτου τεστ με εύκαμπτη ροδέλα 3 οπών και ύψους 0.15 [mm].

Emmetec

Telephon Fax

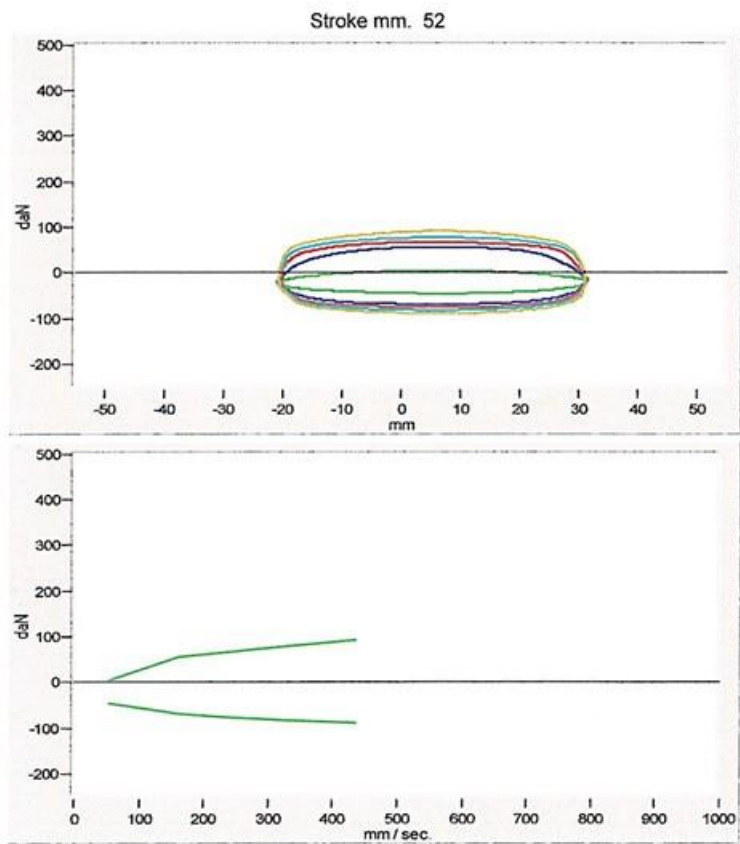
Model
Customer

Shock Absorber Test 2

Operator:

Tested 23/9/2017 10:41:01 πμ

	r.p.m.	Sec.Period	daN Distens.	daN Compres.	T.Body	T.Room
V1	20	2	5	-47	29	34
V2	60	2	56	-70	29	34
V3	90	2	67	-77	29	34
V4	120	2	77	-83	29	34
V5	160	2	92	-90	29	34



Εικόνα 100: Αποτελέσματα δεύτερου τεστ με εύκαμπτη ροδέλα 3 σπών και ύψους 0.10 [mm].

Emmetec

Telephon Fax

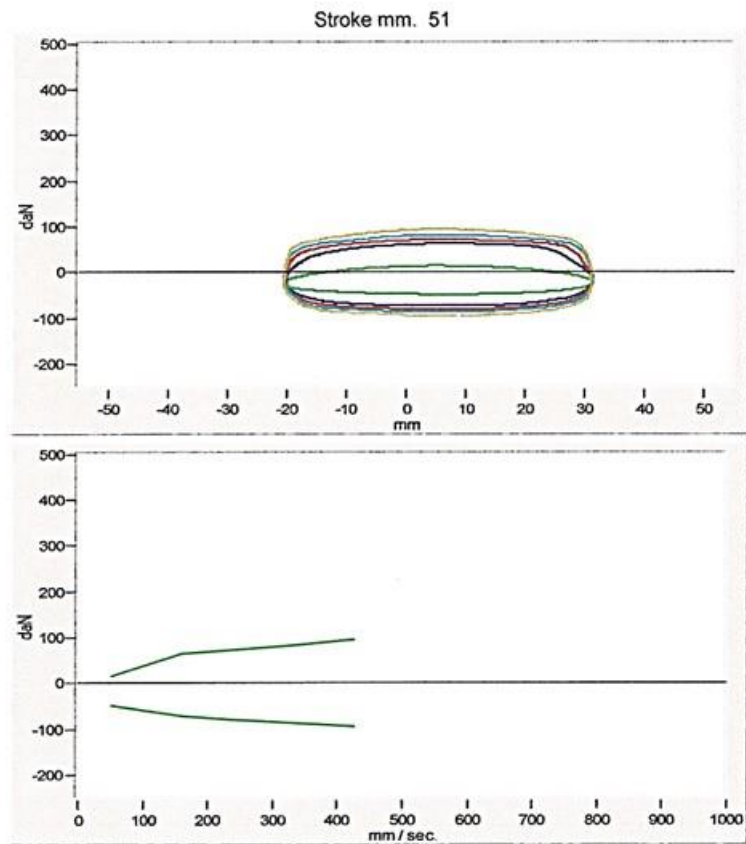
Model
Customer

Shock Absorber Test 3

Operator:

Tested 23/9/2017 10:52:35 πμ

	r.p.m.	Sec.Period	daN,Distens.	daN,Compres.	T.Body	T.Room
V1	20	2	14	-49	30	35
V2	60	2	62	-74	29	35
V3	90	2	72	-82	30	35
V4	120	2	81	-88	30	35
V5	160	2	95	-96	29	35



Εικόνα 101: Αποτελέσματα τρίτου τεστ με εύκαμπτη ροδέλα 2 σπών και ύψους 0.10 [mm].

Emmetec

Telephon Fax

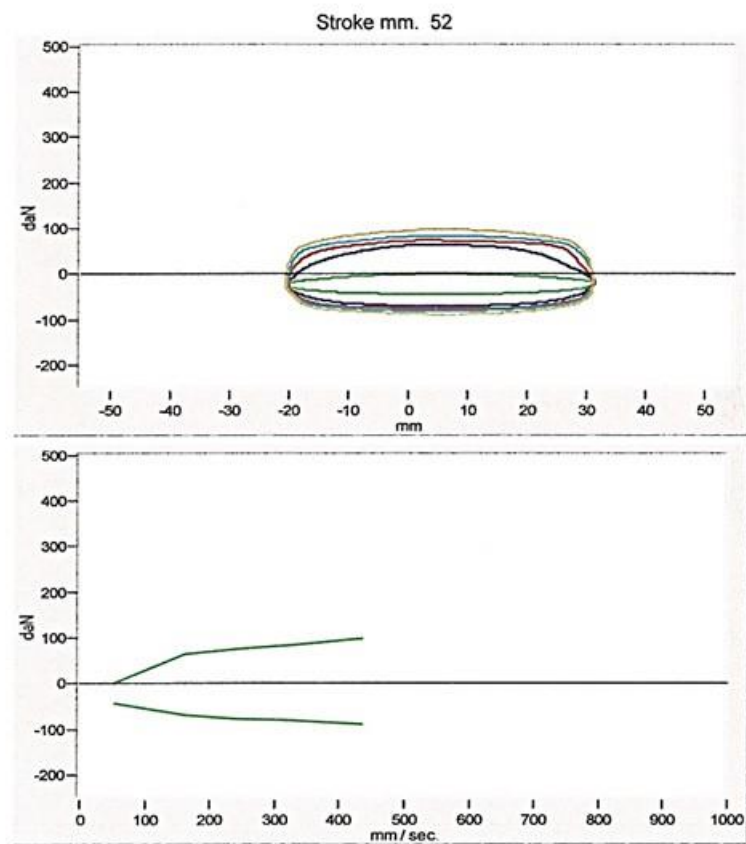
Model
Customer

Shock Absorber Test 4

Operator:

Tested 23/9/2017 11:01:45 πμ

	r.p.m.	Sec.Period	daN Distens.	daN Compres.	T.Body	T.Room
V.1	20	2	0	-45	30	37
V.2	60	2	64	-70	30	37
V.3	90	2	74	-77	30	37
V.4	120	2	83	-81	30	36
V.5	160	2	98	-89	30	36



Εικόνα 102: Αποτελέσματα τέταρτου τεστ με εύκαμπτη ροδέλα 2 σπών και ύψους 0.15 [mm].

Emmetec

Telephone Fax

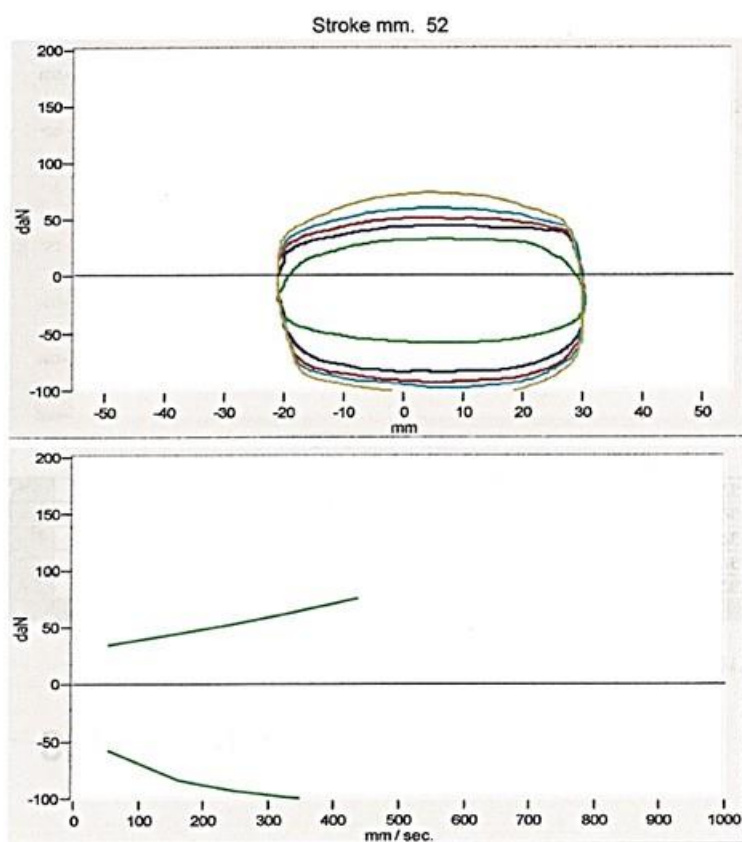
Model
Customer

Shock Absorber Test 5

Operator:

Tested 3/11/2017 5:50:41 μμ

	r.p.m.	Sec.Period	daN Distens.	daN Compres.	T Body	T Room
V1	20	2	34	-59	21	27
V2	60	2	45	-85	21	27
V3	90	2	52	-94	21	27
V4	120	2	61	-99	21	27
V5	160	2	75	-105	21	27



Εικόνα 103: Αποτελέσματα πέμπτου τεστ με εύκαμπτη ροδέλα 1 σπής και ύψους 0.10 [mm].

Emmetec

Telephon Fax

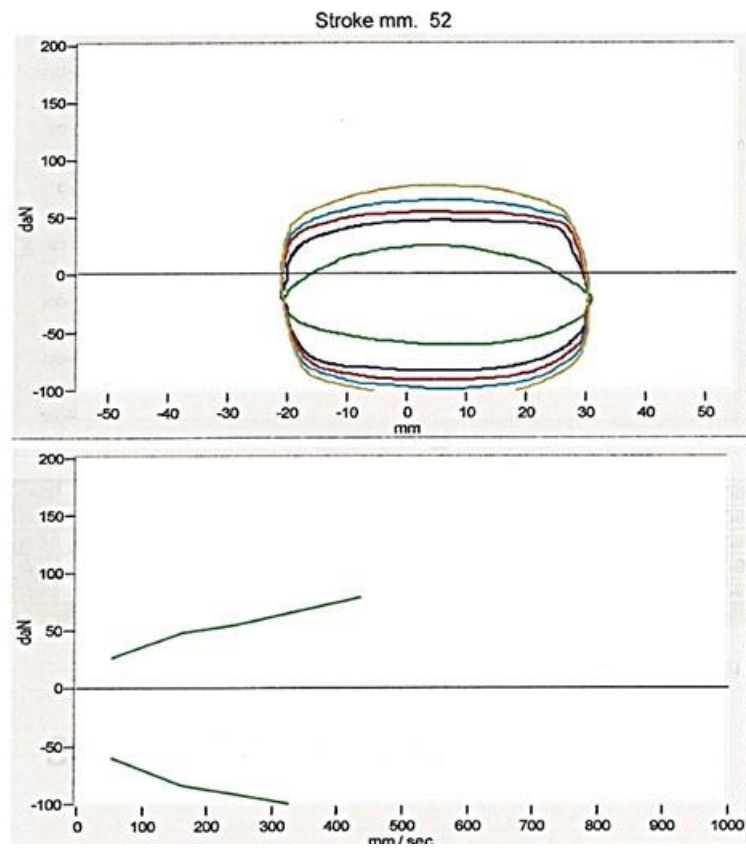
Model
Customer

Shock Absorber Test 6

Operator:

Tested 3/11/2017 5:55:56 μμ

	r.p.m.	Sec.Period	daN Distens.	daN Compres.	T.Body	T.Room
V1	20	2	26	-61	23	28
V2	60	2	48	-84	23	28
V3	90	2	55	-92	23	28
V4	120	2	65	-100	23	28
V5	160	2	79	-105	23	28



Εικόνα 104: Αποτελέσματα έκτου τεστ με εύκαμπτη ροδέλα 1 σπής και ύψους 0.15 [mm].