

ΜΗΧ  
710



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

Πτυχιακά εργασία:

«Σχεδιασμός, κατασκευή, εγκατάσταση και δοκιμαστική λειτουργία συστήματος μετατόπισης αισθητήρων, ελεγχόμενου από Η/Υ, για την αεροσήραγγα ανοικτού κυκλώματος του Εργαστηρίου Μετρήσεων Τεχνικών Μεγεθών»

Τμήμα  
Μηχ/σας

Επιμέλεια: Μάσσιας Π. Αθανάσιος / Α.Μ.: 35760

Επιβλέπων: Δρ. Ι. Λεκάκης

Αθήνα 2012

## Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τη συγγραφή της παρούσας πτυχιακής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω εκ βαθέων τον κ. Ι. Λεκάκη για την εμπιστοσύνη, την υπομονή και τη βοήθεια που μου παρείχε. Παρά τις δυσκολίες που παρουσιάστηκαν, στήριξε αυτή τη προσπάθεια από τη πρώτη στιγμή, γεγονός που εκτιμώ ιδιαίτερα.

Άξιος αναφοράς είναι ο κ. Θ. Παπαδόπουλος, που συντέλεσε ιδιαίτερα σημαντικά ρόλο κατά τη μελέτη του συγκεκριμένου θέματος. Συγκεκριμένα, η τεχνογνωσία και η εμπειρία του σε μηχανολογικές διατάξεις παρόμοιων εφαρμογών, ήταν ιδιαίτερα χρήσιμες. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον κ. Γ. Δημητρόπουλο, για τις ιδέες και τις προτάσεις του στον τομέα της ηλεκτρονικής καθοδήγησης και του ελέγχου του συστήματος.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες, στην οικογένειά μου και στους φίλους, που με στήριξαν ηθικά και επέδειξαν κατανόηση κατά τη συγγραφή της εργασίας αυτής.

Αθήνα, Νοέμβριος 2012

Μάσσιας Αθανάσιος

## Περίληψη

Η μελέτη φαινομένων και προβλημάτων που σχετίζονται με τη Μηχανική Ρευστών, μπορεί να επιτευχθεί με δύο ξεχωριστές μεθόδους. Η μία από αυτές είναι η θεωρητική προσέγγιση του αντικειμένου μέσω μαθηματικών μοντέλων, από τα οποία εξάγονται τα χαρακτηριστικά της ροής των ρευστών καθώς και οι θερμοδυναμικές παράμετροι του συστήματος. Η άλλη μέθοδος βασίζεται στη πραγματοποίηση πειραματικών μελετών, οι οποίες περιλαμβάνουν εξοπλισμό προσομοίωσης της ροής του ρευστού, μακέτες και υπό κλίμακα μοντέλα των υπό μελέτη αντικειμένων καθώς και συστήματα μέτρησης και καταγραφής των μεγεθών που μετρώνται.

Μία ευρέως διαδεδομένη πειραματική διάταξη προσομοίωσης της ροής του αέρα είναι η αεροδυναμική σήραγγα. Εντός του θαλάμου δοκιμών της, τοποθετείται το επιθυμητό αντικείμενο και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της διάταξης, λαμβάνονται οι επιθυμητές μετρήσεις. Το είδος των δεδομένων που εξάγονται ποικίλει. Ενδεικτικά, μπορούν να προσδιοριστούν οι δυνάμεις που ασκούνται στο μοντέλο, η ταχύτητα καθώς και η δυναμική πίεση του ρευστού σε συγκεκριμένα σημεία.

Η λήψη των προαναφερθέντων μετρήσεων, εκτός των ασκούμενων δυνάμεων, προϋποθέτει τη χρήση συγκεκριμένων αισθητήρων, οι οποίοι βρίσκονται εντός του θαλάμου δοκιμών και εδράζονται σε κατάλληλο μηχανισμό, ο οποίος συγκρατεί και μετατοπίζει τα αισθητήρια όργανα στις επιθυμητές συντεταγμένες. Η ύπαρξη ενός τέτοιου συστήματος εξασφαλίζει την ασφαλή παραμονή του αισθητήρα στη θέση που απαιτείται, απουσία ταλαντώσεων εξαιτίας της ροής του αέρα. Παράλληλα, επιτρέπει την ικανοποιητική ακρίβεια μέτρησης και την επίτευξη υψηλής επαναληψιμότητας των συντεταγμένων θέσης.

Στα πλαίσια εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας, μελετάται και αναπτύσσεται ένα ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα συγκράτησης και μετατόπισης αισθητήρων πέντε βαθμών ελευθερίας για την αεροσήραγγα ανοικτού κυκλώματος του Εργαστηρίου Μετρήσεων Τεχνικών Μεγεθών. Το σύστημα αυτό, το οποίο περιλαμβάνει στοιχεία από υπάρχουσες διατάξεις μετατόπισης αισθητήρων, καλύπτει πλήρως τις απαιτούμενες προδιαγραφές λειτουργίας, ενώ η διαμόρφωσή του βασίστηκε στην μεθοδολογία εύρεσης κατασκευαστικών λύσεων του G. Pahl.



## Summary

The study of phenomena and problems related to Fluid Mechanics, can be achieved by two separate methods. One of these is the theoretical approach of the studying object by the use of mathematical models that describe the characteristics of the fluid's flow and the thermodynamic properties of the system. The other method is based on experimental processes, which include specialized systems for the simulation of the flow, maquettes and accurate scale models of the real objects, plus precise equipment which is necessary for the measurements extraction.

A well known experimental apparatus for the simulation of the air's flow, is the wind tunnel. The desired object is placed within the testing chamber and during the air flow, the measurement process can take place. The kind of data that can be extracted, varies significantly. Usually, this includes values of the forces that act on the model, the air's speed, as long as with the dynamic fluid pressure on specific points of the model's surface.

This measurement process, requires the use of sophisticated sensors which are located within the testing chamber and mounted on a suitable mechanism that holds the sensors in place and moves them to the desired coordinates. The existence of such a system ensures the safe stay of the sensor in the required position, without being affected by any kind of vibration caused by the air flow. At the same time, this device allows the achievement of highly accurate measurements, as long as with repeatable relocations.

The main aim of this thesis, is the study and development of an electronically controlled system for the holding and relocation of a group of applied sensors within the testing chamber of the open circuit wind tunnel of the Mechanical Measurements Laboratory. The technical solution that is provided in the following chapters fulfils the demand of a five degrees of freedom movement capability. Additionally, this system, which incorporates various data from existing displacement devices around the world, the covers the required standards of operation, while its design process was based on the widespread standardized methodology of G. Pahl.



## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Summary.....	4
Εισαγωγή.....	7
1. Θεωρητικά στοιχεία.....	8
1.1 Γενικά στοιχεία περί Μηχανικής Ρευστών.....	8
1.2 Τρόποι μελέτης της Μηχανικής Ρευστών.....	8
1.2.1 Υπολογιστικές μέθοδοι - C.F.D.....	9
1.2.2 Πειραματικές μέθοδοι.....	10
1.3 Ο ρόλος των πειραματικών μελετών στην επίλυση προβλημάτων Μηχανικής Ρευστών.....	11
2. Μέθοδος σχεδιασμού κατασκευής.....	12
2.1 Διασάφηση προβλήματος.....	12
2.1.1 Περιγραφή του προς επίλυση προβλήματος.....	13
2.1.2 Προσδιορισμός Προδιαγραφών Μηχανισμού Μετατόπισης Αισθητήρα.....	14
2.2 Στάδιο Σύλληψης της Ιδέας.....	16
2.2.1 Αφαίρεση – Διατύπωση του προβλήματος.....	16
2.2.2 Δομή Λειτουργίας – Επιμέρους Λειτουργίες.....	19
2.2.3 Αναζήτηση λύσεων.....	21
2.2.3.1 Στοιχεία βιβλιογραφίας σχετικά με το περιβάλλον λειτουργίας του μηχανισμού μετατόπισης αισθητήρα.....	21
2.2.3.2 Ανάλυση γνωστών τεχνικών συστημάτων.....	24
2.2.3.3 Brainstorming.....	28
2.2.3.4 Συστηματική αναζήτηση με τη βοήθεια μήτρας ταξινόμησης.....	30
2.2.3.5 Πίνακες επιλογής και αξιολόγησης κύριας λειτουργίας.....	33
2.2.3.6 Επεξεργασία ολικών λειτουργιών.....	35

2.2.3.7	Πίνακες επιλογής και αξιολόγησης ολικής λειτουργίας.....	37
2.2.3.8	Προσδιορισμός βέλτιστης λύσης.....	38
2.3	Στάδιο σχεδιομελέτης.....	40
2.3.1	Υπολογισμοί βασικών μεγεθών.....	40
2.3.1.1	Διαστασιολόγηση τραπεζοειδούς κοχλία άξονα x'x.....	42
2.3.1.2	Διαστασιολόγηση τραπεζοειδούς κοχλία άξονα y'y.....	45
2.3.1.3	Διαστασιολόγηση τραπεζοειδούς κοχλία άξονα z'z.....	47
2.3.1.4	Επιλογή μηχανισμών ρύθμισης γωνιών βήματος και εκτροπής.....	49
2.3.2	Ανάλυση επιμέρους τμημάτων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.....	50
2.4	Στάδιο επεξεργασίας.....	53
2.4.1	Κατασκευαστικά σχέδια - Κατάλογος τεμαχίων.....	53
2.4.2	Τεχνικά χαρακτηριστικά και κριτήρια επιλογής πρώτων υλών και εξαρτημάτων.....	54
2.4.3	Μηχανουργικές κατεργασίες.....	56
2.4.4	Θερμικές κατεργασίες.....	58
2.4.5	Διαδικασία συναρμολόγησης εξαρτημάτων.....	66
2.4.6	Έλεγχος κίνησης και μετατόπισης μηχανισμού.....	67
3.	Συμπεράσματα και προτάσεις.....	70
3.1	Προτάσεις αναβάθμισης.....	70
	Βιβλιογραφία.....	72
	Παράρτημα «Α».....	74
	Παράρτημα «Β».....	125



## Εισαγωγή

Η μετατόπιση και συγκράτηση αισθητήρων σε συγκεκριμένες συντεταγμένες, εντός του θαλάμου δοκιμών μίας αεροδυναμικής σήραγγας ανοικτού κυκλώματος, αποτελεί ένα από τα βασικότερα βήματα της διαδικασίας λήψης μετρήσεων, που λαμβάνει χώρα κατά την εκτέλεση πειραμάτων. Με βάση την υπάρχουσα εμπειρία και γνώση διεθνώς για τις συνθήκες εκτέλεσης πειραμάτων εντός αεροσηράγγων παρόμοιων τεχνολογικών χαρακτηριστικών, γίνεται κατανοητό το γεγονός ότι η χρήση αισθητηρίων οργάνων εντός του θαλάμου δοκιμών, δεν μπορεί να γίνει ικανοποιητικά με χειρονακτικές μεθόδους ή μηχανισμούς που αποτελούν απόρροια μη συστηματικής αναζήτησης τεχνικών λύσεων. Για τους λόγους αυτούς, κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη μίας ολοκληρωμένης σχεδιαστικά διάταξης, η οποία να μπορεί να εκτελεί τις παραπάνω ενέργειες, τηρώντας στο ακέραιο όλες τις απαραίτητες προδιαγραφές που τέθηκαν κατά την ανάληψη του θέματος προς μελέτη.

Ο προσδιορισμός της αρτιότερης τεχνικής λύσης, προκύπτει από τη συλλογή και επεξεργασία του συνόλου των διαθέσιμων πηγών πληροφοριών. Ο τρόπος επεξεργασίας των στοιχείων, πραγματοποιείται μέσω της εφαρμογής μίας τυποποιημένης μεθόδου εξεύρεσης λύσεων, κατά την οποία αναλύονται όλες οι επιμέρους λειτουργίες του μηχανισμού. Το αποτέλεσμα που προκύπτει στο τέλος της διαδικασίας αυτής, συνοψίζει τις πληροφορίες που χρειάζονται για την εκπόνηση της σχεδιομελέτης και την εξαγωγή των απαραίτητων σχεδίων.

Η κατασκευαστική λύση που προέκυψε μετά το πέρας όλων των προαναφερθέντων σταδίων επεξεργασίας, διαθέτει ένα μηχανισμό γραμμικής μετατόπισης αισθητήρων ως προς τους άξονες  $x'x$ ,  $y'y$  και  $z'z$  και γωνιακής κίνησης ως προς τις γωνίες εκτροπής (yaw angle) και βήματος (pitch angle). Το σύνολο της κατασκευής αποτελείται κυρίως από δικτυώματα διαφόρων διατομών μορφοσιδήρου, καθώς και από επιμέρους τεμάχια συνθετικών ή μη υλικών. Η μεταφορά της ενέργειας από τους βηματικούς κινητήρες προς τα κινητά τμήματα πραγματοποιείται μέσω τραπεζοειδών κοχλιών, ενώ για τις περιπτώσεις των γωνιακών κινήσεων, εμπλέκονται σερβοκινητήρες απευθείας στις αρθρώσεις. Τέλος, το σύνολο των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων που κινεί το μηχανισμό, ελέγχεται από κατάλληλα δομημένο κώδικα στο πρόγραμμα "Labview".



## Κεφάλαιο 1

### Θεωρητικά στοιχεία

#### 1.1 Γενικά στοιχεία περί Μηχανικής Ρευστών

Η Επιστήμη της Μηχανικής Ρευστών, έχει ως αντικείμενο τη μελέτη και ανάλυση όλων εκείνων των φαινομένων που σχετίζονται με τη ύλη που βρίσκεται σε ρευστή κατάσταση. Σύμφωνα με τους Tropea, Yarin, και Foss (2007) ένα σώμα το οποίο παραμορφώνεται συνεχώς υπό την επίδραση διατμητικών τάσεων, χαρακτηρίζεται ως ρευστό.

Σκοπός της Ρευστομηχανικής, είναι η αιτιολόγηση και ερμηνεία της συμπεριφοράς των ρευστών μέσω της χρήσης κατάλληλων αναλυτικών, αριθμητικών και πειραματικών μεθόδων, καθώς και η εύρεση νέων λύσεων σε προβλήματα που σχετίζονται με αυτήν.

Οι εφαρμογές της απαντώνται σχεδόν σε όλους τους σύγχρονους τεχνικούς κλάδους, δεδομένου ότι πληθώρα χρησιμοποιούμενων υλικών και διακινούμενων αγαθών συμπεριφέρονται ως ρευστή ύλη.

#### 1.2 Τρόποι μελέτης της Μηχανικής Ρευστών

Αφού προσδιοριστεί ένα πρόβλημα, ερευνάται ο τρόπος με τον οποίο θα προσεγγιστεί η λύση του. Η μελέτη ενός θέματος που εμπίπτει στο κλάδο της Ρευστομηχανικής, μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους: α.) Χρήση μαθηματικών μοντέλων και περαιτέρω μελέτη του αντικειμένου βάση των λύσεων που προκύπτουν β.) Εφαρμογή πειραματικών μεθόδων, προκειμένου να προσομοιωθεί η συμπεριφορά του φαινομένου, σε ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες. Η επιλογή του τρόπου μελέτης, εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, όπως το είδος του θέματος που αναλύεται και η δυνατότητα εξαγωγής ικανοποιητικών απαντήσεων από μία εκ των δύο μεθόδων. Στις παραγράφους 1.2.1 και 1.2.2 παρουσιάζονται οι μέθοδοι και τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους.

### 1.2.1 Υπολογιστικές μέθοδοι - C.F.D.

Η ανάλυση ενός προβλήματος Ρευστομηχανικής, βασίζεται στους παρακάτω θεμελιώδεις νόμους που περιγράφουν την κίνηση του ρευστού στο χώρο (Fox, McDonald, Pritchard, 2004):

- α.) Αρχή διατήρησης της μάζας
- β.) Δεύτερος Νόμος του Newton σχετικά με την κίνηση
- γ.) Αρχή της στροφορμής
- δ.) Πρώτος Νόμος της Θερμοδυναμικής

Με βάση αυτούς τους Νόμους και σε συνδυασμό με πρόσθετες σχέσεις που περιγράφουν τις φυσικές ιδιότητες των ρευστών για δεδομένες συνθήκες, μπορούν να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά της ροής καθώς και θερμοδυναμικές ιδιότητες του ρευστού.

Αναλόγως τα ζητούμενα μεγέθη, ένα φαινόμενο, μπορεί να προσεγγιστεί ως ένα πεπερασμένο σύστημα ή να μελετηθεί υπό τη μορφή ενός όγκου ελέγχου. Στη πρώτη περίπτωση, μέσω σχέσεων που περιλαμβάνουν ολοκληρώματα, μπορούν να εξαχθούν ποσοτικά αποτελέσματα, όπως για παράδειγμα η ώση των πτερυγίων μίας έλικας αεροσκάφους. Αντίστοιχα στη δεύτερη περίπτωση, μέσω διαφορικών εξισώσεων, είναι δυνατή η λεπτομερής περιγραφή της κίνησης ενός ρευστού για δεδομένες συνθήκες.

Σε περιπτώσεις ανάλυσης, όπου η πολυπλοκότητα του θέματος που εξετάζεται καθιστά αδύνατη την επίλυσή του με συμβατικούς τρόπους, είναι δυνατή η χρήση εξειδικευμένων προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών (C.F.D - Computational fluid dynamics). Τα προγράμματα επίλυσης προβλημάτων Ρευστομηχανικής, βασίζονται σε αριθμητικές μεθόδους για τη λύση των εξισώσεων Navier - Stokes με τις κατάλληλες οριακές συνθήκες σε ένα καθορισμένο πεδίο ροής, μετά τη διακριτοποίηση του χώρου σε πεπερασμένους όγκους (finite volume method), προσομοιώνοντας έτσι τη ροή στο πεδίο μελέτης.



### 1.2.2 Πειραματικές μέθοδοι

Οι πειραματικές μέθοδοι, συνήθως χρησιμοποιούνται μετά την εφαρμογή και επίλυση των υπολογιστικών μοντέλων ενός δεδομένου προβλήματος.

Ένα από τα πλέον βασικά εργαλεία για την υλοποίηση μίας πειραματικής μελέτης που αφορά τη Ρευστομηχανική είναι η αεροσήραγγα. Μέσα σε αυτή, δημιουργούνται οι επιθυμητές συνθήκες ροής του αέρα, έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στα δεδομένα.

Στη συνέχεια, εντός του θαλάμου δοκιμών της σήραγγας, τοποθετείται το πραγματικό αντικείμενο που μελετάται ή ένα ομοίωμά του, προκειμένου να εκτεθεί στη ροή του αέρα. Με τον τρόπο αυτό, προσομοιώνεται η συμπεριφορά του σε όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικές συνθήκες. Σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται μοντέλα υπό κλίμακα, ο βαθμός επιτυχίας της προσομοίωσης για δεδομένη ροή επηρεάζεται από δύο παράγοντες:

α.) Την πιστότητα της αναπαράστασης της μακέτας.

β.) Τις αδιάστατες παραμέτρους που περιγράφουν τη ροή, όπως ο αριθμός Reynolds, που θα πρέπει να έχουν την ίδια τιμή για το μοντέλο και για το πραγματικό αντικείμενο.

Κατά την εκπόνηση του πειράματος, είναι δυνατή η μέτρηση διαφόρων μεγεθών, επιλέγοντας από ένα μεγάλο φάσμα μεθόδων λήψης μετρήσεων. Τα μεγέθη αυτά είναι πρωτίστως η πίεση και η ταχύτητα του ρευστού (Tropea, Yarin, Foss, 2007).

Η διάταξη μετατόπισης αισθητήρων της πτυχιακής εργασίας αφορά την συγκράτηση οργάνων που εκτελούν τέτοιου είδους μετρήσεις.

Παράλληλα με τη λήψη ποσοτικών μετρήσεων, είναι δυνατή η οπτικοποίηση της ροής μέσω μηχανικών ή ηλεκτρονικών μέσων, γεγονός που επιτρέπει την άμεση εξαγωγή συμπερασμάτων μέσω της λήψης εικόνας σε άμεσο χρόνο.

Η χρήση πειραματικών μεθόδων για την επίλυση προβλημάτων, μπορεί να αποδώσει ρεαλιστικά αποτελέσματα, που ανταποκρίνονται ικανοποιητικά στα δεδομένα του φαινομένου που μελετάται, απαιτεί όμως προσοχή και ακρίβεια κατά την εκτέλεσή τους, προκειμένου να μην αλλοιωθούν τα αποτελέσματα που λαμβάνονται.



### 1.3 Ο ρόλος των πειραματικών μελετών στην επίλυση προβλημάτων Μηχανικής Ρευστών

Η εφαρμογή πειραματικών μεθόδων, στα πλαίσια της ανάλυσης ενός προβλήματος που σχετίζεται με τη Ρευστομηχανική, είναι ουσιώδους σημασίας για την επίτευξη μίας λύσης που ανταποκρίνεται στα ζητούμενα.

Μέσω της υλοποίησης πειραματικών μελετών, είναι δυνατός ο έλεγχος της ορθότητας των αποτελεσμάτων που εξάγονται από τις αριθμητικές και αναλυτικές μεθόδους περιγραφής της συμπεριφοράς του ρευστού για δεδομένες οριακές συνθήκες. Εφόσον το πείραμα έχει εκτελεστεί με ακρίβεια και οι μετρήσεις που έχουν ληφθεί είναι απαλλαγμένες από σφάλματα που προέρχονται από τον χρήστη ή από εξωγενείς μεταβλητές (Λεκάκης, 2008), αποτελεί μία αξιόπιστη πηγή πληροφοριών, που μπορεί να οδηγήσει σε ασφαλή συμπεράσματα.

Επίσης, κατά την εξέταση ενός θέματος σε εργαστηριακό επίπεδο, δίδεται η ευκαιρία για τον εντοπισμό φαινομένων και παραγόντων που επιδρούν στην συμπεριφορά του ρευστής ύλης που μελετάται και δεν μπορούν να προσδιοριστούν με άλλους τρόπους. Με βάση τα νέα δεδομένα, το πρόβλημα μπορεί να αξιολογηθεί ξανά ως προς τα στοιχεία περιγραφής του και να επιλεγεί διαφορετικός τρόπος προσέγγισης αυτού. Παράλληλα, δίνεται η ευκαιρία του σχηματισμού μίας πλήρους εικόνας των ρεολογικών χαρακτηριστικών του ρευστού σε πραγματικές συνθήκες.

Σημαντική είναι και η συμβολή των πειραματικών μελετών στην ανάπτυξη νέων τεχνικών μετρήσεων και μεθόδων ανάλυσης, με στόχο την επίλυση προβλημάτων Μηχανικής Ρευστών. Η συστηματική μελέτη των στοιχείων που λαμβάνονται κατά την εκτέλεση πειραμάτων σε ελεγχόμενο περιβάλλον, όπως οι σήραγγες αεροδυναμικών δοκιμών, μπορεί να διευρύνει τα όρια των υπάρχουσών μεθόδων ανάλυσης και να οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων μαθηματικών μοντέλων περιγραφής της κίνησης των ρευστών.

Ο ρόλος που καλούνται να εκπληρώσουν οι πειραματικές μελέτες, έχει πολλές και διαφορετικές πτυχές, οι κυριότερες εκ των οποίων παρουσιάστηκαν. Η αξία του ωστόσο, διαφαίνεται από το γεγονός της ευρείας χρήσης πειραμάτων, που έρχεται σε αντιδιαστολή με την εξάπλωση των ηλεκτρονικών προγραμμάτων προσομοίωσης της συμπεριφοράς των ρευστών.

## Κεφάλαιο 2

### Μέθοδος σχεδιασμού της κατασκευής

#### 2.1 Διασάφηση προβλήματος

Η διαδικασία εξεύρεσης της βέλτιστης λύσης σε ένα τεχνικό πρόβλημα, ξεκινάει με το στάδιο της διασάφησης του προβλήματος.

Για τη δημιουργία μίας επαρκούς εικόνας του θέματος προς μελέτη, απαιτείται η ακριβής περιγραφή δύο στοιχείων: Των υπάρχοντων δεδομένων και των απαιτούμενων χαρακτηριστικών της λύσης.

Στα υπάρχοντα δεδομένα, συγκαταλέγονται πληροφορίες που έχουν σχέση με το χώρο εφαρμογής της λύσης του προβλήματος, τις υπάρχουσες συνθήκες λειτουργίας καθώς και δευτερεύοντα στοιχεία, που πιθανώς σχετίζονται με το υπάρχον τεχνικό ζήτημα και αξίζει να ληφθούν υπόψη κατά τη μελέτη. Από το σύνολο των δεδομένων που θα προκύψει, ένα μέρος ενσωματώνεται αυτούσιο ή χρησιμοποιείται εμμέσως στον πίνακα προδιαγραφών. Η παράγραφος 2.1.1 περιλαμβάνει την αναλυτική περιγραφή τους.

Τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά της λύσης, σχηματίζουν τον Πίνακα προδιαγραφών και η ικανοποίησή τους αποτελεί προϋπόθεση για την αποδοχή της τεχνικής λύσης που προκύπτει μετά το πέρας της διαδικασίας του σχεδιασμού. Ο καθορισμός του Πίνακα, είναι αποτέλεσμα καταγραφής των απαιτήσεων και επιθυμιών του εντολέα από το μελετητή. Περαιτέρω στοιχεία, καθώς και ο ίδιος ο Πίνακας, παρουσιάζονται στην παράγραφο 2.1.2.

Η σημασία της σωστής διασάφησης του προβλήματος, φαίνεται από το βαθμό που επηρεάζει το στάδιο σύλληψης της ιδέας και κατ'επέκταση το σύνολο της σχεδιαστικής διαδικασίας. Για το λόγο αυτό, μπορεί να θεωρηθεί ως το πιο κρίσιμο βήμα, που αρμόζει δέουσας προσοχής και μελέτης.



### 2.1.1 Περιγραφή του προς επίλυση προβλήματος

Η σήραγγα αεροδυναμικών δοκιμών ανοικτού τύπου, που βρίσκεται στο Εργαστήριο Τεχνικών Μεγεθών του Τ.Ε.Ι. Πειραιά, χρησιμοποιείται για τη μελέτη φαινομένων που σχετίζονται με την επίδραση του αέρα σε προσπίπτουσες επιφάνειες διαφόρων γεωμετριών και χαρακτηριστικών.

Η μελέτη των παραπάνω, απαιτεί τη χρήση εξειδικευμένων αισθητήρων, όπως «Pitot tube» και θερμικής ανεμομετρίας. Βασικό στοιχείο για την ορθή ερμηνεία των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την πειραματική διαδικασία, είναι ο προσδιορισμός της θέσης του αισθητήρα, εντός του θαλάμου δοκιμών, με ακρίβεια. Οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται, προϋποθέτουν επίσης τη συγκράτησή του στις επιθυμητές συντεταγμένες, χωρίς να παρουσιάζονται φαινόμενα ταλάντωσης και μετατόπισης του ίδιου, εξαιτίας της ροής του αέρα.

Σημαντικός είναι και ο τρόπος με τον οποίο ο αισθητήρας μπορεί να αλλάζει θέση, προκειμένου να αποκτήσει νέες συντεταγμένες. Όταν πραγματοποιούνται πειράματα που απαιτούν πλήθος μετρήσεων, η λεπτομέρεια αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς επηρεάζει το συνολικό χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της διαδικασίας.

Στα πλαίσια εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας, παρουσιάστηκε η ανάγκη για την ανάπτυξη και δημιουργία μίας κατάλληλης διάταξης μετατόπισης αισθητήρων, που να μπορεί να εκτελέσει τις παραπάνω εργασίες και να διευκολύνει έτσι, τη λήψη μετρήσεων κατά τη λειτουργία της σήραγγας.

Σε παρόμοιες σήραγγες ανά τον κόσμο, έχουν προσαρμοστεί μηχανισμοί μετατόπισης αισθητήρων που υιοθετούν ποικιλία μεθόδων συγκράτησης, κίνησης και ελέγχου. Ωστόσο, η αυτούσια αντιγραφή και χρήση ενός τέτοιου μηχανισμού είναι πρακτικά αδύνατη, καθώς οι συνθήκες λειτουργίας και η γεωμετρία του θαλάμου δοκιμών της υπάρχουσας εγκατάστασης, είναι διαφορετικές. Ως εκ τούτου, η ανάπτυξη, ενός συστήματος προσαρμοσμένου πλήρως στις υπάρχουσες συνθήκες είναι ο μόνος τρόπος, για την επίτευξη της βέλτιστης λύσης στο πρόβλημα.



## 2.1.2 Προσδιορισμός Προδιαγραφών Μηχανισμού Μετατόπισης Αισθητήρα

Ο πίνακας προδιαγραφών, αποτελεί το επόμενο στάδιο κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας του σχεδιασμού των κατασκευών. Συνδυάζει πληροφορίες, οι οποίες περιλαμβάνουν ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του επιθυμητού αποτελέσματος, χωρίς κατασκευαστικές προτάσεις ή υποδείξεις. Ο Στεργίου (2004) αναφέρει σχετικά ότι «μόνο η ζητούμενη λειτουργία με τα αντίστοιχα μεγέθη εισόδου και εξόδου πρέπει να καθορίζονται».

Η χρησιμότητα του πίνακα, βασίζεται στην επιτυχή περιγραφή του σκοπού καθώς και των αναμενόμενων ιδιοτήτων της λύσης που καλούμαστε να βρούμε. Παρά το γεγονός ότι στο συγκεκριμένο πρόβλημα, υπάρχουν ήδη λύσεις που εφαρμόζονται σε παρόμοιες εγκαταστάσεις αεροδυναμικών δοκιμών ανά τον κόσμο, -με αποτέλεσμα η ύπαρξη του να είναι προαιρετική- η σύνταξή του αποτελεί σημαντική πηγή πληροφοριών, μέσω των οποίων θα μπορέσουμε να εστιάσουμε στον πυρήνα του προβλήματος.

Για τη συμπλήρωσή του, βασιστήκαμε στις πληροφορίες που αντλήσαμε από κείμενα τεχνικών προδιαγραφών αισθητήρων HWA (Hot Wire Anemometry), Multi-hole pressure tubes, Pitot tubes καθώς και από τεχνικά σχέδια της αεροσήραγγας ανοιχτού τύπου για την οποία προορίζεται η τελική κατασκευαστική λύση. Επίσης, συμπληρωματικές πληροφορίες ελήφθησαν από σχετική βιβλιογραφία πειραματικής ρευστομηχανικής και από υπάρχουσες διατάξεις μετατόπισης αισθητήρων.

Οι προδιαγραφές που αναφέρονται στο πίνακα, χαρακτηρίζονται ως «απαίτηση» (A) ή «επιθυμία» (E). Ο πρώτος όρος υποδεικνύει ένα κρίσιμο στοιχείο, το οποίο θα πρέπει να εμφανίζεται υποχρεωτικά στην τελική λύση. Αντίθετα, η «επιθυμία», μπορεί να θεωρηθεί προδιαγραφή δευτερεύουσας σημασίας, η ύπαρξη της οποίας στο τελικό αποτέλεσμα, θα αποτελεί θετικό στοιχείο, χωρίς να επηρεάζει την ολική λειτουργία.

Πίνακας 2.1

Διαμόρφωση προδιαγραφών

A/E	Προδιαγραφές
A	Μετατόπιση αισθητήρα σε οποιοδήποτε σημείο εντός του θαλάμου δοκιμών διαστάσεων $x \times y \times z = 2.440 \text{ mm} \times 640 \text{ mm} \times 610 \text{ mm}$
A	Διατήρηση αισθητήρα στην επιθυμητή θέση εντός του θαλάμου δοκιμών, για τιμές ταχύτητας αέρα $\leq 30 \text{ m/s}$
A	Διακριτική ικανότητα μετατόπισης αισθητήρα προς όλες τις διευθύνσεις $\leq 1 \text{ mm}$
A	Δυνατότητα συγκράτησης αισθητήρων όπως Hot Wire Anemometers, Multi-hole pressure probes και Pitot tubes
A	Ρυθμιζόμενη γωνία εκτροπής (yaw angle) στην περιοχή τιμών $[-30^\circ, 30^\circ]$
A	Ρυθμιζόμενη γωνία βήματος (pitch angle) στην περιοχή τιμών $[-30^\circ, 30^\circ]$
A	Μέγιστη επιτρεπτή μάζα μετατοπιζόμενου αισθητηρίου οργάνου $\leq 1 \text{ kg}$
E	Ελάχιστες δυνατές ταλαντώσεις του αισθητήρα προς όλες τις διευθύνσεις κίνησης κατά τη λήψη μετρήσεων εντός του θαλάμου δοκιμών
A	Συνεχής παροχή ενδείξεων θέσης του εκάστοτε αισθητήρα, εντός του θαλάμου δοκιμών της αεροσήραγγας
A	Δυνατότητα αναλυτικής καταγραφής ιστορικού μετατόπισης αισθητήρα και άμεσης διάθεσής του
E	Ηχητικό σήμα προειδοποίησης κατά τη μετατόπιση του αισθητήρα, εντός του θαλάμου δοκιμών της αεροσήραγγας
E	Διάταξη μετατόπισης φιλική προς το χρήστη
A	Στάθμη θορύβου κατά τη λειτουργία της μηχανής $\leq 30 \text{ dB(A)}$
A	Δυνατότητα μελλοντικής αναβάθμισης-επέκτασης λειτουργιών συστήματος
A	Μέγιστο επιτρεπτό κόστος απαιτούμενων υλικών κατασκευής $\leq 2.000 \text{ Ευρώ}$
E	Δυνατότητα συναρμολόγησης όλων των απαιτούμενων εξαρτημάτων, εντός των εγκαταστάσεων των Μηχανολογικών Εργαστηρίων I & II του Τ.Ε.Ι. Πειραιά
A	Χρήση μη τοξικών υλικών για την υγεία του ανθρώπου, κατά τη διάρκεια της κατασκευαστικής διαδικασίας
A	Χρήση υλικών κατασκευής που παρουσιάζουν χαμηλό συντελεστή κυβικής διαστολής σε θερμοκρασιακό περιβάλλον $[10 \text{ }^\circ\text{C}, 35 \text{ }^\circ\text{C}]$



## 2.2 Στάδιο Σύλληψης της Ιδέας

Το στάδιο σύλληψης της ιδέας, αποτελεί τον ενδιάμεσο κρίκο ανάμεσα στο στάδιο της διασάφησης του προβλήματος και της σχεδιομελέτης.

Αποτελείται από μία αλληλουχία διαδικασιών, μέσω των οποίων εντοπίζεται και εξετάζεται ο πυρήνας του προβλήματος. Στη συνέχεια, αναλύονται πιθανές λύσεις που προκύπτουν μέσα από μεθόδους αναζήτησης και συνδυάζονται σε νέα σύνολα.

Οι νέες λύσεις που εμφανίζονται, σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες, αξιολογούνται συναρτήσει διάφορων κριτηρίων προκειμένου να βρούμε την τελική λύση, η οποία θα παρέχει τα βέλτιστα χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, εφόσον τηρηθούν οι βασικές αρχές της μεθοδολογίας χωρίς παρεκκλίσεις, το αποτέλεσμα του σταδίου αυτού θα διαθέτει μία πραγματοποιήσιμη και άρτια τεχνικά λύση, η οποία θα είναι σε πλήρη συμφωνία με τις προδιαγραφές που τέθηκαν.

### 2.2.1 Αφαίρεση – Διατύπωση του προβλήματος

Η διατύπωση του προβλήματος, προκύπτει μέσα από τα πέντε διαδοχικά βήματα που παρουσιάζονται παρακάτω και εφαρμόζονται στον πίνακα προδιαγραφών.

Κατά το πρώτο βήμα, αφαιρούμε το σύνολο των προδιαγραφών, που χαρακτηρίστηκαν ως «επιθυμίες». Στη συνέχεια, συγκρατούμε τις απαιτήσεις που επηρεάζουν άμεσα τη βασική λειτουργία, ενώ μετά, εκφράζουμε τα ποσοτικά μεγέθη ως ποιοτικά στοιχεία. Στο 4<sup>ο</sup> βήμα, διευρύνουμε τα δεδομένα, χωρίς ωστόσο να αλλοιώνουμε τα χαρακτηριστικά των αρχικών προδιαγραφών. Το τελικό στάδιο, περιλαμβάνει τη διατύπωση του προβλήματος που εστιάζει στον πυρήνα αυτού, χωρίς παραπομπές σε πιθανές λύσεις.

Σύμφωνα με τους Pahl, Beitz, Feldhuse και Grote (2007), ο σκοπός του σταδίου αυτού, είναι «η ανάλυση της λίστας των προδιαγραφών με σεβασμό στην απαιτούμενη λειτουργία και στους απαραίτητους περιορισμούς, προκειμένου να επιβεβαιώσουμε αλλά και να εξάγουμε το ουσιαστικό ζήτημα του προβλήματος».

*-1<sup>ο</sup> βήμα: Νοερή εγκατάλειψη επιθυμιών*

Μετατόπιση αισθητήρα σε οποιοδήποτε σημείο εντός του θαλάμου δοκιμών διαστάσεων $X \times y \times z = 2.440 \text{ mm} \times 640 \text{ mm} \times 610 \text{ mm}$
Διατήρηση αισθητήρα στην επιθυμητή θέση εντός του θαλάμου δοκιμών, για τιμές ταχύτητας αέρα $\leq 30 \text{ m/s}$
Διακριτική ικανότητα μετατόπισης αισθητήρα προς όλες τις διευθύνσεις $\leq 1 \text{ mm}$
Δυνατότητα συγκράτησης αισθητήρων όπως Hot Wire Anemometers, Multi-hole pressure probes και Pitot tubes
Ρυθμιζόμενη γωνία εκτροπής (yaw angle) στην περιοχή τιμών $[-30^\circ, 30^\circ]$
Ρυθμιζόμενη γωνία βήματος (pitch angle) στην περιοχή τιμών $[-30^\circ, 30^\circ]$
Μέγιστη επιτρεπτή μάζα μετατοπιζόμενου αισθητηρίου οργάνου $\leq 1 \text{ kg}$
Ελάχιστες δυνατές ταλαντώσεις του αισθητήρα προς όλες τις διευθύνσεις κίνησης κατά τη λήψη μετρήσεων εντός του θαλάμου δοκιμών
Συνεχής παροχή ενδείξεων θέσης του εκάστοτε αισθητήρα, εντός του θαλάμου δοκιμών της αεροσήραγγας
Δυνατότητα αναλυτικής καταγραφής ιστορικού μετατόπισης αισθητήρα και άμεσης διάθεσής του
Ηχητικό σήμα προειδοποίησης κατά τη μετατόπιση του αισθητήρα, εντός του θαλάμου δοκιμών της αεροσήραγγας
Διάταξη μετατόπισης φιλική προς το χρήστη
Στάθμη θορύβου κατά τη λειτουργία της μηχανής $\leq 30 \text{ dB(A)}$
Δυνατότητα μελλοντικής αναβάθμισης-επέκτασης λειτουργιών συστήματος
Μέγιστο επιτρεπτό κόστος απαιτούμενων υλικών κατασκευής $\leq 1.500 \text{ Ευρώ}$
Δυνατότητα συναρμολόγησης όλων των απαιτούμενων εξαρτημάτων, εντός των εγκαταστάσεων των Μηχανολογικών Εργαστηρίων I & II του Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Χρήση μη τοξικών υλικών, για την υγεία του ανθρώπου, κατά τη διάρκεια της κατασκευαστικής διαδικασίας
Χρήση υλικών κατασκευής που παρουσιάζουν χαμηλό συντελεστή κυβικής διαστολής σε θερμοκρασιακό περιβάλλον $[10 \text{ }^\circ\text{C}, 35 \text{ }^\circ\text{C}]$



- 2<sup>ο</sup> βήμα: Εγκατάλειψη των απαιτήσεων που δεν επηρεάζουν άμεσα τη λειτουργία και τους βασικούς όρους

Μετατόπιση αισθητήρα σε οποιοδήποτε σημείο εντός του θαλάμου δοκιμών διαστάσεων $x \times y \times z = 2.440 \text{ mm} \times 640 \text{ mm} \times 610 \text{ mm}$
Διατήρηση αισθητήρα στην επιθυμητή θέση εντός του θαλάμου δοκιμών, για τιμές ταχύτητας αέρα $\leq 30 \text{ m/s}$
Δυνατότητα συγκράτησης αισθητήρων όπως Hot Wire Anemometers, Multi-hole pressure probes και Pitot tubes
Ρυθμιζόμενη γωνία εκτροπής (yaw angle) στην περιοχή τιμών $[-30^\circ, 30^\circ]$
Ρυθμιζόμενη γωνία βήματος (pitch angle) στην περιοχή τιμών $[-30^\circ, 30^\circ]$
Μέγιστη επιτρεπτή μάζα μετατοπιζόμενου αισθητηρίου οργάνου $\leq 1 \text{ kg}$
Συνεχής παροχή ενδείξεων θέσης του εκάστοτε αισθητήρα, εντός του θαλάμου δοκιμών της αεροσήραγγας
Δυνατότητα αναλυτικής καταγραφής ιστορικού μετατόπισης αισθητήρα και άμεσης διάθεσής του
Στάθμη θορύβου κατά τη λειτουργία της μηχανής $\leq 30 \text{ dB(A)}$
Χρήση υλικών κατασκευής που παρουσιάζουν χαμηλό συντελεστή κυβικής διαστολής σε θερμοκρασιακό περιβάλλον $[10 \text{ }^\circ\text{C}, 35 \text{ }^\circ\text{C}]$

- 3<sup>ο</sup> βήμα: Μετατροπή των ποσοτικών δεδομένων σε ποιοτικά και συγχρόνως σύμπτυξη στις κυριότερες έννοιες

Μετατόπιση αισθητήρα σε οποιοδήποτε σημείο εντός θαλάμου ορθογώνιας γεωμετρίας
Διατήρηση αισθητήρα στην επιθυμητή θέση
Δυνατότητα συγκράτησης αισθητήρων πολλαπλών τύπων
Διαφορετικές τιμές γωνίας εκτροπής (yaw angle)
Διαφορετικές τιμές γωνίας βήματος (pitch angle)
Διαφορετικές μάζες μετατοπιζόμενων αισθητηρίων οργάνων
Συνεχής παροχή και καταγραφή ενδείξεων θέσης του εκάστοτε αισθητήρα, εντός του θαλάμου δοκιμών της αεροσήραγγας

*-4<sup>ο</sup> βήμα: Εύλογη διεύρυνση αυτών που προέκυψαν*

Μετατόπιση και συγκράτηση αισθητήρα σε οποιοδήποτε σημείο εντός του θαλάμου δοκιμών
---

Χρήση αισθητήρων πολλαπλών τύπων
----------------------------------

Ρύθμιση γωνίας εκτροπής (yaw angle) και γωνίας βήματος (pitch angle)
--

παροχή και καταγραφή ενδείξεων θέσης αισθητήρα
--

*-5<sup>ο</sup> βήμα: Ουδέτερη διατύπωση του προβλήματος, ανεξάρτητα από τη λύση*

Μετατόπιση και συγκράτηση αισθητήρων πολλαπλών τύπων, εντός θαλάμου, με δυνατότητα ρύθμισης γωνιών εκτροπής (yaw angle), βήματος (pitch angle) και καταγραφής ενδείξεων θέσης.

## 2.2.2 Δομή Λειτουργίας – Επιμέρους Λειτουργίες

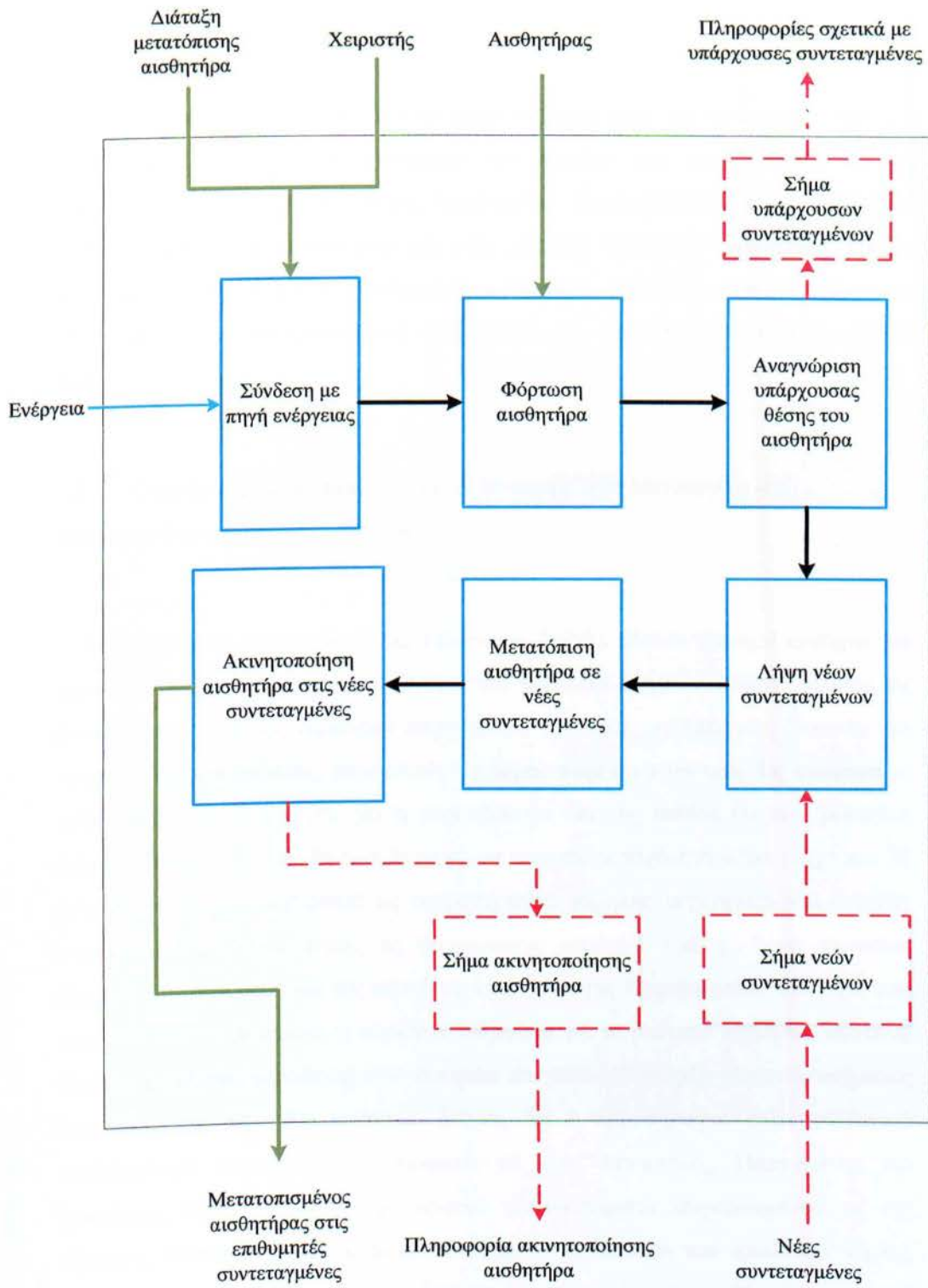
Η μετατόπιση ενός αισθητήρα στις επιθυμητές συντεταγμένες, εντός του θαλάμου δοκιμών, αποτελεί την περιγραφή της ολικής λειτουργίας του προβλήματος. Η ολική λειτουργία, «καθορίζει, ανεξάρτητα από τη λύση, τη σχέση των μεγεθών εισόδου και εξόδου» (Στεργίου 2007) τα οποία μπορούν να διαχωριστούν σε ενέργεια, ύλη και σήμα.

Επίσης, μπορεί να διαχωριστεί σε περαιτέρω λειτουργίες, οι οποίες καλούνται κύριες ή δευτερεύουσες. Η σύνδεση αυτών των λειτουργιών με τα μεγέθη εισόδου-εξόδου καθώς και μεταξύ τους, αποτελεί τη «δομή λειτουργίας» του συστήματος.

Η συγκρότηση της δομής λειτουργίας, έγινε με βάση τον πίνακα προδιαγραφών και την ουδέτερη διατύπωση του προβλήματος, θεωρώντας ότι το θέμα προς επίλυση αποτελεί μία νέα κατασκευή και όχι μία κατασκευή προσαρμογής.

Η υλοποίηση του τελικού διαγράμματος ροής, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1 βοηθάει στην εξαγωγή μονοσήμαντων λειτουργικών σχέσεων του συστήματος καθώς και στην μετέπειτα εύρεση τεχνικών λύσεων της μεθοδολογίας.





Σχήμα 2.1. Διάγραμμα ροής των λειτουργιών που απαιτούνται για την μετατόπιση αισθητήρων εντός του θαλάμου δοκιμών της αεροσήραγγας.

### 2.2.3 Αναζήτηση λύσεων

Η αναζήτηση λύσεων αποτελεί το επόμενο βήμα μετά την οριστικοποίηση του πίνακα προδιαγραφών, τον εντοπισμό του πυρήνα του προβλήματος και τη δημιουργία του σχεδίου της δομής λειτουργίας. Περιλαμβάνει ένα συγκεκριμένο αριθμό σταδίων και εφαρμόζεται για κάθε μία από τις κύριες λειτουργίες. Για το συγκεκριμένο πρόβλημα, η συστηματική αναζήτηση, θα πραγματοποιηθεί μόνο για την κύρια λειτουργία (μετατόπιση αισθητήρα), για την οποία δεν υπάρχει σαφής λύση.

#### 2.2.3.1 Στοιχεία βιβλιογραφίας σχετικά με το περιβάλλον λειτουργίας του μηχανισμού μετατόπισης αισθητήρα

Οι Μπεργελές, Παπαντώνης και Τσάγγαρης (1998), θέτουν τέσσερα κριτήρια για τη κατηγοριοποίηση των αεροσήραγγων: την ταχύτητα ροής στο τμήμα δοκιμών, τις δυνατότητες εκτέλεσης διαφόρων πειραμάτων, τον τύπο του τμήματος δοκιμών και τον τύπο του κυκλώματος, όπου κινείται ο αέρας στην εγκατάσταση. Ως αναφορά το πρώτο κριτήριο, δεδομένου ότι η αεροσήραγγα επί της οποίας θα εφαρμοστεί η διάταξη μετατόπισης αισθητήρα δύναται να αναπτύξει ταχύτητα αέρα μέχρι και 30 m/s, μπορεί να χαρακτηριστεί ως «αεροσήραγγα χαμηλής ταχύτητας» και ο αέρας που κυκλοφορεί εντός αυτής ως «ασυμπιεστο ρευστό». Επίσης, λόγω απουσίας ελέγχου του ποσοστού επί της εκατό υγρασίας και της θερμοκρασίας του αέρα που ρέει στο θάλαμο δοκιμών, η σήραγγα, σύμφωνα με το δεύτερο κριτήριο, αποτελεί διάταξη εκτέλεσης αεροδυναμικών δοκιμών και μόνο. Η ύπαρξη κλειστού τμήματος δοκιμών, κατά το τρίτο κριτήριο, δείχνει ότι η αεροσήραγγα είναι «κλειστού κυκλώματος». Τέτοιοι τύποι, σύμφωνα με τους Μπεργελές, Παπαντώνης και Τσάγγαρης (1998), προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα συγκρινόμενοι με της σήραγγες «ανοικτού κυκλώματος», τα οποία είναι: Μείωση των απωλειών ισχύος, έλλειψη αστάθειας στα άκρα της δέσμης του αέρα, λιγότερος θόρυβος κατά τη λειτουργία καθώς και δυνατότητα πραγματοποίησης μετρήσεων σε σημεία τοιχωμάτων (slotted walls). Το τέταρτο κριτήριο, διαχωρίζει τις αεροσήραγγες, συναρτήσει της ροής του αέρα, σε κλειστού κυκλώματος και ανοικτού η NPL (από τα



αρχικά National Physical Laboratory, όπου κατασκευάστηκαν για πρώτη φορά). Λόγω της υφιστάμενης διάταξης η αεροσήραγγα είναι ανοικτού κυκλώματος. Επίσης, εξαιτίας της κίνησης του αέρα μέσω περιστρεφόμενων πτερυγίων σταθερού βήματος, η παροχή του αέρα είναι σταθερή, άρα έχουμε αεροσήραγγα συνεχούς λειτουργίας.

Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, η διάταξη μετατόπισης αισθητήρα, θα εφαρμοσθεί σε «σήραγγα αεροδυναμικών δοκιμών, χαμηλής ταχύτητας αέρα, κλειστού τμήματος δοκιμών και ανοικτού κυκλώματος».

Το τμήμα δοκιμών της αεροσήραγγας, λόγω του κλειστού τύπου, για δεδομένες τιμές ταχύτητας, απωλειών αέρα και λόγου έμφραξης  $\varepsilon = S/C$  (όπου "S"= η επιφάνεια του μοντέλου που προβάλλει κάθετα στη ροή του αέρα και "C"= η επιφάνεια της διατομής του θαλάμου δοκιμών) όπως αναφέρουν οι Takeda και Kato (1992) -, απαιτεί ισχύ προσ αυξημένη κατά επτά φορές, συγκρινόμενο με αντίστοιχο τμήμα αεροσήραγγας ανοικτού κυκλώματος, Το φαινόμενο αυτό έχει επιβεβαιωθεί από σχετικές μελέτες, σύμφωνα με τους Μπεργελές, Παπαντώνης και Τσαγγάρης (1998). Επίσης, στις μελέτες αυτές, διατυπώνεται ο λόγος των αντιστάσεων ανοικτού-κλειστού κυκλώματος, ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ 5÷1 και 10÷1.

Η πλήρης περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών μιας αεροσήραγγας, περιλαμβάνει και τον υπολογισμό του στοιχείου «k», το οποίο χρησιμοποιείται ως συντελεστής απόδοσης και δίνεται από τη σχέση:

$$k = \frac{\frac{1}{2} \rho V^3 A_w}{P} \quad 2.1$$

$k \in [3,3 , 4,0]$  για αεροσήραγγες κλειστού τμήματος δοκιμών

$k \in [2,2 , 2,8]$  για αεροσήραγγες ανοικτού τμήματος δοκιμών

$\rho$ : πυκνότητα αέρα ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$V$ : ταχύτητα αέρα εντός του θαλάμου δοκιμών ( $\text{m}/\text{s}$ )

$A_w$  : η διατομή της ροής στο τμήμα δοκιμών ( $\text{m}^2$ )

$P$ : ισχύς του κινητήρα ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3$ )

Σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του υπάρχοντος ηλεκτροκινητήρα, για τάση τροφοδοσίας = 440 V ( $f=50$  Hz), η μέγιστη ονομαστική ισχύς είναι ίση με

$P=15 \text{ kW} = 1530 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ . Επίσης, από τα δοθέντα στοιχεία της αεροσήραγγας, η μέγιστη ταχύτητα αέρα που μπορεί να επιτευχθεί εντός του θαλάμου δοκιμών είναι ίση με  $u = 29 \text{ m/s}$ .

Η πυκνότητα του αέρα για θερμοκρασία λειτουργίας  $T=25 \text{ }^\circ\text{C}$  λαμβάνεται ως  $1,184 \text{ kg/m}^3$  σύμφωνα με τον Gieck (2006). Κατά την αποτύπωση του θαλάμου σε σχέδιο, βρέθηκε ότι η διατομή της ροής στο τμήμα δοκιμών είναι ορθογώνιας γεωμετρίας, διαστάσεων  $y \times z = 0,61\text{m} \times 0,636\text{m} = 0,3879 \text{ m}^2$ .

Εφαρμόζοντας τα αριθμητικά δεδομένα της σχέσης 2.1 έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

$$k = \frac{\frac{1}{2} \cdot 1,184 \cdot 29^3 \cdot 0,3879}{1530} = 3,68$$

Παρατηρούμε ότι η τιμή του  $k \in [3,3, 4]$ , που ισχύει αφού η αεροσήραγγα διαθέτει κλειστό τμήμα δοκιμών. Ως φυσική σημασία, το παραπάνω αποτέλεσμα δείχνει ότι η αντίσταση του θαλάμου δοκιμών αντιστοιχεί στο 36,8 % επί του συνόλου της αντίστασης του κυκλώματος κατά τη λειτουργία.

Η τιμή του « $k$ », υπολογίστηκε έχοντας ως βάση τον υφιστάμενο ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος στο μέλλον θα αντικατασταθεί με τριφασικό κινητήρα νεότερης τεχνολογίας, ο οποίος σύμφωνα με το εγχειρίδιο της κατασκευάστριας εταιρίας Siemens, διαθέτει δύο τιμές μέγιστης ονομαστικής ισχύος, όπως φαίνεται στο σχετικό πίνακα:

Πίνακας 2.2.

Ονομαστικά χαρακτηριστικά ηλεκτροκινητήρα «1LE-1» (πηγή: Siemens GmbH).

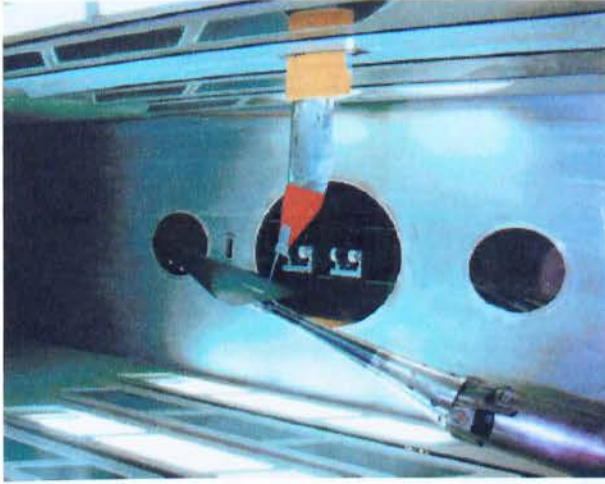
Ισχύς P (kW)	στροφές ανά λεπτό (rpm)	Τάση V (V)	ρεύμα I (A)	συχνότητα f (Hz)
22	1.465	400	24,5	50
25,3	1.765	400	41,5	60

Ο υπολογισμός του « $k$ » για το νέο κινητήρα, μπορεί να πραγματοποιηθεί, εφόσον υλοποιηθεί εκ νέου διαδικασία βαθμονόμησης της αεροσήραγγας και είναι διαθέσιμες οι τιμές της ταχύτητας του αέρα στο θάλαμο δοκιμών συναρτήσει των στροφών-ισχύος του κινητήρα.

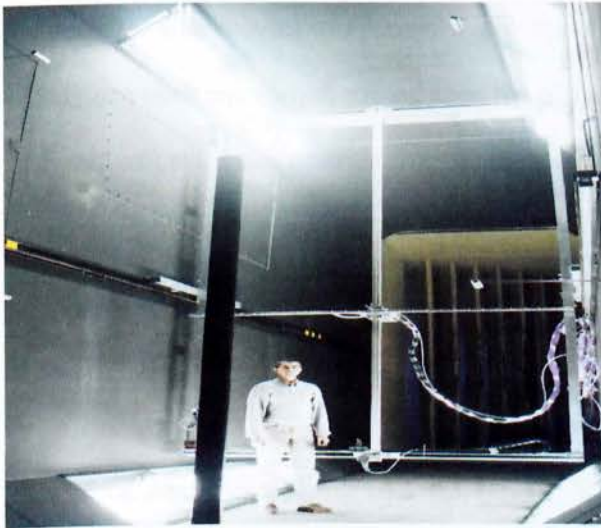


### 2.2.3.2 Ανάλυση γνωστών τεχνικών συστημάτων

Σε αεροσήραγγες με παρόμοια τεχνικά χαρακτηριστικά, έχουν υιοθετηθεί ποικίλα συστήματα μετατόπισης αισθητήρα (traversing systems), όπως φαίνεται και στις εικόνες που ακολουθούν:



Σχήμα 2.2. Διάταξη μετατόπισης αισθητήρα τεσσάρων βαθμών ελευθερίας, εντός θαλάμου δοκιμών αεροσήραγγας κλειστού κυκλώματος (πηγή: National Aerospace Laboratory of Netherlands).



Σχήμα 2.3. Διάταξη μετατόπισης αισθητήρα τριών βαθμών ελευθερίας, εντός του θαλάμου δοκιμών αεροσήραγγας ανοικτού κυκλώματος (πηγή: University of Alberta).

Η διάταξη του σχήματος 2.2, παρουσιάζει τα ακόλουθα στοιχεία συστήματος:

α.) Βραχίονας.

- 1.) Αξονική και ακτινική έδραση της άρθρωσης βραχίονα.
- 2.) Ευθύγραμμη μετατόπιση της άρθρωσης ως προς τον άξονα x'x.
- 3.) Ευθύγραμμη μετατόπιση της άρθρωσης ως προς τον άξονα z'z.

β.) Άρθρωση βραχίονα.

- 1.) Μεταβολή της γωνίας βήματος του αισθητήρα.
- 2.) Έδραση αισθητήρα.

γ.) Αύλακας οροφής θαλάμου.

- 1.) Οδήγηση της βάσης στήριξης του βραχίονα ως προς τον άξονα x'x.

δ.) Κέλυφος αύλακα οροφής θαλάμου.

1.) Απομόνωση του αέρα εντός του θαλάμου δοκιμών, από το εξωτερικό περιβάλλον.

- 2.) Οδήγηση της ροής του αέρα, κατά τη λειτουργία της αεροσήραγγας.

ε.) Βάση στήριξης βραχίονα (κίτρινο χρώμα).

- 1.) Παραλαβή των ροπών που ασκούνται στο βραχίονα από τη ροή του αέρα.
- 2.) Οδήγηση του βραχίονα κατά την κίνησή του ως προς τον άξονα z'z.
- 3.) Παραλαβή της δυναμικής ενέργειας μετατόπισης του βραχίονα ως προς τον άξονα x'x.

Από τα παραπάνω στοιχεία και μέσω συνδυασμού αυτών, καταλήγουμε στις επιμέρους λειτουργίες που εκτελεί ο μηχανισμός:

α.) Παραλαβή δυνάμεων και σήματος ρύθμισης (A2, A3, B1, Γ1, E2, E3)

β.) Μετατόπιση του αισθητήρα (A2, A3, B1, Γ1, E2, E3)

γ.) Παραλαβή ροπής αντίδρασης (A1, B2, Γ1, Δ2, E1, E2)

δ.) Στεγανοποίηση θαλάμου δοκιμών (Δ1)



Οι επιμέρους λειτουργίες, μπορούν να γενικευτούν, έτσι ώστε να αποτυπωθεί μία εικόνα των διεργασιών που πραγματοποιούνται, συναρτήσει της ύλης, της ενέργειας και του σήματος:

- α.) Μεταφορά ροής ενέργειας και σήματος. Σύνδεση ροής ενέργειας και σήματος.
- β.) Μετατροπή ενέργειας.
- γ.) Μεταφορά ροής ενέργειας.
- δ.) Μη μεταφορά ροής ύλης.

Η ίδια διαδικασία ανάλυσης ακολουθείται και για το σχήμα 2.3. Η διάταξη μετατόπισης αισθητήρων που απεικονίζεται, είναι παρόμοια με την υπάρχουσα κατασκευή που χρησιμοποιείται στο Εργαστήριο Μηχανικής Ρευστών του Ε.Μ.Π..

Τα στοιχεία συστήματος για αυτή τη διάταξη είναι τα εξής:

- α.) Σύνδεσμος ραγών αξόνων  $y'y$  και  $z'z$ .
  - 1.) Έδραση του αισθητήρα.
  - 2.) Παραλαβή ενέργειας μετατόπισης αισθητήρα.
  - 3.) Μετατόπιση αισθητήρα στους άξονες  $y'y$  και  $z'z$ .
- β.) Ράγα κύλισης άξονα  $y'y$ .
  - 1.) Ευθύγραμμη μετατόπιση συνδέσμου κοχλιών στον άξονα  $y'y$ .
  - 2.) Ακτινική και αξονική έδραση συνδέσμου κοχλιών.
- γ.) Ράγα κύλισης άξονα  $z'z$ .
  - 1.) Ευθύγραμμη μετατόπιση συνδέσμου κοχλιών στον άξονα  $y'y$ .
  - 2.) Ακτινική και αξονική έδραση συνδέσμου κοχλιών.
- δ.) Πλαίσιο μηχανισμού μετατόπισης αισθητήρα.
  - 1.) Οδήγηση ράγας κύλισης άξονα  $z'z$ .

- 2.) Οδήγηση ράγας κύλισης άξονα  $y'y$ .
  - 3.) Στήριξη.
  - 4.) Ευθύγραμμη μετατόπιση ραγών στον άξονα  $x'x$ .
  - 5.) Παραλαβή ενέργειας μετατόπισης των ραγών ως προς τον άξονα  $x'x$ .
- ε.) Ράγα κύλισης πλαισίου.
- 1.) Οδήγηση πλαισίου στον άξονα  $x'x$ .
  - 2.) Στήριξη πλαισίου.

Από τα παραπάνω στοιχεία και μέσω συνδυασμού αυτών, καταλήγουμε στις επιμέρους λειτουργίες που εκτελεί ο μηχανισμός:

- α.) Παραλαβή δυνάμεων και σήματος ρύθμισης (A2, A3, B1, Γ1, Δ1, Δ2, Δ4, Δ5, E1)
- β.) Μετατόπιση αισθητήρα (A2, A3, B1, Γ1, Δ1, Δ2, Δ4, Δ5, E1)
- γ.) Παραλαβή ροπής αντίδρασης (A1, B2, Γ2, Δ1, Δ2, Δ3, E1, E2)

Οι επιμέρους λειτουργίες, μπορούν να γενικευτούν, προκειμένου να αποτυπωθεί μία εικόνα των διεργασιών που πραγματοποιούνται, συναρτήσει της ύλης, της ενέργειας και του σήματος, όπως έγινε και κατά την ανάλυση της προηγούμενης διάταξης:

- α.) Μεταφορά ροής ενέργειας και σήματος. Σύνδεση ροής ενέργειας και σήματος.
- β.) Μετατροπή ενέργειας.
- γ.) Μεταφορά ροής ενέργειας.

Οι πληροφορίες της ανάλυσης των συστημάτων αυτών, είναι σημαντικές καθώς προσφέρουν ιδέες σχετικά με την κατασκευή, που μπορούν να συνδυαστούν και να αποδώσουν νέες λύσεις.

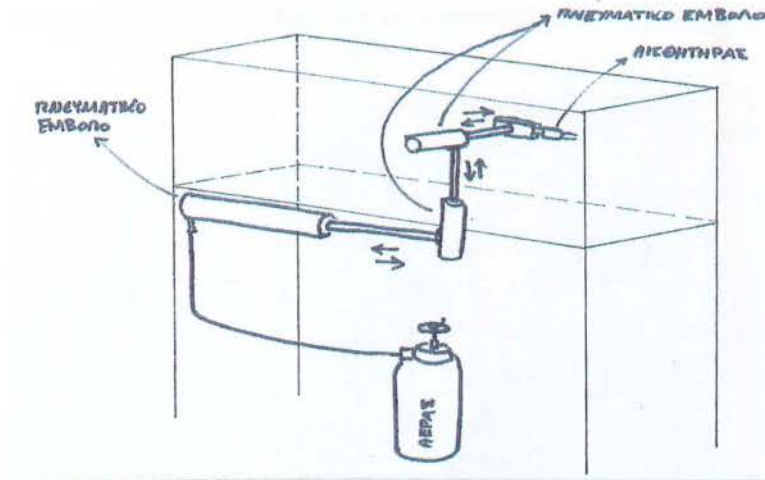


### 2.2.3.3 Brainstorming

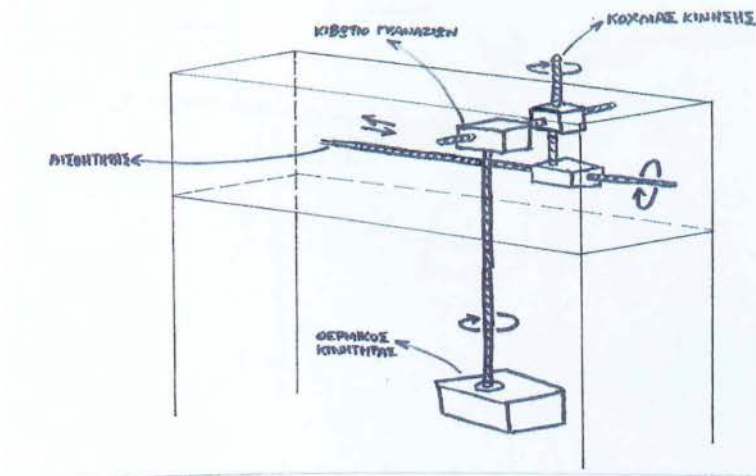
Ο όρος «Brainstorming», αναφέρεται στις αυθόρμητες ιδέες που προκύπτουν από τη σκέψη και στόχο έχουν τη λύση δοθέντος προβλήματος. Οι ιδέες αυτές δεν είναι προϊόν συστηματικής μελέτης, ούτε ανάλυσης των δεδομένων.

Η μέθοδος αυτή είναι καθαρά διαισθητική και εφαρμόστικη, προκειμένου να αποτελέσει μία πηγή ιδεών σχετικά με τη μετατόπιση του αισθητήρα.

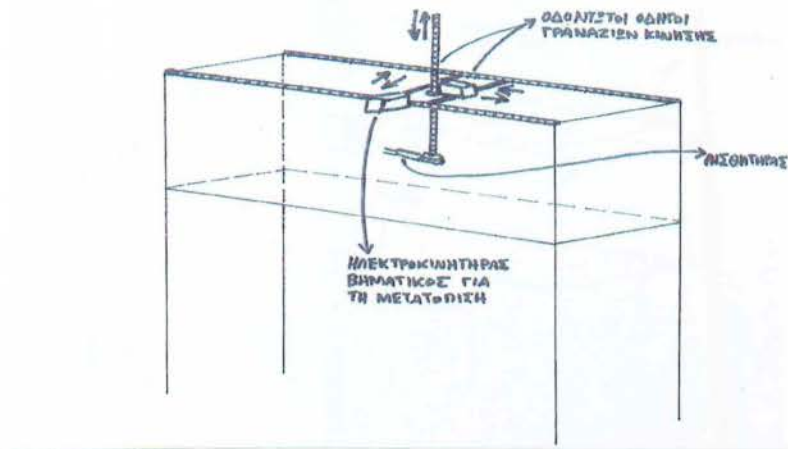
α.) Χρήση πνευματικών εμβόλων και φιάλης πεπιεσμένου αέρα (S1).



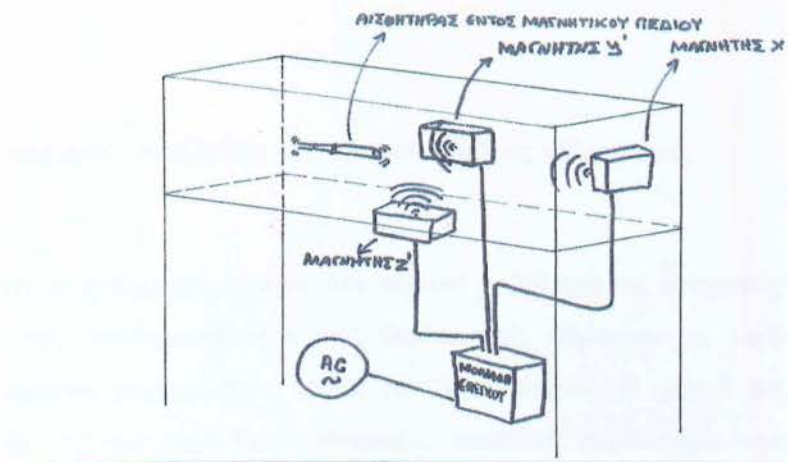
β.) Χρήση θερμικού κινητήρα, κιβωτίου ταχυτήτων και τραπεζοειδών κοχλίων (S2).



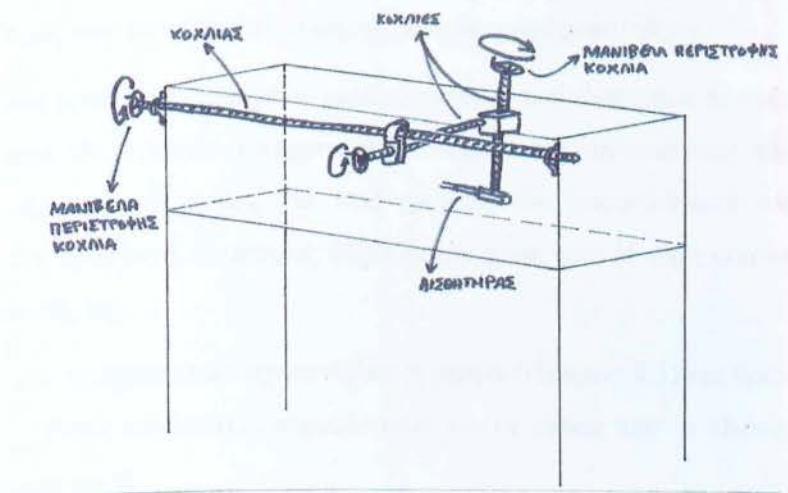
γ.) Χρήση βηματικών κινητήρων με πιόν και οδοντωτών οδηγών (S3).



δ.) Χρήση ηλεκτρομαγνητικού πεδίου για τη μετατόπιση του αισθητήρα (S4).

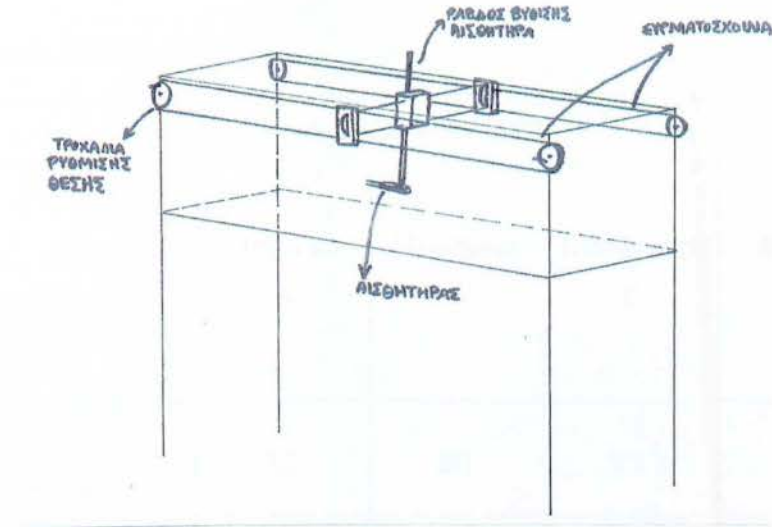


ε.) Χρήση χειροκίνητων τραπεζοειδών κοχλιών (S5).





στ.) Χρήση χειροκίνητων τροχαλιών και συρματοσχοινών (S6).



#### 2.2.3.4 Συστηματική αναζήτηση με τη βοήθεια μήτρας ταξινόμησης

Η περαιτέρω αναζήτηση λύσεων στο τεχνικό πρόβλημα της πτυχιακής εργασίας, βασίζεται στη συστηματοποίηση της διαδικασίας, σύμφωνα με μεθόδους που χρησιμοποιούνται ευρέως στον τομέα των κατασκευών. Η μήτρα ταξινόμησης, γνωστή και ως «μορφολογικός πίνακας», αποτελεί παράδειγμα συστηματικής προσέγγισης των δεδομένων και βασικό εργαλείο για την εξεύρεση λύσης.

Το πρώτο βήμα για τη δημιουργία μίας μήτρας ταξινόμησης, είναι ο προσδιορισμός των απόψεων ταξινόμησης, που θα χρησιμοποιηθούν.

Οι απόψεις είναι ομαδοποιημένα χαρακτηριστικά των ιδεών που προέκυψαν κατά τη διαδικασία του «Brainstorming» και αποτελούν τις συνδυαστικές παραμέτρους που εμφανίζονται στις στήλες και στις γραμμές του μορφολογικού πίνακα. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, οι απόψεις ταξινόμησης είναι δύο: Η πηγή ενέργειας και το μέσο μετάδοσής της.

Με βάση τα στοιχεία αυτά, σχηματίζεται η μήτρα (Πίνακας 1.3) και προκύπτουν οι συνδυασμοί. Εντός του πίνακα, σημειώνονται και οι λύσεις από το «Brainstorming» στα αντίστοιχα κελιά.

Πίνακας 2.3

Μορφολογικός πίνακας απόψεων ταξινόμησης.

ΜΗΤΡΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ				
Πηγή ενέργειας Μέσο μετάδοσης ενέργειας	Μηχανική Α	Ηλεκτρική Β	Πνευματική Γ	Θερμική Δ
1 Κοχλίας	S5	B1	Γ1	S2
2 Τροχαλία	S6	B2	Γ2	Δ2
3 Έμβολο	A3	B3	S1	Δ3
4 Πηνίο	A4	S4	Γ4	Δ4
5 Οδοντωτός κανόνας	A5	S3	Γ5	Δ5

Οι λύσεις που προέκυψαν από τον συνδυασμό των απόψεων ταξινόμησης στο μορφολογικό πίνακα, περιγράφονται παρακάτω. Δεν αναφέρονται οι λύσεις που φέρουν το γράμμα «S», καθώς προέρχονται από το «Brainstorming».

α.) Λύση «A3». Περιλαμβάνει τη χρήση εμβόλων, τα οποία συνδέονται με χειροκίνητη αντλία αέρα και αναπτύσσουν τα βάκτρα τους στις επιθυμητές συντεταγμένες, προκειμένου να μετατοπιστεί ο αισθητήρας.

β.) Λύση «A4». Το μεταλλικό σώμα του αισθητήρα, διατηρείται και μετακινείται στις επιθυμητές συντεταγμένες, μέσω αναπτυσσόμενου ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, το οποίο δημιουργείται από πηνία συνδεδεμένα σε χειροκίνητη γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος.



γ.) Λύση «Α5». Το στέλεχος του αισθητήρα μετατοπίζεται εντός του θαλάμου δοκιμών, μέσω γραναζιών που κυλάνε πάνω σε πακτωμένους οδοντωτούς κανόνες. Τα γρανάζια περιστρέφονται χειροκίνητα μέσω μανιβέλας.

δ.) Λύση «Β1». Ο αισθητήρας μετατοπίζεται μέσω τραπεζοειδών κοχλιών. Η κίνηση των κοχλιών ελέγχεται από ηλεκτρικούς ή βηματικούς κινητήρες.

ε.) Λύση «Β2». Περιλαμβάνει τροχαλίες που έλκουν ή απωθούν τον αισθητήρα, προκειμένου να τον οδηγήσουν στην επιθυμητή θέση. Το σύνολο των τροχαλιών είναι συνδεδεμένο με βηματικούς κινητήρες, που αναλαμβάνουν την κίνησή τους.

στ.) Λύση «Β3». Η λύση αυτή, περιλαμβάνει έμβολα, τα οποία συνδέονται με ηλεκτρική αντλία αέρα και αναπτύσσοντας τα βάρη τους, μετατοπίζουν τον αισθητήρα στις συντεταγμένες που απαιτούνται.

ζ.) Λύση «Γ1». Ο αισθητήρας αλλάζει συντεταγμένες θέσης, μέσω τραπεζοειδών κοχλιών που συνδέονται με τη βάση στήριξής του. Πεπιεσμένος αέρας από φιάλη, κινεί τις φτερωτές που εδράζονται αξονικά στα άκρα των κοχλιών. Με τον τρόπο αυτό παρέχεται η απαραίτητη ενέργεια.

η.) Λύση «Γ2». Χρησιμοποιούνται τροχαλίες που έλκουν ή απωθούν τον αισθητήρα, αναλόγως την επιθυμητή θέση. Η κινητική ενέργεια της κάθε τροχαλίας, προέρχεται από φτερωτή που εδράζεται σε αυτή αξονικά. Μέσω φιάλης πεπιεσμένου αέρα, δίνεται η απαραίτητη ώθηση στη φτερωτή.

θ.) Λύση «Γ4». Πεπιεσμένος αέρας από φιάλη, περιστρέφει φτερωτή συνδεδεμένη με ηλεκτρογεννήτρια. Το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα, σε συνδυασμό με κατάλληλα τοποθετημένα πηνία, δημιουργεί ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που επηρεάζει τη θέση του μεταλλικού αισθητήρα στο θάλαμο δοκιμών.

ι.) Λύση «Γ5». Ο φορέας του αισθητήρα, προκειμένου να μετατοπιστεί στην επιθυμητή θέση, κινείται σε οδοντωτούς κανόνες. Η κινητική ενέργεια των γραναζιών του φορέα, προέρχεται από φτερωτές, προσαρμοσμένες σε αυτά, που περιστρέφονται μέσω πεπιεσμένου αέρα από φιάλη.

κ.) Λύση «Δ2». Τροχαλίες συνδεδεμένες με κιβώτιο ταχυτήτων θερμικού κινητήρα, έλκουν ή απωθούν τον αισθητήρα, προκειμένου να αποκτήσει τις επιθυμητές συντεταγμένες.

λ.) Λύση «Δ3». Σύμφωνα με αυτή τη λύση, θερμικός κινητήρας κινεί ένα μηχανικό αεροσυμπιεστή, ο οποίος παράγει πεπιεσμένο αέρα και είναι συνδεδεμένος με πνευματικά έμβολα. Αυτά αναπτύσσουν ελεγχόμενα τα βάρη τους προκειμένου να μετατοπιστεί ο αισθητήρας.

μ.) Λύση «Δ4». Θερμικός κινητήρας αποτελεί τμήμα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους, το οποίο τροφοδοτεί με ρεύμα πηνία, εντός του θάλαμο δοκιμών. Τα αναπτυσσόμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, συγκρατούν και μετατοπίζουν το μεταλλικό αισθητήρα στην επιθυμητή θέση.

ν.) Λύση «Δ5». Για την κίνηση του στελέχους συγκράτησης του αισθητήρα, χρησιμοποιούνται γρανάζια, που κυλάνε σε οδοντωτούς κανόνες. Η ελεγχόμενη κίνηση των γραναζιών, πραγματοποιείται μέσω της σύνδεσής τους με θερμικό κινητήρα.

#### 2.2.3.5 Πίνακες επιλογής και αξιολόγησης κύριας λειτουργίας

Οι πίνακες επιλογής και αξιολόγησης της κύριας λειτουργίας επιτρέπουν την απόρριψη λύσεων, που κρίνονται ακατάλληλες. Αυτές που θα προκριθούν, καλύπτουν συγκεκριμένα κριτήρια, τα οποία ωστόσο, δεν αφορούν μόνο το τεχνικό σκέλος.

Ο πίνακας επιλογής (Πίνακας 2.4) χρησιμοποιεί έξι βασικά κριτήρια:

- α.) Συμβατότητα με το πρόβλημα
- β.) Πληρότητα απαιτήσεων πίνακα προδιαγραφών
- γ.) Δυνατότητα υλοποίησης
- δ.) Ανεκτό ύψος δαπάνης
- ε.) Ασφάλεια κατασκευής - εργονομική διαμόρφωση
- στ.) Ευκολία υλοποίησης

Στον πίνακα αξιολόγησης (Πίνακας 2.5), εφαρμόζονται κριτήρια, τα οποία επιλέγονται από το μελετητή με βάση τις απαιτήσεις του πίνακα προδιαγραφών και γενικές και οικονομικές ιδιότητες (Στεργίου, 2004).



Πίνακας 2.4.

Πίνακας επιλογής κύριας λειτουργίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Καταγραφή της παραλλαγής λύσης	Κρίση των παραλλαγών λύσεων (L <sub>v</sub> ) σύμφωνα με Κριτήρια επιλογής: (+) ναι (-) όχι (;) έλλειψη πληροφόρησης (!) επανέλεγχος του πίνακα προδιαγραφών						ΑΠΟΦΑΣΗ		
	Λύση συμβιβαστή με τη θέση του προβλήματος						Χαρακτηρισμός των παραλλαγών λύσεων: (+) λύση άξια για εξέλιξη (-) απόρριψη λύσης (;) συγκέντρωση πληροφοριών (νέα κρίση της λύσης) (!) έλεγχος του πίνακα προδιαγραφών για αλλαγές		
	Πληροί τους όρους του πίνακα προδιαγραφών								
	Υπάρχουν πιθανότητες πραγματοποίησης								
	Αναμένεται επιτρεπτό κόστος								
	Υπάρχει άμεση ασφάλεια στην κατασκευή								
	Ευκολία πραγματοποίησης						Απόφαση		
	α/α	A	B	C	D	E			F
	A3	+	+	+	+	+	+		+
	A4	+	-					B: Μη φιλική προς το χρήστη	-
A5	+	+	+	+	+	+		+	
B1	+	+	+	+	+	+		+	
B2	+	+	+	+	+	+		+	
B3	+	+	+	+	+	+		+	
Γ1	+	+	+	+	+	-		-	
Γ2	+	+	+	+	+	-		-	
Γ4	+	+	-					-	
Γ5	+	+	+	-				-	
Δ2	+	-					B: Αυξημένες ταλαντώσεις αισθητήρα	-	
Δ3	+	+	+	+	+	+		+	
Δ4	+	+	-					-	
Δ5	+	-					B: Αυξημένες ταλαντώσεις αισθητήρα	-	
S1	+	+	+	+	+	+		+	
S2	+	-					B: Αυξημένες ταλαντώσεις αισθητήρα	-	
S3	+	+	+	+	+	+		+	
S4	+	+	-					-	
S5	+	+	+	+	+	+		+	
S6	+	+	+	+	+	+		+	

Πίνακας 2.5.

Πίνακας αξιολόγησης κύριας λειτουργίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ												
P: υπάρχουσα παραλλαγή (P): δυνατή μετά από βελτίωση ή βαρύτητα		A3	A5	B1	B2	B3	Δ3	S1	S3	S5	S6	
Κριτήρια αξιολόγησης	$p_{id}$	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	
Λίγες αναγκαίες δοκιμές	4	1	3	3	2	1	2	2	3	3	1	
Χαμηλή καταπόνηση αισθητήρα	4	2	3	4	3	2	1	3	2	3	2	
Μικρός χρόνος εκτέλεσης της μετατόπισης	4	1	2	4	3	3	3	3	4	2	1	
Απλότητα λειτουργίας	4	2	3	4	4	1	1	4	4	4	2	
Υψηλή επαναληψιμότητα για δεδομένες συντεταγμένες	4	1	4	4	2	1	1	2	3	3	1	
; κρίση ανασφαλής ↑ καλύτερα ↓ χειρότερα	$\Sigma p_{id} = 20$	$\Sigma P$	7	15	19	14	8	8	14	16	15	7
	$W_i = \Sigma p_{id} / \Sigma P$		0,35	0,75	0,95	0,7	0,4	0,4	0,7	0,8	0,75	0,35
	Σειρά κατάταξης		-	3	1	4	-	-	4	2	3	-
Παρατήρηση / αιτιολογία (B), ασθενές σημείο (S), βελτίωση (V) για παραλλαγή / κριτήριο (πχ E3)												
-												
-												
-												
Απόφαση	Οι παραλλαγές A5, B1, B2, S1, S3 και S5 προκρίνονται αφού η τεχνική αξία τους ικανοποιεί τη σχέση $W_i \geq 0,7$											

## 2.2.3.6 Επεξεργασία ολικών λειτουργιών

Το επόμενο στάδιο της διαδικασίας αναζήτησης της βέλτιστης λύσης, είναι η επεξεργασία των ολικών λειτουργιών. Μέχρι τώρα, η μελέτη επικεντρώθηκε στην ανάλυση της κύριας λειτουργίας του διαγράμματος ροής (σχήμα 2.1).

Ο προσδιορισμός της βέλτιστης λύσης, που θα προκριθεί στο στάδιο της σχεδιομελέτης, περιλαμβάνει την επιλογή και αξιολόγηση προτάσεων που διαθέτουν συνδυασμούς επιμέρους λειτουργιών. Οι συνδυασμοί αυτοί, εξάγονται από τον μορφολογικό πίνακα (Πίνακας 2.6), ο οποίος έχει δομή παρόμοια με αυτή της μήτρας ταξινόμησης του Πίνακα 2.3, αλλά διαφορετικές παραμέτρους.



Πίνακας 2.6.

Μορφολογικός πίνακας ολικών λειτουργιών κατά Zwicky.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΛΙΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ						
Λύση λειτουργία	A5	B1	B2	S1	S3	S5
	A	B	Γ	Δ	E	ΣΤ
1 Σύνδεση με πηγή ενέργειας	Δεν απαιτείται (χειροκίνητος μηχανισμός)	Σύνδεση με δίκτυο ηλεκτρισμού	Σύνδεση με δίκτυο ηλεκτρισμού	Σύνδεση με φιάλη πεπιεσμένου αέρα	Σύνδεση με δίκτυο ηλεκτρισμού	Δεν απαιτείται (χειροκίνητος μηχανισμός)
2 Φόρτωση αισθητήρα	Δια χειρός	Μέσω ηλεκτρονικά ελεγχόμενου τροφοδότη αισθητήρων	Μέσω ηλεκτρονικά ελεγχόμενου τροφοδότη αισθητήρων	Μέσω πνευματικού τροφοδότη αισθητήρων	Μέσω ηλεκτρονικά ελεγχόμενου τροφοδότη αισθητήρων	Δια χειρός
3 Αναγνώριση υπάρχουσας πίεσης αισθητήρα	Μέσω χαραγμένης αναγραφόμενης κλίμακας	Ηλεκτρονική ένδειξη στον υπολογιστή ελέγχου	Ηλεκτρονική ένδειξη στον υπολογιστή ελέγχου	Μέσω χαραγμένης αναγραφόμενης κλίμακας	Ηλεκτρονική ένδειξη στον υπολογιστή ελέγχου	Μέσω υπολογισμού περιστροφών των κοχλίων
4 Λήψη νέων πυρραγμαμένων	Δεν απαιτείται (χειροκίνητος μηχανισμός)	Μέσω ενσύρματου χειριστηρίου	Εισαγωγή δεδομένων στον υπολογιστή ελέγχου	Δεν απαιτείται (χειροκίνητος μηχανισμός)	Εισαγωγή δεδομένων στον υπολογιστή ελέγχου	Δεν απαιτείται (χειροκίνητος μηχανισμός)
5 Μετατόπιση αισθητήρα σε νέες πυρραγμαμένες	Κύλιση γρاناζιών σε οδοντωτούς κανόνες	Χρήση τραπεζοειδών κοχλίων	Χρήση τροχαλίων	Κίνηση των βάκτρων πνευματικών εμβόλων	Κύλιση γρاناζιών σε οδοντωτούς κανόνες	Χρήση τραπεζοειδών κοχλίων
6 Κινητοποίηση αισθητήρα στις νέες πυρραγμαμένες	Τοποθέτηση εμποδίου στα σημεία επαφής οδόντων γραναζιού	Χρήση μηχανικού φρένου	Χρήση ηλεκτρικού φρένου βηματικών κινητήρων	Χρήση μηχανικού φρένου	Χρήση ηλεκτρικού φρένου βηματικών κινητήρων	Μέσω Τριβής σπειρώματος κοχλία και περικοχλίου

Μέσω του πίνακα 1.7, εξάγονται πέντε συνδυαστικές προτάσεις, οι οποίες είναι:

α.) Ολική λειτουργία «I» : B1 → A2 → B3 → Γ4 → B5 → Γ6

β.) Ολική λειτουργία «II» : Γ1 → Γ2 → Γ3 → Γ4 → Γ5 → Δ6

γ.) Ολική λειτουργία «III» : Δ1 → E2 → E3 → E4 → Δ5 → Δ6

δ.) Ολική λειτουργία «IV» : E1 → ΣΤ2 → E3 → E4 → E5 → E6

ε.) Ολική λειτουργία «V» : ΣΤ1 → ΣΤ2 → E3 → ΣΤ4 → ΣΤ5 → Δ6

### 2.2.3.7 Πίνακες επιλογής και αξιολόγησης ολικής λειτουργίας

Για τις πέντε ολικές λειτουργίες, ακολουθείται η διαδικασία επιλογής και αξιολόγησης, όπως χρησιμοποιήθηκε και στην περίπτωση της κύριας λειτουργίας.

Πίνακας 2.7.

Πίνακας επιλογής ολικής λειτουργίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ							
Καταγραφή της παραλλαγής λύσης	Κρίση των παραλλαγών λύσεων (L <sub>v</sub> ) σύμφωνα με Κριτήρια επιλογής:						ΑΠΟΦΑΣΗ
	(+ ) ναι						Χαρακτηρισμός των παραλλαγών λύσεων: (+) λύση άξια για εξέλιξη (-) απόρριψη λύσης (;) συγκέντρωση πληροφοριών (νέα κρίση της λύσης) (!) έλεγχος του πίνακα προδιαγραφών για αλλαγές
	(-) όχι						
	(:) έλλειψη πληροφόρησης						
	(!) επανέλεγχος του πίνακα προδιαγραφών						
	Λύση συμβιβαστή με τη θέση του προβλήματος						
Πληροί τους όρους του πίνακα προδιαγραφών							
Υπάρχουν πιθανότητες πραγματοποίησης						Απόφαση	
Αναμένεται επιτρεπτό κόστος							
Υπάρχει άμεση ασφάλεια στην κατασκευή							
Ευκολία πραγματοποίησης							
Παρατηρήσεις (υποδείξεις, αιτιολογίες)							
α/α	A	B	C	D	E	F	
I	+	+	+	+	+	+	+
II	+	+	+	+	+	+	+
III	+	+	+	-			-
IV	+	+	+	+	+	+	+
V	+	+	+	+	+	+	+



Πίνακας 2.8.

Πίνακας αξιολόγησης ολικής λειτουργίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ						
P: υπάρχουσα παραλλαγή (P): δυνατή μετά από βελτίωση ή βαρύτητα		I	II	III	IV	
Κριτήρια αξιολόγησης	$p_{id}$	P	P	P	P	
Μικρός αριθμός εξαρτημάτων	4	3	1	3	3	
Μακρά διάρκεια ζωής	4	4	3	3	3	
Εύκολος χειρισμός	4	3	4	3	4	
Άμεση τεχνική ασφάλεια	4	4	2	2	4	
Εύκολη συντήρηση	4	4	3	3	3	
; κρίση ανασφαλής ↑ καλύτερα ↓ χειρότερα	$\Sigma p_{id} = 20$	$\Sigma P$	18	13	14	17
	$W_i = \Sigma p_{id} / \Sigma P$		0,9	0,65	0,7	0,85
	Σειρά κατάταξης		1	-	3	2
Παρατήρηση / αιτιολογία (B), ασθενές σημείο (S), βελτίωση (V) για παραλλαγή / κριτήριο (πχ E3)						
Απόφαση	Οι ολικές λειτουργίες I, III και IV προκρίνονται, επειδή διαθέτουν $W_i \geq 0,7$					

### 2.2.3.8 Προσδιορισμός βέλτιστης λύσης

Η βέλτιστη λύση, συνδυάζει τη μέγιστη τεχνική και οικονομική αξία. Η οικονομική αξία, ορίζεται ως ο λόγος της ιδανικής δαπάνης υλοποίησης ως προς το μέγεθος της πραγματικής δαπάνης. Αυτοί οι δείκτες, παρά το γεγονός ότι αφορούν δύο ξεχωριστές παραμέτρους, έχουν την ίδια βαρύτητα και επηρεάζουν καθοριστικά την τελική επιλογή της λύσης που θα χρησιμοποιηθεί στη σχεδιαστική.

Αφού προσδιοριστεί η οικονομική αξία  $W_w$  (Πίνακας 2.9) και δεδομένου ότι ο λόγος της τεχνικής αξίας  $W_t$  είναι διαθέσιμος από τον σχετικό πίνακα αξιολόγησης (Πίνακας 2.8) σχηματίζεται ένα ζεύγος τιμών  $W_t$  και  $W_w$  για κάθε παραλλαγή λύσης.

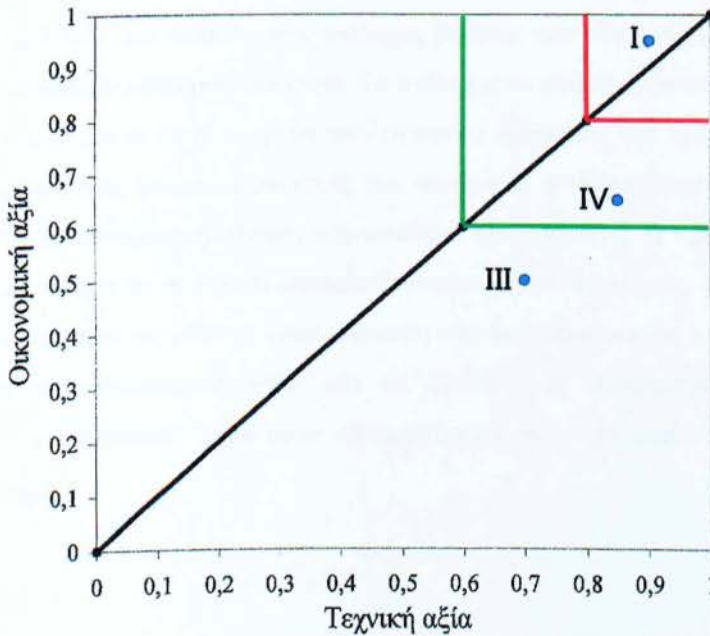
Με βάση αυτές τις πληροφορίες, χαράσσεται το διάγραμμα Ισχύος «S» (Σχήμα 2.4) που διαθέτει τρία ξεχωριστά πεδία λύσεων: Το βέλτιστο στο οποίο  $W_w \geq 0,8$  και  $W_t \geq 0,8$ , το ικανοποιητικό οποίο  $W_w \geq 0,6$  και  $W_t \geq 0,6$  και το μη ικανοποιητικό.

Η παραλλαγή που βρίσκεται στο βέλτιστο πεδίο, είναι η τελική λύση.

Πίνακας 2.9.

Οικονομική αξία παραλλαγών λύσεων.

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΑ ΠΑΡΑΛΛΑΓΩΝ ΛΥΣΕΩΝ				
Αριθμός Παραλλαγής		I	III	IV
Οικονομικά κριτήρια	$p_{id}$	P	P	P
Μικρό κόστος υλικών	4	3	2	2
Μικρό κόστος κατασκευής	4	4	3	4
Μικρό κόστος συντήρησης	4	4	3	3
Χαμηλό κόστος λειτουργίας	4	4	2	4
$\Sigma p_{id} = 20$	$\Sigma P$	19	10	13
$W_w = \Sigma p_{id} / \Sigma P$		0,95	0,5	0,65



Σχήμα 2.4. Διάγραμμα Ισχύος «S».

Από το σχήμα 2.4, φαίνεται ότι η παραλλαγή λύσης «I», παρουσιάζει τη βέλτιστη οικονομική και τεχνική αξία. Συνεπώς επιλέγεται για το στάδιο της σχεδιομελέτης.



## 2.3 Στάδιο σχεδιομελέτης

Μετά το πέρας της αναζήτησης λύσεων και την οριστικοποίηση του τρόπου λειτουργίας του μηχανισμού, το επόμενο βήμα είναι η εκπόνηση της σχεδιομελέτης, μέσω της οποίας θα προκύψουν τα τελικά κατασκευαστικά σχέδια.

### 2.3.1 Υπολογισμοί βασικών μεγεθών

Το πρώτο βήμα είναι ο ακριβής προσδιορισμός των συνθηκών λειτουργίας όπου καλείται να λειτουργήσει η κατασκευή. Εντός του θαλάμου δοκιμών της αεροσήραγγας, δύναται να αναπτυχθεί ροή αέρα με μέγιστη ταχύτητα 30 m/sec. Οι μετατοπιζόμενοι αισθητήρες που θα χρησιμοποιηθούν έχουν μέγιστη τιμή μάζας  $m_{\text{ΑΙΣΘ.}} = 0,2$  kg, κυλινδρική διατομή διαστάσεων που κυμαίνεται από  $\Phi 5$  mm έως  $\Phi 15$  mm και μέγιστη τιμή μήκους  $L_{\text{ΑΙΣΘ.}} = 0,2$  m.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, υπολογίζεται η δύναμη οπισθέλκουσας  $F_D$  (Κορωνάκης, 2006) που ασκείται στο στέλεχος βύθισης του αισθητήρα και το οποίο βρίσκεται εκτεθειμένο στη ροή του αέρα. Το στέλεχος σε πλήρη ανάπτυξη έχει μήκος  $L = 0,71$  m, ενώ για το συγκεκριμένο υπολογισμό η διάμετρος του ορίστηκε ως  $d = 0,028$  m λαμβάνοντας υπόψη κατασκευές για παρόμοιες συνθήκες λειτουργίας. Από τη σχέση 2.1 υπολογίζεται η δύναμη που ασκείται στο στέλεχος. Η τιμή της  $F_D$  που υπολογίζεται, αφορά τη συνολική μετωπική επιφάνεια του στελέχους, αλλά κρίθηκε σκόπιμο να θεωρηθεί ως μία σημειακή φόρτιση στο άκρο του φορέα, προκειμένου η διάταξη να υπερ-διαστασιολογηθεί και να διαθέτει τα απαραίτητα περιθώρια ασφαλείας σε περίπτωση μηχανικών καταπονήσεων που ξεπερνάνε τις μέγιστες επιτρεπτές τιμές.

$$F_D = C_D A \rho \frac{U^2}{2} \quad 2.2$$

όπου:

$C_D$ : Συντελεστής αντιστάσεως

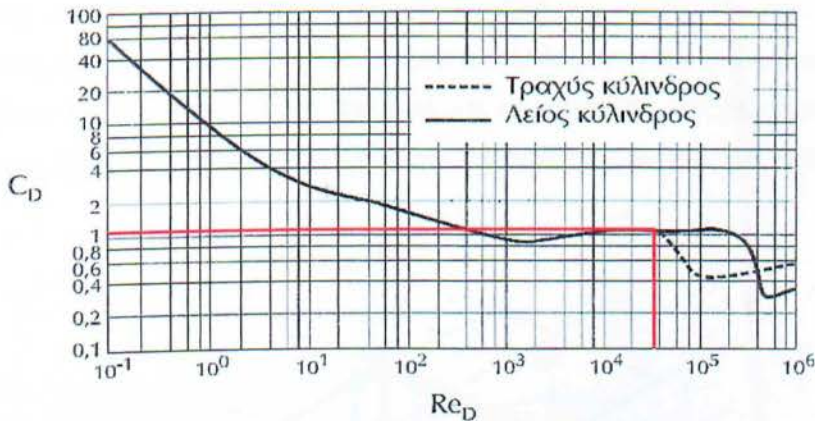
$A$ : Εμβαδόν της επιφάνειας που σχηματίζεται από την προβολή του σώματος σε ένα κάθετο, προς τη διεύθυνση της ροής, επίπεδο.

$\rho$ : Πυκνότητα ρευστού

$U$ : Σχετική ταχύτητα του ρευστού ως προς το σώμα

Για να βρεθεί το  $C_D$  από το σχήμα 2.5, υπολογίζεται η τιμή του αριθμού Reynolds από τον παρακάτω τύπο:

$$Re = \frac{U \cdot D_H}{\nu} = \frac{U \frac{4 \cdot A}{P}}{\nu} = \frac{U \frac{4 \pi \cdot D^2}{4}}{\pi \cdot D} = \frac{U \cdot D}{\nu} = \frac{30 \frac{m}{s} \cdot 0,028m}{1,45 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{s}} = 5,79 \cdot 10^4$$



Σχήμα 2.5. Συντελεστής αντιστάσεως ως προς τον αριθμό Reynolds για σώματα κυλινδρικής διατομής. Με κόκκινο χρώμα φαίνονται οι γραμμές που αντιστοιχούν στις τιμές του προβλήματος.

Από τον πίνακα 2.1  $C_D = 1,2$ . Η μετωπική επιφάνεια του στελέχους είναι ίση με :

$$A = D \cdot L = 0,028m \cdot 0,71m = 0,02m^2$$

Από τη σχέση 2.2 καταλήγουμε πως η δύναμη οπισθέλκουσας είναι:

$$F_D = C_D A \rho \frac{U^2}{2} = 1,2 \cdot 0,02m^2 \cdot 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{\left(30 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 12,96N$$

Για λόγους κατασκευαστικής ασφάλειας, η τελική τιμή της ασκούμενης δύναμης λαμβάνεται ως  $F_D = 20 N$ .

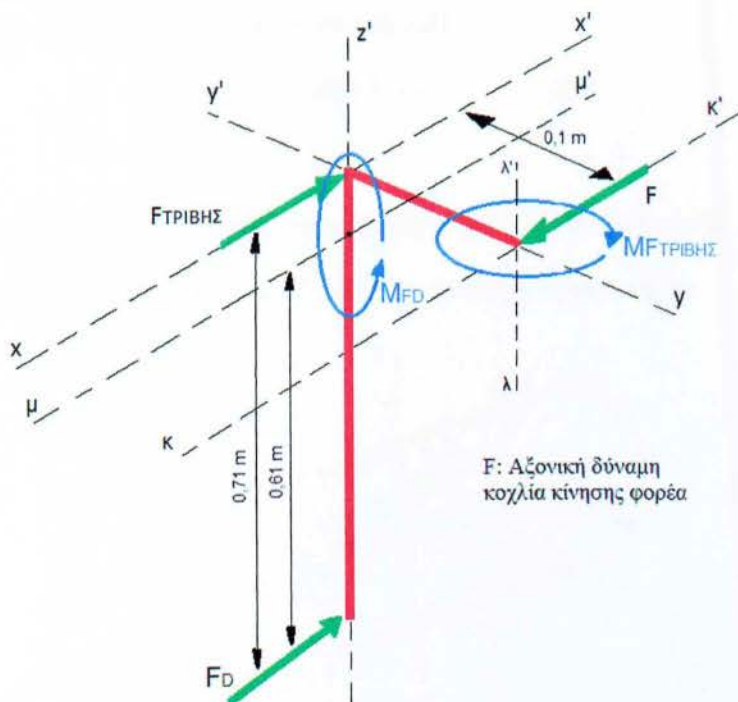


### 2.3.1.1 Διαστασιολόγηση τραπεζοειδούς κοχλία άξονα x'x

Η τελική λύση του προβλήματος περιλαμβάνει τη χρήση τραπεζοειδών κοχλιών και ορειχάλκινων περικοχλίων για τη μετατόπιση του φορέα στις τρεις διευθύνσεις.

Ο τραπεζοειδής κοχλίας x'x, μέσω της περιστροφής του, μετατοπίζει το φορέα συγκράτησης των αισθητήρων ως προς τον άξονα x'x. Η θέση του βρίσκεται μετατοπισμένη δεξιά του νοητού άξονα x'x κατά  $l=0,1\text{ m}$  (άξονας κ'κ) λόγω της ύπαρξης του μηχανισμού βύθισης στη θέση αυτή.

Επίσης κατά τη λειτουργία του, αναπτύσσεται μία δύναμη τριβής  $F_{\text{ΤΡ}}$  στην έδραση του φορέα, η οποία μεταφράζεται σε μία ροπή τριβής  $M_{\text{ΤΡ}}$  που δρα στο σημείο τομής των αξόνων κ'κ, z'z και y'y. Στο σημείο αυτό δρα και η ροπή  $M_{\text{FD}}$  ως αποτέλεσμα της δράσης της δύναμης οπισθέλκουσας στο άκρο του στελέχους βύθισης του αισθητήρα.



Σχήμα 2.6. Σχηματική αναπαράσταση των δυνάμεων που ασκούνται στον φορέα (κόκκινο χρώμα) καθώς και των ροπών που αναπτύσσονται στην κυλιόμενη έδραση του φορέα και στο σημείο επαφής του τραπεζοειδούς κοχλία με το ορειχάλκινο περικόχλιο του φορέα.

Από τον ορισμό της ροπής και με δεδομένα τη μάζα του φορέα  $m = 30 \text{ kg}$  και το συντελεστή τριβής  $\mu=0,2$  (Αντωνίου, 1994), υπολογίζονται οι δύο ροπές:

$$M_{FTP} = (\mu \cdot N) \cdot l = 0,2 \cdot 300N \cdot 0,1m = 6Nm$$

$$M_{FD} = F_D \cdot L = 20N \cdot 0,61m = 12,2Nm$$

Για να μετατοπιστεί ο φορέας πρέπει να υπερνικηθούν τα αντίθετα, στην κίνησή του, φορτία. Η ροπή  $M_{FD}$  ασκείται στην έδραση του φορέα και παραλαμβάνεται από ακτινικά έδρανα, τα οποία ασκούν μία αντίθετη ροπή ίδιου μεγέθους. Συνεπώς ο τραπεζοειδής κοχλίας καταπονείται μόνο από τη τριβή «Τ», του φορέα με τον αύλακα κύλισης, η οποία αντιστοιχεί στη ροπή τριβής.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.7, η  $M_{F,ΤΡΙΒΗΣ}$  αποτελεί και την ροπή τριβής σπειρώματος « $M_G$ », η οποία σύμφωνα με τον Στεργίου (2003), προκύπτει από το γινόμενο της αξονικής δύναμης επί την ακτίνα κατατομής του κοχλία επί την εφαπτομένη της γωνίας σπειρώματος (σχέση 2.3).

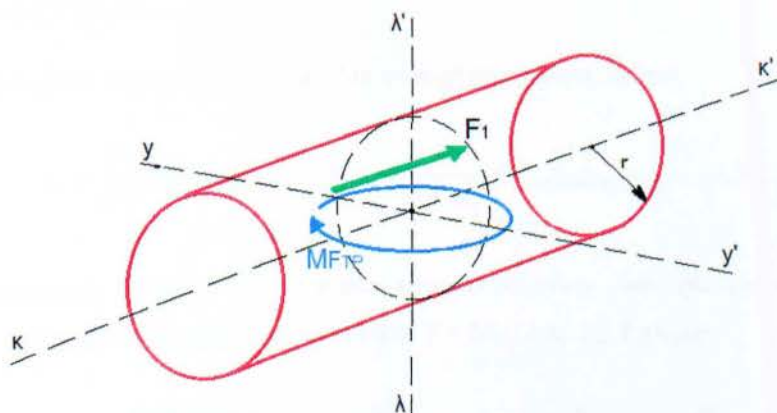
$$M_G = F \cdot r \cdot \varepsilon\phi(\alpha \pm \rho')$$

2.2

όπου:

$\alpha$ : γωνία κλίσης σπειρώματος: Για τραπεζοειδή κοχλία με μία αρχή  $\alpha \approx 3^\circ \dots 5,5^\circ$

$\rho'$ : γωνία τριβής του σπειρώματος.  $\rho' = 12^\circ$  για ορειχάλκινο περικόχλιο.



Σχήμα 2.7. Σχηματική αναπαράσταση της θέσης της ροπής τριβής που αναπτύσσεται στον τραπεζοειδή κοχλία.



Για να υπολογιστεί η αξονική δύναμη  $F_1$ , ο μοναδικός άγνωστος παράγοντας είναι η ακτίνα κατατομής  $r$ , η οποία επιλέγεται με βάση τις διαθέσιμες τυποποιημένες διαστάσεις του προτύπου DIN 103. Έστω μία αρχική τιμή  $r$ . Εάν ο επιλεγμένος κοχλίας ξεπερνάει τις επιτρεπόμενες τιμές καταπόνησης, επιλέγεται νέο  $r$  και οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται. Αρχικά επιλέγεται  $r = 12,75$  m για άξονα Φ28:

Από 2.2 έχουμε:

$$F_1 = \frac{M_{F,ΤΡΙΒΗΣ}}{r \cdot \varepsilon\phi(\alpha \pm \rho')} = \frac{6Nm}{0,01275m \cdot \varepsilon\phi(4 + 12)} = 1.641N$$

Ο άξονας, πρέπει να αντέχει σε λυγισμό, στρέψη και πίεση επιφανείας σπειρώματος. Αρχικά υπολογίζεται η αντοχή σε λυγισμό:

Βαθμός λυγηρότητας του κοχλίου:

$$\lambda = \frac{l_{MAX} \cdot 4}{d_3} = \frac{2.344mm \cdot 4}{22,5mm} = 416,7$$

αφού  $\lambda > 90$ , χρησιμοποιείται ο τύπος του Euler:

$$S_K = \frac{\pi^2 \cdot E}{\sigma \cdot \lambda^2} \geq 3 \dots 6 \Rightarrow S_K = \frac{\pi^2 \cdot E}{\frac{F_1}{A} \cdot \lambda^2} \geq 3 \dots 6 \Rightarrow S_K = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \frac{N}{mm^2}}{\frac{1.641N}{398mm^2} \cdot 416,7^2} \geq 3 \dots 6 \Rightarrow$$

$$S_K = 3,25 \geq 3 \dots 6$$

Άρα ο κοχλίας αντέχει σε λυγισμό. Για αντοχή σε στρέψη, πρέπει:

$$\tau_t = \frac{T}{W_t} \leq \tau_{\text{ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ}} \Rightarrow \tau_t = \frac{T}{0,2 \cdot d_3^3} \leq \tau_{\text{ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ}} \quad 2.3$$

Οι διαθέσιμοι κοχλίες στην αγορά, κατασκευάζονται από χάλυβα Ck35 με  $\tau_{\text{ΕΠΙΤΡ.}} = 27$  N/mm<sup>2</sup>. Επίσης η ροπή στρέψης  $T = M_G$ . Από 2.3 έχουμε:

$$\tau_t = \frac{6.000Nmm}{0,2 \cdot (22,5mm)^3} \leq 27 \frac{N}{mm^2} \Rightarrow \tau_t = 2,63 \frac{N}{mm^2} \leq 27 \frac{N}{mm^2}$$

Εφόσον αντέχει και σε στρέψη, υπολογίζουμε την πίεση επιφανείας:

$$p = \frac{F \cdot P}{m \cdot d_2 \cdot \pi \cdot H_1} \leq p_{\text{ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ}}$$

Για πίεση επιφανείας, η επιτρεπόμενη τιμή είναι  $p_{\text{ΕΠΙΤΡΕΜΟΜΕΝΟ}} = 10 \dots 20 \text{ N/mm}^2$  για ορειχάλκινα περικόχλια. Άρα:

$$p = \frac{F \cdot P}{m \cdot d_2 \cdot \pi \cdot H_1 \text{mm}} \leq 10 \dots 20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \Rightarrow p = \frac{1.461 \text{N} \cdot 5 \text{mm}}{50 \text{mm} \cdot 22,5 \text{mm} \cdot \pi \cdot 2,5 \text{mm}} \leq 10 \dots 20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \Rightarrow$$

$$p = 0,826 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 10 \dots 20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Αφού αντέχει και σε λυγισμό, η τελική ονομαστική διάμετρος του, επιλέγεται ως  $d = 28 \text{ mm}$ . Για την περιστροφή του, χρησιμοποιείται βηματικός ηλεκτροκινητήρας ο οποίος πρέπει να έχει ονομαστική ροπή συγκράτησης  $T_N > 6,0 \text{ Nm}$ . Εφόσον δεν τίθεται όριο ταχύτητας περιστροφής του κοχλία, ο κινητήρας συνδέεται στον κοχλία με σχέση μείωσης 1:2. Συνεπώς η  $T_N$  πρέπει να είναι  $T_N > 3,0 \text{ Nm}$ . Το διαθέσιμο τυποποιημένο μέγεθος βηματικού κινητήρα που καλύπτει την τιμή αυτή είναι το Nema 34 - 4,52 Nm, το οποίο και επιλέγεται για χρήση.

Σε απόσταση  $l = 70 \text{ mm}$  από το ένα άκρο του κοχλία, απαιτείται διαμόρφωση μικρότερης διαμέτρου από την ονομαστική, προκειμένου να τοποθετηθεί η τροχαλία μετάδοσης κίνησης. Επειδή η ροπή κάμψης του τμήματος αυτού δεν είναι γνωστή, η διάμετρος εκτιμάται από την παρακάτω σχέση:

$$d \approx C_1 \sqrt[3]{T} \quad 2.4$$

Για υλικό κατασκευής Ck35,  $C_1 = 6,9$ . Άρα:

$$d \approx 6,9 \sqrt[3]{6} \Rightarrow d \approx 12,5 \text{mm}$$

Λόγω τυποποίησης, επιλέγουμε  $d = 16 \text{mm}$  και προσθέτουμε  $1 \text{mm}$  για τη δημιουργία ραδίου στο σημείο αλλαγής διαμέτρου. Άρα  $d_{\text{ΤΕΛ}} = 17 \text{mm}$ .

### 2.3.1.2 Διαστασιολόγηση τραπεζοειδούς κοχλία άξονα y'y

Η αξονική δύναμη «F» του κοχλία είναι ίση με τη δύναμη έλξης « $E_{\text{ΕΛΞΗΣ}}$ » των τροχαλιών που στηρίζουν τα κελύφη. Συνεπώς:

$$E_{\text{ΕΛΞΗΣ}} = T = \mu \sum_1^8 N_i \quad 2.5$$



Η ράγα κύλισης των τροχαλιών προβλέπεται να λιπαίνεται και για αυτό το λόγο ο συντελεστής τριβής για τριβικό ζεύγος χάλυβα με χάλυβα, λαμβάνει τιμή  $\mu = 0,08$  (Gieck, 2008). Η εκτιμώμενη μάζα του κάθε κελύφους δεν ξεπερνάει τα 280 kg, οπότε σε κάθε μία από τις τέσσερις τροχαλίες (ανά κέλυφος) αντιστοιχεί μάζα 70 kg. Άρα η κάθετη αντίδραση είναι ίση με  $N_i = m \cdot g = 700 \text{ N}$ . Από τη σχέση 2.5 καταλήγουμε πως  $F = E_{ΕΛΕΗΣ} = 448 \text{ N}$ . Ο έλεγχος σε αντοχή, παραμένει ίδιος όπως και στον τραπεζοειδή κοχλία του άξονα x'x.

Υπολογίζεται ο βαθμός λυγρότητας, επιλέγοντας διάμετρο άξονα  $d = 16 \text{ mm}$ :

$$\lambda = \frac{l_{MAX} \cdot 4}{d_3} = \frac{672 \text{ mm} \cdot 4}{11,5 \text{ mm}} = 233,7$$

Αφού  $\lambda > 90$ , εφαρμόζεται ο τύπος Euler:

$$S_K = \frac{\pi^2 \cdot E}{\sigma \cdot \lambda^2} \geq 3 \dots 6 \Rightarrow S_K = \frac{\pi^2 \cdot E}{\frac{E_{ΕΛΕΗΣ}}{A} \cdot \lambda^2} \Rightarrow S_K = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\frac{448 \text{ N}}{104 \text{ mm}^2} \cdot 233,7^2} \Rightarrow$$

$$S_K = 8,8$$

Από το αποτέλεσμα φαίνεται ότι ικανοποιείται το κριτήριο λυγισμού. Ο επόμενος έλεγχος γίνεται για τη στρέψη, αφού υπολογιστεί η απαιτούμενη ροπή στρέψης:

$$T = M_G = F \cdot r \cdot \varepsilon\phi(\alpha \pm \rho') = 448 \cdot 0,007 \cdot \varepsilon\phi(16) \Rightarrow T = 0,89 \text{ Nm}$$

Συνεπώς από 2.3 έχουμε:

$$\tau_t = \frac{T}{W_t} \leq \tau_{\text{ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ}} \Rightarrow \tau_t = \frac{2 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 11,5^3} \leq \tau_{\text{ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ}} \Rightarrow \tau_t = 6,575 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 27 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Άρα η ανισότητα ισχύει και η αναπτυσσόμενη στρέψη είναι διαχειρίσιμη. Η πίεση επιφανείας είναι:

$$p = \frac{F \cdot P}{m \cdot d_2 \cdot \pi \cdot H_1} \leq 10 \dots 20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \Rightarrow p = \frac{448 \text{ N} \cdot 4 \text{ mm}}{35 \text{ mm} \cdot 14 \text{ mm} \cdot \pi \cdot 2 \text{ mm}} \leq 10 \dots 20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \Rightarrow$$

$$p = 0,58 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 10 \dots 20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, η τελική διάμετρος του κοχλία είναι  $d = 16 \text{ mm}$ . Σε απόσταση  $l = 30 \text{ mm}$  από το ένα άκρο του κοχλία, απαιτείται διαμόρφωση μικρότερης διαμέτρου από την ονομαστική, προκειμένου να

τοποθετηθεί ο σύνδεσμος άξονα και βηματικού κινητήρα. Επειδή η ροπή κάμψης του τμήματος αυτού δεν είναι γνωστή, η διάμετρος εκτιμάται από τη σχέση 2.4:

$$d \approx 6,9\sqrt[3]{2} \Rightarrow d \approx 8,69mm$$

Η πλησιέστερη τυποποιημένη διάμετρος είναι  $d = 10 \text{ mm}$ , και επιλέγεται ως τελική διάσταση. Για τον άξονα επιλέγεται βηματικός κινητήρας Nema 23 - 1,98 Nm.

### 2.3.1.3 Διαστασιολόγηση τραπεζοειδούς κοχλία άξονα z'z

Ο κοχλίας καλείται να μετατοπίσει το στέλεχος βύθισης του αισθητήρα με τους επιμέρους μηχανισμούς, κατά μήκος του άξονα z'z. Η μάζα ανύψωσης προκύπτει από το άθροισμα των παρακάτω:

α.) Μάζα σωλήνα βύθισης  $\Phi 28 : \approx 3,5 \text{ kg}$

β.) Μάζα ράβδου ρύθμισης γωνίας βήματος  $\Phi 12 : \approx 0,5 \text{ kg}$

γ.) Μάζα παρελκόμενων ηλεκτρομηχανολογικών εξαρτημάτων στελέχους:  $\approx 1,0 \text{ kg}$

Άθροισμα μάζας : 5,0 kg. Συνεπώς το βάρος ανύψωσης είναι  $B = 50 \text{ N}$ . Ο κοχλίας θα τοποθετηθεί σε μέγιστη απόσταση  $l_{MAX} = 0,05 \text{ m}$ . από το νοητό άξονα z'z, προκειμένου να υπάρχει το απαραίτητο διάστημα για την κίνηση του στελέχους. Άρα η ασκούμενη ροπή ισούται με τη ροπή τριβής σπειρώματος στον κοχλία:

$$T = M_G = B \cdot l_{MAX} = 50N \cdot 0,05m = 2,5Nm$$

Για τον έλεγχο αντοχής επιλέγεται δοκιμαστική διάσταση άξονα  $d = 16 \text{ mm}$ . Από τη σχέση 2.2 η αξονική δύναμη «F» είναι:

$$F_1 = \frac{M_G}{r \cdot \epsilon\phi(\alpha \pm \rho')} = \frac{2,5Nm}{0,007m \cdot \epsilon\phi(4 + 12)} = 1.245N$$

Έλεγχος αντοχής σε λυγισμό:

$$\lambda = \frac{l_{MAX} \cdot 4}{d_3} = \frac{630mm \cdot 4}{11,5mm} = 219,1$$



Αφού  $\lambda > 90$ , εφαρμόζεται ο τύπος Euler:

$$S_K = \frac{\pi^2 \cdot E}{\sigma \cdot \lambda^2} \geq 3 \dots 6 \Rightarrow S_K = \frac{\pi^2 \cdot E}{\frac{F}{A} \cdot \lambda^2} \geq 3 \dots 6 \Rightarrow S_K = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \frac{N}{mm^2}}{\frac{1.245N}{104mm^2} \cdot 219,1^2} \geq 3 \dots 6 \Rightarrow$$

$$S_K = 3,63 \cdot 3 \dots 6$$

Έλεγχος σε στρέψη:

$$\tau_t = \frac{T}{W_t} \leq \tau_{\text{ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ}} \Rightarrow \tau_t = \frac{2,5 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 11,5^3} \leq \tau_{\text{ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ}} \Rightarrow \tau_t = 8,3 \frac{N}{mm^2} < 27 \frac{N}{mm^2}$$

Έλεγχος σε πίεση επιφανείας:

$$p = \frac{F \cdot P}{m \cdot d_2 \cdot \pi \cdot H_1, mm} \leq 10 \dots 20 \frac{N}{mm^2} \Rightarrow p = \frac{1.245N \cdot 4mm}{35mm \cdot 14mm \cdot \pi \cdot 2mm} \leq 10 \dots 20 \frac{N}{mm^2} \Rightarrow$$

$$p = 1,62 \frac{N}{mm^2} \leq 10 \dots 20 \frac{N}{mm^2}$$

Συνεπώς η τελική διάμετρος του κοχλίου εκλέγεται ως  $d = 16$  mm. Το πλησιέστερο μέγεθος βηματικού κινητήρα που διαθέτει ικανοποιητική ροπή έτσι ώστε  $T > 2,5$  Nm είναι το Nema 23 - 2,68 Nm, το οποίο και επιλέγεται για χρήση.

Στα κάτω άκρο του κοχλίου και για μήκος  $l = 30$  mm, απαιτείται διαμόρφωση μικρότερης διαμέτρου για την τοποθέτηση ωστικού εδράνου. Επειδή η ροπή κάμψης του τμήματος αυτού δεν είναι γνωστή, η διάμετρος εκτιμάται από τη σχέση 2.4 για χάλυβες υψηλής αντοχής:

$$d \approx 5,8 \sqrt[3]{2,5} \Rightarrow d \approx 7,87mm$$

Η πλησιέστερη τυποποιημένη διάμετρος ωστικού εδράνου είναι  $d = 8$  mm, και επιλέγεται ως τελική διάσταση.

Πίνακας 2.10.

Βασικά γεωμετρικά στοιχεία για τραπεζοειδείς κοχλίες, κατά το πρότυπο DIN 103.

Ονομαστική διάμετρος σπειρώματος d mm	Βήμα <sup>2)</sup>  P mm	Μέση διάμετρος <sup>3)</sup>  $d_2 = D_2$ mm	Διάμετρος πυρήνα <sup>3)</sup>  $d_3$ mm	Φέρον βάθος <sup>3)</sup>  $H_1 = 0,5 P$ mm	Διατομή πυρήνα <sup>3)</sup>  $A_k$ $\text{mm}^2$
8	1,5	7,25	6,2	0,75	30,2
10	(1,5) 2	9	7,5	1	44,2
12	(2) 3	10,5	8,5	1,5	56,7
16	(2) 4	14	11,5	2	104
20	(2) 4	18	15,5	2	189
24	(3) 5 (8)	21,5	18,5	2,5	269
28	(3) 5 (8)	25,5	22,5	2,5	398
32	(3) 6 (10)	29	25	3	491

#### 2.3.1.4 Επιλογή μηχανισμών ρύθμισης γωνιών βήματος και εκτροπής

Για δεδομένη μάζα ράβδου ρύθμισης γωνίας βήματος Φ12 :  $\approx 0,5 \text{ kg}$  και μάζα αισθητήρα  $m \approx 0,1 \text{ kg}$  το συνολικό βάρος ανύψωσης ανέρχεται σε  $B = 6 \text{ N}$ . Η απόσταση του μηχανισμού από το κέντρο της ράβδου δεν ξεπερνάει το  $l = 0,1 \text{ m}$ .

Συνεπώς, η ροπή που ασκείται είναι  $M = B \cdot l = 6 \text{ N} \cdot 0,1 \text{ m} = 0,6 \text{ Nm}$ . Λόγω βάρους ανύψωσης, προτείνεται σερβομηχανισμός ονομαστικής ροπής συγκράτησης  $T \approx 1 \text{ Nm}$ .

Η ρύθμιση της γωνίας εκτροπής, δεν απαιτεί τον προσδιορισμό κάποιας ελάχιστης τιμής ροπής συγκράτησης, αφού η βάση του συγκεκριμένου υποσυστήματος προβλέπεται να στηρίζεται σε ωστικό έδρανο, οπότε οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις αντίστασης θα είναι αμελητέες. Για το λόγο αυτό, προτείνεται επίσης η χρήση σερβομηχανισμού ονομαστικής ροπής συγκράτησης  $T \approx 0,5 \text{ Nm}$ . Αν και η χρήση βηματικών κινητήρων σε ρομποτικές εφαρμογές παρουσιάζει πολλά θετικά στοιχεία (Κανάραχος, 2001), η επιλογή χρήσης σερβομηχανισμού γίνεται εξαιτίας της χαμηλής μάζας του για τις συγκεκριμένες ροπές συγκράτησης και του χαμηλού κόστους αγοράς.



### 2.3.2 Ανάλυση επιμέρους τμημάτων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων

Η ανάλυση μηχανολογικών κατασκευών με τη χρήση των πεπερασμένων στοιχείων, αποτελεί την πιο δημοφιλή αριθμητική μέθοδο υπολογισμού των μηχανικών χαρακτηριστικών τους.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε αρχικά κυρίως σε προβλήματα δομικής μηχανικής, αλλά σύντομα επεκτάθηκε και σε άλλους τομείς, όπως της μετάδοσης θερμότητας, της μηχανικής ρευστών και της ανάλυσης ταλαντώσεων.

Η χρήση της αποσκοπεί στην εξαγωγή πληροφοριών, όπως οι αναπτυσσόμενες τάσεις, η παραμόρφωση και ο συντελεστής ασφαλείας σε επιμέρους τεμάχια (parts) ή και σύνολα τεμαχίων (assembly file) που δημιουργήθηκαν σε πρόγραμμα ηλεκτρονικής σχεδίασης.

Η διαδικασία της ανάλυσης ξεκινάει με την εισαγωγή του επιθυμητού γεωμετρικού μοντέλου στο περιβάλλον εργασίας του προγράμματος ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων. Το σχήμα θεωρείται ως το πεδίο ορισμού του προβλήματος (Kunwoo Lee, 2009). Μετά την εισαγωγή των παραμέτρων πλέγματος, το μοντέλο διαιρείται σε πεπερασμένα στοιχεία, τα οποία οριοθετούνται από τις γραμμές πλέγματος. Οι γραμμές αυτές, τέμνονται με τις υπόλοιπες στους κόμβους, των οποίων η ακριβής θέση υπολογίζεται με τη βοήθεια των συναρτήσεων θέσης. Στη συνέχεια, εισάγονται ως δεδομένα οι ιδιότητες των υλικών που απαρτίζουν το υπό ανάλυση σχήμα, καθώς και οι οριακές συνθήκες του προβλήματος, όπως οι δυνάμεις που ασκούνται, οι μετατοπίσεις και η θερμοκρασία στους εξωτερικούς κόμβους. Ο κώδικας του προγράμματος παράγει τις εξισώσεις συστήματος (system equations) οι οποίες συνδέουν τις οριακές συνθήκες με τις άγνωστες τιμές στις συντεταγμένες των κόμβων. Με την επίλυση των εξισώσεων αυτών, γίνεται δυνατός ο προσδιορισμός περαιτέρω χαρακτηριστικών, όπως η παραμόρφωση που προκύπτει από τη μερική παράγωγο της συνάρτησης μετατόπισης και στη συνέχεια οι τοπικές τάσεις.

Η χρήση της μεθόδου ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων, πραγματοποιήθηκε στα τμήματα του μηχανισμού μετατόπισης αισθητήρων όπου η διαστασιολόγησή τους με άλλους τρόπους δε θα ήταν δυνατή. Επίσης, μερικά από τα τμήματα αυτά, αποτελούν εξαρτήματα πρωτεύουσας σημασίας ως προς το σύνολο των επιμέρους τεμαχίων του καταλόγου υλικών, δεδομένου ότι συμβάλουν σημαντικά στην επίτευξη υψηλής

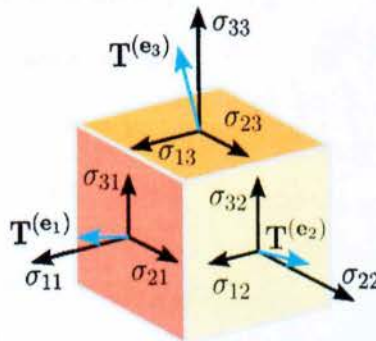
ακρίβειας μετατόπισης των αισθητήρων. Το στέλεχος βύθισης του αισθητήρα, αποτελεί το κυριότερο παράδειγμα ως προς το κριτήριο αυτό.

Μετά το πέρας των εκάστοτε υπολογισμών, δημιουργείται μία αναφορά, όπου παρουσιάζονται τα εισαγόμενα δεδομένα και τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Αρχικά αναφέρεται το τεμάχιο που εξετάζεται και το είδος της ανάλυσης (στατική ή δυναμική) που πραγματοποιείται. Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι ιδιότητες των υλικών που το απαρτίζουν, οι δυνάμεις που ενεργούν σε αυτό, καθώς και οι περιορισμοί κίνησης (Βαρούτσος, Βάχλα και συν. 2005) που θα υφίστανται στο πραγματικό περιβάλλον. Οι ρυθμίσεις του πλέγματος παραμένουν ίδιες για όλες τις αναλύσεις, ενώ τα αποτελέσματα που εμφανίζονται είναι τα εξής:

α.) Τάση Von Mises. Αποτελεί την ισοδύναμη τάση που αναπτύσσεται στο τεμάχιο, και η γενική της μορφή δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + 6(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2)]} \quad 2.6$$

Οι επιμέρους τάσεις της σχέσης 2.6, ορίζονται από το θεώρημα Chachy, σύμφωνα με το οποίο, σε κάθε σημείο ενός αντικειμένου, η τάση περιγράφεται πλήρως με τη μορφή ενός τανυστή δευτέρας τάξης. Ο τανυστής περιλαμβάνει τρεις κάθετες τάσεις, που ασκούνται στα αντίστοιχα ορθογώνια επίπεδα και έξι διαμητικές τάσεις (σχέση 2.7).



Σχήμα 2.8. Αναπαράσταση των τάσεων στο χώρο σύμφωνα με το θεώρημα Chachy.

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} \quad 2.7$$



β.) Πρώτη κύρια τάση: Αποτελεί την τάση  $\sigma_1$  και δείχνει τις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται στο τεμάχιο. Αρνητικές τιμές της  $\sigma_1$ , υποδηλώνουν θλιπτικές τάσεις.

γ.) Τρίτη κύρια τάση: Αποτελεί την τάση  $\sigma_2$  και υποδηλώνει τις θλιπτικές τάσεις που αναπτύσσονται στο τεμάχιο. Αρνητικές τιμές της  $\sigma_2$ , υποδηλώνουν εφελκυστικές τάσεις.

δ.) Παραμόρφωση: Με δεδομένη τη γεωμετρία ενός στοιχείου πριν την έναρξη της υπολογιστικής του προσομοίωσης, η παραμόρφωσή του εξαρτήματος προκύπτει ως απόκλιση από τις αρχικές διαστάσεις. Για κάθε στοιχείο που μελετήθηκε υπολογίστηκε η παραμόρφωση ως προς τους τρεις άξονες αναφοράς  $x'x$ ,  $y'y$  και  $z'z$ .

Τα στοιχεία που μελετήθηκαν και παρουσιάζονται στο Παράρτημα «Α» είναι:

- α.) Δικτύωμα κελύφους θαλάμου δοκιμών
- β.) Δοκός στήριξης ράγας
- γ.) Αριστερή δοκός στήριξης κελυφών
- δ.) Ράγα κύλισης τροχαλιών κελυφών
- ε.) Σύνδεσμος κελυφών
- στ.) Βάση κάθετων ακτινικών εδράνων
- ζ.) Βάση στήριξης περικοχλίου άξονα Φ16
- η.) Στέλεχος βύθισης αισθητήρα
- θ.) Έλασμα ανύψωσης άξονα  $z'z$
- ι.) Έλασμα βάσης φορέα

## 2.4 Στάδιο επεξεργασίας

Στο στάδιο της επεξεργασίας, παρουσιάζονται όλα εκείνα τα απαραίτητα στοιχεία και πληροφορίες που απαιτούνται για την κατασκευή του μηχανισμού μετατόπισης αισθητήρων. Η περιγραφή των κατασκευαστικών σταδίων καθώς και η επεξήγηση κρίσιμων τεχνικών λεπτομερειών, έγινε με γνώμονα την ελαχιστοποίηση πιθανών σφαλμάτων κατά τη διαμόρφωση των πρώτων υλών και τη συναρμολόγηση των εξαρτημάτων της διάταξης.

### 2.4.1 Κατασκευαστικά σχέδια - Κατάλογος τεμαχίων

Η δημιουργία των κατασκευαστικών σχεδίων προέκυψε από την επεξεργασία του αρχείου συναρμολόγησης (assembly) της τελικής λύσης του προβλήματος. Η μέθοδος ταξινόμησης, οργάνωσης και παρουσίασης των επιμέρους σχεδίων, βασίστηκε στα τυποποιημένα πρότυπα κατά DIN 5456-2 και DIN 128-30 (Παπαμητούκας, 2002).

Με βάση τα συγκεκριμένα πρότυπα, δημιουργήθηκε το γενικό συνοπτικό σχέδιο με κωδικό 01.00.00.00 . Σε αυτό παρουσιάζεται η τελική όψη του μηχανισμού μετά το πέρας των εργασιών κατασκευής και φαίνεται η θέση των επιμέρους τμημάτων.

Τα τμήματα αυτά, αποτελούνται από μεμονωμένα τεμάχια. Παρουσιάζονται σε επιμέρους συνοπτικά σχέδια, τα οποία χαρακτηρίζονται από τους κωδικούς 01.01.00.00 - 01.11.00.00 . Στα σχέδια αυτά, εκτίθενται οι πλήρεις όψεις, τεχνικές λεπτομέρειες που αφορούν τη συναρμολόγηση, οι τελικές διαστάσεις του τμήματος, καθώς και διευκρινήσεις σχετικά με τα απαραίτητα υλικά συναρμογής. Επίσης, παρατίθεται αναλυτική λίστα με τον τίτλο, τον κωδικό κατασκευαστικού σχεδίου και την ποσότητα των επιμέρους εξαρτημάτων που το απαρτίζουν. Ως προς τους συμβολισμούς των συγκολλήσεων, χρησιμοποιήθηκε το αναθεωρημένο πρότυπο DIN EN - 22553, όπως περιγράφεται από τον Chevalier (1980).

Τα εξαρτήματα που χρειάζονται, παρουσιάζονται σε ξεχωριστά κατασκευαστικά σχέδια. Κάθε ένα από αυτά, διαθέτει το δικό του κωδικό και σχέδιο αναφοράς, όπου παρατίθενται όλες οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες, ενώ αναφέρεται και η πρώτη



ύλη κατασκευής του. Σε ορισμένα από αυτά και όπου κρίθηκε απαραίτητο, υπάρχουν και προοπτικά σχέδια προκειμένου να διευκολυνθεί η κατανόηση του σχεδίου.

Η σειρά ταξινόμησης των σχεδίων, παρουσιάζει μία δενδρική μορφή και συνοδεύεται από τον κατάλογο υλικών και τεμαχίων γνωστό και ως «Bill of Materials - B.O.M.». Το αρχείο αυτό, διαθέτει τα πλήρη στοιχεία των εξαρτημάτων που απαιτούνται για την κατασκευή, καθώς και κωδικούς αναφοράς για τα σχέδια στα οποία συναντώνται. Με τον τρόπο αυτό, υπάρχει σαφής εικόνα των τεμαχίων που απαρτίζουν το σύνολο της διάταξης και διευκολύνεται η κατασκευαστική διαδικασία.

Τα συνοπτικά σχέδια παρέχονται στο Παράρτημα «B», ενώ το σύνολό τους στο επισυναπτόμενο dvd-rom.

#### 2.4.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά και κριτήρια επιλογής πρώτων υλών και εξαρτημάτων

Η επιλογή των πρώτων υλών και των εξαρτημάτων, για την κατασκευή της τελικής λύσης του προβλήματος, πραγματοποιήθηκε με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

- α.) Ευκολία καταργασίας και διαμόρφωσης.
- β.) Επιλογή τυποποιημένων πρώτων υλών κατά DIN, ISO, AISI ή ASM.
- γ.) Κόστος αγοράς.
- δ.) Διαθεσιμότητα από τους προμηθευτές της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας.
- ε.) Ευκολία μεταφοράς προς τις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου Μετρήσεων Τεχνικών Μεγεθών.

Η κατασκευή των βασικών τμημάτων της διάταξης μετατόπισης αισθητήρων, αναμένεται να πραγματοποιηθεί στις εγκαταστάσεις των Μηχανολογικών Εργαστηρίων I & II του Τ.Ε.Ι. Πειραιά. Συνεπώς, οι πρώτες ύλες που θα χρησιμοποιηθούν, πρέπει να πληρούν τα ελάχιστα τεχνικά χαρακτηριστικά αλλά ταυτόχρονα να είναι εύκολα διαμορφώσιμες μέσω του υφιστάμενου εξοπλισμού των Εργαστηρίων.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των απαιτούμενων πρώτων υλών, αφορά τεμάχια από κράματα χάλυβα και διάφορα προφίλ μορφοσιδήρου. Η περιγραφή των κραμάτων στα κατασκευαστικά σχέδια, γίνεται μέσω της χρήσης τυποποιημένων κωδικών κατά

DIN (Deutsches Institut für Normung), AISI (American Iron and Steel Institute) ή ASM (American Society for Metals). Εφόσον για ένα συγκεκριμένο κράμα χάλυβα, δεν είναι δυνατή η εύρεση τεχνικών πληροφοριών με την κωδική ονομασία κατά DIN, βρίσκεται ο αντίστοιχος κωδικός κατά AISI ή ASM μέσω πινάκων και στη συνέχεια, με βάση το νέο κωδικό, αναζητούνται τα στοιχεία που χρειάζονται για τη μελέτη.

Πέραν των προαναφερθέντων τεμαχίων από κράματα χάλυβα, η τυποποίηση βρίσκει εφαρμογή και σε άλλα εξαρτήματα, όπως κοχλίες, περικόχλια, υλικά συναρμογής και ηλεκτρόδια για τις συγκολλήσεις των επιμέρους τεμαχίων. Ειδικά για τους τραπεζοειδείς κοχλίες κίνησης, η μελέτη διαστασιολόγησής τους, βασίστηκε εξολοκλήρου στα τεχνικά στοιχεία του προτύπου DIN 103.

Για να γίνει η τελική επιλογή των πρώτων υλών, πρέπει να ληφθεί υπόψη και το κόστος αγοράς των επιμέρους πρώτων υλών. Το κόστος, αποτελεί συνάρτηση πολλών παραγόντων και μεταβάλλεται εξαιτίας των οικονομικών συνθηκών. Σημαντικό ρόλο στην κοστολόγηση, αποτελεί η ύπαρξη άμεσα διαθέσιμων προϊόντων καθώς και η δυνατότητα μεταφοράς τους στο χώρο του Εργαστηρίου με συμβατικά μέσα, όπως αυτοκίνητα Ι.Χ.. Έτσι, αποφεύγεται η παραγγελία πρώτων υλών και η πιθανότητα χρέωσης από τον προμηθευτή, για τη μεταφορά τους στο χώρο κατεργασίας.

Οι πέντε παράγοντες που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, είναι οι βασικοί άξονες στα πλαίσια της επίτευξης μίας βέλτιστης λύσης για την προμήθεια των πρώτων υλών, όμως δεν αποτελούν τα μοναδικά κριτήρια. Σημαντική κρίνεται και η συμβολή των αποτελεσμάτων που εξάχθηκαν από την ανάλυση τμημάτων και τεμαχίων μέσω των πεπερασμένων στοιχείων, καθώς και των χειρόγραφων υπολογισμών, αφού με τον τρόπο αυτό ελέγχεται η καταλληλότητα των υλικών.

Τέλος, άξια αναφοράς είναι τα υλικά κατασκευής διατάξεων μετατόπισης αισθητήρων παρόμοιων αεροσηράγγων που αποτέλεσαν μέτρο σύγκρισης ως προς τα προτεινόμενα υλικά της παρούσας σχεδιομελέτης.



### 2.4.3 Μηχανουργικές κατεργασίες

Ανάμεσα στις απαιτούμενες προδιαγραφές της διάταξης μετατόπισης αισθητήρων, περιλαμβάνεται και η δυνατότητα κατασκευής και συναρμολόγησης όλων των εξαρτημάτων και επιμέρους τμημάτων που την απαρτίζουν, στους χώρους των Μηχανολογικών Εργαστηρίων I & II του Τ.Ε.Ι. Πειραιά. Με βάση αυτήν την απαίτηση η τελική λύση, που παρουσιάστηκε στα κατασκευαστικά σχέδια, δύναται να υλοποιηθεί, μέσω του παρακάτω διαθέσιμου εξοπλισμού μηχανουργικών κατεργασιών:

- α.) Οριζόντια φρέζα, με δυνατότητα διάνοιξης αύλακα πλάτους  $5 \text{ mm} \leq w \leq 20 \text{ mm}$ .
- β.) Τόρνος, με αυτόματη πρόωση για τη κατεργασία σπειρωμάτων και δυνατότητα κατεργασίας τεμαχίων μήκους  $L \leq 2.400 \text{ mm}$  με χρήση καβαλέτου.
- γ.) Κάθετο επιτραπέζιο δράπανο με ισχύ  $P \geq 500 \text{ W}$ .
- δ.) Ηλεκτρικός επιτραπέζιος τροχός κοπής διαφόρων διατομών μορφοσιδήρου.
- ε.) Μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης τόξου με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια, για μέγιστο ρεύμα συγκόλλησης  $I \leq 120 \text{ A}$  και συμβατική τάση εργασίας, η οποία σύμφωνα με το Διαμαντούδη (2000), υπολογίζεται από τη σχέση  $V_E = 20 + |0,04 \cdot I|$ .
- στ.) Υδραυλική στραντζόπρεσσα με δυνατότητα διαμόρφωσης ελασμάτων χάλυβα πάχους  $3 \text{ mm} \leq t \leq 8 \text{ mm}$ .

Ιδιαίτερη προσοχή κατά το σχεδιασμό δόθηκε στο μέγεθος των τεμαχίων που πρέπει να κατεργαστούν, έτσι ώστε να μην υπερβαίνει τις ωφέλιμες διαστάσεις των εργαλειομηχανών από τις οποίες θα περάσουν. Εξαιρέση αποτελεί ο τόρνος, όπου η διαμόρφωση του κοιλία του άξονα χ'χ θα πρέπει να γίνει με τη βοήθεια κατάλληλου καβαλέτου. Η θέση του στον τόρνο, πρέπει να είναι στο μισό μήκος της απόστασης της ατράκτου συγκράτησης από τον κεντροφορέα. Με το εξάρτημα αυτό, μειώνεται το βέλος κάμψης κατά την τόννευση και καταπονείται λιγότερο η κοπτική κεφαλή από τις ταλαντώσεις του περιστρεφόμενου αντικειμένου ως προς τον άξονα περιστροφής.

Η χρήση ψυκτικού υγρού για τις κατεργασίες φρέζας, τόννου και δραπεάνου είναι προαιρετική για διαμόρφωση τεμαχίων από ανθρακούχο χάλυβα, εφόσον η θερμοκρασία στο σημείο κοπής διατηρείται σε τιμή  $T \leq 200 \text{ }^\circ\text{C}$ . Κατά τους Λοπρέστη

και Μπάχα (1977), αυτή είναι η κρίσιμη τιμή, μετά την οποία, η επιφανειακή σκληρότητα του τεμαχίου μειώνεται σημαντικά. Το συνηθέστερο ψυκτικό υγρό, είναι διάλυμα με 5% έλαιο, 5% σαπούνι και 90% αποσταγμένο νερό (περιεκτικότητα κατά βάρος). Επειδή η κατεργασμένη επιφάνεια είναι επιρρεπής στο σχηματισμό οξειδίων, προτείνεται η χρήση έτοιμου γαλακτώματος κοπής από το εμπόριο, κατάλληλο για κοπή χαλύβων. Μετά το τέλος των εργασιών, τα τεμάχια πρέπει να καθαρίζονται άμεσα από κατάλοιπα ψυκτικών υγρών και ξένων σωματιδίων.

Ως προς τις συγκολλήσεις, οι ρυθμίσεις της μηχανής και η προετοιμασία των ηλεκτροδίων και των επιφανειών σύνδεσης είναι τα πιο κρίσιμα βήματα για τη δημιουργία ανθεκτικών ενώσεων. Η τάση εργασίας και το ρεύμα επιλέγονται συναρτήσει των διαστάσεων, του υλικού και του τύπου του ηλεκτροδίου.

Τα ηλεκτρόδια πρέπει να διαθέτουν πλήρη επένδυση σε όλο το μήκος τους, ενώ πριν τη χρήση τους κρίνεται απαραίτητη η θέρμανση τους σε ξηραντήρα, για την πλήρη απομάκρυνση της παραμένουσας υγρασίας στην επένδυση. Σωματίδια υγρασίας, πιθανώς να προκαλέσουν πόρους στη ραφή, από τους οποίους ξεκινάνε ρηγματώσεις (Department of the Army Publications and Forms, 1993).

Οι επιφάνειες, στις οποίες θα γίνει η ηλεκτροσυγκόλληση, πρέπει να καθαριστούν σχολαστικά από οξείδια και ξένα σωματίδια, για την αποφυγή εγκλεισμάτων, ενώ πριν από την έναρξη οποιασδήποτε εργασίας συγκόλλησης, θα πρέπει να επαληθευτούν μέσω σχεδίων οι κωδικοί των ηλεκτροδίων και η θέση των τεμαχίων που θα συνδεθούν.



#### 2.4.4 Θερμικές κατεργασίες

Οι σωλήνες βύθισης (No 72) και ρύθμισης γωνίας βήματος (No 74) αποτελούν τα τμήματα του φορέα συγκράτησης αισθητήρων (01.07.00.00) που εκτίθεται στη ροή του αέρα κατά τη διάρκεια των πειραματικών διαδικασιών και δέχονται συνεχείς μηχανικές φορτίσεις, με αποτέλεσμα τη συγκέντρωση τοπικών τάσεων και τη μείωση της ακρίβειας μετατόπισης του προσαρμοζόμενου αισθητήρα εξαιτίας της ελαστικής παραμόρφωσής τους.

Δεδομένης της απαιτούμενης ακρίβειας μετατόπισης, επιλέχθηκε η κατασκευή τους από βελτιωμένο χρωμιούχο χάλυβα 25CrMo4, υλικό που διαθέτει τις μέγιστες τιμές ορίου διαρροής και αντοχής σε εφελκυσμό, συγκριτικά με όλα τα διαθέσιμα κράματα χάλυβα για το πρότυπο «EN 10305-1 σωλήνων εφαρμογών ακριβείας».

Επίσης, οι μηχανικές ιδιότητες κρίθηκαν επαρκείς κατά την ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων No 8, που αφορά τα συγκεκριμένα εξαρτήματα.

Το συγκεκριμένο κράμα, γνωστό και ως AISI 4130 (Aggen και συν. 2005), μετά το πέρας των μηχανουργικών κατεργασιών, επεξεργάζεται θερμικά, με στόχο τη βελτίωση των μηχανικών του χαρακτηριστικών. Τα στάδια της θερμικής κατεργασίας είναι τα εξής:

α.) Μαρτενσιτική βαφή. Το αντικείμενο θερμαίνεται έως τη θερμοκρασία ωστενιτοποίησης (Χρυσουλάκης & Παντελής, 2008) και στη συνέχεια ψύχεται σε υγρό με ρυθμό απόψυξης που υπολογίζεται από το διάγραμμα συνεχούς απόψυξης «C.C.T.». Το αποτέλεσμα είναι η μετατροπή της ωστενιτικής φάσης σε μαρτενσιτική και η αύξηση της σκληρότητας στην επιφάνεια και το πυρήνα του εξαρτήματος.

β.) Επαναφορά. Η μαρτενσιτική βαφή έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση της ευθραυστότητας και της σκληρότητας του αντικειμένου. Για το λόγο αυτό, το αντικείμενο θερμαίνεται σε θερμοκρασία  $T$  σύμφωνα με τη σχέση 2.8 και για διάστημα ανάλογο της επιθυμητής τελικής σκληρότητας (Haimbaugh, 2001).

$$M_s < T < A_1$$

$$2.8$$

όπου:

$M_s$  : Θερμοκρασία έναρξης του μαρτενσιτικού μετασχηματισμού

A<sub>1</sub>: Θερμοκρασία του σημείου τομής με την οριζόντια του ευτηκτοειδούς σημείου στο διάγραμμα φάσεων σιδήρου-άνθρακα. Είναι σταθερή και ισούται με 723 °C.

Σχεδιασμός θερμικής κατεργασίας σωλήνα βύθισης Νο 72

Το αντικείμενο, προθερμαίνεται έως τη θερμοκρασία ωστενιτοποίησης του κράματος, σύμφωνα με τη σχέση 2.9. Συνεπώς η τιμή της θερμοκρασίας ισούται με 865 °C, αφού A<sub>C3</sub> = 815 °C

$$T_{\Omega\sigma\tau.} = A_{C3} + 50 \text{ } ^\circ\text{C} \quad 2.9$$

A<sub>C3</sub>: υψηλότερη κρίσιμη θερμοκρασία για υποευτηκτοειδείς χάλυβες.

Η διαδικασία της προθέρμανσης εκτελείται σε δύο βήματα: Αύξηση της θερμοκρασίας έως το ήμισυ (432 °C) της επιθυμητής τιμής για χρόνο t = 30 min., στη συνέχεια για t = 30 min. έως το 70% της τελικής τιμής (605,5 °C) και μετά αύξηση και πάλι έως τους 865 °C. Ο χρόνος παραμονής του εξαρτήματος στη θερμοκρασία ωστενιτοποίησης υπολογίζεται από τη σχέση 2.10 και για τη ράβδο αντιστοιχεί σε 55 min.

$$t_{\Omega\sigma\tau. \text{ ΟΛΙΚΟΣ}} = t_p + t_{\Omega\sigma\tau.} + t_{\Lambda\sigma\Phi} \quad 2.10$$

t<sub>p</sub>: Χρόνος πλότος, για τη θέρμανση του υλικού ομοιογενώς σε όλη τη μάζα του αντικειμένου. Ο χρόνος πλότος λαμβάνει τιμή t<sub>p</sub> = 20 min. .

t<sub>Ωστ.</sub>: Χρόνος για τη πλήρη μετατροπή των φάσεων του υλικού σε κρυσταλλική δομή ωστενίτη σε ποσοστό 100%. Η απαιτούμενη τιμή είναι 30 min. .

t<sub>Λσφ</sub> = Χρονικό διάστημα για την κάλυψη πιθανού νεκρού χρόνου κατά τη διάρκεια της κατεργασίας. Η εμπειρική τιμή, που χρησιμοποιήθηκε στις βαφές δοκιμών του Εργαστηρίου Ποιοτικού Ελέγχου του Τ.Ε.Ι. Πειραιά το εαρινό εξάμηνο του 2010, είναι ίση με 5 min. .

Η απόψυξη γίνεται σε νερό και για θερμοκρασία που πρέπει να επαληθεύει τις σχέσεις 2.11 και 2.12. Όπως φαίνεται στον πίνακα 2.11 για κράμα AISI 4130 M<sub>S</sub> = 380 °C και M<sub>f</sub> = 280 °C. Άρα πρέπει να ισχύει ότι T<sub>ΑΠΟΨ.</sub> < 280 °C.

$$T < M_f \quad 2.11$$



$$T < M_s$$

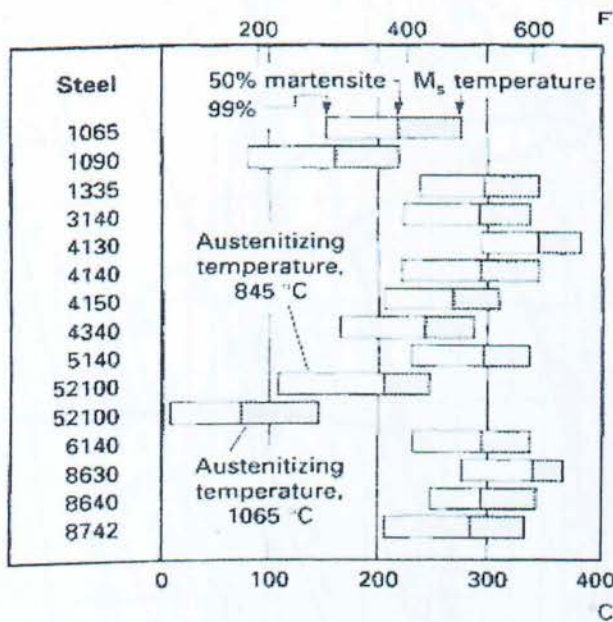
2.12

$M_s$  : Θερμοκρασία έναρξης μαρτενσιτικού μετασχηματισμού

$M_f$  : Θερμοκρασία λήξης μαρτενσιτικού μετασχηματισμού

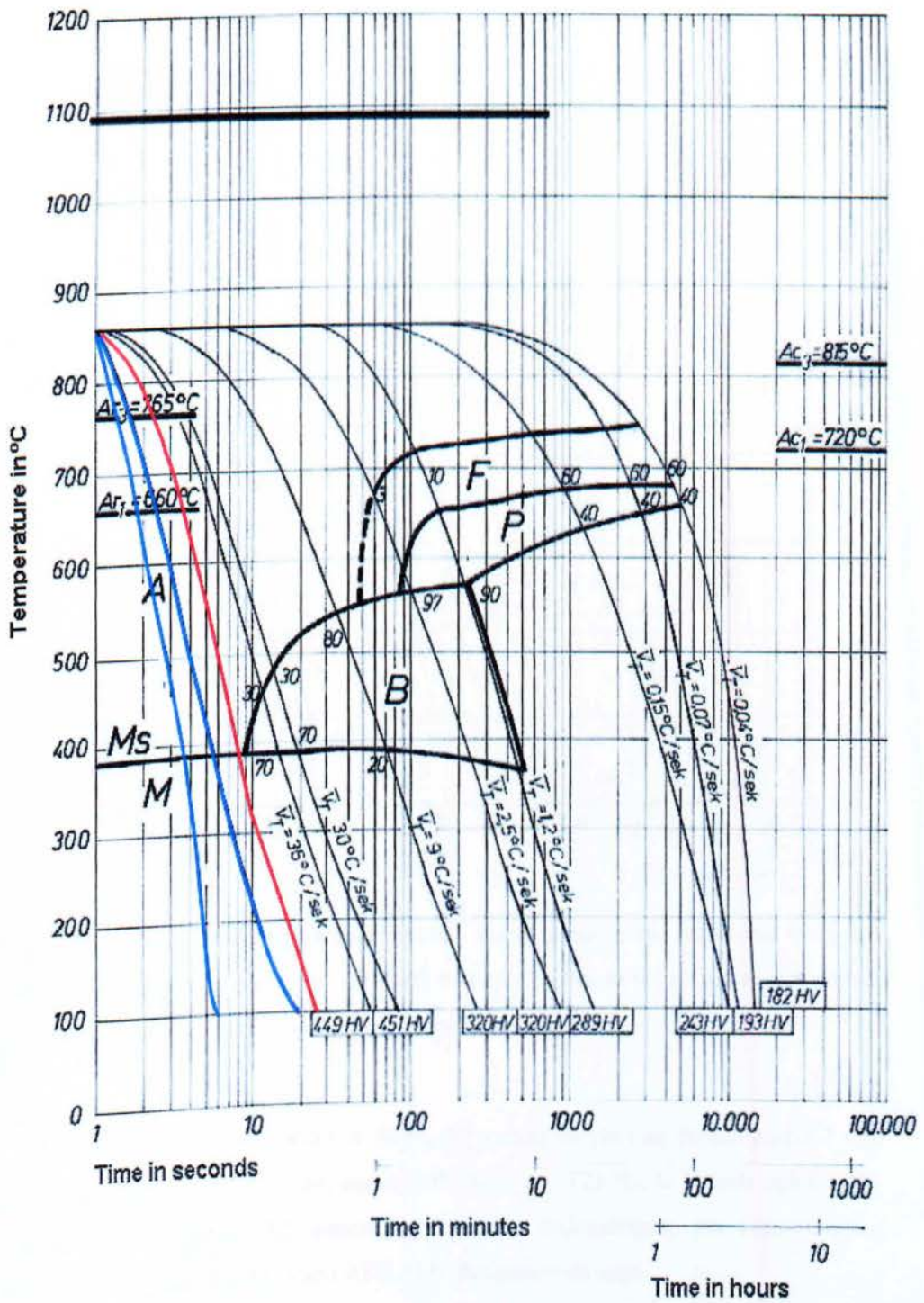
Πίνακας 2.11

Θερμοκρασίες έναρξης και λήξης μαρτενσιτικού μετασχηματισμού, συναρτήσει θερμοκρασίας.



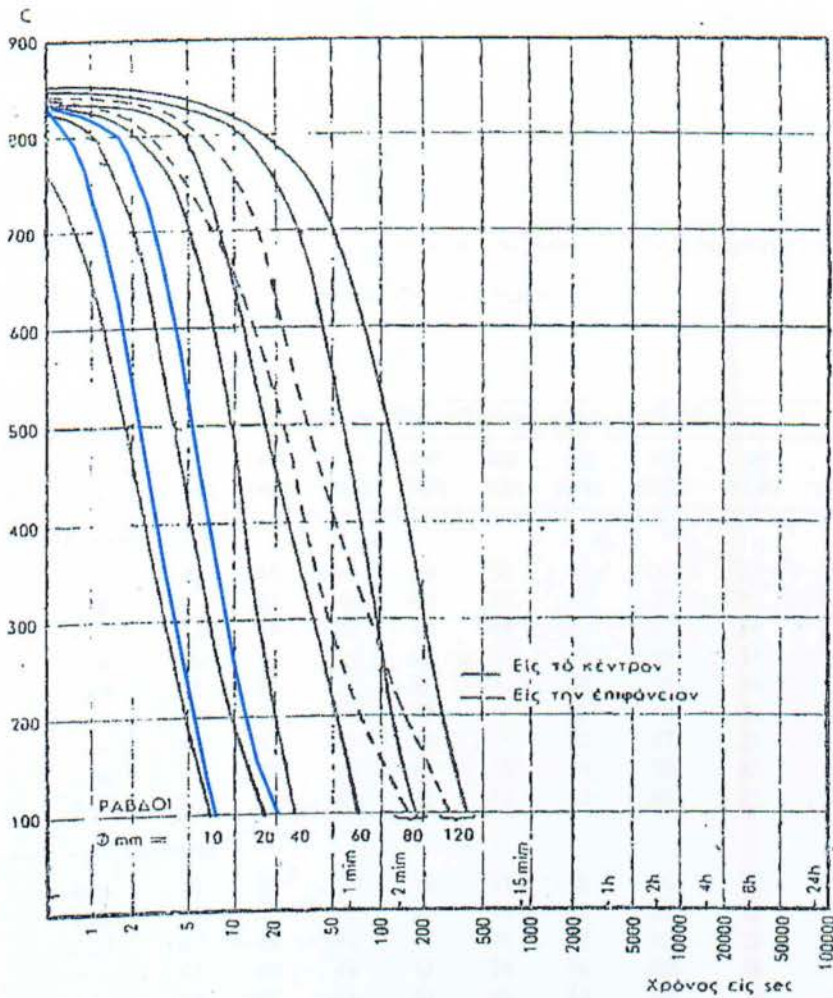
Επίσης η καμπύλη του ρυθμού απόψυξης στο «C.C.T.» θα πρέπει να μην εισέρχεται σε περιοχή μπενιτικής και φεριτικής φάσης.

Στο σχήμα 2.9, η κρίσιμη καμπύλη αντιστοιχεί σε ρυθμό απόψυξης 40 °C/sec. Από το σχήμα 2.10, για διάμετρο ράβδου ίση με 28 mm, η καμπύλη βαφής σε νερό αντιστοιχεί σε χρόνο απόψυξης  $t_{\text{ΑΠ}} = 20$  sec. Στο σχήμα 3.1, για την τιμή αυτή, χαράσσεται νέα καμπύλη απόψυξης που δίνει τον τελικό ρυθμό απόψυξης που είναι ίσος με 42 °C/sec. Μετά το τέλος της βαφής, το εξάρτημα αναμένεται να έχει σκληρότητα 448 HV = 45 HRC (American Society for Testing and Materials [A.S.T.M.] E-140, 2002).



Σχήμα 2.9. Διάγραμμα συνεχούς απόψυξης «C.C.T.» για χάλυβα AISI 4130. Η καμπύλη με κόκκινο χρώμα αντιστοιχεί στη κρίσιμη ταχύτητα απόψυξης και οι καμπύλες με μπλε στις χρησιμοποιούμενες κατά την κατεργασία των τεμαχίων.





Σχήμα 2.10. Τιμές της θερμοκρασίας στον πυρήνα και στην επιφάνεια δοκιμίων χάλυβα συναρτήσει του χρόνου, για βαφή σε νερό. Οι καμπύλες με μπλε χρώμα είναι οι χρησιμοποιούμενες στη θερμικές κατεργασίες.

Η επαναφορά, που ακολουθεί τη βαφή, θα πρέπει να γίνει σε θερμοκρασία  $T$  που επαληθεύει τη σχέση 2.8. Άρα πρέπει  $380\text{ }^\circ\text{C} < T < 723\text{ }^\circ\text{C}$ . Ο Haimbaugh (2001), αναφέρει στον πίνακα 3.2 αναμενόμενες τιμές σκληρότητας για θερμοκρασίες επαναφοράς χρωμιούχου χάλυβα AISI 4130 βαμμένου σε νερό.

Με βάση το κριτήριο της σχέσης 2.8 επιλέγουμε  $T_{\text{ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ}} = 425\text{ }^\circ\text{C}$ . Θερμαίνουμε το αντικείμενο έως την επιθυμητή θερμοκρασία, τη διατηρούμε για χρόνο 120' και στη συνέχεια το αποψύχουμε αργά στον αέρα. Με το τελευταίο βήμα

της θερμικής κατεργασίας, η αναμενόμενη μέση σκληρότητα του σωλήνα θα πρέπει να είναι 38 HRC.

### Πίνακας 2.12

Σκληρότητα χάλυβα AISI 4130, για επαναφορά διάρκειας 120' σε διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας. Η βαφή που προηγήθηκε έγινε σε νερό.

Grade	Carbon content, %	Hardness, HRC, after tempering for 2 h at °C (°F):								
		205 (400)	260 (500)	315 (600)	370 (700)	425 (800)	480 (900)	540 (1000)	595 (1100)	650 (1200)
<b>Carbon steels, water hardening</b>										
1030	0.30	50	45	43	39	31	28	25	22	95(a)
1040	0.40	51	48	46	42	37	30	27	22	94(a)
1050	0.50	52	50	46	44	40	37	31	29	22
1060	0.60	56	55	50	42	38	37	35	33	26
1080	0.80	57	55	50	43	41	40	39	38	32
1095	0.95	58	57	52	47	43	42	41	40	33
1137	0.40	44	42	40	37	33	30	27	21	91(a)
1141	0.40	49	46	43	41	38	34	28	23	94(a)
1144	0.40	55	50	47	45	39	32	29	25	97(a)
<b>Alloy steels, water hardening</b>										
1330	0.30	47	44	42	38	35	32	26	22	16
2330	0.30	47	44	42	38	35	32	26	22	16
3130	0.30	47	44	42	38	35	32	26	22	16
4130	0.30	47	45	43	42	38	34	32	26	22
5130	0.30	47	45	43	42	38	34	32	26	22
8630	0.30	47	45	43	42	38	34	32	26	22

### Σχεδιασμός θερμικής κατεργασίας σωλήνα γωνίας βήματος Νο 74

Το εξάρτημα προθερμαίνεται έως τη θερμοκρασία ωστενιτοποίησης που υπολογίστηκε από τη σχέση 2.9 και είναι  $T_{ΩΣΤ.} = 865 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Η διαδικασία προθέρμανσης παραμένει η ίδια. Ο ολικός χρόνος ωστενιτοποίησης υπολογίζεται εκ νέου, με δεδομένη τη νέα διάμετρο της ράβδου που είναι  $d = 12 \text{ mm}$ . Ο χρόνος πλότος αποτελεί συνάρτηση των διαστάσεων του αντικειμένου που θερμαίνεται, αλλά λόγω απουσίας ποσοτικού διαγράμματος φάσεων για το συγκεκριμένο κράμα, βρίσκεται αναλογικά από τη σχέση 2.13:



$$t_{P2} = \frac{t_{P1} \cdot d_1}{d_2} \Leftrightarrow t_{P2} = \frac{20 \text{ min} \cdot 12 \text{ mm}}{28 \text{ mm}} = 8,5 \text{ min} \quad 2.13$$

Από τη σχέση 2.10, εξάγεται ο τελικός ολικός χρόνος παραμονής του αντικειμένου στη θερμοκρασία ωστενιτοποίησης:

$$t_{\text{ΩΣΤ. ΟΛΙΚΟΣ}} = t_p + t_{\text{ΩΣΤ.}} + t_{\text{ΑΣΦ.}} = 8,5 \text{ min.} + 30 \text{ min.} + 5 \text{ min.} = 43,5 \text{ min.}$$

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας απόψυξης του αντικειμένου, χαράσσεται νέα καμπύλη στο σχήμα 2.10 για ράβδο Φ12 mm. Η καμπύλη αντιστοιχεί σε χρόνο απόψυξης  $t_{\text{ΑΠ.}} = 6 \text{ sec.}$  Επίσης ισχύουν οι σχέσεις 2.11 και 2.12, άρα πρέπει  $T_{\text{ΑΠΟΨ.}} < 280 \text{ }^\circ\text{C.}$  Για χρόνο απόψυξης ίσο με 6 sec. στο σχήμα 2.9 χαράσσεται νέα καμπύλη που ανήκει σε ρυθμό απόψυξης  $52 \text{ }^\circ\text{C/sec.}$  Η τελική σκληρότητα μετά τη βαφή αναμένεται να είναι  $441 \text{ HRV} = 44,5 \text{ HRC.}$

Η επαναφορά του αντικειμένου, λόγω των μικρών του διαστάσεων, προτείνεται να γίνει σε επαγωγική διάταξη ελεγχόμενης θερμοκρασίας. Με τον τρόπο αυτό, μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας, ενώ παραμένει ο ακριβής έλεγχος των παραμέτρων (θερμοκρασία, ταχύτητα θέρμανσης μάζας) της διαδικασίας.

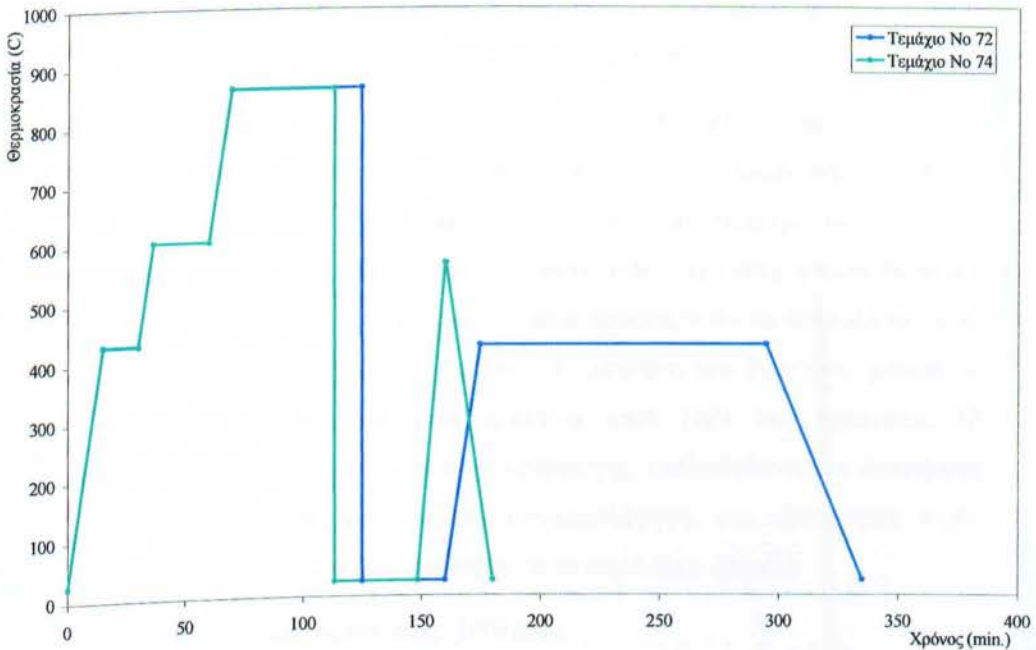
Στον πίνακα 2.13 (Haimbaugh 2001), αναφέρονται οι σχετικές τιμές:

Πίνακας 2.13.

Συνθήκες κατεργασίας επαναφοράς σε επαγωγική διάταξη διαφόρων κραμάτων χάλυβα.

Section size		Material	Frequency, Hz	Power(a), kW	Total heating time, s	Scan time		Work temperature				Production rate		Inductor input(b)	
								Entering coil		Leaving coil					
cm	in.					s/cm	s/in.	°C	°F	°C	°F	kg/h	lb/h	kW/cm <sup>2</sup>	kW/in. <sup>2</sup>
<b>Rounds</b>															
1.27	1/2	4130	9600	11	17	0.39	1	50	120	565	1050	92	202	0.064	0.41
1.91	3/4	1035 mod	9600	12.7	30.6	0.71	1.8	50	120	510	950	113	250	0.050	0.32
2.54	1	1041	9600	18.7	44.2	1.02	2.6	50	120	565	1050	141	311	0.054	0.35
2.86	1 1/8	1041	9600	20.6	51	1.18	3.0	50	120	565	1050	153	338	0.053	0.34
4.92	1 5/16	14B35H	180	24	196	2.76	7.0	50	120	565	1050	195	429	0.031	0.20

Το αντικείμενο θα θερμανθεί για  $t = 17 \text{ sec.}$  σε  $T_{\text{ΕΠΙΛΑΝΑΦΟΡΑΣ}} = 565 \text{ }^\circ\text{C}$ , η οποία ανταποκρίνεται και στη σχέση 2.8 που αποτελεί κριτήριο για την επιλογή της κατάλληλης θερμοκρασίας. Η τελική του σκληρότητα διαμορφώνεται στα 30 HRC.



Σχήμα 2.11. Θερμοκρασία συναρτήσεως του χρόνου θερμικής κατεργασίας. Η μεταβολή της θερμοκρασίας εντός του φούρνου θέρμανσης, θεωρήθηκε γραμμική.

Έλεγχος διαστάσεων των αντικειμένων μετά το πέρας της θερμικής κατεργασίας

Η θερμική κατεργασία των αντικειμένων προκαλεί τη δημιουργία επιφανειακής οξείδωσης και ελαφρά αλλοίωση των διαστάσεών τους. Για το λόγο αυτό, μετά την θερμική κατεργασία, το κάθε εξάρτημα καθαρίζεται επιφανειακά με τη βοήθεια λειαντικών υλικών και μετράται η εσωτερική και η εξωτερική διάμετρος του. Εάν δεν επαληθεύεται η σχέση 2.14, το εξάρτημα κρίνεται ακατάλληλο για τη συναρμολόγηση και πρέπει να κατασκευαστεί ξανά.

$$(d_{\text{ΕΣΩΤΕΡ. ΠΑΛΙΑ}} - d_{\text{ΕΣΩΤΕΡ. ΝΕΑ}}) + (d_{\text{ΕΣΩΤΕΡ. ΠΑΛΙΑ}} - d_{\text{ΕΣΩΤΕΡ. ΝΕΑ}}) < 0,001 \text{ m} \quad 2.14$$



#### 2.4.5 Διαδικασία συναρμολόγησης εξαρτημάτων

Η διαδικασία συναρμολόγησης των επιμέρους τμημάτων, χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: Τη συναρμολόγηση των εξαρτημάτων που απαρτίζουν τα επιμέρους τμήματα της κατασκευής και τη συναρμολόγηση των τμημάτων αυτών, στο θάλαμο δοκιμών, ως υποσύνολα του μηχανισμού μετατόπισης αισθητήρων.

Το κάθε μεμονωμένο εξάρτημα, πριν την τελική τοποθέτηση και συναρμολόγησή του στο σημείο που υποδεικνύει το σχετικό συνοπτικό σχέδιο, πρέπει να ελεγχθεί ως προς την εφαρμογή του στην επιφάνεια επαφής. Για τεμάχια τα οποία θα συγκρατούνται μεταξύ τους μέσω κοχλία - περικοχλίου, η κρίσιμη τιμή διακένου ορίζεται ως  $g = 0,5 \text{ mm}$ , ενώ για τεμάχια τα οποία προορίζονται να συγκολληθούν το μέγιστο επιτρεπτό διάκενο είναι  $g = 0,2 \text{ mm}$ . Η μέτρηση του διακένου, μπορεί να γίνει με πρότυπα παραλληλόγραμμα πλακίδια κατά DIN 861 ποιότητας III (Μαρτζούκος, 2005). Μετά με τον έλεγχο εφαρμογής, επαληθεύονται οι διαστάσεις του συνόλου που θα προκύψει από την συναρμολόγηση, και εξετάζονται τυχόν αποκλίσεις. Για τις εργασίες αυτές, απαιτούνται τα παρακάτω όργανα:

- α.) Παχύμετρο διακριτικής ικανότητας  $1/10 \text{ mm}$ .
- β.) Μετρητικό ρολόι Κατηγορίας II και εύρους μέτρησης  $5 \text{ mm}$ .
- γ.) Μοιρογνωμόνιο διακριτικής ικανότητας  $5'$ .

Στη συνέχεια το εξάρτημα συναρμολογείται στην τελική του θέση. Σε περιπτώσεις χρήσης κοχλιών, απαιτείται η χρήση ροπόκλειδων, η ροπή σύσφιξης των οποίων, εξαρτάται από τον τύπο του κοχλία. Στις συγκολλήσεις, τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρόδιου και οι απαραίτητες πληροφορίες της κόλλησης, αναφέρονται στα σχετικά συνοπτικά σχέδια.

Μετά το πέρας των εργασιών συναρμολόγησης των επιμέρους τμημάτων και σύμφωνα με τα συνοπτικά σχέδια, δεκαέξι τμήματα θα είναι διαθέσιμα για την ολοκλήρωση της κατασκευής. Αυτά θα συναρμολογηθούν σύμφωνα με το γενικό συνοπτικό σχέδιο 01.00.00.00 στις αντίστοιχες θέσεις, λαμβάνοντας υπόψη τα σχετικά σχόλια διαμόρφωσης. Η διαδικασία ελέγχου εφαρμογής και διαστάσεων, καθώς και οι μέθοδοι συναρμολόγησης, παραμένουν οι ίδιες, αντιμετωπίζοντας το κάθε ένα επιμέρους τμήμα σαν ένα ξεχωριστό εξάρτημα.

#### 2.4.6 Έλεγχος κίνησης και μετατόπισης μηχανισμού

Η ενέργεια των μηχανισμών μετατόπισης αισθητήρων, προέρχεται από τρεις βηματικούς κινητήρες για τους άξονες x'x, y'y, z'z και δύο σερβοκινητήρες για τη ρύθμιση των γωνιών βήματος και εκτροπής.

Κάθε ένας από τους τρεις βηματικούς -διπολικούς- κινητήρες, ελέγχεται από έναν οδηγό (driver), ο οποίος διαθέτει ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα με ενσωματωμένη γέφυρα «H». Το κύκλωμα αυτό, συνδέεται με τροφοδοτικό κύκλωμα συνεχούς ρεύματος και δέχεται εντολές μέσω ενός προγραμματιζόμενου μικροελεγκτή ανοικτού κώδικα «Arduino».

Οι σερβοκινητήρες, μπορούν να συνδεθούν απευθείας με τον μικροελεγκτή, αλλά λόγω της ανάγκης πλήρους ελέγχου της κίνησής τους, η χρήση τους γίνεται σε συνδυασμό με μαγνητικούς περιστροφικούς κωδικοποιητές (magnetic rotary encoders).

Ο μαγνητικός κωδικοποιητής, μεταφράζει την κίνηση του σερβοκινητήρα σε δύο ηλεκτρικούς τετραγωνικούς παλμούς «Α» και «Β» (Bajd, Mihelj, et al., 2010) με διαφορά φάσης 90°. Η πληροφορία στέλνεται ως ανάδραση στο κύκλωμα οδήγησης, το οποίο αναλόγως της απόκλισης από την επιθυμητή θέση του σερβοβραχίονα, εκτελεί την απαραίτητη διόρθωση μέσω αποστολής νέου ηλεκτρικού παλμού στον σερβοκινητήρα. Το κύκλωμα οδήγησης, όπως και στους βηματικούς κινητήρες, συνδέεται με πηγή τροφοδοσίας συνεχούς ρεύματος, ενώ λαμβάνει εντολές από τον μικροελεγκτή. Τα διαθέσιμα κυκλώματα ελέγχου σερβοκινητήρων με ανάδραση, δύναται να οδηγηθούν σαν κυκλώματα ελέγχου βηματικών κινητήρων (stepper motor emulation driver) και για το λόγο αυτό, στο διάγραμμα συνδεσμολογίας του μικροελεγκτή, για κάθε σερβοκινητήρα, αντιστοιχούν τρία καλώδια σύνδεσης: α.) διεύθυνση (Dir) β.) βήμα (Step) και γ.) Γείωση (Gnd).

Οι εντολές των κυκλωμάτων οδήγησης παρέχονται από ένα μικροελεγκτή ανοικτού κώδικα «Arduino Mega». Ο μικροελεγκτής αυτός, περιλαμβάνει έναν επεξεργαστή Atmega 2560 και μπορεί να διαμορφωθεί μέσω ενός ολοκληρωμένου περιβάλλοντος προγραμματισμού και μίας απλοποιημένης γλώσσας, παρόμοιας με τη C++. Επίσης το λογισμικό του «Arduino», είναι συμβατό με το πρόγραμμα «Labview», γεγονός



που δίνει τη δυνατότητα ελέγχου του μηχανισμού μετατόπισης αισθητήρων μέσω ενός γραφικού περιβάλλοντος χρήστη (GUI).

Στο σχήμα 2.12, εμφανίζεται το διάγραμμα συνδεσμολογίας των επιμέρους τμημάτων που συντελούν στον έλεγχο της κίνησης του μηχανισμού. Με πράσινο χρώμα και το χαρακτήρα «E», αναπαρίστανται οι μαγνητικοί περιστροφικοί κωδικοποιητές.

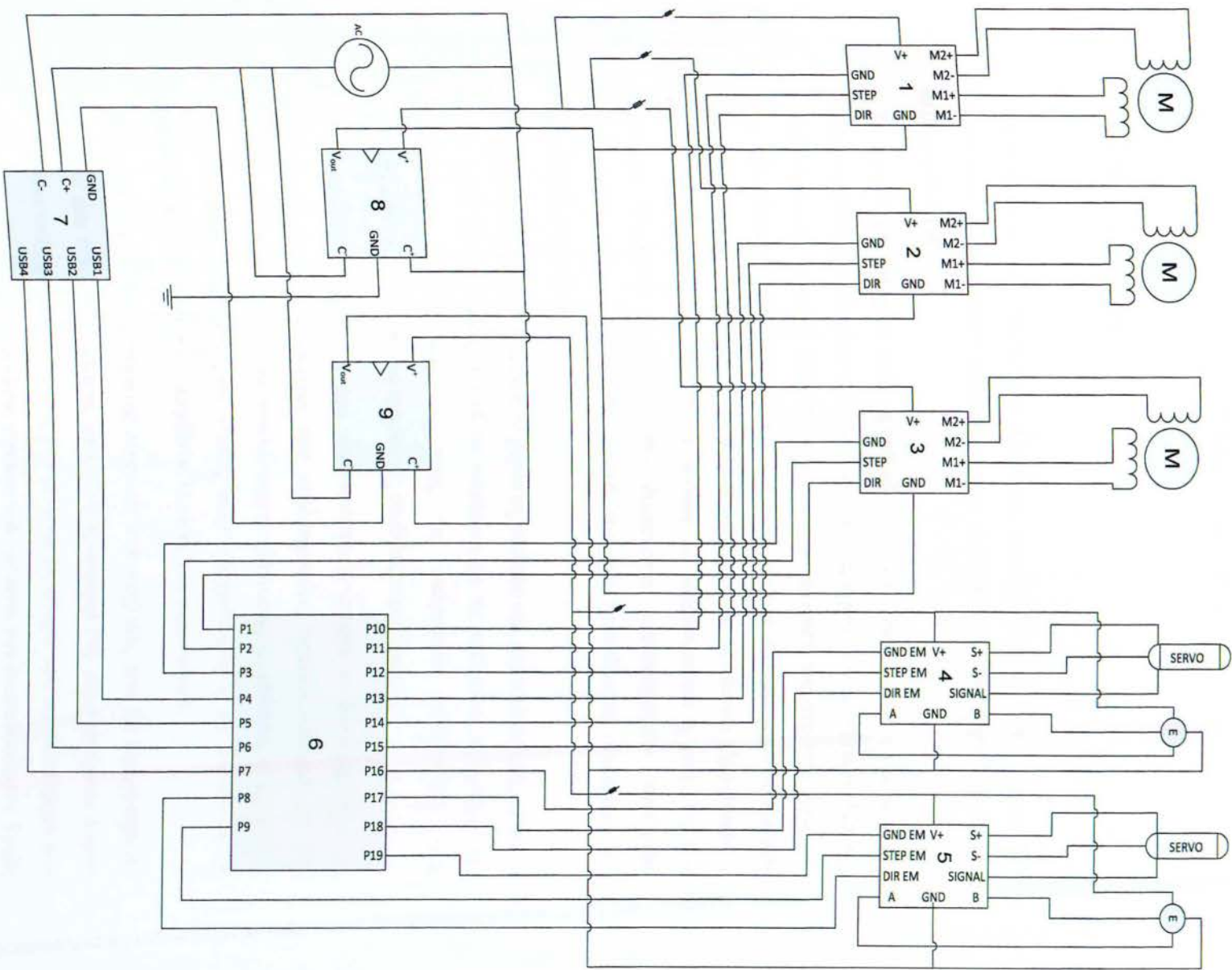
Λόγω της διαφορετικής τάσης λειτουργίας των βηματικών κινητήρων, των σερβομηχανισμών και των αντίστοιχων κυκλωμάτων οδήγησης, παρέχονται δύο ξεχωριστά τροφοδοτικά κυκλώματα, τα οποία είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Ο μικροελεγκτής «Arduino» έχει ως πηγή τροφοδοσίας ρεύματος τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, με τον οποίο συνδέεται μέσω καλωδίου πρωτοκόλλου USB. Στο διάγραμμα, αυτό αναπαρίσταται υπό τη μορφή τεσσάρων συνδέσεων ανάμεσα στον υπολογιστή και το μικροελεγκτή.

Τέλος, η όλη εγκατάσταση, συνδέεται με μία συμβατική πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος τάσης 220 V και συχνότητας 50 Hz, ενώ κάθε κύκλωμα οδήγησης, συνοδεύεται από ένα διακόπτη ασφαλείας, προκειμένου να απομονωθεί ο εκάστοτε κλάδος του μηχανισμού μετατόπισης, σε περίπτωση βλάβης, συντήρησης ή έκτακτης ανάγκης.

Υπόμνημα σχήματος 2.12:

1. Κύκλωμα οδήγησης βηματικού κινητήρα No 1
2. Κύκλωμα οδήγησης βηματικού κινητήρα No 2
3. Κύκλωμα οδήγησης βηματικού κινητήρα No 3
4. Κύκλωμα οδήγησης σερβοκινητήρα No 1 και σύνδεσης κωδικοποιητή
5. Κύκλωμα οδήγησης σερβοκινητήρα No 2 και σύνδεσης κωδικοποιητή
6. Κύκλωμα μικροελεγκτή «Arduino Mega»
7. Ηλεκτρονικός υπολογιστής ελέγχου μηχανισμού μετατόπισης
8. Τροφοδοτικό κύκλωμα βηματικών κινητήρων
9. Τροφοδοτικό κύκλωμα σερβοκινητήρων



Σχήμα 2.12. Συνδεσμολογία ηλεκτρονικών τμημάτων και τροφοδοσίας πενύματος



## Κεφάλαιο 3

### Συμπεράσματα και προτάσεις

#### 3.1 Προτάσεις αναβάθμισης

Το κατασκευαστικό σύνολο που προέκυψε, αποτελεί μία αξιόπιστη και συνάμα εύκολη στη χρήση διάταξη μετατόπισης και συγκράτησης αισθητήρων εντός του θαλάμου δοκιμών.

Το γεγονός ότι ελέγχεται πλήρως από ηλεκτρονικά μέσα, μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο εμφάνισης σφαλμάτων κατά τη διάρκεια της λήψης των μετρήσεων. Επίσης, ο σχεδιασμός της διάταξης επιτρέπει την πλήρη απομόνωση της στρωτής ροής του αέρα, που αναπτύσσεται εντός του θαλάμου δοκιμών, από το εξωτερικό περιβάλλον της αεροσήραγγας. Επιπρόσθετα, εντός του θαλάμου δεν εκτίθενται εξαρτήματα ή τμήματα του μηχανισμού και ως εκ τούτου δε διαταράσσεται η ροή. Τα δύο παραπάνω στοιχεία, συντελούν στη δημιουργία ικανοποιητικών συνθηκών προσομοίωσης της ροής του αέρα, αλλά και στη διευκόλυνση εκτέλεσης της πειραματικής διαδικασίας.

Ως προς το ισοζύγιο των τεχνικών χαρακτηριστικών και της οικονομικής αξίας, η τελική λύση πλεονεκτεί σημαντικά σε σύγκριση με τις υπόλοιπες προτάσεις που αξιολογήθηκαν, καθώς και ως προς τις υπάρχουσες κατασκευές που χρησιμοποιούνται για παρόμοιες εφαρμογές σε άλλες αεροσήραγγες.

Ο μηχανισμός μετατόπισης που παρουσιάστηκε, μπορεί να διαμορφώθηκε με γνώμονα την πλήρη ικανοποίηση των προδιαγραφών, ωστόσο διαθέτει, ως ένα βαθμό, περιθώρια βελτίωσης και δυνατότητες αναβάθμισης. Οι αλλαγές που μπορούν να πραγματοποιηθούν, εστιάζουν κυρίως στην ελαχιστοποίηση της απαιτούμενης συντήρησης και την αύξηση της ακρίβειας κίνησης του μηχανισμού.

Η χρήση μηχανισμού αυτόματης λίπανσης των κοχλίων, που θα ενεργοποιείται κάθε φορά που τίθενται σε κίνηση, μπορεί να προσφέρει δύο πλεονεκτήματα έναντι της χειρονακτικής μεθόδου: Αφενός μεν μειώνει τη φθορά που παρουσιάζεται στο τριβικό ζεύγος χάλυβα-ορείχαλκου, αφετέρου δε μειώνει την αναπτυσσόμενη Τριβή σπειρώματος, που καταπονεί τα τραπεζοειδή περικόχλια.

Σημαντικό βήμα για τη μείωση της απαιτούμενης ενέργειας κίνησης, είναι και η αντικατάσταση των ορειχάλκινων περικοχλίων με αντίστοιχα ένσφαιρα. Τα περικόχλια αυτά, εφάπτονται του κοχλίου κίνησης μέσω σφαιριδίων, όπως και στα ακτινικά έδρανα. Παράλληλα με τη βελτίωση των χαρακτηριστικών κύλισης, παρουσιάζουν μεγάλη διάρκεια ζωής και ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης. Βασικό μειονέκτημά τους, είναι το κόστος αγοράς, καθώς και η αποκλειστική εφαρμογή τους σε ειδικά διαμορφωμένους κοχλίες, γεγονός που αποκλείει τη χρήση τους με τους υπάρχοντες τραπεζοειδείς κοχλίες.

Ως προς τον έλεγχο της κίνησης των κοχλίων, μία εναλλακτική πρόταση στη χρήση βηματικών κινητήρων είναι η εφαρμογή σερβοκινητήρων. Οι συγκεκριμένες διατάξεις, διαθέτουν αισθητήρα που ενημερώνει το κύκλωμα οδήγησης σχετικά με την περιστροφή του κινητήρα, προκειμένου να διορθωθούν πιθανές αποκλίσεις από την επιθυμητή κίνηση και αυξάνει την ακρίβεια κίνησης. Ωστόσο το κόστος αγοράς είναι πολλαπλάσιο συγκριτικά με ένα συμβατικό διπολικό βηματικό κινητήρα.



## Βιβλιογραφία

Αντωνίου Σ. (1994). *Τριβολογία*. Αθήνα: Έκδοση Αντωνίου Σ.

Βαρούτσος Η., Βάχλα Α., Γαλλιδάκης Ι., Γαλλόπουλος Α., Γεωργούλη Χ., Γιαννακόπουλος Ν., Δανιάς Γ. και συν. (2005). *Λεξικό Τεχνολογίας και Επιστημών*. Αθήνα: Εκδόσεις Σταφυλίδη.

Διαμαντούδης Θ. (2000). *Συγκολλήσεις μετάλλων*. Θεσσαλονίκη: έκδοση Θ. Α. Διαμαντούδη.

Κανάραχος Α. (2001). *Μηχανισμοί και ρομποτικά συστήματα*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Κορωνάκης Π. (2006). *Εφαρμοσμένη Ρευστομηχανική*. Αθήνα: Εκδόσεις Ίων.

Λεκάκης Ι. (2008). *Ασκήσεις Μετρήσεων Τεχνικών Μεγεθών*. Αιγάλεω: Λεκάκης.

Λοπρέστης Σ., Μπάχας Γ. (1977). *Μηχανουργική Τεχνολογία, Τόμος Β'*. Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου.

Μαρτζούκος Σ. (2005). *Μηχανολογικό Εργαστήριο Ι - Μετρήσεις*. Αιγάλεω: Τ.Ε.Ι. Πειραιά.

Μπεργελές Γ., Παπαντώνης Δ., Τσάγγαρης Σ. (1998). *Τεχνικές Μετρήσεις Ρευστομηχανικών Μεγεθών*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμεών.

Παπαμητούκας Β. (2002). *Μηχανολογικό σχέδιο* (4η έκδ.). Θεσσαλονίκη: University Studio Press.

Στεργίου Ι., Στεργίου Κ. (2003). *Στοιχεία Μηχανών Ι*. Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική.

Στεργίου Κ. (2007). *Σχεδιασμός των Κατασκευών*. Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική.

Χρυσουλάκης Γ., Παντελής Ι. (2008). *Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών υλικών* (2η εκδ.). Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

American Society for Testing and Materials (2002) *Standard Hardness Conversion Tables for Metals E 140-02*. Pennsylvania.

Aggen G., Akstens F., Allen C., Avery H., Babu P., Bayer A., Bello F. et al. (2005). *ASM Handbook Vol. 1 Properties and Selection: Irons, Steels and High Performance Alloys*. Ohio: American Society of Materials [A.S.M International].

Arai T., Baker G., Bates C., Becherer B., Bell T., Bird E., Bramfitt B. et al. (1991) *ASM Handbook Vol. 4 Heat Treating*. Ohio: American Society of Materials [A.S.M International].

Bajd T., Mihelj M., Lenarcic J., Stanovnik A., Munih M. (2010). *Robotics*. Heidelberg: Springer.

Chevalier A. (1980). *Guide du Dessinateur Industriel*. Paris: Hachette Technique.

Department of the Army Publications and Forms (1993). *Welding Theory and Application TC 9-237*. Washington D.C.

Gieck K. (2006). *Engineering Formulas* (8th ed.). New York: McGraw-Hill.

Haimbaugh R. (2001) *Practical Induction Heat Treating*. Ohio: American Society of Materials [A.S.M International].

Kunwoo L. (2009). *Βασικές αρχές συστημάτων CAD/CAM/CAE*. Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Pahl G., Beitz W., Feldhusen J. και Grote K.H. (2007). *Engineering Design: A Systematic Approach (3rd ed.)*. London: Springer.

Takeda K., Kato M. (1992). Wind tunnel blockage effects on drag coefficient and wind-induced vibration. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*.41- 44. 897-908.

Tropea C., Foss J., Yarin A. (2007). *Handbook of experimental Fluid Mechanics*. Heidelberg: Springer.



## Παράρτημα Α

Στο παρόν παράρτημα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών που προέκυψαν από την προσομοίωση της μηχανικής καταπόνησης των παρακάτω εξαρτημάτων σε συνθήκες πλήρους λειτουργίας της αεροσήραγγας.

Για κάθε αντικείμενο που εξετάζεται, εισάγονται στο υπολογιστικό πρόγραμμα οι αναγκαίες πληροφορίες, όπως τα χαρακτηριστικά της κατασκευής, οι φυσικές ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται, τα χαρακτηριστικά του πλέγματος, οι δυνάμεις, τα φορτία που εφαρμόζονται, καθώς και οι επιμέρους περιορισμοί μετατόπισης. Τα αποτελέσματα, εμφανίζονται υπό τη μορφή χρωματικών κλιμάκων, όπου η κάθε απόχρωση αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη τιμή του μεγέθους που παρουσιάζεται.

Με τον τρόπο αυτό, γίνεται εμφανές, ποιες περιοχές υφίστανται τη μεγαλύτερη φόρτιση και παραμόρφωση, γεγονός που οδηγεί στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με την αντοχή του αντικειμένου σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

Τα αντικείμενα που εξετάστηκαν, είναι τα παρακάτω:

- α.) Δικτύωμα κελύφους θαλάμου δοκιμών
- β.) Δοκός στήριξης ράγας
- γ.) Αριστερή δοκός στήριξης κελυφών
- δ.) Ράγα κύλισης τροχαλιών κελυφών
- ε.) Σύνδεσμος κελυφών
- στ.) Βάση κάθετων ακτινικών εδράνων
- ζ.) Βάση στήριξης περικοχλίου άξονα Φ16
- η.) Στέλεχος βύθισης αισθητήρα
- θ.) Έλασμα ανύψωσης άξονα z'z
- ι.) Έλασμα βάσης φορέα

## Ανάλυση Πεπερασμένων Στοιχείων

Κατασκευή: Δικτύωμα κελύφους θαλάμου δοκιμών

Αριθμός φακέλου ανάλυσης: 01

Υπολογιστικό πρόγραμμα: Autodesk Inventor 2013 Student edition

### Χαρακτηριστικά κατασκευής:

α.) Μάζα:	68,4721 kg
β.) Συνολική επιφάνεια:	7622090 mm <sup>2</sup>
γ.) Όγκος:	19935800 mm <sup>3</sup>
δ.) Συντεταγμένες κέντρου βάρους:	x=1219,21 mm y=17,0469 mm z=380,273 mm

### Χαρακτηριστικά Ανάλυσης:

Είδος ανάλυσης: Στατική  
Εντοπισμός και εξάλειψη ταλαντώσεων άκαμπτου σώματος: Ναι  
Ανάλυση δυναμικών φορτίων: Όχι

### Χαρακτηριστικά πλέγματος:

Μέση τιμή μεγέθους στοιχείου πλέγματος: 0,1  
Ελάχιστη τιμή μεγέθους στοιχείου πλέγματος: 0,1  
Συντελεστής ρύθμισης μεγέθους πλεγμάτων: 1,5  
Μέγιστη γωνία στροφής: 60°  
Δημιουργία καμπύλων στοιχείων πλέγματος: Ναι  
Χρήση μετρήσεων από το αντικείμενο για τη δημιουργία του πλέγματος: Όχι

### Φυσικές ιδιότητες υλικών:

α.) Χάλυβας κατασκευών St 50-2

Πυκνότητα μάζας: 7,86 gr/cm<sup>3</sup>  
Όριο διαρροής: 207 MPa  
Μέγιστη αντοχή στον εφελκυσμό: 345 MPa  
Μέτρο ελαστικότητας: 220 GPa  
Λόγος του Poisson: 0,275  
Μέτρο διάτμησης: 86,2745 GPa  
Συντελεστής θερμικής διαστολής: 0,000012 ul/C°  
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας: 56 W/(m K)



Ειδική θερμότητα: 460 J/(kg C°)

β.) Πολυανθρακικό (PMMA)

Πυκνότητα μάζας: 1,2 gr/cm<sup>3</sup>

Όριο διαρροής: 62,01 MPa

Μέγιστη αντοχή στον εφελκυσμό: 68,9 MPa

Μέτρο ελαστικότητας: 2,275 GPa

Λόγος του Poisson: 0,38

Μέτρο διάτμησης: 0,824275 GPa

Συντελεστής θερμικής διαστολής: 0,0000675 ul/C°

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας: 0,137 W/(m K)

Ειδική θερμότητα: 1256,1 J/(kg C°)

#### Συνθήκες λειτουργίας:

Βαρύτητα:

Τιμή: 9.810,000 mm/s<sup>2</sup>

Διάνυσμα X: 0,000 mm/s<sup>2</sup>

Διάνυσμα Y: -9.810,000 mm/s<sup>2</sup>

Διάνυσμα Z: -0,000 mm/s<sup>2</sup>

Δύναμη F1:

Τιμή: 100 N

Διάνυσμα X: 0,000 N

Διάνυσμα Y: -100,00 N

Διάνυσμα Z: 0,000 N

#### Περιορισμοί (Constraints):

Απαγόρευση μετατόπισης, ως προς την ακτινική διεύθυνση, των τεσσάρων διαμπερών οπών σύνδεσης των τροχαλιών του κελύφους.

#### Αποτελέσματα:

Όγκος: 19935800 mm<sup>3</sup>

Μάζα: 68,4721 kg

Τάση Von Mises: min 0,00118285 MPa max 4.055,46 MPa

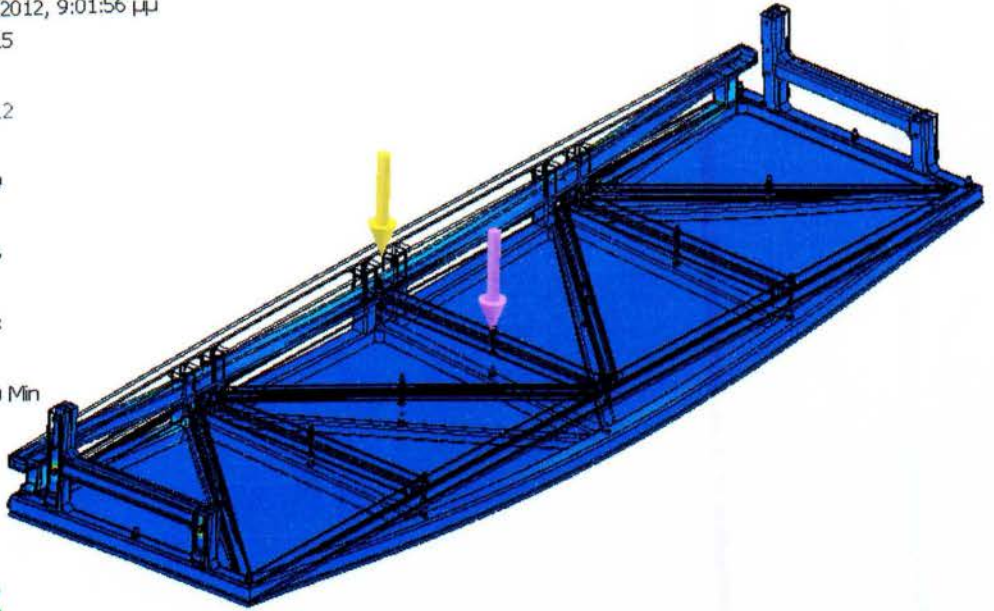
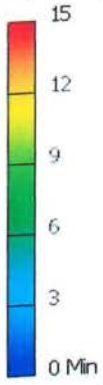
1η Κύρια Τάση: min -856,687 MPa max 3549,39 MPa

3η Κύρια Τάση: min -4.339,07 MPa max 850,128 MPa

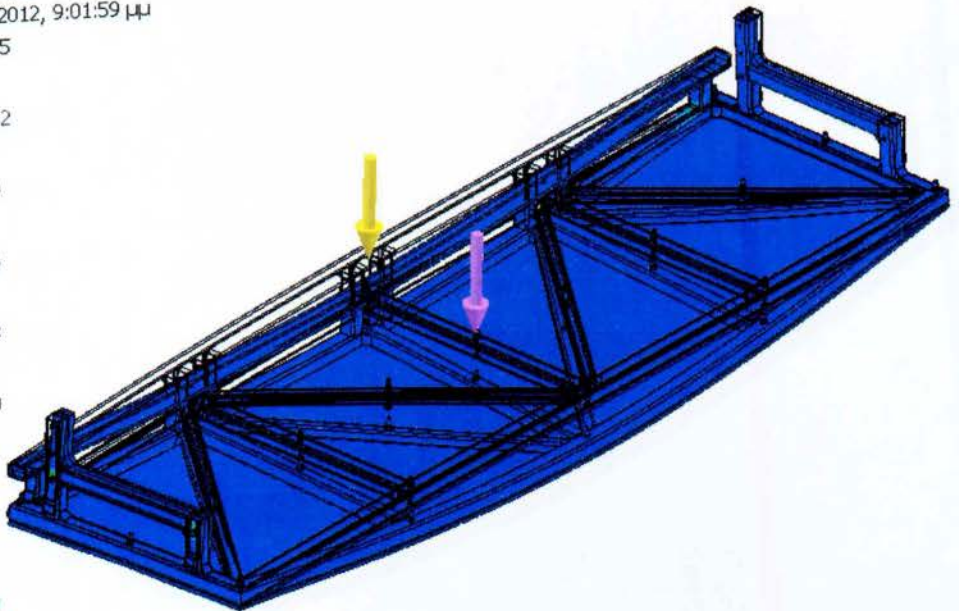
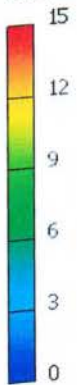
Παραμόρφωση: min 0,000143151 mm max 0,499005 mm

Συντελεστής Ασφαλείας: min 0,0510423 max 15

Type: Von Mises Stress  
Unit: MPa  
25/9/2012, 9:01:56  $\mu\mu$

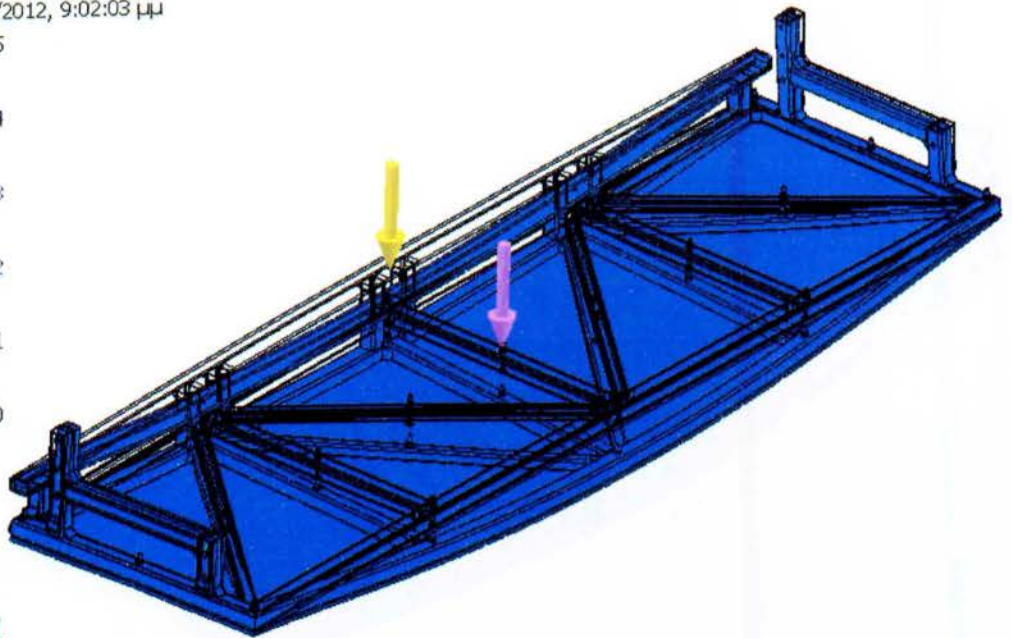
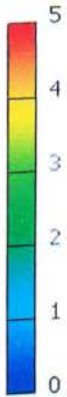


Type: 1st Principal Stress  
Unit: MPa  
25/9/2012, 9:01:59  $\mu\mu$

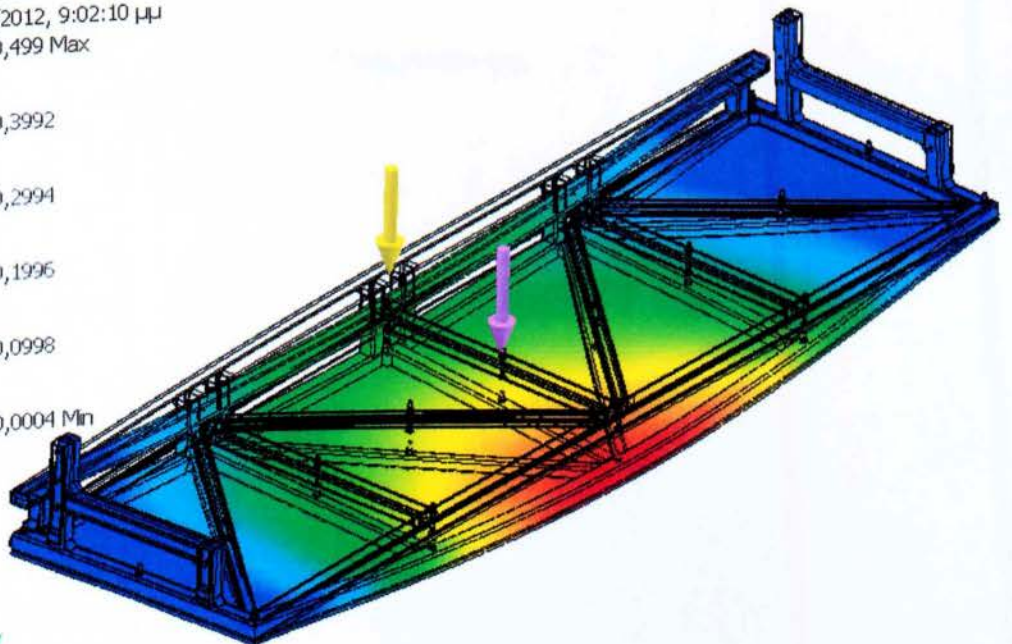
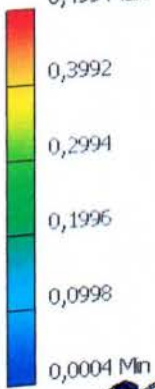




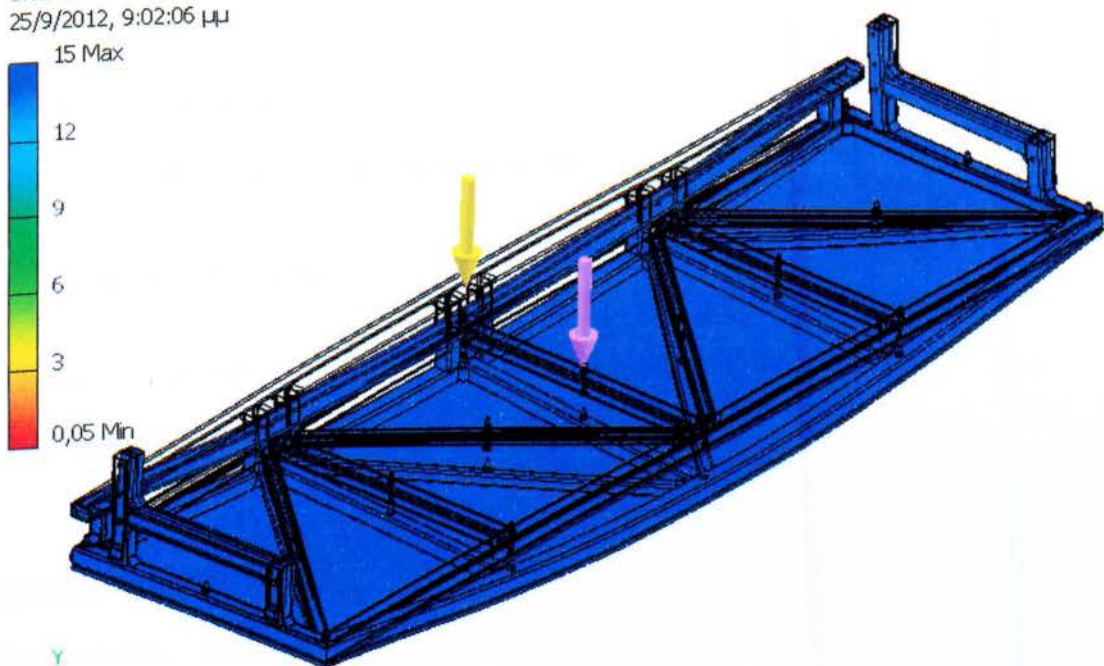
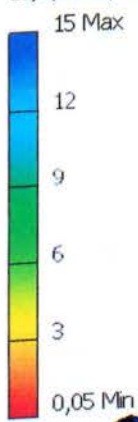
Type: 3rd Principal Stress  
Unit: MPa  
25/9/2012, 9:02:03  $\mu\mu$



Type: Displacement  
Unit: mm  
25/9/2012, 9:02:10  $\mu\mu$   
0,499 Max



Type: Safety Factor  
Unit: ul  
25/9/2012, 9:02:06 μμ



Τέλος Ανάλυσης



## Ανάλυση Πεπερασμένων Στοιχείων

Κατασκευή: Δοκός στήριξης ράγας

Αριθμός φακέλου ανάλυσης: 02

Υπολογιστικό πρόγραμμα: Autodesk Inventor 2013 Student edition

### Χαρακτηριστικά κατασκευής:

α.) Μάζα:	10,6006 kg
β.) Συνολική επιφάνεια:	356.772 mm <sup>2</sup>
γ.) Όγκος:	1.348670 mm <sup>3</sup>
δ.) Συντεταγμένες κέντρου βάρους:	x= 312,092 mm y= -167,208 mm z= 11,4833 mm

### Χαρακτηριστικά Ανάλυσης:

Είδος ανάλυσης: Στατική

Εντοπισμός και εξάλειψη ταλαντώσεων άκαμπτου σώματος: Ναι

Ανάλυση δυναμικών φορτίων: Όχι

### Χαρακτηριστικά πλέγματος:

Μέση τιμή μεγέθους στοιχείου πλέγματος: 0,1

Ελάχιστη τιμή μεγέθους στοιχείου πλέγματος: 0,1

Συντελεστής ρύθμισης μεγέθους πλεγμάτων: 1,5

Μέγιστη γωνία στροφής: 60°

Δημιουργία καμπύλων στοιχείων πλέγματος: Ναι

Χρήση μετρήσεων από το αντικείμενο για τη δημιουργία του πλέγματος: Όχι

### Φυσικές ιδιότητες υλικών:

α.) Χάλυβας κατασκευών St 50-2

Πυκνότητα μάζας: 7,86 gr/cm<sup>3</sup>

Όριο διαρροής: 207 MPa

Μέγιστη αντοχή στον εφελκυσμό: 345 MPa

Μέτρο ελαστικότητας: 220 GPa

Λόγος του Poisson: 0,275

Μέτρο διάτμησης: 86,2745 GPa

Συντελεστής θερμικής διαστολής: 0,000012 ul/C°

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας: 56 W/(m K)

Ειδική θερμότητα: 460 J/(kg C°)

### Συνθήκες λειτουργίας:

Βαρύτητα:

Τιμή: 9.810,000 mm/s<sup>2</sup>

Διάνυσμα X: 0,000 mm/s<sup>2</sup>

Διάνυσμα Y: -9.810,000 mm/s<sup>2</sup>

Διάνυσμα Z: -0,000 mm/s<sup>2</sup>

Δύναμη F1:

Τιμή: 800 N

Διάνυσμα X: 0,000 N

Διάνυσμα Y: -800,00 N

Μετατοπισμένο σημείο X: 455,000 mm

Μετατοπισμένο σημείο Y: 129,000 mm

Μετατοπισμένο σημείο Z: 30,000 mm

### Περιορισμοί (Constraints):

Πάκτωση των επιφανειών επαφής της δοκού στήριξης της ράγας με το σκελετό του θαλάμου δοκιμών.

### Αποτελέσματα:

Όγκος: 1.348.670 mm<sup>3</sup>

Μάζα: 10,6006 kg

Τάση Von Mises: min 0,000000543229 MPa max 2,09935 MPa

1η Κύρια Τάση: min -0,686355 MPa max 2,74667 MPa

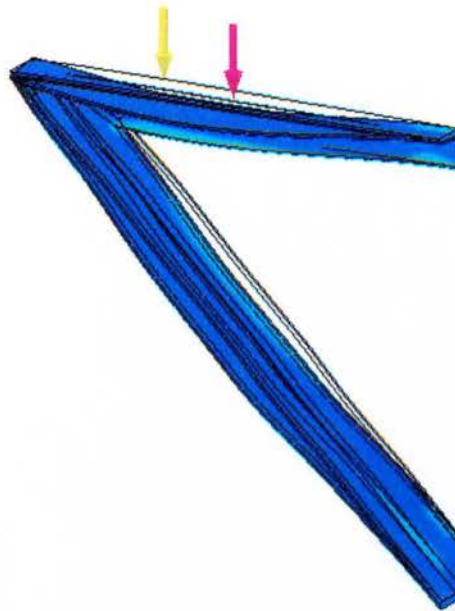
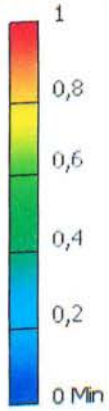
3η Κύρια Τάση: min -1,90484 MPa max 0,513736 MPa

Παραμόρφωση: min 0 mm max 0,00448642 mm

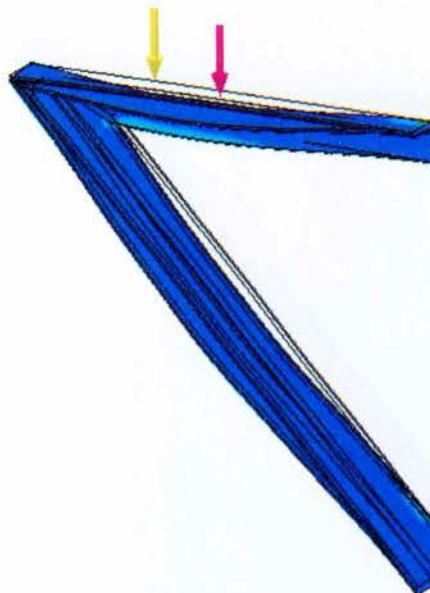
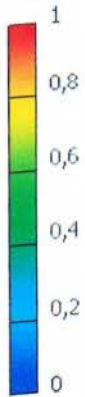
Συντελεστής Ασφαλείας: min 15 max 15



Type: Von Mises Stress  
Unit: MPa  
25/9/2012, 9:17:26 μμ



Type: 1st Principal Stress  
Unit: MPa  
25/9/2012, 9:17:26 μμ



Type: 3rd Principal Stress

Unit: MPa

25/9/2012, 9:17:26  $\mu\mu$

0,05

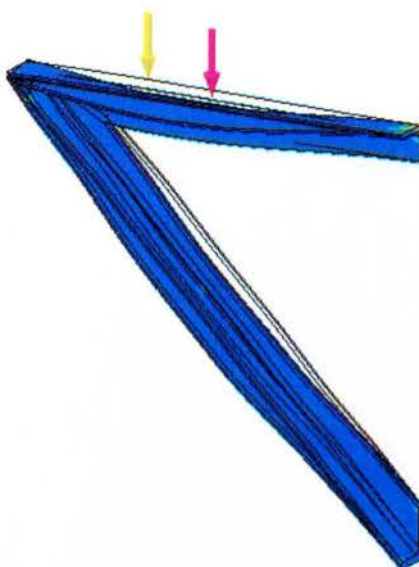
0,04

0,03

0,02

0,01

0



Type: Displacement

Unit: mm

25/9/2012, 9:17:27  $\mu\mu$

0,004486 Max

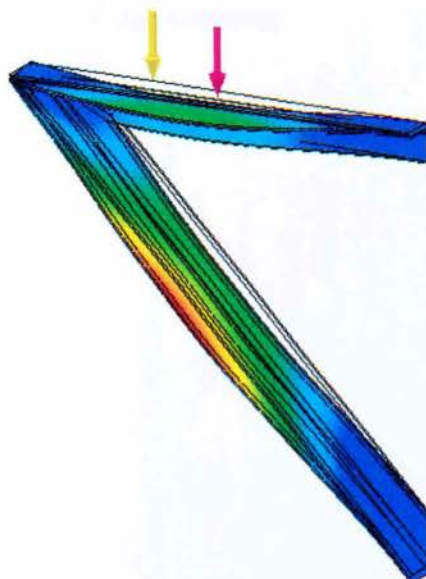
0,003589

0,002692

0,001795

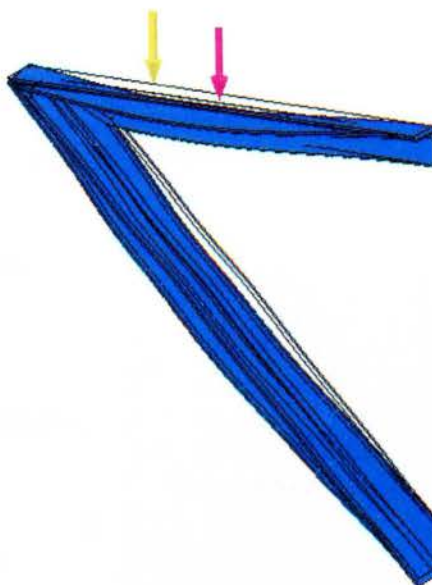
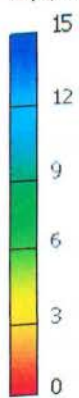
0,000897

0 Min





Type: Safety Factor  
Unit: ul  
25/9/2012, 9:17:27 μμ



Τέλος Ανάλυσης

## Ανάλυση Πεπερασμένων Στοιχείων

Κατασκευή: Αριστερή δοκός στήριξης κελυφών

Αριθμός φακέλου ανάλυσης: 03

Υπολογιστικό πρόγραμμα: Autodesk Inventor 2013 Student edition

### Χαρακτηριστικά κατασκευής:

α.) Μάζα:	5,29673 kg
β.) Συνολική επιφάνεια:	220.728 mm <sup>2</sup>
γ.) Όγκος:	672.288 mm <sup>3</sup>
δ.) Συντεταγμένες κέντρου βάρους:	x= -676,65 mm
	y= 1.972,78 mm
	z= 1.896,2 mm

### Χαρακτηριστικά Ανάλυσης:

Είδος ανάλυσης: Στατική  
Εντοπισμός και εξάλειψη ταλαντώσεων άκαμπτου σώματος: Ναι  
Ανάλυση δυναμικών φορτίων: Όχι

### Χαρακτηριστικά πλέγματος:

Μέση τιμή μεγέθους στοιχείου πλέγματος: 0,1  
Ελάχιστη τιμή μεγέθους στοιχείου πλέγματος: 0,1  
Συντελεστής ρύθμισης μεγέθους πλεγμάτων: 1,5  
Μέγιστη γωνία στροφής: 60°  
Δημιουργία καμπύλων στοιχείων πλέγματος: Ναι  
Χρήση μετρήσεων από το αντικείμενο για τη δημιουργία του πλέγματος: Όχι

### Φυσικές ιδιότητες υλικών:

α.) Χάλυβας κατασκευών St 50-2

Πυκνότητα μάζας: 7,86 gr/cm<sup>3</sup>  
Όριο διαρροής: 207 MPa  
Μέγιστη αντοχή στον εφελκυσμό: 345 MPa  
Μέτρο ελαστικότητας: 220 GPa  
Λόγος του Poisson: 0,275  
Μέτρο διάτμησης: 86,2745 GPa  
Συντελεστής θερμικής διαστολής: 0,000012 ul/C°  
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας: 56 W/(m K)  
Ειδική θερμότητα: 460 J/(kg C°)

### Συνθήκες λειτουργίας:

Βαρύτητα:

Τιμή: 9.810,000 mm/s<sup>2</sup>  
Διάνυσμα X: 11,759 mm/s<sup>2</sup>  
Διάνυσμα Y: -5.261,883 mm/s<sup>2</sup>  
Διάνυσμα Z: -8.279,405 mm/s<sup>2</sup>

Δύναμη F1:

Τιμή: 112 N  
Διάνυσμα X: -111,999 N  
Διάνυσμα Y: -0,462 N

Δύναμη F2:

Τιμή: 112 N  
Διάνυσμα X: -111,999 N  
Διάνυσμα Y: -0,462 N

Δύναμη F3:

Τιμή: 112 N  
Διάνυσμα X: -111,999 N  
Διάνυσμα Y: -0,462 N

Δύναμη F4:

Τιμή: 112 N  
Διάνυσμα X: -111,999 N  
Διάνυσμα Y: -0,462 N

### Περιορισμοί (Constraints):

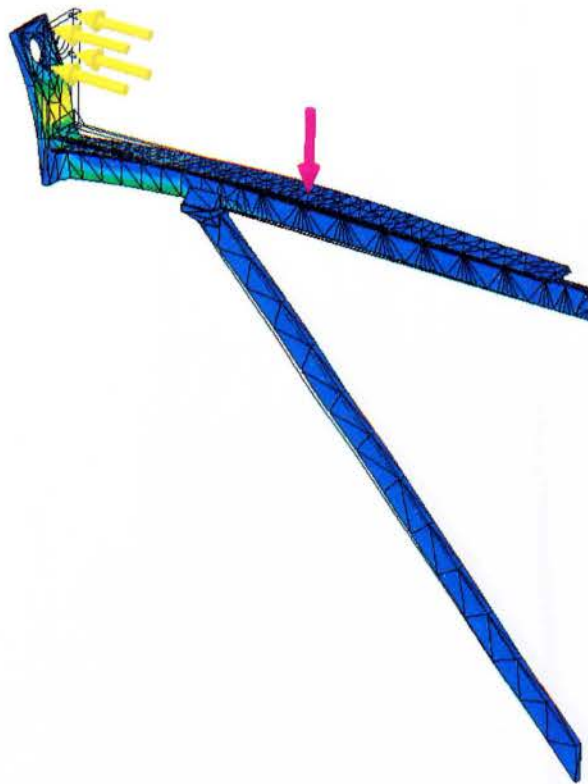
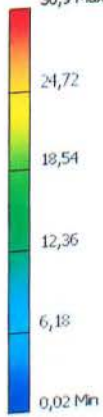
Πάκτωση της αριστερής δοκού στήριξης κελυφών στα σημεία επαφής με το σκελετό του θαλάμου δοκιμών.

### Αποτελέσματα:

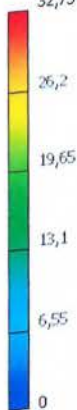
Όγκος: 672.287 mm<sup>3</sup>  
Μάζα: 5,29672 kg  
Τάση Von Mises: min 0,0242115 MPa max 30,8959 MPa  
1η Κύρια Τάση: min -3,56529 MPa max 32,752 MPa  
3η Κύρια Τάση: min -35,4393 MPa max 4,28911 MPa  
Παραμόρφωση: min 0 mm max 0,301829 mm  
Συντελεστής Ασφαλείας: min 6,69991 max 15



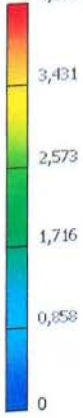
Nodes:11249  
Elements:6100  
Type: Von Mises Stress  
Unit: MPa  
25/9/2012, 7:12:16 μμ  
30,9 Max



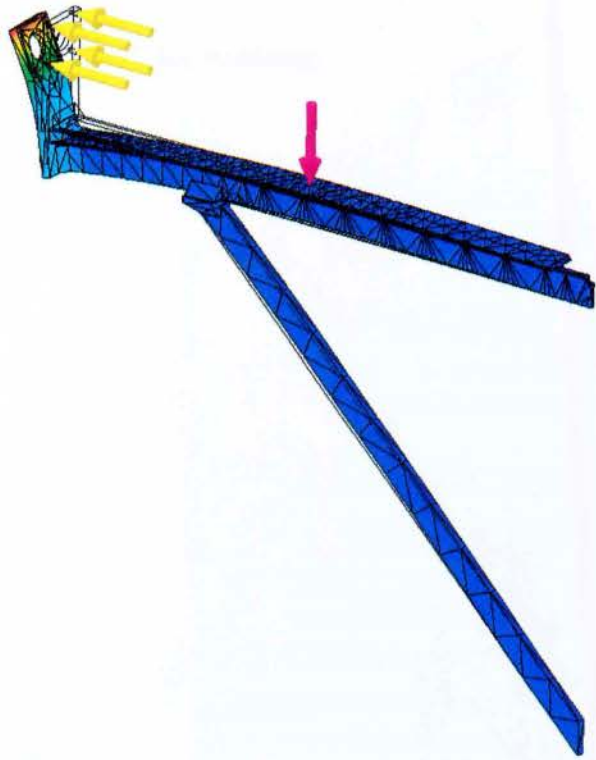
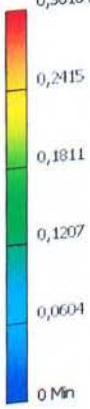
Nodes:11249  
Elements:6100  
Type: 1st Principal Stress  
Unit: MPa  
25/9/2012, 7:12:16 μμ  
32,75 Max



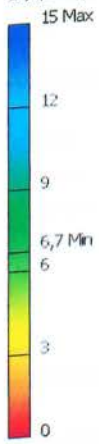
Nodes:11249  
Elements:6100  
Type: 3rd Principal Stress  
Unit: MPa  
25/9/2012, 7:12:16  $\mu\mu$   
4,289 Max



Nodes:11249  
Elements:6100  
Type: Displacement  
Unit: mm  
25/9/2012, 7:12:17  $\mu\mu$   
0,3018 Max



Nodes:11249  
Elements:6100  
Type: Safety Factor  
Unit: ul  
25/9/2012, 7:12:17 μμ



Τέλος Ανάλυσης



## Ανάλυση Πεπερασμένων Στοιχείων

Κατασκευή: Ράγα κύλισης τροχαλιών κελυφών

Αριθμός φακέλου ανάλυσης: 04

Υπολογιστικό πρόγραμμα: Autodesk Inventor 2013 Student edition

### Χαρακτηριστικά κατασκευής:

α.) Μάζα:	13,3767 kg
β.) Συνολική επιφάνεια:	644.009 mm <sup>2</sup>
γ.) Όγκος:	1.701.870 mm <sup>3</sup>
δ.) Συντεταγμένες κέντρου βάρους:	x= 61,9021 mm y= 3.119,59 mm z= 1.382,73 mm

### Χαρακτηριστικά Ανάλυσης:

Είδος ανάλυσης: Στατική  
Εντοπισμός και εξάλειψη ταλαντώσεων άκαμπτου σώματος: Ναι  
Ανάλυση δυναμικών φορτίων: Όχι

### Χαρακτηριστικά πλέγματος:

Μέση τιμή μεγέθους στοιχείου πλέγματος: 0,1  
Ελάχιστη τιμή μεγέθους στοιχείου πλέγματος: 0,1  
Συντελεστής ρύθμισης μεγέθους πλεγμάτων: 1,5  
Μέγιστη γωνία στροφής: 60°  
Δημιουργία καμπύλων στοιχείων πλέγματος: Ναι  
Χρήση μετρήσεων από το αντικείμενο για τη δημιουργία του πλέγματος: Όχι

### Φυσικές ιδιότητες υλικών:

α.) Χάλυβας κατασκευών St 50-2

Πυκνότητα μάζας: 7,86 gr/cm<sup>3</sup>  
Όριο διαρροής: 207 MPa  
Μέγιστη αντοχή στον εφελκυσμό: 345 MPa  
Μέτρο ελαστικότητας: 220 GPa  
Λόγος του Poisson: 0,275  
Μέτρο διάτμησης: 86,2745 GPa  
Συντελεστής θερμικής διαστολής: 0,000012 ul/C°  
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας: 56 W/(m K)  
Ειδική θερμότητα: 460 J/(kg C°)

### Συνθήκες λειτουργίας:

Βαρύτητα:

Τιμή: 9.810,000 mm/s<sup>2</sup>  
Διάνυσμα X: 11,759 mm/s<sup>2</sup>  
Διάνυσμα Y: -5.261,883 mm/s<sup>2</sup>  
Διάνυσμα Z: -8.279,405 mm/s<sup>2</sup>

Δύναμη F1:

Τιμή: 2.800 N  
Διάνυσμα X: 3.356,0 N  
Διάνυσμα Y: -1.501,863 N

### Περιορισμοί (Constraints):

Πάκτωση των επιφανειών επαφής της ράγας κύλισης τροχαλιών των κελυφών με το σκελετό του θαλάμου δοκιμών.

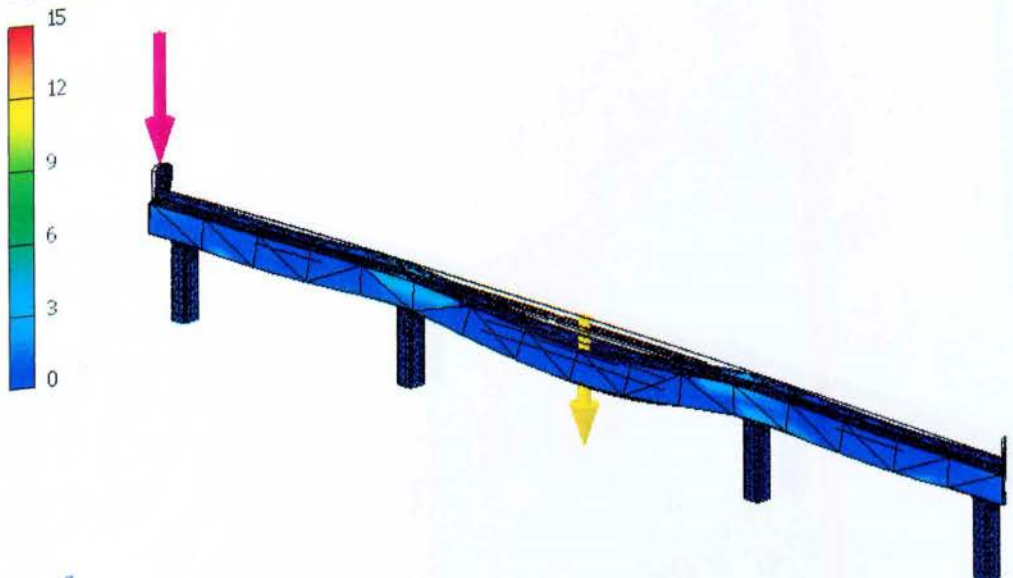
### Αποτελέσματα:

Όγκος: 1.701.870 mm<sup>3</sup>  
Μάζα: 13,3767 kg  
Τάση Von Mises: min 0,000113437 MPa max 156,55 MPa  
1η Κύρια Τάση: min -19,9567 MPa max 208,267 MPa  
3η Κύρια Τάση: min -79,4776 MPa max 40,4138 MPa  
Παραμόρφωση: min 0 mm max 0,0561726 mm  
Συντελεστής Ασφαλείας: min 1,32226 max 15

Type: Von Mises Stress  
Unit: MPa  
25/9/2012, 9:09:01 μμ



Nodes:87535  
Elements:48022  
Type: 1st Principal Stress  
Unit: MPa  
25/9/2012, 8:37:30 μμ





Nodes:87535  
Elements:48022  
Type: 3rd Principal Stress  
Unit: MPa  
25/9/2012, 8:37:30 μμ



Nodes:87535  
Elements:48022  
Type: Displacement  
Unit: mm  
25/9/2012, 8:37:31 μμ



Nodes:87535  
Elements:48022  
Type: Safety Factor  
Unit: ul  
25/9/2012, 8:37:31 μμ



Τέλος Ανάλυσης

## Ανάλυση Πεπερασμένων Στοιχείων

Κατασκευή: Σύνδεσμος κελυφών

Αριθμός φακέλου ανάλυσης: 05

Υπολογιστικό πρόγραμμα: Autodesk Inventor 2013 Student edition

### Χαρακτηριστικά κατασκευής:

α.) Μάζα:	2,2721 kg
β.) Συνολική επιφάνεια:	65.458,3 mm <sup>2</sup>
γ.) Όγκος:	284.261 mm <sup>3</sup>
δ.) Συντεταγμένες κέντρου βάρους:	x= 54,1962 mm
	y= 3.203,74 mm
	z= 1.521,86 mm

### Χαρακτηριστικά Ανάλυσης:

Είδος ανάλυσης: Στατική  
Εντοπισμός και εξάλειψη ταλαντώσεων άκαμπτου σώματος: Ναι  
Ανάλυση δυναμικών φορτίων: Όχι

### Χαρακτηριστικά πλέγματος:

Μέση τιμή μεγέθους στοιχείου πλέγματος: 0,1  
Ελάχιστη τιμή μεγέθους στοιχείου πλέγματος: 0,1  
Συντελεστής ρύθμισης μεγέθους πλεγμάτων: 1,5  
Μέγιστη γωνία στροφής: 60°  
Δημιουργία καμπύλων στοιχείων πλέγματος: Ναι  
Χρήση μετρήσεων από το αντικείμενο για τη δημιουργία του πλέγματος: Όχι

### Φυσικές ιδιότητες υλικών:

α.) Χάλυβας AISI 1050

Πυκνότητα μάζας: 7,99301 gr/cm<sup>3</sup>  
Όριο διαρροής: 206,842 MPa  
Μέγιστη αντοχή στον εφελκυσμό: 517,104 MPa  
Μέτρο ελαστικότητας: 199,947 GPa  
Λόγος του Poisson: 0,3  
Μέτρο διάτμησης: 76,9027 GPa  
Συντελεστής θερμικής διαστολής: 0,0000158039 ul/C°  
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας: 14,1713 W/(m K)  
Ειδική θερμότητα: 499,33 J/(kg C°)



Συνθήκες λειτουργίας:

Βαρύτητα:

Τιμή: 9.810,000 mm/s<sup>2</sup>  
Διάνυσμα X: 11,759 mm/s<sup>2</sup>  
Διάνυσμα Y: -5.261,883 mm/s<sup>2</sup>  
Διάνυσμα Z: -8.279,405 mm/s<sup>2</sup>

Δύναμη F1:

Τιμή: 224 N  
Διάνυσμα X: 223,998 N  
Διάνυσμα Y: 0,923 N

Δύναμη F2:

Τιμή: 224 N  
Διάνυσμα X: 223,998 N  
Διάνυσμα Y: 0,923 N

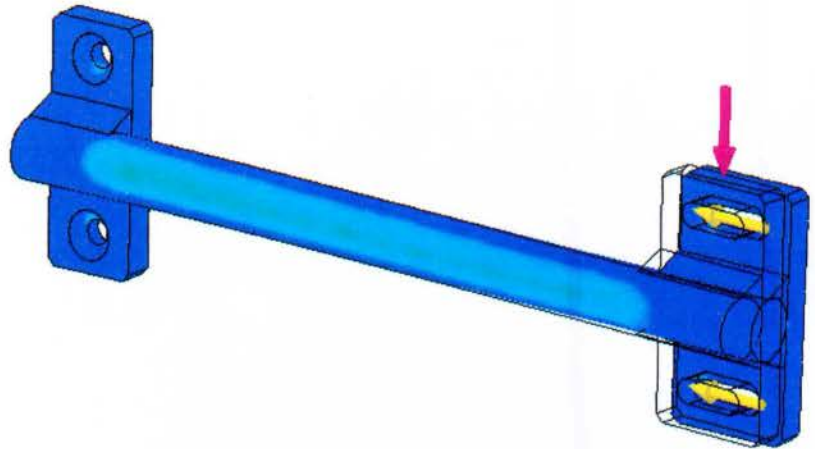
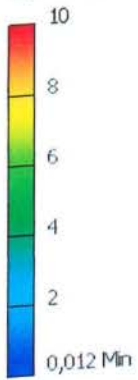
Περιορισμοί (Constraints):

Πάκτωση των δύο οπών της Α' έδρασης (01.11.01.00) του συνδέσμου κελυφών.

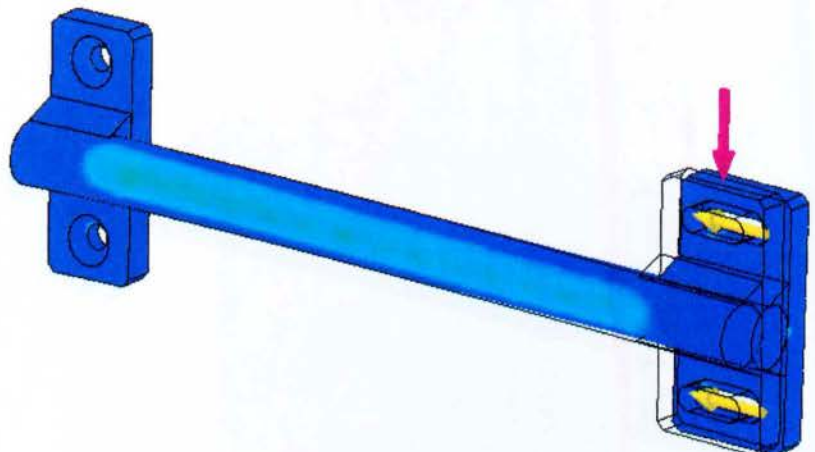
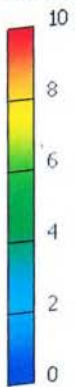
Αποτελέσματα:

Όγκος: 282.800 mm<sup>3</sup>  
Μάζα: 2,26042 kg  
Τάση Von Mises: min 0,0120354 MPa max 683,541 MPa  
1η Κύρια Τάση: min -13,5745 MPa max 412,307 MPa  
3η Κύρια Τάση: min -376,935 MPa max 1,63561 MPa  
Παραμόρφωση: min 0 mm max 0,104814 mm  
Συντελεστής Ασφαλείας: min 0,302604 max 15

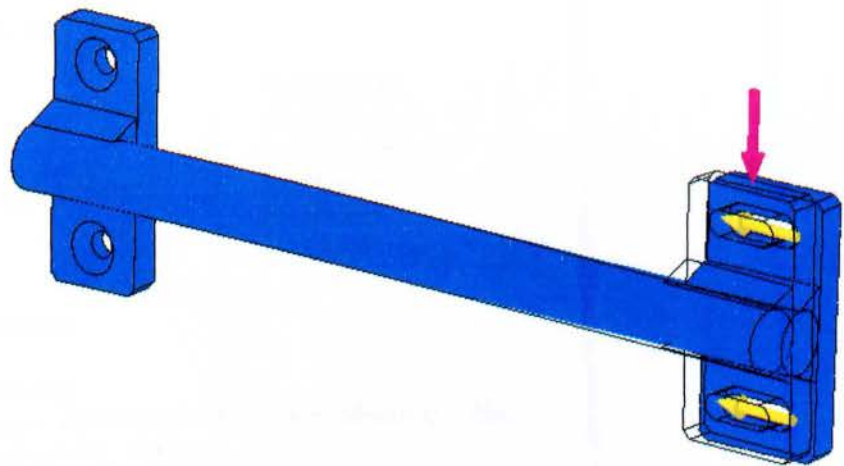
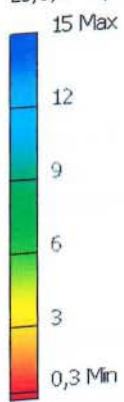
Type: Von Mises Stress  
Unit: MPa  
25/9/2012, 9:59:23 μμ



Type: 1st Principal Stress  
Unit: MPa  
25/9/2012, 9:59:23 μμ



Type: Safety Factor  
Unit: ul  
25/9/2012, 9:59:24 μμ



Τέλος Ανάλυσης



## Ανάλυση Πεπερασμένων Στοιχείων

Κατασκευή: Βάση κάθετων ακτινικών εδράνων

Αριθμός φακέλου ανάλυσης: 06

Υπολογιστικό πρόγραμμα: Autodesk Inventor 2013 Student edition

### Χαρακτηριστικά κατασκευής:

α.) Μάζα:	0,868856 kg
β.) Συνολική επιφάνεια:	33.738,9 mm <sup>2</sup>
γ.) Όγκος:	110.823 mm <sup>3</sup>
δ.) Συντεταγμένες κέντρου βάρους:	x= 50 mm
	y= 45 mm
	z= 12,9639 mm

### Χαρακτηριστικά Ανάλυσης:

Είδος ανάλυσης: Στατική  
Εντοπισμός και εξάλειψη ταλαντώσεων άκαμπτου σώματος: Ναι  
Ανάλυση δυναμικών φορτίων: Όχι

### Χαρακτηριστικά πλέγματος:

Μέση τιμή μεγέθους στοιχείου πλέγματος: 0,1  
Ελάχιστη τιμή μεγέθους στοιχείου πλέγματος: 0,1  
Συντελεστής ρύθμισης μεγέθους πλεγμάτων: 1,5  
Μέγιστη γωνία στροφής: 60°  
Δημιουργία καμπύλων στοιχείων πλέγματος: Ναι  
Χρήση μετρήσεων από το αντικείμενο για τη δημιουργία του πλέγματος: Όχι

### Φυσικές ιδιότητες υλικών:

α.) Χάλυβας υψηλής αντοχής, χαμηλής περιεκτικότητας σε Άνθρακα (HSLA)

Πυκνότητα μάζας: 7,84 gr/cm<sup>3</sup>  
Όριο διαρροής: 275,8 MPa  
Μέγιστη αντοχή στον εφελκυσμό: 448 MPa  
Μέτρο ελαστικότητας: 200 GPa  
Λόγος του Poisson: 0,287  
Μέτρο διάτμησης: 77,7001 GPa  
Συντελεστής θερμικής διαστολής: 0,000012 ul/C°  
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας: 47 W/(m K)  
Ειδική θερμότητα: 420 J/(kg C°)

Συνθήκες λειτουργίας:

Βαρύτητα:

Τιμή: 9.810,000 mm/s<sup>2</sup>  
Διάνυσμα X: 0,000 mm/s<sup>2</sup>  
Διάνυσμα Y: 0,000 mm/s<sup>2</sup>  
Διάνυσμα Z: 9.810,000 mm/s<sup>2</sup>

Δύναμη F1:

Τιμή: 100 N  
Διάνυσμα X: 0,000 N  
Διάνυσμα Y: 0,000 N  
Διάνυσμα Z: 100,000 N

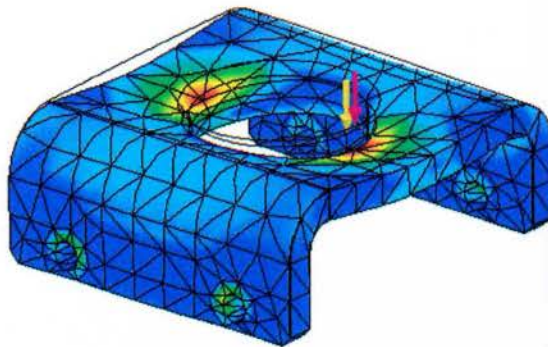
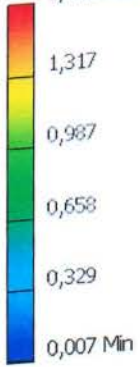
Περιορισμοί (Constraints):

Πάκτωση των τεσσάρων διαμπερών οπών σύνδεσης των ακτινικών εδράνων.

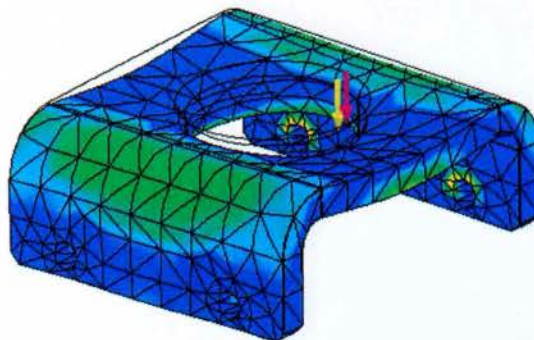
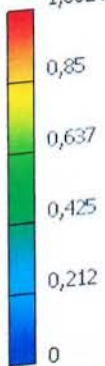
Αποτελέσματα:

Όγκος: 110.823 mm<sup>3</sup>  
Μάζα: 0,868856 kg  
Τάση Von Mises: min 0,0067374 MPa max 1,64565 MPa  
1η Κύρια Τάση: min -0,30287 MPa max 1,06237 MPa  
3η Κύρια Τάση: min -1,68466 MPa max 0,277541 MPa  
Παραμόρφωση: min 0 mm max 0,000852796 mm  
Συντελεστής Ασφαλείας: min 15 max 15

Nodes:3105  
Elements:1558  
Type: Von Mises Stress  
Unit: MPa  
25/9/2012, 10:35:10 μμ  
1,646 Max

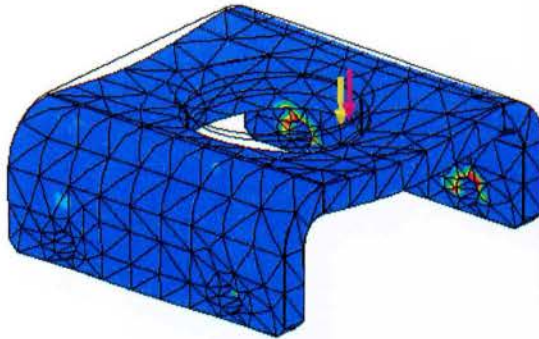
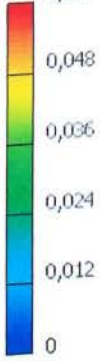


Nodes:3105  
Elements:1558  
Type: 1st Principal Stress  
Unit: MPa  
25/9/2012, 10:35:10 μμ  
1,062 Max

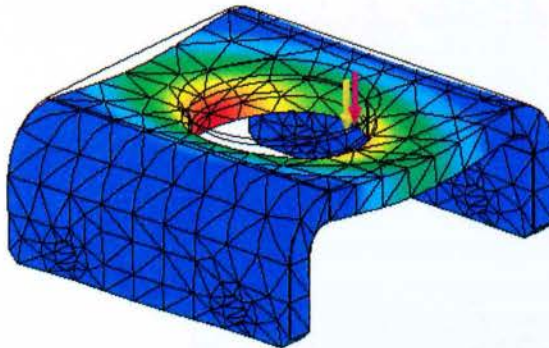
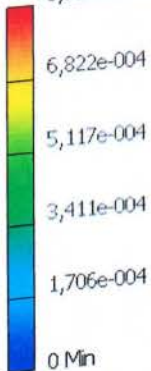




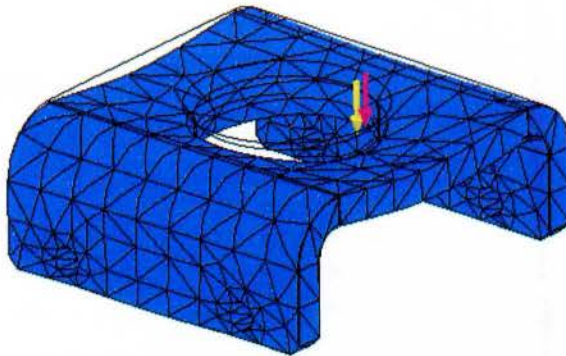
Nodes:3105  
Elements:1558  
Type: 3rd Principal Stress  
Unit: MPa  
25/9/2012, 10:35:10 μμ  
0,06



Nodes:3105  
Elements:1558  
Type: Displacement  
Unit: mm  
25/9/2012, 10:35:11 μμ  
8,528e-004 Max



Nodes:3105  
Elements:1558  
Type: Safety Factor  
Unit: ul  
25/9/2012, 10:35:10 μμ



Τέλος Ανάλυσης

## Ανάλυση Πεπερασμένων Στοιχείων

Κατασκευή: Βάση στήριξης περικοχλίου Φ16

Αριθμός φακέλου ανάλυσης: 07

Υπολογιστικό πρόγραμμα: Autodesk Inventor 2013 Student edition

### Χαρακτηριστικά κατασκευής:

α.) Μάζα:	1,32697 kg
β.) Συνολική επιφάνεια:	42.678 mm <sup>2</sup>
γ.) Όγκος:	166.016 mm <sup>3</sup>
δ.) Συντεταγμένες κέντρου βάρους:	x= -19,6987 mm y= 150 mm z= 49,3892 mm

### Χαρακτηριστικά Ανάλυσης:

Είδος ανάλυσης: Στατική

Εντοπισμός και εξάλειψη ταλαντώσεων άκαμπτου σώματος: Ναι

Ανάλυση δυναμικών φορτίων: Όχι

### Χαρακτηριστικά πλέγματος:

Μέση τιμή μεγέθους στοιχείου πλέγματος: 0,1

Ελάχιστη τιμή μεγέθους στοιχείου πλέγματος: 0,1

Συντελεστής ρύθμισης μεγέθους πλεγμάτων: 1,5

Μέγιστη γωνία στροφής: 60°

Δημιουργία καμπύλων στοιχείων πλέγματος: Ναι

Χρήση μετρήσεων από το αντικείμενο για τη δημιουργία του πλέγματος: Όχι

### Φυσικές ιδιότητες υλικών:

α.) Χάλυβας AISI 1050

Πυκνότητα μάζας: 7,99301 gr/cm<sup>3</sup>

Όριο διαρροής: 206,842 MPa

Μέγιστη αντοχή στον εφελκυσμό: 517,104 MPa

Μέτρο ελαστικότητας: 199,947 GPa

Λόγος του Poisson: 0,3

Μέτρο διάτμησης: 76,9027 GPa

Συντελεστής θερμικής διαστολής: 0,0000158039 ul/C°

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας: 14,1713 W/(m K)

Ειδική θερμότητα: 499,33 J/(kg C°)



Συνθήκες λειτουργίας:

Βαρύτητα:

Τιμή:  $9.810,000 \text{ mm/s}^2$   
Διάνυσμα X:  $0,000 \text{ mm/s}^2$   
Διάνυσμα Y:  $0,000 \text{ mm/s}^2$   
Διάνυσμα Z:  $-9.810,000 \text{ mm/s}^2$

Δύναμη F1:

Τιμή:  $75,000 \text{ N}$   
Διάνυσμα X:  $-75,000 \text{ N}$   
Διάνυσμα Y:  $0,000 \text{ N}$

Δύναμη F2:

Τιμή:  $75,000 \text{ N}$   
Διάνυσμα X:  $-75,000 \text{ N}$   
Διάνυσμα Y:  $0,000 \text{ N}$

Δύναμη F3:

Τιμή:  $75,000 \text{ N}$   
Διάνυσμα X:  $-75,000 \text{ N}$   
Διάνυσμα Y:  $0,000 \text{ N}$

Δύναμη F4:

Τιμή:  $75,000 \text{ N}$   
Διάνυσμα X:  $-75,000 \text{ N}$   
Διάνυσμα Y:  $0,000 \text{ N}$

Δύναμη F5:

Τιμή:  $75,000 \text{ N}$   
Διάνυσμα X:  $-75,000 \text{ N}$   
Διάνυσμα Y:  $0,000 \text{ N}$

Δύναμη F6:

Τιμή:  $75,000 \text{ N}$   
Διάνυσμα X:  $-75,000 \text{ N}$   
Διάνυσμα Y:  $0,000 \text{ N}$

### Περιορισμοί (Constraints):

Πάκτωση των επιφανειών επαφής της βάσης έδρασης περικοχλίου του άξονα y'y με το κέλυφος του θαλάμου δοκιμών.

### Αποτελέσματα:

Όγκος: 166.016 mm<sup>3</sup>

Μάζα: 1,32697 kg

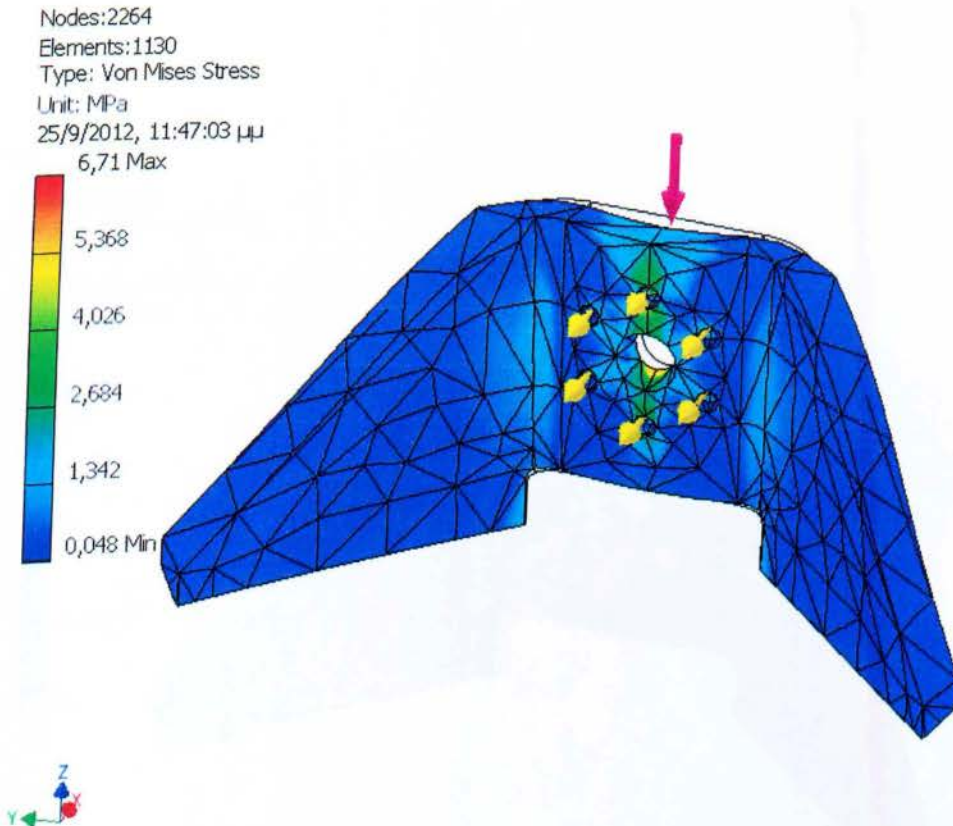
Τάση Von Mises: min 0,0477806 MPa max 6,70967 MPa

1η Κύρια Τάση: min -0,377349 MPa max 5,60809 MPa

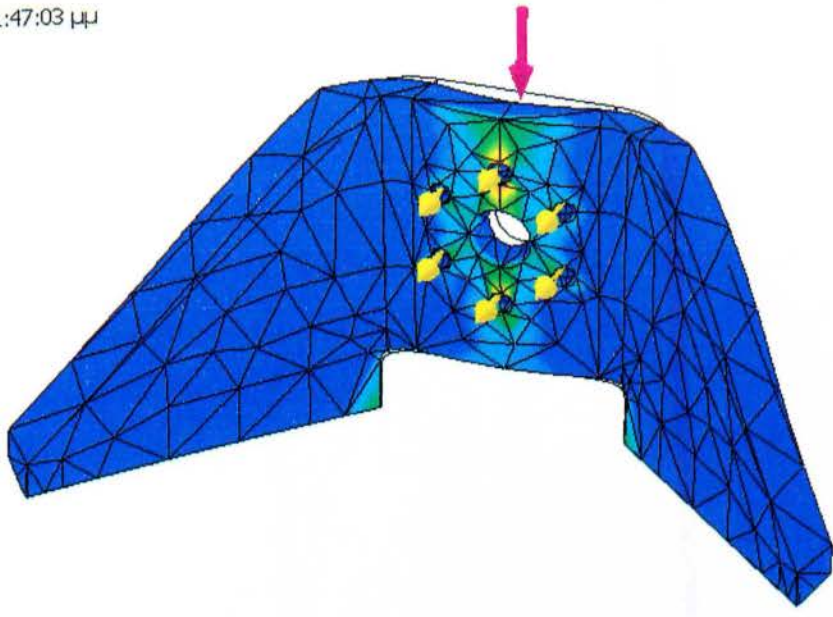
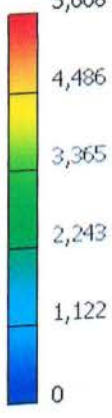
3η Κύρια Τάση: min -7,27487 MPa max 1,10779 MPa

Παραμόρφωση: min 0 mm max 0,00230305 mm

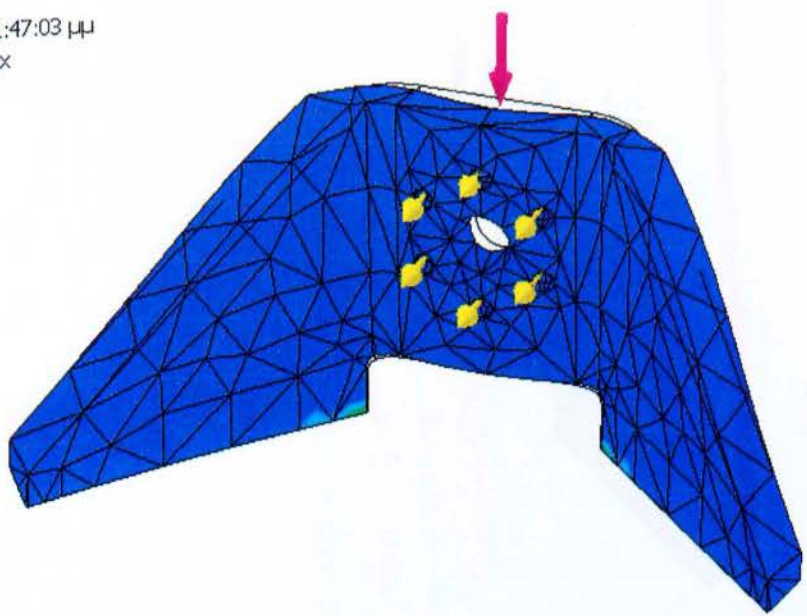
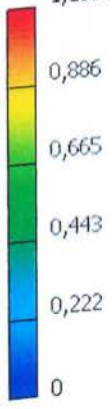
Συντελεστής Ασφαλείας: min 15 max 15



Nodes:2264  
Elements:1130  
Type: 1st Principal Stress  
Unit: MPa  
25/9/2012, 11:47:03 μμ  
5,608

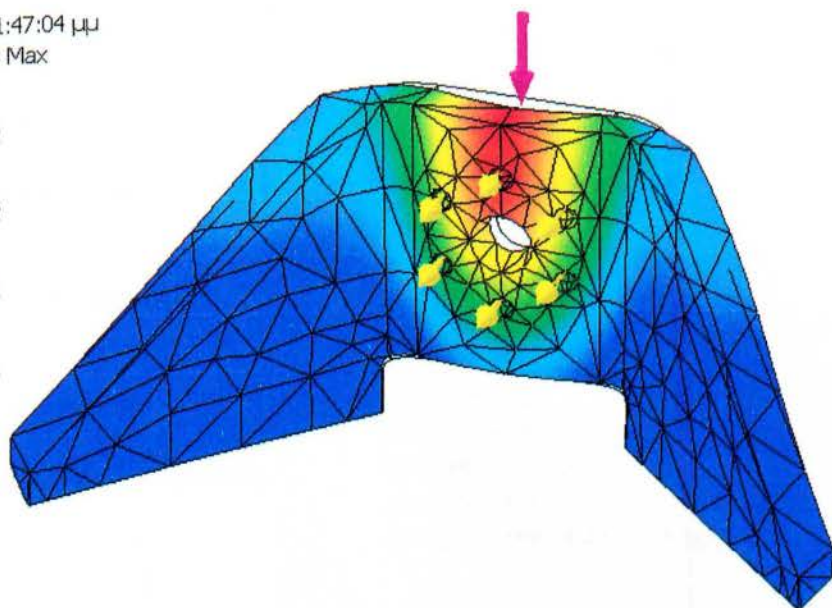
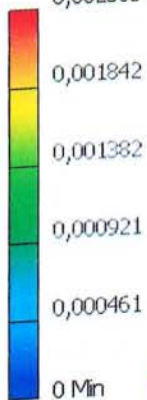


Nodes:2264  
Elements:1130  
Type: 3rd Principal Stress  
Unit: MPa  
25/9/2012, 11:47:03 μμ  
1,108 Max

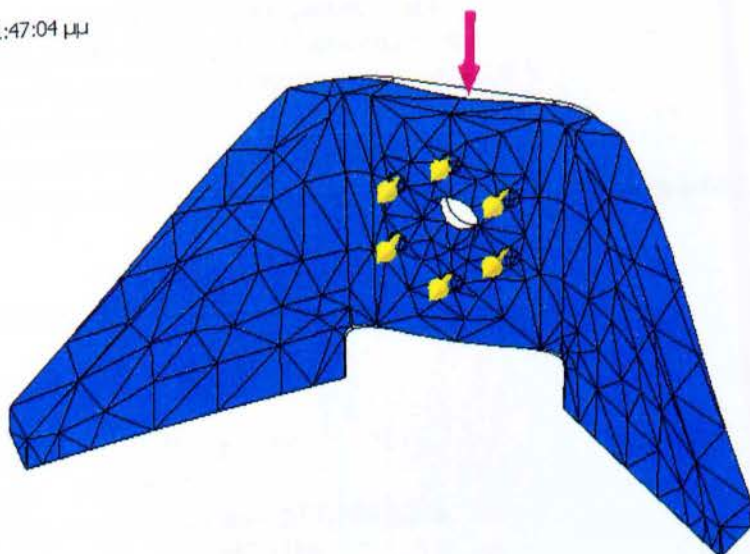
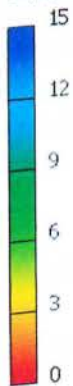




Nodes:2264  
Elements:1130  
Type: Displacement  
Unit: mm  
25/9/2012, 11:47:04 μμ  
0,002303 Max



Nodes:2264  
Elements:1130  
Type: Safety Factor  
Unit: ul  
25/9/2012, 11:47:04 μμ



Τέλος Ανάλυσης

## Ανάλυση Πεπερασμένων Στοιχείων

Κατασκευή: Στέλεχος βύθισης αισθητήρα

Αριθμός φακέλου ανάλυσης: 08

Υπολογιστικό πρόγραμμα: Autodesk Inventor 2013 Student edition

### Χαρακτηριστικά κατασκευής:

α.) Μάζα:	6,22671 kg
β.) Συνολική επιφάνεια:	234.338 mm <sup>2</sup>
γ.) Όγκος:	787.063 mm <sup>3</sup>
δ.) Συντεταγμένες κέντρου βάρους:	x= 546,664 mm
	y= 0,000 mm
	z= -0,00000000411483 mm

### Χαρακτηριστικά Ανάλυσης:

Είδος ανάλυσης: Στατική

Εντοπισμός και εξάλειψη ταλαντώσεων άκαμπτου σώματος: Ναι

Ανάλυση δυναμικών φορτίων: Όχι

### Χαρακτηριστικά πλέγματος:

Μέση τιμή μεγέθους στοιχείου πλέγματος: 0,1

Ελάχιστη τιμή μεγέθους στοιχείου πλέγματος: 0,1

Συντελεστής ρύθμισης μεγέθους πλεγμάτων: 1,5

Μέγιστη γωνία στροφής: 60°

Δημιουργία καμπύλων στοιχείων πλέγματος: Ναι

Χρήση μετρήσεων από το αντικείμενο για τη δημιουργία του πλέγματος: Όχι

### Φυσικές ιδιότητες υλικών:

α.) Χρωμιούχος χάλυβας AISI 4130

Πυκνότητα μάζας: 7,79937 gr/cm<sup>3</sup>

Όριο διαρροής: 275,789 MPa

Μέγιστη αντοχή στον εφελκυσμό: 517,104 MPa

Μέτρο ελαστικότητας: 199,947 GPa

Λόγος του Poisson: 0,3

Μέτρο διάτμησης: 76,9027 GPa

Συντελεστής θερμικής διαστολής: 0,0000115199 ul/C°

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας: 21,6173 W/(m K)

Ειδική θερμότητα: 499,33 J/(kg C°)

Συνθήκες λειτουργίας:

Βαρύτητα:

Τιμή: 9.810,000 mm/s<sup>2</sup>  
Διάνυσμα X: -9.810,000 mm/s<sup>2</sup>  
Διάνυσμα Y: 0,000 mm/s<sup>2</sup>  
Διάνυσμα Z: 0,000 mm/s<sup>2</sup>

Δύναμη F1:

Τιμή: 20 N  
Διάνυσμα X: 0,000 N  
Διάνυσμα Y: 0,000 N  
Διάνυσμα Z: 20,000 N

Περιορισμοί (Constraints):

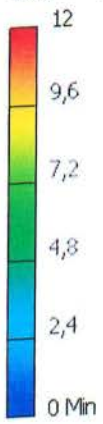
α.) Πάκτωση του σημείου συγκόλλησης και της επιφάνειας επαφής του σωλήνα Φ48 με τη βάση του φορέα συγκράτησης αισθητήρων (01.07.00.00).

Αποτελέσματα:

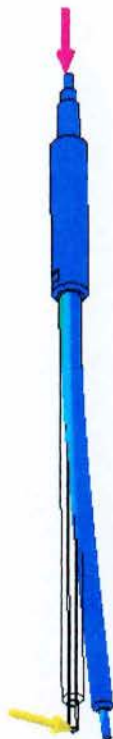
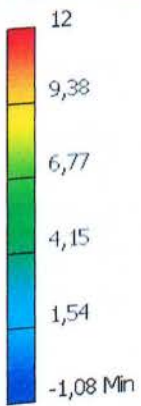
Όγκος: 787.063 mm<sup>3</sup>  
Μάζα: 6,1386 kg  
Τάση Von Mises: min 0,0000205763 MPa max 15,6822 MPa  
1η Κύρια Τάση: min -1,07839 MPa max 15,6095 MPa  
3η Κύρια Τάση: min -12,5467 MPa max 1,39627 MPa  
Παραμόρφωση: min 0 mm max 0,308173 mm  
Συντελεστής Ασφαλείας: min 15 max 15



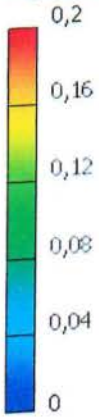
Type: Von Mises Stress  
Unit: MPa  
26/9/2012, 3:50:20 ημ



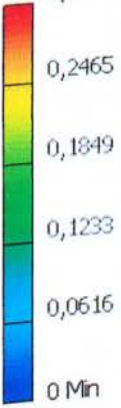
Type: 1st Principal Stress  
Unit: MPa  
26/9/2012, 3:50:20 ημ



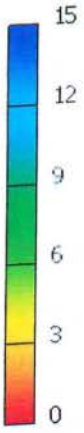
Type: 3rd Principal Stress  
Unit: MPa  
26/9/2012, 3:50:20 pm



Type: Displacement  
Unit: mm  
26/9/2012, 3:50:21 pm  
0,3082 Max



Type: Safety Factor  
Unit: ul  
26/9/2012, 3:50:21 πμ



Τέλος Ανάλυσης



## Ανάλυση Πεπερασμένων Στοιχείων

Κατασκευή: Έλασμα ανύψωσης άξονα z'z

Αριθμός φακέλου ανάλυσης: 09

Υπολογιστικό πρόγραμμα: Autodesk Inventor 2013 Student edition

### Χαρακτηριστικά κατασκευής:

α.) Μάζα:	0,493683 kg
β.) Συνολική επιφάνεια:	26.711,2 mm <sup>2</sup>
γ.) Όγκος:	61.764,4 mm <sup>3</sup>
δ.) Συντεταγμένες κέντρου βάρους:	x= 3,000 mm y= 24,0471 mm z= -0,247793 mm

### Χαρακτηριστικά Ανάλυσης:

Είδος ανάλυσης: Στατική

Εντοπισμός και εξάλειψη ταλαντώσεων άκαμπτου σώματος: Ναι

Ανάλυση δυναμικών φορτίων: Όχι

### Χαρακτηριστικά πλέγματος:

Μέση τιμή μεγέθους στοιχείου πλέγματος: 0,1

Ελάχιστη τιμή μεγέθους στοιχείου πλέγματος: 0,1

Συντελεστής ρύθμισης μεγέθους πλεγμάτων: 1,5

Μέγιστη γωνία στροφής: 60°

Δημιουργία καμπύλων στοιχείων πλέγματος: Ναι

Χρήση μετρήσεων από το αντικείμενο για τη δημιουργία του πλέγματος: Όχι

### Φυσικές ιδιότητες υλικών:

α.) Χάλυβας AISI A050

Πυκνότητα μάζας: 7,99301 gr/cm<sup>3</sup>

Όριο διαρροής: 206,842 MPa

Μέγιστη αντοχή στον εφελκυσμό: 517,104 MPa

Μέτρο ελαστικότητας: 199,947 GPa

Λόγος του Poisson: 0,3

Μέτρο διάτμησης: 76,9027 GPa

Συντελεστής θερμικής διαστολής: 0,0000158039 ul/C°

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας: 14,1713 W/(m K)

Ειδική θερμότητα: 499,33 J/(kg C°)

### Συνθήκες λειτουργίας:

Βαρύτητα:

Τιμή: 9.810,000 mm/s<sup>2</sup>  
Διάνυσμα X: -9.810,000 mm/s<sup>2</sup>  
Διάνυσμα Y: 0,000 mm/s<sup>2</sup>  
Διάνυσμα Z: 0,000 mm/s<sup>2</sup>

Δύναμη F1:

Τιμή: 65 N  
Διάνυσμα X: -65,000 N  
Διάνυσμα Y: 0,000 N  
Διάνυσμα Z: 0,000 N

Δύναμη F2:

Τιμή: 65 N  
Διάνυσμα X: -65,000 N  
Διάνυσμα Y: 0,000 N  
Διάνυσμα Z: 0,000 N

Δύναμη F3:

Τιμή: 65 N  
Διάνυσμα X: -65,000 N  
Διάνυσμα Y: 0,000 N  
Διάνυσμα Z: 0,000 N

Δύναμη F4:

Τιμή: 65 N  
Διάνυσμα X: -65,000 N  
Διάνυσμα Y: 0,000 N  
Διάνυσμα Z: 0,000 N

Δύναμη F5:

Τιμή: 65 N  
Διάνυσμα X: -65,000 N  
Διάνυσμα Y: 0,000 N  
Διάνυσμα Z: 0,000 N

Δύναμη F6:

Τιμή: 65 N  
Διάνυσμα X: -65,000 N  
Διάνυσμα Y: 0,000 N  
Διάνυσμα Z: 0,000 N

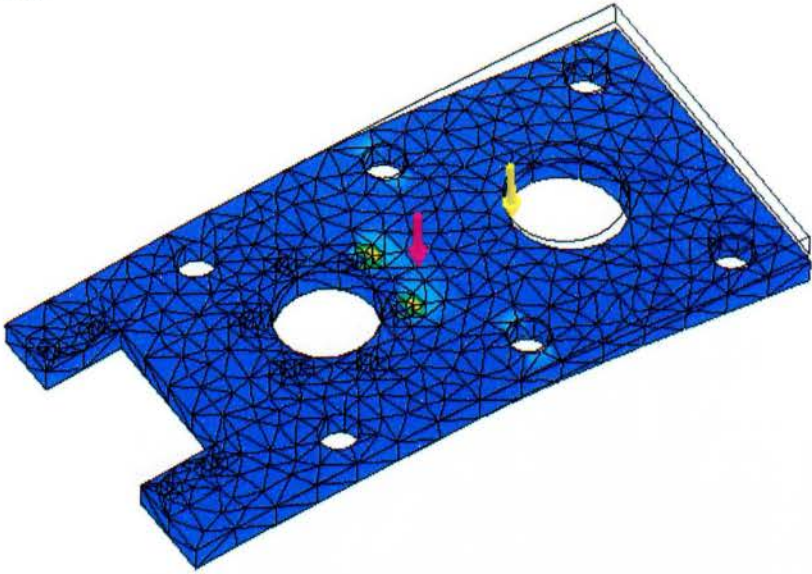
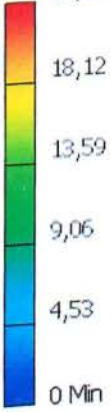
### Περιορισμοί (Constraints):

Πάκτωση των έξι σπειροτομημένων οπών M5 περιμετρικά της οπής Φ25.

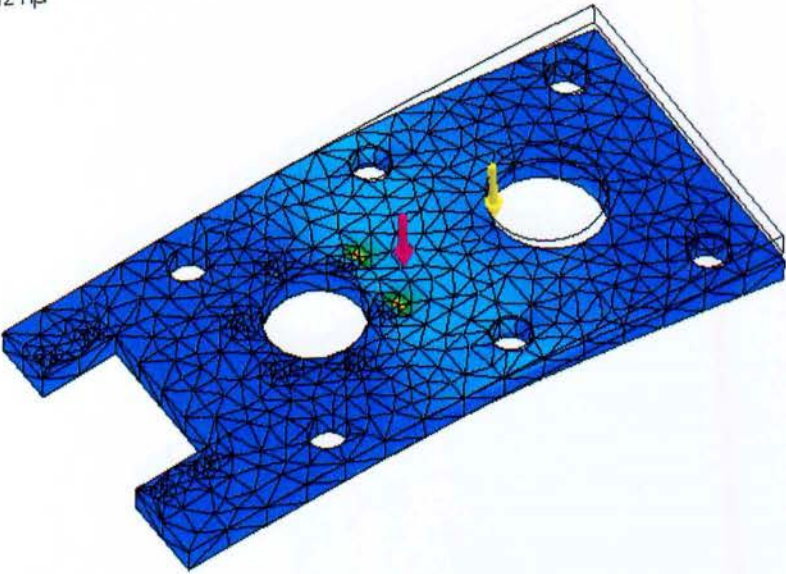
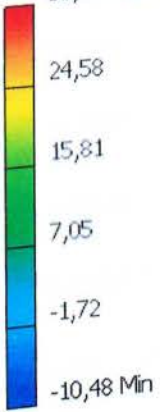
### Αποτελέσματα:

Όγκος: 61.764,4 mm<sup>3</sup>  
Μάζα: 0,403638 kg  
Τάση Von Mises: min 0,000366011 MPa max 22,6538 MPa  
1η Κύρια Τάση: min -10,4807 MPa max 33,3394 MPa  
3η Κύρια Τάση: min -34,1476 MPa max 10,098 MPa  
Παραμόρφωση: min 0 mm max 0,0233487 mm  
Συντελεστής Ασφαλείας: min 9,13058 max 15

Nodes:7855  
Elements:4116  
Type: Von Mises Stress  
Unit: MPa  
29/9/2012, 5:13:41 ημ  
22,65 Max

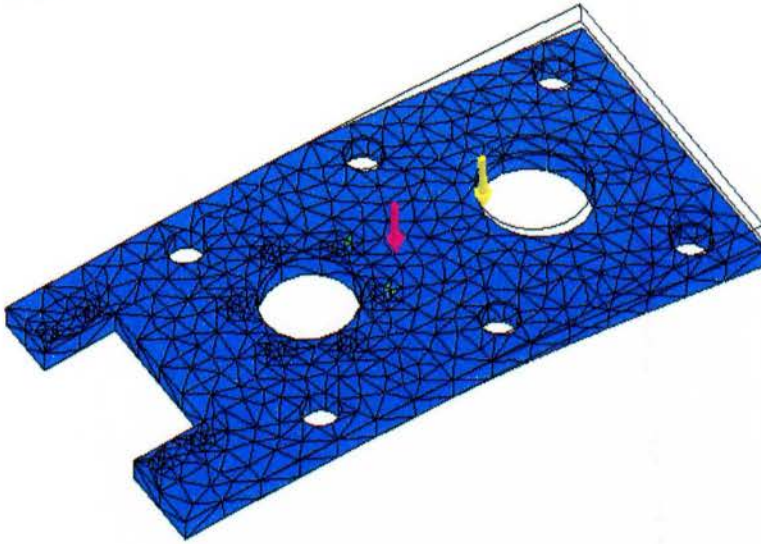
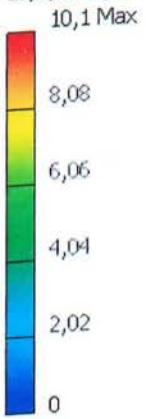


Nodes:7855  
Elements:4116  
Type: 1st Principal Stress  
Unit: MPa  
29/9/2012, 5:13:42 ημ  
33,34 Max

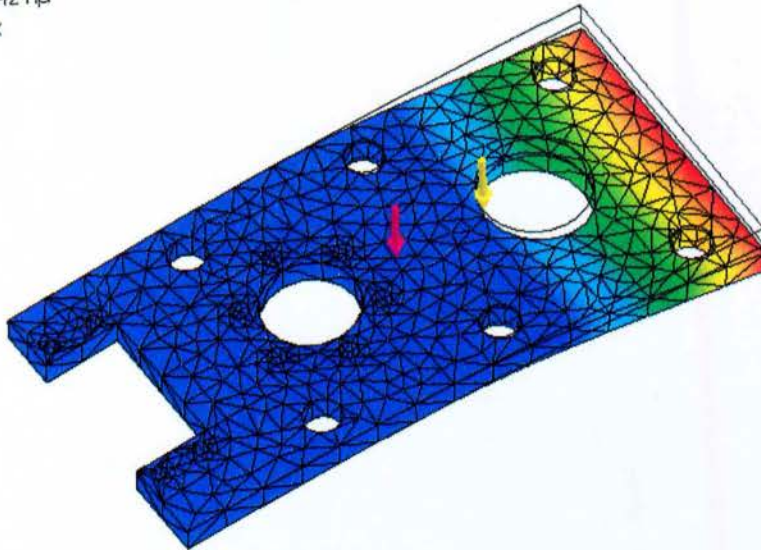
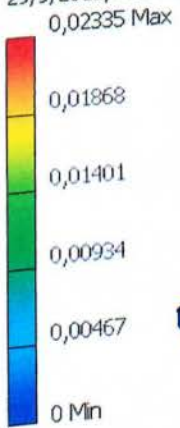




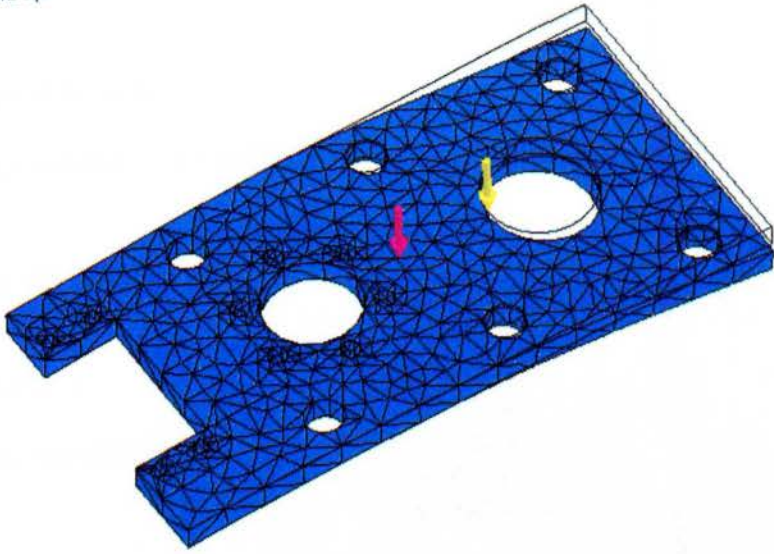
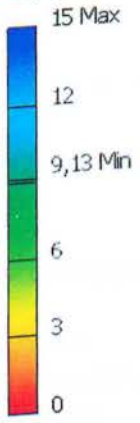
Nodes:7855  
Elements:4116  
Type: 3rd Principal Stress  
Unit: MPa  
29/9/2012, 5:13:42 нч



Nodes:7855  
Elements:4116  
Type: Displacement  
Unit: mm  
29/9/2012, 5:13:42 нч



Nodes:7855  
Elements:4116  
Type: Safety Factor  
Unit: ul  
29/9/2012, 5:13:42 πμ



Τέλος Ανάλυσης