

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ
ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ**

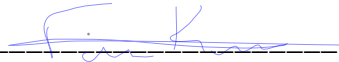
**OPERATION ANALYSIS OF VEHICLE
HYDRAULIC DAMPER**

Καλογιάννης Γεώργιος του Βασιλείου

ΔΕΛΤΙΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	
Ακαδ. έτος	2017-2018
Τίτλος Πτυχιακής	Ανάλυση Λειτουργίας Υδραυλικού Αποσβεστήρα Οχημάτων
Φοιτητής	Καλογιάννης Γεώργιος του Βασιλείου
Τμήμα	Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε.
Επιβλ. Καθ.	Τσολάκης Αντώνιος
Ημερομηνία	29-05-2018
Λέξειςκλειδιά	Πεπερασμένα στοιχεία, Αποσβεστήρας, Προσομοίωση, Σχεδίαση
<p>Περίληψη: Ένα από τα πιο βασικά εξαρτήματα για την ποιότητα οδήγησης ενός επιβατικού ιδιαίτερα δίκυκλου οχήματος όπου η θέση οδήγησης βρίσκεται εκτεθειμένη είναι η αναρτήσεις. Σε αυτήν την πτυχιακή εργασία το κύριο θέμα είναι η παρουσίαση των χαρακτηριστικών του αποσβεστήρα των αναρτήσεων και πιο ιδιαίτερα η προσπάθεια παραμετροποίησης του μέσο ενός προγράμματος τρισδιάστατης προσομοίωσης με την βοήθεια πεπερασμένων στοιχείων. Αναφέρονται περιεκτικά οι σταθμοί εξελίξεις των αποσβεστήρων στο πέρας της ιστορίας και περιγράφεται η βασική αρχή και λειτουργία αυτών. Το κύριο μέρος εστιάζει στην βαθύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών που δίνονται σε έναν αποσβεστήρα. Μελετώντας και αναλύοντας τα μαθηματικά μοντέλα που απαρτίζουν έναν αποσβεστήρα. Αυτά τα μαθηματικά μοντέλα έχουν σχέση με τα διάφορα είδη απόσβεσης τον, τρόπο λειτουργίας της κατασκευής, τον υπολογισμό/αξιολόγηση της κατασκευής, τις ροές των ρευστών και τέλος τον προσδιορισμό των υστερήσεων σε ένα αποσβεστήρα. Σαν επόμενο βήμα παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός της γεωμετρίας ενός αποσβεστήρα. Συγκεκριμένα το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται σε ένα είδη υπάρχων μοντέλο αποσβεστήρα και αναλύεται η διαδικασία με την οποία έγινε προσεγγιστική σχεδίαση του πραγματικού μοντέλου σε ένα λογισμικό σχεδίασης. Στο τελευταίο μέρος αυτής της πτυχιακής εργασίας παρουσιάζεται η διαδικασία παραμετροποίησης ενός σχεδιαστικού μοντέλου από ένα πρόγραμμα προσομοίωσης με πεπερασμένα στοιχεία. Με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να γίνει προσέγγιση της λειτουργίας ενός αποσβεστήρα και αν αξιολογηθεί με βάση την δυνατότητα να επαληθεύσει τα πραγματικά χαρακτηριστικά ενός αποσβεστήρα. Με τελικό στόχο την όσο δυνατόν μεγαλύτερη κάλυψη του θέματος των υδραυλικών αποσβεστήρων με βαλβίδες ροδελών.</p>	

THESIS INFORMATION SHEET	
<i>Academic year</i>	2017-2018
<i>Title</i>	Operation Analysis of Vehicle Hydraulic Damper
<i>Students</i>	Kalogiannis Georgios
<i>Department</i>	Mechanical Engineering
<i>Advisor</i>	Tsolakis Antonios
<i>Date</i>	29-05-2018
<i>Keywords</i>	Finite Elements, Shock Absorber , Simulation, Design
<p><i>Abstract:</i> <i>One of the most basic and significant parts that are responsible for the driving quality of the means of transportation, especially for the two wheels based vehicles is the suspensions. The main purpose of the current thesis is to represent a hydraulics hock absorber’s characteristics, the main component of the suspensions, with the help of finite elements simulation software. Some important historical states the suspensions pass through their evolution and the basics of hydraulic shock absorber with shim valve operation are summarized. In the main parts of this thesis are focusing in learning the fundamentals of the shock absorber characteristics. There are analyzing and researching the mathematical models a shock absorber contain. These mathematical models are representing, how some different types of shock absorber are operating, the examination of the structure’s characteristics, the fluent flows inside the structure and finally the hysterics of the system. The section following mathematical models is the working instructions considering the way to represent the geometry of a shock absorber. More specifically the chapter mentioned refers to a real shock absorber introduces the way the methods had been applied to design a realistic 3D model. The final chapter of this thesis refers to parameterization of a design model in software of finite elements simulation method. The main purpose of this chapter is to create a realistic module to represent the operation of a shock absorber as close to reality as possible, by comparing the result with a real ones. Taking everything into consideration, this thesis is trying to cover the point of the best way possible representing an adjustable hydraulic shock absorber shim valve type.</i></p>	

Οι υπογράφοντες υπεύθυνα δηλώνουν ότι η παρούσα εργασία με τίτλο «Εδώ γράφεται ο τίτλος της εργασίας» είναι προϊόν δικής μας δουλειάς και ότι όλες οι πηγές που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη σύνταξη της αναφέρονται πλήρως.

Καλογιάννης Γεώργιος 

Ευχαριστίες

Ιδιαιτέρες ευχαριστίες

- Στο συνεργείο WORKSBIKE για την προσφορά βιβλιογραφίας για το θέμα των αναρτήσεων από τους κατασκευαστές αυτών.
- Στο αντιπρόσωπο της KTM Hellas PADDOCK 512 για την βιβλιογραφία και τις πληροφορίες.
- Στον αντιπρόσωπο της Ohlins Tassoulis, CH., & Co. O.E για τις πληροφορίες, την βιβλιογραφία και την διαθεσιμότητα των μηχανημάτων του για έρευνα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2	ΣΚΟΠΟΣ.....	2
	2.1 ΣΤΟΧΟΙ	2
3	ΙΣΤΟΡΙΚΑ.....	3
4	ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑΣ	6
	4.1 ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΕΣ	6
	4.2 ΤΥΠΟΙ ΒΑΛΒΙΔΩΝ	7
	4.3 ΒΑΛΒΙΔΑ ΡΟΔΕΛΩΝ	7
5	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	10
	5.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ	10
	5.1.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ	10
	5.1.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΜΒΟΛΟΥ	13
	5.1.3 ΡΟΕΣ ΣΤΙΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΤΟΥ ΕΜΒΟΛΟΥ	14
	5.1.4 ΠΙΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ	15
	5.1.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΒΑΛΒΙΔΩΝ	17
	5.1.6 ΣΠΗΛΛΑΙΩΣΗ	18
	5.2 ΜΕΛΕΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΑΛΒΙΔΩΝ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ	20
	5.2.1 ΟΠΕΣ ΒΑΛΒΙΔΑΣ	21
	5.2.1.1 ΟΠΗ	21
	5.2.1.2 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΟΠΩΝ	23
	5.2.2 ΓΕΝΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΑΛΒΙΔΑΣ	26
	5.2.3 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΑΛΒΙΔΑΣ	26
6	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ SHOCK-ABSORBER ΣΕ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ	31
	6.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	32
	6.1.1 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ	32
	6.1.2 ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ	33
	6.1.3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΣΧΕΔΙΟ	34
	6.1.3.1 ΚΥΡΙΩΣ ΕΜΒΟΛΟ	35
	6.1.3.2 ΚΥΡΙΩΣ ΑΞΟΝΑΣ	36
	6.1.3.3 ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΕΜΒΟΛΟΥ	37
	6.1.3.4 ΠΛΑΙΣΙΟ	39
	6.1.3.5 ΔΕΥΤΕΡΕΥΩΝ ΕΜΒΟΛΟ ΑΞΟΝΑΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ	40

6.1.3.6	ΛΟΙΠΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ	42
6.2	ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	42
7	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ	47
7.1	TRANSIENT STRUCTURE ANALYSIS in ANSYS WORKBENCH	48
7.1.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ	48
7.1.2	ΥΛΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	51
7.1.3	ΕΠΑΦΕΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	52
7.1.4	ΠΛΕΓΜΑ (Mesh)	53
7.1.5	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	55
7.1.6	ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΣΤΗΡΙΞΕΙΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	55
7.1.7	ΔΗΛΩΣΗ ΜΕΓΕΘΩΝ ΠΡΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ	56
7.2	CFD ANALYSIS in ANSYS WORKBENCH	57
7.2.1	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΠΕΡΙΟΧΩΝ	58
7.2.2	ΓΕΝΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ	59
7.2.3	ΜΕΘΟΔΟΣ	60
7.2.4	ΔΗΛΩΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΑΥΤΩΝ	60
7.2.5	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΚΑΙ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ	60
7.2.6	ΔΗΛΩΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	61
7.3	SYSTEM COUPLING ANALYSIS in ANSYS WORKBENCH	63
7.3.1	2-WAY SYSTEM COUPLING	64
7.3.1.1	ΡΥΘΜΙΣΗ SYSTEM COUPLING	65
8	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	67
8.1	SEGEL AND H. H.	67
8.2	F. G. GUZZOMI P. L. O'NEIL AND A.C.R. TAVNER	68
8.2.1	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ F. G. GUZZOMI	68
9	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	71
9.1	1 SEGEL AND H. H.	71
9.2	F. G. GUZZOMI P. L. O'NEIL AND A.C.R. TAVNER	71
9.3	ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	72
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	73
10	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	75
10.1	INVENTOR AUTODESK	75
10.2	ANSYS WORKBENCH	76
10.2.1	MESHING OPTIONS	77

10.2.2	DYNAMIC MESH OPTIONS	77
11	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β shock absorber settings	80
11.1	KTM SETTING LIST	80
11.2	REVALVING SHOCK ABSORBER	81
11.3	ΡΕΥΣΤΑ ΑΝΑΡΤΗΣΕΩΝ	81
12	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ TEST ΣΧΕΔΙΑ /ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	83
12.1	INVENTOR/ANSYS ΣΧΕΔΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	83

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το θέμα της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας είναι η λειτουργία ενός από τα είδη υδραυλικών αποσβεστήρων. Οι υδραυλικοί αποσβεστήρες βρίσκουν εφαρμογή στον μηχανοκίνητο αθλητισμό στα επιβατικά οχήματα και όλα τα μέσα μαζικής μεταφοράς και αφορά την ποιότητα οδηγικής ικανότητας και συμπεριφοράς του οχήματος ως προς την πρόσφυση και την αίσθηση στους επιβάτες.

Λόγο του μεγάλου εύρους εφαρμογών έχει δημιουργηθεί μια τάση προς την εξέλιξη και την βελτιστοποίηση των αναρτήσεων με αποτέλεσμα τον 21^ο αιώνα τα είδη αποσβεστήρων να έχουν αυξηθεί και η δυνατότητα μελέτης του κάθε είδους να χρειάζεται συγκεκριμένη προσοχή και μελέτη.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας ιδιαίτερα των υπολογιστών και την αυξημένη ζήτηση βελτιστοποίησης των αποσβεστήρων γίνεται πλέον η προσπάθεια δημιουργίας θεωρητικών μοντέλων μέσου προγραμμάτων που θα προσομοιώσουν την λειτουργία των αποσβεστήρων όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά. Έτσι δύναται η δυνατότητα για αποτελεσματικότερη μελέτη και αποφυγή κατασκευής αποσβεστήρων με ανεπιθύμητα αποτελέσματα καθώς πρώτα θα μπορούν να ελεγχτούν μέσα από μαθηματικά μοντέλα και τις προσομοιώσεις. Γλιτώνοντας έξοδα σε πειράματα και μειώνοντας σημαντικά τον χρόνο της κάθε έρευνας.

Παρόλα αυτά και με όλη την προσπάθεια που γίνεται τα αποτελέσματα των μαθηματικών μοντέλων και η υπολογιστή δύναμη δεν είναι ακόμα σε τέτοιο σημείο που να γίνονται αυτοματοποιημένα. Έτσι στον τομέα αυτό υπάρχει εξέλιξη και ανάγκη για περαιτέρω έρευνα.

2 ΣΚΟΠΟΣ

Η εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας έχει σκοπό την δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου που μέσω της χρήσης υπολογιστικών προγραμμάτων πεπερασμένων στοιχείων θα μπόρεση να προσομοιώσει την λειτουργία ενός ρυθμιζόμενου υδραυλικού αποσβεστήρα.

Ο αποσβεστήρας που επιλέχτηκε είναι από δίκυκλο όχημα του μηχανοκίνητου αθλητισμούς ανωμάλου δρόμου. Ο λόγος επιλογής αυτού του είδους αποσβεστήρα είναι γιατί σου δίνεται η δυνατότητα αποσυναρμολογήσεις για την μελέτη της τεχνολογίας της χωρίς να επηρεαστεί η απόδοση της, επιπλέον υπάρχει μεγάλη ελευθερία στην αλλαγή των χαρακτηριστικών.

2.1 ΣΤΟΧΟΙ

Η αρχικοί στόχοι που μπήκαν για την καθοδήγηση της πτυχιακής εργασίας είναι οι εξής:

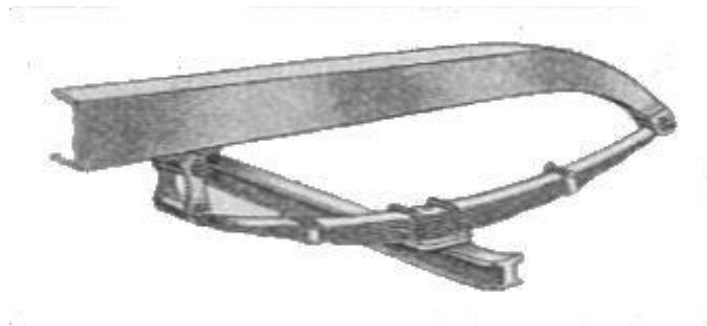
- Αποσυναρμολόγηση αποσβεστήρα για την κατανόηση της τεχνολογίας
- Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου υδραυλικού αποσβεστήρα
- Μελέτη μαθηματικών μοντέλων για τους υδραυλικούς αποσβεστήρες
- Προσομοίωση λειτουργίας κατασκευής.
- Προσομοίωση ροής ρευστών στο εσωτερικό ενός υδραυλικού αποσβεστήρα.
- Προσομοίωση υδραυλικού αποσβεστήρα μέσω αλληλεπίδρασης ρευστού και εξαρτημάτων του αποσβεστήρα

Σημείωση: Όλες οι προσομοιώσεις θα γίνουν με την βοήθεια προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων.

3 ΙΣΤΟΡΙΚΑ

Η ανάγκη για την κατασκευή και παραγωγή των αναρτήσεων εμφανίστηκε από την προσπάθεια να ελεγχθεί η κίνηση των οχημάτων που δημιουργείτε, λόγω ελιγμών του οχήματος και λόγω της κακής ποιότητας του δρόμου.

Οι πρώτες αναρτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν σε ζωηλάτα οχήματα στα μέσα του 19^{ου} αιώνα. Λόγο της πολύ κακής ποιότητας του δρόμου χρησιμοποιήθηκαν μαλακές αναρτήσεις από μακριά ελάσματα μετάλλου με κλίση με την ονομασία semi-elliptic (Εικόνα 3-1)[1].



Εικόνα 3-1 Scan from (1937) *Manual of Driving and Maintenance for Mechanical Vehicles (Wheeled)*

Επίσης χρησιμοποιούσαν και full-elliptic αναρτήσεις αλλά σε καμία περίπτωση δεν είχαν κάποιου είδους αποσβεστήρα. Για της ταχύτητες των οχημάτων και τις ανάγκες της εποχής αυτού του είδους αναρτήσεις κάλυπταν τις ανάγκες των οχημάτων σε αξιοπρεπή βαθμό.

Με την εμφάνιση των πρώτων μηχανοκίνητων οχημάτων και την σταδιακή αύξηση της ταχύτητας στα τέλη του 19^{ου} αιώνα η ανάγκη για έρευνα και εξελίξει των αναρτήσεων ήταν κάτι αναπόφευκτο. Έως σήμερα οι τύποι αναρτήσεων που ανακαλύφθηκαν και χρησιμοποιούνται σε όλα τα μέσα μεταφοράς είναι οι εξής:

- Dry friction (snubbers)
- Blow-off hydraulics
- Progressive hydraulics
- Adjustable (manual alteration)
- Slow adaptive (automatic alteration)
- Fast adaptive (semi-active)
- Electrofluidic, e.g. magnetorheological[2]

Η αναπτύξει των αξιοσημείωτων αποσβεστήρων του 20^{ου} αιώνα που πέρασε είναι ως εξής:¹

- 1901 Horock πατένταρε τον πρώτο υδραυλικό τηλεσκοπικό αποσβεστήρα, όπου είναι στην λογική που έχουν στηριχτεί η μοντέρνοι αποσβεστήρες
- 1902 Mors κατασκεύασε αυτοκίνητο με υδραυλικούς αποσβεστήρες δοχείου.
- 1905 η Renault πατένταρε έναν υδραυλικού τύπου αποσβεστήρα ανάστροφου εμβόλου, επίσης βελτιστοποίησε την πατέντα του Horock στο σημείο που χρησιμοποιείτε και σήμερα.
- 1906 η Renault χρησιμοποίησε τον αποσβεστήρα εμβόλου στους αγώνες Grand Prix, αλλά όχι στην παραγωγή αυτοκινήτων.
- 1907 Caille πρότεινε το αποσβεστήρα single-lever parallel piston.
- 1909 για πρώτη φορά τοποθετήθηκαν υδραυλικού τύπου αποσβεστήρες του Houdaile single-acting vane type, παρόλα αυτά οι αποσβεστήρες ξυρού τύπου παρέμεναν κυρίαρχοι τις αγορές.
- 1910 υδραυλικού τύπου αποσβεστήρες χρησιμοποιήθηκαν στα συστήματα προσγείωσης των αεροσκαφών.
- 1915 ο Foster έφτιαξε την ανάρτηση belt snubber η οποία είχε μεγάλη απήχηση στην αγορά.
- 1919 ο Lovejoy παράγει υδραυλικούς αποσβεστήρες lever-arm στην Αμερική.
- 1924 η Lancia έρχεται με τους υδραυλικούς αποσβεστήρες double-acting, όπου τους χρησιμοποίησε στο μοντέλο της Lambda Εικόνα 3-2.
- 1928 για πρώτη φορά στην Αμερική καθιερώνεται η τοποθέτηση υδραυλικών αποσβεστήρων.
- 1930 Armstrong πατένταρε τον τηλεσκοπικό αποσβεστήρα.
- 1934 ο Monroe παράγει τηλεσκοπικούς αποσβεστήρες.
- 1947 ο Koning έρχεται με τον πρώτο ρυθμιζόμενο τηλεσκοπικό αποσβεστήρα.
- 1950 η de Carbon ανακαλύπτει και παράγει τον πρώτο υδραυλικό αποσβεστήρα με συμπιεσμένο αέριο μονού κυλίνδρου ‘single-tube telescopic’.
- 2001 οι Bentley, Cadillac έρχονται με τους πρώτους Magnetorheological high-speed adjustables.

¹ Dixon, *The Shock Absorber Handbook*.

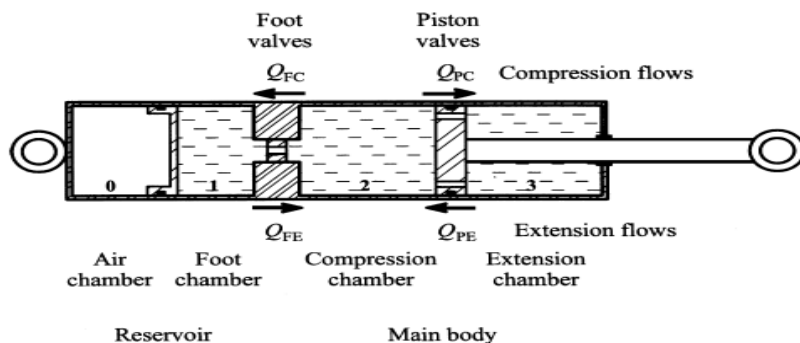
4 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑΣ

4.1 ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΕΣ

Η λειτουργία όλων των τηλεσκοπικών υδραυλικών αποσβεστήρων ακολουθεί κατά κανόνα την ίδια λογική στον τρόπο απορρόφησης της κινητικής ενέργειας που διεγείρεται, είτε από το όχημα είτε από τον δρόμο.

Ο γενικός τρόπος λειτουργία δύνεται από την Εικόνα 4-1, όπου υπάρχει και ένας ξεχωριστός θάλαμος με κάποιου είδους αέριο πιθανότατα συμπιεσμένο. Οι θάλαμοι 1,2 ονομάζονται θάλαμοι συμπίεσης την στιγμή που το έμβολο συμπιέζει, και ο θάλαμος 3 ονομάζεται θάλαμος επαναφοράς την στιγμή που το έμβολο επανέρχεται στην αρχική του θέση. Κατά την συμπίεση το ρευστό κινείται από τον κύριο κύλινδρο (θάλαμοι 2,3) προς την δεξαμενή (θάλαμο 1) εκ μιας μικρής οπής με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που ονομάζεται foot valve. Από την εξίσωση της συνεχείας των ρευστών, εφόσον δεν έχουμε απόλυες ενεργείας και δεν δημιουργείται σπηλαιώση στο ρευστό, η ποσότητα του ρευστού που θα μετατοπισθεί από το εμβολο προς την οπή θα είναι ίσο με την ποσότητα ρευστού που θα περάσει από αυτήν. Το ρευστό επίσης κατά την συμπίεση κινείται από το θάλαμο 2 στον 3 περνώντας μέσα από το έμβολο και από την βαλβίδα συμπίεσης (compression valve). Κατά την επαναφορά η μετακίνηση του άξονα προς τα έξω απαιτεί εισροή ρευστού από την δεξαμενή στον κύριο κύλινδρο. Ωστόσο το ρευστό από το θάλαμο 3 θα περάσει στον 2 μέσω του εμβόλου και της βαλβίδας επαναφοράς (rebound valve). Όπως μπορεί να παρατηρηθεί έχουμε τέσσερεις ροές:

- Q_{PE} βαλβίδας εμβόλου κατά την επαναφορά
- Q_{PC} βαλβίδας εμβόλου κατά την συμπίεση
- Q_{FE} βαλβίδας οπής κατά την επαναφορά
- Q_{FC} βαλβίδας εμβόλου κατά την συμπίεση



Εικόνα 4-1 Γενική μορφή ενός τηλεσκοπικού αποσβεστήρα[5]

Τα βασικά χαρακτηριστικά που παίζουν το κυριότερο ρόλο στην λειτουργία ενός αποσβεστήρα είναι, τα χαρακτηριστικά των βαλβίδων ροής μέσο εμβόλου και οπής, οι διάμετροι του εμβόλου και του άξονα. Επιπρόσθετα έχουμε την πίεση στην δεξαμενή (θάλαμο 1) και τις ιδιότητες των ρευστών, πυκνότητα, ιξώδες, θερμοκρασία, σπηλαίωση, συμπιεστότητα κ.α.

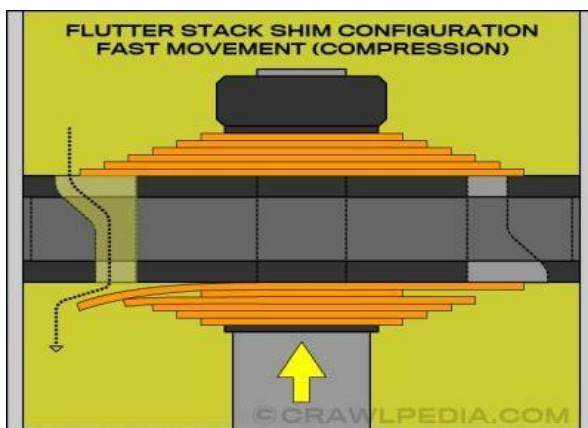
4.2 ΤΥΠΟΙ ΒΑΛΒΙΔΩΝ

Για τους υδραυλικούς αποσβεστήρες μιας ανάρτησης υπάρχουν διαφορετικοί τύποι βαλβίδων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά που ο κατασκευαστής θέλει να αποδώσει στην ανάρτηση. Η βαλβίδα έχει ως στόχο να εξαλείψει την κινητική ενέργεια που δημιουργείτε από την ποιότητα του εδάφους. Οι κυριότεροι τύποι βαλβίδων ενός αποσβεστήρα είναι οι εξής[6]:

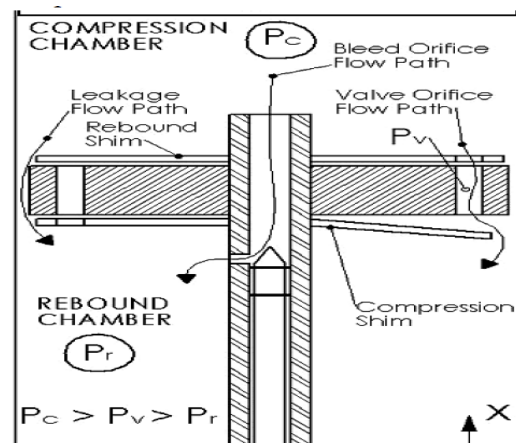
- Βαλβίδα δίσκου (disc valve)
- Βαλβίδα ροδελών (shim valve)
- Spool valve
- Βαλβίδα ράβδου (rod valve)

4.3 ΒΑΛΒΙΔΑ ΡΟΔΕΛΩΝ

Σε αυτήν την εργασία θα μελετηθεί κυρίως η λειτουργία της βαλβίδας ροδελών (shim valve). Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-3 βαλβίδες απαρτίζονται από μια ομάδα ροδελών πάχους 0,2-0,5 mm με διαφορετική διάμετρο η κάθε μια. Τέτοιου τύπου βαλβίδες χρησιμοποιούνται σε αγωνιστικού τύπου αποσβεστήρες λόγω της ευκολίας συναρμολόγησης και ρύθμισης τους.

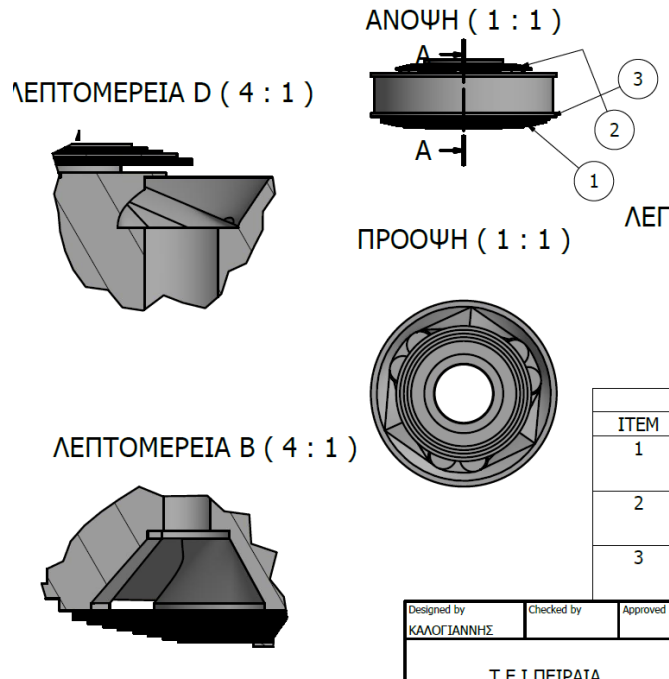


Εικόνα 4-3 Λειτουργία βαλβίδας.[7]



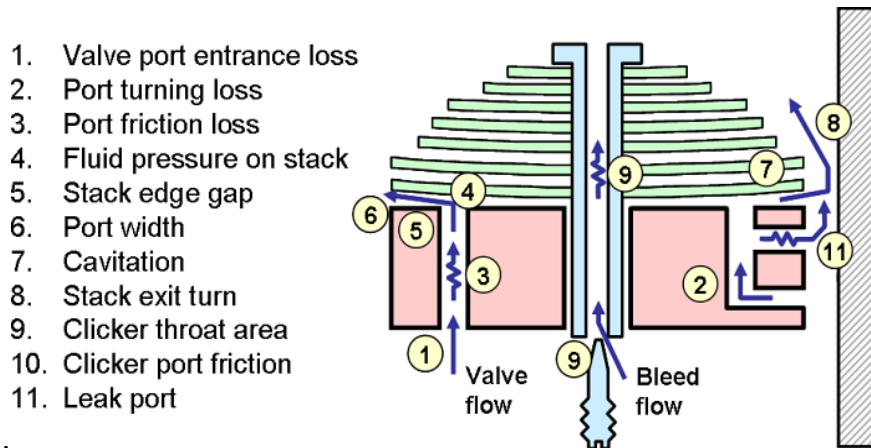
Εικόνα 4-2 screen shot from N. B. Kate, T. A. Jadhan paper

Η βαλβίδα αυτού του τύπου συνδυάζεται με ένα έμβολο με 6+ οπές, 3 για κάθε κατεύθυνση (συμπίεση, επαναφορά), από μια βαλβίδα οπής θαλάμου 1 (foot valve) μιας κατεύθυνσης και από ένα διαμπερές άξονα. Εικόνα 4-4. Ο άξονας έχει μια παράλληλη οπή για την διαφυγή του ρευστού σε μικρές ταχύτητες που ρυθμίζεται από μια βελόνα Εικόνα 4-2[8]. Η βελόνα αυτή ρυθμίζεται από την βάση της ανάρτησης κατά το ύψος που θα έχει μέσα στον διαμπερές άξονα. Έχει την δυνατότητα να καλύψει τελείως την παράλληλη οπή.



Εικόνα 4-4 Έμβολο με βαλβίδες ροδελών

Η Εικόνα 4-5 παρουσιάζει την λειτουργία της βαλβίδας ενός αποσβεστήρα . Χοντρικά αναφέροντας, φέρνοντας για παράδειγμα την λειτουργία της συμπίεσης αν η ταχύτητα του εμβόλου είναι πολύ μικρή το ρευστό θα περάσει μόνο από την παράλληλη οπή, (bleeder hole), στο σημείο (9) τις εικόνας και από την οπή διαφυγής (2) σε αυτήν την περίπτωση. Για μεσαίες ταχύτητες η διαφορά πίεσης στο θάλαμο 2,3 και 1 που θα εμφανιστεί αναγκάζει τις ροδέλες να κάμψουν και στην συνέχεια να διαπεράσει ρευστό από τις οπές των βαλβίδων. Το σήκωμα αυτό της βαλβίδας από το κάψιμο των ροδελών δεν είναι τίποτα από μερικά εκατοστά του χιλιοστού[6]



Εικόνα 4-5 valve shock absorber .[9]

Ένα βασικό χαρακτηριστικό που κάνει την βαλβίδα με ροδέλες να διαφέρει από τα τους υπόλοιπους τύπους βαλβίδων είναι ότι, για το άνοιγμα της βαλβίδας και την ροή του ρευστού (λάδι) από αυτήν, η διαφορά πίεσης που χρειάζεται είναι σε σχέση με τους άλλους τύπους πολύ πιο μικρή. Αυτό συμβαίνει, επειδή δεν χρειάζεται κάποιο ελατήριο με προφόρτιση που να δρα πάνω στην βαλβίδα του εμβόλου. Στις περιπτώσεις που είναι επιθυμητή μια προφόρτιση, τοποθετείτε μια μικρή ροδέλα με μεγαλύτερο πάχος (όπως για παράδειγμα στις εργοστασιακές ρυθμίσεις της KTM (Παράρτημα 11.1)

Παρόλο του μικρού πάχους κάθε ροδέλας στο σύνολο τους είναι αρκετά άκαμπτες όπως αναφέρει ο Dixon στο βιβλίο(Shock Absorber Handbook)[6]. Για αυτό το λόγο επιθυμάτε να κάμπτετε όσο το δυνατόν πιο επίπεδα γίνεται. Κλείνοντας, για τις βαλβίδες αυτού του τύπου δεν βρίσκονται ακόμα μελέτες για το προσδιορισμό της μεταβλητής οπής (οπή βαλβίδας) με μαθηματικά μοντέλα.

5 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Η δημιουργία ενός μαθηματικού μοντέλου ενός αποσβεστήρα είναι σημαντική για να μπορέσει να γίνει σύγκριση θεωρητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων και να κατανοηθεί η λειτουργία του.

Έρευνες που έχουν γίνει πάνω στους αποσβεστήρες όπως αυτή του H.H.Lang[10] περιγράφουν την πολυπλοκότητα της λειτουργίας λόγω μη-γραμμικών παραμέτρων, που εμφανίζονται, οι οποίοι θα πρέπει να προσδιοριστούν για την επίλυση του συστήματος. Στην περίπτωση μιας μελέτης όπου η ακρίβεια των αποτελεσμάτων παίζει καθοριστικό ρόλο, θα πρέπει να προσδιοριστούν αυτοί οι παράμετροι. Στην περίπτωση αυτής της εργασίας κάτι τέτοιο, ωστόσο, θα ήταν χρονοβόρο, άσκοπο και με μεγάλο βαθμό δυσκολίας. *’Για την κατανόηση του ρόλου κάθε εξαρτήματος ενός αποσβεστήρα και την επίλυση αυτού του συστήματος, χρειάζεται ένα μαθηματικό μοντέλο βασισμένο πάνω στις θεμελιώδεις αρχές της μηχανικής όπως περιγράφηκε από τους Segel and Lang’*[10]

5.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ

Τα χαρακτηριστικά ενός αποσβεστήρα είναι τα εξής[3]:

- Διαστασιολόγηση (διαδρομή αποσβεστήρα).
- Χαρακτηριστικά των δυνάμεων που δρουν (δύναμη συμπίεσης, επαναφοράς).
- Άλλοι παράγοντες (θερμοκρασία λειτουργίας κ.α.)

Η πολυπλοκότητα λειτουργίας των χαρακτηριστικών ενός αποσβεστήρα μπορεί να περιγραφεί και να μελετηθεί με την βοήθεια των εξής παραμέτρων :

- Συνολικός συντελεστής απόσβεσης C_D .
- Ασυμμετρία συμπίεσης, επαναφοράς, παράγοντας μεταφοράς e_D .
- $F(V)$ διάγραμμα, παράγοντας προοδευτικότητας λ.

5.1.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ

Οι βασικοί παράμετροι είναι αυτοί που προαναφέρθηκαν στην πιο πάνω παράγραφο

Μέσος Συντελεστής Αποσβεστήρα

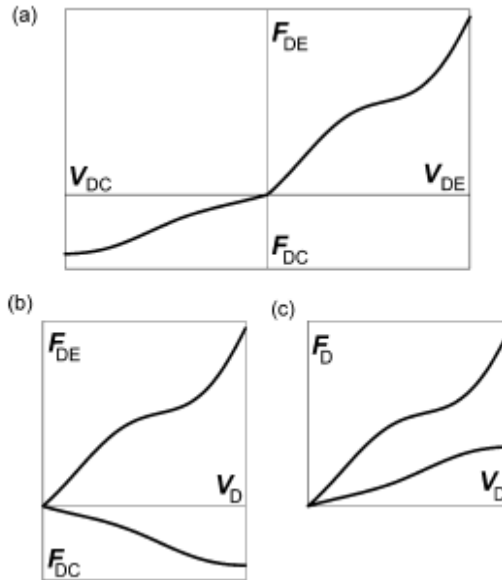
Για ένα κατά προσέγγιση γραμμικό αποσβεστήρα η δύναμη είναι ανάλογη με την ταχύτητα. Ωστόσο η λειτουργία του αποσβεστήρα δεν είναι γραμμική Εικόνα 5-1[5]. Θεωρώντας το σύστημα χωρίς τριβές, με πεπιεσμένο αέριο στατικής πίεσης όπου προσδίδει δύναμη F_{DG} , οι δυνάμεις F_{DC}, F_{DE} για συμπίεση και επαναφορά αντίστοιχα θα είναι:

$$F_{DC} = F_{DC} + C_{DC}V_{DC} \quad (5-1)$$

$$F_{DE} = -F_{DC} + C_{DE}V_{DE} \quad (5-2)$$

Ο συνολικός συντελεστής αποσβεστήρα θα είναι:

$$C_D = \frac{1}{2}(C_{DC} + C_{DE})$$



Εικόνα 5-1 διαγράμματα $F(V)$

Συντελεστής Ασυμμετρίας

Βάση του συνολικού συντελεστή, ο παράγοντας μεταφοράς ασυμμετρίας e_D είναι:

$$e_D = \frac{(C_{DE} - C_{DC})}{2C_D} = \frac{(C_{DE} - C_{DC})}{(C_{DE} + C_{DC})} \quad (5-3)$$

Οι συντελεστές για κάθε λειτουργία είναι:

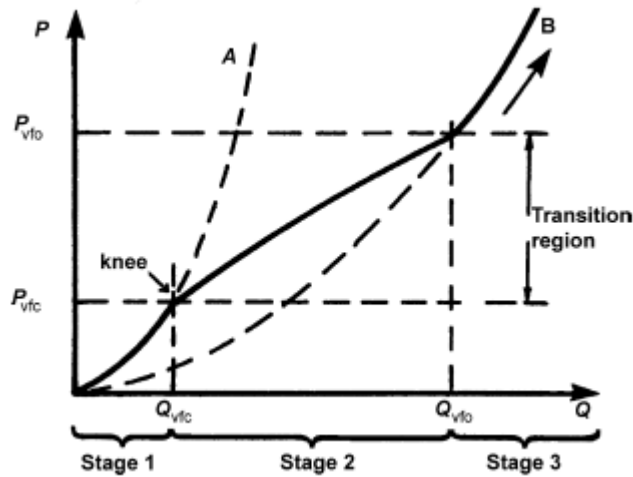
$$C_{DC} = C_D(1 - e_D) \quad (5-4)$$

$$C_{DE} = C_D(1 + e_D) \quad (5-5)$$

Για μηδενική ασυμμετρία έχουμε $e_D = 0$ με $C_{DC} = C_{DE}$, για 100% ασυμμετρία έχουμε $e_D = +1$. Συνήθως υπάρχει μια αναλογία 30/70% με $e_D \approx 0,4$.

Παράγοντας Προοδευτικότητας

Η δύναμη του αποσβεστήρα όπως προαναφέραμε δεν είναι ανάλογη με την ταχύτητα V . Στην πραγματικότητα στην αρχή και στο τέλος κάθε κύκλου απόσβεσης η δύναμη είναι ανάλογη με την ταχύτητα στο τετράγωνο V^2 . Στην μέση του κάθε κύκλου η δύναμη δεν είναι ακριβώς ανάλογη με κάποια δύναμη της ταχύτητας. Εικόνα 5-2[5]. Για την περιγραφή αυτής της απόκλισης από την αναλογία του διαγράμματος $F(V)$ χρησιμοποιούμε τον παράγοντα προοδευτικότητας (λ)



Εικόνα 5-2 Transition P(Q) characteristic

Ο παράγοντας αυτός έχει ως σκοπό να περιγραφεί όσο πιο καλά γίνεται τα διαγράμματα $F(V)$.

$$F = C_\lambda V^\lambda \quad (5-6)$$

Οι τιμές του λ είναι :

- $\lambda = 0$ για σύστημα χωρίς τριβές
- $\lambda = 1$ για γραμμικούς αποσβεστήρες, με τριβές
- $\lambda = 2$ για δυναμική , τετραγωνική τριβή

Ο τρόπος για να επιλεχτεί πια κατηγορία είναι σε κάθε σύστημα είναι:

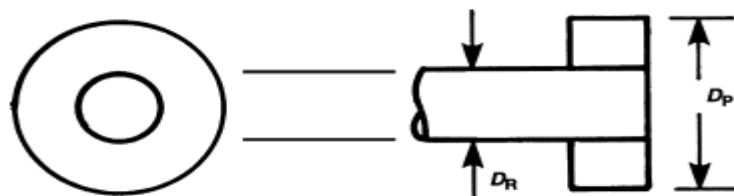
$$F_1 = C_\lambda V_1^\lambda \quad F_2 = C_\lambda V_2^\lambda \quad (5-7)$$

$$\lambda = \frac{\log(F_2/F_1)}{\log(V_2/V_1)} \quad C_\lambda = \frac{F_1}{V_1^\lambda} \quad (5-8)$$

Γενικά αυτό που επιθυμητέ είναι μια τιμή του $\lambda < 1$ όπως και είναι στις περισσότερες περιπτώσεις. Πρέπει να αναφερθεί ότι το λ χρησιμοποιείτε για τον σχεδιασμό του διαγράμματος $F(V)$ εκτός από της ακραίες του τιμές.

5.1.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΜΒΟΛΟΥ

Για την συνέχεια στα επόμενα κεφάλαια της ενότητας αυτής, θα πρέπει να καταγραφούν και να προσδιοριστούν κάποια χαρακτηριστικά του εμβόλου ενός αποσβεστήρα, όπως δυνάμεις πιέσεις κ.α.



Εικόνα 5-3 Έμβολο, άξονας αποσβεστήρα

Ένα γενικό σχέδιο εμβόλου μαζί με τον άξονα φαίνεται στην Εικόνα 5-3[5]. Η διάμετρος του εμβόλου είναι D_p με το εμβαδόν A_p . Η διάμετρος του άξονα είναι D_R με εμβαδόν διατομής του A_R . Η αύλακα του εμβόλου βρίσκεται από την μεριά του άξονα και είναι:

$$A_{PA} = A_p P_{CC} \quad (5-9)$$

Οι δυνάμεις που ενεργούν πάνω σε αυτό το σύστημα είναι οι εξής Εικόνα 5-4[5]:

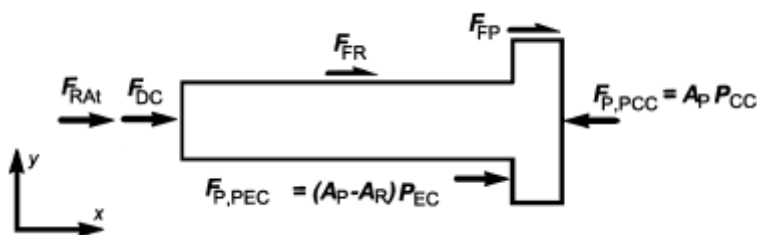
- F_{DC} : η δύναμη του αποσβεστήρα κατά την συμπίεση.
- $F_{P,PC}$: η δύναμη λόγω της πίεσης του ρευστού από τον θάλαμο συμπίεσης:

$$F_{P,PC} = A_p P_{CC} \quad (5-10)$$

- $F_{P,PEC}$: η δύναμη που ενεργεί στην αύλακα του εμβόλου

$$F_{P,PEC} = A_{PA} P_{EC} \quad (5-11)$$

- F_{FP} : η δύναμη λόγω τριβών του εμβόλου με αντίθετη κατεύθυνση από την κίνηση .
- F_{FR} : η δύναμη λόγω τριβών στον άξονα με αντίθετη κατεύθυνση από την κίνηση.
- F_{RA} : η δύναμη στην διατομή του άξονα λόγω ατμοσφαιρικής πίεσης.



Εικόνα 5-4 Free body diagram of piston and rod

5.1.3 ΡΟΕΣ ΣΤΙΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΤΟΥ ΕΜΒΟΛΟΥ

Η αρχή λειτουργίας των υδραυλικών αναρτήσεων είναι κατά προσέγγιση ίδια στις πιο πολλές περιπτώσεις. Οι μαθηματικές εξισώσεις και παράμετροι που χρησιμοποιούν βασίζονται στις ίδιες αρχές.

Το έμβολο του αποσβεστήρα έχει δύο βαλβίδες μια για κάθε κατεύθυνση, βαλβίδα συμπίεσης P_C και βαλβίδα επαναφοράς P_E . Γενική διάταξη ενός μονού κυλίνδρου υδραυλικού αποσβεστήρα παρουσιάζεται στην Εικόνα 5-5[2].

Η είσοδος ή η έξοδος του άξονα στον αποσβεστήρα δημιουργεί μετατόπιση του ρευστού. Στην περίπτωση της συμπίεσης το ρευστό περνά δια μέσου της βαλβίδας συμπίεσης από το θάλαμο 2 στον 3 και δια μέσου της βαλβίδας οπής στον θάλαμο 1. Το ακριβές αντίθετο συμβαίνει στην περίπτωση της επαναφοράς.

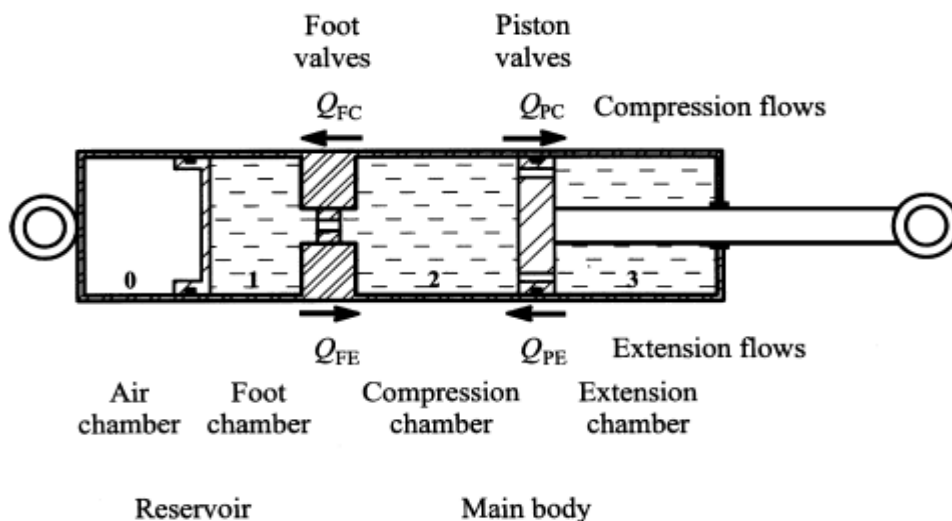
Θεωρώντας ξανά ότι έχουμε συμπίεση θα εμφανιστή μετατόπιση X_{DC} , η ποσότητα ρευστού στο θάλαμο 2 μειώνεται λόγω της αύξησης της πίεσης σε αυτόν και της μετατόπισης του άξονα προς τα μέσα, έτσι ωθείτε το ρευστό έξω από το θάλαμο συμπίεσης. Ένα μέρος της ποσότητας ρευστού που εκτοπίστηκε θα περάσει από την οπή στο θάλαμο 1 και το υπόλοιπο στο θάλαμο 3.

Η ποσότητα A_{FC} του ρευστού που μετατοπίστηκε από τον άξονα είναι:

$$A_{FC} = A_R X_{DC} \quad (5-12)$$

Η ποσότητα ρευστού που μετατοπίστηκε μέσω της βαλβίδας του εμβόλου είναι:

$$A_{PC} = (A_P - A_R) X_{DC} \quad (5-13)$$



Εικόνα 5-5 Γενική μορφή αποσβεστήρα

Για μια ταχύτητα συμπίεσης V_{DC} η ροή για ασυμπίεστο ρευστό θα είναι:

$$Q_{FC} = A_R V_{DC} \quad (5-14)$$

$$Q_{PC} = A_{PA} V_{DC} \quad (5-15)$$

Στην επαναφορά του αποσβεστήρα θα έχουμε μια ταχύτητα V_{DE} , η ροή μέσω της οπής και τη βαλβίδας επαναφοράς θα είναι:

$$Q_{FE} = A_R V_{DE} \quad (5-16)$$

$$Q_{PE} = A_{PA} V_{DE} \quad (5-17)$$

5.1.4 ΠΙΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

Από τα χαρακτηριστικά μιας βαλβίδας, η πτώση πίεσης στους θαλάμους μπορεί να υπολογιστεί για κάθε δοσμένη ροή. Ο υπολογισμός πάντα ξεκινάει από το θάλαμο 1 Εικόνα 5-5 στον οποίο υπάρχει πεπιεσμένο αέριο.

Για της περιπτώσεις γραμμικών βαλβίδων έχουμε τις εξής εξισώσεις υπολογισμού πίεσης, για συμπίεση και επαναφορά :

$$P_{FC} = K_{FC} Q_{FC} = K_{FC} A_R V_{DC} \quad (5-18)$$

$$P_{PC} = K_{PC} Q_{PC} = K_{PC} A_{PA} V_{DC} \quad (5-19)$$

$$P_{FE} = K_{FE} Q_{FE} = K_{FE} A_R V_{DE} \quad (5-20)$$

$$P_{PE} = K_{PE} Q_{PE} = K_{PE} A_{PA} V_{DE} \quad (5-21)$$

Όπου, το K_{FC} και ούτω κάθε εξής είναι ο συντελεστής αντίστασης της κάθε βαλβίδας σε $[\text{Pa}/(\text{m}^3/\text{s}) = \text{Pa s}/\text{m}^3 = \text{N s}/\text{m}^5]$. Σε κάθε περίπτωση, συμπίεση ή επαναφορά ενεργούν οι δύο από τέσσερεις εξισώσεις αντίστοιχα.

Κατά την συμπίεση από τις πιέσεις P_{CC} και P_{EC} (χωρίς να λαμβάνουν χώρα οι τριβές) έχουμε:

$$P_{CC} = P_G + P_{FC} = P_G + K_{FC} A_R V_{DC} \quad (5-22)$$

$$P_{EC} = P_{CC} - P_{PC} = P_{CC} - K_{PC} A_{PA} V_{DC} \quad (5-23)$$

Η δύναμη που δρα κατά την συμπίεση στο άξονα είναι:

$$F_{PC} = P_{CC} A_P - P_{EC} A_{PA} \quad (5-24)$$

Η πίσω μεριά του εμβόλου αν χωριστεί η επιφάνεια σε διατομή του άξονα και την επιφάνεια της αύλακας του εμβόλου θα έχουμε:

$$F_{PC} = P_{CC}(A_{PA} + A_R) - P_{EC}A_{PA} \quad (5-25)$$

$$= P_{XX}A_R + (P_{CC} - P_{EC})A_{PA} \quad (5-26)$$

$$= P_{CC}A_R + P_{PC}A_{PA} \quad (5-27)$$

Οπότε

$$F_{PC} = P_G A_R + P_{FC} A_R + P_{PC} A_{PA} \quad (5-28)$$

Από τις παραπάνω εξισώσεις παρατηρείτε πως η πτώση πίεσης στο θάλαμο 1 δρα στην διατομή του άξονα και πως η πτώση πίεσης στο θάλαμο 2 δρα στην αύλακα του εμβόλου.

Αντικαθιστώντας για μια πιέσεις γραμμικής βαλβίδα έχουμε:

$$F_{PC} = P_G + (K_{FC}A_R^2 + K_{PC}A_{PA}^2)V_{DC} \quad (5-29)$$

$$C_{DC} = K_{FC}A_R^2 + K_{PC}A_{PA}^2 \quad (5-30)$$

Ακλουθώντας την ίδια διαδικασία για την επαναφορά μιας γραμμικής βαλβίδας θα έχουμε:

$$P_{CC} = P_G - P_{FE} = P_G - K_{FE}A_R V_{DE} \quad (5-31)$$

$$P_{EC} = P_{CC} - P_{PE} = P_{CC} - K_{PE}A_{PA} V_{DE} \quad (5-32)$$

Η δύναμη του εμβόλου στην επαναφορά θα είναι:

$$F_{PE} = P_{EC}A_{PA} - P_{CC}A_P \quad (5-33)$$

$$= K_{PE}A_{PA}^2 + K_{FE}A_R^2 - P_G A_R \quad (5-34)$$

Η παρατηρήσεις που προκύπτουν από αυτήν την ανάλυση είναι οι εξής:

- Η πίεση στο θάλαμο 1 (δεξαμενή) πάντα δρα στην διατομή του άξονα A_R και έχει μια στατική δύναμη ανεξαρτήτως ταχύτητας του εμβόλου.
- Η βαλβίδα οπής (foot valve) δημιουργεί πτώση πίεσης που δρα στην περιοχή A_R .
- Βαλβίδες του εμβόλου δημιουργούν πτώση πίεσης που δρα στην αύλακα του εμβόλου A_{PA}
- Μια γραμμική βαλβίδα $P(Q)$, έχει $K = const$, δίνει γραμμικά διαγράμματα $F(V)$.
- Οι δυνάμεις είναι ανάλογες στο τετράγωνο των επιφανειών ως εκ τούτου στο D^4 . Αυτό συμβαίνει γιατί οι επιφάνειες που δημιουργούν ροή ρευστού η οποία ροή δημιουργεί πτώση πίεσης η οποία πτώση πίεσης δρα πάνω στις επιφάνειες που την δημιούργησαν. (γραμμικούς αποσβεστήρες). [3]

Η παραπάνω ανάλυση υπολογίζοντας για μη γραμμικούς αποσβεστήρες θα γίνει:

$$P = k Q^n \quad (5-35)$$

Από αυτήν την εξίσωση έχουμε ότι οι τρεις πρώτες παρατηρήσεις από την προηγούμενη ανάλυση είναι ίδιες και για τους μη-γραμμικούς αποσβεστήρες. Ωστόσο, οι δυνάμεις που δημιουργούνται από κάθε βαλβίδα είναι ανάλογες με, V^n και στις σχετικές επιφάνειες με το δείκτη $1 + n$.

Αν τα χαρακτηριστικά της βαλβίδας παρουσιαστούν σε μια πολυωνυμική εξίσωση θα έχουμε:

$$P_{FC} = K_{FC1}Q_{FC} + K_{FC2}Q_{FC}^2 + \dots + K_{FCr}Q_{FC}^r + \dots = \sum_{r=1}^n (K_{FCr}Q_{FC}^r) \quad (5-36)$$

Παρόμοια και για P_{PC} , τότε η δύναμη του εμβόλου F_{PC} θα γίνει:

$$F_{PC} = P_G A_R + \sum_{r=1}^n (K_{FCr} A_R^{1+r} + K_{PCr} A_R^{1+r}) V_{DC}^r$$

5.1.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΒΑΛΒΙΔΩΝ

Σε μια γραμμική βαλβίδα η δύναμη στην λειτουργία επαναφοράς είναι:

$$F_{PC} = (K_{FE} A_R^2 + L_{PE} A_{PA}^2) V_{DE} - P_G A_R \quad (5-37)$$

Σε μια ελεύθερη ροή κατά την εκροή ρευστού από την δεξαμενή μέσω της βαλβίδας οπής (foot valve), $k_{FE} = 0$ και

$$C_{DE} = \frac{dF_{DE}}{dV_{DE}} = k_{FE} A_{PA}^2 \quad (5-38)$$

Οπότε, η απαιτούμενη αντίσταση της βαλβίδας οπής (foot valve) k_{FE} θα είναι:

$$K_{FE} = \frac{C_{DE}}{A_{PA}^2} \quad (5-39)$$

Με αυτές τις εξισώσεις δίνεται μια καλή πρώτη εκτίμηση για την βαλβίδα.

Για την λειτουργία συμπίεσης έχουμε παρομοίως:

$$F_{DC} = (k_{FC}A_R^2 + k_{PC}A_{PA}^2)V_{DC} + PG A_R \quad (5-40)$$

$$C_{DC} = \frac{dF_{DC}}{dV_{DC}} = k_{FC}A_R^2 + k_{PC}A_{PA}^2 \quad (5-41)$$

Σε αυτήν την περίπτωση, παρόλο που και οι δυο βαλβίδες είναι ενεργές, η βαλβίδα οπής (foot valve) δεν συνεισφέρει πολύ στην λειτουργία κατά την συμπίεση. Ο υπολογισμός της βαλβίδας οπής, ωστόσο, γίνεται για την αποφυγή της σπηλαιώσης. Επιπροσθέτως θα πρέπει να οριστεί ο λόγος K_{FC}/K_{PC} , για την καλύτερη προσέγγιση και πρόληψη για την σπηλαιώση.

$$\frac{k_{FC}}{k_{PC}} = \frac{A_{PA}}{A_R} \quad (5-42)$$

Με τον προηγούμενο τύπο του C_{DC} για να επαλειφθεί το k_{FC} έχουμε:

$$C_{DC} = k_{PC}A_{PA}A_R + k_{PC}A_{PA}^2 = k_{PC}A_{PA}A_P \quad (5-43)$$

Για γνωστό η επιθυμητό C_{DC} και γεωμετρία μπορούμε να δώσουμε μια καλή εκτίμηση για τους συντελεστές k_{FC}, k_{PC} :

$$k_{PC} = \frac{C_{DC}}{A_{PA}A_P} \quad (5-44)$$

$$k_{FC} = \frac{C_{DC}}{A_R A_P} \quad (5-45)$$

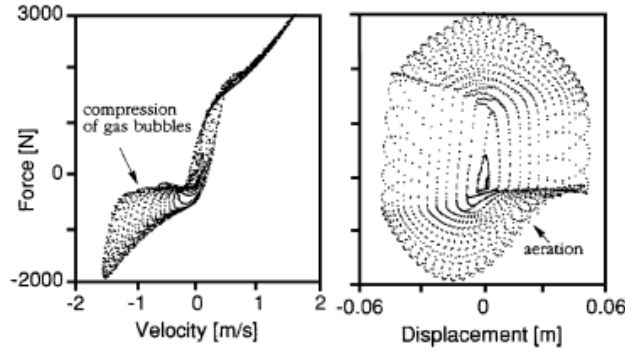
5.1.6 ΣΠΗΛΑΙΩΣΗ

Τα δυο από τα πιο σημαντικά φαινόμενα που έχουν ένα σημαντικό ρόλο στην απόδοση, διάρκεια ζωής και καλή λειτουργία ενός αποσβεστήρα είναι, η σπηλαιώση και η γαλακτωματοποίηση. Σε ένα αποσβεστήρα με απομονωμένο τον πεπιεσμένο αέρα η αέριο και τα δυο φαινόμενα είναι προς αποφυγή.

Η γαλακτωματοποίηση του ρευστού θα εμφανιστεί μόνο σε περιπτώσεις που, ο αποσβεστήρα έχει κάποια διαρροή αερίου στους, θαλάμους 1,2,3 Εικόνα 5-5 ή στην περίπτωση που δεν έχει πραγματοποιηθεί σωστή εξαέρωση και στο ρευστό υπάρχουν φυσαλίδες αέρα.

Το φαινόμενο της σπηλαιώσης εμφανίζεται σε όλων των ειδών στους υδραυλικούς αποσβεστήρες. Συνήθως, κατά την πτώση της στατική πίεσης του ρευστού στο σημείο που θα γίνει ίση με τη πίεση βρασμού του ρευστού. Σε μεγάλες θερμοκρασίες λειτουργίας, ($T_{MAX} = 130 \text{ }^\circ\text{C}$) υπάρχουν μεγαλύτερες πιθανότητες να εμφανιστεί φαινόμενο αυτό.

Η σπηλαιώση κατά κύριο λόγο θα εμφανιστεί στην θάλαμο 3 επαναφοράς στην λειτουργία της συμπίεσης του αποσβεστήρα. Όταν το ρευστό φτάσει στην πίεση βρασμού για την θερμοκρασία που λειτουργεί εκείνη την χρονική στιγμή, θα αρχίσουν να εμφανίζονται φυσαλίδες. Μια μικρή αύξηση της πίεσης στο θάλαμο επαναφοράς θα σταματήσει την σπηλαιώση, με αποτέλεσμα, να δημιουργηθεί θόρυβος και φθορά στα εξαρτήματα του αποσβεστήρα με την πάροδο του χρόνου Εικόνα 5-6. Αυτό το πρόβλημα καθιστά κάποια όρια που πρέπει να εφαρμοστούν στα χαρακτηριστικά του αποσβεστήρα για την αποφυγή της σπηλαιώσης.



Εικόνα 5-6 [3]The effect of compressibility and cavitation on the damper F(V) curve, due to bad valve settings, as measured experimentally [11].+

Για την επίλυση αυτού του προβλήματος η βαλβίδα οπής (foot valve) δεν θα πρέπει να δημιουργεί μεγαλύτερη πτώση πίεσης από την βαλβίδα συμπίεσης.

Στην περίπτωση που έχουμε διπλού κυλίνδρου αποσβεστήρα για την αποφυγή σπηλαιώσης η βαλβίδα οπής για να μην δημιουργήσει πτώση πίεσης μεγαλύτερη από αυτή της συμπίεσης θα πρέπει να αφήνει όσο τον το δυνατόν περισσότερο ρευστό.

Για γραμμικούς αποσβεστήρες έχουμε:

$$P_{EC} = P_{CC} - P_{PC} = P_G + k_{FC}A_R V_{DC} - K_{PC}A_{PA}V_{DC} \quad (5-46)$$

Η πίεση του πεπιεσμένου αερίου είναι μικρή, οπότε θα πρέπει:

$$K_{FC}A_R V_{DC} > K_{PC}A_{PA}V_{DC} \quad (5-47)$$

$$K_{FC} > \frac{A_{PA}}{A_R} K_{PC} \quad (5-48)$$

Για μη-γραμμικό αποσβεστήρα έχουμε:

$$P_{CC} = P_G - P_{FE} \quad (5-49)$$

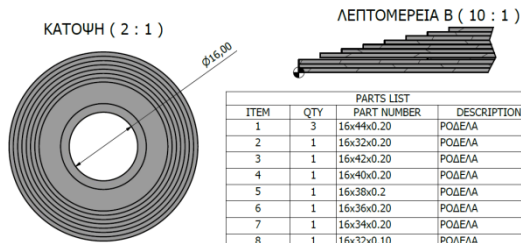
Έτσι θα πρέπει $P_{CC} > P_{vap}$, οπότε:

$$k_{FE}A_R V_{DE} < P_G - P_{vap} \quad (5-50)$$

Με αποτέλεσμα να θέλουμε γενικά μικρή τιμή του συντελεστή K_{FC} .

5.2 ΜΕΛΕΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΑΛΒΙΔΩΝ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ

Η παρών εργασία μελετάει αποσβεστήρα με βασικό χαρακτηριστικό βαλβίδες από ροδέλες (shim valve) Εικόνα 5-1. Το είδος αυτής της βαλβίδας χρησιμοποιείτε συνήθως από αγωνιστικού τύπου αποσβεστήρες. Τα ωφέλει της είναι εύκολη συναρμολόγηση και ρύθμιση χωρίς την προφόρτιση κάποιου ελατηρίου. Το αποτέλεσμα είναι η πρόβλεψη επιθυμητής λειτουργίας με ακρίβεια.



Εικόνα 5-7 Βαλβίδα ροδελών (απόκομμα από το κεφάλαιο σχεδιασμού)

Το σύστημα έμβολο βαλβίδες αυτού του τύπου κατά κανόνα απαρτίζεται από ροδέλες πάχους 0,20~0,50 mm που ελέγχουν τη ροή ρευστού μέσω του εμβόλου. Το έμβολο έχει 6 οπές, τρεις για κάθε λειτουργία, επίσης το σύστημα αυτό έχει και παράλληλες οπές (bleeder hole). Στην περίπτωση αυτής τις εργασίας το κυρίως έμβολο έχει τρία ζευγάρια οπών για κάθε λειτουργία.

“Το ύψος ανοίγματος της βαλβίδας είναι μερικά εκατοστά του χιλιοστού. Για παράδειγμα σε ένα σύστημα με τρεις οπές διαμέτρου 6 mm και την ονομαστική έξοδος να είναι 57mm, παρατηρείτε ότι για μια έξοδος με επιφάνεια 3mm² το μέσο άνοιγμα της βαλβίδας δεν υπερβαίνει τα 0,05mm. Αυτή η παρατήρηση μας δίνει ότι ο απόλυτος συντελεστής του αποσβεστήρα είναι αρκετά ευαίσθητος στο αριθμό Reynolds. Ένα ακόμα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό αυτού του συστήματος είναι ότι οποιοδήποτε θραύσμα ή σκουπίδι περάσει από τις οπές θα προκαλέσει μεγάλη αλλαγή στην λειτουργία του αποσβεστήρα”[3].

Ο υπολογισμό των χαρακτηριστικών μιας βαλβίδας στηρίζεται από τις εξής ιδιότητες:

- Σταθερή πίεση-ροή
- Τριβές, υστερήσεις
- Σηλαιώση
- Φθορά
- Οικονομικά κριτήρια
- Ακρίβεια κατασκευής
- Θερμοκρασία
- Διαταραχές

5.2.1 ΟΠΕΣ ΒΑΛΒΙΔΑΣ

Προτού ξεκινήσει η μοντελοποίηση και ανάλυση του συστήματος εμβόλου-βαλβίδες, πρέπει να γίνει μια αναφορά στις οπές του εμβόλου. Ποιες είναι οι σχέσεις πίεσης και ροές ρευστού ανάμεσα σε μια σειρά οπών. Πως τις μεταχειριζόμαστε και ποια είναι τα αποτελέσματά τους. Για την σειρά εξισώσεων και φαινομένων που θα επακολουθήσει θεωρούμε ότι

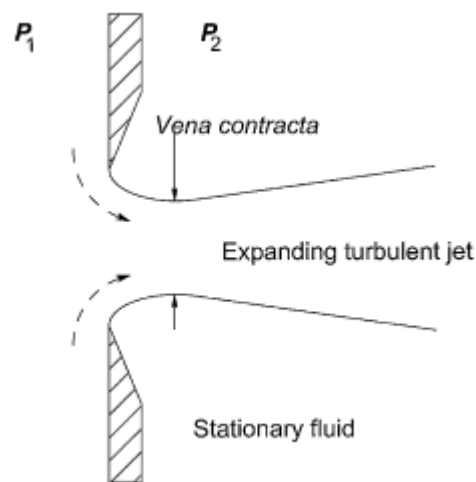
- Το ρευστό είναι ασυμπίεστο $\rho = const$
- Η θερμοκρασία είναι σταθερή $T = const$

Με βάση την εξίσωση της συνέχειας και τις εξισώσεις του Bernoulli. Ανάλυση από το βιβλίο του Dixon(Shock Absorber Handbook Second Edition)[3]

5.2.1.1 ΟΠΗ

Στην Εικόνα 5-8 έχουμε τη ροή του ρευστού από ένα θάλαμο σε ένα άλλο. Τα χαρακτηριστικά προς σημείωση είναι:

- Η δομή του ρευστού κοντά στην οπή.
- Το φαινόμενο *vena contracta*, η στένωση του ρευστού μετά από την έξοδο μια μικρής οπής.
- Η διάχυση της κινητικής σε ένα πίδακα τυρβώδους ροής.



Εικόνα 5-8 Flow through a sharp-edged orifice[5]

Η ροή του ρευστού από μια τέτοια οπή περιγράφεται ως εξής:

$$Q = C_d A u_T \quad (5-51)$$

όπου C_d ο συντελεστής αποσβεστήρα, A η επιφάνεια της οπής, u η ταχύτητα εξόδου του ρευστού. Η ταχύτητα του ρευστού μπορεί να προσδιοριστεί από την εξίσωση του Bernoulli.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho u_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho u_2^2 \quad (5-52)$$

Ξεκινώντας από το θάλαμο 1 (Εικόνα 5-5) που έχουμε μηδενική ταχύτητα και πηγαίνοντας προς του θαλάμους 2,3 συμπίεσης και επαναφοράς αντίστοιχα έξω από την περιοχή *vena contracta* που έχουμε στατική πίεση ίση με το θάλαμο 2 θα έχουμε:

$$\frac{1}{2}\rho u_T^2 = P_1 - P_2 \quad (5-53)$$

$$u_T = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} \quad (5-54)$$

Με ρ να είναι η πυκνότητα του ρευστού και $(P_1 - P_2)$ η διαφορά πίεσης στους θαλάμους ανάμεσα από την οπή. Αυτή η ταχύτητα u_T είναι η ιδανική στην πραγματικότητα είναι μικρότερη λόγω απωλειών από τυρβώδης ροή που υπολογίζονται από το συντελεστή ταχύτητας C_V όπου είναι ο λόγος της μέσης ταχύτητας της *vena contracta* προς την ιδανική ταχύτητα. Οπότε θα έχουμε:

$$u = C_V u_T \quad (5-55)$$

Επίσης επειδή η επιφάνεια A_E λόγω *vena contracta* είναι μικρότερη από την επιφάνεια της οπής ο λόγος τους δίνει τον συντελεστή επιφάνειας :

$$A_E = C_A A \quad (5-56)$$

Ο συντελεστής του αποσβεστήρα προσδιορίζεται από τον συντελεστή C_A, C_V :

$$C_d = C_V C_A \quad (5-57)$$

Γενικά ο συντελεστής C_d κατά την λειτουργία ενός αποσβεστήρα παίρνει τιμές 0,6~0,8.

Αυτή η ανάλυση είναι πολύ σημαντική για την περαιτέρω μελέτη και κατανόηση της λειτουργίας ενός αποσβεστήρα. Στις περισσότερες μελέτες εμφανίζονται μεγάλοι αριθμοί Re με το ιξώδες και η πυκνότητα του ρευστού να επηρεάζουν τον συντελεστή C_d αποσβεστήρα.

Για μια οπή με επιφάνεια A , που διαπερνάτε από ροή ρευστού Q χρησιμοποιώντας την εξίσωση του Bernoulli με συντελεστή C_d η πτώση πίεσης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$P = \frac{1}{2}\rho \left(\frac{Q}{C_d A} \right)^2 \quad (5-58)$$

Γενικά για μια ροή μέσα σε κύλινδρο με συντελεστή απωλειών K , η πίεση δίνεται από τον τύπο :

$$P = \frac{K1}{2} \left(\frac{Q}{A} \right)^2 \quad (5-59)$$

Η σχέση μεταξύ των συντελεστών K και C_d είναι:

$$K = \frac{1}{C_d^2} \quad (5-60)$$

$$C_d = \frac{1}{\sqrt{K}} \quad (5-61)$$

Συνοψίζοντας έχοντας μια ιδανική ταχύτητα, μια επιφάνεια A_E και από την εξίσωση Bernoulli θα έχουμε:

$$u_T = \sqrt{\frac{2P}{\rho}} \quad (5-62)$$

$$A_E = C_d A \quad (5-63)$$

$$Q = A_E u_T \quad (5-64)$$

$$Q = A_E \sqrt{\frac{2P}{\rho}} \quad (5-65)$$

$$\frac{1}{2} \rho Q^2 = A_E^2 P \quad (5-66)$$

Με αυτές τις εξισώσεις λύνονται τα συστήματα βαλβίδων και αναλύονται περισσότερο στα παρακάτω κεφάλαια.

Μια πολύ καλή εκτίμηση για τον συντελεστή C_d έγινε από τον Lichtarowicz το (1965) όπως αναφέρει ο Dixon στο βιβλίο (Shock Absorber Handbook) [3]. Οπού έχουμε ότι ο C_d είναι :

$$\begin{aligned} C_d &= 0.61 + 0.16(L/D)^2 & \text{για } 0 < L/D \leq 1 \\ C_d &= 0.730 + 0.040(L/D) & \text{για } 1 < L/d < 2 \\ C_d &= 0.827 - 0.0085(L/D) & \text{για } L/d \geq 2 \end{aligned} \quad (5-67)$$

5.2.1.2 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΟΠΩΝ

Για παράλληλες οπές, Εικόνα 5-10 οι ροές ρευστών απλά προσθέτονται:

$$Q_{A+B} = Q_A + Q_B \quad (5-68)$$

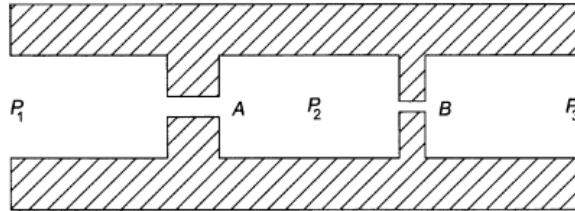
Η διαφορά πιέσεων είναι ίση:

$$C_{d,A} A_A + C_{d,B} A_B = C_{d,A+B} A_{d,A+B} \quad (5-69)$$

Αν θεωρήσουμε ότι οι συντελεστές αποσβεστήρα είναι ίσοι ($C_{dA} = C_{dB}$) τότε οι ροές μπορούν κάλλιστα να προστεθούν:

$$A_{A+B} = A_A + A_B \quad (5-70)$$

Για δυο οπές που είναι σε σειρά, Εικόνα 5-9 από τις εξισώσεις συνέχειας οι ροές είναι ίσης και πτώσεις πίεσης προσθέτονται:



Εικόνα 5-9 οπές σε σειρά[5]

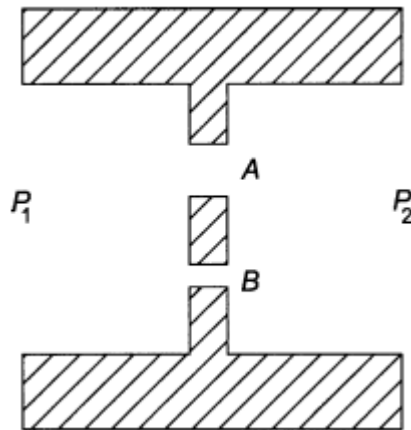
$$P_{1-3} = P_{1-2} + P_{2-3} \quad (5-71)$$

$$\frac{1}{2}\rho\left(\frac{Q}{A}\right)^2 = \frac{1}{2}\rho\left(\frac{Q}{C_{d,A}A_A}\right)^2 + \frac{1}{2}\rho\left(\frac{Q}{C_{d,B}A_B}\right)^2 \quad (5-72)$$

Με A την ισοδύναμη επιφάνεια με $C_d = +1$, οπότε:

$$\frac{1}{A^2} = \frac{1}{(C_{d,A}A_A)^2} + \frac{1}{(C_{d,B}A_B)^2} \quad (5-73)$$

Αυτή η μεθοδολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για παραπάνω από δυο οπές σε σειρά.



Εικόνα 5-10 παράλληλες οπές[5]

Για δυο σε σειρά A_S και A_L με μια παράλληλη A_P , Εικόνα 5-11 οι βασικές εξισώσεις για την λύση του συστήματος με την εξίσωση Bernoulli και τις εξισώσεις της συνέχειας είναι:

$$\frac{1}{2}\rho Q_P^2 = A_P^2 P_1 \quad (5-74)$$

$$\frac{1}{2}\rho Q_S^2 = A_S^2(P_1 - P_2) \quad (5-75)$$

$$\frac{1}{2}\rho Q_L^2 = A_L^2 P_2 \quad (5-76)$$

$$Q_S = Q_L \quad (5-77)$$

$$Q = Q_P + Q_L \quad (5-78)$$

Από τις εξισώσεις (5-79), (5-80) και (5-81) έχουμε:

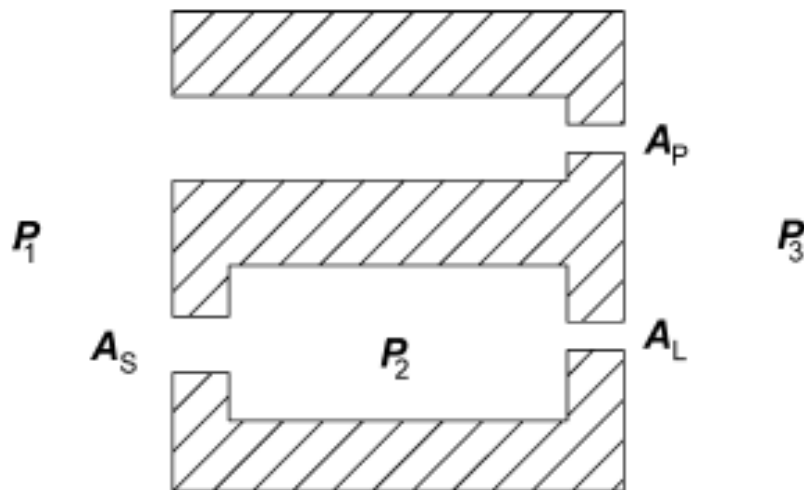
$$A_S^2(P_1 - P_2) = A_L^2 P_2 \quad (5-82)$$

Η λόγοι των πιέσεων θα είναι:

$$Q = A_P \sqrt{\frac{2P_1}{\rho}} + A_L \sqrt{\frac{2P_2}{\rho}} \quad (5-83)$$

Για γνωστή ροή Q, αντικαθιστώντας την εξίσωση (5-84) στην (5-85) έχουμε:

$$P_1 = \frac{\frac{1}{2}\rho Q^2}{\left(A_P + \left(\frac{A_S A_L}{\sqrt{A_S^2 + A_L^2}} \right) \right)^2} \quad (5-86)$$



Εικόνα 5-11 δυο οπές σε σειρά με μια παράλληλη οπή.[5]

5.2.2 ΓΕΝΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΑΛΒΙΔΑΣ

Μελετώντας μια βαλβίδα με μαθηματικά μοντέλα προσδιορίζεται η απόδοση που θα έχει, ωστόσο βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας και την δυνατότητα βελτιστοποίησης. Παρόλα αυτά στις περιπτώσεις μη-γραμμικών συστημάτων ο υπολογισμός γίνεται από υπολογιστικά προγράμματα προσομοίωσης.

Μια βαλβίδα στις περισσότερες των περιπτώσεων απαρτίζεται από οπές. Όλες οι οπές έχουν σταθερή διάμετρο. Από την εξίσωση του Bernoulli η διαφορά πίεσης δίνει μια ιδανική ροή με ταχύτητα U_T που διαπερνά τις οπές. Στην πράξη όμως λόγω απωλειών η ροή του ρευστού που θα περάσει από οπές θα είναι μικρότερη την αρχική, προσδιοριζόμενη από τον απόλυτο συντελεστή του αποσβεστήρα C_d . Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 5.1.3

$$Q = C_d A U_T = C_d A \sqrt{\frac{2P_{1-2}}{\rho}} \quad (5-87)$$

Ο απόλυτος συντελεστής προκύπτει από ένα επιφανειακό παράγοντα, που εμφανίζεται από τη μείωση μιας περιοχής (*vena contracta*) λόγω ροής και από ένα παράγοντα ταχύτητας, που εμφανίζεται από την ελάττωση της μέσης ταχύτητας. Έτσι αναδιατυπώνοντας την εξίσωση (5-87) δίνει μια πτώση πίεσης P_{1-2} :

$$P_{1-2} = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{Q}{C_d A} \right)^2 \quad (5-88)$$

Οι εξισώσεις (5-87)(5-88) μας δίνουν τη βάση για την ανάλυση των βαλβίδων ενός αποσβεστήρα. Συνηθίζεται να χρησιμοποιείτε μια σταθερή τιμή του απόλυτου συντελεστή περίπου στο 0,7 λόγω της δυσκολίας προσδιορισμού του. Η εκτίμηση αυτής της τιμής όπως απέδειξαν στην ερευνά τους ο Segel και ο Lang [10] είναι αρκετά αξιόπιστη και τα πειραματικά αποτελέσματα δεν έχουν μεγάλη απόκλιση από τα θεωρητικά λόγω της εκτίμησης αυτής.

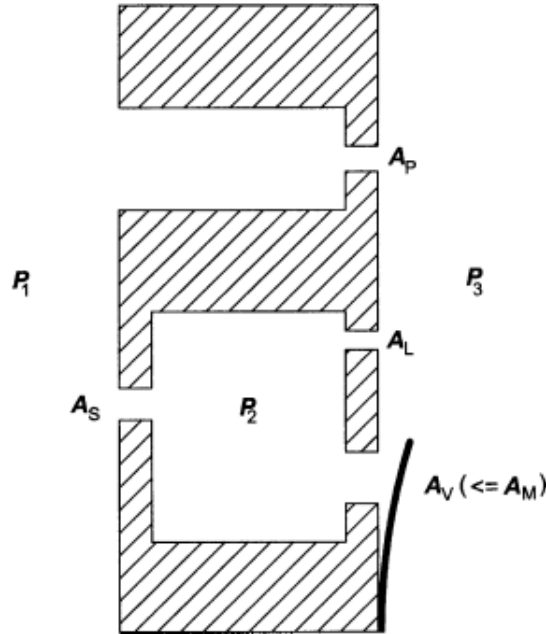
5.2.3 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΑΛΒΙΔΑΣ

Στην εικόνα Εικόνα 5-12 παρουσιάζεται μια γενική διάταξη μιας βαλβίδας ενός αποσβεστήρα. Οι περιοχές προς σημείωση είναι:

- A_P παράλληλη οπή (bleeder hole)
- A_L οπή διαρροής
- A_V οπή βαλβίδας (μεταβλητή)
- A_M οπή βαλβίδας με το μέγιστο άνοιγμα
- A_S η περιοχή εισαγωγείς ρευστού προς μια σειρά βαλβίδων

A_L έχει την ιδιότητα να αφήνει ρευστό να περνάει χωρίς κάποια βαλβίδα για να σιγουρέψει σε περίπτωση δυσλειτουργίας της βαλβίδας ότι το ρευστό θα διαφύγει από κάπου. Οι οπές A_P, A_L έχουν σχεδιαστεί επίσης για την διέλευση του ρευστού

σε μικρές ταχύτητες απόσβεσης όπου οι βαλβίδες προτιμάτε να είναι τελείως κλειστές. Οι οπή A_p των βαλβίδων έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να ανοίξει όταν η πίεση γίνει ίση με την πίεση P_{vfc} (Pressure for valve fully closed) και φτάνει στο μέγιστο άνοιγμα A_M όταν φτάσει την πίεση P_{vfo} (pressure for valve fully open). Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας θα πρέπει να ειπωθεί ότι η περιοχή A_s και η οπή A_M έχουν κατά προσέγγιση την ίδια επιρροή στο ρευστό.



Εικόνα 5-12 Περιοχές και οπές βαλβίδας από το βιβλίο του Dixon (shock absorber handbook second edition).[5]

Για την εύρεση των περιοχών αυτών στην πράξη είναι αναγκαία η χρήση κάποιου υπολογιστικού προγράμματος λόγω πολυπλοκότητας.

Από την Εικόνα 5-13 για το διάγραμμα $P(Q)$ παρατηρείται ότι υπάρχουν τρία στάδια κατά την λειτουργία της βαλβίδας ενός αποσβεστήρα.

- Stage 1: βαλβίδα A_v κλειστή, η ροή στην παράλληλη οπή, $P \propto Q^2$ (low-speed)
- Stage 2: η βαλβίδα μερικός ανοιχτή, $A_v > 0$ (mid-range)
- Stage 3: βαλβίδα τελείως ανοιχτή, $A_v = A_M$, $P \propto Q^2$ (high-speed)

Η καμπύλη A δείχνει την λειτουργία της βαλβίδας τελείως κλειστή. Η καμπύλη B δείχνει την λειτουργία της βαλβίδας όταν αυτή είναι τελείως ανοιχτή. Στο ενδιάμεσο μας δείχνει όταν η βαλβίδα ανοίγει. Με προσεκτική επιλογή παραμέτρων ακλουθώντας αυτήν την ανάλυση μπορεί να γίνει μια καλή εκτίμηση μιας βαλβίδας.

Τα βήματα είναι ως εξής απαλείφοντας το C_d :

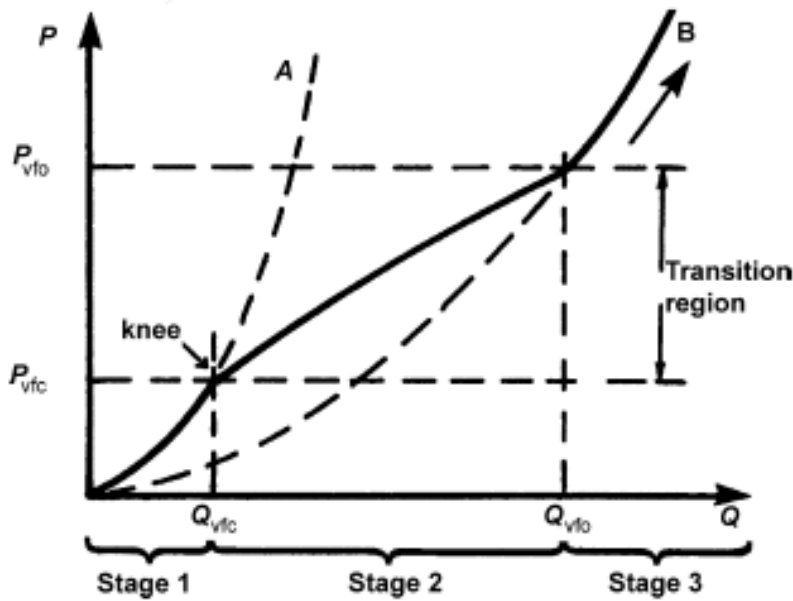
Στο stage 1 η βαλβίδα είναι τελείως κλειστή αφήνοντας να περάσει ρευστό μόνο από την παράλληλη οπή. Από την εξίσωση (5-87) για Bernoulli έχουμε:

$$Q_P = A_P \sqrt{\frac{2P}{\rho}} \quad (5-89)$$

Με την βαλβίδα τελείως ανοιχτή, όπως φαίνεται στην καμπύλη Β Εικόνα 5-13 θα είναι:

$$Q_M = A_M \sqrt{\frac{2P}{\rho}} \quad (5-90)$$

$$Q = Q_P + Q_M \quad (5-91)$$



Εικόνα 5-13 Χαρακτηριστικά του διαγράμματος $P(Q)$ από το βιβλίο του Dixon(the shock absorber handbook second edition)[5]

Στο stage 2 με βάση την λειτουργία $A(P)$ της βαλβίδας υπάρχει μια μετάβαση. Για μια γραμμική βαλβίδα, η συνολική ροή είναι ανάλογη με πίεση ανάμεσα στα stage 1, 2. Σε αυτή την μεταβίβαση λοιπόν για μια γραμμική βαλβίδα οι μεταβλητές οπές A_V μετά την πίεση P_{vfc} είναι ανάλογες με την πίεση. Οπότε για τις μεταβλητές περιοχές των οπών κάθε βαλβίδας έχουμε:

$$A_V = f_{vo} A_M \quad (5-92)$$

Με f_{vo} περιοχή που η βαλβίδα είναι ανοιχτή.

$$\left. \begin{aligned} A_V &= f(P) A_M = \left(\frac{P - P_{vfc}}{P_{vfo} - P_{vfc}} \right) \\ Q_V &= A_V \sqrt{\frac{2P}{\rho}} \\ Q &= Q_P + Q_V \end{aligned} \right\} \quad (5-93)$$

Συνοψίζοντας για το ολοκληρωμένο γράφημα $Q(P)$ έχουμε:

$$Q = \{A_P + A_V\} \sqrt{\frac{2P}{\rho}} \quad (5-94)$$

Και πιο συγκεκριμένα:

$$\left. \begin{aligned} Q &= \{A_P\} \sqrt{\frac{2P}{\rho}} & P &\leq P_{vfc} \\ Q + \left\{ A_P + \left(\frac{P - P_{vfc}}{P_{vfo} - P_{vc}} \right) A_M \right\} \sqrt{\frac{2P}{\rho}} & & P_{vfc} &< P < P_{vfo} \\ Q &= \{A_P + A_M\} \sqrt{\frac{2P}{\rho}} & P &\geq P_{vfo} \end{aligned} \right\} \quad (5-95)$$

Για την περίπτωση βαλβίδων με ροδέλες και σε οποιοδήποτε τύπο βαλβίδα που δεν υπάρχει προφόρτιση στην βαλβίδα η τιμή της πίεσης $P_{vfc} = 0$. Οπότε μαζί με την μεταβλητή περιοχή έχουμε:

$$Q = \{A_P P^{1/2} + K_A P^{3/2}\} \sqrt{\frac{2P}{\rho}} \quad (5-96)$$

Επειδή ροή του ρευστού είναι ανάλογη με την πίεση, είναι δυνατόν να γίνει μια καλή εκτίμηση για την παράλληλη οπή:

$$Q_V = P^{3/2} \left(\frac{2}{P} \right)^{1/2} C_d C_{AP} \quad (5-97)$$

Για την παράλληλη οπή έχουμε:

$$Q_P = A_P \sqrt{\frac{2P}{\rho}} \quad (5-98)$$

Θέτουμε την τιμή της ροής ίση με την της τιμή της μέσης πίεσης στο stage 2 P_{MR} με αποτέλεσμα.

$$A_P = P_{MR} C_d C_{AP} \quad (5-99)$$

Οι επόμενες εξισώσεις εφαρμόζονται στην Εικόνα 5-12. Είναι οι βασικές εξισώσεις της μεταβλητής οπής, εξίσωση συνέχειας των ρευστών με σταθερή πυκνότητα και εφαρμογή των εξισώσεων του Bernoulli για κάθε οπή.

$$A_V = k_A (P_2 - P_{vfc}) \leq A_M \quad (5-100)$$

$$\frac{1}{2}\rho Q_P^2 = A_P^2 P_1 \quad (5-101)$$

$$\frac{1}{2}\rho Q_S^2 = A_S^2 (P_1 - P_2) \quad (5-102)$$

$$\frac{1}{2}\rho Q_L^2 = A_L^2 P_2 \quad (5-103)$$

$$\frac{1}{2}\rho Q_V^2 = A_V^2 P_2 \quad (5-104)$$

$$Q_S = Q_L + Q_V \quad (5-105)$$

$$Q = Q_P + Q_S \quad (5-106)$$

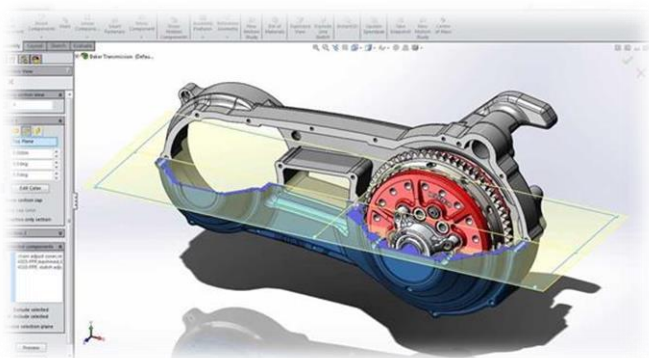
Οι γνωστές μεταβλητές είναι $A_P, A_S, A_L, k_A, A_M, P_{vfc}$ και μια από τις επόμενες δυο Q ή P_1 . Οι άγνωστες μεταβλητές είναι $P_2, A_V, Q_P, Q_S, Q_L, Q_V$ και μια από τις δυο P_1 ή Q . Για τη λύση αυτού του συστήματος εξισώσεων με επτά αγνώστους χρειάζεται κάποιο υπολογιστικό πρόγραμμα. Κάνοντας μερικές υποθέσεις και εξαλείφοντας κάποιες από τις παραμέτρους θα προβούμε σε κάποιο απλούστερο σύστημα με πιο προσιτή λύση.

Όπως έχει προαναφερθεί η λειτουργία του αποσβεστήρα χαρακτηρίζεται ως μη γραμμική. Συζητήσεις πάνω σε αυτό το θέμα αναφέρουν πως ένας αποσβεστήρας θα πρέπει να αναλύεται μόνο μη-γραμμικά, έρευνες όπως αυτή του C. Surace, K. Worden και G. R. Tomlinson (1991)[12]. Ωστόσο έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί πάνω στο γραμμικό σχεδιασμό της λειτουργίας του αποσβεστήρα και με γνώμονα πάντα πειραματικά δεδομένα, κατάφεραν να προσδιορίσουν με ακρίβεια τα χαρακτηριστικά του αποσβεστήρα. Έρευνες πάνω στην γραμμική λειτουργία του αποσβεστήρα είναι όπως αυτή των Jorg Wallaschek (1990)[13], με την μέθοδο στοχαστικής και αρμονικής γραμματικοποιήσεις της λειτουργίας του αποσβεστήρα. Η έρευνα των A. Fereidoon, Y. Rostamiyan, M. Akbarzade που δημοσιεύτηκε το (2009)[14], αναφέροντας πως με την μεθοδολογία (homotopy perturbation) έλυσαν ένα μη-γραμμικό σύστημα μετατρέποντας το σε γραμμικά.

6 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ SHOCK-ABSORBER ΣΕ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

Όλα τα προγράμματα προσομοίωσης μηχανολογικών κατασκευών για την καλύτερη προσέγγιση της πραγματικότητας και της αποτελεσματικότητας στην επίλυση του προβλήματος χρειάζεται μια σειρά από πληροφορίες για την κατασκευή και το σύστημα που την περιβάλλει. Ένα πρόγραμμα προσομοίωσης θα χρειαστεί κάποιες μαθηματικές εξισώσεις, κάποιες ιδιότητες υλικών κ.τ.λ. Επιπροσθέτως θα χρειαστεί και την γεωμετρία του κάθε μοντέλου, πάνω στην οποία θα εφαρμοστούν οι μαθηματικοί τύποι στη πράξη, θα δοθούν ιδιότητες υλικών και θα προβληθούν τα αποτελέσματα της κάθε προσομοίωσης.

Ο σχεδιασμός των μοντέλων δυο ή τριών διαστάσεων γίνεται σε ειδικά προγράμματα σχεδίασης όπως για παράδειγμα το Solidworks Εικόνα 6-1[15], Inventor, Pro/Engineer.



Εικόνα 6-1 SolidWorks

Πρέπει να αναφερθεί, επίσης, ότι τα σχέδια σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να είναι όσο τον δυνατόν πιο ακριβή. Ο λόγος είναι πως τα σχέδια αυτά είτε πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον για την δημιουργία κάποιου φυσικού μοντέλου, είτε αντιπροσωπεύουν ήδη κάποιο. Επειδή οι λύσεις και τα αποτελέσματα κάθε προσομοίωσης αναφέρονται στην γεωμετρία, που του έχουμε εισάγει, για κάθε αλλαγή σε αυτήν την γεωμετρία υπάρχει μεγάλη πιθανότητα, αν όχι σίγουρα, να αλλάξει την συμπεριφορά του μοντέλου και τα πειραματικά αποτελέσματα να απέχουν από αυτά που το πρόγραμμα προσομοίωσης υπολόγισε. Αυτό αφορά κυρίως ένα σχέδιο το οποίο δεν υπάρχει ακόμα σαν φυσικό. Επίσης, το ίδιο θα προκύψει και για ένα ήδη υπαρκτό φυσικά μοντέλο, σε περίπτωση που ο ανασχεδιασμός του σε ένα πρόγραμμα προσομοίωσης δεν είναι αντιπροσωπευτικός του φυσικού του μοντέλου.

Στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία ο σχεδιασμός από την αρχή ενός αποσβεστήρα είναι ανώφελος, αφού υπάρχουν ήδη μοντέλα για κάθε τύπου αποσβεστήρα ανάρτησης. Για τον σχεδιασμό χρησιμοποιήθηκε μια ρυθμιζόμενη υδραυλική ανάρτηση double-tube PDS από ένα αγωνιστικό μοντέλο της KTM με

κατασκευαστή την WP. Περαιτέρω πληροφορίες της ανάρτησης στο παράρτημα (11.1)

Η ανάρτηση αποσυναρμολογήθηκε και έγινε διαστασιολόγηση των απαραίτητων εξαρτημάτων του αποσβεστήρα που θα χρειαστούν στην προσομοίωση σχεδιάζοντας το σκαρίφημα τους.

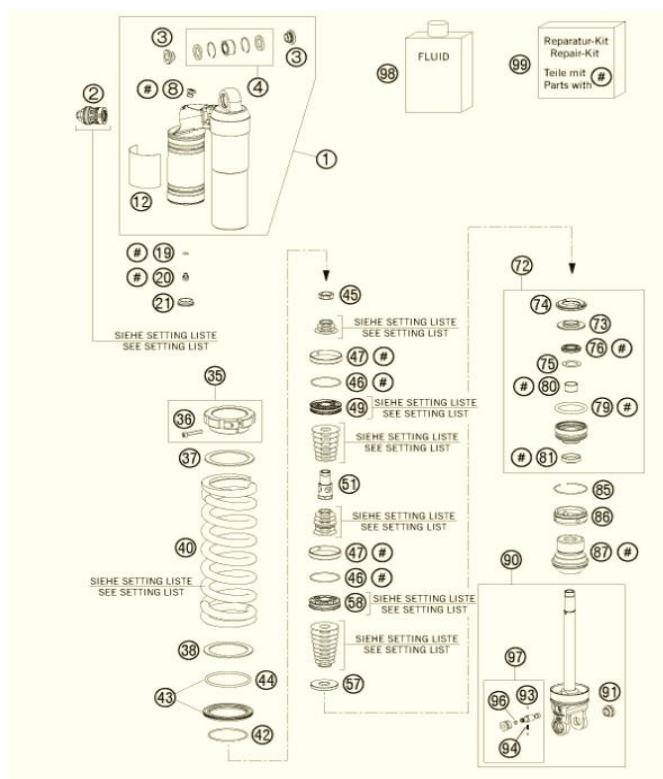
6.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

Όπως προαναφερθήκαμε η ακρίβεια των σχεδίων μιας μηχανολογικής κατασκευής είναι σημαντικό για την κατανοήσε και επίλυση κάθε συστήματος. Το κάθε σχέδιο περνάει από τρία στάδια προτού ολοκληρωθεί.

- Διαστασιολόγηση
- Σκαρίφημα
- Τρισδιάστατο σχέδιο

6.1.1 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

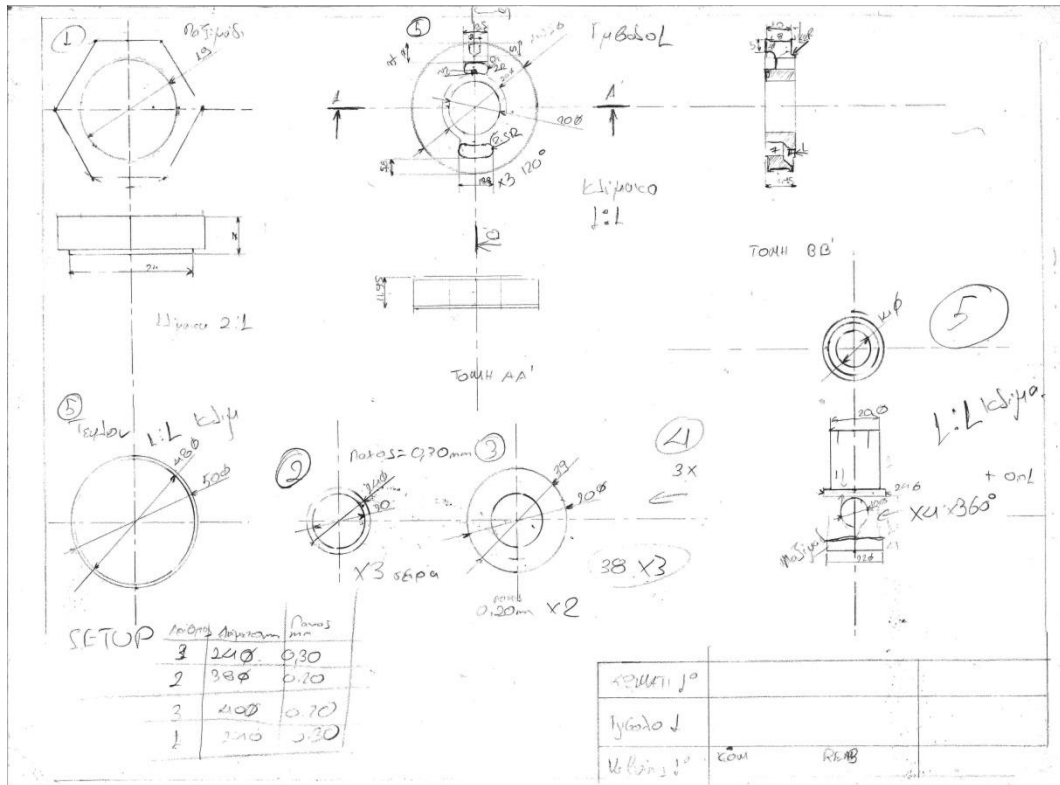
Τα εξαρτήματα της ανάρτησης χωρίζονται σε κατηγορίες Εικόνα 6-2 έτσι ώστε να γίνει όσο τον δυνατόν καλύτερη καταγραφή των διαστάσεων. Σημαντικό στην διαστασιολόγηση είναι να ελεγχθούν τα μετρητικά όργανα για την εμφάνιση σφάλματος. Η καταχώριση κάθε διάστασης θα πρέπει να γίνει αφού επαναληφθεί τόσες φορές ώστε να είναι σίγουρα η σωστή και εφόσον έχει υπολογιστή το σφάλμα σε αυτήν.



Εικόνα 6-2 KTM shock absorber disassembled[16]

6.1.2 ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ

Κατά την καταγραφή των διαστάσεων σχεδιάζεται ταυτόχρονα και το πρώτο σχέδιο κάθε εξαρτήματος (σκαρίφημα). Είναι σημαντικό να είναι εμφανές όλες οι γεωμετρίες που θα χρησιμοποιηθούν μετέπειτα για τον σχεδιασμό σε κάποιο πρόγραμμα, σχεδιάζοντας όσες όψεις είναι απαραίτητες για την επίτευξη αυτού.

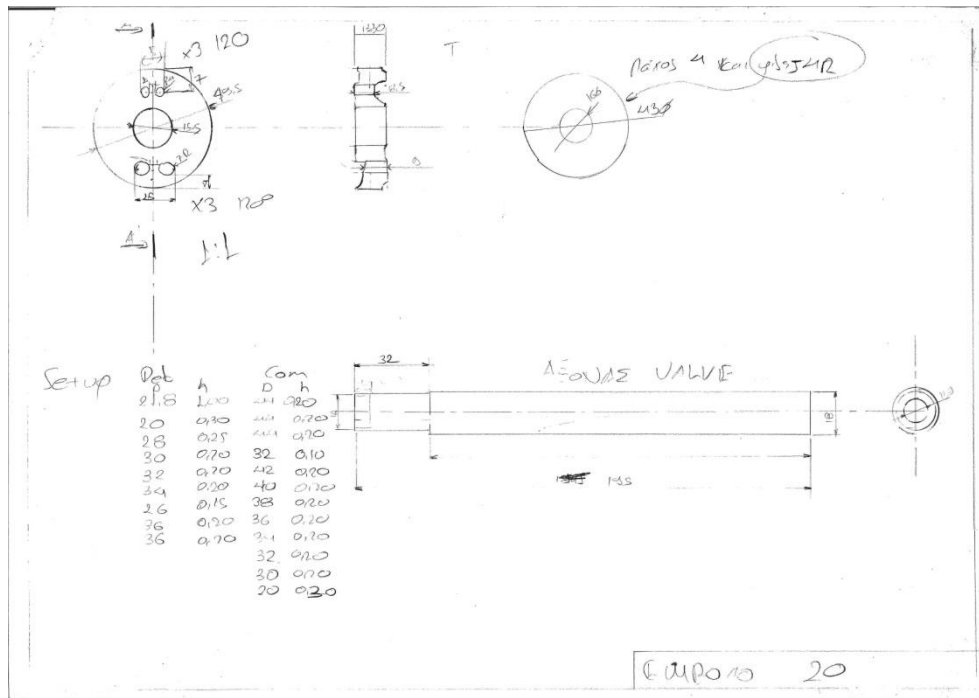


Εικόνα 6-3 Σκαρίφημα 1.

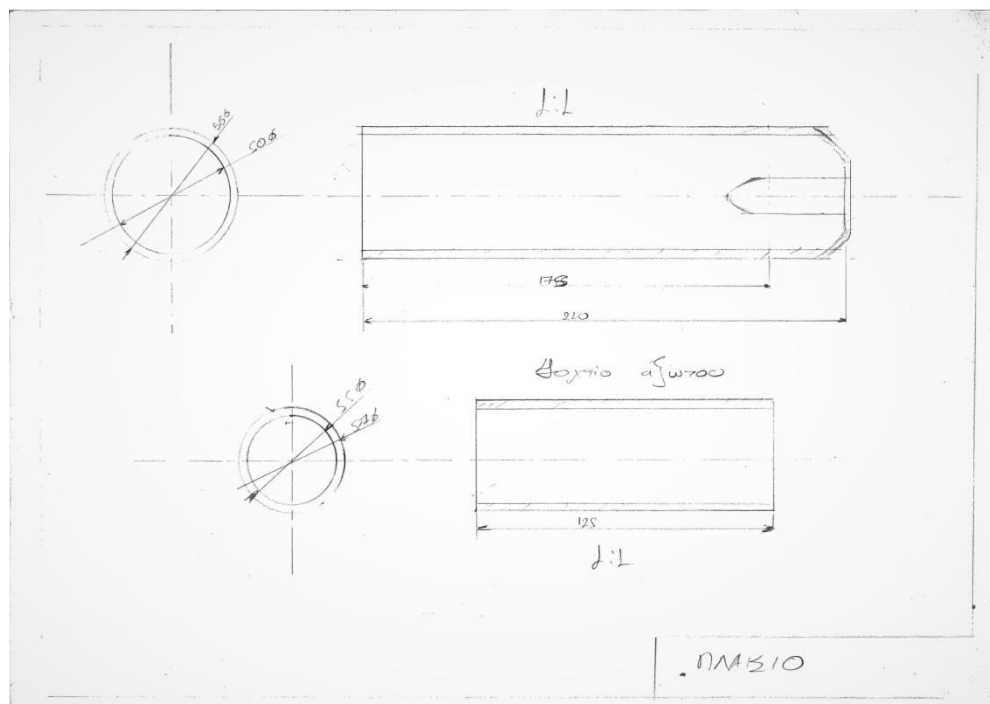
Στην Εικόνα 6-3 αναγράφονται όλα τα εξαρτήματα και χαρακτηριστικά του δευτερεύων εμβόλου του αποσβεστήρα. Οι ρυθμίσεις και διαστάσεις των βαλβίδων συγκρίθηκαν και εξακριβώθηκαν με τα χαρακτηριστικά που δίνει ο κατασκευαστής. Περισσότερα στο παράρτημα τάδε (11.1).

Στο σκαρίφημα Εικόνα 6-4 σχεδιάστηκε και διαστασιολογήθηκε το κύριο έμβολο, επιπρόσθετα υπάρχουν και τα χαρακτηριστικά των βαλβίδων, συμπίεσης και επαναφοράς. Όλα τα χαρακτηριστικά των βαλβίδων συγκρίθηκαν και πάλι με αυτά που δίνει ο κατασκευαστής. Περισσότερες πληροφορίες στο παράρτημα τάδε. Η επαλήθευση των διαστάσεων στο σκαρίφημα Εικόνα 6-4 είναι σημαντικό να γίνει. Ο λόγος είναι γιατί το έμβολο δυο θα χρησιμοποιηθεί στην προσομοίωση του αποσβεστήρα.

Τα χαρακτηριστικά των κυρίως θαλάμων (main tube), συμπίεση επαναφορά, καθώς και της δεξαμενής (reservoir) με το πεπιεσμένο αέριο σχεδιάστηκαν στο σκαρίφημα 3 Εικόνα 6-5.



Εικόνα 6-4 Σκαρίφημα 2



Εικόνα 6-5 Σκαρίφημα 3

6.1.3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΣΧΕΔΙΟ

Σε αυτό το σημείο, το μόνο που μένει είναι η αντιγραφή όλων των στοιχείων που έχουν προσκομιστεί από την κατασκευή και αναγράφονται πάνω στα σκαριφήματα σε ένα πρόγραμμα σχεδίασης. Σε περιπτώσει λάθους στα προηγούμενα στάδια θα δυσκολέψει την διαδικασία σχεδίασης, περισσότερα στο Παράρτημα 12 Γ.

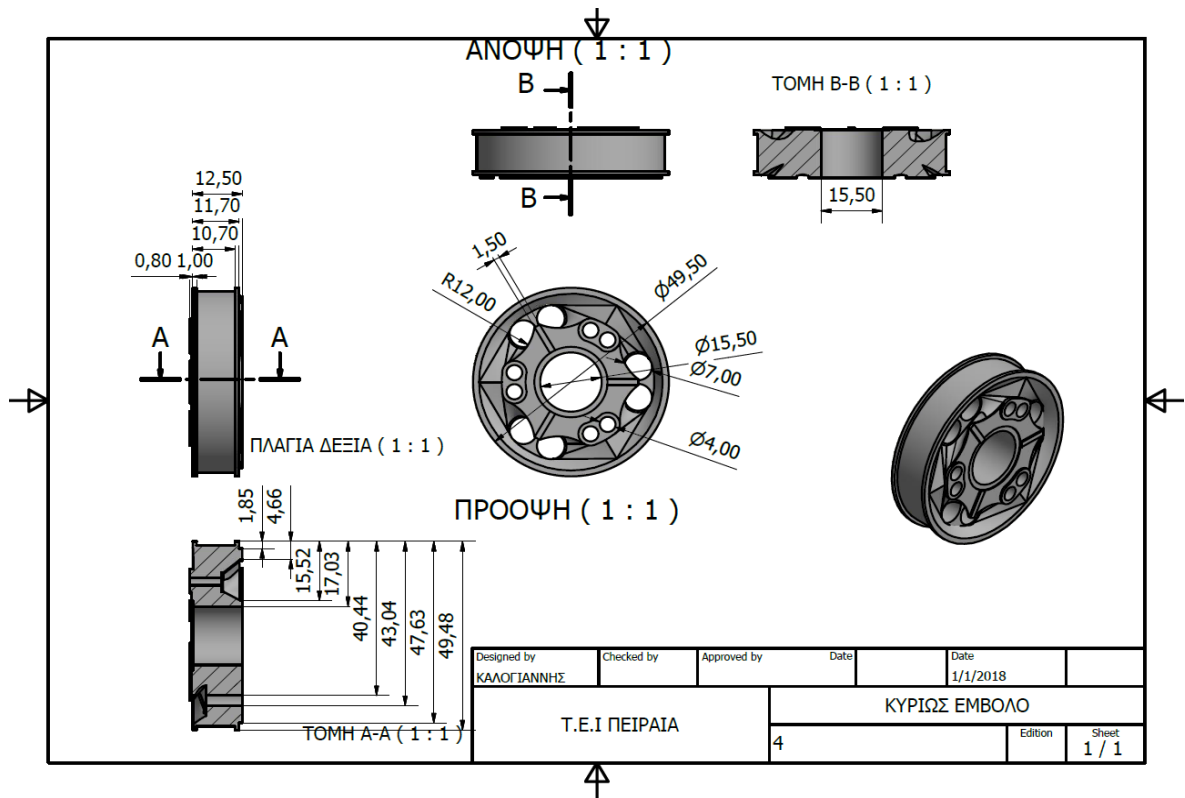
Όλα τα σχέδια του συγκεκριμένου αποσβεστήρα έγιναν στο πρόγραμμα σχεδίασης Inventor της Autodesk. Περισσότερα για το πρόγραμμα στο Παράρτημα 10Α.

Τα εξαρτήματα του αποσβεστήρα που σχεδιάστηκαν για την εργασία αυτή είναι:

1. Κυρίως έμβολο
2. Πλαίσιο
3. Κυρίως άξονας
4. Βαλβίδες εμβόλου
 - a. Ρυθμίσεις βαλβίδας συμπίεσης κυρίως εμβόλου
 - b. Ρυθμίσεις βαλβίδας επαναφοράς κυρίως εμβόλου
 - c. Ρυθμίσεις βαλβίδας συμπίεσης δευτερεύων εμβόλου
 - d. Ρυθμίσεις βαλβίδας επαναφοράς δευτερεύων εμβόλου
 - e. Ρυθμίσεις βαλβίδας οπής (foot valve)
5. Δευτερεύων έμβολο
6. Δευτερεύων άξονας
7. Λοιπά εξαρτήματα (πλαίσια, Teflon, αποστάτες, κ.α.)

6.1.3.1 ΚΥΡΙΩΣ ΕΜΒΟΛΟ

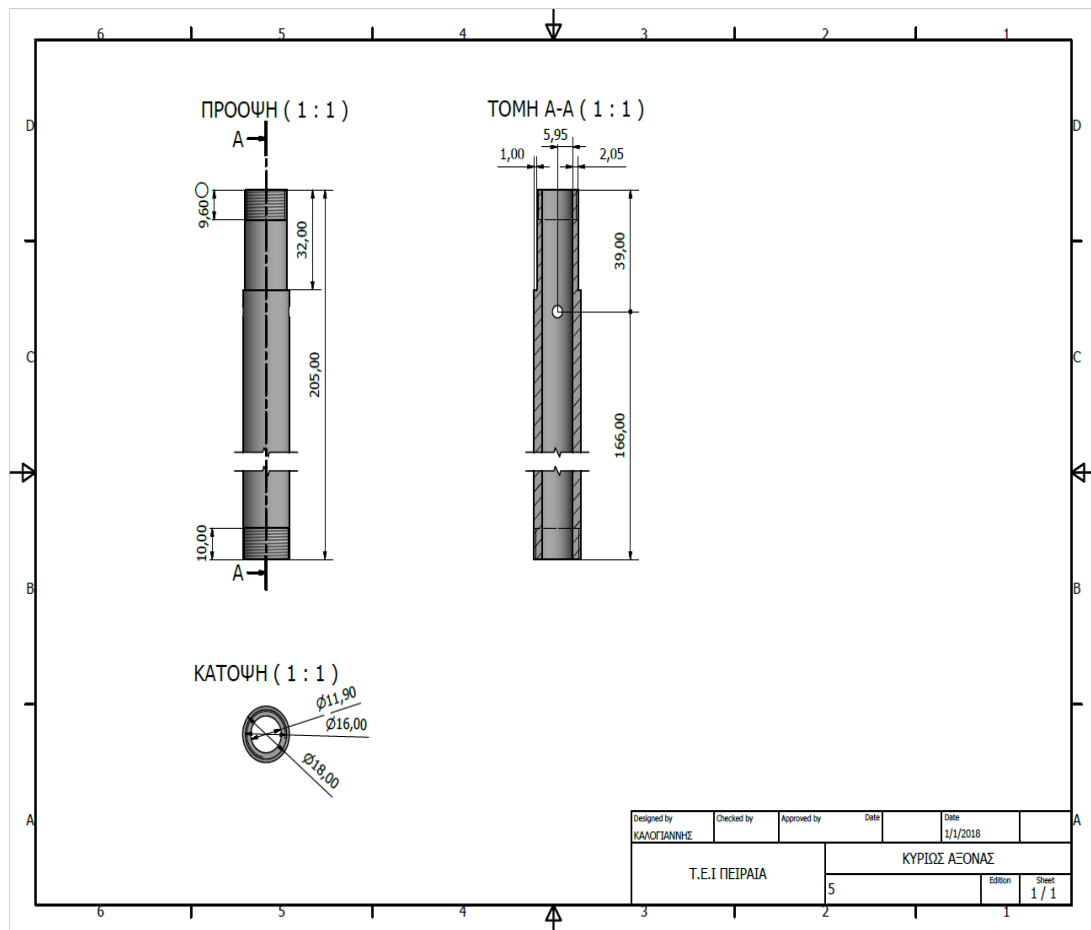
Το κυρίως έμβολο Εικόνα 6-6 Κυρίως έμβολο αποσβεστήρα παίζει τον καθοριστικό ρόλο στα χαρακτηριστικά που οι κατασκευαστές θέλουν να δώσουν σε μια ανάρτηση. Στις περιπτώσεις, που κάποιος ιδιώτης ή κάποια ομάδα του μηχανοκίνητου αθλητισμού, επιθυμεί να αλλάξει την συμπεριφορά που έδωσε ο κατασκευαστής στον αποσβεστήρα, υπάρχει πιθανότητα να αναγκαστεί στην αντικατάσταση αυτού του εμβόλου. Σε γενικές περιπτώσεις όμως η αντικατάσταση αποφεύγεται.. Η διαδικασία αλλαγής συμπεριφοράς ενός αποσβεστήρα ονομάζεται revalving περισσότερο στο Παράρτημα 11B.



Εικόνα 6-6 Κυρίως έμβολο αποσβεστήρα

6.1.3.2 ΚΥΡΙΩΣ ΑΞΟΝΑΣ

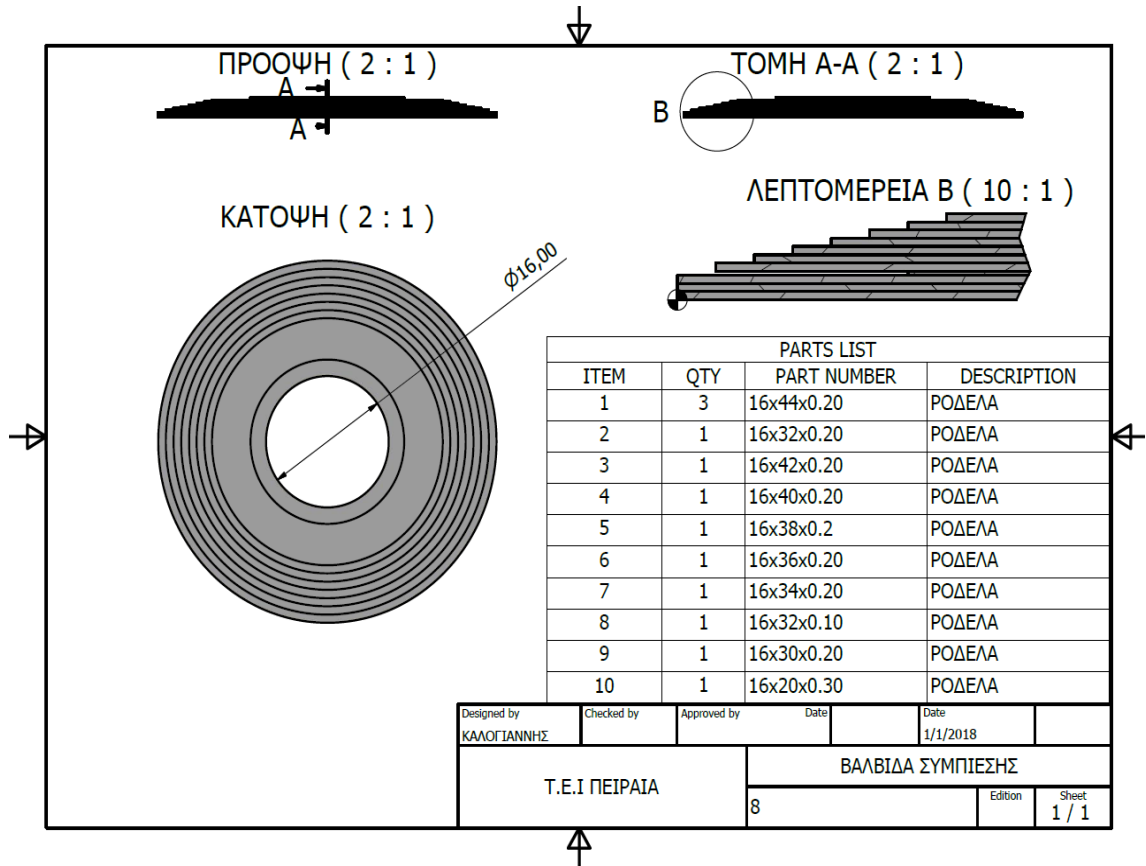
Στον κύριο άξονα Εικόνα 6-7 Κυρίως άξονας (Rod) συναρμολογούνται το κύριο έμβολο μαζί με τις κύριες βαλβίδες, επαναφοράς συμπίεσης, όπως στην Εικόνα 6-2. Επίσης στο κέντρο του είναι τοποθετημένη μια ράβδος με μυτερή άκρη (needle) ή αλλιώς βελόνα. Το ύψος της βελόνας ρυθμίζεται μηχανικά από τον κάτοχο και προσδιορίζει την ροή ρευστού που περνάει μέσα από τον άξονα (bleeder). Και τέλος στο επάνω μέρος του συναρμολογείται ο δευτερεύων άξονας μαζί με, το δευτερεύων έμβολο με τις βαλβίδες του.



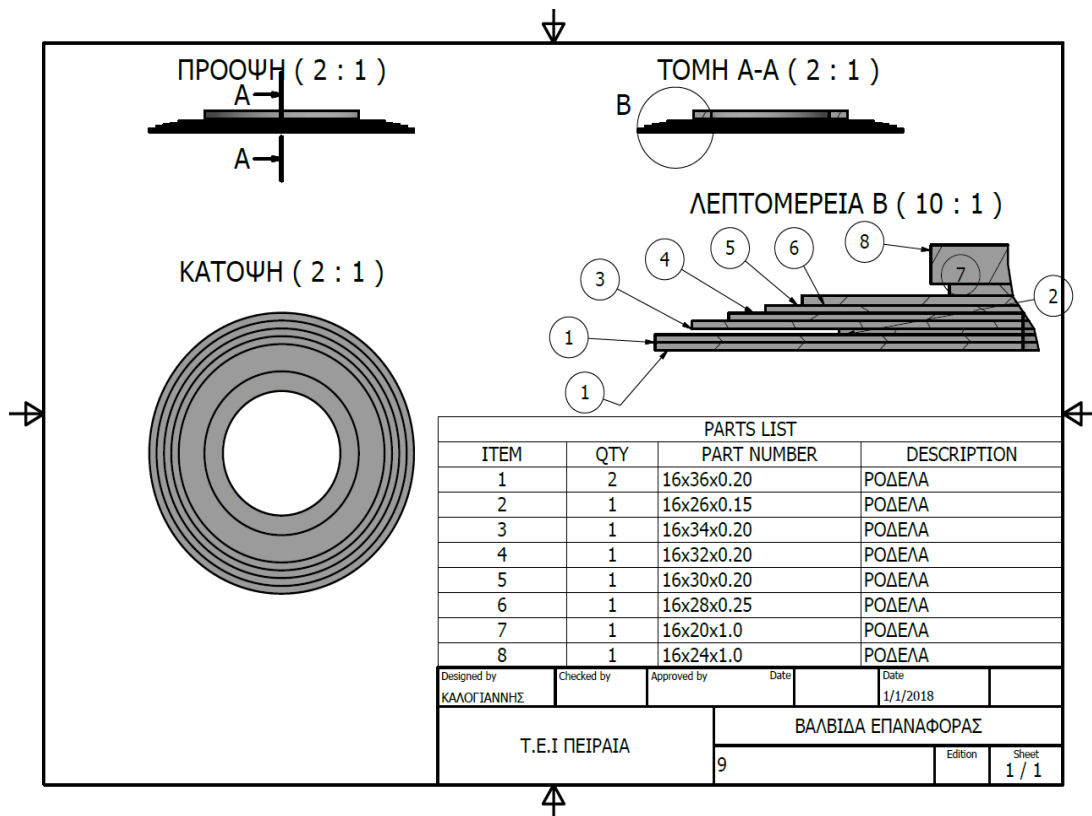
Εικόνα 6-7 Κυρίως άξονας (Rod)

6.1.3.3 ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΕΜΒΟΛΟΥ

Στο κύριο έμβολο όπως αναφέρει πιο πάνω υπάρχουν δυο βαλβίδες, η βαλβίδα επαναφοράς Εικόνα 6-9 και η βαλβίδα συμπίεσης Σχέδιο 6-8. Η κάθε μια λειτουργεί ξεχωριστά στην επαναφορά όμως συμβάλει και η βαλβίδα συμπίεσης.



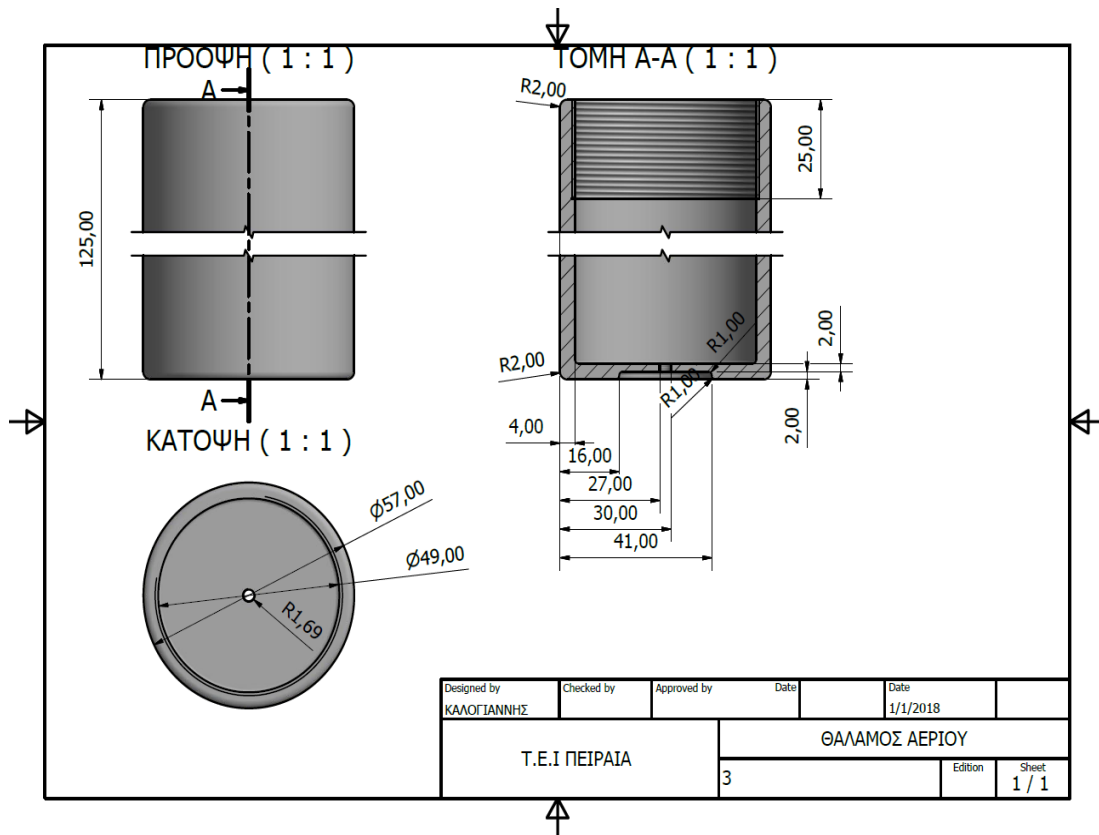
Σχέδιο 6-8 ΒΑΛΒΙΔΑ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΚΥΡΙΟΥ ΕΜΒΟΛΟΥ



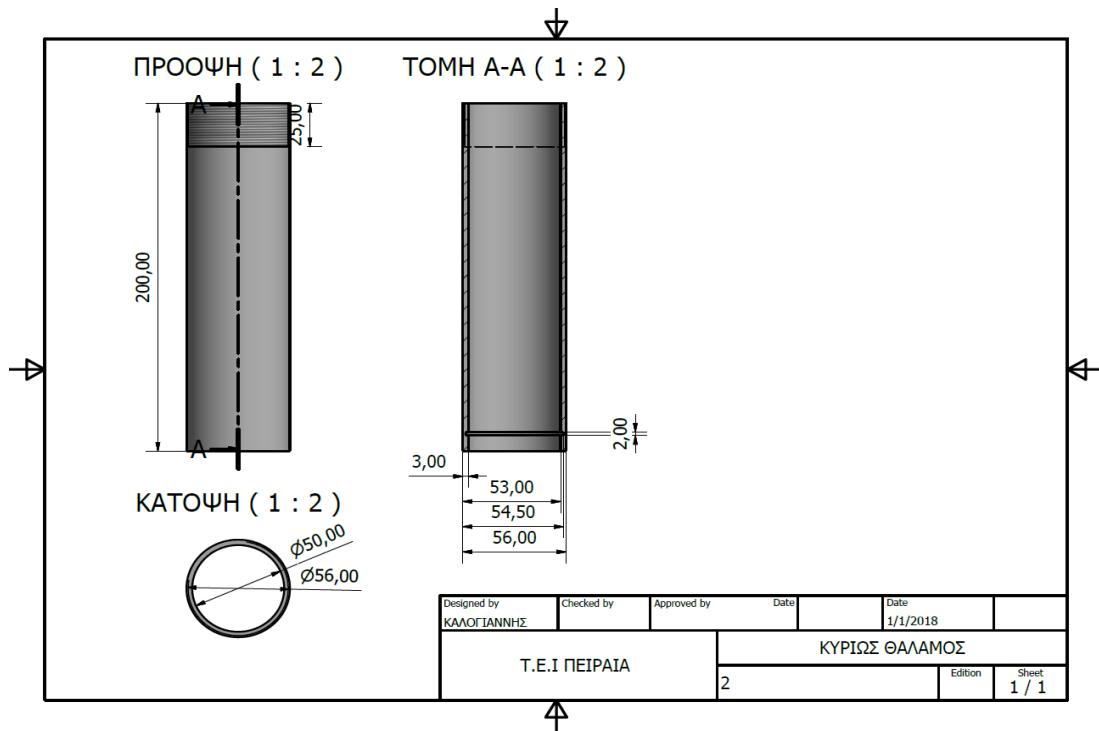
Εικόνα 6-9 Βαλβίδα επαναφοράς κύριου εμβόλου.

6.1.3.4 ΠΛΑΙΣΙΟ

Το πλαίσιο του αποσβεστήρα απαρτίζεται από το κύριο θάλαμο Εικόνα 6-11 και το θάλαμο με το πεπιεσμένο αέριο Εικόνα 6-10.



Εικόνα 6-10 Nitrogen tube.

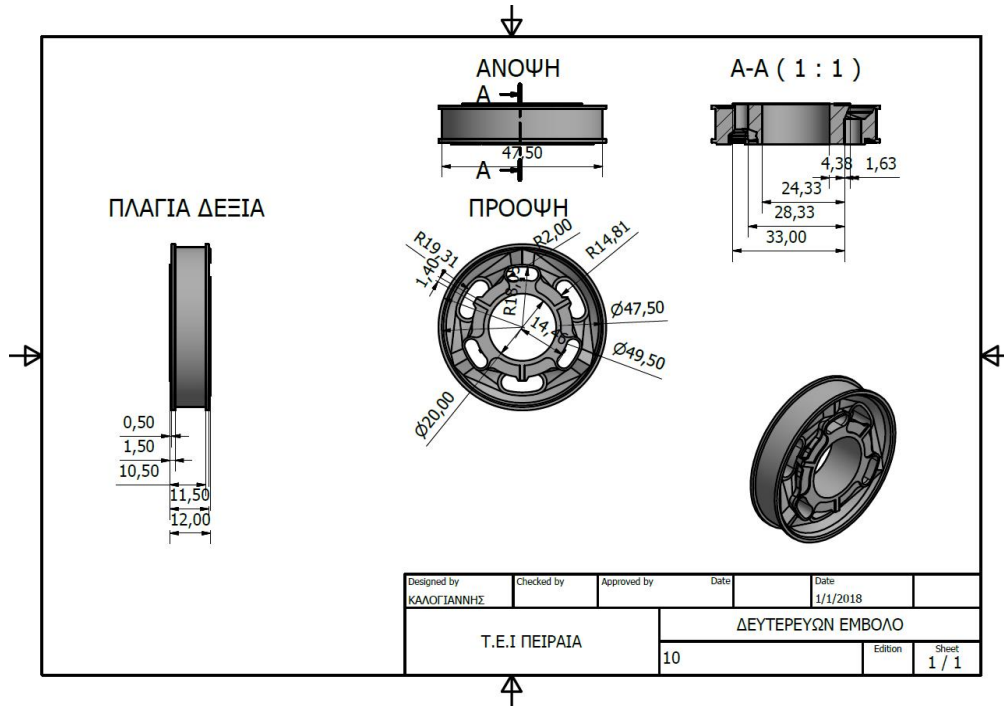


Εικόνα 6-11 Main tube.

6.1.3.5 ΔΕΥΤΕΡΕΥΩΝ ΕΜΒΟΛΟ ΑΞΟΝΑΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ

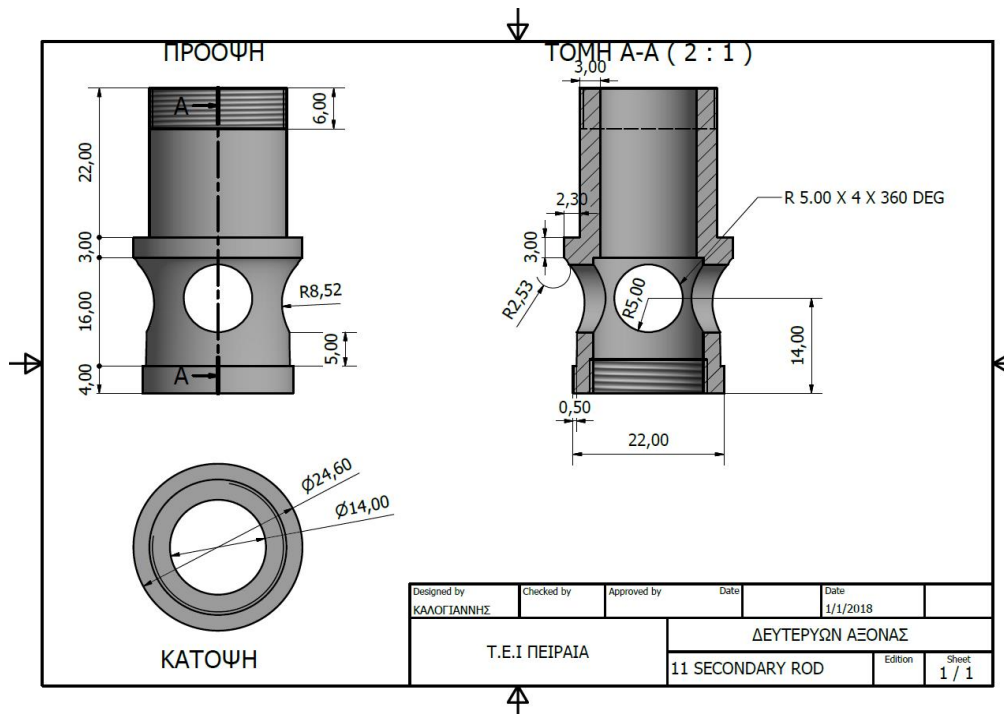
Οι αποσβεστήρες που έχουν δυο έμβολο με βαλβίδες είναι κυρίως οι PDS. Τα σχέδια τους είναι τα εξής:

- Δευτερέων έμβολο Εικόνα 6-12:



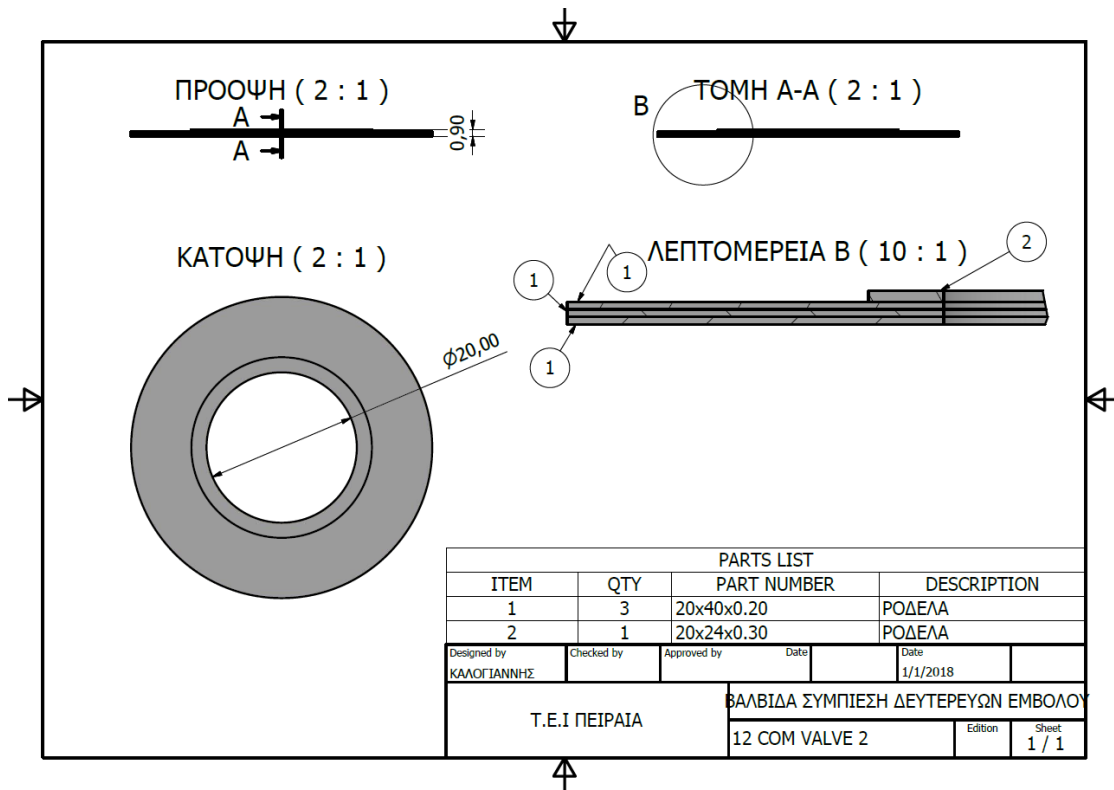
Εικόνα 6-12 Δευτερέων έμβολο.

- Δευτερέων άξονας Εικόνα 6-13:



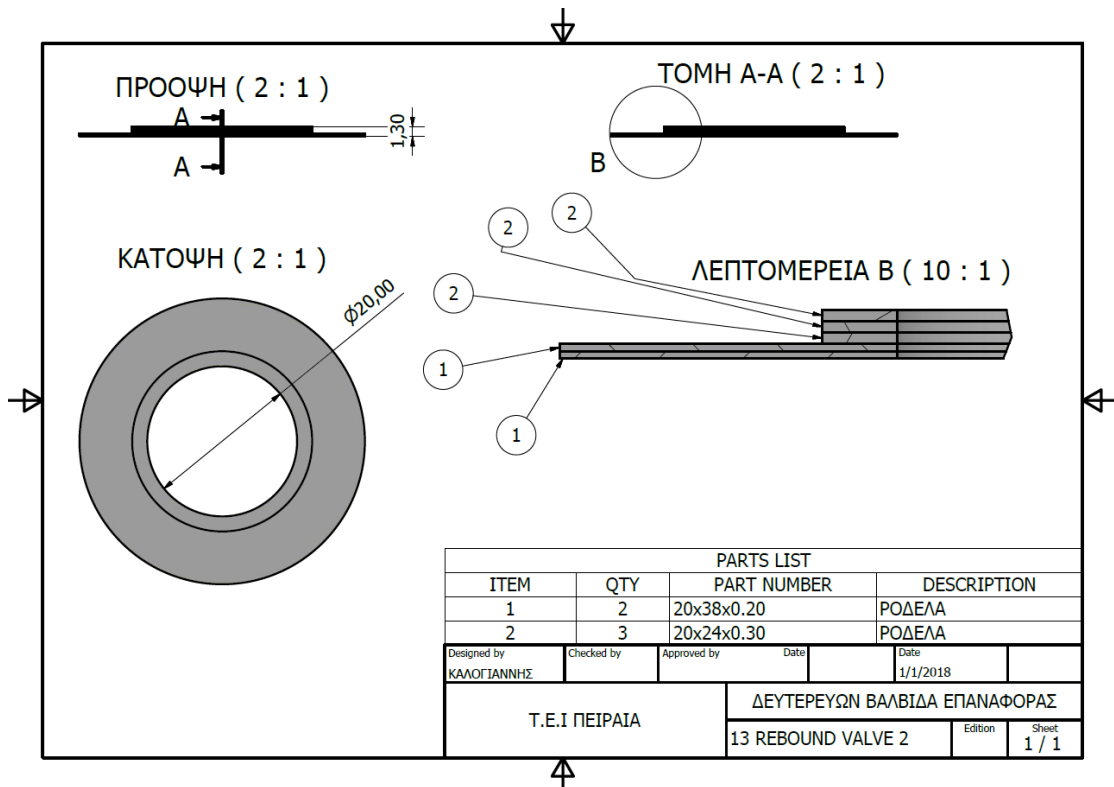
Εικόνα 6-13 Δευτερέων άξονας.

- Δευτερεύων βαλβίδα συμπίεσης Εικόνα 6-14:



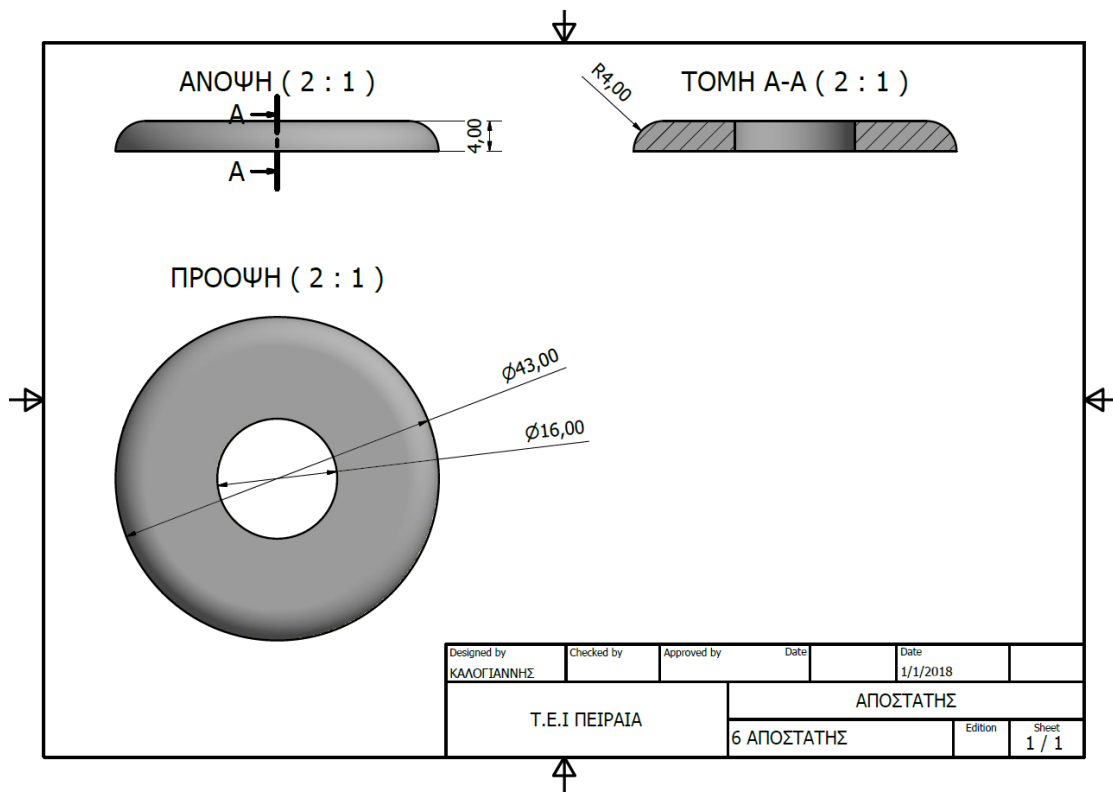
Εικόνα 6-14 Βαλβίδα συμπίεσης δευτερεύων εμβόλου.

- Δευτερεύων βαλβίδα επαναφοράς Εικόνα 6-15:



Εικόνα 6-15 Δευτερεύων βαλβίδα επαναφοράς.

- Αποστάτης Εικόνα 6-16:



Εικόνα 6-16 Αποστάτης.

6.1.3.6 ΛΟΙΠΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ

Τα σχέδια για τα υπόλοιπα εξαρτήματα που δεν θα χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση βρίσκονται στο παράρτημα 12 Γ.

6.2 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

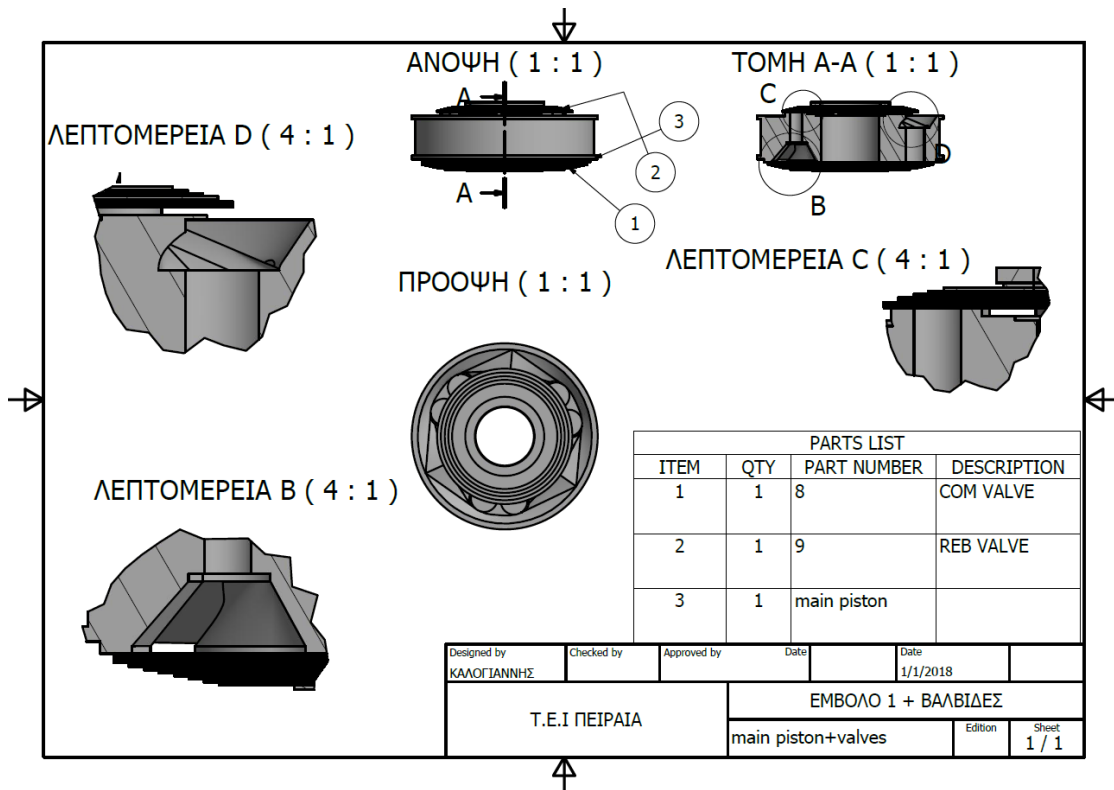
Η συναρμολόγηση των εξαρτημάτων έχει ως βασικό σκοπό την δημιουργία μιας γεωμετρίας, που θα εισαχθεί σε ένα πρόγραμμα προσομοίωσης για να μελετηθεί η λειτουργία του αποσβεστήρα. Τα προγράμματα προσομοίωσης χρειάζονται μεγάλη υπολογιστή δύναμη για να λύσουν ένα σύστημα όπως αυτής της εργασίας.

Σκοπός της συναρμολόγησης του αποσβεστήρα με βάση τα παραπάνω είναι:

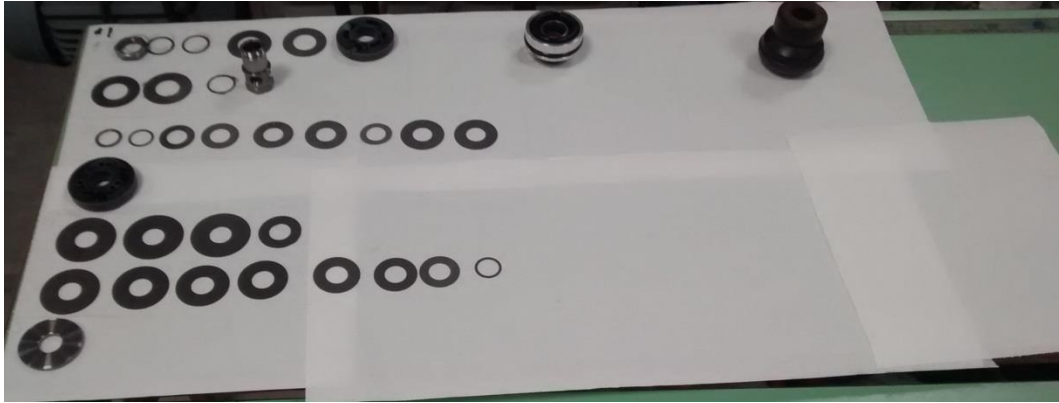
- Δημιουργία ενός αξιοπρεπούς αντίγραφου της γεωμετρίας ενός αποσβεστήρα Εικόνα 6-18. Με την κάλυψη όσο το δυνατόν περισσότερα από τα χαρακτηριστικά του αποσβεστήρα, (διάμετρος και αριθμός οπών, διαδρομή του εμβόλου, σχέση οπών εμβόλου με τις βαλβίδες του κ.α.)
- Απλούστευση της γεωμετρίας και εξάλειψη από αυτήν όποια εξαρτήματα δεν επηρεάζουν την λειτουργία του αποσβεστήρα, (ασφάλειες, O-ring κ.α.). Με αυτόν τον τρόπο το πρόγραμμα προσομοίωσης θα χειρίζεται λιγότερες παραμέτρους, δίνοντας γρηγορότερα και ασφαλέστερα αποτελέσματα. Περισσότερα για την προσομοίωση στο κεφάλαιο 7.

Για την αποτελεσματικότερη συναρμολόγηση του αποσβεστήρα και την μείωση τις πολυπλοκότητας του δημιουργήθηκαν ομαδικές συναρμολόγησης.

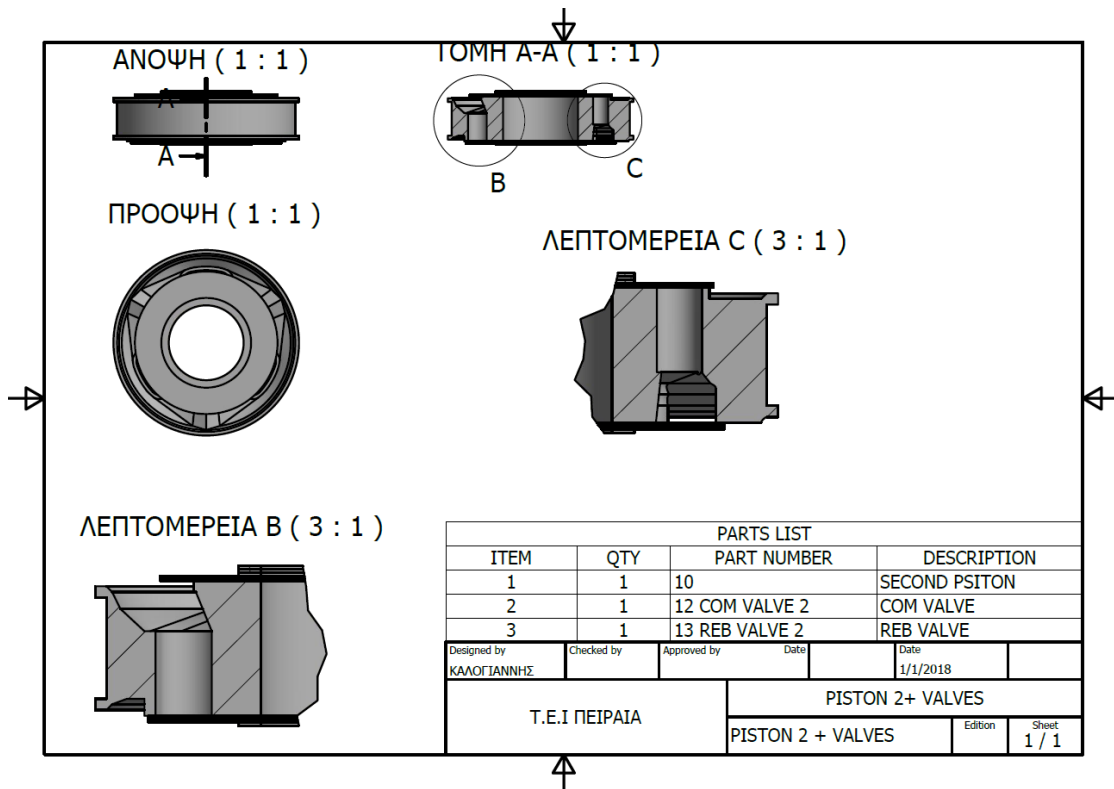
- Κυρίως έμβολο 1 με τις βαλβίδες, συμπίεσης και επαναφοράς Εικόνα 6-17
 - Βαλβίδα συμπίεσης κυρίως εμβόλου 1 Εικόνα 6-2
 - Βαλβίδα επαναφοράς κυρίως εμβόλου 1 Εικόνα 6-9
- Δευτερέων έμβολο 2 με τις βαλβίδες, συμπίεσης και επαναφοράς Εικόνα 6-19
 - Βαλβίδα συμπίεσης δευτερέων εμβόλου 2 Εικόνα 6-14
 - Βαλβίδα επαναφοράς δευτερέων εμβόλου 2 Εικόνα 6-15
- Κυρίως άξονας με το έμβολο 1 και τις βαλβίδες Εικόνα 6-20
- Δευτερέων άξονας με το έμβολο 2 και τις βαλβίδες Εικόνα 6-21
- Κυρίως άξονας με δευτερέων και με τα επακόλουθά τους Εικόνα 6-22



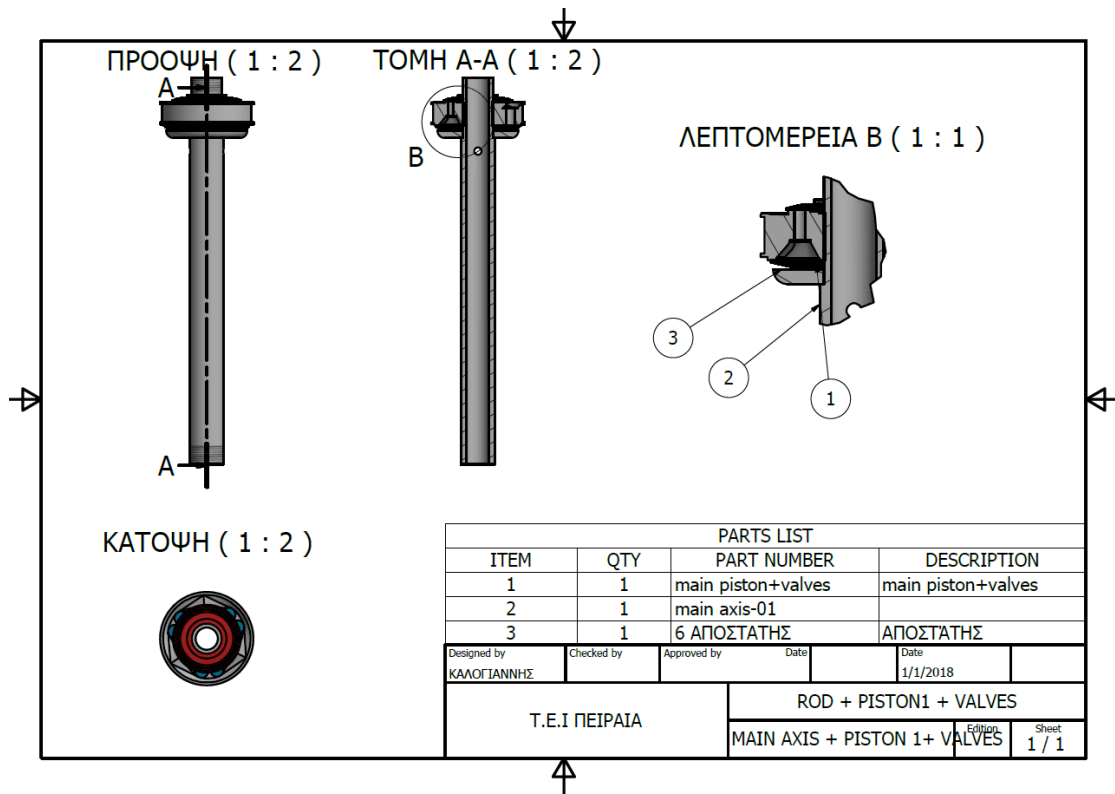
Εικόνα 6-17 Κυρίως έμβολο με τις βαλβίδες.



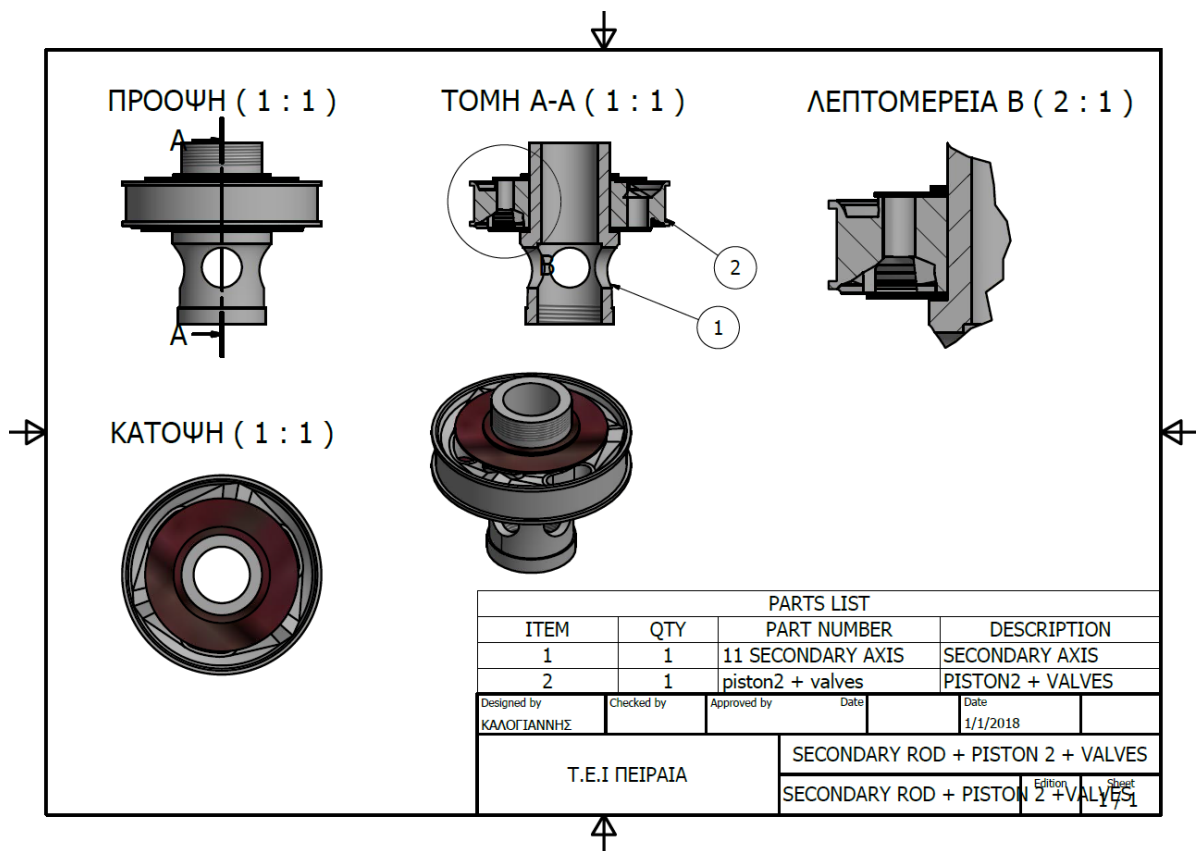
Εικόνα 6-18 Disassembly of shock absorber.



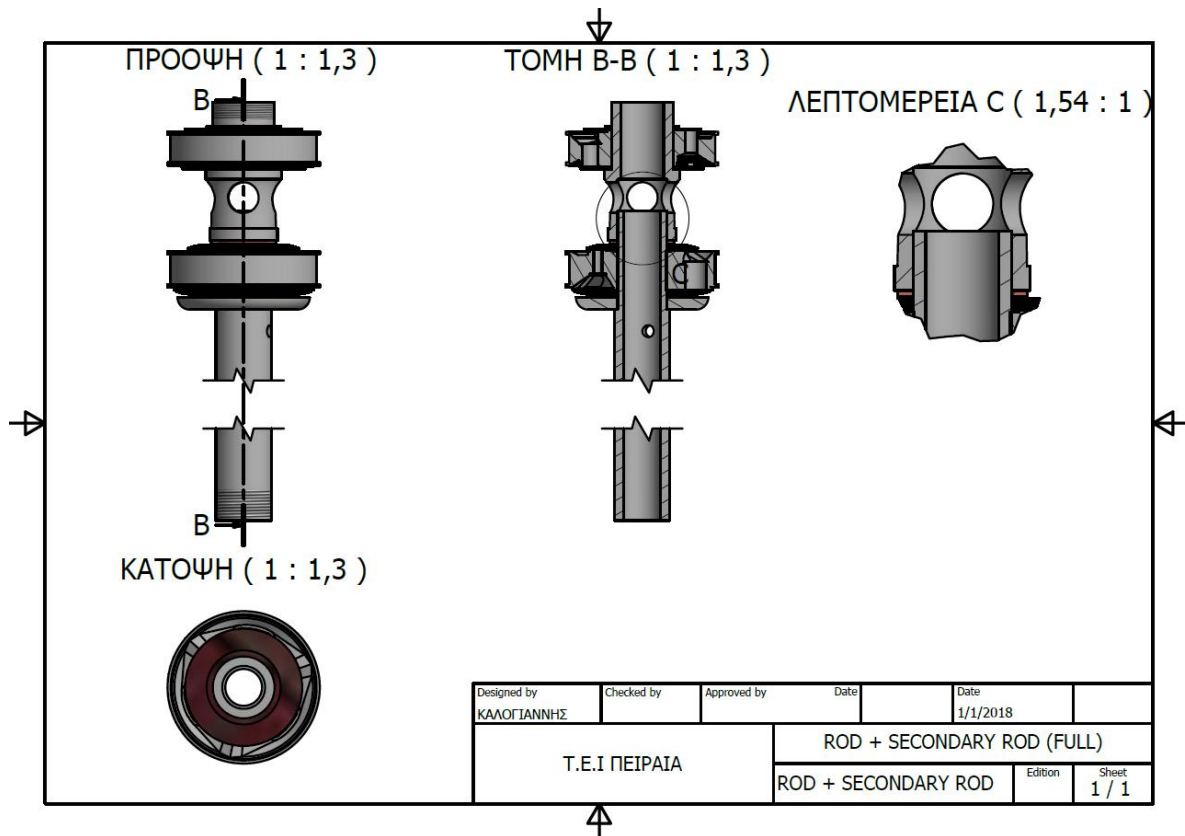
Εικόνα 6-19 Δευτερεύων έμβολο 2 με βαλβίδες.



Εικόνα 6-20 Κυρίως άξονας, κυρίως έμβολο 1, βαλβίδες.+



Εικόνα 6-21 Δευτερεύων άξονας, δευτερεύων έμβολο 2, βαλβίδες.



Εικόνα 6-22 Κυρίως άξονας και δευτερεύων άξονας, ολοκληρωμένοι

Παρατήρηση:

Στο πρόγραμμα προσομοίωσης η γεωμετρία που θα εισαχθεί δεν είναι απαραίτητο να εμπεριέχει το πλαίσιο του αποσβεστήρα και αν τον εμπεριέχει θα απαλειφθεί στην συνέχεια της διαδικασίας. Εκτός του ότι είναι περιττό θα επιβαρύνει το σύστημα με τα πεπερασμένα στοιχεία που θα χρειαστεί να του οριστούν από το πρόγραμμα καθυστερώντας την διαδικασία σε όλα της τα στάδια. Περισσότερα αναφέρονται στο κεφάλαιο 7

7 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ

Το κεφάλαιο αυτό ασχολείται με την μοντελοποίηση και προσομοίωση του υδραυλικού αποσβεστήρα, Παράρτημα 11.1, με την χρήση του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων Ansys[17] ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ. Η προσομοίωση του υδραυλικού αποσβεστήρα στην συγκεκριμένη εργασία ασχολείται με την κατασκευή αλλά και με το ρευστό που εμπεριέχει. Το πρόβλημα ουσιαστικά που τίθεται να λυθεί είναι της κατηγορίας πεπερασμένων στοιχείων για ροές με μεταβαλλόμενες περιοχές, επιφάνειας και μετατοπίσεις κατασκευής[18], (Fluid-Structure interaction with Moving Boundaries and Interfaces). Γενικά στο συγκεκριμένο πρόγραμμα προσομοίωσης, (ANSYS), ονομάζονται (FSI one-way or two-way system coupling[19]) και με τυπικές εφαρμογή σε:

- Βιοϊατρική – προσομοιώσει αρτηριών[20]
- Αυτοκινητοβιομηχανία – αποσβεστήρες, μηχανές εσωτερική καύσης
- Αεροναυπηγική – αεροδυναμική, ρευστοδυναμικές μηχανές
- Χειρισμός ροών – βαλβίδες, συστήματα ψεκασμού
- Έργα πολιτικών μηχανικών – υπολογισμό φορτίων σε κτήρια λόγω αέρα.
- Ηλεκτρικά κυκλώματα – ψύξη εξαρτημάτων

Τα ωφέλει μιας προσομοίωσης όπως των πεπερασμένων στοιχείων είναι αναμφισβήτητα ο λόγος που τα τελευταία χρόνια ιδικά η μέθοδος αυτή έχει ανθίσει. Χρησιμοποιώντας πεπερασμένα στοιχεία μαζί με τις απαραίτητες εξισώσεις δύνονται μεγάλες δυνατότητες σε λογικές τιμές για μελέτη επιστημονικών και μηχανολογικών έργων. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με επίβλεψη και διαχείριση από καταρτισμένο προσωπικό είναι πλέον αξιόπιστα. Επίσης αλλαγές και βελτιστοποιήσεις γίνονται μέσα από το ίδιο τα πρόγραμμα με δυνατότητα μέχρι αυτόματης προσαρμογής της γεωμετρίας αν αυτό επιθυμάτε. Έχοντας ως αποτέλεσμα οι πειραματικές διαδικασίες να γίνονται πιο στοχευμένα μηνώντας χρόνο, υλικά και ενέργεια. Παράγοντες που προσδιορίζουν την βιωσιμότητα κάθε έργου με βάσει το κεφάλαιο που είναι διαθέσιμο, προτρέποντας το κάθε τομέα σε περισσότερη και ευκολότερη έρευνα.

Επιστρέφοντας στον σκοπό αυτής της εργασία επιλέχτηκε η μέθοδος προσομοίωσης(two-way system coupling for FSI problems). Για την επίλυση του συστήματος χρειάζεται:

- Ανάλυση (Transient Structure Analysis)[21] για την γεωμετρία της κατασκευής, (προσδιορισμός υλικού, φορτίων, επαφών, στηρίξεων κ.α.)
- Ανάλυση για τα ρευστά του συστήματος (CFD analysis)[22] για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του ρευστού (συνθετικό λάδι), (ασυμπίεστο ρευστό, προσδιορισμός περιοχών ρευστού, μεταβλητών περιοχών, μεταβλητών επιφανειών κ.α.)

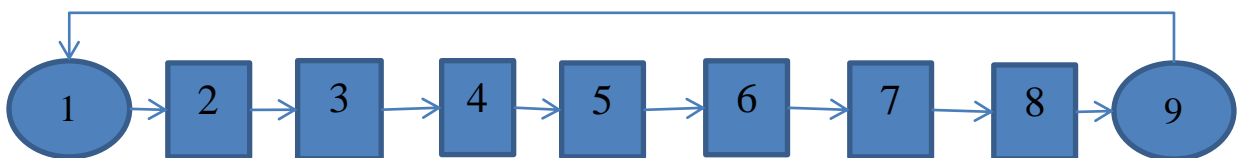
- Αλληλεπίδραση των δύο παραπάνω αναλύσεων (two-way system coupling)[23]

Η κάθε ανάλυση προσδιορίζεται και λύνεται ξεχωριστά για την επαλήθευση πως οι παράμετροι που καθορίστηκαν προσδιορίστηκαν σωστά και δεν θα εμφανίσουν παραπάνω σφάλματα κατά την διαδικασία της αλληλεπίδρασης τους. Μειώνοντας έτσι την δυσκολία επίλυσης τυχών σφαλμάτων που θα εμφανιστούν.

7.1 TRANSIENT STRUCTURE ANALYSIS IN ANSYS WORKBENCH

Η διαδικασία ανάλυσης των μηχανικών μερών του αποσβεστήρα που είναι να πάρουν μέρος στην προσομοίωση γίνεται ακολουθώντας τα εξής βήματα Εικόνα 7-1:

1. Δημιουργία η εισαγωγή γεωμετρίας
2. Εισαγωγή και προσδιορισμός των υλικών που θα έχει το κάθε εξάρτημα των μηχανικών μερών του αποσβεστήρα.
3. Δημιουργία ή προσδιορισμός ιδιοτήτων κάθε επαφής μεταξύ των εξαρτημάτων
4. Δημιουργία του πλέγματος (mesh)
5. Δήλωση και προσδιορισμός αρχικών συνθηκών
6. Δήλωση διάρκεια και μορφή του πειράματος π.χ. (μετατόπιση, ταχύτητα)
7. Δήλωση στηρίξεων και φορτίων που δρουν στην κατασκευή
8. Προσδιορισμός μεγεθών που το πρόγραμμα προσομοίωσης επιθυμούμε να υπολογίσει.
9. Επαλήθευση για σφάλματα στα παραπάνω βήματα για επίλυση τυχών σφαλμάτων.



Εικόνα 7-1 Διαδικασία Μοντελοποίησης και βελτιστοποίησης προσομοιώσεις

7.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ

Η γεωμετρία του αντικειμένου που θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση μπορεί να σχεδιαστεί στο σχεδιαστικό πρόγραμμα του Ansys ωστόσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί έγγραφο από κάποιο άλλο σχεδιαστικό πρόγραμμα.

Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν έγγραφα από το σχεδιαστικό πρόγραμμα της «Autodesk» το «Inventor » περισσότερο για το πρόγραμμα στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ.

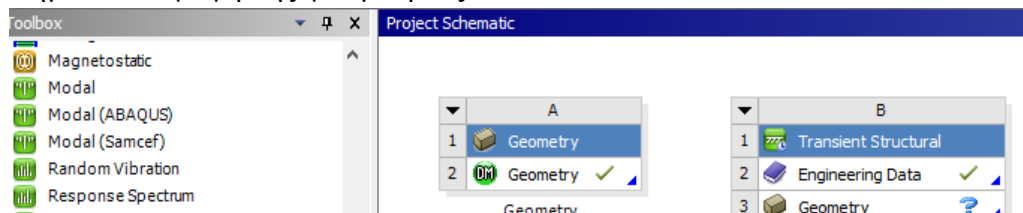
Όταν έχουμε να υπολογίσουμε ροές και ιδιότητες ρευστών στην προσομοίωση είναι σημαντικό να αναφερθεί πως μαζί με την γεωμετρία των εξαρτημάτων του

αποσβεστήρα θα πρέπει να σχεδιαστεί και η γεωμετρία του ρευστού όπως στην Εικόνα 7-5. Ο λόγος είναι για να δηλωθεί στο πρόγραμμα προσομοίωσης που θα υπάρχει ρευστό στην κατασκευή. Επίσης να καθιστά δυνατή την δήλωση αρχικών καταστάσεων του ρευστού και τον προσδιορισμό περιοχών του ρευστού που θα υποστούν μετακίνηση ή παραμόρφωση.

Η διαδικασία για την εισαγωγή της γεωμετρίας είναι ως εξής:

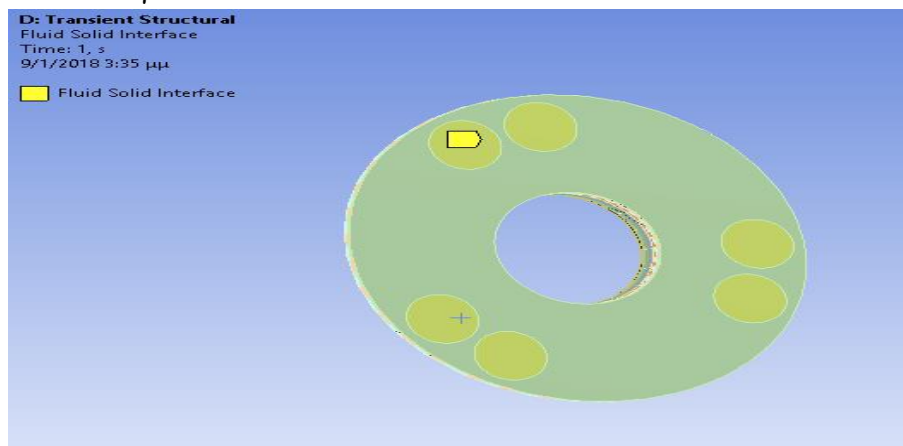
1ο-Βήμα. Δηλώνεται το σύστημα μέτρησης και μεγεθών στο οποίο επρόκειτο να δηλώσουμε τις παραμέτρους της κατασκευής (Metric).

2ο-Βήμα. Εισαγωγή της γεωμετρίας Εικόνα 7-1



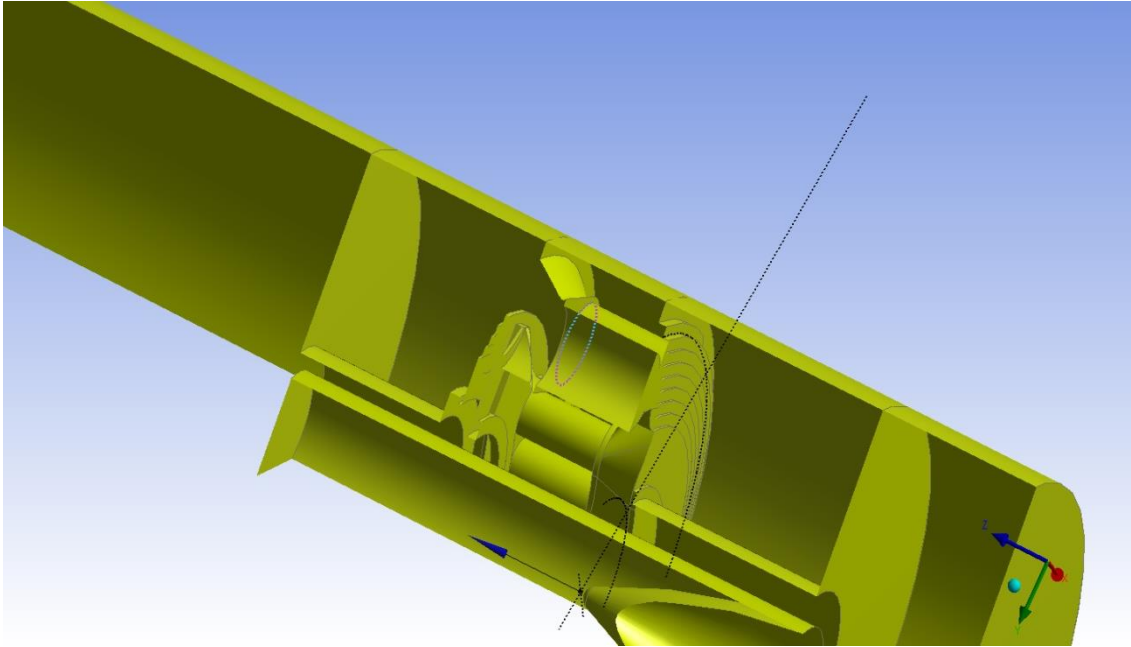
Εικόνα 7-2 Εισαγωγή γεωμετρίας στο Ansys.

3ο-Βήμα. Προβολή και προσδιορισμός περιοχών που θα χρησιμοποιηθούν για να δηλωθούν οι στηρίξεις και τα μεγέθει που το πρόγραμμα προσομοίωσης θα υπολογίσει Εικόνα 7-3.

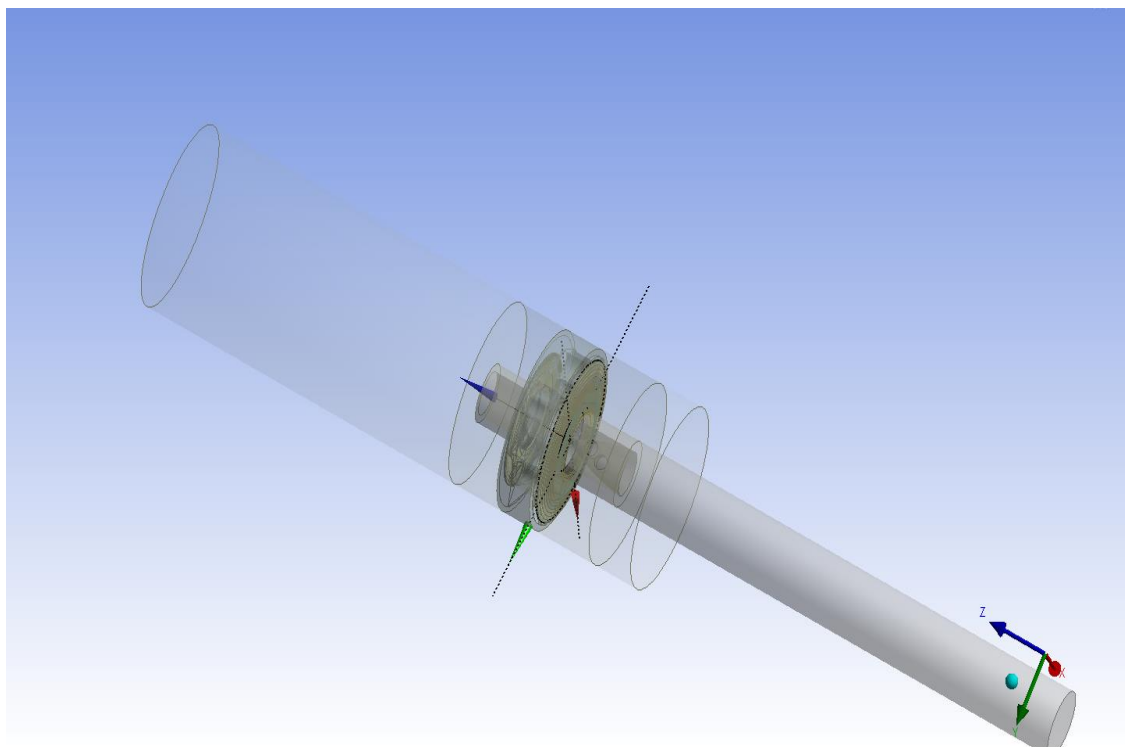


Εικόνα 7-3 Επιφάνειες που ασκεί το ρευστό πίεση Ansys.

4ο-Βήμα. Δημιουργία περιοχής ρευστού Εικόνα 7-4 και προσδιορισμός του είδους υλικού που επρόκειτο να προβληθεί σε κάθε γεωμετρία (διαχωρισμός ρευστών από στερεά). Συνοπτικά στην Εικόνα 7-5 φαίνεται η μορφή του μοντέλου πριν συνεχίσει για ανάλυση.



Εικόνα 7-4 Τομή τομέα ρευστού (Ansys).

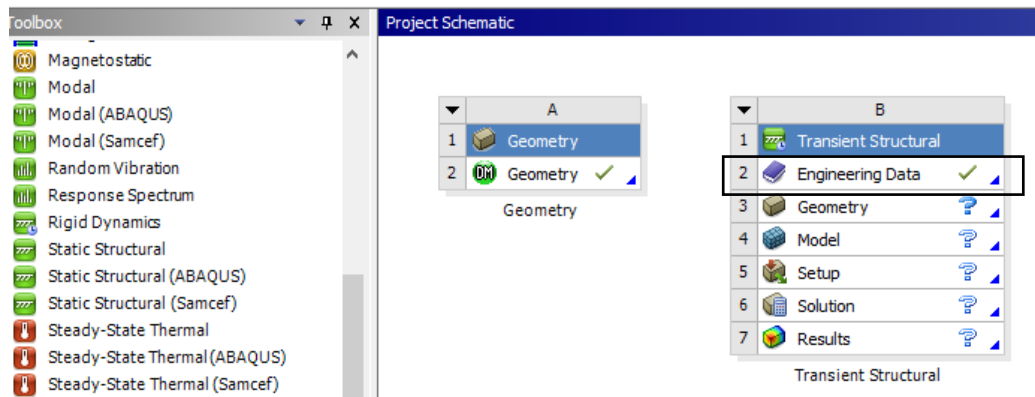


Εικόνα 7-5 Συναρμολόγηση εξαρτημάτων και προσδιορισμός περιοχών ρευστού (Ansys).

7.1.2 ΥΛΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

Ένας από τους παράγοντες που θα παίξουν σημαντικό ρόλο στα αποτελέσματα της προσομοίωσης του αποσβεστήρα είναι η επιλογή των σωστών υλικών του κάθε εξαρτήματος.

Στο πρόγραμμα προσομοίωσης για «Transient Structure Analysis» η πρώτη ρύθμιση είναι η επιλογή των υλικών που θα πάρουν μέρος στην ανάλυση Εικόνα 7-6.



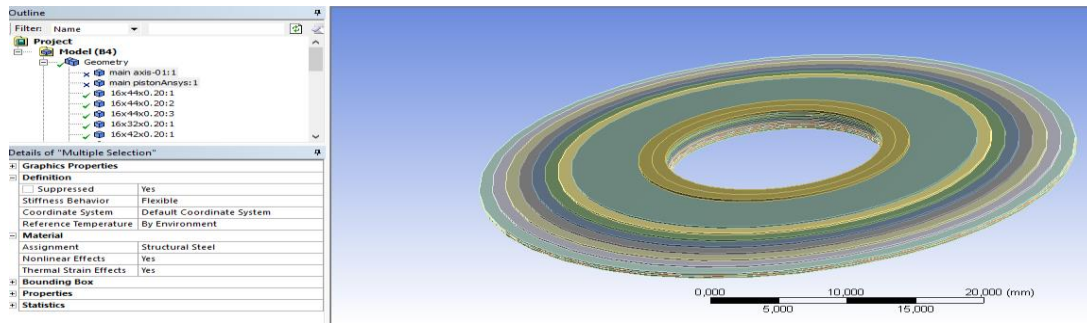
Εικόνα 7-6 Επιλογή υλικών (Ansys).

Στην συγκεκριμένη εργασία για «Transient Structure Analysis» η επιλογή υλικού έγινε μόνο για τις βαλβίδες του εμβόλου Table 1:

Table 1 Υλικό ροδελών [24]

Στοιχεία υλικού	
Ον. Υλικού	AISI 1095
Πυκνότητα	7,85 g/cm ³
Λόγος Poisson	0.27-0.30
Θερμοκρασία Αλλαγής Φάσης	1515 C
Ελαστικότητα (young)	190-210 GPa
Χημική Σύσταση (%)	<ul style="list-style-type: none"> • Iron, Fe 92.38-98.8 • Carbon, C 0.90-1.03 • Phosphorous, P ≤ 0.040 • Sulfur, S ≤ 0.050 • Manganese, Mn 0.30-0.50

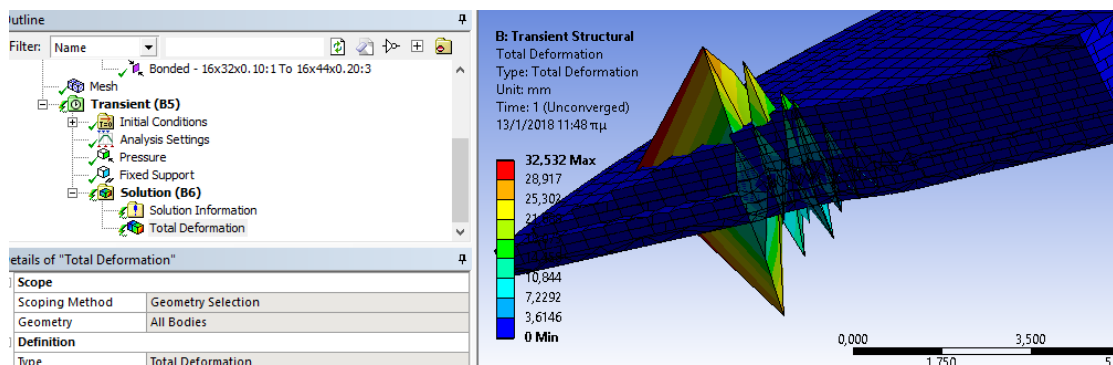
Μετά την επιλογή των υλικών το επόμενο βήμα για «Transient Structure Analysis» είναι η επιλογή, πια από τα εξάρτημα θα απορριφτούν εξολοκλήρου από την ανάλυση αυτή. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο τομέας του ρευστού, ο άξονας και το έμβολο απορρίφθηκαν. Ο λόγος είναι ότι η γεωμετρία που έχουμε θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί και για την ανάλυση του ρευστού. Με αποτέλεσμα να κρατάμε για κάθε ανάλυση ότι είναι απαραίτητο για την διεξαγωγή της. Οπότε για «Transient Structure Analysis» οι παράμετροι θα εγκατασταθούν στην εξής γεωμετρία Εικόνα 7-1 Διαδικασία Μοντελοποίησης και βελτιστοποίησης προσομοιώσεις.



Εικόνα 7-7 Βαλβίδα συμπίεσης κυρίως εμβόλου (Ansys).

7.1.3 ΕΠΑΦΕΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

Η επόμενη παραμετροποίηση στο πρόγραμμα είναι ο προσδιορισμός των επαφών κάθε εξαρτήματος στο σύστημα που μελετάτε. Η ρύθμιση αυτή ουσιαστικά θα προσομοιώσει την κίνηση μεταξύ των επιφανειών. Για κάθε μελέτη και σύστημα οι ιδιότητες μεταξύ των επαφών είναι διαφορετικού ενδιαφέροντος και εξαρτάτε με το που επιθυμάτε να δοθεί περισσότερο έμφαση. Είναι ένα μέρος της προσομοίωσης στο οποίο το οποιοδήποτε λάθος θα επηρεάσει σημαντικά τα αποτελέσματα, στην χειρότερη περίπτωση διακόπτοντας την διαδικασία με την εμφάνιση σφάλματος Εικόνα 7-1.



Εικόνα 7-8 Ansys connection error.

Για την σωστή επιλογή των ιδιοτήτων γίνονται δοκιμές εφαρμόζοντας πιέσεις και δυνάμεις που ενδέχεται να εκτεθεί κατά την λειτουργία του σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα προσομοίωσης (πίεση ρευστού). Τα αποτελέσματα θα εξακριβώσουν πια είναι η καταλληλότερη ρύθμιση.

Για το συγκεκριμένο σύστημα επιλέχτηκαν τα εξής Table 2.

Table 2 Επαφές Εξαρτημάτων.[25]

a/a	Ροδέλα 1	Ροδέλα 2	Τύπος Επαφής	Συντελεστής Τριβής (μ)
1	A	B	Τριβή	0,2
2	B	Γ	Τριβή	0,2
3	Γ	Δ	Τριβή	0,2
4	Δ	E	Τριβή	0,2
5	E	Z	Τριβή	0,2
6	Z	H	Τριβή	0,2
7	H	Θ	Τριβή	0,2
8	Θ	I	Τριβή	0,2
9	I	Λ	Τριβή	0,2
10	Λ	K	Τριβή	0,2
11	K	M	Τριβή	0,2
12	M	N	Τριβή	0,2
13	N	Ξ	Τριβή	0,2

7.1.4 ΠΛΕΓΜΑ (Mesh)

Το πλέγμα είναι ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά μιας προσομοίωσης με πεπερασμένα στοιχεία. Η βασική τους λειτουργία είναι ο διαχωρισμός μιας γεωμετρίας σε μικρότερες με σκοπό την προσέγγιση της. Όσο περισσότερα στοιχεία τόσο πιο δυναμική η προσέγγιση της γεωμετρίας. Σε κάθε ένα στοιχείο εφαρμόζονται οι ιδιότητες των υλικών, υπολογίζονται τα μαθηματικά μοντέλα και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

Με δεδομένη τη σημασία τους στη προσημείωση γίνονται εύκολα αντιληπτά τα εξής:

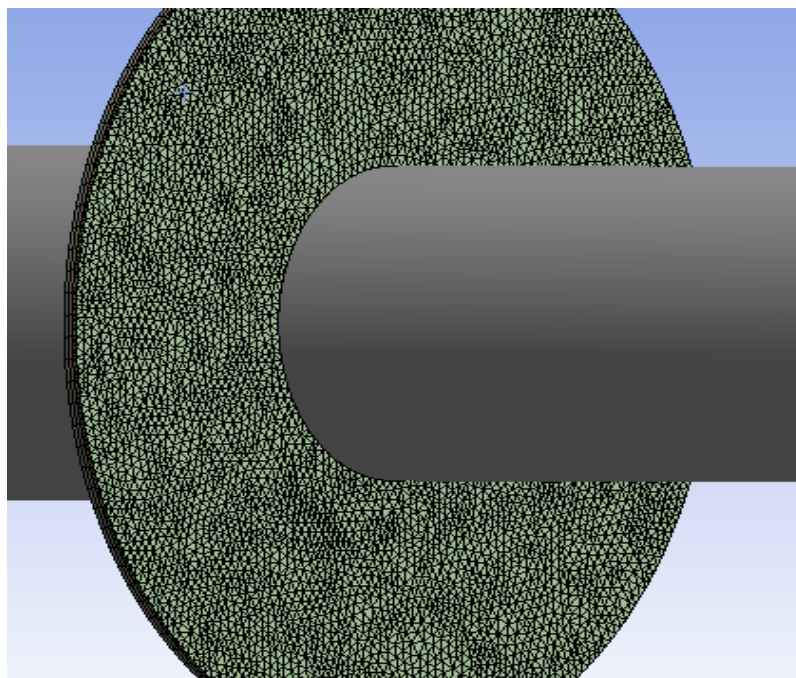
- Ο αριθμός των στοιχείων προσδιορίζει πόσο καλή η κακή προσέγγιση της γεωμετρίας
- Ο αριθμός των στοιχείων προσδιορίζει την πολυπλοκότητα μιας προσομοίωσης
- Ο τύπος των στοιχείων προσδιορίζει τις δυνατότητες προσομοίωσης του προγράμματος

Έχοντας ως γνώμονα τα παραπάνω ο καθορισμός των στοιχείων θα προσδιοριστή με βάση την ακρίβεια των αποτελεσμάτων που θέλουμε, την υπολογιστή δύναμη που προτίθεται να εφαρμόσουμε, τις ιδιότητες που θέλουμε να έχουν και τον τύπο προσομοίωσης που πρόκειται να εφαρμοσθή (system coupling).

Κατά την ανάλυση «Transient Structure Analysis» στον Table 3 αναγράφονται οι επιλογές για τα πεπερασμένα στοιχεία του συστήματος αυτής της εργασίας. Η μορφή του πλέγματος παρουσιάζεται στην εικόνα Εικόνα 7-9.

Table 3 Επιλογές πλέγματος βαλβίδας αποσβεστήρα.

Αρ. Στοιχείων	10,771 Tetrahedrals 500 Pyramids 7000 Prisms
Αρ. Κόμβων	52000
Μέγεθος Στοιχείων min	0,09mm
Φυσική	Aggressive Mechanical
Επίλυση	Coupled
Παραμόρφωση Στοιχείων	Enabled
Relevance	Fine



Εικόνα 7-9 Ansys mesh για την βαλβίδα συμπίεσης.

7.1.5 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Σε αυτό το βήμα θα προκαθοριστούν οι αρχικές συνθήκες και η διάρκεια της προσομοίωσης σε πραγματικό χρόνο. Για την συγκεκριμένη ανάλυση αρχικές συνθήκες δεν είναι επιθυμητές. Η διάρκεια ωστόσο είναι ένας σημαντικός παράγοντας.

Εκτός από τον καθορισμό της διάρκειας θα πρέπει να δηλωθεί η ποσότητα και διάρκεια κάθε βήματος που θα κάνει το πρόγραμμα μέχρι να την ολοκλήρωση του συνολικού χρόνου που επιλέχτηκε. Το σημαντικό των αριθμών και της διάρκειας των βημάτων είναι, να διαχωρίσει την συνολική διάρκεια της προσομοίωσης σε τόσα σημεία στα οποία να μπορεί το πρόγραμμα να με βάση της αλλαγές που έχουν γίνει να συνεχίσει τον υπολογισμό. Πιο συγκεκριμένα σε περίπτωση που σε ένα χρονικό διάστημα η μεταβολές στο σύστημα είναι μεγαλύτερες από αυτές που το πρόγραμμα μπορεί να υπολογίσει τότε θα εμφανιστούν σφάλματα και θα τερματιστεί η διαδικασία.

Από τα παραπάνω για την διάρκεια της προσομοίωσης και των βημάτων έχουμε:

- Επιλογή αριθμού βημάτων
- Επιλογή συνολικού χρόνου κάθε βήματος
- Επιλογή χρόνου κάθε υπό βήματος
- Επιλογή μεθόδου επίλυσης κάθε βήματος

Τέλος ανάλογα με τις επιλογές που θα γίνουν καθορίζεται, η υπολογισιμότητα, η πολυπλοκότητα και η διάρκεια της διαδικασίας προσομοίωσης.

Με βάση τα παραπάνω και μετά από δοκιμές και επίλυση τυχών σφαλμάτων οι επιλογές των βημάτων που εφαρμόστηκαν αναγράφονται στο Table 4.

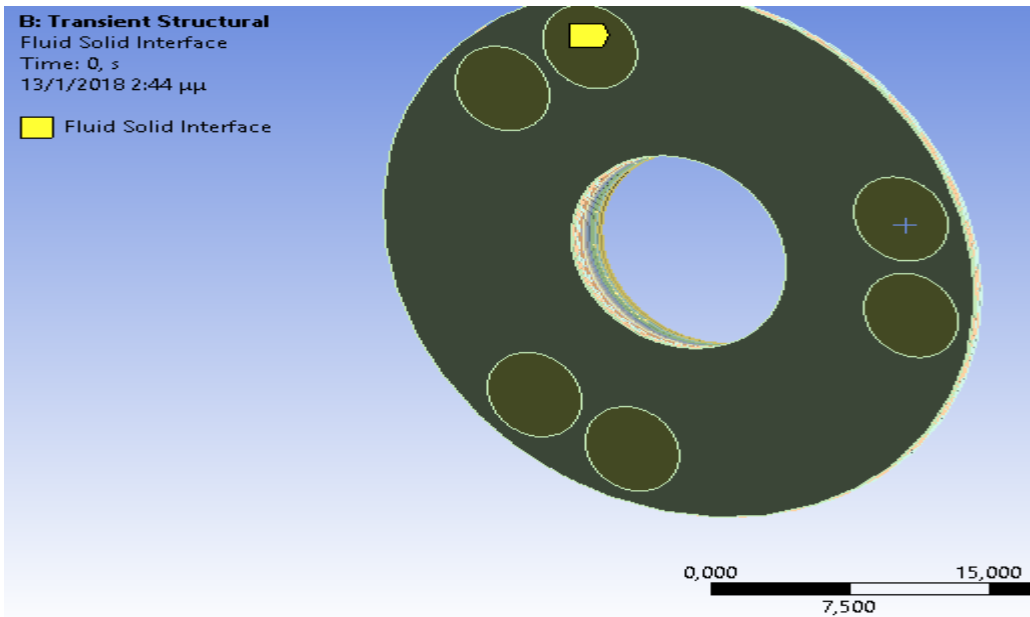
Table 4 Ρυθμίσεις Ανάλυσης (Ansys).

Αρ. Βημάτων	10
Χρόνος Βήματος (s)	0.2
Χρόνος υπό Βήματος(s)	0.1
Μέθοδος	Coupled

7.1.6 ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΣΤΗΡΙΞΕΙΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

Όπως σε κάθε μηχανολογικό σύστημα έτσι και στην προσομοίωση πρέπει να δηλωθούν δυνάμεις στηρίξεις που περιγράφουν το περιβάλλον στο οποίο το σύστημα ενεργή. Στην περίπτωση τη «Transient Structure Analysis» για τις βαλβίδες του αποσβεστήρα έχουμε:

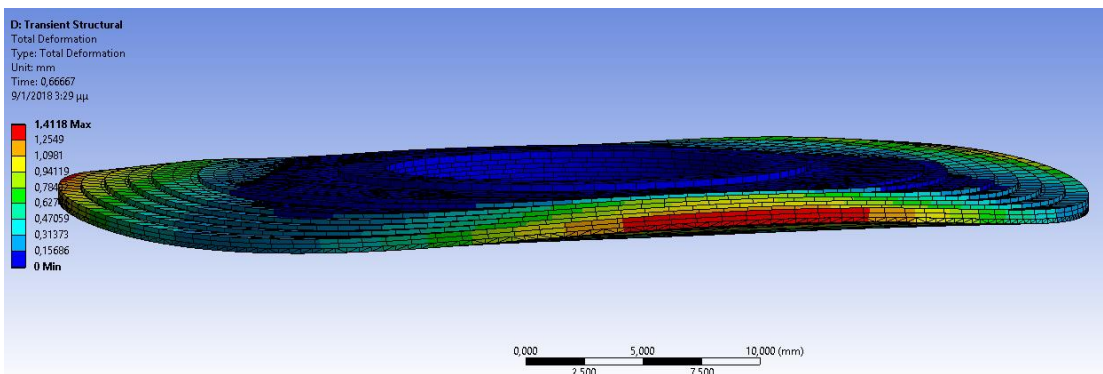
- Στηρίξεις βαλβίδας .
- Πιέσεις βαλβίδας (από το ρευστό) Εικόνα 7-10
- Επαφές εξαρτημάτων κεφάλαιο 7.1.3



Εικόνα 7-10 Επιφάνειες που δρα η πίεση του ρευστού (Ansys).

7.1.7 ΔΗΛΩΣΗ ΜΕΓΕΘΩΝ ΠΡΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

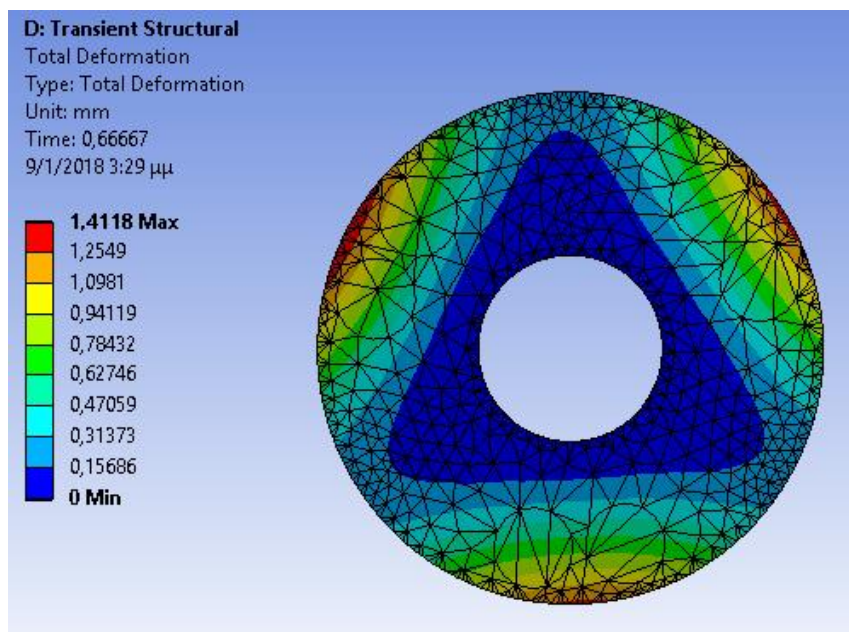
Με το πέρας της προετοιμασίας και ρύθμισης των παραμέτρων το τελευταίο βήμα προτού ξεκινήσει το πρόγραμμα την διαδικασίας της προσομοίωσης, είναι προσδιορισμός των μεγεθών που θα τεθούν για λύση.



Εικόνα 7-11 Total Deformation of Frictionless Valve (Ansys).

Στην συγκεκριμένη εργασία για το σύστημα των βαλβίδων του αποσβεστήρα το κυριότερο μέγεθος που ζητάτε να υπολογιστεί, είναι η μετατόπιση που θα υποστούν οι βαλβίδες κατά την δράση της πίεσης του ρευστού (Εικόνα 7-11, Εικόνα 7-12).

Ωστόσο δηλώθηκε και ο υπολογισμός της τάσης (von-Mises) για την επισκόπηση των βαλβίδων.



Εικόνα 7-12 Total Deformation of Frictionless Valve κάτοψη (χωρίς τριβές)(Ansys).

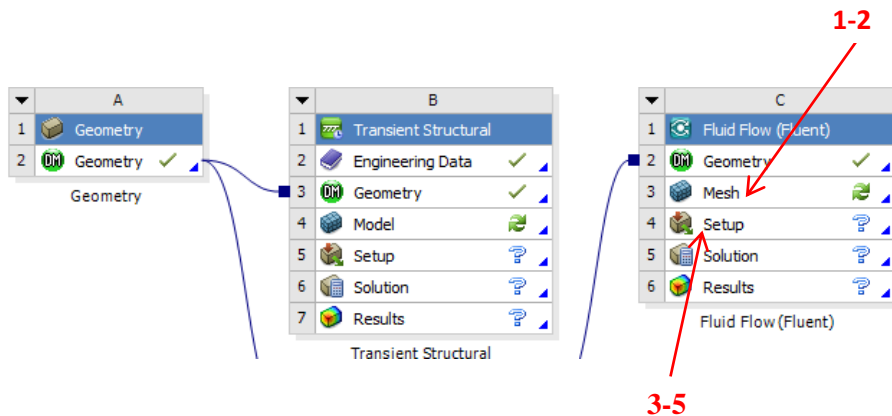
Από εικόνες (Εικόνα 7-11, Εικόνα 7-12) γίνεται μια πρώτη εκτίμηση της συμπεριφοράς της βαλβίδας, με χαμηλής ποιότητας πλέγματος και γραμμικά μεταβλητή πίεση 1MPa. Τα αποτελέσματα ωστόσο στο σημείο αυτό απέχουν από τα επιθυμητά λόγω μεγάλης μετατόπισης και μια καλύτερη παραμετροποίηση των επαφών μεταξύ των ροδελών απαιτείτε.

7.2 CFD ANALYSIS IN ANSYS WORKBENCH

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται όλα τα βήματα για την ρύθμιση και παραμετροποίηση του ρευστού, όπου επρόκειτο, να αλληλεπιδράσει με τα εξαρτήματα του αποσβεστήρα της ανάλυσης «Transient Structure Analysis» στο κεφάλαιο 7.1.

Το κεφάλαιο αυτής είναι ιδιαίτερης σημασίας και κοινού ενδιαφέροντος όσο αναφορά τα προγράμματα προσομοίωσης με πεπερασμένα στοιχεία. Διακρίνεται για την πολυπλοκότητα των μαθηματικών μοντέλων που χρειάζονται για την επίλυση παρόμοιων μη-γραμμικών προβλημάτων με κινητά μέρη και αλληλεπίδραση στερεού με ρευστό.

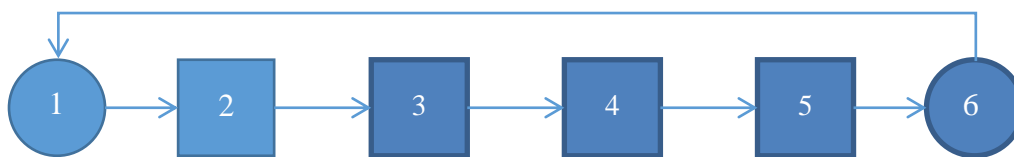
Η διαδικασία για την ανάλυση «CFD» είναι παρόμοια με την ανάλυση «Transient Structure Analysis» με κάποιες σημαντικές διαφορές στο πλέγμα, τις αρχικές συνθήκες και στην μέθοδο παραμετροποίηση, επίλυσης (Εικόνα 7-13).



Εικόνα 7-13 Σχεδιάγραμμα βημάτων στο λογισμικό

Για την ανάλυση «CFD» ακολουθούνται τα εξής βήματα Εικόνα 7-1.

- 1οΒήμα. Πλέγμα «mesh», ονομασία περιοχών και επιφανειών
- 2οΒήμα. Γενικές ρυθμίσεις
- 3οΒήμα. Υλικά
- 4οΒήμα. Παραμετροποίηση πλέγματος και περιοχών
- 5οΒήμα. Διάρκεια προσομοίωσης και μέθοδος επίλυσης



Εικόνα 7-14 Ροή βημάτων ανάλυσης «CFD»

7.2.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Η δημιουργία του πλέγματος είναι ακριβώς η ίδια διαδικασία με το κεφάλαιο 7.1.4. Πρώτα απορρίπτονται οι γεωμετρίες που δεν θα πάρουν μέρος στην ανάλυση «CFD», (για «CFD» ανάλυσης οι γεωμετρίες που εξετάζονται είναι μόνο εκείνες που ορίστηκαν ως ρευστά, κοίτα κεφάλαιο 7.1.1 4^ο βήμα).

Η υλοποίηση του πλέγματος για την περίπτωση «CFD Analysis» εξαρτάτε από την παραμετροποίηση που επρόκειτο να δεχτεί η γεωμετρία και το πλέγμα. Ο οδηγός του προγράμματος αναφέρει αναλυτικά για κάθε περίπτωση το είδος πλέγματος που χρειάζεται να φτιαχτεί. Περισσότερα για το πλέγμα στο Παράρτημα 10.2.2

Για τις περιοχές αλληλεπίδρασης με Transient Structural Analysis χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιοι τύποι στοιχείων ώστε το πρόγραμμα να μπορέσει να κάνει καλύτερη αντιστοίχιση. Για το υπόλοιπο της γεωμετρίας επιλέχτηκε το βασικό.

Οι ρυθμίσεις για την δημιουργία του πλέγματος αναφέρονται συνοπτικά στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1 Ρυθμίσεων πλέγματος.

a/a	Περιοχή A
Συν. Αρ. Στοιχείων	<ul style="list-style-type: none"> • 12000 Tetrahedrals • 1000 Pyramids • 10000 Prisms
Συν. Αρ. Κόμβων	60000 nodes

Μετά την δημιουργία του πλέγματος ένα όχι και τόσο σημαντικό βήμα, αλλά βοηθητικό για το χρήστη και το πρόγραμμα, είναι η ονομασία των επιφανειών και των περιοχών. Με την ονομασία, το πρόγραμμα αναγνωρίζει αυτόματα τις παραμέτρους που επιθυμάτε να δηλωθούν σε κάθε γεωμετρία και ο χρήστης μπορεί ευκολότερα τις διακρίνει.

Για την συγκεκριμένη εργασία βασικές γεωμετρίες που θα πρέπει να ονομαστούν είναι οι εξής:

- Τα όρια από το εξωτερικό περιβάλλον του συστήματος βαλβίδες-ρευστό.
- Οι επιφάνειες που θα αλληλεπιδράσουν με το στερεό (βαλβίδες)
- Οι επιφάνειες και οι περιοχές που θα παραμορφωθούν λόγω αλληλεπίδρασης με το στερεό.
- Οι επιφάνειες και οι περιοχές που ενδέχεται να μετατοπιστούν.

7.2.2 ΓΕΝΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ

Στο σημείο αυτό πλέων βρισκόμαστε στην πλατφόρμα όπου θα δοθούν όλοι απαιτούμενη παράμετροι που θέλουμε το σύστημα μας να περιλαμβάνει.

Η διαδικασία είναι στην λογική με την Transient.

Στις γενικές ρυθμίσεις δηλώνονται τα εξής:

- Τα μαθηματικά μοντέλα.
- Σε ποιες από τις ιδιότητες του ρευστού η προσομοίωση θα βασιστεί.
- Το είδος της προσομοίωσης ως προς τον χρόνο.

Για την συγκεκριμένη περίπτωση έγιναν οι εξής επιλογές.

- Type: Pressure-Based.
- Velocity Formulation: Absolute.

- Time: Transient
- Units: Kinetic -Viscosity.

7.2.3 ΜΕΘΟΔΟΣ

Σε αυτό το σημείο σου δίνεται η δυνατότητα να επιλέξεις μεταξύ διάφορων μοντέλων ώστε να περιορίσεις τις παραμέτρους και να απλοποιήσεις το σύστημα στα επιθυμητά αποτελέσματα.

Για το συγκεκριμένο σύστημα επιλέχτηκε, Species model στο οποίο προϋδεάζεις το πρόγραμμα για τον είδος της προσομοίωσης.

7.2.4 ΔΗΛΩΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΑΥΤΩΝ

Στο σημείο αυτό επιλέγονται τα υλικά που θα αντιπροσωπεύουν το ρευστό.

Οι πρώτες προσπάθειες προσομοιώσεις έγιναν για νερό καθώς ήταν πιο εύκολοι οι υπολογισμοί.

Κάνοντας μία μικρή παρένθεση το λάδι που χρησιμοποιείτε διαφέρει από κατασκευαστή και είναι ανάλογο με τα πρότυπα που ακολουθεί ο καθένας. Περισσότερα στο Παράρτημα B11.

Για το κύριο σύστημα το υλικό που επιλέχτηκε είναι Λάδι:

- Ιξώδους 5 cSt, 15 cSt στους 100 C και 40 C αντίστοιχα.

7.2.5 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΚΑΙ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Κατά την παραμετροποίηση του συστήματος οι επιλογές με το σημαντικότερο βάρος βρίσκονται σε αυτό το σημείο.

Αρχικά δηλώνονται το είδος του υλικού στο περίγραμμα του τις δυνάμεις. Για το συγκεκριμένο σύστημα δεν μας αφορά αυτό το σημείο γιατί η αλληλεπίδραση θα γίνει στο εσωτερικό του θαλάμου.

Στην συνέχεια δηλώνονται τα χαρακτηριστικά των επιφανειών. Δηλώνονται όλες οι επιφάνειες που πρόκρινε να πάρουν μέρος στην προσημείωση.

Για το συγκεκριμένο σύστημα έχουμε:

1. Δήλωση των περιοχών που περνάει ρευστό.
 - a. Είσοδος ρευστού 20 m/s
 - b. Έξοδος ρευστού στα 0 Pa καθώς θέλουμε το ρευστό να φεύγει ελεύθερα από τον θάλαμο.
2. Δήλωση της επιφάνειας η οποία θα αλληλεπίδραση με την βαλβίδα του αποσβεστήρα.

Μετά την δήλωση των βασικών στοιχείων των επιφανειών πρέπει να δοθούν οι ιδιότητες στο πλέγμα (mesh) Dynamic Mesh.

Για την κάθε περιοχή με βάση τον οδηγό του προγράμματος του Παραρτήματος 10.2, το πρόγραμμα με βάση τις ονομασίες που του δίνουμε για τις επιφάνειες (7.2.1) καταλαβαίνει τι θα χρειαστούμε και απλοποιεί την ακόλουθη διαδικασία παραμετροποίησης του συστήματος.

Εδώ δηλώνονται τα όρια του συστήματος, οι επιφάνειες προβολής των αποτελεσμάτων, οι επιφάνειες προς μετατόπιση, το είδος μετατόπισης, η επιφάνειες και οι περιοχές που θα παραμορφωθούν και τέλος το είδος του καινούργιου πλέγματος που προβλέπεται να δημιουργηθεί κατά την διαδικασία της προσομοίωσης.

Για το συγκεκριμένο σύστημα επιλέχθηκαν:

1. Η έξοδος, η είσοδος και τα όρια του θαλάμου ως τοίχος (wall), καθώς είναι δεν είναι του ενδιαφέροντός μας σε αυτό το σύστημα.
2. Η επιφάνεια αλληλεπίδρασης με το ρευστό δηλώθηκε με το όνομα της προσομοίωσης (System Coupling)
 - a. Mesh method: Smoothing and Remeshing (Local Cell). Με την αλληλεπίδραση θα δημιουργηθούν καινούργιες επιφάνειες και μετατοπίσεις όπου θα πρέπει το πρόγραμμα να υπολογίζει και να αναθεωρεί.
3. Οι επιφάνειες που θα παραμορφωθούν δηλώθηκαν ως Deforming.
 - a. Παρόμοιος με την επιφάνεια αλληλεπιδράσεις λόγω του ότι θα πρέπει να υποστούν και αυτές αλλαγές λόγω της παραμορφώσεως και μετατόπισης της επιφάνειας αλληλεπίδρασης.
4. Οι περιοχές που θα παραμορφωθούν δηλώνονται ως Deforming.
 - a. Ο λόγος είναι παρόμοιος με τον προηγούμενο (3 α).

Εκτός από το είδος και remeshing πρέπει να δηλωθούν οι γεωμετρίες των περιοχών που είναι να παραμορφωθούν και ως πια κατεύθυνση. Ακόμα σημαντικό κομμάτι είναι και παραμετροποίηση των καινούριων πεπερασμένων στοιχείων που επιθυμούμε να προστεθούν κατά το remeshing.

7.2.6 ΔΗΛΩΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Το τελευταίο βήμα για την ρύθμιση των παραμέτρων προσομοίωσης στο πρόγραμμα Ansys ονομάζεται Solution.

Στο σημείο αυτό ρυθμίζονται τα εξής:

1. Η μέθοδος επίλυσης.
2. Solution controls.
3. Ποια από τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν αρχικά
4. Προσδιορισμός αρχικής κατάστασης.
5. Το βήμα αποθήκευσης αποτελεσμάτων.
6. Run Calculation.

Στη μέθοδο επίλυσης δηλώνεται το είδος της προσομοίωσης ως το αν θα αλληλεπίδραση με άλλα προγράμματα.

Για solution controls έχουμε τα όρια που προβλέπουμε να έχει το σύστημα μας. Παραδείγματος χάρη την μέγιστη και ελάχιστη πίεση. Έτσι το πρόγραμμα θα σταματήσει την προσημείωση σε περίπτωση που τα αποτελέσματα ξεφύγουν από τα προβλεπόμενα. Πολύ σημαντικό ιδιαίτερα στα αρχικά βήματα εξοικονομώντας χρόνο και δίνοντας καλύτερη κατανόηση του προβλήματος και των παραμέτρων προς βελτιστοποίηση.

Κατά την παρουσίαση αποτελεσμάτων απλώς δηλώνεις τα αποτελέσματα που θέλεις να σου παρουσιάζει κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Έτσι μπορείς να παρακολουθήσεις την διαδικασία και να την σταματήσεις σε περίπτωση που τα αποτελέσματα απέχουν από τα επιθυμητά. Μειώνοντας πάλι το χρόνο κατά την βελτιστοποίηση της προσομοίωσης.

Στο επόμενο βήμα προσδιορίζονται οι αρχικές καταστάσεις της προσομοίωσης σε περίπτωση που θέλουμε να επιταχύνουμε την διαδικασία είτε σε περίπτωση που θέλουμε να δώσουμε έμφαση σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Με την ρύθμιση αποθήκευσης αποτελεσμάτων δηλώνουμε στο πρόγραμμα εάν θέλουμε ρεαλιστική απεικόνιση αποτελεσμάτων και την ποιότητα αυτών.

Τέλος στην καρτέλα Run Calculation δηλώνεται ο χρόνος της προσομοίωσης το πλήθος των βημάτων και ο χρόνος κάθε βήματος. Πρόσθετα η τιμές κάθε προαναφερθέν παραμέτρων πρέπει να αντιστοιχούν με τις ρυθμίσεις που έγιναν στην Transient Structure Analysis.

Για την συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκαν τα εξής (Table 5):

Table 5 Ρυθμίσεις Αποτελεσμάτων

SOLUTIONS	
SOLUTION METHOD	<ul style="list-style-type: none"> • Scheme : Coupled • All others standard
SOLUTION CONTROLS	<ul style="list-style-type: none"> • Standard
MONITORS	<ul style="list-style-type: none"> • Surface Monitors : Mass flow rates vs. Interaction for deforming surfaces
SOLUTION INITIALIZATION	<ul style="list-style-type: none"> • Standard Initialization • Reference Frame : Cell Zone • Initial Values standard
CALCULATION ACTIVITIES	<ul style="list-style-type: none"> • Autosave Every (Time Steps): 2
RUN CALCULATION	<ul style="list-style-type: none"> • Time Stepping Method :fixed • Time Step Size (0.2s): • Number of Time Steps: 10 • Max iterations/Time Step: 0.1(s)

7.3 SYSTEM COUPLING ANALYSIS IN ANSYS WORKBENCH

System Coupling είναι ένας από τους τρεις τρόπους στο πρόγραμμα του Ansys Workbench στο οποίο δίνεται η δυνατότητα αλληλεπίδρασης ρευστών με κατασκευές.

Πιο συγκεκριμένα στο System Coupling έχουμε 1 way interactions όπου το πρόγραμμα παίρνει τις παραμέτρους από τις αλλαγές του ρευστού ή της κατασκευής και τις μεταφέρει σε μια ένα από τα δυο συστήματα.

Υπάρχει και το 2 way interactions όπου συνεχόμενα το πρόγραμμα αλληλεπιδρά και με το ρευστό και την κατασκευή.

Ένας άλλος τρόπος για FSI προβλήματα είναι και η χρήση του Fluid Flow (CFX) όπου απλά μεταφέρεις μία κατασκευή στο CFX και κλείνεις το σύστημα χωρίς να

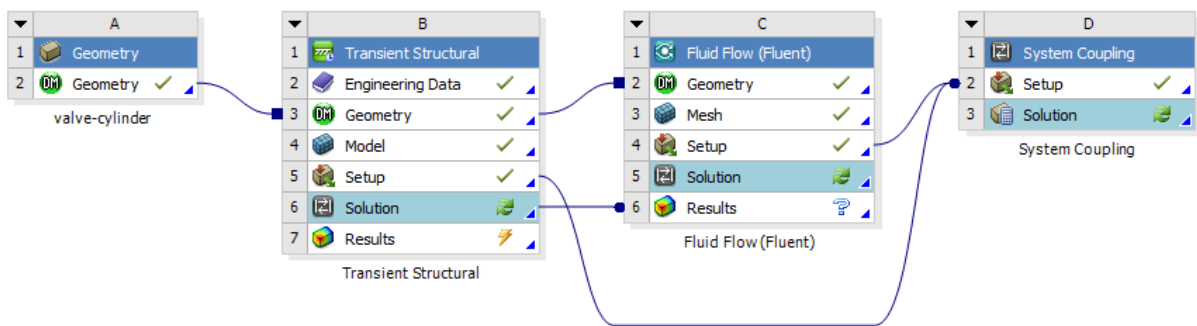
μεσολαβήσει κάποιο άλλο πρόγραμμα ‘όπως θα δούμε πιο κάτω πως δουλεύει το System Coupling. Παρόλα αυτά το CFX χρησιμοποιείτε σε περιπτώσεις που μελετάμε και δίνουμε έμφαση στα ρευστά.

Για το συγκεκριμένο πρόβλημα της πτυχιακής εργασίας επιλέχτηκε 2-way System Coupling.

7.3.1 2-WAY SYSTEM COUPLING

Όπως προαναφέρθηκε 2-way System Coupling έχουμε θέλουμε αλληλεπίδραση μεταξύ κατασκευής και ρευστών. Κατά των οδηγό του Ansys [23] για πιο ασφαλές αποτελέσματα προτείνεται να φτάσεις σε 2-way interaction αφού πρώτα ρυθμίσεις δυο προσομοιώσεις 1-way interactions για το ρευστό και την κατασκευή αντίστοιχα.

Η εφαρμογή του System Coupling αφού έχουν φτιαχτεί μια Structure και μια Fluent προσομοίωση είναι μια πολύ απλή διαδικασίας με λίγα βήματα. Όπως φαίνεται από την Εικόνα 7-15 είναι η διάταξη και η ένωση δύο προσομοιώσεων.



Εικόνα 7-15 FSI Σχεδιάγραμμα

Πιο αναλυτικά έχουμε:

- Μια κοινή Γεωμετρία.
- Ένα σύστημα Transient Structural
- Ένα σύστημα Fluid Flow (Fluent)
- System Coupling

Τα βήματα είναι απλά όπως φαίνονται. Συνδέουμε τις λύσεις που θα βγουν από Transient Structural Analysis στα αποτελέσματα της Fluid Flow Analysis ώστε να έχουμε οπτική παρουσίαση όλων των αποτελεσμάτων. Τέλος συνδέουμε τις ρυθμίσεις κάθε προσομοίωσης στο System Coupling από όπου θα πραγματοποιηθεί η προσημείωση.

7.3.1.1 ΡΥΘΜΙΣΗ SYSTEM COUPLING

Για την ρύθμιση του System Coupling 2-way interaction έχουμε τα εξής:

- Analysis Setting
- Data transfer
- Intermediate Restart Data Output

Γενικά δηλώνονται ο χρόνος της ανάλυσης η επιφάνειες που θα αλληλεπιδράσουν και ο χρόνος παρουσίασης αποτελεσμάτων.

Για τον χρόνο θα πρέπει να είναι ίσος η μικρότερος από τον χρόνο που δηλώθηκε στην Transient Structural και Fluid Flow Analysis.

Οι επιφάνειες αλληλεπίδρασης είναι πολύ σημαντικό να είναι αυτές που επιλέχτηκαν από την κάθε ανάλυση.

Πιο συγκεκριμένα για το πρόβλημα της πτυχιακής εργασίας επιλέχτηκαν τα εξής (Table 6).

Table 6 Ρυθμίσεις Πλατφόρμας System Coupling

A/A	ΚΑΡΤΕΛΑ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ
1	Analysis Setting	Analysis Type	Transient
		Initialization Controls	Program Controlled
		Duration Defined by	End Time
		End Time	10
		Step Size (s)	0.5
		Minimum Iterations	1
		Maximum Iterations	10
2	Data Transfer	Data Transfer 1	Incremental Displacement
		Data Transfer 2	Force
3	Intermediate Restart Data Output	Output Frequency	At Step Interval
		Step Interval	10

Αφού το πρόγραμμα ρυθμιστεί και είναι έτοιμο εκτέλεση το τελευταίο σημείο που θέλει προσοχή είναι το πόσο καλή αντιστοίχιση θα γίνει στις επιθυμητές επιφάνειες της προσομοίωσης (Εικόνα 7-16).

MAPPING SUMMARY		
Data Transfer Diagnostic	Source Side	Target Side
Data Transfer 2 Percent Nodes Mapped	0	0
Percent Area Mapped	0	0
Data Transfer Percent Nodes Mapped	N/A	15

COUPLING STEP = 1	SIMULATION TIME = 1.00000e+000
Solver Data Transfer Diagnostics	Solution Status Source Side Target Side

Εικόνα 7-16 Surface Mapping

Το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι να αντιστοιχηθούν το 100% και από τις δυο επιφάνειες.

8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μετά το πέρας της εργασίας λόγω έλλειψης υπολογιστικής δύναμης το πρόβλημα ήταν αδύνατον λυθεί στα χρονικά όρια μιας πτυχιακής εργασίας. Με αποτέλεσμα τα όποια αποτελέσματα προέκυψαν από την προσομοίωση να μην είναι σε ένα αξιοπρεπές στάδιο προς συζήτηση.

Παρόλα αυτά θα γίνει μια ανάλυση αποτελεσμάτων άλλων ερευνών ώστε να μπουν όρια και να προσδιοριστούν τα είδη αποτελεσμάτων ώστε μια περαιτέρω έρευνα να μπορεί να καθοδηγήσει τα αποτελέσματα της προς το σωστό δρόμο.

8.1 SEGEL AND H. H.

Η έρευνα του Segel and H. H. με τίτλο *The Mechanics of Automotive Hydraulic Dampers at High Stroking Frequencies* [10] είναι μια από τις πιο αξιοσημείωτες. Δημιουργώντας μια προσημείωση υδραυλικού αποσβεστήρα αλλά με την υπόθεση πως ο γενικός συντελεστής απόσβεσης του αποσβεστήρα να είναι σταθερός. Τα αποτελέσματα σε σύγκριση με πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν πως θεωρώντας τον συντελεστή σταθερό κατά όλη την διάρκεια μιας κίνησης προσέγγιζαν σε ένα αξιοπρεπές σημείο τα πραγματικά αποτελέσματα (Figure 1)

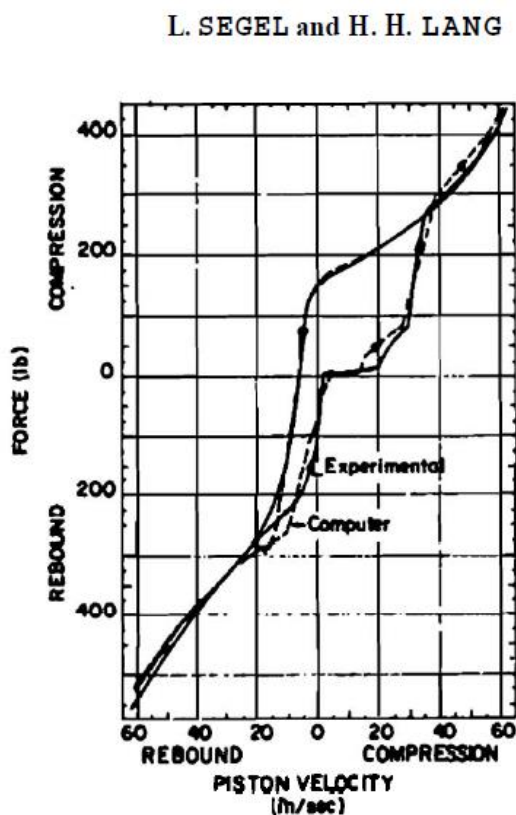


Figure 1 Predicted and measured piston force versus piston velocity; stroke amplitude: 1 in; stroke frequency: 10 Hz.[10]

8.2 F. G. GUZZOMI P. L. O'NEIL AND A.C.R. TAVNER

Μετά από την αναζήτηση παρόμοιων εργασιών με την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία η πλησιέστερη ήταν αυτή των F. G. Guzzomi P. L. O'Neil and A.C.R. Tavner[26] με τίτλο “*Investigation of Damper Valve Dynamics Using Parametric Numerical Methods*”. Η σημαντική διαφορά είναι στο ότι στο μοντέλο που αυτοί επιβλέψανε να μελετήσουν έχει ελατήριο για την στήριξη των ροδελών της βαλβίδας του εμβόλου του αποσβεστήρα. Όλη η υπόλοιπη διαδικασία ακολουθεί ακριβώς τα ίδια βήματα με την συγκεκριμένη εργασία.

Έχοντας αυτό σαν γνώμονα αποφάσισα να παρουσιάσω τα αποτελέσματα και συμπεράσματα τους καθώς στην εργασία τους κατάφεραν να παραμετροποιήσουν το σύστημα και να βγάλουν τα επιθυμητά αποτελέσματα αυτής της εργασίας με πολύ μικρό ποσοστό σφαλμάτων της τάξεως των 4% των σφαλμάτων που πρόέκυψαν.

8.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ F. G. GUZZOMI

Το λογικό διάγραμμα (Figure 1) παρουσιάζει τα βήματα που ακόλουθη το System Coupling για την διεκπεραίωση της προσομοίωσης

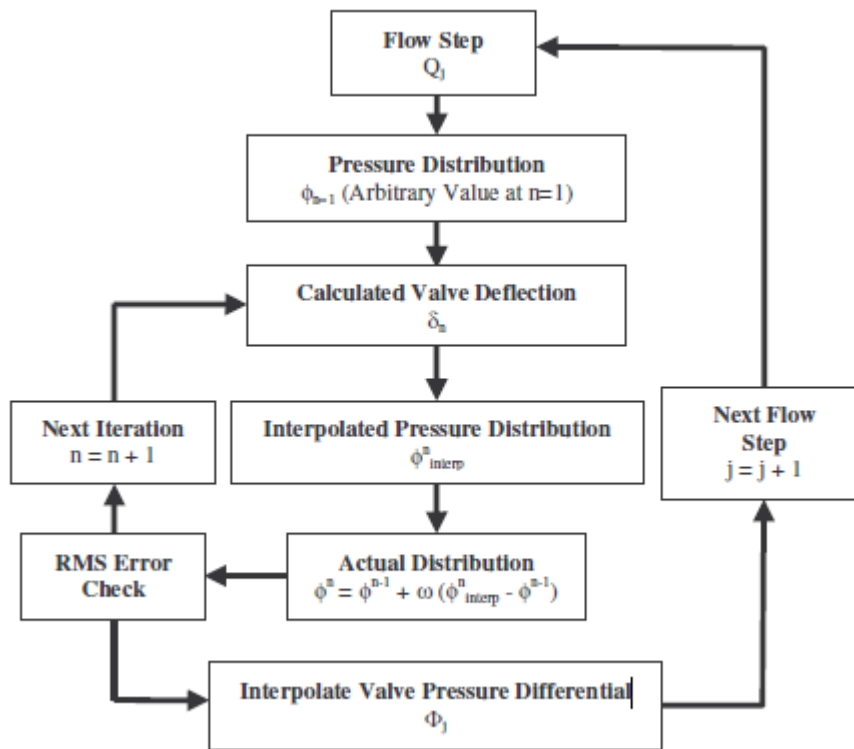
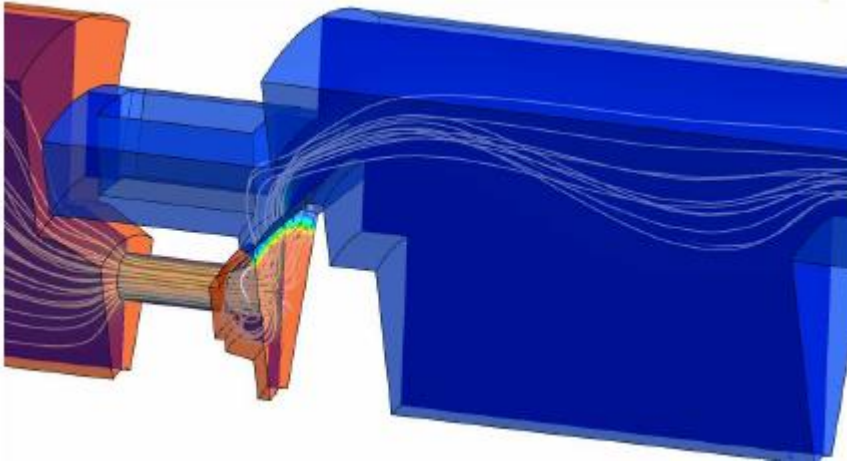


Figure 2 Λογικό διάγραμμα System Coupling [26]

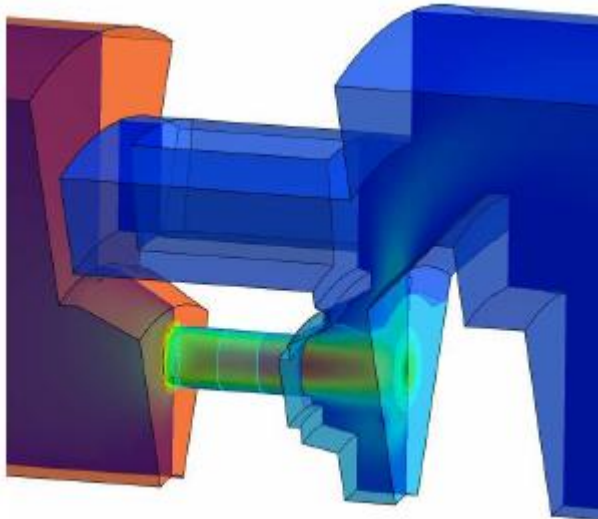
Για το ολοκληρωμένο μοντέλο της έρευνας [24] χρειάστηκαν 20 λεπτά για 120 δοκιμές δηλαδή 40 ώρες για να μπορέσουν να φτάσουν στα επιθυμητά αποτελέσματα.

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν και είναι του ενδιαφέροντος αυτής της εργασίας είναι:

- Η τρισδιάστατη παρουσίαση της ροής (Εικόνα 8-1) και της διαφορικής πίεσης μεταξύ της βαλβίδας (Εικόνα 8-2).



Εικόνα 8-1 3D Flow Visualization[26]



Εικόνα 8-2 3D Differential Pressure[26]

- Το διάγραμμα (Figure 3) που παρουσιάζει το ποσοστό της που περνάει από την βαλβίδα του εμβόλου του αποσβεστήρα σε σχέση με την μετατόπιση (παραμόρφωση) των ροδελών της βαλβίδας.

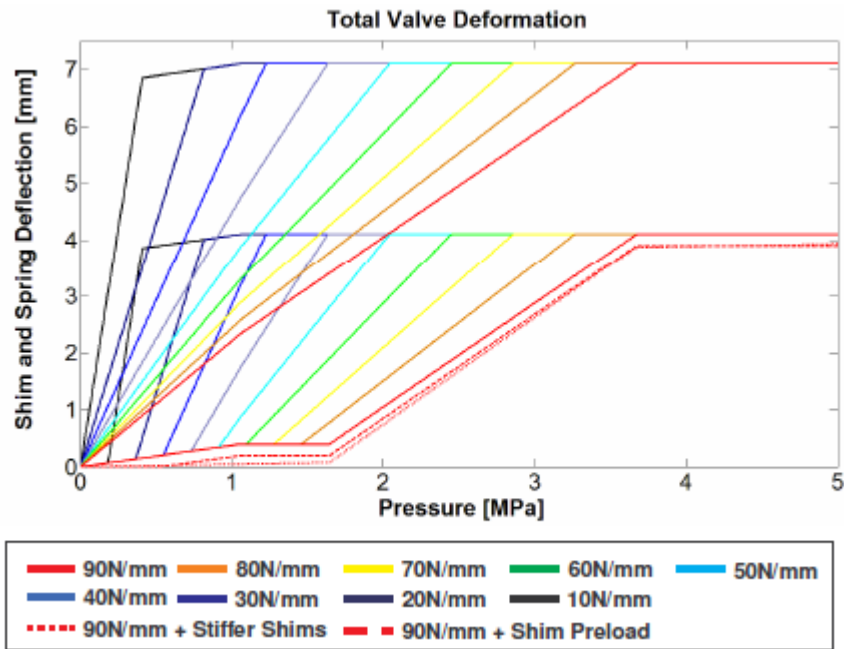


Figure 3 Διάγραμμα shim deflection (mm)/Pressure (MPa)[26].

Τα αποτελέσματα φαίνονται γραμμικά καθώς η παραμόρφωση του ελατήριου και των ροδελών είχε δηλωθεί για να ακολουθεί γραμμική παραμόρφωση για την εξοικονόμηση χρόνου και πολυπλοκότητας υπολογισμών από το πρόγραμμα προσομοίωσης.

9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

9.1 I SEGEL AND H. H.

Τα συμπεράσματα αυτής της έρευνας είναι:

- Στα σημεία ενός κύκλου απόσβεσης όπου η πτώση πίεσης πέφτει στην πίεση βρασμού και ξανά επανέρχεται η πίεση ανεβαίνει σημαντικά .[10].
- Η αργοπορία αύξησης της πίεσης σε κάθε κύκλο απόσβεσης συμβαίνει λόγω της δημιουργίας του φαινομένου σπηλαίωσης του ρευστού. .[10]
- Όλες οι υστερήσεις σε ένα κύκλο απόσβεσης δημιουργούνται και πάλι λόγω του φαινομένου σπηλαίωσης στο ρευστό. .[10]

9.2 F. G. GUZZONI P. L. O'NEIL AND A.C.R. TAVNER

Τα συμπεράσματα από την έρευνα τους είναι:

- Είναι δυνατή η παρουσίαση σε τρισδιάστατη παρουσίαση η λειτουργία ενός υδραυλικού αποσβεστήρα χρησιμοποιώντας μόνο τους απαραίτητους παραμέτρους.[26]
- Με την ένωση πεπερασμένων στοιχείων και μαθηματικών μοντέλων πέτυχαν μια καλή παρουσίαση ενός υδραυλικού αποσβεστήρα και γρήγορη[26]
- Με την αύξηση της προφόρτισης του ελατηρίου της βαλβίδας η διαφορική πίεση επηρεάστηκε σε όλο το μήκος του κύκλου απόσβεσης [26]
- Όσο αυξάνεται η παραμόρφωση της βαλβίδας και μεγαλώνει η οπή του εμβόλου αντίστοιχα η ροή του ρευστού αυξάνεται μαζί όμως και διαφορική πίεση μεταξύ της βαλβίδας [26]

9.3 ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Με την πρόοδο της πτυχιακής εργασίας παρατηρηθήκαν διαφορά αξιοσημείωτα σημεία προς περαιτέρω έρευνα και μελέτη.

- Να γίνει περαιτέρω μελέτη για την μετατόπιση των Shim Valve μεταβαλλόμενων αναρτήσεων. Καθώς έως τώρα δεν υπάρχει κάτι αξιοσημείωτο στο κομμάτι αυτό. Ο λόγος που είναι ότι η εφαρμογή αυτών των αναρτήσεων γίνεται κατά κύριο λόγο σε αγωνιστικού τύπου αναρτήσεων. Όπου σε αυτών τον κλάδο η βελτιστοποίηση των αναρτήσεων δεν γίνεται με μαθηματικά μοντέλα αλλά με εμπορικούς τρόπους βασιζόμενοι στα αποτελέσματα των μηχανημάτων αξιολόγησης αναρτήσεων Παράρτημα 11.2. Όπως αναφέρετε στο Κεφάλαιο 4 με βάση το βιβλίο του Dixon (Shock absorber handbook)
- Μελέτη του φαινομένου σπηλαιώσης που δημιουργείτε στο εσωτερικό των αναρτήσεων λόγω δημιουργίας μεγάλης υποπίεσης στους θαλάμους του ρευστού.
- Μελέτη στην δημιουργία πλέγματος σε διάφορες γεωμετρίες για την εκπόνηση 2D και 3D προσομοιώσεων ιδιαίτερα στα προβλήματα FSI (Fluid and Structure Interaction) που το είδος του πλέγματος παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο.
- Στον τομέα των ρευστών που είναι κατάλληλα για χρήση στους αποσβεστήρες. Καθώς με τους ηλεκτρομαγνητικούς αποσβεστήρες το είδος του ρευστού είναι πολύ σημαντικός παράγοντας.
- Προσομοίωση ηλεκτρομαγνητικών ER αποσβεστήρων.
- Προσομοίωση Magnetorheological MR αποσβεστήρων
- Μελέτη προς την γεωμετρία και την τοποθέτηση των αποσβεστήρων.
- Μελέτη συστημάτων μεταβαλλόμενων υδραυλικών αποσβεστήρων.
- Έρευνα πάνω στο γεωμετρία στήριξης των Shim Valves αποσβεστήρων και τα επίπεδα των ροδελών του τύπου αυτού ως προς το είδος και την αντοχή.
- Έρευνα και μελέτη του ποσοστού συνεισφοράς στην απόσβεση των παρεμφερές εξαρτημάτων του συστήματος(ελαστικά, σημείων στήριξης)
- Οφέλη και μειονεκτήματα του είδους των ρευστών που χρησιμοποιούνται στα ελαστικά.
- Τρόπους και μεθόδους πειραματικού έλεγχου ποιότητας ενός υδραυλικού αποσβεστήρα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ‘Leaf spring’, *Wikipedia*. 17-Δεκεμβρίου-2017.
- [2] ‘The Shock Absorber Handbook.pdf’. .
- [3] J. C. Dixon, *The Shock Absorber Handbook*, Second edition., τ. second edition. .
- [4] ‘Armstrong’s Patents Co - Graces Guide’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: https://www.gracesguide.co.uk/Armstrong%27s_Patents_Co. [Ημερομηνία πρόσβασης: 22-Δεκεμβρίου-2017].
- [5] ‘The Shock Absorber Handbook.pdf’. .
- [6] ‘The Shock Absorber Handbook - John C. Dixon - Βιβλία Google’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=0RDTBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=shock+absorber+handbook&ots=YJf5xX5sH5&sig=TBYCH2TLhcGubyTk6jgTv0udBLg&redir_esc=y#v=onepage&q=shock%20absorber%20handbook&f=false. [Ημερομηνία πρόσβασης: 04-Ιανουαρίου-2018].
- [7] ‘Off-Road Shock Tuning Guide | How To Tune and Valve Off-Road Racing Shocks’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: http://www.crawlpedia.com/shock_tuning.htm. [Ημερομηνία πρόσβασης: 04-Ιανουαρίου-2018].
- [8] ‘00423118108968640.pdf’. .
- [9] ‘Im19491007Autocar-ArmPatCo.jpg (760×1126)’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.gracesguide.co.uk/images/d/d3/Im19491007Autocar-ArmPatCo.jpg>. [Ημερομηνία πρόσβασης: 22-Δεκεμβρίου-2017].
- [10] L. SEGEL και H. H. LANG, ‘The Mechanics of Automotive Hydraulic Dampers at High Stroking Frequencies’, *Veh. Syst. Dyn.*, τ. 10, τχ. 2–3, σσ 82–85, Σεπτεμβρίου 1981.
- [11] S. DUYM, R. STIENS, και K. REYBROUCK, ‘Evaluation of Shock Absorber Models’, *Veh. Syst. Dyn.*, τ. 27, τχ. 2, σσ 109–127, Φεβρουαρίου 1997.
- [12] C. Surace, K. Worden, και G. R. Tomlinson, ‘An improved nonlinear model for an automotive shock absorber’, *Nonlinear Dyn.*, τ. 3, τχ. 6, σσ 413–429, Δεκεμβρίου 1992.
- [13] J. Wallaschek, ‘Dynamics of non-linear automobile shock-absorbers’, *Int. J. Non-Linear Mech.*, τ. 25, τχ. 2, σσ 299–308, Ιανουαρίου 1990.
- [14] A. Fereidoon, Y. Rostamiyan, M. Akbarzade, και D. D. Ganji, ‘Application of He’s homotopy perturbation method to nonlinear shock damper dynamics’, *Arch. Appl. Mech.*, τ. 80, τχ. 6, σσ 641–649, Ιουνίου 2010.
- [15] ‘Top 35 3D printing software programs: 3D modeling & 3D slicing software tools’, *3ders.org*. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <http://www.3ders.org/articles/20161020-top-35-best-3d-printing-software-programs-3d-modeling-3d-slicing-software-tools.html>. [Ημερομηνία πρόσβασης: 22-Δεκεμβρίου-2017].
- [16] ‘KTM.SparePartsFinderFrontend’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <http://sparepartsfinder.ktm.com/ComponentGroupTemplate/Index/8923?modelidentifier=1000146915&isEngine=False>. [Ημερομηνία πρόσβασης: 30-Δεκεμβρίου-2017].

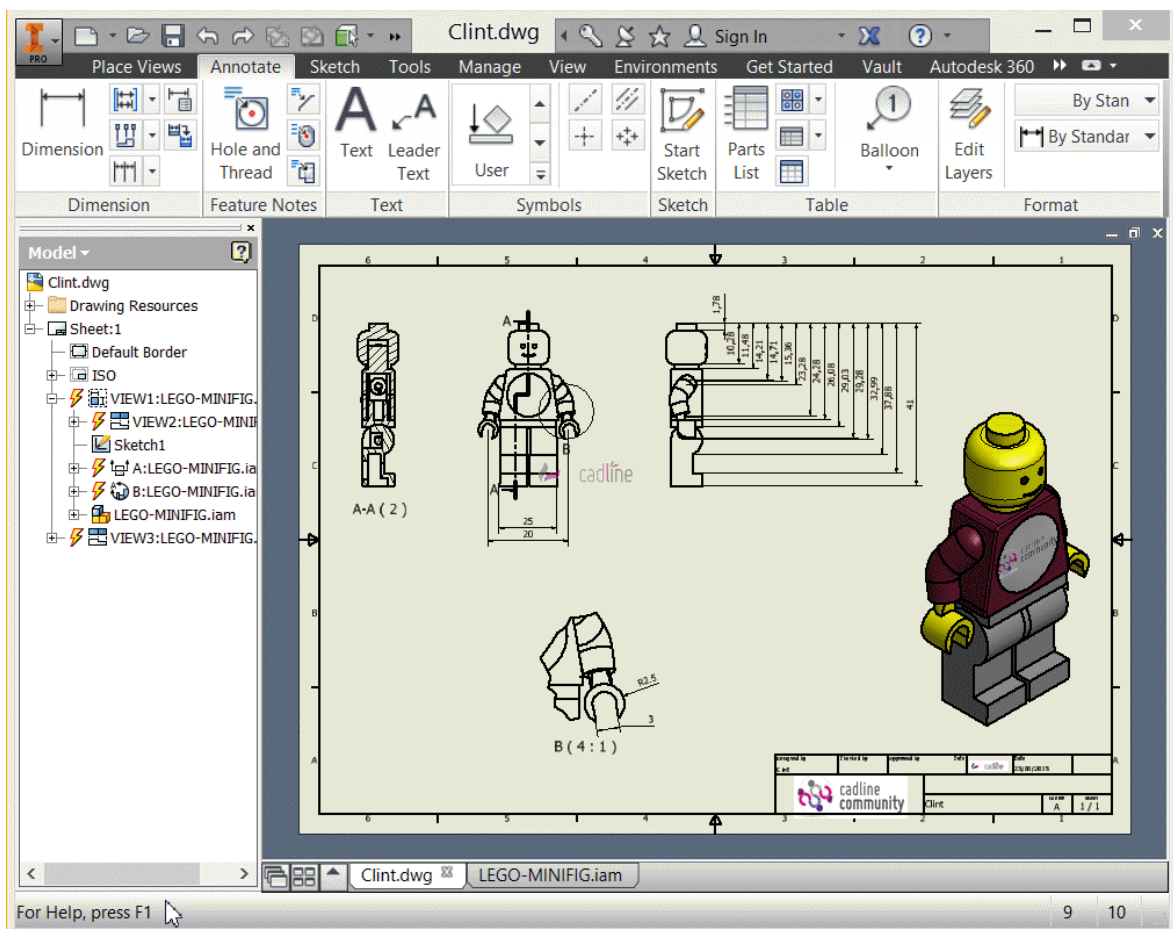
- [17] ‘Student Products - Free Simulation Software | ANSYS’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <http://www.ansys.com/academic/free-student-products>. [Ημερομηνία πρόσβασης: 07-Ιανουαρίου-2018].
- [18] T. E. Tezduyar, ‘Finite element methods for flow problems with moving boundaries and interfaces’, *Arch. Comput. Methods Eng.*, τ. 8, τχ. 2, σ 83, Ιουνίου 2001.
- [19] ‘Fluid-Structure Interaction (FSI)’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/17.0/en-us/help/wb_sim/ds_fluid_structure_interaction_lead_in.html. [Ημερομηνία πρόσβασης: 07-Ιανουαρίου-2018].
- [20] J. De Hart, G. W. M. Peters, P. J. G. Schreurs, και F. P. T. Baaijens, ‘A three-dimensional computational analysis of fluid–structure interaction in the aortic valve’, *J. Biomech.*, τ. 36, τχ. 1, σσ 103–112, Ιανουαρίου 2003.
- [21] ‘Transient Structural Analysis’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/17.0/en-us/help/wb_sim/ds_transient_mechanical_analysis_type.html. [Ημερομηνία πρόσβασης: 07-Ιανουαρίου-2018].
- [22] ‘Fluent Documentation’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/ai_sinfo/flu_intro.html. [Ημερομηνία πρόσβασης: 07-Ιανουαρίου-2018].
- [23] ‘System Coupling’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/17.0/en-us/help/wb_sim/ds_systemcoup.html. [Ημερομηνία πρόσβασης: 07-Ιανουαρίου-2018].
- [24] ‘AISI 1095 Carbon Steel (UNS G10950)’, *AZoM.com*, 27-Αυγούστου-2012. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6561>. [Ημερομηνία πρόσβασης: 29-Μαΐου-2018].
- [25] ‘trivologia_shm_paradeisiadh.pdf’.
- [26] F. G. Guzzomi, P. L. O’Neill, και A. C. R. Tavner, ‘Investigation of Damper Valve Dynamics Using Parametric Numerical Methods’, παρουσιάστηκε στο 16th Australasian Fluid Mechanics Conference (AFMC), 2007, σσ 1123–1130.
- [27] ‘Free Software for Students & Educators | Inventor Professional’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.autodesk.com/education/free-software/inventor-professional>. [Ημερομηνία πρόσβασης: 28-Μαΐου-2018].
- [28] ‘Meshing by Element Shape’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/wb_msh/msh_types_shape.html. [Ημερομηνία πρόσβασης: 28-Μαΐου-2018].
- [29] ‘10.6.2. Dynamic Mesh Update Methods’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/flu_ug/flu_ug_dynam_mesh_update.html#g_flu_ug_panel_move_dynamic_smooth. [Ημερομηνία πρόσβασης: 28-Μαΐου-2018].
- [30] ‘668cfa0b3e86bfeccadfef61603d5502.pdf’.
- [31] X. W. Bi και S. C. Song, ‘Study on Damping Characteristics of Automobile Shock Absorber based on Fluid-Structure Interaction Simulation’, *MATEC Web Conf.*, τ. 63, σ 02045, 2016.

10 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

Στο παράρτημα αυτό αναφέρονται τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την διεκπεραίωση αυτής της πτυχιακής εργασίας.

10.1 INVENTOR AUTODESK

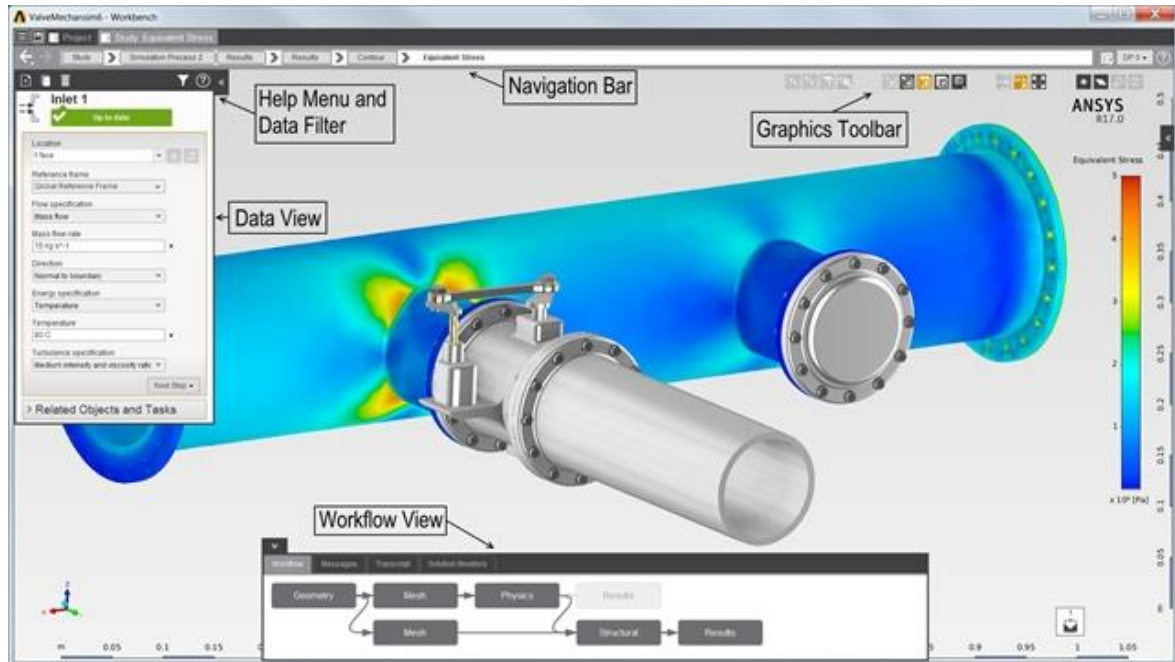
Το Autodesk Inventor (Εικόνα 10-1) είναι ένα πολύ ισχυρό πρόγραμμα μηχανολογικής μοντελοποίησης και προτυποποίησης. Δίνεται στους χρήστες του η δυνατότητα κατασκευής 2D και 3D ρεαλιστικών μοντέλων είτε τελικών είτε πειραματικών προϊόντων. Επίσης δίνει την δυνατότητα για ακαδημαϊκή χρήση σε ένα πεπερασμένο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 10-1 Inventor workplace [27]

10.2 ANSYS WORKBENCH

Το Ansys workbench student (Εικόνα 10-2) είναι το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία της προσομοίωσης της πτυχιακή εργασίας. Έχεις την δυνατότητα δημιουργίας 2D και 3D μοντέλων εκτός από την παραμετροποίηση και προσομοίωση λειτουργίας ενός συστήματος.



Εικόνα 10-2 Ansys Student Workplace [17]

Με το Ansys μπορείς να ασχοληθείς με προβλήματα όπως :

- Electric
- Fluid Flow
- Fluid Flow turbulent flow
- Fluid Flow sonic flow
- Magnetostatic
- Modal
- Rigid Dynamics
- Static Structural
- Steady State Thermal
- Transient Structural

Η εφαρμογές του παίρνουν μέρος σε όλους τους τομείς της επιστήμης όπως Ιατρική, Αεροναυπηγική κ.α.

10.2.1 MESHING OPTIONS

Η δημιουργία πεπερασμένων στοιχείων εξαρτάτε από την φύση του προβλήματος το είδος και τα σημαντικά προς μελέτη σε μια κατασκευή. Παρακάτω δίνονται οι παράμετροι για meshing για συστήματα αλληλεπίδρασης.

Με βάση το user manual του Ansys [28] για τις περιοχές που μας ενδιαφέρουν και θα πάρουν μέρος στην αλληλεπίδραση ρευστού με κατασκευή προτείνεται να χρησιμοποιηθεί Hex Meshing ο λόγος είναι ότι με την μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται καλύτερη αντιστοίχιση επιφανιών κατά την προσομοίωση.

10.2.2 DYNAMIC MESH OPTIONS

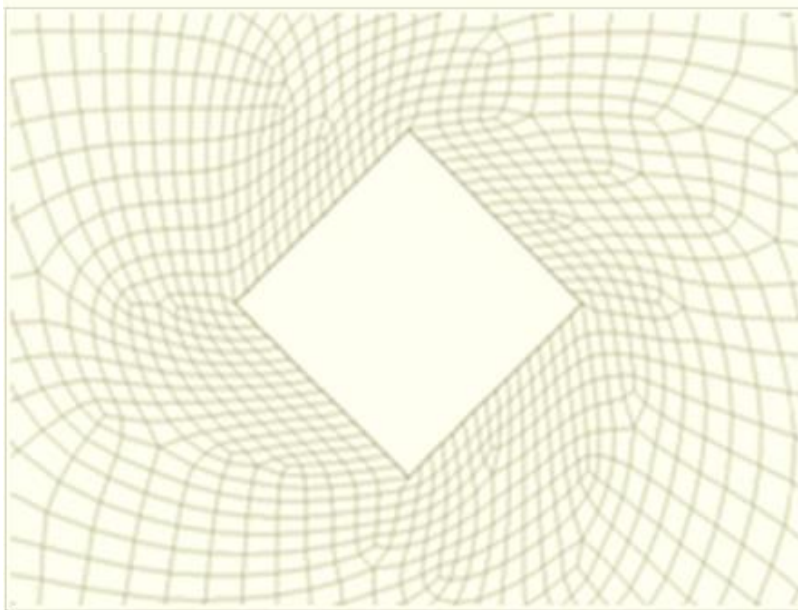
Smoothing [29]

Smoothing χρησιμοποιείτε όταν προσαρμογή ενός πλέγματος μιας ζώνης με ένα κινούμενο ή / και παραμορφωτικό όριο, οι εσωτερικοί κόμβοι του πλέγματος κινούνται, αλλά ο αριθμός των κόμβων και η συνδεσιμότητα τους δεν αλλάζουν. Με αυτό τον τρόπο, οι εσωτερικοί κόμβοι "απορροφούν" την κίνηση του ορίου. Για Smoothing method κάνουμε τα παρακάτω βήματα:

- Επιλέγουμε Smoothing method
- Επιλέγουμε τις παραμέτρους που μας εξυπηρετούν

Στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία οι παράμετρος που επιλέχτηκε ήταν η (*Linearly Elastic Solid Based Smoothing Method*)

Figure 10.20: Valid Mesh After 45 Degree Rotation Using Diffusion-Based Smoothing

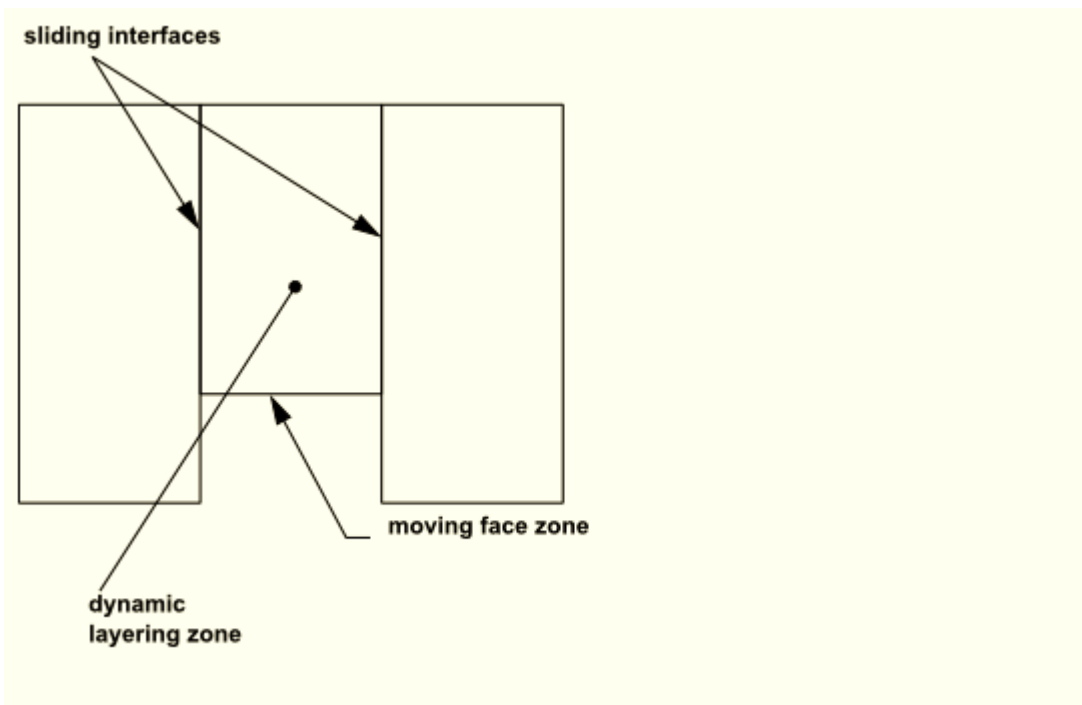


Εικόνα 10-3 Screenshot παραδείγματος Smoothing Method. [26]

Οι οριακές συνθήκες για την λαμβάνονται από τις οριακές παραμορφώσεις που δηλώνονται ή υπολογίζονται (στην περίπτωση της κίνησης 6 DOF). Αυτές οι επιβαλλόμενες παραμορφώσεις μεταφέρονται στο εσωτερικό του παραμορφωτικού πλέγματος σαν το πλέγμα να είναι ένα γραμμικά ελαστικό στερεό με τις δεδομένες ιδιότητες του υλικού. Στις παραμορφώσεις των ορίων μπορείτε είτε να ορίσετε μια γεωμετρία κατά την οποία το πλέγμα μπορεί να ολισθήσει είτε να αφήσετε τη γεωμετρία απροσδιόριστη.

Dynamic Layering

Σε πρισματικές (εξαεδρικές ή και σφηνοειδείς) ζώνες, χρησιμοποιούμε τη Dynamic Layering (Εικόνα 10-4) για την προσθήκη ή να αφαίρεση στρωμάτων κυψελών δίπλα σε κινούμενο όριο, με βάση το ύψος του στρώματος που βρίσκεται δίπλα στην κινούμενη επιφάνεια.



Εικόνα 10-4 Screenshot Παραδείγματος Dynamic Layering [29]

Σε αυτήν τη πτυχιακή δοκιμάστηκε αυτός ο τρόπος αλλά με ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Αναδίπλωνε τα στοιχεία και το πρόγραμμα σταμάταγε με σφάλμα όσο μικρό και αν έμπαινε το βήμα κάθε προσομοίωσης.

Remeshing Methods [29] (Εικόνα 10-5)

Στις ζώνες με τριγωνικό ή τετραεδρικό πλέγμα χρησιμοποιείται κανονικά η μέθοδος Smoothing Method, Όταν η μετατόπιση των ορίων είναι μεγάλη σε σύγκριση με τα τοπικά μεγέθη των πεπερασμένων στοιχείων, η ποιότητα των πεπερασμένων στοιχείων μπορεί να επιδεινωθεί ή τα πεπερασμένα στοιχεία μπορεί να αναδιπλώσουν. Αυτό θα βγάλει σφάλμα και θα σταματήσει η διαδικασία της προσομοίωσης.

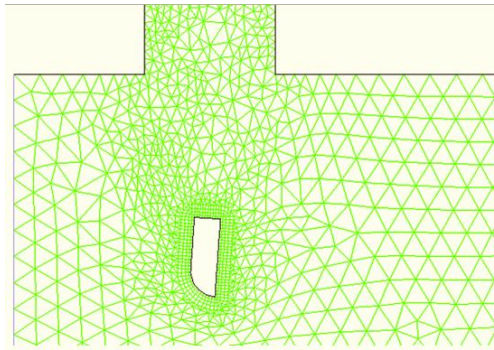
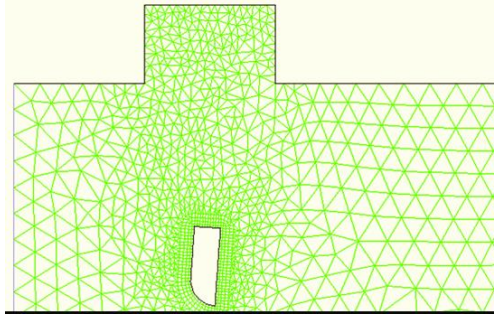


Figure 10.36: Mesh at the End of a Dynamic Mesh Simulation With Size Function



Εικόνα 10-5 Screenshot Παραδείγματος Remeshing Methods.[29]

Για να παρακάμψει αυτό το πρόβλημα, το ANSYS Fluent συσσωματώνει πεπερασμένα στοιχεία που παραβιάζουν τα κριτήρια. Αν τα νέα κελιά πληρούν το κριτήριο της λανθάνουσας τάσης, το πρόγραμμα ενημερώνεται τοπικά με τα νέα κελιά. Διαφορετικά, τα νέα κελιά απορρίπτονται και διατηρούνται τα παλιά κελιά.

Η τοπική μέθοδος remeshing προσώπου είναι διαθέσιμη μόνο σε 3D και μπορεί να επεξεργαστεί τετραεδρικά πεπερασμένα στοιχεία και πεπερασμένα στοιχεία σφήνας στις ακμές των οριακών στρωμάτων.

Οι παράμετροι που επιλέχτηκαν είναι :

- Local Cell
- Local Face
- Δηλώθηκαν τα όρια με βάση τα πεπερασμένα στοιχεία κάθε περιοχής.

Μετά από την σωστή παραμετροποίηση αυτής της μεθόδου δόθηκαν τα πρώτα επιθυμητά αποτελέσματα καθώς το σύστημα παρουσίαζε αναδίπλωση πεπερασμένα στοιχεία λόγω μεγάλων παραμορφώσεων.

11.2 REAVALVING SHOCK ABSORBER

Με τον όρο Reaiving εννοούμε την διαδικασία βελτιστοποίησης μια ανάρτησης ως προς :

- Τις ποιότητα της διαδρομής
- Τις ανάγκες του αναβάτη (είδος χρήσης πχ Hard Enduro)
- Την Φυσική κατάσταση και τα φυσικά χαρακτηριστικά του αναβάτη.
- Το είδος του οχήματος

Όπως εύκολα μπορεί να εννοηθεί το reavalving αφορά κυρίως οχήματα και αναβάτες του μηχανοκίνητου αθλητισμού και μπορεί να εφαρμοστεί σε αναρτήσεις υψηλών επιδόσεων.

Μια ανάρτηση όταν βγαίνει από τον κατασκευαστή είναι μελετημένη και παραμετροποιημένη έτσι ώστε να καλύψει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος αναγκών. Με αποτέλεσμα οι πιο απαιτητικούς καταναλωτές προσπαθώντας να προσδώσουν την μέγιστη απόδοση των αναρτήσεων τους να μεταβαίνουν σε reavalving αυτών.

Τα κύρια μέρη με τα οποία ασχολείται η διαδικασία της βελτιστοποίησης μια ανάρτησης είναι.

- Σκληρότητα ελατηρίου προφόρτισης
- Οπές Εμβόλου βαλβίδας και ανακουφιστικής οπής
- Οπές μικρής ταχύτητας ροής
- Κύριες Βαλβίδες και δευτερεύουσες.
- Ποσότητα ρευστού
- Μέγεθος πίεσης

Παρόλη την εξέλιξη των αναρτήσεων και τα είδη βελτίωσης αυτής η διαδικασία του reavalving παραμένει εμπειρική. Οι πιθανοί λόγοι είναι ότι το εύρος που πρέπει να καλύψει η τυποποίηση αυτής της διαδικασίας είναι σε τέτοιο μέγεθος που καθιστά αδύνατο να γίνει κάτι τέτοιο.

11.3 ΡΕΥΣΤΑ ΑΝΑΡΤΗΣΕΩΝ

Τα ρευστά ανάρτησης είναι βασικά ένας τύπος υδραυλικού υγρού. Σκοπός τους είναι να απορροφούν και να επιβραδύνουν τις δυνάμεις που ασκούνται στην ανάρτηση υπό πίεση. Απορροφούν μέρος της δύναμης προς τα κάτω σε συνδυασμό με την ελατήριο για να μειώσουν το κλονισμό στην κάτω-κίνηση, αλλά όπου αυτά τα υγρά πραγματικά λάμπει είναι στην επάνω-εγκεφαλικό επεισόδιο. Με την επιβράδυνση, το λάδι εξαλείφει την ανάρτηση από το κλονισμό της αναπήδησης του ελατηρίου και σταθεροποιεί την ανάρτηση για ομαλότερη λειτουργία.

Το λάδι ανάρτησης θα πρέπει να:

- Παρέχει μια σταθερή δύναμη απόσβεσης
- Έχουν ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών
- Μείωση της τριβής και τη φθορά μεταξύ των κινούμενων εξαρτημάτων
- Αποφυγή της διάβρωσης

Τα έλαια που φέρουν την ίδια ονομασία από διαφορετικές εταιρείες δεν έχουν αναγκαστικά ίδια ιξώδες. Εντός του ίδιου εμπορικού σήματος εντούτοις, τα βάρη γενικά συσχετίζονται μεταξύ τους και μπορείτε να τα χρησιμοποιήσετε ως έναν ευρύ οδηγό για τη διαφοροποίηση των βαθμών

Πιο συγκεκριμένα σε shock absorber, τα κινηματικά ιξώδη τόσο στους 40 ° C όσο και στους 100 ° C είναι σημαντικά. Αυτό οφείλεται στο πολύ ευρύ φάσμα θερμοκρασιών λειτουργίας. Ο δείκτης ιξώδους ο οποίος μετρά αυτή την αλλαγή είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό για την αξιολόγηση των shock absorber, αλλά ακόμη και αυτό χρειάζεται κάποια εκτίμηση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο δείκτης ιξώδους μπορεί να είναι παραπλανητικός όταν πρόκειται για τον προσδιορισμό της σταθερότητας σε ένα εύρος θερμοκρασίας.

Περισσότερες πληροφορίες για την επιλογή λαδιών αναρτήσεων στο [31]

12 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ TEST ΣΧΕΔΙΑ /ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

12.1 INVENTOR/ANSYS ΣΧΕΔΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η λίστα των σχεδίων που ακολουθεί είναι:

- Top Valve Εικόνα 12-1
- Top Valve Cylinder Εικόνα 12-2
- Τεφλόν κυρίως και δευτερεύων εμβόλου Εικόνα 12-3
- Έμβολο δοκιμών Εικόνα 12-4
- Γεωμετρία δοκιμών παραμέτρων προσομοίωσης Εικόνα 12-5
- Αποτελέσματα επιτυχημένων παραμετροποιήσεων προσομοίωσης Εικόνα 12-6
- Άξονας με Κύριο δευτερεύων Έμβολο Εικόνα 12-7



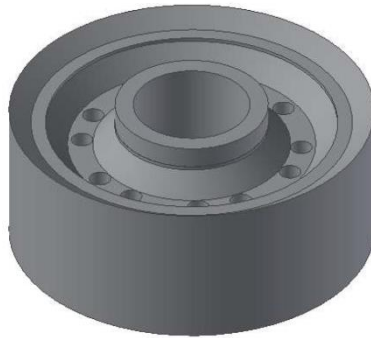
Εικόνα 12-1 Έμβολο Top Valve



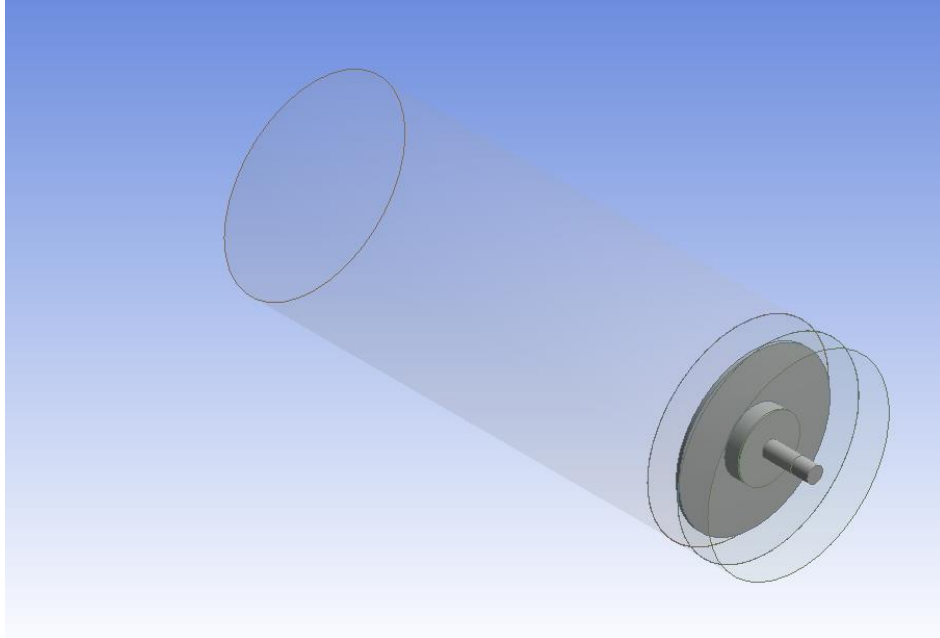
Εικόνα 12-2 Top Valve Cylinder



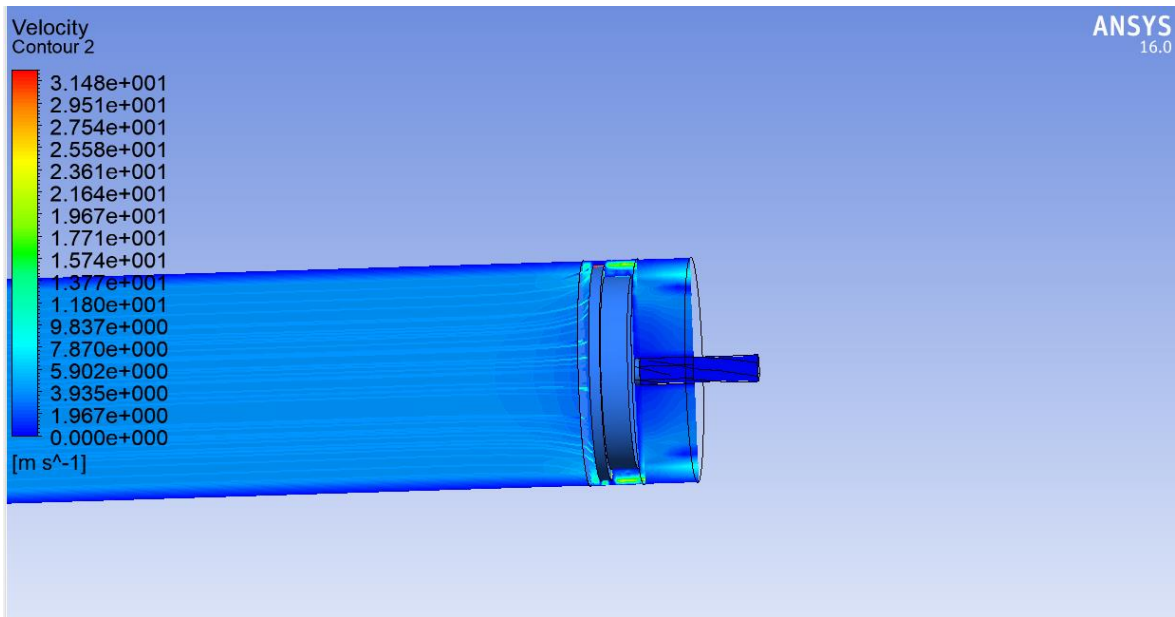
Εικόνα 12-3 Τεφλόν κυρίως και δευτερεύων εμβόλου.



Εικόνα 12-4 Έμβολο δοκιμών



Εικόνα 12-5 Γεωμετρία δοκιμών παραμέτρων προσομοίωσης



Εικόνα 12-6 Αποτελέσματα επιτυχημένων παραμετροποιήσεων προσομοίωσης



Εικόνα 12-7 Άξονας με Κύριο δευτερεύων Έμβολο