



**ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ανάπτυξη και έλεγχος πρωτότυπου μηχανισμού μεταβλητής
πλευστότητας**

Μιχελινάκης Ν. Σπυρίδων ΑΜ: 5190

Επιβλέπων: Δρ. Κατσαμπρακάκης Δημήτριος



**ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ανάπτυξη και έλεγχος πρωτότυπου μηχανισμού μεταβλητής
πλευστότητας**

Μιχελινάκης Ν. Σπυρίδων ΑΜ: 5190

Επιβλέπων: Δρ. Κατσαμπρακάκης Δημήτριος

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις/...../2018

Δρ., Καθηγητής(Υπογραφή)

Δρ., Καθηγητής (Υπογραφή)

Δρ., Καθηγητής (Υπογραφή)

Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της συνεργασίας του Τ.Ε.Ι. Κρήτης με το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Κρήτης.

Καταρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή της εργασίας αυτής Δρ. Κατσαμπρακάκη Δημήτριο, για τις γνώσεις που μου μετέδωσε κατά την διάρκεια των σπουδών μου, την καθοδήγηση, την συμπαράσταση και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε όλο αυτό το διάστημα που χρειάστηκε για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ερευνητή Α του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Δρ Πετυχάκη Γεώργιο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στο να μπορώ να χρησιμοποιώ τους χώρους και τον εξοπλισμό του μηχανουργείου και του εργαστηρίου βαθμονόμησης του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. για την περάτωση της πτυχιακής μου εργασίας.

Έπειτα θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου η οποία τόσα χρόνια με στηρίζει και με βοηθάει σε κάθε δύσκολη στιγμή, δίνοντάς μου κουράγιο και δύναμη να ξεπερνώ κάθε εμπόδιο και να προχωράω μπροστά. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω την σύζυγό μου για την υπομονή της, την κατανόηση και την συμπαράσταση στις δύσκολες στιγμές που παρουσιάστηκαν κατά την διάρκεια υλοποίησης της εργασίας.

Επίσης από το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε ευχαριστώ τον Ντούμα Εμμανουήλ για τις πολύτιμες συμβουλές του, που με βοήθησαν στην λύση προβλημάτων που εμφανίστηκαν κατά την υλοποίηση του μηχανισμού.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω από το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. τον Πέττα Διονύσιο Εμμανουήλ, αφενός για την πολύτιμη καθοδήγησή του και αφετέρου για την υπομονή και αρωγή που μου πρόσφερε απλόχερα κάθε φορά που απαιτήθηκε.

Περίληψη

Καθώς οι θαλάσσιες επιστήμες εξελίσσονται, απαιτούν όλο και πιο ανεπτυγμένα τεχνολογικά μέσα με την βοήθεια των οποίων θα κάνουν το επόμενο βήμα. Η ανάγκη για συνεχή παρατήρηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος σε μεγάλες κλίμακες χώρου και χρόνου, οδήγησε στην ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών που πλέον αποτελούν βασικό εργαλείο της θαλάσσιας έρευνας.

Σε αυτήν την πτυχιακή εργασία παρουσιάζεται η μελέτη, η σχεδίαση και η κατασκευή ενός χαμηλού κόστους, παράκτιου αυτόνομου μηχανισμού μεταβλητής πλευστότητας, ο οποίος μεταβάλλει την πλευστότητά του με την αύξηση ή μείωση του όγκου του, διατηρώντας σταθερό το βάρος του. Με την μείωση του όγκου του ο μηχανισμός καταδύεται ενώ με την αύξηση του όγκου του αναδύεται. Ο μηχανισμός αυτός προορίζεται να προσαρμοστεί σε μία διάταξη αγγυροβολίου σε βάθος 50 (m), η οποία θα του επιτρέπει ελευθερία κίνησης μόνο στον κατακόρυφο άξονα. Ο σκοπός του μηχανισμού είναι να λειτουργεί ως αυτόνομος πλωτήρας, που θα φέρει ποικίλα μετρητικά όργανα τα οποία κατά την διάρκεια της κατάδυσης / ανάδυσης, θα συλλέγουν δεδομένα από την υδάτινη στήλη.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν αναφέρονται λεπτομερώς ο υπολογισμός της πλευστότητας του μηχανισμού, ο μηχανολογικός σχεδιασμός, η κατασκευή, ο υπολογισμός της αυτονομίας του καθώς και ο προγραμματισμός των ελεγκτών του. Στο τέλος αναφέρονται οι εργαστηριακές δοκιμές και οι δοκιμές που έγιναν στο πεδίο, με τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα από αυτές.

Abstract

Since marine sciences develop, they require more and more advanced technological means in order to make even greater progress. The need for constant monitoring of the marine environment for large scales of space and time led to the development of innovating technology that acts as a unique tool in service of marine research.

This project displays the study, the designing and the construction of a low-cost, coastal, autonomous mechanism with variable buoyancy, which changes its buoyancy depending on the increase or the decrease of its volume, while it maintains its weight steady. The mechanism submerges when its volume decreases and emerges when its volume increases. This mechanism is supposed to adapt to an anchorage layout in 50 meters depth, which allows it to move freely only in the vertical axis. The purpose of this mechanism is to function as an autonomous float where various measuring instruments are going to be adapted in order to collect data from the water column in coastal area during the submergence or the emergence.

In the following chapters, the estimation of the mechanism buoyancy, the mechanical designing, the construction, the estimation of its autonomy as well as the programming of its controllers are analyzed in detail. The final part of the project refers to the laboratory trials and the trials that took place in the marine environment along with the observations and the conclusions that were made.

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή.....	8
1.1	Βιβλιογραφική έρευνα.....	9
1.2	Στόχος και συνεισφορά της παρούσας εργασίας.....	14
1.3	Χρήση του μηχανισμού μεταβλητής πλευστότητας	15
2	Πλευστότητα του μηχανισμού.....	16
2.1	Θεωρητική προσέγγιση της πλευστότητας του μηχανισμού	16
2.2	Ρύθμιση της ουδέτερης πλευστότητας του μηχανισμού	17
3	Σχεδίαση και κατασκευή του μηχανισμού	19
3.1	Προδιαγραφές λειτουργίας του μηχανισμού	19
3.2	Τρόπος λειτουργίας του μηχανισμού.....	20
3.3	Μηχανολογική σχεδίαση του μηχανισμού.....	23
3.3.1	3D σχεδίαση όλου του μηχανισμού.....	23
3.3.2	Υπολογισμός και σχεδίαση του Housing	24
4	Δομικά εξαρτήματα και εξοπλισμός	29
4.1	Ελεγκτές.....	29
4.2	Υδραυλικό κύκλωμα.....	30
4.2.1	ΑντλίαMG2000.....	30
4.2.2	Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα	32
4.2.3	Bladder.....	35
4.2.4	Υδραυλικά εξαρτήματα σύνδεσης.....	36
4.3	Αισθητήρες	37
4.3.1	Αισθητήρας πίεσης	37
4.3.2	RTC.....	40
4.4	Εξοπλισμός πειραματικής ταυτοποίησης χαρακτηριστικών του αισθητήρα πίεσης.....	41
4.4.1	K-114 Interface converter	41
4.4.2	Μανόμετρο βαθμονόμησης	43
4.4.3	Υδραυλική χειροκίνητη αντλία	45
5	Έλεγχος - Κατανομή ηλεκτρικής ενέργειας.....	47
5.1	Εξαρτήματα ελέγχου κατανομής ηλεκτρικής ενέργειας	47

5.1.1	Step up – Step down	47
5.1.2	Solid State Relay.....	48
5.2	Έλεγχος επιπέδου τάσης του συσσωρευτή.....	49
5.3	Εκτίμηση απαιτούμενης ισχύος και χωρητικότητας συσσωρευτή.....	49
5.4	Επιλογή των πηγών τροφοδοσίας.....	50
5.5	Ηλεκτρονικό διάγραμμα συνδέσεων	54
6	Προγραμματισμός ελεγκτών	56
6.1	Πρωτεύον ελεγκτής (MASTER)	57
6.1.1	Διάγραμμα ροής του (MASTER).....	57
6.2	Δευτερεύον ελεγκτής (SLAVE)	59
6.2.1	Διάγραμμα ροής του (SLAVE).....	60
7	Πειραματικά αποτελέσματα	63
7.1	Πειραματική ταυτοποίηση χαρακτηριστικών του αισθητήρα πίεσης.....	63
7.2	Εργαστηριακές δοκιμές.....	71
7.3	Δοκιμές στο πεδίο	73
8	Συμπεράσματα – προτάσεις για μελλοντική εξέλιξη	78
9	Βιβλιογραφία.....	79
10	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	81
10.1	Διάυλος επικοινωνίας I ² C	81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1 Εισαγωγή

Η εξερεύνηση του θαλάσσιου κόσμου έχει τις ρίζες της στα βάθη των χρόνων [1], όπου ο άνθρωπος ξεκίνησε για πρώτη φορά να κάνει κατασκευές οι οποίες απευθύνονταν αρχικά στην μετακίνηση και στον προσανατολισμό του στη θάλασσα. Οι οπτικές παρατηρήσεις των θαλασσών και των ωκεανών και οι καταγραφές τους από πλοία, είναι η παλαιότερη μέθοδο παρακολούθησης και εξερεύνησης αυτών (Εικόνα 1-1).



Εικόνα 1-1: Η εξελικτική πορεία του ανθρώπου στη θάλασσα

Στις μέρες μας η ευρύτερη μελέτη της θάλασσας είναι διεπιστημονικό πεδίο με την επιστήμη της ωκεανογραφίας να παίζει έναν κεντρικό ρόλο. Αντικείμενο της είναι η μελέτη των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών που αφορούν το θαλάσσιο στοιχείο. Η χρήση της τεχνολογίας της τελευταίας δεκαετίας οδήγησε και στην δημιουργία του σχετικά νέου τομέα της επιχειρησιακής ωκεανογραφίας που ασχολείται με την συστηματική παρατήρηση σε πραγματικό χρόνο του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Ένας σημαντικός διαχωρισμός των ωκεανογραφικών μετρητικών συστημάτων είναι η κατηγοριοποίηση τους σε αυτόνομα και μη. Στην πρώτη περίπτωση (Εικόνα 1-2) αριστερά μιλάμε για όργανα ή πλατφόρμες οργάνων που (μετά από τον κατάλληλο προγραμματισμό) κινούνται αυτόνομα μέσα στο θαλάσσιο περιβάλλον πραγματοποιώντας μετρήσεις, οι οποίες είτε αποθηκεύονται στο όργανο και λαμβάνονται κατά την ανάκτηση του οργάνου είτε αποθηκεύονται και μεταδίδονται σε τακτά χρονικά διαστήματα μέσω τηλεμετρίας (AUVs, Gliders, Argo Floats) σε κέντρα δεδομένων (data centers). Η κίνηση επιτυγχάνεται με συστήματα ενεργητικής αυτό-πρόωσης ή με μηχανισμούς οι οποίοι ρυθμίζουν την πλευστότητα του οργάνου μεταβάλλοντας την πυκνότητά του. Συνεπώς το συνολικό βάρος του οργάνου επηρεάζει σημαντικά τόσο τις επιχειρησιακές του δυνατότητες όσο και την λειτουργική του αυτονομία.



Εικόνα 1-2: Παράδειγμα αυτόνομου (Argo) και αγκυροβολημένου ωκεανογραφικού οργάνου

Στην δεύτερη περίπτωση (Εικόνα 1-2) δεξιά κατατάσσονται όργανα και συστήματα τα οποία προσαρμόζονται πάνω σε συστοιχίες πόντισης και καταγράφουν δεδομένα και την εξέλιξη τους στο χρόνο σε στάσιμα σημεία.

1.1 Βιβλιογραφική έρευνα

Τα αυτόνομα υποβρύχια οχήματα (AUVs Autonomous Underwater Vehicles) είναι μη επανδρωμένα προγραμματιζόμενα ρομποτικά οχήματα που μπορούν να πλεύσουν χωρίς χειρισμό πραγματικού χρόνου από την επιφάνεια.

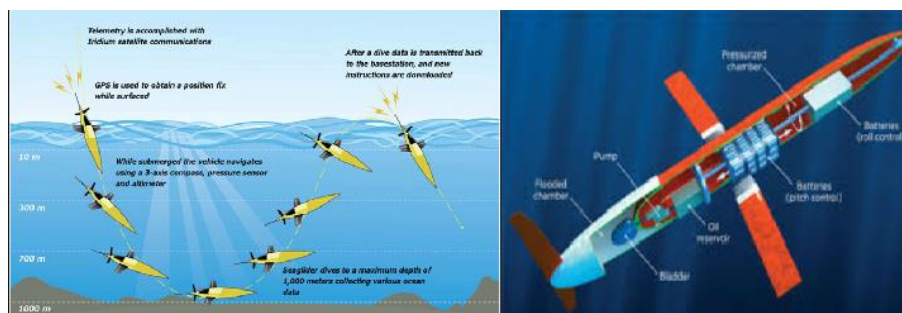
Μέσα από βιβλιογραφική έρευνα που πραγματοποιήθηκε σχετικά με τα αυτόνομα υποβρύχια οχήματα, βρέθηκαν πολλά διαφορετικά είδη από αυτά [2]. Η βασική ομοιότητα που έχουν όλα μεταξύ τους είναι το σχήμα, καθώς πρέπει να είναι υδροδυναμικό για την όσο το δυνατόν πιο ομαλή και εύκολη μετακίνησή τους μέσα στο νερό. Οι κύριες διαφορές μεταξύ αυτών είναι στο μέγεθος, στο βάρος, στην αυτονομία και στην φιλοσοφία του τρόπου κίνησής τους. Ανάλογα με το είδος τους χωρίζονται σε αυτά που κινούνται με την βοήθεια κινητήριων μηχανών (π.χ. ηλεκτροκινητήρα με προπέλα) και σε αυτά που η κίνησή τους οφείλεται στην μεταβολή της πλευστότητάς τους (π.χ. με τη μεταβολή του όγκου τους) (Εικόνα 1-3). Η μεταβολή της πλευστότητας ως κινητήριο μέσο, έχει λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις (άρα μεγαλύτερη αυτονομία) σε σχέση με αυτές που έχει ένας ηλεκτροκινητήρας.



Εικόνα 1-3: Είδη αυτόνομων υποβρύχιων οχημάτων

Τα υποβρύχια οχήματα που είναι πιο κοντά στο αντικείμενο της παρούσας εργασίας, είναι τα Sea Gliders και Argo Float τα οποία χρησιμοποιούνται για ερευνητικούς σκοπούς, κυρίως όμως για μεγάλα βάθη.

Τα Sea Glider (Εικόνα 1-4) δεν χρησιμοποιούν συστήματα πρόωσης, όπως στα υπόλοιπα AUVs, αλλά μετατόπιση του κέντρου βάρους και παράλληλη μεταβολή της πλευστότητας, προκειμένου να μετακινηθούν στο θαλάσσιο περιβάλλον [3]. Το Sea Glider χρησιμοποιεί πτερύγια για να μετατρέψει την κάθετη κίνηση σε οριζόντια, προωθώντας το προς τα εμπρός με πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Αν και δεν είναι τόσο γρήγορα όσο τα συμβατικά AUV, έχουν σημαντικό προβάδισμα έναντι των οχημάτων που κινούνται με ηλεκτρικό κινητήρα και καθοδηγούνται από προπέλες, όσον αφορά την διάρκεια της δειγματοληψίας που μπορεί να διαρκέσει από μερικές ώρες έως και μήνες και την μεγάλη απόσταση που μπορεί να διανύσει σε αυτό το χρονικό διάστημα, λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, άρα μεγάλης αυτονομίας.



Εικόνα 1-4: Sea-Glider

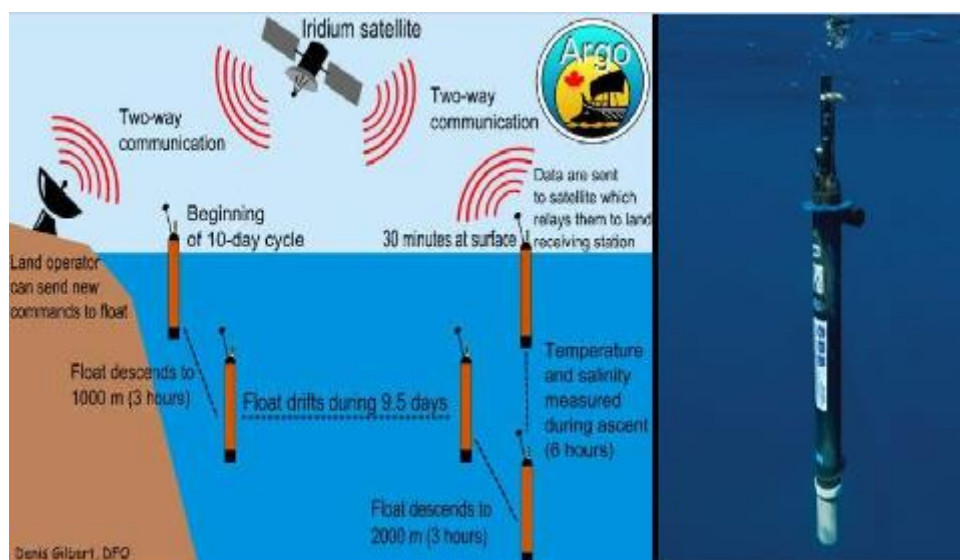
Τα Sea-Gliders χρησιμοποιούν ένα προιωντώ προφίλ μέσα στο νερό (Εικόνα 1-4), για την συλλογή δεδομένων όπως η θερμοκρασία, η αγωγιμότητα, τα ρεύματα, ο φθορισμός χλωροφύλλης, το βάθος πυθμένα και (περιστασιακά) ακουστικό backscatter. Περιηγούνται με τη βοήθεια περιοδικών επιδιορθώσεων GPS επιφανείας, αισθητήρων πίεσης, αισθητήρων

κλίσης και μαγνητικών πυξίδων. Η κλίση του οχήματος ελέγχεται από κινητό εσωτερικό έρμα (συνήθως συστοιχίες μπαταριών). Η πλευστότητα ρυθμίζεται είτε χρησιμοποιώντας ένα έμβολο για να πληρώσει / εκκενώσει ένα θάλαμο με θαλασσινό νερό, είτε μετακινώντας λάδι μέσα ή έξω από ένα εξωτερικό Bladder. Οι εντολές και τα δεδομένα μεταδίδονται μεταξύ των Sea-Gliders και της ακτής μέσω δορυφόρου.

Ανάλογα με το απαιτούμενο βάθος έχουν αναπτυχθεί και τα κατάλληλα μοντέλα Sea-Gliders, όπως είναι το μοντέλο Slocum το οποίο ενδείκνυται για βάθη 200 μέτρων ή 1000 μέτρων, το Spray που μπορεί να λειτουργήσει στα 1500 μέτρα, το Sea glider στα 1000 μέτρα, το SEA Explorer στα 700 και το Slocum Thermal στα 1200. Τον Αύγουστο του 2010, μια παραλλαγή Deep Glider του Sea glider πέτυχε επαναλαμβανόμενο βάθος λειτουργίας 6000 μέτρων. Παρόμοια βάθη έχουν επιτευχθεί από ένα κινέζικο Deep Glider το 2016.

Το Argo Float (Εικόνα 1-5) δεξιά είναι ένα διεθνές πρόγραμμα που χρησιμοποιεί αυτόνομους πλωτήρες [4], για να παρατηρεί τη θερμοκρασία, την αλατότητα, τα ρεύματα και πρόσφατα, τις βίο-οπτικές ιδιότητες στους ωκεανούς της Γης. Λειτουργεί από τις αρχές της δεκαετίας του 2000 και τα στοιχεία που παρέχει σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιούνται στην κλιματική και ωκεανογραφική έρευνα. Τα δεδομένα μεταδίδονται στην ξηρά μέσω δορυφόρου (Εικόνα 1-5) αριστερά και είναι ελεύθερα διαθέσιμα σε όλους, χωρίς περιορισμούς.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι αυτόνομοι πλωτήρες μετακινούνται σε βάθος 1000 μέτρων (το αποκαλούμενο βάθος στάθμευσης) και κάθε 10 ημέρες (ανάλογα με τον προγραμματισμό τους), μεταβάλλοντας την πλευστότητά τους βουτάνε σε βάθος 2000 μέτρων. Έπειτα μετακινούνται προς την επιφάνεια της θάλασσας για να συλλέξουν δεδομένα και να σχηματίσουν το προφίλ μίας υδάτινης στήλης από αυτά.



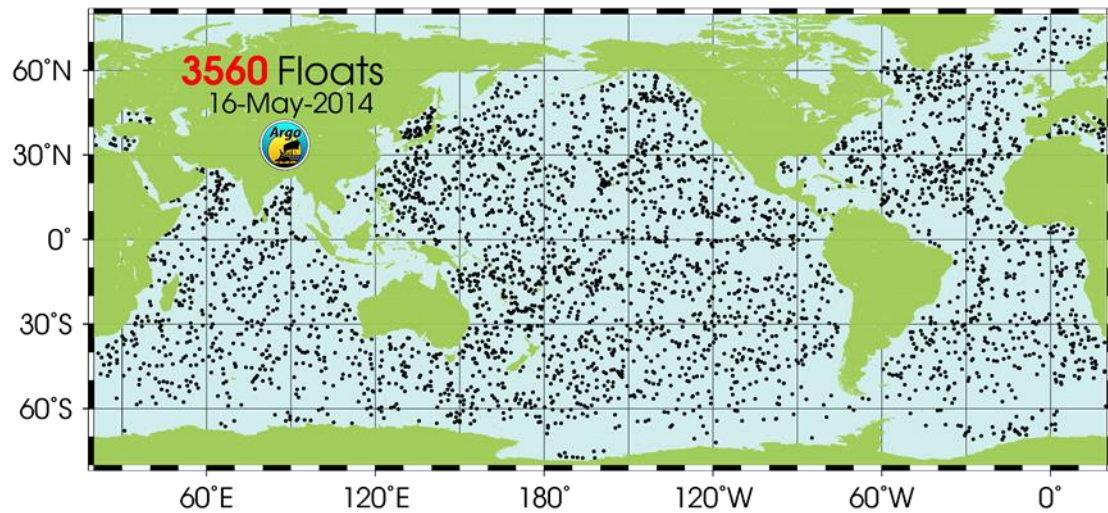
Εικόνα 1-5:Argo-Float

Ένας τυπικός πλωτήρας Argo είναι ένας κύλινδρος λίγο πάνω από 1 μέτρο και 14 εκατοστά, ζυγίζει 20-30 κιλά ανάλογα το είδος του και έχει ελάχιστο όγκο περίπου 16,600 κυβικών εκατοστών (cm³). Η κύρια ικανότητα ενός πλωτήρα Argo είναι η ικανότητά του να αναδύεται και να καταδύεται στον ωκεανό με προγραμματισμένο χρονοδιάγραμμα. Και σε αυτή την περίπτωση το βάρος είναι καθοριστικός παράγοντας καθώς επηρεάζει άμεσα τις επιχειρησιακές δυνατότητες του οχήματος/πλωτήρα. Τόσο η διάρκεια παραμονής στο πεδίο όσο και το ποσοστό ωφέλιμου φορτίου το οποίο μπορεί να φέρει ένα αυτόνομο υποβρύχιο όχημα/πλωτήρας εξαρτώνται από το συνολικό του εκτόπισμα. Το κόστος σε βάρος που απαιτείται για ένα κέλυφος, υψηλής αντοχής στη πίεση, από συμβατικά μεταλλικά υλικά είναι μεγαλύτερο ή ίσο από το ωφέλιμο φορτίο των αυτόνομων οχημάτων. Για το λόγο αυτό ενώ υπάρχουν σταθερές μετρητικές πλατφόρμες τοποθετημένες σε βάθος αρκετών χιλιάδων μέτρων στο πυθμένα των ωκεανών τα υποβρύχια οχήματα, πλην ελάχιστων εξαιρέσεων, έχουν επιχειρησιακό όριο τα 2000 μέτρα βάθος.

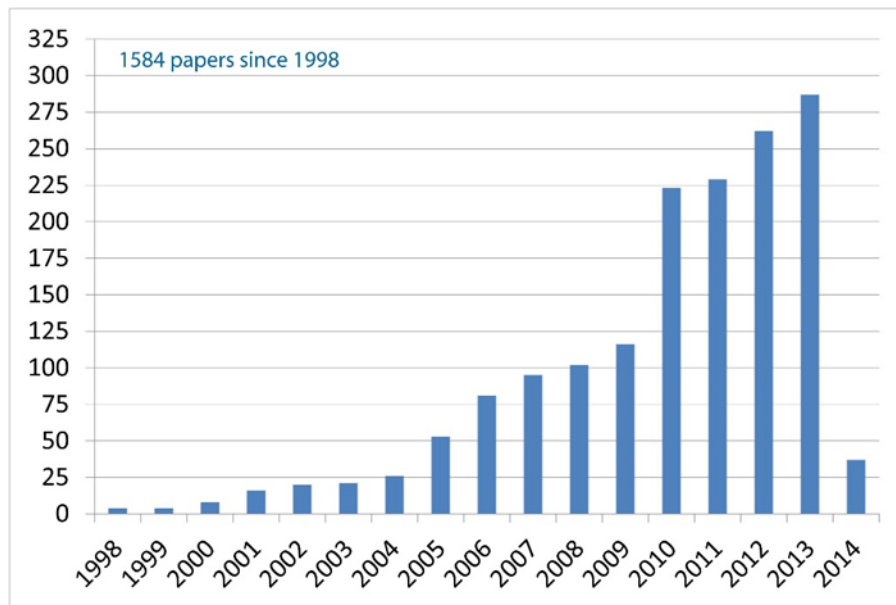
Η μεταβολή της πλευστότητας επιτυγχάνεται μέσω της μετακίνησης ενός ρευστού από μια εσωτερική δεξαμενή σε μία εξωτερική κύστη-συλλέκτη, και αντίστροφα, μεταβάλλοντας έτσι την πυκνότητα του οργάνου και επομένως την πλευστότητα. Η οριζόντια κίνηση του πλωτήρα επιτυγχάνεται με την στάθμευση του σε προκαθορισμένο βάθος (parking depth) και την ελεύθερη παράσυρση από τα θαλάσσια ρεύματα.

Πολλές εταιρείες και οργανισμοί κατασκευάζουν πλωτήρες, με προφίλ που χρησιμοποιούνται στο πρόγραμμα Argo. Το πιο κοινό είδος πλωτήρα είναι το APEX, που έγιναν από την Teledyne Webb Research. Οι πλωτήρες SOLO και SOLO-II (οι τελευταίοι χρησιμοποιούν μια παλινδρομική αντλία για αλλαγές στην πλευστότητα, σε αντίθεση με τα έμβολα σε άλλους πλωτήρες) αναπτύχθηκαν στο Scripps Institution of Oceanography. Άλλοι τύποι περιλαμβάνουν το float NINJA, κατασκευασμένο από την Tsurumi Seiki Co της Ιαπωνίας, και το float PROVOR που αναπτύχθηκε από την IFREMER στη Γαλλία.

Στην επιχειρησιακή ωκεανογραφία την τελευταία δεκαπενταετία η χρήση αυτόνομων υποβρυχίων οχημάτων, και ειδικά πλωτήρων Argo, είναι μαζική και επεκτείνεται συνέχεια (Εικόνα 1-6) και (Εικόνα 1-7). Ένα διεθνές επιστημονικό δίκτυο με περισσότερες από 30 συμμετέχουσες χώρες υποστηρίζει χιλιάδες πλωτήρες που επιχειρούν σε όλα τα μήκη και πλάτη του πλανήτη συλλέγοντας πολύτιμα επιστημονικά δεδομένα. Χαρακτηριστικό είναι ότι στην επιστημονική βιβλιογραφία υπάρχουν πλέον χιλιάδες εργασίες βασισμένες σε δεδομένα των Argo Floats.



Εικόνα 1-6: Η διασπορά των Argos παγκοσμίως, ο αριθμός τους αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά τα επόμενα χρόνια



Εικόνα 1-7: Επιστημονικές δημοσιεύσεις που σχετίζονται με τα Argos από το 1998 μέχρι σήμερα.

1.2 Στόχος και συνεισφορά της παρούσας εργασίας

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την σχεδιομελέτη και κατασκευή ενός χαμηλού κόστους αυτόνομου μηχανισμού μεταβλητής πλευστότητας, με επιχειρησιακή δράση σε βάθος έως 60 μέτρα. Η αρχή λειτουργίας του συναντάται συχνά σε αυτόνομους υποβρύχιους μηχανισμούς που η δράση τους αφορά κυρίως μεγάλα βάθη, οι οποίοι όμως έχουν πολύ υψηλό κόστος κατασκευής, αγοράς και συντήρησης.

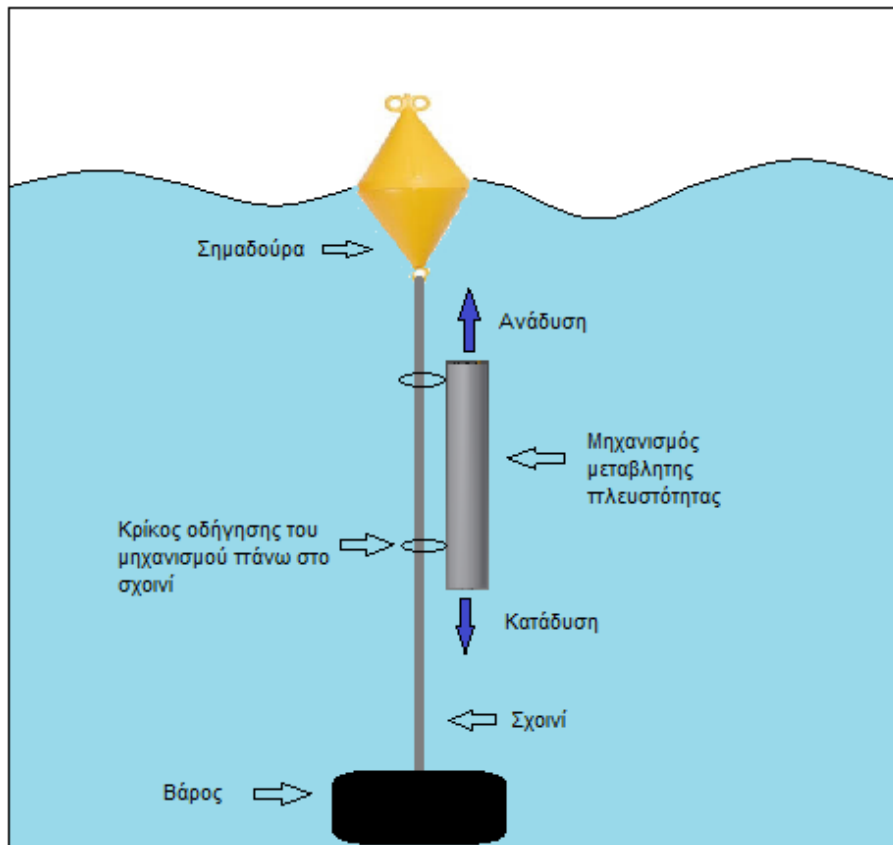
Οι απαιτήσεις στις προδιαγραφές των επιμέρους εξαρτημάτων και των υλικών που απαρτίζουν τον μηχανισμό, μειώνονται αρκετά σε σχέση με αυτές των υποβρύχιων οχημάτων που καλούνται να καταδυθούν στα 1000, 2000, ακόμα και στα 6000 μέτρα. Έτσι το κόστος αγοράς των εξαρτημάτων και των υλικών κατασκευής του μηχανισμού παραμένει σε χαμηλά επίπεδα, χωρίς να υποβαθμίζεται η απόδοση και αξιοπιστία της λειτουργίας του στο πεδίο.

Εκτός του κόστους κατασκευής του μηχανισμού είναι αναγκαίο να ληφθεί υπόψιν και το κόστος συντήρησής του, καθώς η συντήρηση των περισσότερων αυτόνομων υποβρύχιων μηχανισμών πραγματοποιείται μόνο στην κατασκευάστρια εταιρεία από εξειδικευμένο προσωπικό, όπου αυτό συνεπάγεται υψηλό κόστος συντήρησης, ανταλλακτικών και τις περισσότερες φορές υπάρχει αύξηση του μη παραγωγικού χρόνου του μηχανισμού λόγω της μεταφοράς του σε αυτήν. Στον παρόν μηχανισμό λόγω της χρήσης προϊόντων τα οποία είναι σχετικά ευρέως διαθέσιμα στην παγκόσμια αγορά (πράγμα που καθιστά ευπρόσιτα τα ανταλλακτικά) και της απλότητας της κατασκευής του μηχανισμού, η συντήρησή του γίνεται μία σχετικά απλή διαδικασία.

1.3 Χρήση του μηχανισμού μεταβλητής πλευστότητας

Ο αυτόνομος μηχανισμός μεταβλητής πλευστότητας που έχει ως αντικείμενο η παρούσα εργασία, θα χρησιμοποιηθεί από το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Κρήτης για την συλλογή θαλάσσιων δεδομένων από στήλη ύδατος παράκτιας περιοχής.

Ο μηχανισμός μεταβάλλοντας την πλευστότητά του μειώνοντας ή αυξάνοντας τον όγκο του, έχει την ικανότητα να καταδύεται και να αναδύεται αντίστοιχα, όποτε αυτό είναι επιθυμητό. Θα τοποθετηθεί σε μία διάταξη αγκυροβολίου εικόνα (Εικόνα 1-8) η οποία θα του επιτρέπει να ολισθαίνει πάνω σε αυτή και να έχει ελευθερία κίνησης μόνο στον κατακόρυφο άξονα. Ο σκοπός του μηχανισμού είναι να λειτουργεί ως αυτόνομος πλωτήρας που θα προσαρμόζονται πάνω του διάφορα μετρητικά όργανα τα οποία κατά την διάρκεια της κατάδυσης / ανάδυσης, θα συλλέγουν δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά θα χρησιμοποιούνται από τους ερευνητές του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. σε διάφορες εφαρμογές όπως σε προγνωστικά μοντέλα.



Εικόνα 1-8: Αγκυροβόλιο

Ο μηχανισμός είναι προγραμματισμένος να εκτελεί μία κατάδυση / ανάδυση κάθε τρεις ώρες και να καταγράφει την ώρα, το βάθος και την στιγμιαία ταχύτητά του σε SD card, δημιουργώντας έτσι ένα αρχείο με πολλές χρήσιμες πληροφορίες για την λειτουργία και το πεδίο δράσης του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

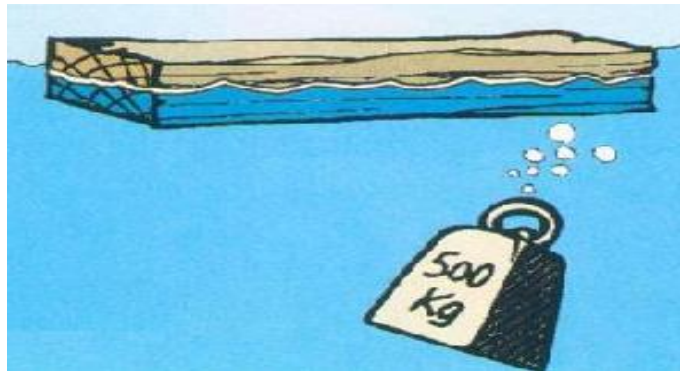
2 Πλευστότητα του μηχανισμού

2.1 Θεωρητική προσέγγιση της πλευστότητας του μηχανισμού

Η άνωση είναι ίση με το βάρος του ρευστού που εκτοπίζεται ή αντίστοιχα τον όγκο του σώματος που είναι βυθισμένο στο νερό. (Αρχιμήδης ο Συρακούσιος)

Ένα σώμα όταν είναι βυθισμένο στο νερό, εκτός από την δύναμη του βάρους του δέχεται και μία άλλη δύναμη αντίθετης φοράς η οποία είναι η άνωση ($F_B = \gamma \cdot \nu$) όπου (ν) ο όγκος του εντοπιζόμενου ρευστού και (γ) το ειδικό βάρος του ρευστού [5]. Από την δύναμη της άνωσης εξαρτάται η πλευστότητα ($T = F_B - w$) όπου (w) το βάρος του σώματος, η οποία δείχνει την τάση του σώματος να βυθιστεί, να αναδυθεί, να επιπλεύσει ή να παραμείνει στάσιμο σε ένα συγκεκριμένο βάθος.

Ένα αντικείμενο έχει θετική πλευστότητα όταν η δύναμη του βάρους του είναι μικρότερη από την δύναμη της άνωσης και το σώμα αναδύεται ή επιπλέει, ένα σώμα έχει αρνητική πλευστότητα όταν η δύναμη του βάρους του είναι μεγαλύτερη από την δύναμη άνωσης και τότε το σώμα βυθίζεται (Εικόνα 2-1). Όταν η δύναμη της άνωσης είναι ίση με την δύναμη της βαρύτητας τότε το σώμα μένει σταθερό σε ένα συγκεκριμένο βάθος, έχει ουδέτερη πλευστότητα.



Εικόνα 2-1: Θετική και αρνητική πλευστότητα αντικειμένου στο νερό.

Η δύναμη αυτή προκαλείται από την υδροστατική πίεση η οποία αυξάνει με το βάθος. Επειδή οι δυνάμεις κάτω από το σώμα είναι μεγαλύτερες από αυτές πάνω από αυτό, η άνωση έχει κατακόρυφη διεύθυνση και φορά αντίθετη με τη βαρύτητα.

Πάνω σε αυτό το φαινόμενο βασίζεται η αρχή λειτουργίας του μηχανισμού που έχει ως αντικείμενο η παρούσα πτυχιακή εργασία. Μεταβάλλοντας τον όγκο του κρατώντας σταθερή τη μάζα του (μεταβολή της πυκνότητάς του), η δύναμη άνωσης αυξάνεται όταν ο όγκος του αυξάνεται και αυτός αναδύεται, ενώ η δύναμη άνωσης μειώνεται όταν ο όγκος του ελαττώνεται και αυτός καταδύεται.

Η θεωρητική προσέγγιση της άνωσης που έχει ο μηχανισμός μεταβλητής πλευστότητας, απαρτίζεται από δύο σκέλη. Στο πρώτο σκέλος υπολογίζεται η άνωση που έχει το σώμα του μηχανισμού άδειο (από εδώ και στο εξής θα αναφέρεται ως Housing), χρησιμοποιώντας την παραπάνω θεωρία και την βοήθεια του λογισμικού Autodesk inventor professional 2015. Σχεδιάζοντας το Housing και επιλέγοντας το σωστό υλικό Acetal, το λογισμικό υπολογίζει το βάρος του που είναι $W_1=10,891\text{kg}$. Ο όγκος που καταλαμβάνει το Housing μέσα στο νερό είναι $V=18,439$ (lt) και υπολογίζεται από την σχέση $V = \frac{\pi * D^2}{4} * L$, (όπου D η διάμετρο του κυλίνδρου και L το ύψος του). Με πυκνότητα του θαλασσινού νερού $\rho=1,025$ (kg/lt), το βάρος του εκτοπιζόμενου θαλασσινού νερού από το Housing είναι $W_2=18,9$ (kg) και υπολογίζεται από τη σχέση $W_2=V*\rho$. Η τιμή της άνωσης που έχει το Housing μέσα στο νερό είναι $A=8,009$ (kg) και υπολογίζεται από τη σχέση $A_1=W_2-W_1$.

Στο δεύτερο σκέλος υπολογίζεται η άνωση που έχει ολόκληρος ο μηχανισμός. Κάνοντας το άθροισμα του βάρους των εξαρτημάτων του μηχανισμού $W_3=6,612$ (kg) και προσθέτοντας τα στο βάρος του Housing $W_4=W_1+W_3=17,503$ (kg), βρίσκουμε ότι ο μηχανισμός έχει άνωση (ή payload) ίση με $A_2=1,397$ (kg) από τη σχέση $A_2=W_2-W_4$.

2.2 Ρύθμιση της ουδέτερης πλευστότητας του μηχανισμού

Αφού κατασκευάστηκε ο αυτόνομος μηχανισμός μεταβλητής πλευστότητας λαμβάνοντας υπόψιν την θεωρητική προσέγγιση της πλευστότητάς του, το επόμενο βήμα είναι να βρεθεί η κατάσταση στην οποία ο μηχανισμός έχει ουδέτερη πλευστότητα.

Για την εκτέλεση της διαδικασίας αυτής χρησιμοποιήθηκε μία δεξαμενή στον χώρο του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. (Εικόνα 2-2) η οποία περιέχει θαλασσινό νερό και όχι υφάλμυρο, για τον λόγο ότι οι υπολογισμοί της πλευστότητας του μηχανισμού έχουν γίνει βάση της πυκνότητας του θαλασσινού νερού. Ο μηχανισμός είναι επιθυμητό να έχει ουδέτερη πλευστότητα όταν και τα δύο Bladder (ελαστικά ρεζερβουάρ) έχουν την ίδια ποσότητα λαδιού, η οποία καταλαμβάνει τον μισό τους όγκο και μπορεί να μεταφερθεί από το ένα στο άλλο, χωρίς να υπάρξει υπερπλήρωση κάποιου Bladder. Μηχανισμός τοποθετήθηκε στην δεξαμενή και κρατήθηκε μέσα στο νερό μέχρι να διαρρεύσει ο εγκλωβισμένος αέρας από τα προστατευτικά καπάκια. Έπειτα απελευθερώθηκε μέσα στο νερό και πάνω στο Housing τοποθετούνταν διαδοχικά βαρίδια συνολικού βάρους 66 (gr) και flotation 1 φελλό μέσα στο προστατευτικό καπάκι, μέχρι να αποκτήσει ουδέτερη πλευστότητα. Στην (Εικόνα 2-2) ο μηχανισμός αριστερά έχει θετική πλευστότητα ενώ δεξιά έχει ουδέτερη.



Εικόνα 2-2: Ρύθμιση ουδέτερης πλευστότητας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3 Σχεδίαση και κατασκευή του μηχανισμού

3.1 Προδιαγραφές λειτουργίας του μηχανισμού

Η αυτονομία πού προδιαγράφηκε για τον μηχανισμό, είναι το ελάχιστο για τέσσερις ημέρες και με δυνατότητα ανάδυσης / κατάδυσης κάθε τρεις ώρες. Ο αυτόνομος μηχανισμός μεταβλητής πλευστότητας θα τοποθετηθεί σε ένα παράκτιο αγκυροβόλιο περίπου 60 μέτρα βάθος και απόσταση 1000 μέτρα από την ακτή. Η σύνδεση του μηχανισμού στο αγκυροβόλιο επιτυγχάνεται με δύο ανοξειδωτους κρίκους, οι οποίοι έχουν πολύ μεγαλύτερη εσωτερική διάμετρο από την εξωτερική του σχοινιού, για να μπορεί να ολισθαίνει από την επιφάνεια της θάλασσας μέχρι τον πυθμένα με όσο το δυνατόν λιγότερες τριβές. Με αυτόν τον τρόπο είναι εφικτή η επαναλαμβανόμενη λήψη μετρήσεων από μία στήλη θαλάσσιου ύδατος συγκεκριμένης περιοχής.

Το σώμα του μηχανισμού καλείται να εκτελεί μία κατάδυση / ανάδυση κάθε τρεις ώρες, δηλαδή οκτώ ανά 24ωρο, οπότε δεν αρκεί η αντοχή του σώματος να αρκестεί στην πίεση του βάθους πόντισης, αλλά πρέπει να ληφθεί υπόψιν και η επαναληπτικότητα. Αυτό επιλύεται βάζοντας ένα μεγάλο συντελεστή ασφαλείας στην αντοχή του Housing, ο οποίος είναι ανάλογος με το υλικό, την γεωμετρία και τις διαστάσεις του. Το σώμα του μηχανισμού είναι κατασκευασμένο από διάτρητο κύλινδρο ACETALPOMC [6], όπως επίσης από το ίδιο υλικό είναι και τα καπάκια του. Είναι σχεδιασμένο να αντέχει επαναλαμβανόμενες καταδύσεις / αναδύσεις στα 90 μέτρα βάθος με συντελεστή ασφαλείας του προγράμματος υπολογισμού 0,9.

Στο εσωτερικό του Housing το οποίο είναι στεγανό, βρίσκονται το εσωτερικό Bladder, το υδραυλικό και το ηλεκτρονικό σύστημα του μηχανισμού έκτος από το εξωτερικό Bladder, το οποίο είναι τοποθετημένο στην εξωτερική επιφάνεια της κάτω πλευράς του μηχανισμού. Το υδραυλικό μέσο που χρησιμοποιείται είναι το λάδι και αυτό γιατί το λάδι αφενός λιπαίνει τα μεταλλικά μέρη με τα οποία έρχεται σε επαφή και αφετέρου για τον λόγο ότι το λάδι έχει μικρότερη πυκνότητα από το θαλασσινό νερό και αυτό προσδίδει στον μηχανισμό περισσότερη άνωση. Για τον λόγο αυτό, τα υλικά όλων των επιμέρους εξαρτημάτων του υδραυλικού κυκλώματος είναι ανθεκτικά και ενδείκνυται η λειτουργία τους σε αυτό.

Όταν ο μηχανισμός βρίσκεται στον πυθμένα και είναι απαραίτητη η ανάδυσή του, το υδραυλικό μέσο πρέπει να μετακινηθεί από το εσωτερικό Bladder στο εξωτερικό, με πίεση περίπου 5 (Bar) και σταθερή ροή. Αυτό επιτυγχάνεται με μία micro pump αντλία ονομαστικής πίεσης λειτουργίας 10bar με αναστρέψιμη ροή.

Η αντλία δεν είναι κατασκευασμένη να κρατάει πίεση όταν είναι εκτός λειτουργίας και έτσι όταν ο μηχανισμός είναι βυθισμένος και η αντλία είναι εκτός λειτουργίας, η εξωτερική πίεση ωθεί το λάδι του εξωτερικού Bladder στο εσωτερικό. Για να αποφευχθεί αυτό, η αντλία συνδέεται με το εξωτερικό Bladder μέσω μίας ανεπίστροφης βαλβίδας η οποία ανοίγει με 0,5bar στην διεύθυνση ροής από την αντλία προς το εξωτερικό Bladder ενώ κρατάει 10 (Bar) στην αντίθετη διεύθυνση ροής. Σε περίπτωση πού στην ανεπίστροφη βαλβίδα προκύψει

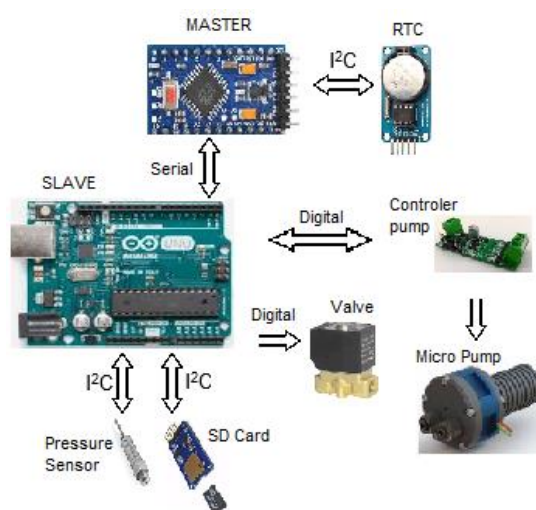
βλάβη, η αντλία δεν θα μπορεί να μετακινήσει το λάδι έξω και να αναδυθεί ο μηχανισμός. Για την εξασφάλιση της ανάδυσης του είναι τοποθετημένη στο υδραυλικό κύκλωμα μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα μηδενικής πίεσης διπλής φοράς, ούτως ώστε όταν εμφανιστεί η προαναφερθείσα βλάβη η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα να ανοίξει και ο μηχανισμός να αναδυθεί έως την επιφάνεια. Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα είναι normally close για την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας και με ονομαστική πίεση λειτουργίας 10 (Bar).

Για τις υδραυλικές συνδέσεις χρησιμοποιείται σωλήνας ονομαστικής πίεσης 10 (Bar), ανθεκτικός στο λάδι με διαστάσεις 8(mm) X 6(mm), καθώς και εξαρτήματα αέρος όπως ταχυσύνδεσμοι και ρακόρ 1/4" για την σύνδεση του σωλήνα με τα επιμέρους τμήματα του υδραυλικού κυκλώματος.

3.2 Τρόπος λειτουργίας του μηχανισμού

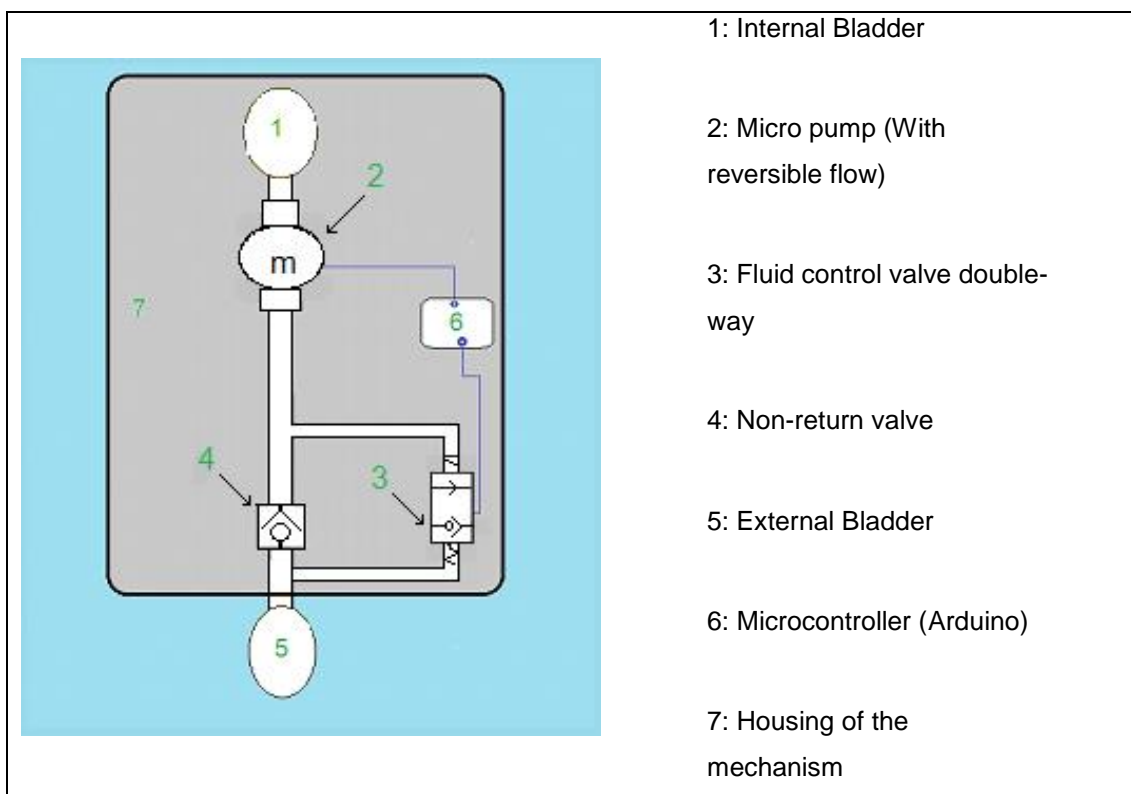
Το ηλεκτρονικό κύκλωμα του μηχανισμού περιλαμβάνει δύο μικροελεγκτές τον MASTER και τον SLAVE, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την καθοδήγηση του μηχανισμού, την ανάγνωση, λήψη και καταγραφή των θαλάσσιων δεδομένων που μετρούνται από τους αισθητήρες (Εικόνα 3-1).

Ως MASTER χρησιμοποιείται ο μικροελεγκτής Arduino Pro Minio οποίος είναι σε κατάσταση sleep mode για εξοικονόμηση ενέργειας και ενεργοποιείται κάθε 8 (sec) (watch doc timer) για να ελέγξει την ώρα από το RTC (Real Time Clock) και την τάση της πηγής που τον τροφοδοτεί. Όταν ο MASTER διαβάσει από το RTC την προγραμματισμένη ώρα που πρέπει να καταδυθεί ο μηχανισμός, ενεργοποιεί τον SLAVE ο οποίος μέχρι τότε είναι εκτός λειτουργίας. Ως SLAVE χρησιμοποιείται ο μικροελεγκτής Arduino Uno οποίος λαμβάνει τα δεδομένα από τους αισθητήρες, τα καταγράφει στην SD Card και οδηγεί την αντλία και την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα προκειμένου ο μηχανισμός να αναδυθεί ή να καταδυθεί. Όταν ολοκληρωθεί μια ανάδυση / κατάδυση, ο MASTER απενεργοποιεί τον SLAVE, μπαίνει σε λειτουργία sleep mode και ενεργοποιείται κάθε 8 (sec) (watch doc timer) για να ελέγξει την ώρα από το RTC (Real Time Clock) και την τάση της πηγής που τον τροφοδοτεί.



Εικόνα 3-1: Απεικόνιση επικοινωνίας

Στο (σχήμα 3-1) απεικονίζονται τα κύρια μέρη του μηχανισμού μεταβλητής πλευστότητας. Όλα τα εξαρτήματα του μηχανισμού βρίσκονται εσωτερικά του housing, για λόγους στεγανότητας, εκτός από το εξωτερικό Bladder το οποίο προσδίδει στον μηχανισμό την επιθυμητή αρνητική ή θετική πλευστότητα, μειώνοντας ή αυξάνοντας τον όγκο του, αντίστοιχα. Η μεταβολή του όγκου του επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός κλειστού υδραυλικού κυκλώματος, το οποίο αποτελείται από μία αντλία, μία ανεπίστροφη βαλβίδα, μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα διπλής φοράς και ένα εσωτερικό Bladder αποθήκευσης λαδιού. Η υδραυλική σύνδεση των παραπάνω εξαρτημάτων επιτυγχάνεται με σωληνάκια υψηλής πίεσης ενώ ο έλεγχος της λειτουργίας της αντλίας και της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας γίνεται από έναν μικροελεγκτή (Arduino).

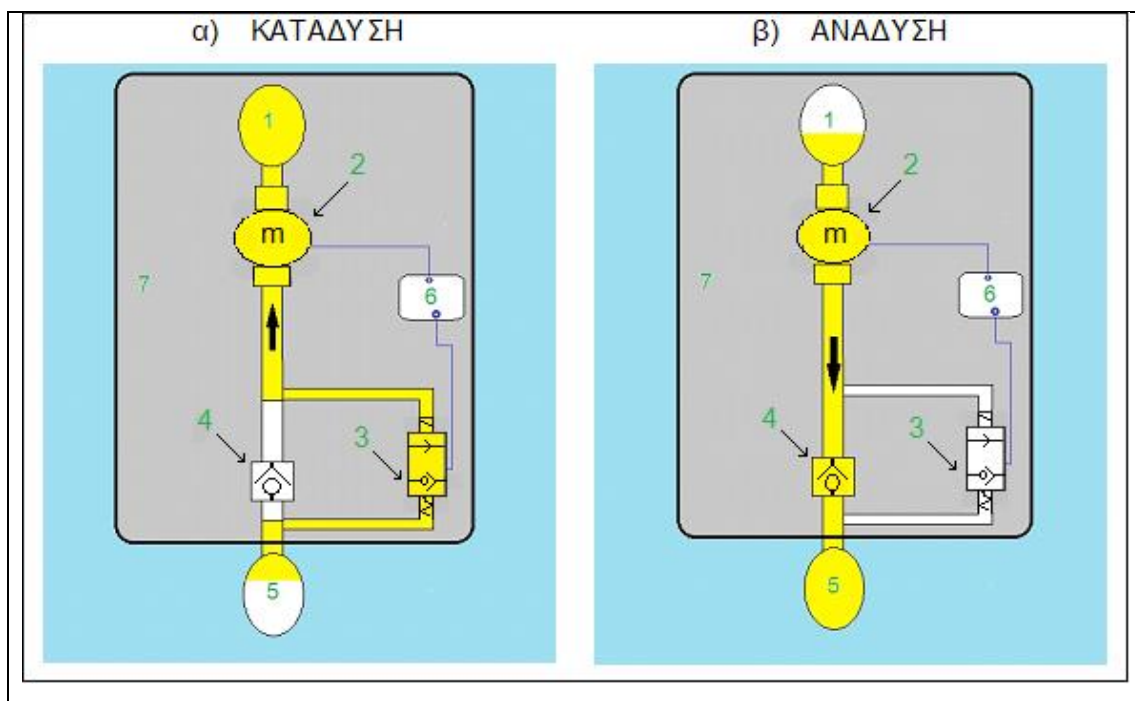


Σχήμα 3-1: Τα κύρια μέρη του μηχανισμού

Σημείωση ανεπίστροφης βαλβίδας: { Μιλώντας για απόλυτη πίεση η ατμοσφαιρική πίεση {1 bar} (περιβάλλον έξω από το νερό) είναι πάντα μικρότερη από την υδροστατική πίεση {1 bar + depth x 0.1 εμπειρικός τύπος} (περιβάλλον μέσα στο νερό)}.

Εάν βυθίσουμε τον μηχανισμό στο νερό, εσωτερικά του housing όπου βρίσκεται το Bladder (1), έχουμε αμετάβλητη πίεση {1 bar} η οποία θα μεταφέρεται στην είσοδο της ανεπίστροφης, ενώ εξωτερικά του housing όπου βρίσκεται το Bladder (5) θα έχουμε την υδροστατική πίεση, η οποία θα μεταφέρεται στην έξοδο της ανεπίστροφης. Η ανεπίστροφη βαλβίδα για να ανοίξει χρειάζεται πίεση (0,5 bar), η οποία αθροισόμενη με την υδροστατική πίεση υπερτερούν της εσωτερικής πίεσης. Οπότε η ανεπίστροφη βαλβίδα δεν θα ανοίξει ανεπιθύμητα.}

Στα (σχήματα 3-2α και 3-2β) απεικονίζεται η λειτουργία του υδραυλικού κυκλώματος κατά την κατάδυση και την ανάδυση αντίστοιχα. Η ροή του λαδιού απεικονίζεται με κίτρινο χρώμα ενώ με λευκό χρώμα είναι τα τμήματα που είτε δεν υπάρχει ροή λαδιού είτε δεν υπάρχει λάδι.



Σχήμα 3-2: Λειτουργία του υδραυλικού κυκλώματος

Πριν την κατάδυση του μηχανισμού το εξωτερικό bladder (5) είναι γεμάτο με λάδι ενώ το εσωτερικό είναι άδειο, οπότε ο μηχανισμός βρίσκεται στην επιφάνεια.

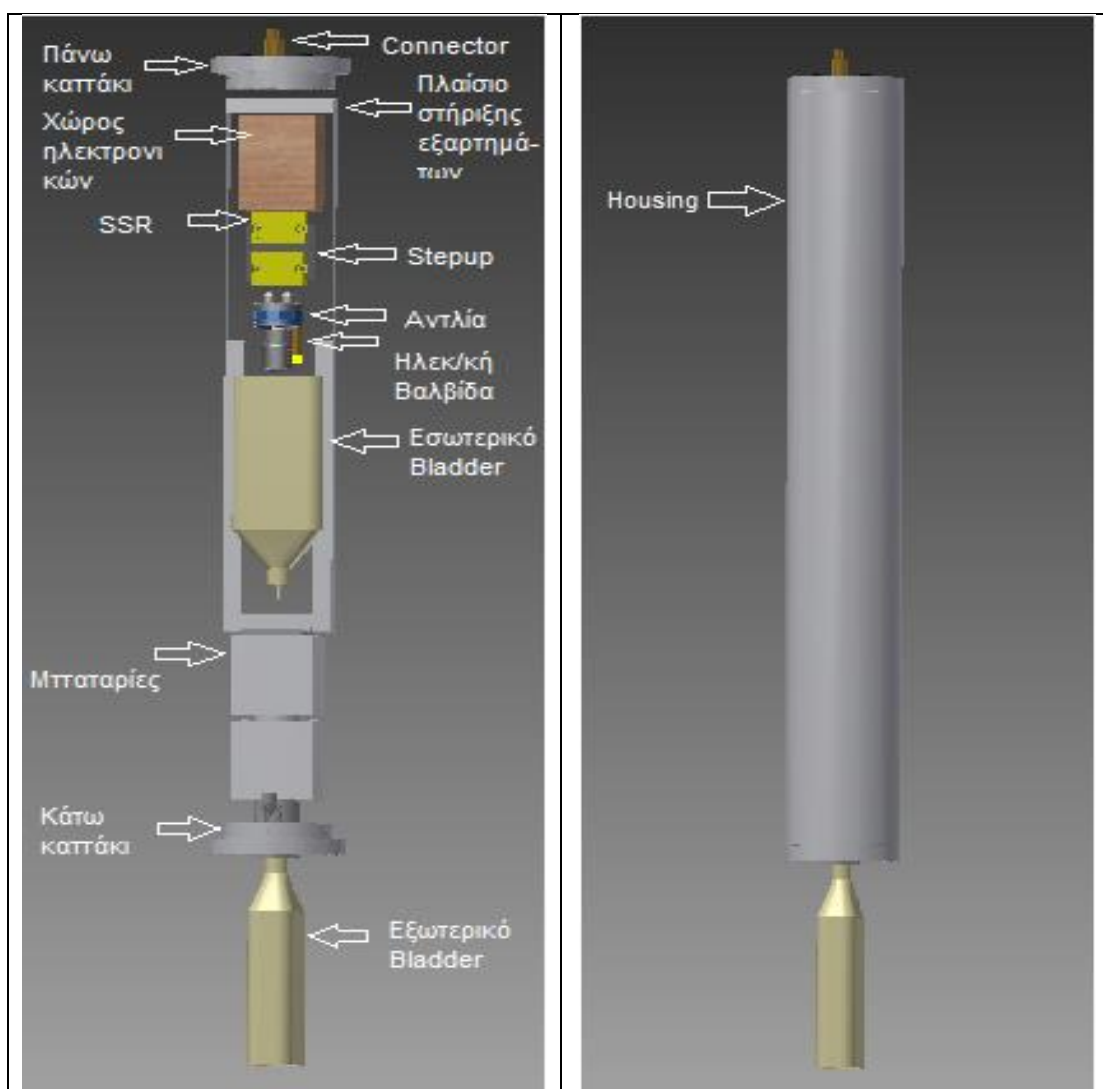
Για να ξεκινήσει η **κατάδυση** θα πρέπει να μεταφερθεί το λάδι από το εξωτερικό bladder (5) στο εσωτερικό bladder (1), ώστε να μειωθεί ο συνολικός όγκος της κατασκευής και να αρχίσει να βυθίζεται. Αυτό γίνεται εφόσον ο μικροελεγκτής (6) δώσει τις κατάλληλες εντολές στην αντλία (2), οι οποίες είναι η εντολή ενεργοποίησης και η εντολή επιλογής κατεύθυνσης του ρευστού, αφού πρώτα έχει δώσει εντολή για το άνοιγμα της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας (3). Η ανεπίστροφη βαλβίδα (4) κατά την κατάδυση παραμένει κλειστή και δεν χρησιμοποιείται.

Για την **ανάδυση** της κατασκευής το λάδι θα πρέπει από το εσωτερικό bladder (1), να οδηγηθεί στο εξωτερικό bladder (5). Αντίστοιχα όπως και στην κατάδυση ο μικροελεγκτής θα δώσει τις δύο εντολές στην αντλία, χωρίς όμως να χρειάζεται να δώσει εντολή ενεργοποίησης στην ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα καθώς είναι τύπου normally closed. Η ανεπίστροφη βαλβίδα (4) θα ανοίξει λόγω της πίεσης του λαδιού, με αποτέλεσμα την επιθυμητή πλήρωση του εξωτερικού bladder (5).

3.3 Μηχανολογική σχεδίαση του μηχανισμού

3.3.1 3D σχεδίαση όλου του μηχανισμού

Για μία πρώτη εκτίμηση των διαστάσεων που θα πρέπει να έχουν το Housing και το πλαίσιο στήριξης των εξαρτημάτων τα οποία κατασκευάστηκαν, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Autodesk Inventor Professional 2015 για την 3D σχεδίασή τους (Εικόνα 3-2), έχοντας ως δεδομένα τις διαστάσεις όλων των εξαρτημάτων. Τα εξαρτήματα σχεδιάστηκαν σύμφωνα με τις πραγματικές τους διαστάσεις εκτός από την αντλία που χρησιμοποιήθηκε έτοιμο σχέδιο από την κατασκευάστρια εταιρεία. Αφού έγινε η πρώτη εκτίμηση των διαστάσεων ακολούθησε ο ακριβής υπολογισμός τους όπως αναφέρεται στο (κεφάλαιο 3.3.2).

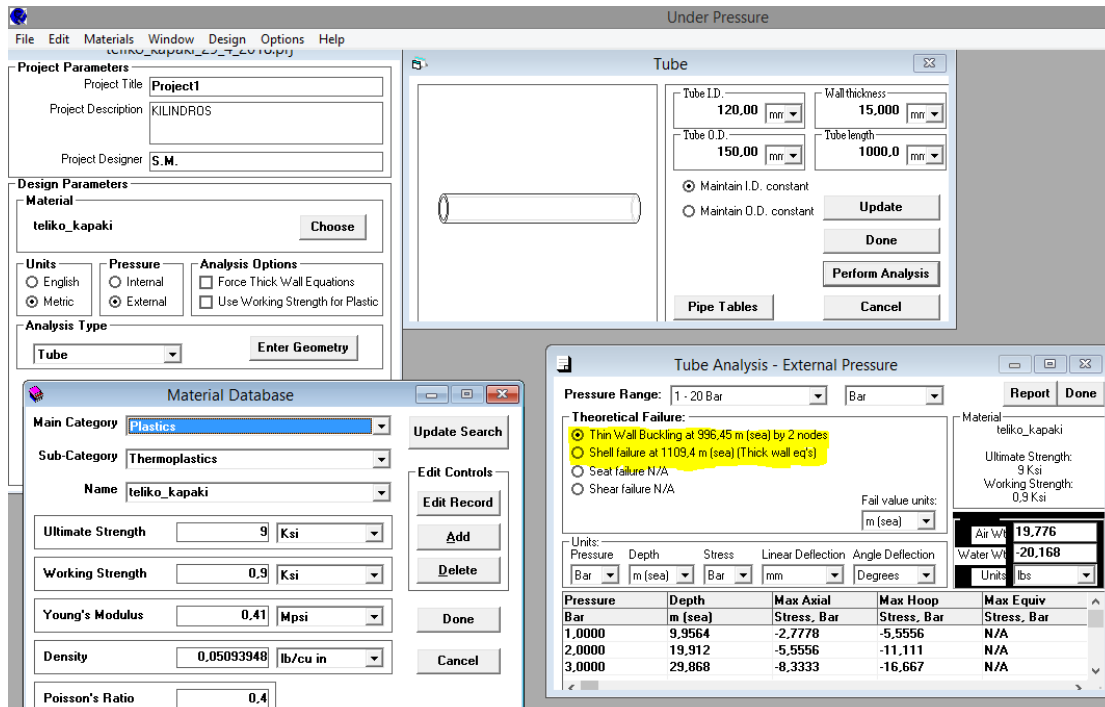


Εικόνα 3-2: 3D απεικόνιση του μηχανισμού μεταβλητής πλευστότητας

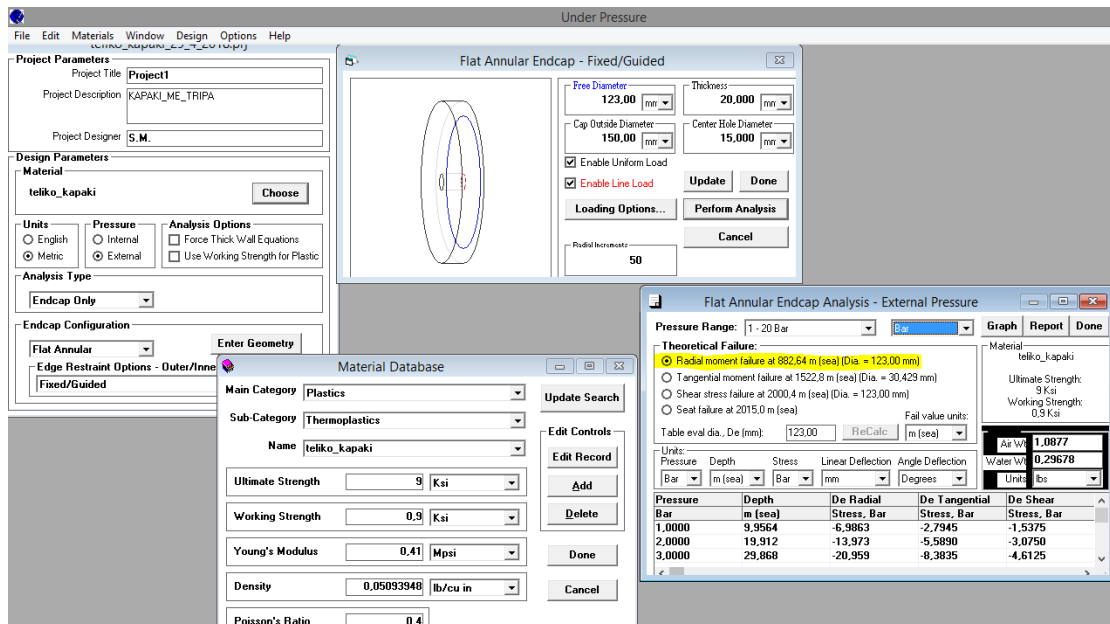
3.3.2 Υπολογισμός και σχεδίαση του Housing

Το Housing (κέλυφος του μηχανισμού) αποτελείται από έναν κύλινδρο διαστάσεων 150X120X1000 (mm) υλικού ACETAL POMC και δύο καπάκια που στεγανώνουν τον κύλινδρο, από το ίδιο υλικό. Για τον υπολογισμό της αντοχής του κατ' επέκταση των διαστάσεών του, χρησιμοποιείται το λογισμικό Autodesk inventor professional 2015 και το υπολογιστικό πρόγραμμα Under Pressure. Το Under Pressure χρησιμοποιείται αρχικά για τον υπολογισμό των διαστάσεων μόνο της γεωμετρίας και όχι των επιμέρους διαμορφώσεων, χωριστά του κυλίνδρου (Εικόνα 3-3) και χωριστά των καπακιών (Εικόνα 3-4), ώστε να αντέχουν στην πίεση του επιθυμητού βάρους. Όπως φαίνεται στις (Εικόνα 3-3), (Εικόνα 3-4) στο παράθυρο Analysis Type ορίζουμε την γεωμετρία του αντικειμένου, στο Material Database εισάγουμε τα χαρακτηριστικά του υλικού που είναι το Ultimate Strength, Working Strength, Young's Modulus, Density, Poisson's Ratio, όπως δίνονται από τον κατασκευαστή. Στο παράθυρο Tube δίνονται οι διαστάσεις της γεωμετρίας του υλικού, ενώ στο παράθυρο Tube Analysis προβάλλονται τα αποτελέσματα για την αντοχή του αντικειμένου (σημειώνονται με κίτρινο).

Για την περίπτωση του κυλίνδρου το Shell Failure=1109,4 (m) αναφέρεται στην αντοχή του χωρίς συντελεστή ασφαλείας, ενώ το Thin Wall Buckling=99,645 (m) είναι η αντοχή του με έναν συντελεστή ασφαλείας 10 για το πρόγραμμα. Για το καπάκι το Radial moment failure = 882,64 (m) αναφέρεται στην αντοχή του αντικειμένου χωρίς συντελεστή ασφαλείας.

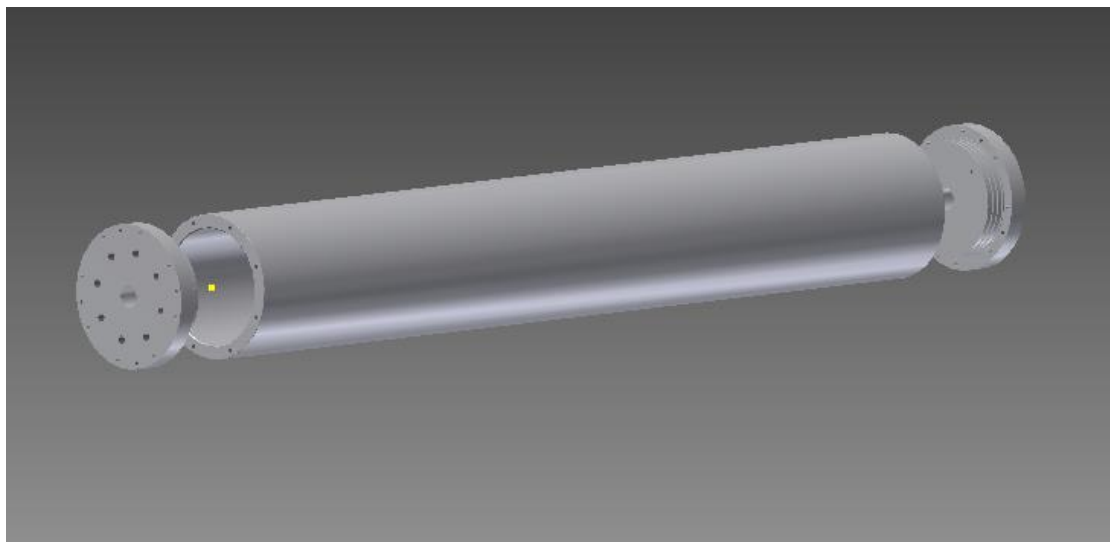


Εικόνα 3-3: Under Pressure κύλινδρος

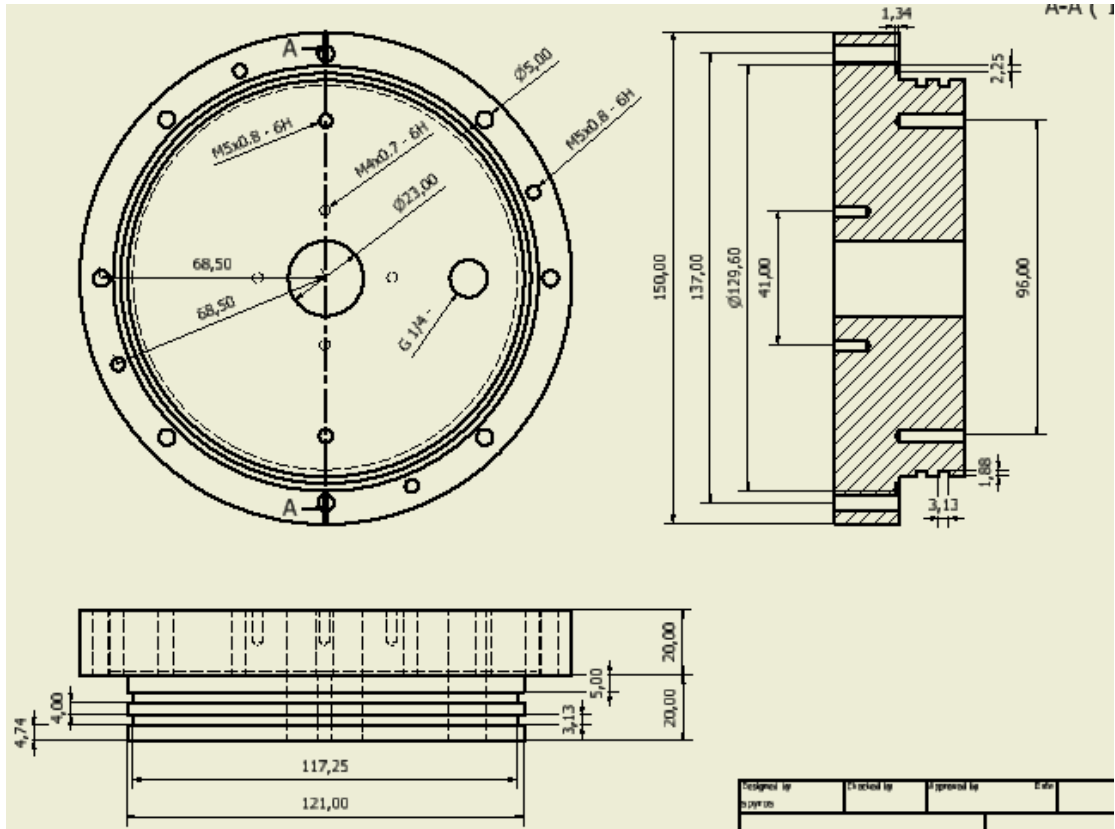


Εικόνα 3-4: Under Pressure καπάκι

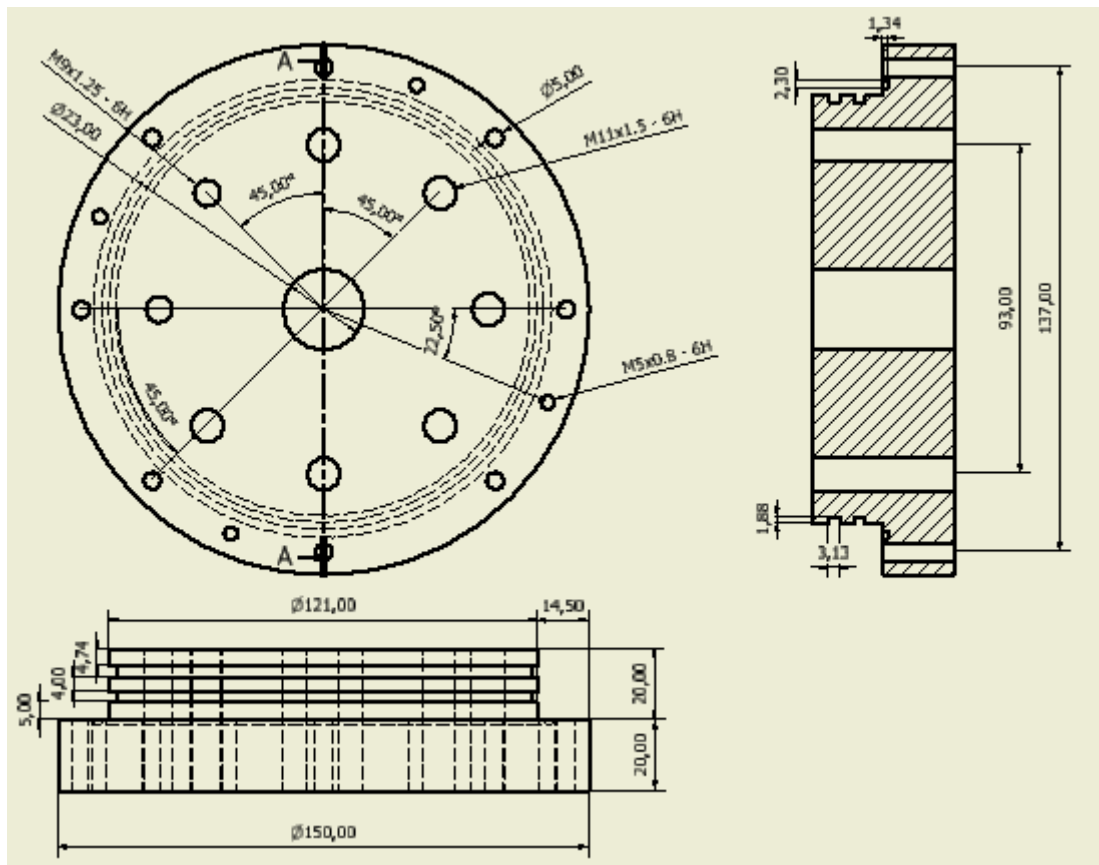
Στην (Εικόνα 3-5) απεικονίζεται το 3D σχέδιο του Housing, ενώ από την (Εικόνα 3-6) έως την (Εικόνα 3-10) φαίνονται οι ακριβείς διαστάσεις του Housing και του πλαισίου στήριξης των εξαρτημάτων, όπως κατασκευάστηκαν και τοποθετήθηκαν στον μηχανισμό μεταβλητής πλευστότητας.



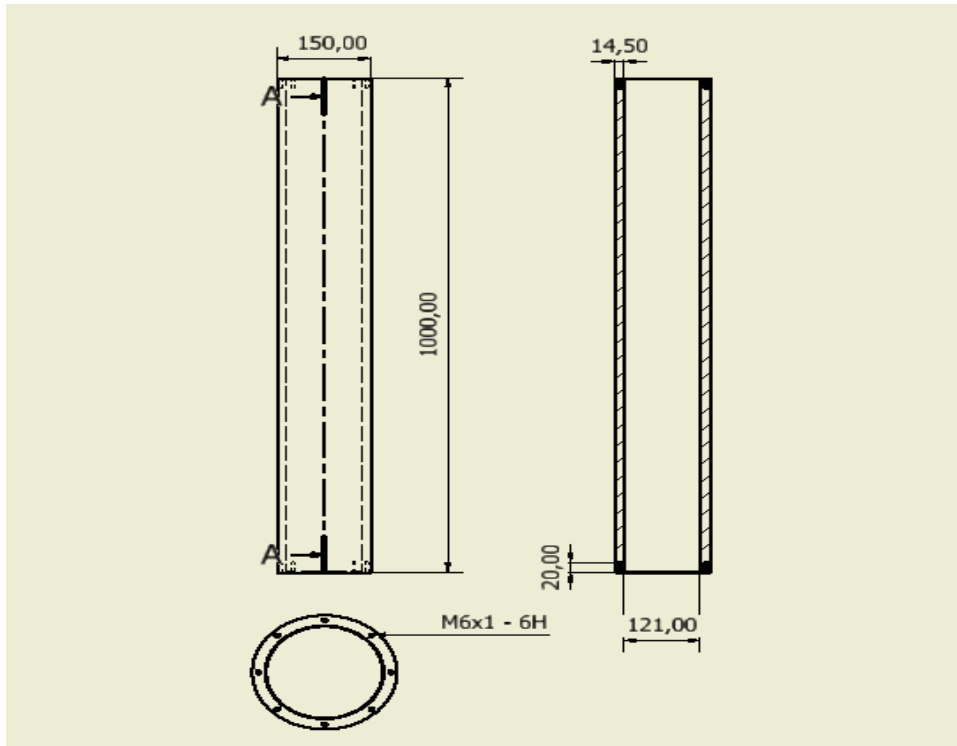
Εικόνα 3-5:3D Σχέδιο του Housing



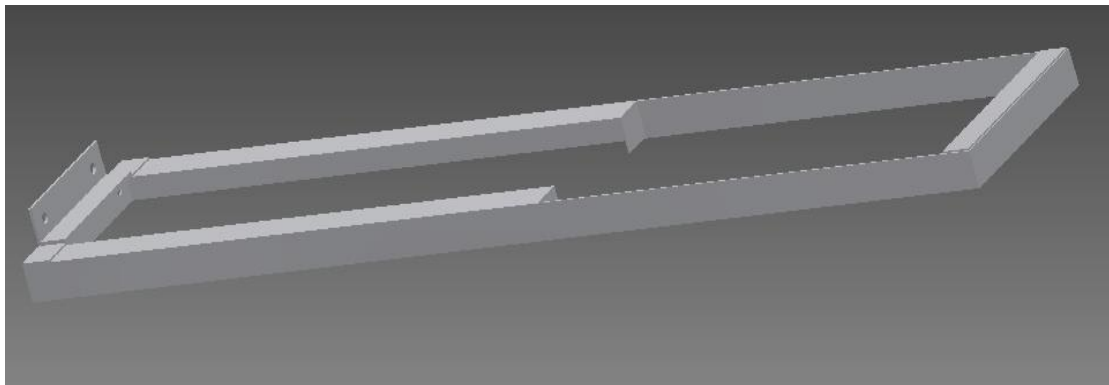
Εικόνα 3-6: Σχέδιο κάτω καπάκι του Housing



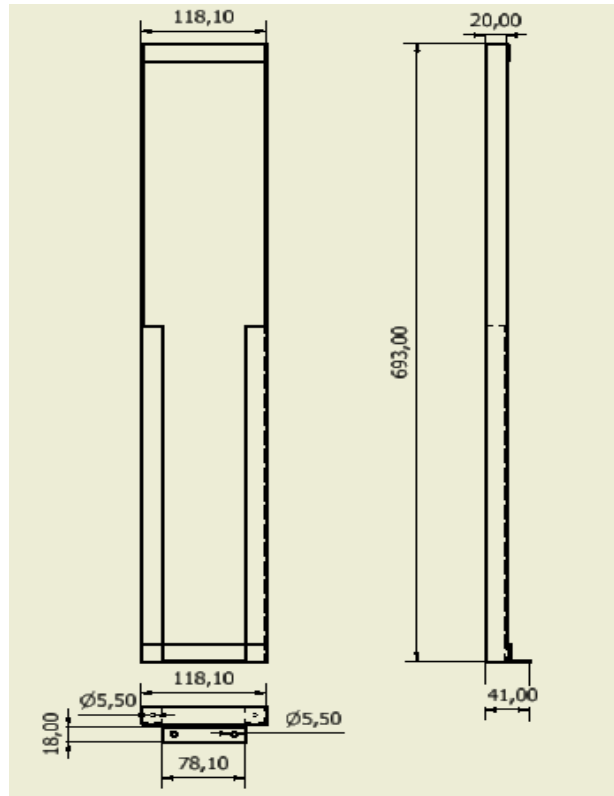
Εικόνα 3-7: Σχέδιο πάνω καπάκι του Housing



Εικόνα 3-8: Σχέδιο του σωλήνα

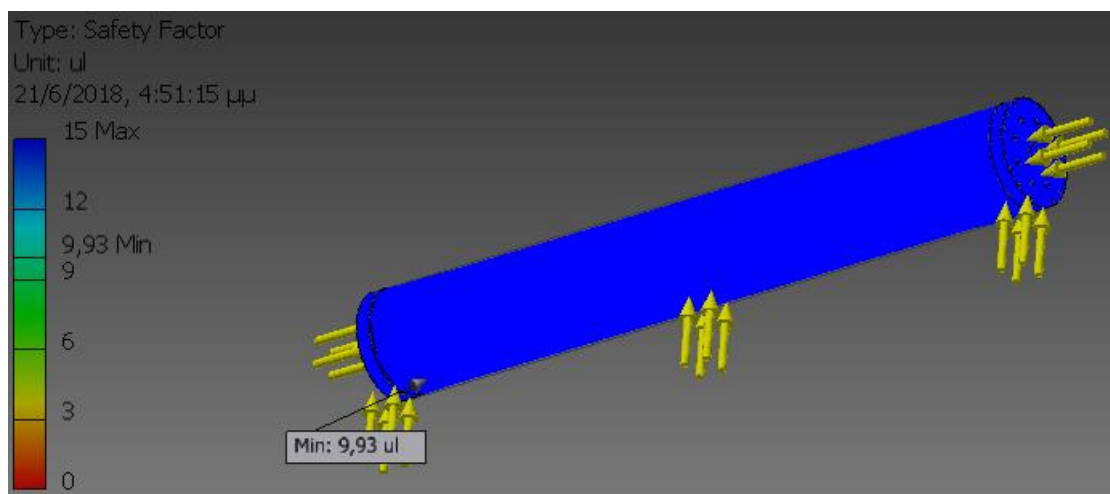


Εικόνα 3-9:3D Σχέδιο πλαισίου στήριξης των εξαρτημάτων



Εικόνα 3-10: Σχέδιο πλαισίου στήριξης εξαρτημάτων

Αφού καταλήξαμε στις διαστάσεις της γεωμετρίας του κυλίνδρου και των καπακιών, το επόμενο βήμα είναι ο σχεδιασμός τους με τις επιμέρους διαμορφώσεις στο λογισμικό Autodesk inventor professional 2015. Κάνοντας Assembly τα καπάκια με τον κύλινδρο, έχουμε το Housing του μηχανισμού το οποίο μπορούμε να το υποβάλλουμε σε προσομοίωση της πίεσης 10 (Bar) (Stress Analysis). Όπως φαίνεται στην εικόνα (Εικόνα 3-11) ο συντελεστής ασφαλείας που δίνει το πρόγραμμα για την αντοχή του Housing είναι 9,93 ο οποίος είναι πολύ καλός για την συγκεκριμένη εφαρμογή και συμφωνεί με τον συντελεστή ασφαλείας του προγράμματος Under Pressure.



Εικόνα 3-11: Stress Analysis του Housing

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4 Δομικά εξαρτήματα και εξοπλισμός

4.1 Ελεγκτές

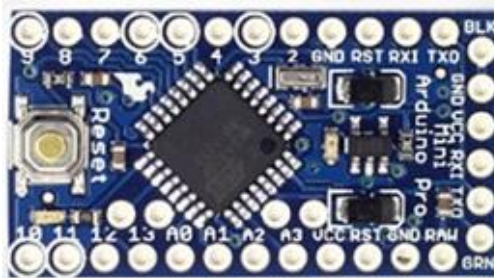
Στο ηλεκτρονικό κύκλωμα του μηχανισμού χρησιμοποιούνται δύο είδη μικροελεγκτών τα οποία είναι ο Arduino UNO [7] και ο Arduino Pro Mini [8]. Κριτήρια για την επιλογή του Arduino Pro Mini (Εικόνα 4-2) είναι η πολύ μικρή κατανάλωση ενέργειας και η επεξεργαστική του συχνής είναι αρκετή για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Χρησιμοποιείται ως MASTER (κύριος ελεγκτής) ο οποίος ελέγχει την λειτουργία όλου του ηλεκτρονικού κυκλώματος. Ο Arduino UNO (Εικόνα 4-1) είναι ο SLAVE (δευτερεύον ελεγκτής) και η χρήση του στο κύκλωμα είναι να επικοινωνεί με τους αισθητήρες, να καταγράφει τις τιμές τους σε μία SD Card, δημιουργώντας έτσι ένα αρχείο δεδομένων και να καθοδηγεί την αντλία και την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, για την ανάδυσση / κατάδυση του μηχανισμού. Επιλέχθηκε με κριτήρια την μεγαλύτερη επεξεργαστική του ισχύ από τον Arduino Pro Mini, παράλληλα όμως η κατανάλωση ενέργειας είναι σε χαμηλά επίπεδα. Παρακάτω ακολουθούν οι εικόνες και οι πίνακες χαρακτηριστικών των δύο ελεγκτών.



Εικόνα 4-1: Arduino UNO

Αντικείμενο	Χαρακτηριστικά	Αντικείμενο	Χαρακτηριστικά
Microcontroller	ATmega328	DC Current per I/O Pin	40 mA
Operating Voltage	5V	DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Input Voltage (recommended)	7-12V	Flash Memory	32 KB
Input Voltage (limits)	6-20V	SRAM	2 KB
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)	EEPROM	1 KB
Analog Input Pins	6	Clock Speed	16 MHz

Πίνακας 4-1: Χαρακτηριστικά του Arduino UNO



Εικόνα 4-2: Arduino Pro Mini

Αντικείμενο	Χαρακτηριστικά	Αντικείμενο	Χαρακτηριστικά
Microcontroller	Atmega328p	EEPROM	1KByte
Operating Voltage	5V and 3.3V	Internal RAM	2Kbytes
Raw Voltage input	5V to 12V	Clock Frequency	16Mhz
Maximum current through each I/O pin	40mA	Maximum total current drawn from chip	200mA
Flash Memory	32KBytes		

Πίνακας 4-2: Χαρακτηριστικά του Arduino Pro Mini

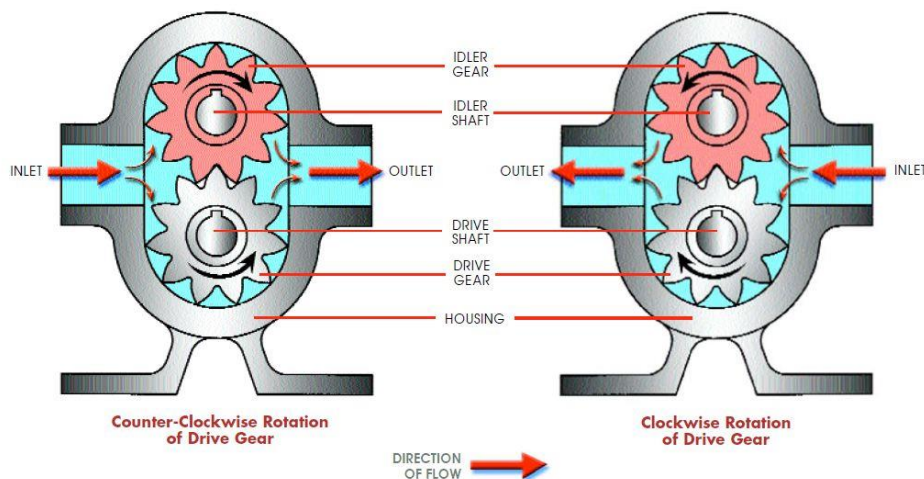
Και οι δύο ελεγκτές προγραμματίζονται μέσω του περιβάλλοντος ανάπτυξης Arduino IDE με την γλώσσα προγραμματισμού Wiring. Ουσιαστικά πρόκειται για τη γλώσσα προγραμματισμού C++ και ένα σύνολο βιβλιοθηκών. Όσον αφορά την υλοποίηση του προγράμματος, το Arduino IDE διαθέτει πολλές βιβλιοθήκες οι οποίες ανανεώνονται και ενημερώνονται συνεχώς. Είναι έτοιμα προγράμματα που κάνουν μία συγκεκριμένη λειτουργία το κάθε ένα, και καλούνται σε οποιοδήποτε σημείο του προγράμματος. Ακόμη παρέχει παραδείγματα σύνταξης κώδικα για πολλές εφαρμογές, που βοηθούν τον προγραμματιστή στην λύση προβλημάτων που μπορεί να αντιμετωπίσει.

4.2 Υδραυλικό κύκλωμα

4.2.1 ΑντλίαMG2000

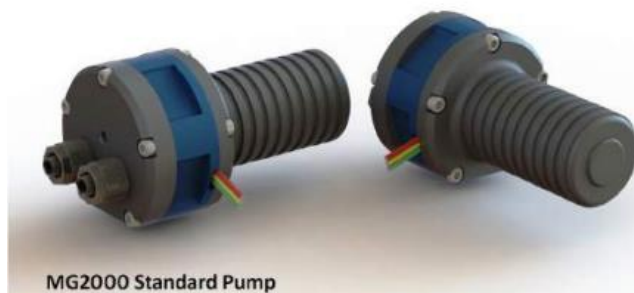
Η αντλία MG2000 χρησιμοποιήθηκε στον μηχανισμό μεταβλητής πλευστότητας, για την κυκλοφορία του υδραυλικού λαδιού στο υδραυλικό κύκλωμά του. Είναι τεχνολογίας GEAR PUMP [9] όπου το υδραυλικό ρευστό, αναρροφάτε από την είσοδο και συμπιέζεται στην έξοδο από δύο γρανάζια όπως φαίνεται στην (Εικόνα 4-3). Τα κριτήρια με βάση τα οποία επιλέχθηκε η MG2000 για την εφαρμογή αυτή είναι:

- Ασκεί επαρκή πίεση για την εφαρμογή
- Μεγάλο εύρος Viscosity υγρών
- Ομαλή ροή χωρίς παλμούς
- Κατασκευασμένη από υλικά υψηλής αντοχής στη διάβρωση
- Αναστρέψιμη ροή
- Μικρό μέγεθος και βάρος



Εικόνα 4-3: Τρόπος λειτουργίας της αντλίας

Η αντλία MG2000 ασκεί πίεση έως 10 (Bar) και μπορεί να λειτουργήσει με τα περισσότερα είδη υγρών, καθώς έχει μεγάλο εύρος viscosity. Είναι αυτοκινούμενη με μοτέρ τεχνολογίας Brushless, για την λειτουργία του οποίου απαιτείται ξεχωριστός ελεγκτής EQ12, όπως φαίνεται στην (Εικόνα 4-5). Το σώμα της αντλίας είναι κατασκευασμένο με ακρίβεια CNC μηχανής από κράμα αλουμινίου, ενώ τα βρεχάμενα μέρη της είναι κατασκευασμένα από ανοξείδωτο ασάλι, PEEK, Polyacetal και PTFE. Αυτά την καθιστούν ανθεκτική στα χημικά, στους διαλύτες και στην διάβρωση. Η αντλία για την σύνδεσή της με το υδραυλικό κύκλωμα του μηχανισμού, διαθέτει δύο ακροφύσια από ανοξείδωτο ασάλι όπως φαίνεται στην (Εικόνα 4-4).

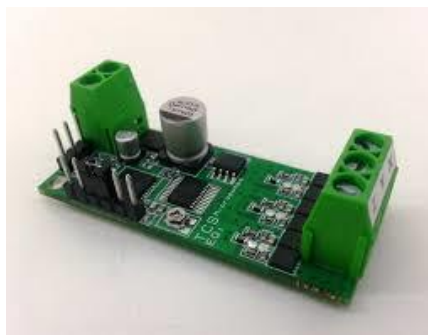


εικόνα 4-4: Αντλία MG2000

Πίεση	10 bar
Παροχή	1,8 lt/min
Κινητήρας	Brushless
Viscosity	<=150.000 cst
Ροή	Ομαλή ροή χωρίς παλμούς
Ροή	Αναστρέψιμη ροή
Υλικό σώματος αντλίας	Κράμα αλουμινίου
Υλικά βρεχάμενων μερών	PEEK, Poliacetal, PTEE, Stainless Steel
Διαστάσεις	90 X 53 X 50 mm
Βάρος	340gr
Θερμοκρασία λειτουργίας	-20.....100 °C
Επίπεδα θορύβου	15 dB

Πίνακας 4-3: Χαρακτηριστικά της αντλίας MG2000

Λόγω του ότι ο ηλεκτροκινητήρας της αντλίας είναι τεχνολογίας Brushless, χρειάζεται για την λειτουργία της να χρησιμοποιηθεί ο ελεγκτής EQ12, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την τροφοδοσία της αντλίας με 12 Volt ή 24Volt, δίνει την δυνατότητα ελέγχου της αντλίας από μικροελεγκτή όπως Arduino, την μέτρηση των στροφών της και την αναστροφή της ροής της όταν αυτό είναι επιθυμητό.



Εικόνα 4-5: Ο ελεγκτής EQ12

Τύπος	Volt	Wat	ml/min	Psi
EQ12	12	15-99	1170	160

Πίνακας 4-4: Χαρακτηριστικά του ελεγκτή της αντλίας

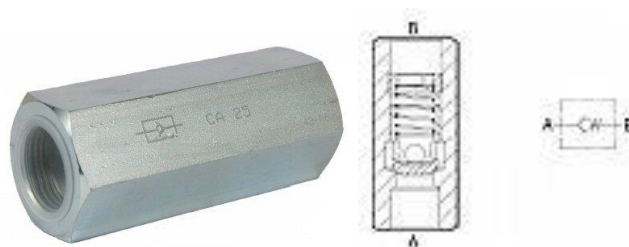
4.2.2 Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα

Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα 2/2 Way (Εικόνα 4-6) [10], χρησιμοποιήθηκε στο υδραυλικό κύκλωμα του μηχανισμού μεταβλητής πλευστότητας, για τον έλεγχο ροής του λαδιού από το εξωτερικό Bladder προς το εσωτερικό, κατά την διαδικασία της κατάδυσης. Τα κριτήρια για την επιλογή της είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, μικρό βάρος και παροχή, το ρευστό που την διαρρέει μπορεί να είναι υδραυλικό λάδι, είναι μηδενικής πίεσης δηλαδή δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει πίεση από την πλευρά εισόδου του ρευστού σε αυτήν για να μπορεί να ανοίξει, είναι βαλβίδα αμφίδρομης ροής όπου το ρευστό μπορεί να κυκλοφορεί και προς τις δύο κατεύθυνσης, η κατάσταση ηρεμίας της είναι Normally Closed δηλαδή δεν καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια κατά την διάρκεια που παραμένει κλειστή και ο έλεγχος λειτουργίας της μπορεί να πραγματοποιηθεί παρεμβάλλοντας στην τροφοδοσία της ένα διακοπτικό κύκλωμα το οποίο ελέγχεται από τον μικροελεγκτή Arduino Uno, με άμεση απόκριση στις εντολές του.



Εικόνα 4-6: Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα

Ο έλεγχος ροής του λαδιού από το εσωτερικό Bladder προς το εξωτερικό κατά την διαδικασία της ανάδυσης, πραγματοποιείται από μία μηχανική ανεπίστροφη βαλβίδα [11] (Εικόνα 4-7). Για την διέλευση ρευστού μέσω αυτής, είναι απαραίτητο το ρευστό να ασκήσει στην είσοδό της πίεση $\geq 0,5$ (Bar), ενώ από την αντίθετη είσοδο κρατάει 10 (Bar).



Εικόνα 4-7: Ανεπίστροφη βαλβίδα

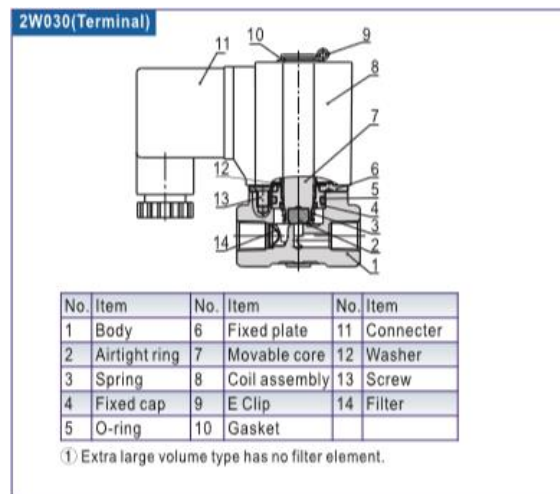
Τα πλεονεκτήματα του συνδυασμού της Ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας με την ανεπίστροφη βαλβίδα στο υδραυλικό κύκλωμα του μηχανισμού είναι:

- Η εξοικονόμηση ενέργειας λόγω του ότι η ανεπίστροφη βαλβίδα έχει μηδενική κατανάλωση και η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα καταναλώνει μόνο κατά την φάση της κατάδυσης
- Η εξασφάλιση της ανάδυσής του μηχανισμού, καθώς σε περίπτωση βλάβης της Ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας, ο μηχανισμός αναδύεται χρησιμοποιώντας την ανεπίστροφη βαλβίδα (Normal Operation), ενώ σε περίπτωση βλάβης της ανεπίστροφης βαλβίδας ο μηχανισμός αναδύεται, χρησιμοποιώντας την Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα χάρις την 2/2 Way ικανότητά της (Safe Operation).

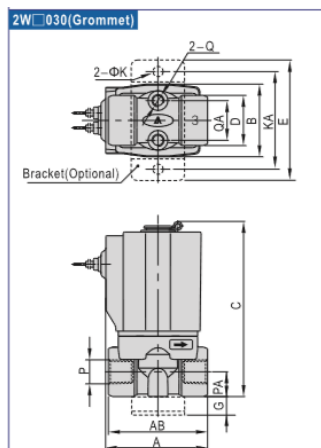
Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ηλεκτρομαγνητικής Βαλβίδας	
Τύπος	2WX 030 06 F I
Κατάσταση αδράνειας	Normally closed
Ροή ρευστού	Αμφίδρομη ροή 2/2Way
Συμβατά ρευστά	Υδραυλικό λάδι
Viscosity limit	Under 20 CST
Θερμοκρασία λειτουργίας ρευστού	-10...80 °C
Μέγιστη διαφορά πίεσης είσοδο-έξοδο	30 bar
Διάμετρο εισόδου	1/8"
Απόκριση λειτουργίας	Άμεση
Τάση τροφοδοσίας	12VDC
Κατανάλωση	6,5W
Υλικό σώματος	Ορείχαλκος
Βάρος	305 gr
Θερμική αντίσταση σπειρωμάτων	Class B

Πίνακας 4-5: Χαρακτηριστικά ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας

Στην (Εικόνα 4-8) και (Εικόνα 4-9) φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι διαστάσεις της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας.



Εικόνα 4-8:Τα μέρη της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας

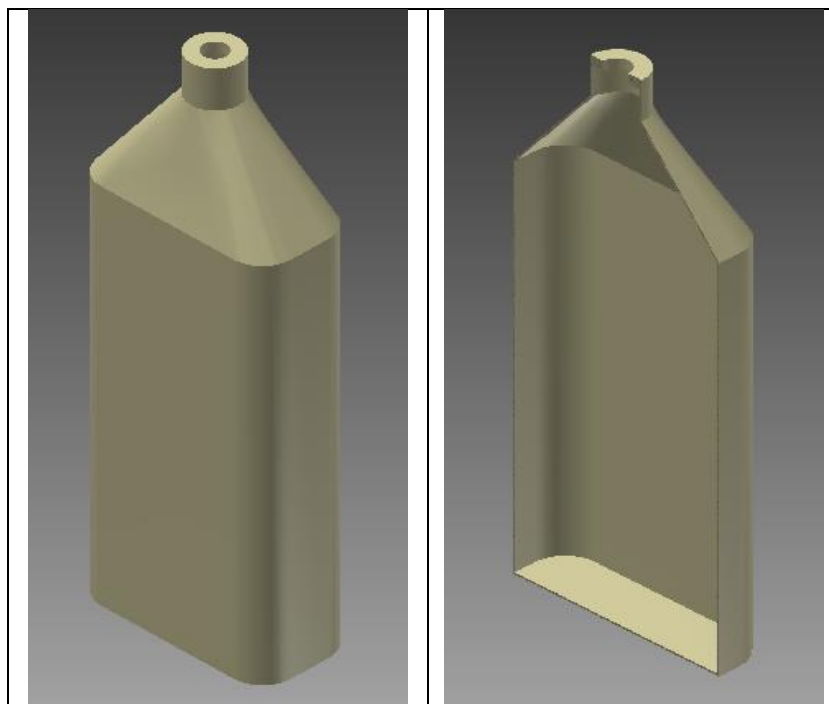


Type\Item	A	AB	B	C	D	E	F	G	K	KA	P	PA	Q	QA
2W□030-06	72.5	40	29.5	71	20	49	43.5	10	5.3	40	1/8"	10	M5	16

Εικόνα 4-9:Διαστάσεις της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας

4.2.3 Bladder

Για την μεταβολή του όγκου του μηχανισμού, χρησιμοποιούνται δύο Bladder (εύκαμπτα δοχεία) (Εικόνα 4-10) από τα οποία το ένα βρίσκεται εσωτερικά του Housing ενώ το άλλο είναι τοποθετημένο εξωτερικά αυτού. Για την αύξηση η μείωση του όγκου τους, χρησιμοποιείται 1 (Lt) υδραυλικό λάδι το οποίο με την βοήθεια αντλίας μετακινείται ελεγχόμενα από το ένα στο άλλο και καθώς τα ρευστά είναι ασυμπίεστα και στο υδραυλικό κύκλωμα έχει γίνει σωστή εξαέρωση, ο όγκος του Bladder παραμένει σταθερός ανεξάρτητα από το βάθος.



Εικόνα 4-10: Bladder

Κριτήρια για την επιλογή των συγκεκριμένων Bladder είναι, το υλικό κατασκευής τους πολυαιθυλένιο το οποίο είναι ανθεκτικό στο υδραυλικό λάδι, ο διαθέσιμος όγκος τους που είναι 1 (Lt) το κάθε ένα και η δυνατότητα σύνδεσής τους με το υπόλοιπο υδραυλικό κύκλωμα. Το σώμα του Bladder δεν καταπονείται ιδιαίτερα από την πίεση, καθώς η εξωτερική πίεση που δέχεται εξισορροπείται από αυτήν στο εσωτερικό του και έτσι τα τοιχώματά του μπορούν να είναι σχετικά λεπτά με αποτέλεσμα να είναι εύκαμπτο.

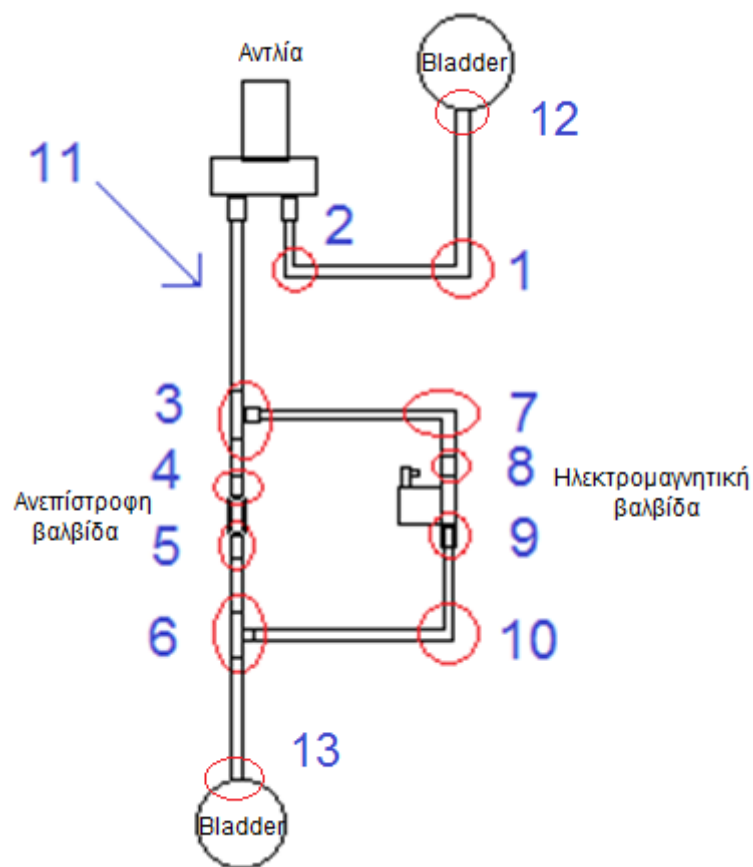
Τεχνικά Χαρακτηριστικά Bladder	
Υλικό	Πολυαιθυλένιο
Χωρητικότητα	1Lt
Σκληρότητα δοχείου	Εύκαμπτο
Αντοχή στο υδραυλικό λάδι	Καλή
Αντοχή στο θαλασσινό νερό	Καλή
Υδραυλική σύνδεση	Ανοξειδωτος ταχυσύνδεσμος - μούφα

Πίνακας 4-6: Τεχνικά χαρακτηριστικά Bladder

4.2.4 Υδραυλικά εξαρτήματα σύνδεσης

Τα εξαρτήματα σύνδεσης του υδραυλικού κυκλώματος, επιλέχθηκαν με κριτήρια την αντοχή τους στο υδραυλικό λάδι, την αντοχή τους σε πίεση 10 (Bar), την αντοχή στην οξειδωση (ιδιαίτερα όσα έχουν επαφή με το θαλασσινό νερό) και της μικρές τους διαστάσεις και βάρος.

Όπως φαίνεται στην (Εικόνα 4-11) επιλέχθηκε σωλήνας (No 11) αέρος Φ 8 X 6 (mm) RILSAN κατάλληλο για υδραυλικό λάδι με αντοχή σε πίεση 29 (Bar), γωνία σωλήνας επινικελωμένη (No 1,2,7,10) Φ 6 X 4 (mm), τάφ σωλήνας επινικελωμένο (No 3,6) Φ 6 X 4 (mm), ρακόρ σωλήνας επινικελωμένο (No 4,5,8,9,12) Φ 1/4 X 6 (mm) και ρακόρ σωλήνας ανοξειδωτο (No 13) Φ 1/4 X 6 (mm).



Εικόνα 4-11: Υδραυλικές συνδέσεις

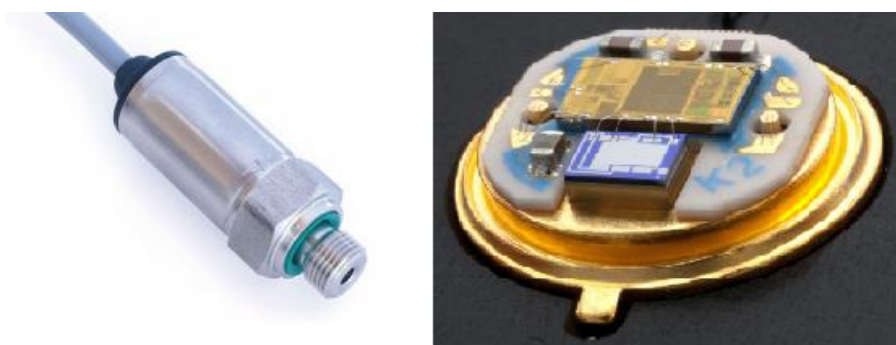
4.3 Αισθητήρες

4.3.1 Αισθητήρας πίεσης

Ο υπολογισμός του βάθους στο οποίο βρίσκεται ο μηχανισμός μεταβλητής πλευστότητας, πραγματοποιείται με την χρήση της μεθόδου στην οποία μετρώντας την πίεση που επικρατεί εξωτερικά του Housing και γνωρίζοντας ότι ανά 10 (m) στήλης θαλάσσιου ύδατος η πίεση αυξάνεται κατά 1 (Bar), προκύπτει ότι το βάθος = P (Bar)*10 (m/Bar).

Για την μέτρηση της πίεσης επιλέχθηκε ο αισθητήρας πίεσης PA-21D της KELLER [12] (Εικόνα 4-12) με εύρος μέτρησης 0 έως 30 (Bar), λόγω του ότι ήταν ήδη διαθέσιμος, έχει μία καλή ακρίβεια που καλύπτει τις ανάγκες του συστήματος και είναι δυνατή η επικοινωνία του με τους μικροελεγκτές που χρησιμοποιούνται στο σύστημα ελέγχου του μηχανισμού.

Το εξωτερικό περίβλημα του αισθητήρα είναι κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα υψηλής αντοχής. Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα που βρίσκονται στο εσωτερικό του αισθητήρα, καλύπτονται από ένα γυάλινο περίβλημα γεμάτο με λάδι, το οποίο τα προστατεύει από την εξωτερική πίεση και από την παρεμβολή ηλεκτρικών πεδίων.

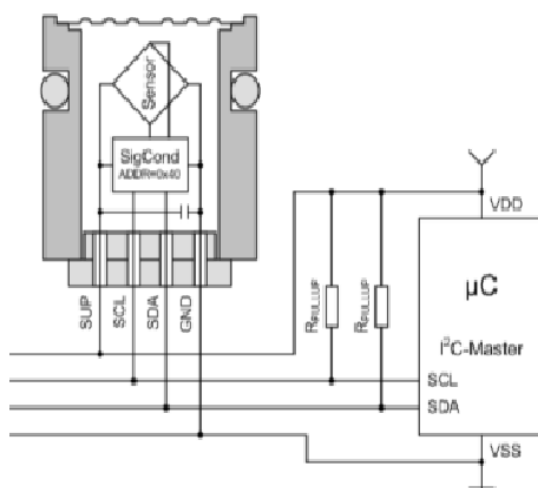


Εικόνα 4-12: αισθητήρας πίεσης PA-21D

Η αρχή λειτουργίας του αισθητήρα πίεσης βασίζεται στην μεταβολή της αγωγιμότητας μίας μεμβράνης (Εικόνα 4-12) δεξιά, καθώς αλλάζει το σχήμα της ανάλογα με την ασκούμενη πίεση σε αυτή. Καθώς όμως μεταβάλλεται η θερμοκρασία, οι ηλεκτρικές ιδιότητες των υλικών της μεμβράνης μέσω των οποίων μετριέται η πίεση, μεταβάλλονται με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά η ακρίβεια των μετρήσεων. Ένας τρόπος διόρθωσης της μέτρησης είναι η αντιστάθμισή της με την θερμοκρασία. Παράλληλα με την λήψη μέτρησης της πίεσης από την μεμβράνη, μετριέται η θερμοκρασία της μεμβράνης από ένα αισθητήρα θερμοκρασίας. Η τάση που δίνει ο αισθητήρας θερμοκρασίας και η μεμβράνη, μετατρέπονται από έναν μετατροπέα σήματος OEM ενσωματωμένο στον αισθητήρα, σε ψηφιακό σήμα. Έχοντας για κάθε μέτρηση πίεσης μία μέτρηση θερμοκρασίας γίνεται αντιστάθμιση των δύο τιμών και έτσι ανιχνεύεται από το σύστημα μια πιθανή εσφαλμένη μέτρηση και διορθώνεται ανάλογα από τον αισθητήρα.

Ο αισθητήρας διαθέτει 5 καλώδια (Εικόνα 4-13), μέσω των οποίων επικοινωνεί και τροφοδοτείται από τον μικροελεγκτή. Αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη

κατηγορία ανήκουν τα καλώδια τροφοδοσίας του αισθητήρα (το SUP που είναι η τροφοδοσία 1,8 έως 3,6 (Volt) και το GND που είναι η γείωση), ενώ στην άλλη κατηγορία ανήκουν τα καλώδια I²C επικοινωνίας (SDA) και συγχρονισμού επικοινωνίας (SCL) του αισθητήρα με τον μικροελεγκτή. Το καλώδιο EOC προσφέρει μεγαλύτερη ταχύτητα αποστολής των δεδομένων από τον αισθητήρα στον μικροελεγκτή αλλά με μικρότερη ακρίβεια, καθώς δεν δίνει τον προβλεπόμενο χρόνο 8 (ms) που χρειάζεται ο OEM για να κάνει την μετατροπή των δεδομένων από αναλογικά σε ψηφιακά, αλλά μόλις ή λίγο πριν τελειώσει η μετατροπή, το EOC δίνει σήμα για να αποσταλούν τα δεδομένα. Για αυτό το λόγο δεν χρησιμοποιείται στην συγκεκριμένη εφαρμογή. Αυτές οι ακίδες είναι εσωτερικά συνδεδεμένες με μία half open Wheatstone Bridge η οποία μεγεθύνει το αναλογικό σήμα για να καταστεί εφικτή η ανάγνωση και η μετατροπή του σε ψηφιακό.



Εικόνα 4-13: Σύνδεση του PA-21D με τον μικροελεγκτή (Mc)

Ο αισθητήρας πίεσης επικοινωνεί με τον μικροελεγκτή Arduino μέσω συριακού δίαυλου επικοινωνίας, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο επικοινωνίας I²C. Ο αισθητήρας πίεσης στέλνει τα δεδομένα σε ψηφιακή μορφή στον μικροελεγκτή και αυτός είναι προγραμματισμένος να τα μετατρέπει σε τιμές πίεσης και θερμοκρασίας.

Για να πραγματοποιηθεί η σύνδεση επικοινωνίας του αισθητήρα πίεσης με τον μικροελεγκτή (Arduino), συνδέονται τα καλώδια του αισθητήρα στις ομώνυμες υποδοχές του μικροελεγκτή. Ανάμεσα στις επαφές (pins) (SCL και SDA) του αισθητήρα και στην τροφοδοσία (SUP) του μικροελεγκτή, παρεμβάλλονται αντιστάσεις των 4,7 (KΩ). Οι αντιστάσεις χρησιμοποιούνται αφενός για να γίνονται διακριτές οι περιπτώσεις που ο δίαυλος επικοινωνίας είναι ή δεν είναι απασχολημένος και αφετέρου με την κατάλληλη τιμή των αντιστάσεων, επιτυγχάνεται καλύτερη ταχύτητα αποστολής των δεδομένων.

Αν είναι επιθυμητή η επικοινωνία με περισσότερους από έναν αισθητήρα, που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο επικοινωνίας I²C, θα πρέπει να δοθεί σε κάθε αισθητήρα διαφορετική διεύθυνση (slave address). Αυτό γίνεται συνδέοντας τον αισθητήρα πίεσης μέσω καλωδίου USB Converter με H/Y και χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα D-LINEI²C. Στον συγκεκριμένο τύπο αισθητήρα που επιλέχθηκε υπάρχει δυνατότητα αλλαγής του slave address μέχρι 3 φορές. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φαίνονται στον (πίνακα 4-7).

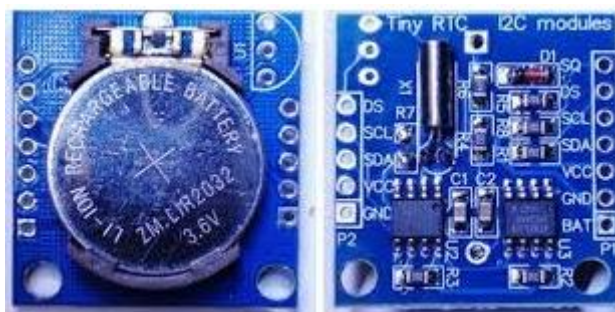
Οι διαστάσεις του αισθητήρα	Φ 11x4,2mm
Περιοχές πίεσης	1 ... 30 bar
Ακρίβεια	± 0,15% FS
Συνολική ζώνη σφάλματος	± 0,5% FS
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40 ... 110 ° C
Χρόνος μετατροπής	<4 ms (για πίεση και θερμοκρασία)
Απαιτούμενη τροφοδοσία	1,8 ... 3,6 VDC
Τύπος κατανάλωσης ενέργειας κατά τη μετατροπή 8 ms (active mode)	1,5 mA
Τύπος κατανάλωσης ενέργειας σε κατάσταση αναμονής (sleep mode)	100 nA
Έξοδος σήματος	I ² C
Κατάσταση-Byte	15 Bit P [bar] ~ 12 Bit T [° C]

Πίνακας 4-7: Τεχνικά χαρακτηριστικά του PA-21D της KELLER

4.3.2 RTC

Ένα ρολόι πραγματικού χρόνου (RTC) [13] (Εικόνα 4-14), είναι ένα ρολόι συνήθως με τη μορφή ολοκληρωμένου κυκλώματος που παρακολουθεί την τρέχουσα ώρα. Αν και ο όρος αναφέρεται συχνά στις συσκευές όπως προσωπικούς υπολογιστές, διακομιστές και ενσωματωμένα συστήματα, τα RTC υπάρχουν σε σχεδόν οποιαδήποτε ηλεκτρονική συσκευή που χρειάζεται να κρατήσει ακριβή χρόνο.

Για τον χρονισμό τους τα περισσότερα RTC χρησιμοποιούν έναν κρυσταλλικό ταλαντωτή, αλλά μερικά χρησιμοποιούν τη συχνότητα γραμμής ισχύος. Σε πολλές περιπτώσεις η συχνότητα του κρυσταλλικού ταλαντωτή είναι 32.768 (kHz). Αυτή είναι η ίδια συχνότητα που χρησιμοποιείται και στα ρολόγια χαλαζία, για τον λόγο ότι αυτή η συχνότητα είναι ακριβώς 215 κύκλοι ανά δευτερόλεπτο που είναι ένας βολικός ρυθμός για απλά δυαδικά κυκλώματα μετρητών.



Εικόνα 4-14:RTC

Ένα RTC επικοινωνεί με τον μικροελεγκτή Arduino χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο επικοινωνίας I²C (αναφέρεται στο παράρτημα 10.1). Στο ηλεκτρονικό κύκλωμα του μηχανισμού χρησιμοποιείται ένα RTC για να λειτουργεί το ηλεκτρονικό σύστημα σύμφωνα με τον πραγματικό χρόνο και τα δεδομένα που καταγράφονται στην SD Card να έχουν καταχωρημένο τον χρόνο και την ημερομηνία που μετρήθηκαν.

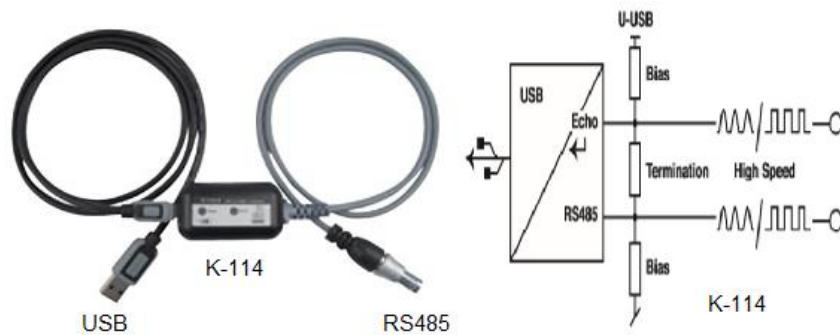
Τα RTC έχουν συχνά εναλλακτική πηγή ενέργειας, έτσι ώστε να μπορούν να συνεχίσουν να κρατούν χρόνο ενώ η κύρια πηγή ενέργειας είναι απενεργοποιημένη ή μη διαθέσιμη. Αυτή η εναλλακτική πηγή ισχύος είναι συνήθως μια μπαταρία λιθίου.

Το RTC που είναι τοποθετημένο στο ηλεκτρονικό κύκλωμα του μηχανισμού είναι το Tiny RTC και τα κριτήρια για την επιλογή του είναι η Χαμηλή κατανάλωση ρεύματος το οποίο είναι σημαντική για ένα αυτόνομο σύστημα, απελευθερώνει το κύριο σύστημα ελέγχου από τον υπολογισμό του χρόνου για να ασχοληθεί με εργασίες κρίσιμες για αυτό το χρονικό διάστημα και είναι μία μέθοδο μέτρησης του χρόνου η οποία έχει μία σχετικά πόλη καλή ακρίβεια.

4.4 Εξοπλισμός πειραματικής ταυτοποίησης χαρακτηριστικών του αισθητήρα πίεσης

4.4.1 K-114 Interface converter

Για την τροφοδοσία και την επικοινωνία του μανομέτρου βαθμονόμησης LEX 1 της εταιρείας KELLER [14] με τον Η/Υ, χρησιμοποιήθηκε ο μετατροπέας διασύνδεσης K-114 (Εικόνα 4-20), όπως προτείνεται από την ίδια την εταιρεία. Τα δεδομένα αποστέλλονται διαμέσου του μετατροπέα K-114, ο οποίος χρησιμοποιεί το δίαυλο επικοινωνίας RS485 και μετατρέπει το σήμα της θύρας USB σε σειριακό ημιαμφίδρομο σήμα RS485. Ο μετατροπέας K-114 και οι συνδεδεμένοι πομποί με αυτόν, τροφοδοτούνται μέσω της θύρας USB από τον Η/Υ. Αν οι απαιτήσεις τροφοδοσίας είναι μεγαλύτερες, τότε ο K-114 συνδέεται με εξωτερική μονάδα τροφοδοσίας.

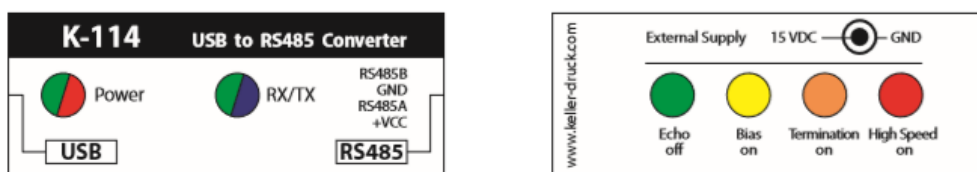


Εικόνα 4-20: Μετατροπέας διασύνδεσης K-114

Στον Η/Υ είναι απαραίτητη η εγκατάσταση των προγραμμάτων K114_Config και Control Center Serie 30, τα οποία διατίθενται από την KELLER για την ρύθμιση παραμέτρων του μετατροπέα και καταγραφή των μετρήσεων του.

Από το K114_Config μπορούμε να δούμε την κατανάλωση ενέργειας, την τάση τροφοδοσίας και την τάση σήματος εξόδου του μανομέτρου. Από τον πίνακα ελέγχου του προγράμματος, υπάρχει δυνατότητα διάγνωσης πιθανού σφάλματος σε κάθε ένα από τα παραπάνω, καθώς το πρόγραμμα δίνει alarm σε μία τέτοια περίπτωση. Ακόμα μπορούμε να αλλάξουμε την ταχύτητα αποστολής των δεδομένων. Προτείνεται από την KELLER να κρατηθεί χαμηλό προφίλ ταχύτητας, καθώς όσο αυτή αυξάνεται, τόσο μειώνεται η περίπτωση σφάλματος των δεδομένων κατά την μετατροπή σήματος.

Από το Control Center Series 30 μπορούμε να καταγράψουμε σε αρχείο csv, τις τιμές της κατανάλωσης, της τάσης τροφοδοσίας και της τάσης σήματος εξόδου του μανομέτρου. Ακόμα μπορούμε να τις παρακολουθούμε real time, καθώς το πρόγραμμα τις απεικονίζει σε συνολικό διάγραμμα καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του.



Εικόνα 4-21: Λυχνίες ένδειξης της κατάστασης λειτουργίας της σύνδεσης

Ο μετατροπέας K-114 διαθέτει 6 λυχνίες ένδειξης της κατάστασης λειτουργίας της σύνδεσης, όπως φαίνονται στην (Εικόνα 4-21). Οι λυχνίες που είχαν σημασία στην εφαρμογή της προσομοίωσης ήταν 2. Η πρώτη λυχνία παρέχει την ένδειξη για την τάση τροφοδοσίας του μετατροπέα K-114 και του μανομέτρου (λυχνία power). Όταν η λυχνία είναι πράσινη και μόνιμα αναμμένη, τότε η τροφοδοσία είναι επαρκής. Αν είναι πράσινη και αναβοσβήνει, τότε απαιτείται σύνδεση τροφοδοτικού και αν ανάβει κόκκινο, τότε υπάρχει βλάβη στο κύκλωμα τροφοδοσίας. Η δεύτερη λυχνία παρέχει την ένδειξη για την λήψη-αποστολή των δεδομένων (λυχνία RX/TX). Κατά την λήψη-αποστολή των δεδομένων, αναβοσβήνει συνεχώς έχοντας δύο χρώματα, πράσινο για το RX και μπλε για το TX. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του K-114 φαίνονται στον (πίνακα 4-10).

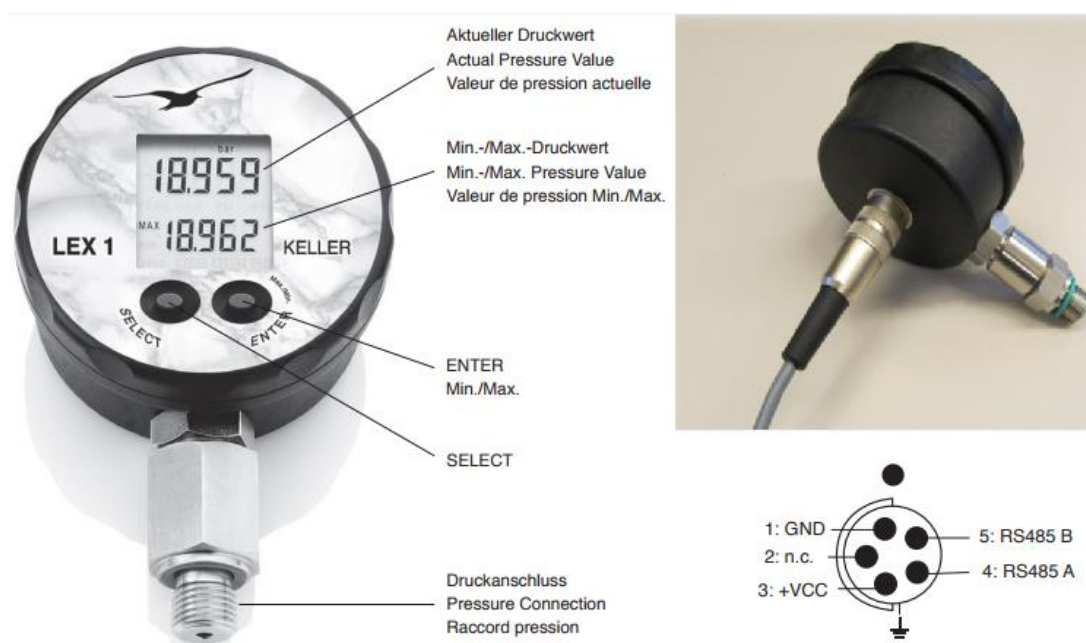
Σύμβολο	Παράμετρος	Κατάσταση	Min	Norm	Max	Μονάδα
Κατανάλωση ρεύματος K-114		Δεν υπάρχει σύνδεση	30	43	55	mA
Κατανάλωση ισχύος K-114		Δεν υπάρχει σύνδεση	150	215	275	mW
Τροφοδοσία για τον τελικό καταναλωτή	U-Out	Δεν υπάρχει τροφοδοτικό	11,2	11,8	12,5	VDC
Τροφοδοσία για τον τελικό καταναλωτή	I-Out	Με τροφοδοτικό	-	-	150	mA
Εξωτερική τροφοδοσία		Μονάδα τροφοδοσίας	12	15	20	VDC
Τάση εισόδου	U-In	K-114A	0		12	VDC
Ακρίβεια της τάσης εισόδου	U-In	$R_I \geq 30 \text{ k}\Omega$		0.2	0.3	% FS
Μέτρηση ρεύματος	I-Out		0		40	mA
Ακρίβεια μέτρησης ρεύματος	I-Out			0.2	0.3	% FS
Ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων	Αργή	Max. Απόσταση μετάδοσης $\leq 1 \text{ km}$			250	Kbps
	Υψηλή	Max. Απόσταση μετάδοσης $\leq 20 \text{ km}$			20	Mbps
K-114 device	Protection Class		IP 40			
Ασφάλεια συσκευής (USB)	F1	Χωρίς τροφοδοτικό		0.5		A
Θερμοκρασία αποθήκευσης και λειτουργίας			-10	20	50	°C

Πίνακας 4-10: Τεχνικά χαρακτηριστικά του K-114

4.4.2 Μανόμετρο βαθμονόμησης

Το ηλεκτρονικό μανόμετρο βαθμονόμησης LEX 1 της εταιρείας KELLER [15], χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της ακρίβειας των μετρήσεων του αισθητήρα πίεσης, που τοποθετήθηκε στον μηχανισμό. Είναι βαθμονομημένο από την ίδια την εταιρεία και διαθέτει ακρίβεια μέτρησης 0,05% FS. Τα παραπάνω στοιχεία το καθιστούν ένα έμπιστο κριτήριο αξιολόγησης του αισθητήρα.

Όπως φαίνεται στην (Εικόνα 4-22), το μανόμετρο διαθέτει οθόνη LCD όπου στην πάνω πλευρά αναγράφεται η real time τιμή της πίεσης, ενώ στην κάτω πλευρά αναφέρεται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της. Στο κάτω μέρος του κελύφους του μανομέτρου, είναι ενσωματωμένος ένας αισθητήρας πίεσης. Ο αισθητήρας πίεσης βιδώνεται στην ειδική υποδοχή της χειροκίνητης αντλίας και μέσω αυτού το μανόμετρο μετράει την ασκούμενη πίεση. Στο πίσω μέρος του μανομέτρου υπάρχει μία υποδοχή για τον USB - RS485 Converter μέσω του οποίου τροφοδοτείται και επικοινωνεί με τον Η/Υ.



Εικόνα 4-22: Ηλεκτρονικό μανόμετρο βαθμονόμησης LEX 1

Στον Η/Υ είναι απαραίτητη η εγκατάσταση των προγραμμάτων Mano Config και Control Center Serie 30, τα οποία διατίθενται από την KELLER για την ρύθμιση παραμέτρων του μανομέτρου και καταγραφή των μετρήσεων του.

Το Mano Config χρησιμοποιείται για την εμφάνιση real time μετρήσεων, τη ρύθμιση της χρονικής περιόδου για τη λειτουργία αυτόματης διακοπής λειτουργίας, τη ρύθμιση της μονάδας πίεσης που χρησιμοποιείται μετά την αλλαγή της μπαταρίας, την ενεργοποίηση / απενεργοποίηση μονάδων πίεσης, την εισαγωγή μονάδων πίεσης που ορίζονται από το χρήστη, την επιστροφή της συσκευής στις εργοστασιακές ρυθμίσεις και για την βαθμονόμηση του μανομέτρου. Στον (πίνακα 4-11) φαίνονται τα χαρακτηριστικά του μανομέτρου.

Το Control Center Serie 30 χρησιμοποιείται για την καταγραφή των μετρήσεων πίεσης, θερμοκρασίας, P min, P max, την καταγραφή του χρόνου λήψης της κάθε μέτρησης σε σχετικό ή απόλυτο, την αλλαγή τις μονάδας μέτρησης της πίεσης, να ορίσει το όνομα του αρχείου που θα αποθηκευτούν οι μετρήσεις, να εξάγει τις μετρήσεις σε αρχείο csv και για να προβάλλει real time τις μετρήσεις θερμοκρασίας, πίεσης, P max, P min σε ένα συνολικό διάγραμμα.

Οθόνη	LCD,5 ψηφίων, ένδειξηreal time pressure, Max/Min
Μπαταρία τροφοδοσίας	3 (V) εσωτερική μπαταρία, τύπου CR2430, έως και 2.000 ώρες συνεχούς λειτουργίας
Εξωτερική τροφοδοσία	8-28VDC
Θερμοκρασία αποθήκευσης / λειτουργίας	-10 έως 60 (°C) / 0 έως 50 (°C)
Pressure connector	1/4"BSP
Διάμετρος x Ύψος x πλάτος	76 x 118 x 55 (mm)
Βάρος	300 (g)
Εύρος μέτρησης	0.....700 (bar)
Ρυθμός μέτρησης (στην οθόνη)	2/ (sec)
Μέσο επικοινωνίας με Η/Υ	Interface Cable K-114A (USB - RS485 Converter)
Ρυθμός μέτρησης (σειριακή διεπαφή)	Μέχρι 15 / (sec)
Ακρίβεια μέτρησης	0,05% FS ως πρότυπο
Μονάδες πίεσης	13 selectable pressure units inc Bar, PSI and hPa
Πιστοποιητικό βαθμονόμησης	Units are supplied with a 5 point calibration certificate
Χρήση	Μανόμετρο βαθμονόμησης

Πίνακας 4-11: Χαρακτηριστικά Μανομέτρου

4.4.3 Υδραυλική χειροκίνητη αντλία

Η υδραυλική χειροκίνητη αντλία ΗΤΡΠ της εταιρείας KELLER [16] χρησιμοποιήθηκε για την ελεγχόμενη, ταυτόχρονη και ίδια αύξηση της πίεσης, τόσο στο ηλεκτρονικό μανόμετρο βαθμονόμησης, όσο και στον αισθητήρα πίεσης. Αυτό αποσκοπεί στην προσέγγιση της ακρίβειας των μετρήσεων του αισθητήρα πίεσης, συγκρινόμενες με αυτές του μανομέτρου βαθμονόμησης.

Οι διαστάσεις της αντλίας είναι 255 X 225 X 85 (mm), το βάρος της είναι 1,7 (kg), το εύρος πίεσης που μπορεί να δώσει η αντλία είναι από 0 έως 700 (bar) και το υδραυλικό μέσο το οποίο χρησιμοποιεί είναι υδραυλικό λάδι ή απιονισμένο νερό.



Εικόνα 4-23: Υδραυλική χειροκίνητη αντλία ΗΤΡΠ

Όπως φαίνεται στην (Εικόνα 4-23), η αντλία διαθέτει ένα δοχείο πλήρωσης υδραυλικού υγρού (8), στο οποίο τοποθετείτε το υδραυλικό υγρό από την βαλβίδα (5) και δύο ειδικούς υποδοχείς όπου στον υποδοχέα (1) βιδώνεται ο εύκαμπτος σωλήνας υψηλής πίεσης (10) μαζί με τον αισθητήρα πίεσης ενώ στον υποδοχέα (2) τοποθετείται το ηλεκτρονικό μανόμετρο. Το εξάρτημα που ευθύνονται για την αύξηση της πίεσης είναι οι χειρολαβές (6) όπου πιέζοντάς τις, το έμβολο (9) πρεσάρει το υδραυλικό υγρό στις βαλβίδες των υποδοχών (1,2) με αποτέλεσμα αύξησης της πίεσης. Για μικρορύθμιση στην αυξομείωση της πίεσης χρησιμοποιείται η βαλβίδα μικρορύθμισης (3), ενώ για την εκτόνωση της πίεσης μέσα στο δοχείο πλήρωσης, χρησιμοποιείται η βαλβίδα (4).

Για την αποτελεσματική λειτουργία της αντλίας, είναι απαραίτητος ο σωστός εξαερισμός του υδραυλικού κυκλώματος. Καθώς τα υγρά είναι ασυμπίεστα ενώ τα αέρια όχι, αν εγκλωβιστεί αέρας σε μία από τις δύο υποδοχές μέτρησης, με την αύξηση της πίεσης αυτός θα συμπιέζεται με αποτέλεσμα η πίεση σε αυτό το σημείο να μην αντιστοιχεί στην πραγματική. Έτσι οι μετρήσεις του αισθητήρα πίεσης με αυτές του μανομέτρου δεν θα συμφωνούν ποτέ.

Τα βήματα για τον σωστό εξαερισμό όπως δίνονται από την εταιρεία KELLER είναι:

- 1) Γέμισμα του δοχείου πλήρωσης με 100 (ml) υδραυλικό λάδι.
- 2) Κλείσιμο της βαλβίδας εκτόνωσης.
- 3) Βίδωμα του μανομέτρου στην ειδική υποδοχή της αντλίας, χωρίς σφίξιμο.
- 4) Αύξηση της πίεσης με της χειρολαβές μέχρι να διαρρεύσει υδραυλικό υγρό από την σύνδεση.
- 5) Σύσφιξη της σύνδεσης του μανομέτρου με την αντλία.
- 6) Άνοιγμα της βαλβίδας εκτόνωσης.
- 7) Τοποθέτηση και σφίξιμο του εύκαμπτου σωλήνα υψηλής πίεσης στην υποδοχή της αντλίας.
- 8) Κλείσιμο της βαλβίδας εκτόνωσης.
- 9) Τοποθέτηση του αισθητήρα πίεσης στην άλλη άκρη του εύκαμπτου σωλήνα υψηλής πίεσης χωρίς σύσφιξη της σύνδεσης.
- 10) Αύξηση της πίεσης με τις χειρολαβές μέχρι να διαρρεύσει υδραυλικό υγρό από την σύνδεση.
- 11) Σύσφιξη της σύνδεσης του αισθητήρα πίεσης και τον εύκαμπτο σωλήνα υψηλής πίεσης.

Μετά το πέρας της διαδικασίας του εξαερισμού, σειρά έχει ο έλεγχος των συνδέσεων των εξαρτημάτων, για την αποφυγή τυχόν διαρροής του υδραυλικού υγρού από τις συνδέσεις και κατ' επέκταση την πτώση της πίεσης. Αφού έχουν γίνει τα παραπάνω βήματα, η αντλία μπορεί να αυξήσει την πίεση στο υδραυλικό κύκλωμα, όμως για την σταθεροποίησή της την πρώτη φορά, χρειάζεται αναμονή μερικών λεπτών. Αφού έχει εξασφαλιστεί η σωστή λειτουργία της αντλίας, μπορεί να ξεκινήσει η λήψη και η καταγραφή των μετρήσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

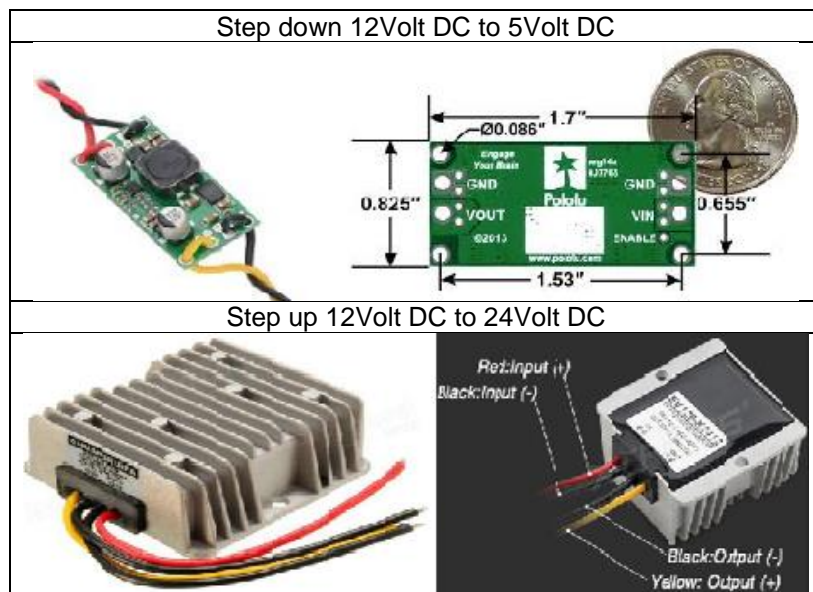
5 Έλεγχος - Κατανομή ηλεκτρικής ενέργειας

5.1 Εξαρτήματα ελέγχου κατανομής ηλεκτρικής ενέργειας

5.1.1 Step up – Step down

Ένας μετατροπέας DC-to-DC [17] είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα ή μια ηλεκτρομηχανική συσκευή που μετατρέπει μια πηγή συνεχούς ρεύματος (DC) από ένα επίπεδο τάσης σε ένα άλλο. Οι μετατροπείς DC to DC χρησιμοποιούνται σε φορητές ηλεκτρονικές συσκευές όπως τα κινητά τηλέφωνα και οι φορητοί υπολογιστές, οι οποίοι τροφοδοτούνται κυρίως από μπαταρίες. Τέτοιες ηλεκτρονικές συσκευές περιέχουν συχνά πολλά υποκυκλώματα, το καθένα με τη δική του απαίτηση στάθμης τάσης διαφορετικό από εκείνο που παρέχεται από την μπαταρία ή από μια εξωτερική τροφοδοσία, (μερικές φορές υψηλότερη ή χαμηλότερη από την τάση τροφοδοσίας). Επιπλέον, η τάση της μπαταρίας μειώνεται καθώς καταναλώνεται η αποθηκευμένη ενέργεια. Οι μετατροπείς DC to DC, προσφέρουν μια μέθοδο αύξησης της τάσης από μια μερικώς χαμηλωμένη τάση μπαταρίας, εξοικονομώντας έτσι χώρο αντί να χρησιμοποιούνται πολλαπλές μπαταρίες για να επιτύχουν το ίδιο πράγμα.

Οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς χρησιμοποιούν τεχνικές μεταγωγής. Οι μετατροπείς συνεχούς ρεύματος DC-to-DC μετατρέπουν ένα επίπεδο τάσης συνεχούς ρεύματος σε ένα άλλο, το οποίο μπορεί να είναι υψηλότερο ή χαμηλότερο, αποθηκεύοντας προσωρινά την ενέργεια εισόδου και στη συνέχεια απελευθερώνοντας αυτή την ενέργεια στην έξοδο σε διαφορετική τάση. Η αποθήκευση μπορεί να είναι είτε σε στοιχεία αποθήκευσης μαγνητικού πεδίου (επαγωγής, μετασχηματιστές) είτε σε εξαρτήματα αποθήκευσης ηλεκτρικού πεδίου (πυκνωτές). Αυτή η μέθοδος μετατροπής μπορεί να αυξήσει ή να μειώσει την τάση. Η μετατροπή της τάσης έχει απόδοση από πλευράς ισχύος (75% έως 96%), αναλόγως τον τύπο και τα χαρακτηριστικά του κάθε μετατροπέα.

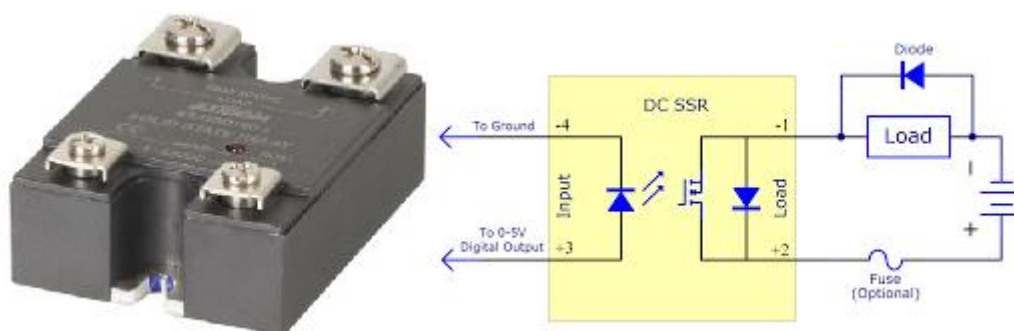


Εικόνα 5-1: Step Up-Down

Στο ηλεκτρικό κύκλωμα του μηχανισμού χρησιμοποιείται ένα Step up 12 (Volt) DC to 24 (Volt) DC για την τροφοδοσία της αντλίας και της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας με 24 (Volt), καθώς η πηγή τροφοδοσίας είναι 12 (Volt) και δύο Step down 12 (Volt) DC to 5 (Volt) DC για την τροφοδοσία των δύο Arduino Pro mini με 5 (Volt) (Εικόνα 5-1).

5.1.2 Solid State Relay

Ένα Solid State Relay (SSR ή ηλεκτρονόμος) [18] είναι μια ηλεκτρονική συσκευή μεταγωγής που ενεργοποιείται ή απενεργοποιείται όταν εφαρμόζεται μικρή εξωτερική τάση στα τερματικά ελέγχου της. Τα SSR αποτελούνται από έναν αισθητήρα που ανταποκρίνεται σε μια κατάλληλη είσοδο (σήμα ελέγχου), μια ηλεκτρονική συσκευή μεταγωγής που μεταφέρει την ισχύ στο κύκλωμα φορτίου και ένα μηχανισμό ζεύξης που επιτρέπει στο σήμα ελέγχου να ενεργοποιεί τον διακόπτη, χωρίς μηχανικά μέρη (Εικόνα 5-2).



Εικόνα 5-2: Solid State Relay

Το SSR μπορεί να μεταφέρει είτε AC είτε DC στο φορτίο. Παρέχει την ίδια λειτουργία με ένα ηλεκτρομηχανικό Relay, αλλά δεν έχει κινούμενα μέρη. Τα SSR χρησιμοποιούν συσκευές ημιαγωγών ισχύος όπως τρανζίστορ, για να αλλάζουν ρεύματα μέχρι περίπου 100 (A). Έχουν γρήγορες ταχύτητες μεταγωγής σε σύγκριση με ηλεκτρομηχανικά relay και δεν έχουν καμία μηχανική επαφή για φθορά.

Στο κύκλωμα του μηχανισμού χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της λειτουργίας της αντλίας και της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας. Η είσοδος -4,+3 του SSR που φαίνονται στην (Εικόνα 5-2), συνδέεται με τον μικροελεγκτή στα pins GND και 5 (Volt) αντίστοιχα. Όταν ο μικροελεγκτής δώσει τάση τότε η έξοδος Load του SSR κλείνει το κύκλωμα του συσσωρευτή με την αντλία και την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα με αποτέλεσμα την ενεργοποίησή τους. Όταν είναι επιθυμητή η απενεργοποίησή τους τότε ο μικροελεγκτής διακόπτει την τάση στην είσοδο του SSR και αυτό ανοίγει το κύκλωμα της εξόδου του. Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά φαίνονται στον (πίνακα 5-1).

Κύκλωμα εξόδου	
Τάση φορτίου	0-30VDC
Ρεύμα φορτίου	0.02-100A
Μέγιστη αντίσταση	0,007Ohms
Μέγιστη πτώση τάσης	0,35V
Μέγιστη ώρα ενεργοποίησης	0,5ms
Μέγιστη ώρα απενεργοποίησης	0,5ms
Μέγιστο ρεύμα κύματος	240A (10ms)

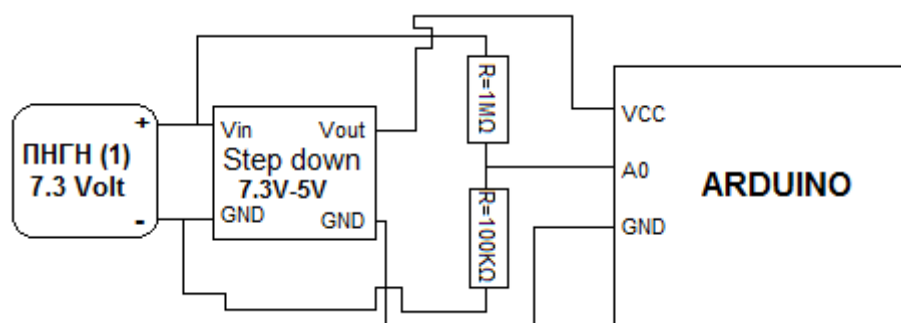
Κύκλωμα εισόδου	
Τάση ελέγχου	4-32VDC
Ρεύμα ελέγχου	28mA max
Ελάχιστη τάση απενεργοποίησης	1VDC
Αντίσταση εισόδου	1.2kOhm

Πίνακας 5-1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του SSR

5.2 Έλεγχος επιπέδου τάσης του συσσωρευτή

Για ένα αυτόνομο σύστημα είναι απαραίτητο να μετράει τα επίπεδα τάσης της πηγής τροφοδοσίας του, έτσι ώστε να γνωρίζει την εναπομένουσα ενέργεια που είναι διαθέσιμη προς κατανάλωση κάθε στιγμή και να πράττει ανάλογα όταν αυτή φτάσει σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

Το ηλεκτρονικό κύκλωμα [19] του μηχανισμού μεταβλητής πλευστότητας που είναι υπεύθυνο για αυτόν τον έλεγχο (Εικόνα 5-3), αποτελείται από δύο αντιστάσεις 1 (MΩ) και 100 (KΩ) συνδεδεμένες σε σειρά όπου οι δύο ελεύθερες άκρες τους συνδέονται με τους πόλους του συσσωρευτή που μετριέται η τάση του. Η ένωση των αντιστάσεων συνδέεται με το αναλογικό pin A0 του Arduino και αυτός χρησιμοποιώντας την βιβλιοθήκη Measure Voltage, κάνει ανάγνωση του επιπέδου της τάσης του συσσωρευτή.



Εικόνα 5-3: Measure Voltage

5.3 Εκτίμηση απαιτούμενης ισχύος και χωρητικότητας συσσωρευτή

Στο ηλεκτρολογικό σύστημα του μηχανισμού υπάρχουν δύο συσσωρευτές όπου ο ένας τροφοδοτεί το κύκλωμα του MASTER και ο άλλος τροφοδοτεί τα κυκλώματα των SLAVE1 και SLAVE2. Έχοντας ολοκληρωμένα τα δύο κυκλώματα βάζουμε σε λειτουργία το κύκλωμα του MASTER δίνοντας την κατάλληλη τάση από τροφοδοτικό, με τη χρήση πολύμετρου διαπιστώθηκε ότι η κατανάλωσή του σε λειτουργία sleep mode είναι 0,00032 (A), ενώ σε

κανονική λειτουργία του κυκλώματος η κατανάλωση είναι 0,033 (A). Ο MASTER θα είναι σε λειτουργία sleep mode και θα ενεργοποιείται κάθε 8 (sec) με διάρκεια λειτουργίας 1 (sec). Ακόμη ο μηχανισμός θα πραγματοποιεί 8 κατάδύσεις την ημέρα και με μία μέση ταχύτητα κατάδυσης 1 (m/sec). Οπότε ο χρόνος που χρειάζεται ο μηχανισμός για μία κατάδυση και ανάδυση στα 60 (m) βάθος είναι 2 (min) και σαν συντελεστή ασφαλείας το κάνουμε 4 (min) και έτσι ο χρόνος ταυτόχρονης λειτουργίας και των 2 κυκλωμάτων είναι 32 (min). Κάνοντας τους υπολογισμούς το κύκλωμα του Arduino Pro mini λειτουργεί για 3,5 (h) την ημέρα με κατανάλωση 0,033 (A) και 20,5 (h) την ημέρα με κατανάλωση 0,00032 (A). Η ημερήσια κατανάλωση που προκύπτει για το κύκλωμα του MASTER είναι 0,12206 (A). Χρησιμοποιώντας έναν συσσωρευτή liion ονομαστικής τάσης 3,7V και χωρητικότητας 3,3Ah, η αυτονομία του κυκλώματος του MASTER είναι $3,3(\text{Ah}) / 0,12206(\text{Ah}/\text{ημέρα}) = 27$ ημέρες.

Το κύκλωμα των SLAVE1 και SLAVE2 λειτουργεί όταν ο μηχανισμός αναδύεται και καταδύεται με ταχύτητα 1 (m/sec) σε βάθος 60 (m), για 2 (min) και ως συντελεστή ασφαλείας βάζουμε 3 (min). 1,5 (min) για την κατάδυση και 1,5 (min) για την ανάδυση. Πραγματοποιώντας 8 αναδύσεις / κατάδύσεις την ημέρα, όλος ο μηχανισμός θα είναι σε λειτουργία για 24 (min) την ημέρα. Ακολουθώντας τα ίδια βήματα με πριν, η μέτρηση της κατανάλωσης του κυκλώματος κατά την ανάδυση είναι 7 (A) και κατά την κατάδυση είναι 1,89 (A). Κάνοντας τους υπολογισμούς βρίσκουμε ότι η κατανάλωση για την ανάδυση είναι 0,175 (A) ενώ για την κατάδυση 0,04725 (A) άρα συνολικά 0,222 (A), για 8 αναδύσεις / κατάδύσεις την ημέρα 1,778 (A/ημέρα). Χρησιμοποιώντας έναν συσσωρευτή μόλυβδου ονομαστικής τάσης 12 (Volt) και χωρητικότητας 5 (Ah), η αυτονομία του κυκλώματος των SLAVE1 και SLAVE2 είναι $5 (\text{Ah}) / 1,778 (\text{Ah}/\text{ημέρα}) = 2,81$ ημέρες.

Οπότε για μια αυτονομία περίπου 6 ημερών ολόκληρου του μηχανισμού, χρησιμοποιούνται 2 συσσωρευτές liion ονομαστικής τάσης 3,7 (Volt), χωρητικότητας 3,3 (Ah) και 2 συσσωρευτές μόλυβδου ονομαστικής τάσης 12 (Volt) και χωρητικότητας 5 (Ah).

5.4 Επιλογή των πηγών τροφοδοσίας

Η μπαταρία ή ηλεκτρικός συσσωρευτής, είναι η συσκευή η οποία αποθηκεύει χημική ενέργεια και την αποδεσμεύει με τη μορφή ηλεκτρισμού [20]. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ηλεκτροχημικές διατάξεις όπως η γαλβανική στήλη. Η ανάπτυξη των μπαταριών άρχισε με την κατασκευή της Βολταϊκής στήλης από τον Alessandro Volta. Εικάζεται όμως ότι κάποια αντικείμενα, που χρονολογούνται γύρω στο έτος 600 και είναι γνωστά ως μπαταρίες της Βαγδάτης, είχαν χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή μικρής ποσότητας ηλεκτρισμού. Τα είδη των μπαταριών [21] (Εικόνα 5-4) είναι αρκετά και κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τις Πρωτογενείς και τις Δευτερογενείς.



Εικόνα 5-4: Είδη μπαταριών

Οι πρωτογενείς μπαταρίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις ηλεκτρικές συσκευές, σε φωτογραφικό εξοπλισμό, στα ρολόγια, στους υπολογιστές και σε πολλές άλλες χρήσεις της καθημερινής μας ζωής. Οι περισσότερες πρωτογενείς μπαταρίες είναι κυλινδρικές, επίπεδες ή κομβιώσχημες (κουμπιά) με χωρητικότητα κάτω από 20 (Ah). Συνήθως είναι οικιακής χρήσης, σε αντίθεση με τις δευτερογενείς που είναι συνήθως βιομηχανικής χρήσης. Οι κυριότεροι τύποι πρωτογενών μπαταριών είναι οι:

- Ψευδαργύρου / Άνθρακα (Zn/C): οι γνωστές σε όλους απλές μπαταρίες. Για τις απλούστερες χρήσεις και με τη μικρότερη διάρκεια ζωής.
- Ψευδαργύρου / Χλωριδίου (Zn/Cl): με λίγο μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Χρησιμοποιούνται εκεί που υπάρχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ενέργεια.
- Αλκαλικές Μαγγανίου: με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τα δύο προηγούμενα είδη. Είναι μάλιστα και φιλικότερες προς το περιβάλλον.
- Αργύρου: συνήθως κομβιώσχημες, περιέχουν οξείδιο του αργύρου, και χρησιμοποιούνται κυρίως σε ρολόγια.
- Λιθίου: μεγάλης διάρκειας ζωής, περιέχουν μεταλλικό λίθιο και χρησιμοποιούνται ευρέως στον φωτογραφικό εξοπλισμό και στα κινητά τηλέφωνα.
- Ψευδαργύρου - αέρα: επίσης κομβιώσχημες, έχουν την καινοτομία ότι αντί θετικού πόλου, χρησιμοποιείται το ατμοσφαιρικό οξυγόνο.
- Υδραργύρου: με οξείδιο του υδραργύρου, χρησιμοποιείται κυρίως σε ιατρικές συσκευές, όπως ακουστικά βαρηκοΐας. Δυστυχώς, ο υδράργυρος που περιέχουν είναι επικίνδυνος για το περιβάλλον.

Οι πρωτογενείς μπαταρίες είναι εύκολες και απλές στην χρήση τους και έχουν λίγες απαιτήσεις στη συντήρηση. Επιπλέον μπορούν να έχουν τέτοιο σχήμα και μέγεθος ώστε να προσαρμόζονται σε οποιαδήποτε συσκευή. Τέλος έχουν αξιοπιστία και αποδεκτό κόστος σε συνάρτηση με καλή διάρκεια ζωής, πυκνότητα ενέργειας και ισχύος.

Οι δευτερογενείς μπαταρίες επαναφορτίζονται ηλεκτρικά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν παντού. Χωρίζονται σε τρία βασικά συστήματα:

- επαναφορτιζόμενο σύστημα νικελίου - καδμίου (Ni-Cd): Οι πρώτες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες που φτιάχτηκαν ποτέ. Χρησιμοποιούνται σε

ηλεκτρικά εργαλεία, φορητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές, παιχνίδια, κ.λπ., με διάρκεια ζωής 4-5 χρόνια. Δυστυχώς το κάδμιο είναι βλαβερό. Έτσι γίνονται προσπάθειες να απομακρυνθεί αυτό το είδος μπαταρίας από την αγορά, και όπου είναι δυνατόν να αντικατασταθεί.

- επαναφορτιζόμενο σύστημα μόλυβδου (Pb): Η ανακάλυψή τους έφερε την επανάσταση στην αυτοκινητοβιομηχανία, αφού οι περισσότερες μπαταρίες αυτοκινήτων ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία. Δυστυχώς ο μόλυβδος είναι και αυτός επικίνδυνος για το περιβάλλον, γι' αυτό γίνεται ήδη προσπάθεια να συλλέγονται οι άδειες μπαταρίες από τα συνεργεία αυτοκινήτων, και να στέλνονται για ανακύκλωση.
- σύστημα νικελίου - μετάλλου υδριδίου (NiMH). Φιλικότερες προς το περιβάλλον από τις Ni-Cd τις οποίες τείνουν να αντικαταστήσουν και με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Το ηλεκτρονικό κύκλωμα του μηχανισμού τροφοδοτείται από δύο πηγές ενέργειας, η μία τροφοδοτεί το κύκλωμα του MASTER και η άλλη τροφοδοτεί το κύκλωμα του SLAVE.

Η πηγή τροφοδοσίας που επιλέχθηκε για το κύκλωμα του MASTER, είναι δύο μπαταρίες Iion Panasonic [22] ονομαστικής τάσης 3,7 (Volt) και χωρητικότητας 3,3 (Ah) σε παράλληλη σύνδεση (Εικόνα 5-5), (πίνακας 5-2). Τα κριτήρια για την επιλογή τους είναι το μικρό τους βάρος και διαστάσεις, σε σχέση με άλλες μπαταρίες της ίδιας ονομαστικής τάσης και χωρητικότητας. Ακόμη κατά την διάρκεια της λειτουργίας τους δεν παράγουν τα οποία είναι επικίνδυνα κατά το άνοιγμα του Housing, αφενός λόγω της πίεσης που αναπτύσσεται από αυτά και αφετέρου λόγω της πιθανής ανάφλεξής τους.



Εικόνα 5-5: Μπαταρία Lithium Ion NCR18650

Type	Lithium Ion NCR 18650
Nominal Voltage	3.7 Volt
Weigth	48.0 gr
Nominal Capacity	3.3 Ah
Charging	CC-CV, Std. 1375mA, 4.20 Volt, 4.0 hrs

Πίνακας 5-2: Χαρακτηριστικά της Lithium Ion NCR18650

Η πηγή τροφοδοσίας που επιλέχθηκε για το κύκλωμα των SLAVE, είναι δύο μπαταρίες μολυβδου HLR 1223W ονομαστικής τάσης 12 (Volt) και χωρητικότητας 5 (Ah) σε παράλληλη σύνδεση [23] (Εικόνα 5-6), (πίνακας 5-3). Τα κριτήρια για την επιλογή τους είναι ότι σε αντίθεση με άλλες μπαταρίες μολυβδου δεν παράγουν αέρια κατά την φόρτιση και εκφόρτωσή τους, τα οποία είναι επικίνδυνα για τους λόγους που προαναφέρθηκαν. Η φόρτισή τους δεν απαιτεί ειδικούς φορτιστές όπως τις μπαταρίες λιθίου και αυτό θα φανεί χρήσιμο για μελλοντικές αναβαθμίσεις. Το κόστος αγοράς τους είναι χαμηλότερο από αυτό των μπαταριών λιθίου για την ίδια ονομαστική τάση και χωρητικότητα. Τα μειονεκτήματά τους έναντι των μπαταριών λιθίου είναι το μεγαλύτερο βάρος και διαστάσεις τους.



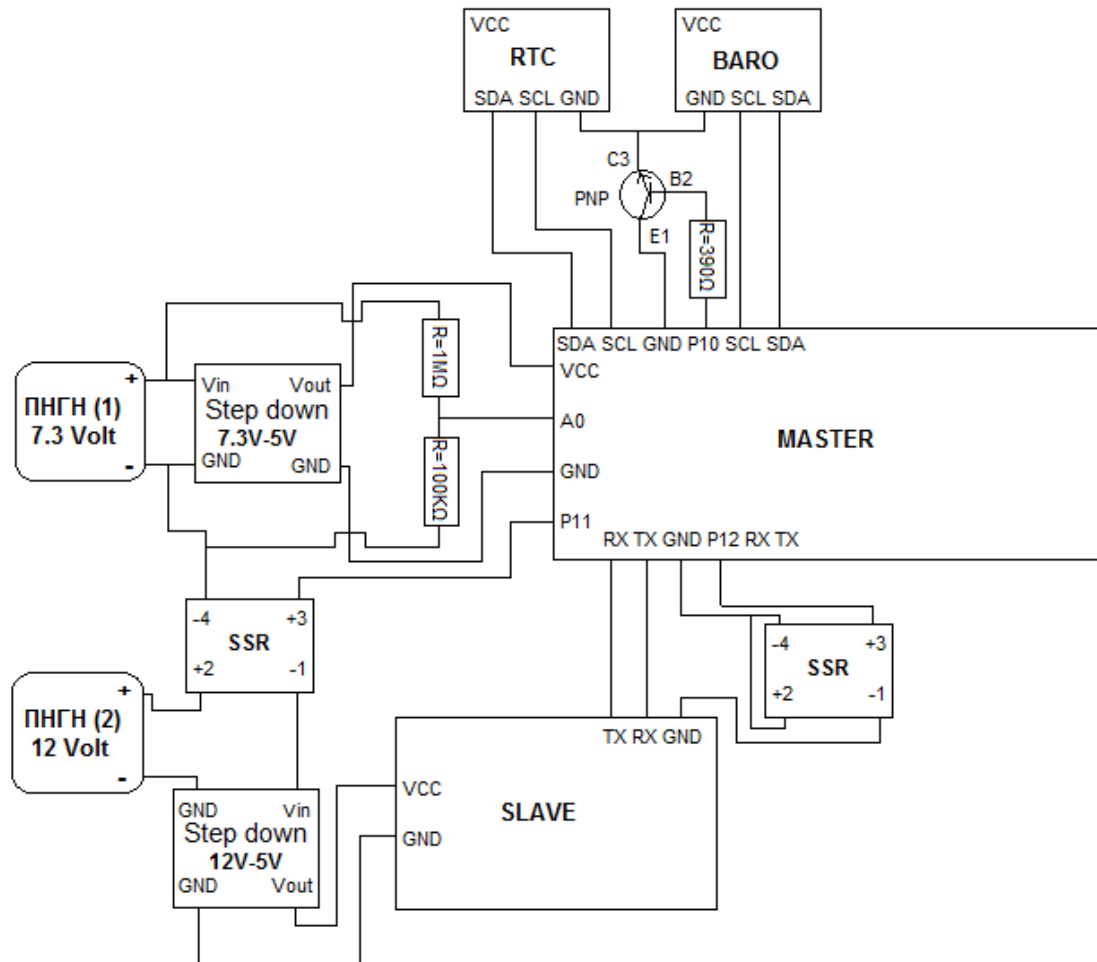
Εικόνα 5-6: Μπαταρία HLR1223W

Type	HLR 1223W Μπαταρία Μόλυβδου
Nominal Voltage	12 Volt (6 cells per unit)
Nominal Capacity	5 Ah
Weight	Approx. 2.10 Kg
Maximum Discharge Current	130A (5sec)
Short Circuit Current	227A
Maximum Charge Current	2.3A
Dimensions	Length(L) 90mm
	Width(W) 70mm
	Container Height(h) 101.8mm
	Overall Height(H) 105.6mm
Internal Resistance	19.90mΩ

Πίνακας 5-3: Χαρακτηριστικά της HLR1223W

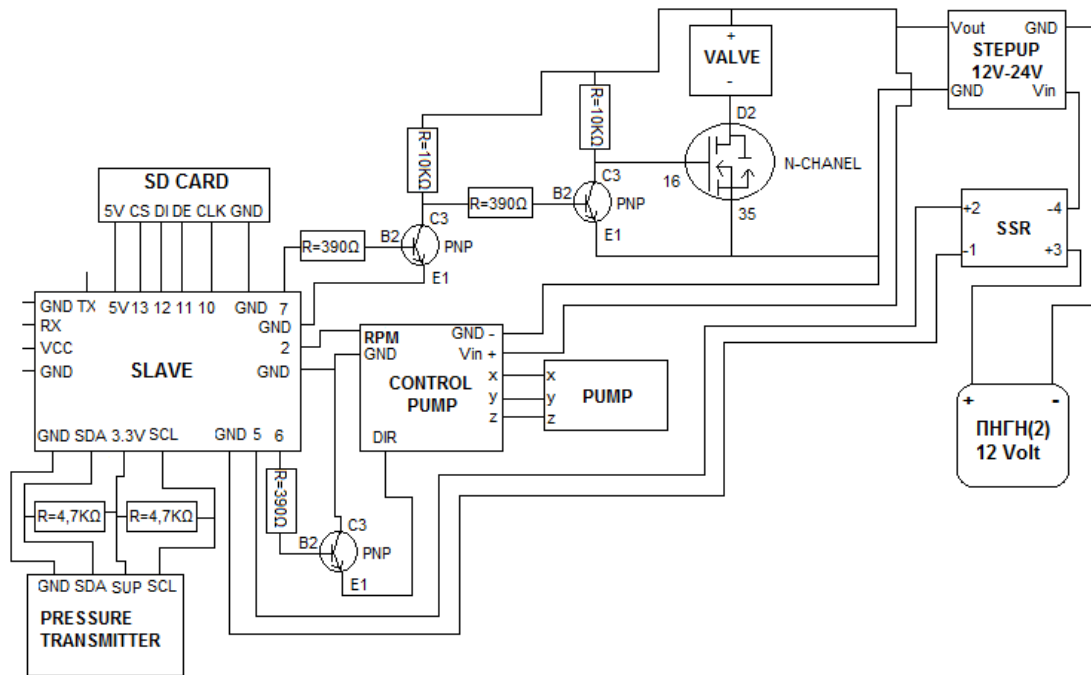
5.5 Ηλεκτρονικό διάγραμμα συνδέσεων

Το ηλεκτρονικό διάγραμμα είναι χωρισμένο σε δύο μέρη λόγω του μεγέθους του. Το πρώτο (Εικόνα 5-7) είναι το διάγραμμα του MASTER όπου φαίνεται η σύνδεσή του με τον SLAVE, η τροφοδοσία τους και το κύκλωμα μέτρησης της τάσης του συσσωρευτή που τροφοδοτεί τον MASTER.



Εικόνα 5-7: Διάγραμμα MASTER

Το δεύτερο (Εικόνα 5-8) είναι το διάγραμμα του SLAVE όπου φαίνεται η σύνδεσή του με το κύκλωμα ελέγχου τροφοδοσίας της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας, της αντλίας, ο έλεγχος αναστροφής της ροής της αντλίας και η σύνδεσή του με την SD Card και τον αισθητήρα πίεσης.



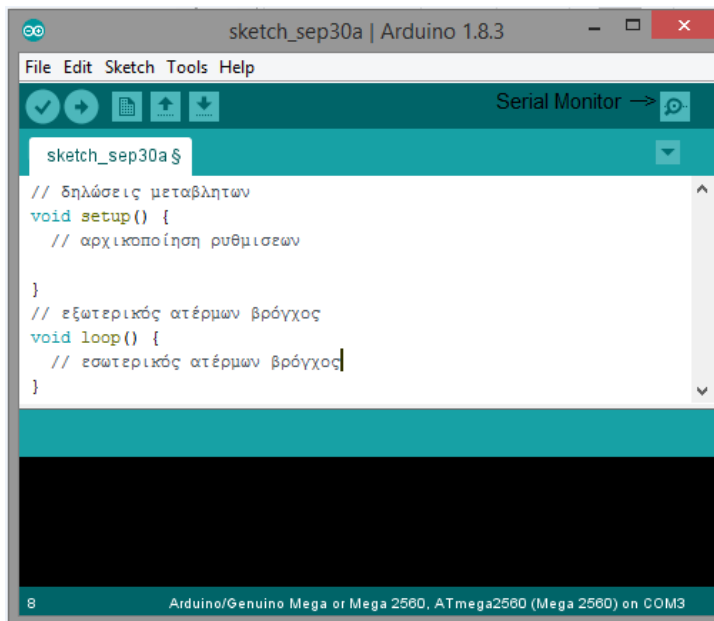
Εικόνα 5-8: Διάγραμμα SLAVE

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6 Προγραμματισμός ελεγκτών

Ως κέντρο ελέγχου του καθοδηγητικού συστήματος του αυτόνομου μηχανισμού μεταβλητής πλευστότητας, χρησιμοποιούνται δύο μικροελεγκτές. Τον ρόλο του MASTER (πρωτεύον ελεγκτής) έχει ο Arduino pro mini ο οποίος είναι υπεύθυνος για την αφύπνιση του δευτερεύον ελεγκτή και την αποστολή της ημερομηνίας και ώρας σε αυτόν. Ως SLAVE (δευτερεύον ελεγκτής χρησιμοποιείται ο Arduino UNO ο οποίος είναι υπεύθυνος για την καταγραφή της ημερομηνίας, της ώρας, της εξωτερικής πίεσης και της ταχύτητας κατάδυσης / ανάδυσης του μηχανισμού στην SD Card καθώς και για την καθοδήγηση της αντλίας και της ηλεκτρομαγνητικής αντλίας.

Οι δύο μικροελεγκτές προγραμματίζονται σε γλώσσα προγραμματισμού Wiring, μέσω του προγράμματος Arduino IDE [24] (Εικόνα 6-1). Κατά το άνοιγμα του περιβάλλοντος ανάπτυξης, απαιτούνται κάποιες αρχικές ρυθμίσεις, όπως είναι η επιλογή της θήρας COM του Η/Υ στην οποία συνδέεται ο μικροελεγκτής, την επιλογή ταχύτητας της επικοινωνίας του συριακού δίαυλου επικοινωνίας και τον τύπο του μικροελεγκτή που θα χρησιμοποιηθεί. Οι κύριες λειτουργίες που χρησιμοποιήθηκαν είναι το περιβάλλον προγραμματισμού για την σύνταξη του προγράμματος και το Serial monitor όπου ο μικροελεγκτής τυπώνει τα επιλεγμένα εξαγόμενα δεδομένα του προγράμματος στην οθόνη του Η/Υ.

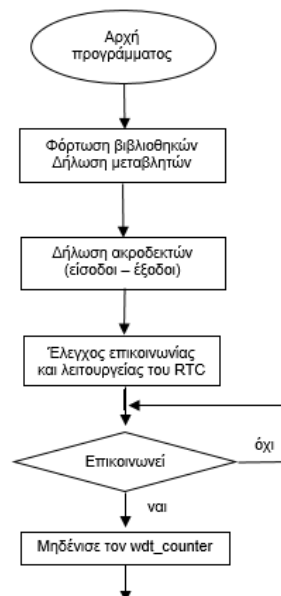


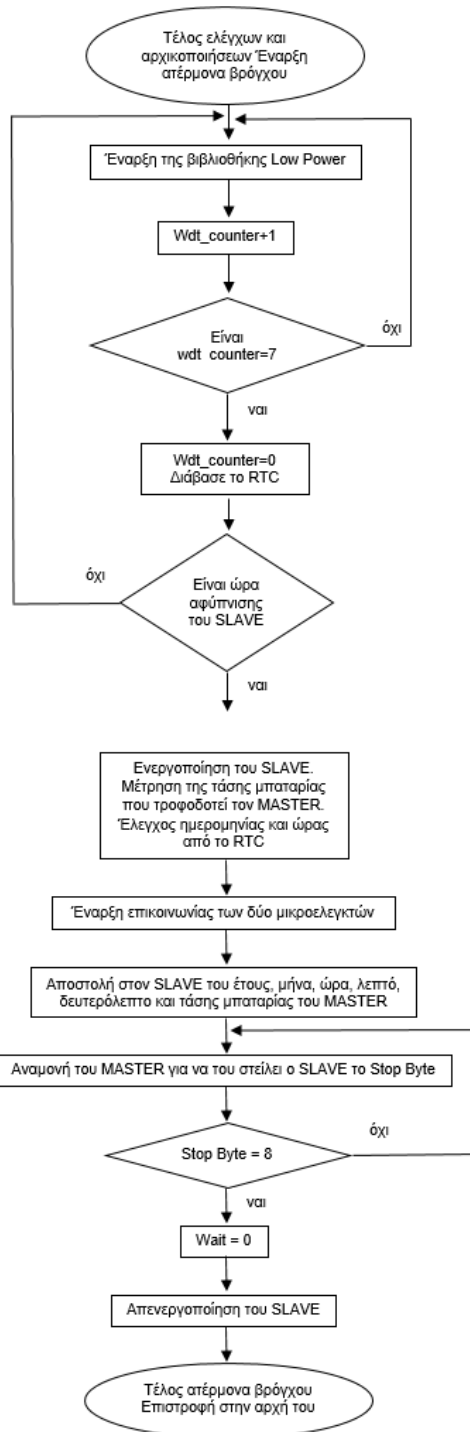
Εικόνα 6-1: Περιβάλλον εργασίας IDE

6.1 Πρωτεύον ελεγκτής (MASTER)

Ο πρωτεύον ελεγκτής χρησιμοποιεί την βιβλιοθήκη Wire του πρωτόκολλου επικοινωνίας I²C και την βιβλιοθήκη RTC lib, για την επικοινωνία του με το RTC (Real Time Clock), από όπου ο MASTER ενημερώνεται για την ημερομηνία και την πραγματική ώρα. Για εξοικονόμηση ενέργειας χρησιμοποιείται η βιβλιοθήκη Low Power η οποία χρειάζεται για την ενεργοποίηση του watch dock timer στον μικροελεγκτή, όπου για 8 (sec) ο μικροελεγκτής είναι σε κατάσταση sleep mode και όταν περάσει αυτό το χρονικό διάστημα ενεργοποιείται, αυξάνει έναν counter κατά 1 και μπαίνει πάλι σε κατάσταση sleep mode για άλλα 8 (sec). Όταν ο counter γίνει ίσος με 7 δηλαδή έχει περάσει 1 λεπτό ο MASTER ελέγχει την τρέχουσα πραγματική ώρα από το RTC, μηδενίζει τον counter και μπαίνει πάλι σε κατάσταση sleep mode για άλλα 8 (sec). Όταν η τρέχουσα ώρα και το λεπτό ταιριάζουν με την προγραμματισμένη ώρα και λεπτό κατάδυσης του μηχανισμού, ο MASTER ενεργοποιεί τον SLAVE (δευτερεύον ελεγκτής) κλείνοντας το κύκλωμα τροφοδοσίας του που μέχρι τότε είναι ανοιχτό (δεν τροφοδοτείται), ελέγχει την τάση της μπαταρίας που τον τροφοδοτεί και μέσω της συριακής επικοινωνίας του στέλνει την ημερομηνία, ώρα, και την τάση της μπαταρίας του. Έπειτα ο MASTER μπαίνει σε κατάσταση αναμονής περιμένοντας να λάβει μέσω της συριακής επικοινωνίας από τον SLAVE ένα συγκεκριμένο Byte το οποίο σηματοδοτεί την απενεργοποίηση του SLAVE από τον MASTER, ο οποίος στην συνέχεια επιστρέφει στην κατάσταση sleep mode, εκτελώντας την διαδικασία από την αρχή.

6.1.1 Διάγραμμα ροής του (MASTER)

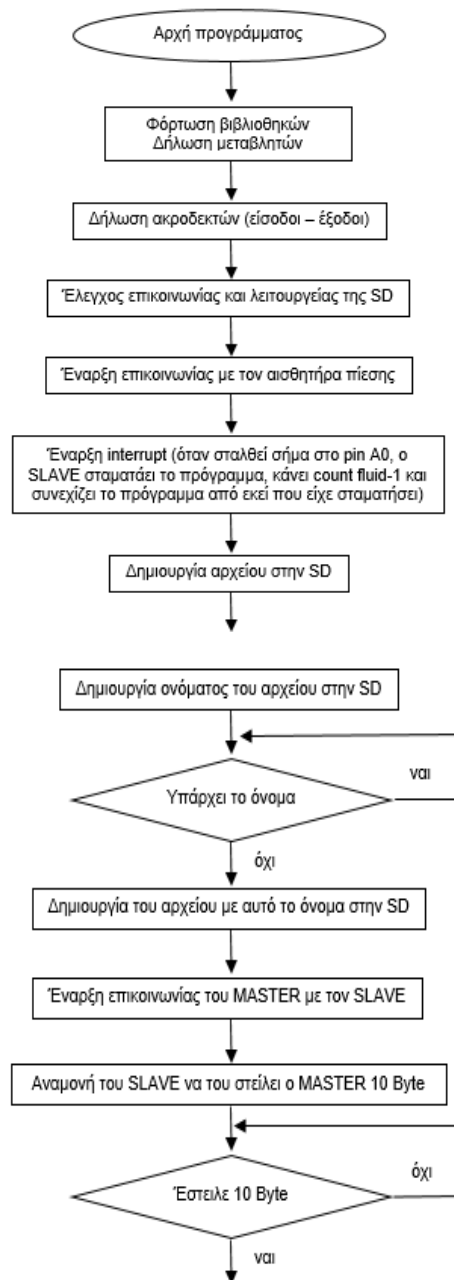


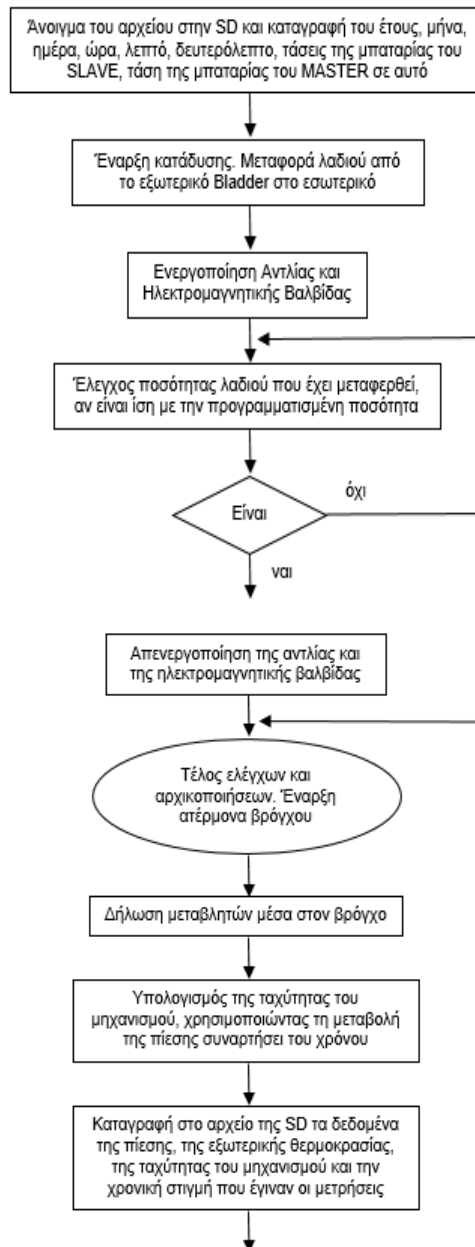


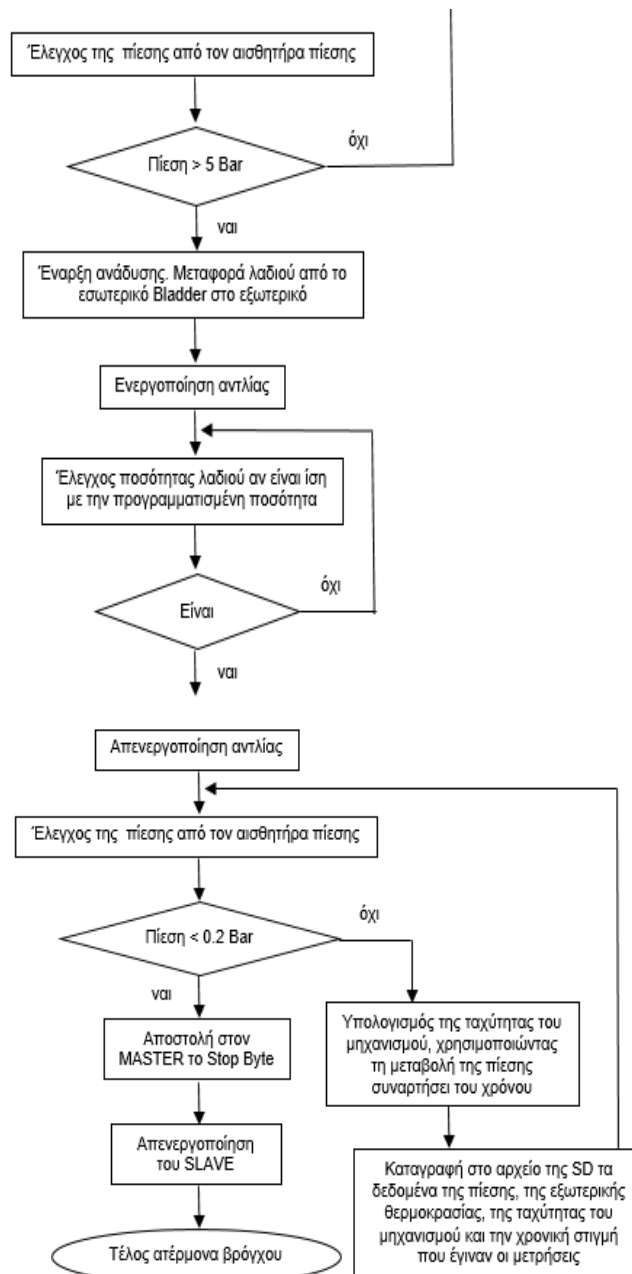
6.2 Δευτερεύον ελεγκτής (SLAVE)

Ο δευτερεύον ελεγκτής χρησιμοποιεί την βιβλιοθήκη SPI και την βιβλιοθήκη SD, για την επικοινωνία του με την SD Card όπου αποθηκεύονται τα δεδομένα. Όταν ο SLAVE ενεργοποιηθεί δημιουργεί ένα αρχείο μέσα στην SD (κάθε αρχείο έχει διαφορετικό όνομα από το άλλο) και μπαίνει σε κατάσταση αναμονής μέχρι να λάβει από τον MASTER μέσω της συριακής επικοινωνίας 10 Byte τα οποία είναι, ο μήνας, η ημέρα, η τρέχουσα πραγματική ώρα, το λεπτό, το δευτερόλεπτο και η τάση της μπαταρίας του. Ο SLAVE ανοίγει το αρχείο που έχει δημιουργήσει στην SD, καταγράφει τα δεδομένα που του έστειλε ο MASTER και την τάση της δικιάς του μπαταρίας. Έπειτα ο SLAVE ενεργοποιεί την αντλία και την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα μέχρι να μεταφερθεί η επιθυμητή ποσότητα λαδιού από το εσωτερικό Bladder στο εξωτερικό, μετά τα απενεργοποιεί και έχει ξεκινήσει η διαδικασία της κατάδυσης. Καθ' όλη τη διάρκεια της κατάδυσης ο SLAVE επικοινωνεί με τον αισθητήρα πίεσης μέσω του δίαυλου επικοινωνίας I²C, υπολογίζει την ταχύτητα κατάδυσης του μηχανισμού χρησιμοποιώντας την μεταβολή της πίεσης στην μονάδα του χρόνου, ανοίγει το αρχείο που έχει δημιουργήσει στην SD και καταγράφει τον χρόνο που έγιναν οι μετρήσεις, την στιγμιαία ταχύτητα κατάδυσης του μηχανισμού, την πίεση και την θερμοκρασία από τον αισθητήρα πίεσης, μέχρι η πίεση να φτάσει στα 5 (Bar). Όταν ο SLAVE διαβάσει από τον αισθητήρα πίεσης πίεση μεγαλύτερη των 5 (Bar), ενεργοποιεί την αντλία μέχρι να μεταφερθεί η επιθυμητή ποσότητα λαδιού από το εξωτερικό Bladder στο εσωτερικό, έπειτα την απενεργοποιεί και έχει ξεκινήσει η διαδικασία της ανάδυσης. Καθ' όλη τη διάρκεια της ανάδυσης ο SLAVE πραγματοποιεί τις ίδιες ενέργειες με τις προαναφερθείσες της κατάδυσης και όταν διαβάσει από τον αισθητήρα πίεσης πίεση μικρότερη από 0.2 (Bar), στέλνει στον MASTER το stop Byte για να τον απενεργοποιήσει.

6.2.1 Διάγραμμα ροής του (SLAVE)







ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7 Πειραματικά αποτελέσματα

Αφού ολοκληρώθηκε η κατασκευή του αυτόνομου μηχανισμού μεταβλητής πλευστότητας, για την αξιολόγησή του υποβλήθηκε πρώτα σε εργαστηριακές δοκιμές στον χώρο του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. και έπειτα ακολούθησαν δοκιμές στο πεδίο.

7.1 Πειραματική ταυτοποίηση χαρακτηριστικών του αισθητήρα πίεσης

Ο αισθητήρας πίεσης υποβλήθηκε σε εργαστηριακές δοκιμές οι οποίες αποσκοπούσαν στον έλεγχο της ακρίβειας των μετρήσεών του. Για την υλοποίηση των δοκιμών του αισθητήρα πίεσης, χρησιμοποιήθηκε ο εξοπλισμός του εργαστηρίου βαθμονόμησης του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε Κρήτης.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή των δοκιμών απαρτίζεται από, έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, μία χειροκίνητη αντλία λαδιού υψηλής πίεσης, ένα ηλεκτρονικό μανόμετρο βαθμονόμησης (μετράει σχετική πίεση), ένα USB Converter RS485 και ένα μικροελεγκτή Arduino.

Η χρήση του Η/Υ αποσκοπεί στην σύνδεσή του με το μανόμετρο και τον αισθητήρα πίεσης, για την λήψη και επεξεργασία των μετρήσεών τους. Έγινε εγκατάσταση του περιβάλλοντος ανάπτυξης Arduino IDE μέσω του οποίου ο Η/Υ μπορεί να επικοινωνεί με τον μικροελεγκτή και να τον προγραμματίζει. Ο μικροελεγκτής χρησιμοποιώντας την συριακή επικοινωνία I2C, στέλνει και λαμβάνει δεδομένα από τον αισθητήρα πίεσης, τα οποία μεταβιβάζει και στον Η/Υ.

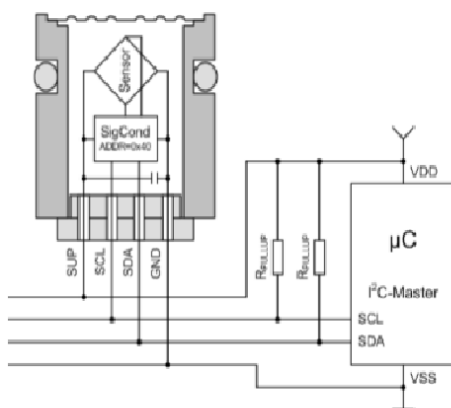
Το Software Mano Config εγκαταστάθηκε για την ρύθμιση παραμέτρων του μανομέτρου, ενώ για την προβολή και καταγραφή των μετρήσεων του μανομέτρου στον Η/Υ, χρησιμοποιείται το πρόγραμμα Control Center Serie 30. Το ηλεκτρονικό μανόμετρο βαθμονόμησης χρησιμοποιείται ως μία έγκυρη πηγή μέτρησης τιμών πίεσης, οι οποίες συγκρινόμενες με αυτές του αισθητήρα πίεσης, δίνουν μία εικόνα για την ακρίβεια των μετρήσεών του. Οι μετρήσεις του αποστέλλονται στον Η/Υ μέσω του USB Converter RS485.

Η χειροκίνητη αντλία λαδιού υψηλής πίεσης (0 έως 700 Bar) χρησιμοποιήθηκε για να προσομοιώσει διαφορετικά περιβάλλοντα πίεσης στον αισθητήρα πίεσης. Διαθέτει ένα δοχείο πλήρωσης λαδιού και δύο ειδικούς υποδοχείς όπου στον ένα τοποθετείται ο αισθητήρας πίεσης και στον άλλο το ηλεκτρονικό μανόμετρο. Η αντλία έχει την ικανότητα να ασκεί την ίδια πίεση και στους δύο υποδοχείς, με αποτέλεσμα στις τιμές πίεσης που μετράνε ο αισθητήρας και το μανόμετρο να γίνει σύγκριση με αξιόπιστα αποτελέσματα.

Αφού είχε γίνει η εγκατάσταση του περιβάλλοντος ανάπτυξης Arduino IDE, του Software Mano Config και του Control Center Serie 30 στον Η/Υ, συνέχεια είχε η πραγματοποίηση της συνδεσμολογίας του εξοπλισμού.

Όπως φαίνεται στην (Εικόνα 4-15) ο αισθητήρας πίεσης διαθέτει πέντε ακροδέκτες οι οποίοι συνδέονται στους αντίστοιχους και ομώνυμους υποδοχείς του μικροελεγκτή. Ο ακροδέκτης SUP είναι η τροφοδοσία 1,8 έως 3,6 (Volt), ο GND που είναι η γείωση), ο (SDA)

είναι ο ακροδέκτης αποστολής και λήψης δεδομένων, ο (SCL) είναι ο ακροδέκτης συγχρονισμού της επικοινωνίας του αισθητήρα με τον μικροελεγκτή και EOC ο οποίος χρησιμοποιείται όταν είναι επιθυμητή μεγαλύτερη ταχύτητα αποστολής δεδομένων όμως με μικρότερη ακρίβεια, όπου σε αυτήν την εφαρμογή δεν χρησιμοποιήθηκε.



Εικόνα 4-15: Συνδεσμολογία αισθητήρα-μικροελεγκτή

Ο μικροελεγκτής συνδέθηκε στον Η/Υ με καλώδιο USB μέσω του οποίου τροφοδοτείται, επικοινωνεί και προγραμματίζεται από αυτόν. Με την χρήση του περιβάλλοντος ανάπτυξης Arduino IDE, προγραμματίστηκε ο μικροελεγκτής έτσι ώστε να διαβάζει τα δεδομένα πίεσης και χρόνου από τον αισθητήρα, να τα μετατρέπει σε αναγνώσιμη μορφή και να τα προβάλλει στην οθόνη του Η/Υ μέσω του serial monitor.

Όπως φαίνεται στην (Εικόνα 4-15), στην σύνδεση του αισθητήρα πίεσης με τον μικροελεγκτή ήταν απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν δύο αντιστάσεις 1 έως 10 (ΚΩ) στους ακροδέκτες του αισθητήρα πίεσης SCL- SDA και στην υποδοχή τροφοδοσίας του μικροελεγκτή (SUP) όπως ορίζει το πρωτόκολλο επικοινωνίας I²C. Έπειτα από πολλές δοκιμές αποδείχτηκε κατάλληλη τιμή της αντίστασης η 4,7 (ΚΩ), όπου με αυτή στην ουσία επιτυγχάνουμε την μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων.

Η συναρμολόγηση όπως φαίνεται στην (Εικόνα 4-16) και η εξαέρωση του υδραυλικού κυκλώματος, πραγματοποιήθηκε με μία συγκεκριμένη διαδικασία όπως ορίζεται από την εταιρεία KELLER.



Εικόνα 4-16: Συναρμολόγηση του υδραυλικού κυκλώματος

Ακολουθεί η απαρίθμηση των βημάτων της συναρμολόγησης και της διαδικασίας εξαερισμού με τη σειρά που πραγματοποιήθηκαν ,όπως επίσης έχουν απαριθμηθεί και τα στιγμιότυπα στην (Εικόνα 4-16).

1. Τοποθέτηση κατάλληλης ποσότητας λαδιού στο δοχείο πλήρωσης της χειροκίνητης αντλίας (περίπου 100 ml) (1).
2. Προσαρμογή του μανομέτρου βαθμονόμησης στην ειδική υποδοχή της αντλίας χωρίς να βιδωθεί τέρμα (2).
3. Αύξηση της πίεσης του λαδιού κάνοντας τις χειρολαβές της αντλίας, μέχρι από την σύνδεση να διαρρεύσει λάδι χωρίς αέρα και σφίξιμο της σύνδεσης.
4. Αφαίρεση του κλίματος από την άλλη ειδική υποδοχή της αντλίας και τοποθέτηση του εύκαμπτου σωλήνα υψηλής πίεσης σε αυτήν (3,4).
5. Τοποθέτηση αντίπτορα στον αισθητήρα πίεσης και σύνδεση αυτών με τον εύκαμπτο σωλήνα χωρίς να βιδωθεί τέρμα η σύνδεση (5,6).
6. Επανάληψη της διαδικασίας εξαέρωσης όπως για το μανόμετρο.

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας εξαερισμού, το ηλεκτρονικό μανόμετρο συνδέθηκε στον Η/Υ μέσω του USB Converter K-114, ενώ ο μικροελεγκτής μέσω καλωδίου USB, όπως φαίνεται στην (Εικόνα 4-16) στα (7-8) αντίστοιχα και ξεκίνησε η καταγραφή.

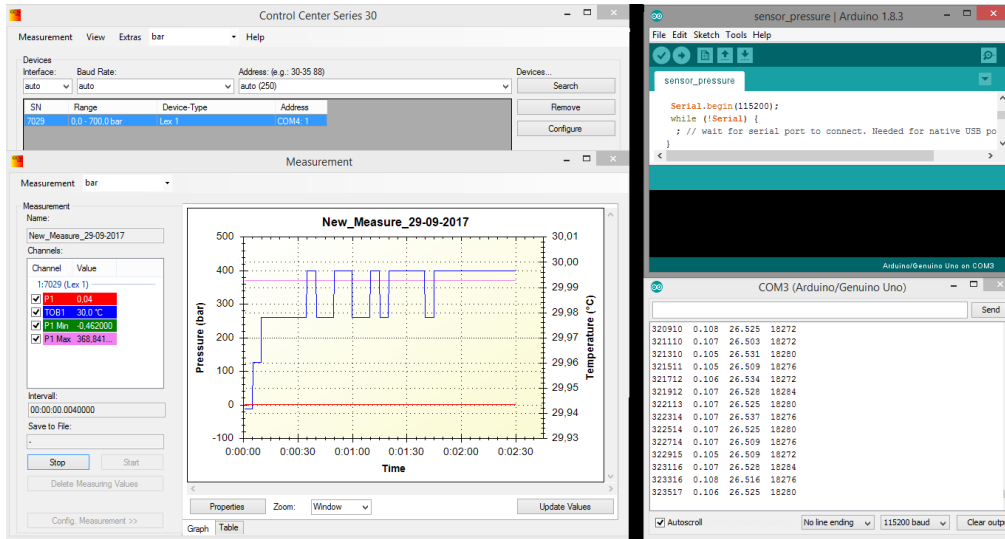
Στήλη1	Στήλη2	Στήλη3	Στήλη4
Time Manometer (millisecond)	Pressure Manometer (bar)	Time Transmitter (millisecond)	Pressure Transmitter (bar)
791	-0,0121292	16	0,097
967	-0,0119323	34	0,099
1175	-0,0118484	53	0,096
1350	-0,0117729	71	0,099
1574	-0,0102457	90	0,099
1749	-0,0072207	108	0,097
1925	-0,007608	126	0,098
2180	-0,0097231	145	0,097

Πίνακας 4-8: Χρονικά διαστήματα τύπωσης μετρήσεων

Όπως φαίνεται στον (πίνακα 4-8), το μέσο χρονικό διάστημα εκτύπωσης κάθε μέτρησης από το μανόμετρο (Στήλη 1), είναι μία μέτρηση ανά 200 (millisecond) περίπου, ενώ ο χρόνος εκκίνησης τύπωσης των μετρήσεων είναι 791 (millisecond). Ο μικροελεγκτής στον οποίο είναι συνδεδεμένος ο αισθητήρας πίεσης, τυπώνει σταθερά μία μέτρηση κάθε 18 (millisecond) (Στήλη 3) και ο χρόνος εκκίνησης τύπωσης των μετρήσεων είναι 16 (millisecond). Για να είναι ευκολότερη η σύγκριση των διαγραμμάτων, έγινε σχετικός συγχρονισμός στο μανόμετρο και στον αισθητήρα πίεσης να τυπώνουν κάθε μέτρηση περίπου την ίδια χρονική στιγμή, όπως φαίνεται στον (πίνακα 4-9).

Στήλη1	Στήλη2	Στήλη3	Στήλη4
Time Manometer (millisecond)	Pressure Manometer (bar)	Time Transmitter (millisecond)	Pressure Transmitter (bar)
811	0,012	809	0,07
995	0,012	1010	0,07
1220	0,011	1211	0,07
1394	0,011	1412	0,07
1618	0,012	1611	0,07
1778	0,014	1812	0,07
1969	0,013	2013	0,07
2193	0,014	2213	0,07

Πίνακας 4-9: Συγχρονισμός των μετρήσεων



Εικόνα 4-17: Control Center Series 30 και Arduino IDE

Για την καταγραφή των μετρήσεων του αισθητήρα και του μανομέτρου στον Η/Υ, χρησιμοποιήθηκαν το περιβάλλον ανάπτυξης Arduino IDE και το πρόγραμμα Control Center Serie 30, όπως φαίνονται στην (Εικόνα 4-17) δεξιά και αριστερά αντίστοιχα. Κατά την εκκίνηση του πειράματος, τα 2 προγράμματα μπαίνουν σε λειτουργία με σχετικό ταυτοχρονισμό και καταγράφουν τις μετρήσεις καθ' όλη τη διάρκεια διεξαγωγής του. Κατά την λήξη του πειράματος, σταματάει η καταγραφή, αποθηκεύοντας τις μετρήσεις και από τα δύο προγράμματα.

Το αρχείο txt που αποτελείται από τις μετρήσεις του αισθητήρα πίεσης περιέχει, τον σχετικό χρόνο καταγραφής της κάθε μέτρησης σε (millisecond), τις τιμές πίεσης σε (bar), τις τιμές θερμοκρασίας σε (°C) και τον χρόνο προσπέλασης του προγράμματος σε (microsecond).

Το αρχείο csv που αποτελείται από τις μετρήσεις του μανομέτρου, περιέχει τον σχετικό χρόνο καταγραφής της κάθε μέτρησης σε μορφή (ώρα : λεπτά : δευτερόλεπτα : millisecond), τις τιμές πίεσης σε (Bar), τις τιμές θερμοκρασίας σε (°C) και τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές πίεσης σε (Bar).

Time	SN:7029 (Lex 1):P1	File	Edit	Format	V	A	B	C	D	E	F	
4	0:00:00:830	0:00:01:239	1	0	0	830					830	
5	0:00:01:064	0:00:01:415	2	0	0	1 64					1064	
6	0:00:01:239	0:00:01:607	3	0	0	1 239					1239	
7	0:00:01:415	0:00:01:799	4	0	0	1 415					1415	
8	0:00:01:607	0:00:02:070	5	0	0	1 607					1607	
9	0:00:01:799	0:00:02:246	6	0	0	1 799					1799	
10	0:00:02:070	0:00:02:453	7	0	0	2 70					2070	
11	0:00:02:246	0:00:02:661	8	0	0	2 246					2246	
12	0:00:02:453	0:00:02:852	9	=((A9*360000)+(B9*60000)+(C9*1000)+D9)								
13	0:00:02:661	0:00:03:076	10								2852	
14	0:00:02:852	0:00:03:252	11	0	0	2 852					2852	
15	0:00:03:076	0:00:03:427	12	0	0	3 76					3076	
16		0:00:03:619										
		0:00:03:795										

Μορφή h:min:sec:msec

Αρχείο TXT

Διαχωρισμός τιμών στο Excel

Εικόνα 4-18: μετατροπή σχετικού χρόνου σε millisecond

Η επεξεργασία των δεδομένων ξεκινάει παίρνοντας τις μετρήσεις σχετικού χρόνου από το αρχείο csv όπως φαίνεται αριστερά στην (Εικόνα 4-18) και τοποθετώντας τις σε ένα αρχείο txt. Στη συνέχεια κάνοντας εισαγωγή του αρχείου txt σε ένα αρχείο Excel, οι μετρήσεις που έχουν τη μορφή (ώρα : λεπτά : δευτερόλεπτα : millisecond) χωρίζονται σε 4^ης στήλες A,B,C και D, όπως φαίνεται δεξιά στην (Εικόνα 4-18). Εισάγοντας στην στήλη F τον τύπο (h*3600000) + (min*60000) + (sec*1000) + (millisecond), ο χρόνος μετατρέπεται σε millisecond.

A	B	C	D
Time Manometer (millisecond)	Pressure Manometer (bar)	Time Transmitter (millisecond)	Pressure Transmitter (bar)
811	0,012	809	0,07
995	0,012	1010	0,07
1220	0,011	1211	0,07
1394	0,011	1412	0,07
1618	0,012	1611	0,07
1778	0,014	1812	0,07
1969	0,013	2013	0,07
2193	0,014	2213	0,07

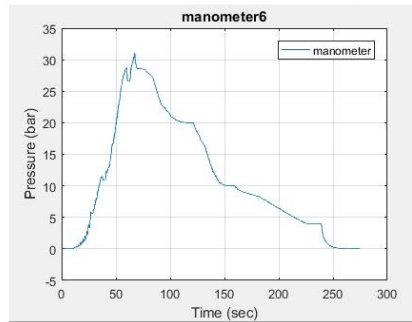
```

1 - close all;clear all;clc;
2
3 - data=importdata('manometro6_ard
4
5 - time=data(:,1);
6 - pressure=data(:,2);
7 - time1=data(:,3);
8 - pressure1=data(:,4);
9
10 - sec=time/1000;

```

Αρχείο μετρήσεων Excel

Εισαγωγή αρχείου Excel στο Matlab

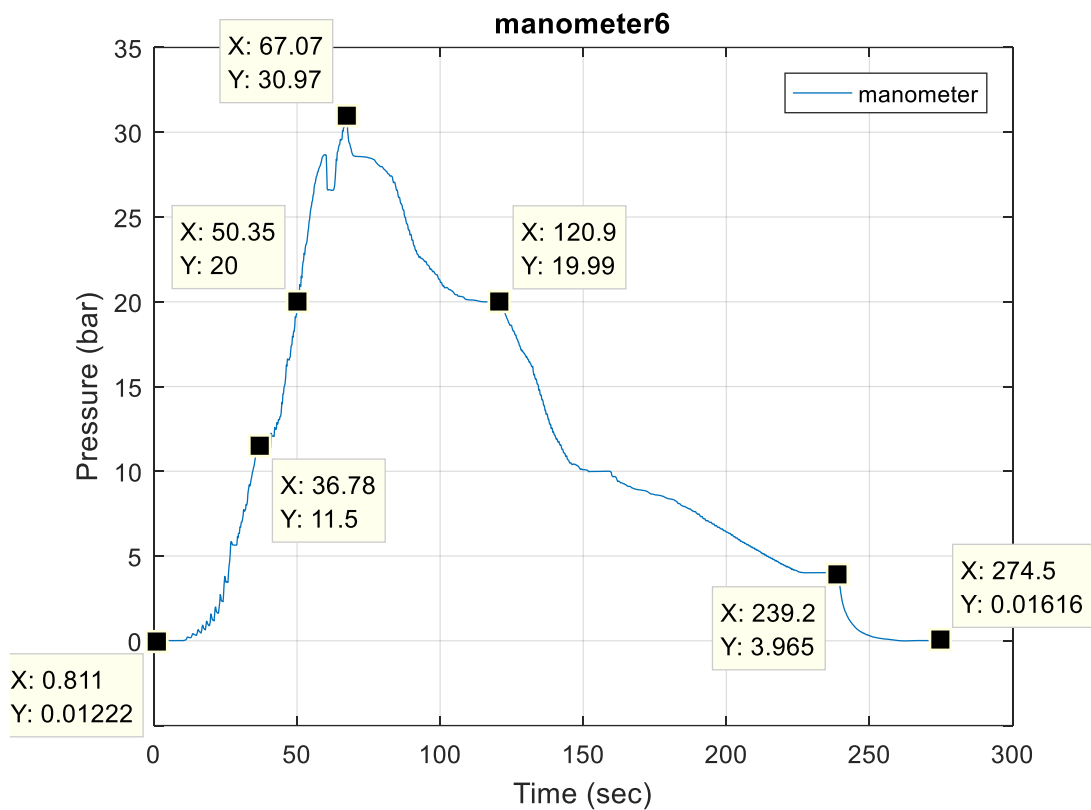


Διαγράμμα τιμών πίεσης-χρόνου

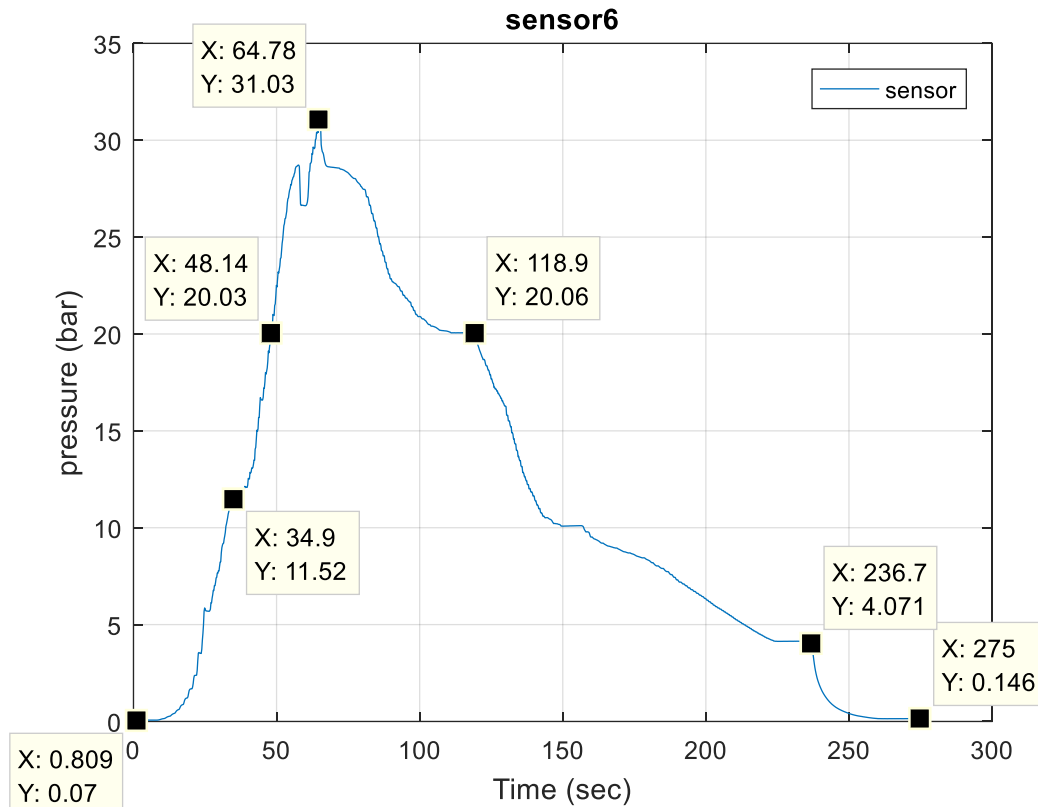
Εικόνα 4-19: Εξαγωγή των μετρήσεων σε γράφημα από το Matlab

Έχοντας δύο αρχεία με ίδια μορφή δεδομένων σχετικού χρόνου και πίεσης, από το μανόμετρο και τον αισθητήρα πίεσης, τα δεδομένα τοποθετούνται σε ένα κοινό αρχείο Excel, όπως φαίνεται στην (Εικόνα 4-19). Εισάγοντας το αρχείο αυτό στο Matlab, έγινε η εξαγωγή του γραφήματος πίεσης-χρόνου για το μανόμετρο και τον αισθητήρα πίεσης (γράφημα 4-1).

Τα αποτελέσματα του πειράματος παρουσιάζονται και αναλύονται στα παρακάτω διαγράμματα.



Γράφημα 4-1: Γράφημα Μανομέτρου



Γράφημα 4-2: Γράφημα Αισθητήρα πίεσης

Για την σύγκριση των γραφημάτων επιλέχτηκαν χαρακτηριστικά σημεία αλλαγής της πίεσης πάνω στις καμπύλες όπως είναι το σημείο μέγιστης πίεσης.

Παρατηρώντας το (Γράφημα 4-2) από τον αισθητήρα πίεσης, βλέπουμε ότι η πρώτη μέτρηση είναι μεγαλύτερη από αυτή στο (Γράφημα 4-1) του μανομέτρου κατά 0,058 (bar), η μέγιστη πίεση είναι μεγαλύτερη κατά 0,06 (bar) ενώ η τελική μέτρηση είναι μεγαλύτερη κατά 0,13 (bar). Στα δύο ενδιάμεσα σημεία κατά την γρήγορη άνοδο της πίεσης, οι τιμές του αισθητήρα πίεσης είναι μεγαλύτερες κατά 0,03 (bar), ενώ στα δύο ενδιάμεσα σημεία κατά την κάθοδο της πίεσης όπου αυτή διατηρείται σταθερή, οι τιμές του αισθητήρα πίεσης είναι μεγαλύτερες κατά 0,11 (bar).

Από αυτό προκύπτει το συμπέρασμα ότι σε συνθήκες σταθερής πίεσης το μέγιστο σφάλμα του αισθητήρα πίεσης είναι + 0,13 (bar), ενώ σε συνθήκες όπου η πίεση μεταβάλλεται το μέγιστο σφάλμα του είναι +0,03 (bar).

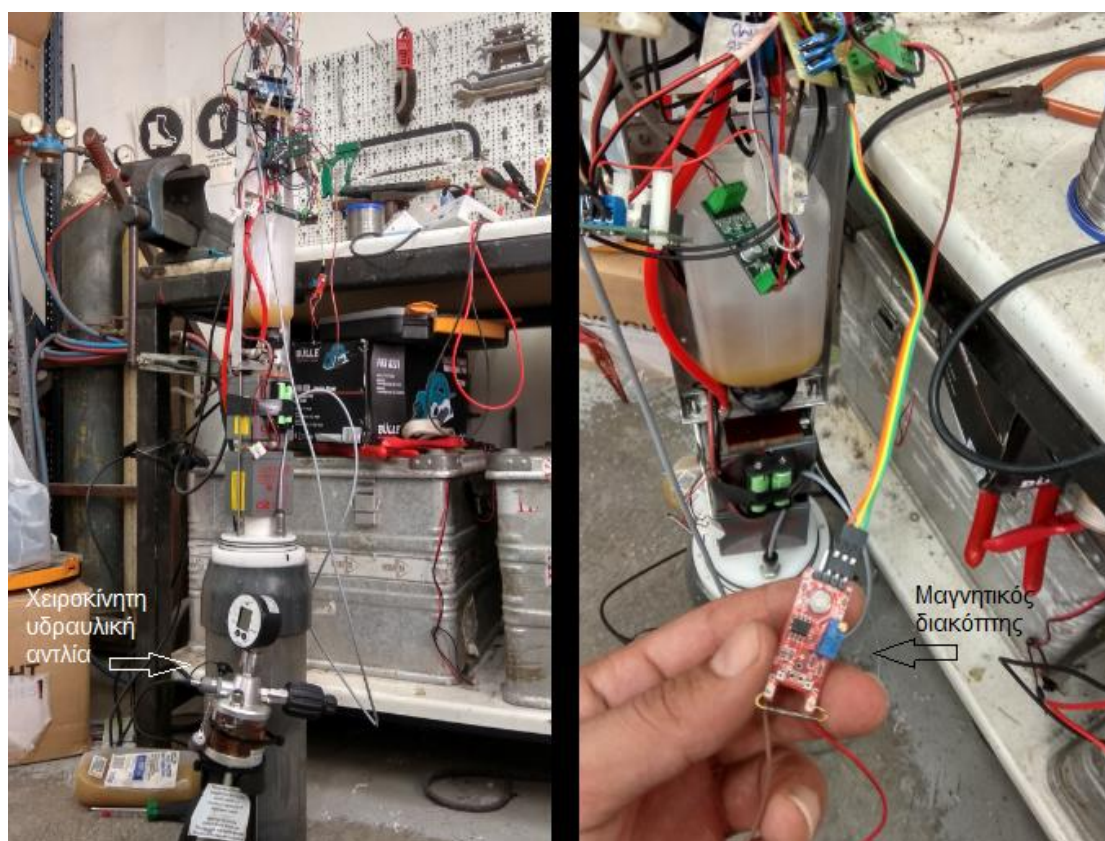
7.2 Εργαστηριακές δοκιμές

Στις εργαστηριακές δοκιμές ο πρώτος έλεγχος αφορά την στεγανότητα του Housing όπου με μία αντλία κενού δημιουργήθηκε στο εσωτερικό του υποπίεση 0.2 (Bar) και παρέμεινε σφραγισμένο για περίπου μία ώρα. Όπως φαίνεται και στην (Εικόνα 7-1) η υποπίεση μέσα στο Housing παρέμεινε σταθερή πράγμα που σημάδεψε ότι δεν υπήρξε εισροή αέρα μέσα σε αυτό και είναι στεγανό. Ακόμη από αυτήν την δοκιμή μπορούμε να έχουμε μία εργαστηριακή εκτίμηση για την αντοχή του Housing στα 50 (m) βάθος καθώς ο λόγος της εξωτερικής προς την εσωτερική πίεση $1 \text{ (Bar)} / 0.2 \text{ (Bar)} = 5$ η εξωτερική πενταπλάσια της εσωτερικής, το οποίο είναι αντίστοιχο με την εξωτερική να είναι 5 (Bar) και η εσωτερική 1 (Bar), $5 \text{ (Bar)} / 1 \text{ (Bar)} = 5$.



Εικόνα 7-1: Έλεγχος στεγανότητας

Ο δεύτερος εργαστηριακός έλεγχος αφορά την ορθή λειτουργία του ηλεκτρονικού και υδραυλικού κυκλώματος. Για την διεξαγωγή του ελέγχου αυτού σε σύντομο χρονικό διάστημα (καθώς ο μηχανισμός είναι προγραμματισμένος να εκτελεί μία κατάδυση / ανάδυση κάθε τρεις ώρες), προστέθηκε στο ηλεκτρονικό κύκλωμα του μηχανισμού ένας μαγνητικός διακόπτης, ο οποίος όταν ανιχνεύσει μαγνητικό πεδίο, δίνει σήμα στον MASTER και αυτός θέτει σε λειτουργία τον μηχανισμό για να εκτελέσει μία κατάδυση / ανάδυση στα 50 (m). Για την προσομοίωση του βάθους χρησιμοποιήθηκε η χειροκίνητη υδραυλική αντλία που αναφέρεται στο (υποκεφάλαιο 4.2.6.3) η οποία συνδέθηκε με τον αισθητήρα πίεσης. Στην (Εικόνα 7-2) φαίνεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη δοκιμή.



Εικόνα 7-2: Εξοπλισμός των εργαστηριακών δοκιμών

Ενεργοποιώντας με έναν μαγνήτη τον μηχανισμό, αυτός ξεκινάει να μεταφέρει συγκεκριμένη ποσότητα λαδιού από το εξωτερικό στο εσωτερικό Bladder προσομοιώνοντας την κατάδυση. Όταν η πίεση αυξηθεί με την χειροκίνητη υδραυλική αντλία και φτάσει τα 5 (Bar) ο αισθητήρας πίεσης ενημερώνει τον SLAVE και ο μηχανισμός ξεκινάει την προσομοίωση της ανάδυσης μεταφέροντας συγκεκριμένη ποσότητα λαδιού από το εσωτερικό στο εξωτερικό Bladder. Με αυτόν τον τρόπο έγινε ο εργαστηριακός έλεγχος αν ο μηχανισμός εκτελεί σωστά την λειτουργία κατάδυσης / ανάδυσης.

7.3 Δοκιμές στο πεδίο

Στο πεδίο (θαλάσσιο περιβάλλον) πραγματοποιήθηκαν δύο δοκιμές κατά τις οποίες στην πρώτη δοκιμή έγινε ο έλεγχος της αντοχής του Housing και λειτουργίας του μηχανισμού σε βάθος 50 (m), ενώ η δεύτερη δοκιμή έγινε σε βάθος 15 (m) αφενός για τον έλεγχο της ορθής λειτουργίας του μηχανισμού και αφετέρου για την λήψη φωτογραφικού υλικού καθ' όλη την διάρκεια εκτέλεσης της κατάδυσης / ανάδυσης. Για την διευκόλυνση της διεξαγωγής των δοκιμών στο πεδίο χρησιμοποιήθηκε ο μαγνητικός διακόπτης όπως αναφέρεται στο (υποκεφάλαιο 7.1).

Για την πρώτη δοκιμή χρησιμοποιήθηκε το φουσκωτό σκάφος του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Κρήτης, με το οποίο μεταβήκαμε 2,43 ναυτικά μίλια βόρεια της περιοχής Γούρνες και σε βάθος 75 μέτρων όπως φαίνεται στην (Εικόνα 7-3) αριστερά.



Εικόνα 7-3: Τοποθεσία και σκάφος δοκιμής

Αφού φτάσαμε στο σημείο της πόντισης, για λόγους ασφαλείας ο μηχανισμός μεταβλητής πλευστότητας, δέθηκε σε καλάμι ψαρέματος με λεπτό νήμα (Εικόνα 7-3) δεξιά, για να μην επηρεαστεί η καθοδική και ανοδική πορεία του. Ενεργοποιώντας τον μηχανισμό με έναν μαγνήτη ξεκίνησε η διαδικασία της κατάδυσης όπου μετέφερε συγκεκριμένη ποσότητα λαδιού από το εξωτερικό στο εσωτερικό Bladder και καταδύθηκε (Εικόνα 7-4) αριστερά. Έπειτα από αναμονή 30 λεπτών ο μηχανισμός δεν είχε αναδυθεί και έτσι ανασύρθηκε στην επιφάνεια με το καλάμι ψαρέματος (Εικόνα 7-4) δεξιά.



Εικόνα 7-4: Κατάδυση και ανέλκυση του μηχανισμού από 50 (m)

Μεταφέροντας τον στο εργαστήριο του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. πραγματοποιήθηκε έλεγχος όπου διαπιστώθηκε να έχει καεί η κεντρική ασφάλεια του συστήματος, αφού είχε εκτελεστεί σωστά η διαδικασία της κατάδυσης και ξεκινούσε η διαδικασία της ανάδυσης. Αυτό συνέβη για τον λόγο ότι η αντλία τράβηξε στιγμιαία περισσότερο ρεύμα από όσο αντέχει η ασφάλεια, για να μεταφέρει λάδι από το εσωτερικό στο εξωτερικό Bladder με πίεση 5 (Bar), συμπεραίνοντας ότι χρειάζεται μεγαλύτερη ασφάλεια για την ορθή λειτουργία του μηχανισμού σε αυτό το βάθος. Η ασφάλεια αντικαταστάθηκε με μεγαλύτερη και η ορθή λειτουργία του μηχανισμού αποκαταστάθηκε. Το Housing του μηχανισμού ανταποκρίθηκε άψογα στις συνθήκες της δοκιμής, όπου άντεξε σε πίεση 5 (Bar) για 30 λεπτά και παρέμεινε στεγανό.

Η δεύτερη δοκιμή στο πεδίο πραγματοποιήθηκε βόρεια του λιμανιού της περιοχής Γούρνες, σε βάθος 15 (m), χρησιμοποιώντας ένα ιδιωτικό βαρκάκι όπως φαίνεται στην (Εικόνα 7-5).



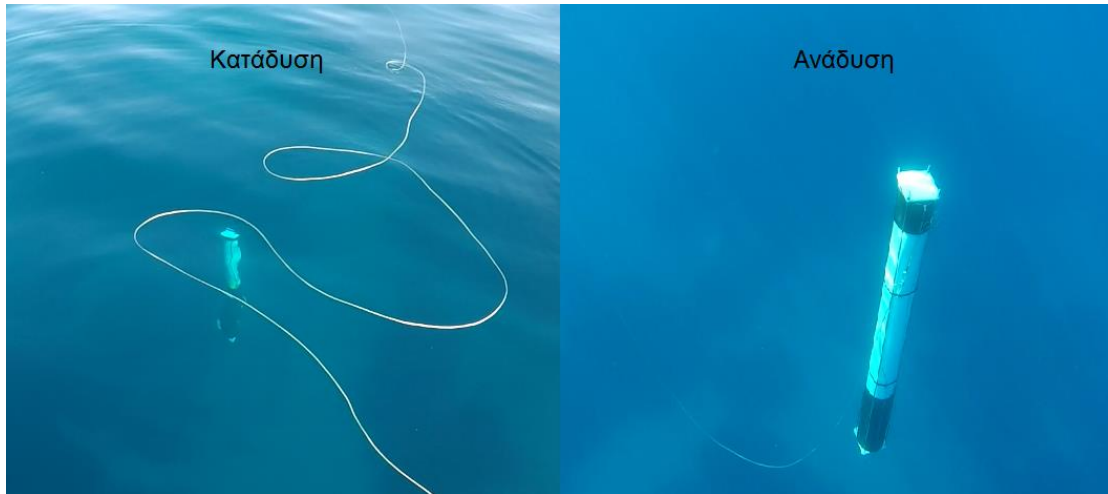
Εικόνα 7-5: Τοποθεσία και σκάφος δοκιμής

Αφού φτάσαμε στο σημείο της πόντισης, για λόγους ασφαλείας ο μηχανισμός μεταβλητής πλευστότητας, δέθηκε με λεπτό σχοινί και έπεσε στο νερό. Ενεργοποιώντας τον μηχανισμό με έναν μαγνήτη (Εικόνα 7-6), ξεκίνησε η διαδικασία της κατάδυσης μεταφέροντας συγκεκριμένη ποσότητα λαδιού από το εξωτερικό στο εσωτερικό Bladder.



Εικόνα 7-6: Ενεργοποίηση του μηχανισμού με τον μαγνήτη

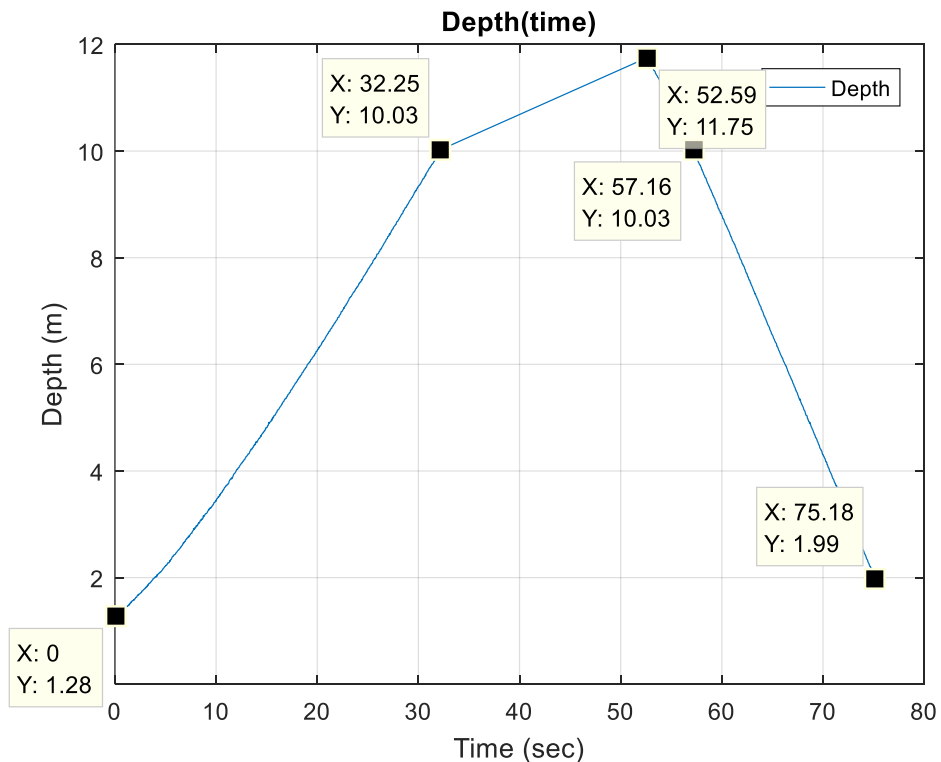
Καθ' όλη τη διάρκεια της κατάδυσης (Εικόνα 7-7) αριστερά και αφού έχει γίνει η μεταφορά του λαδιού, ο μηχανισμός καταγράφει τα δεδομένα χρόνος, πίεση και στιγμιαία ταχύτητα κατάδυσης σε μία SD card. Όταν έφτασε σε βάθος 10 (m) ξεκίνησε την διαδικασία της ανάδυσης (Εικόνα 7-7) δεξιά, μεταφέροντας συγκεκριμένη ποσότητα λαδιού από το εσωτερικό στο εξωτερικό Bladder. Καθόλα τη διάρκεια της ανάδυσης και αφού έχει γίνει η μεταφορά του λαδιού, ο μηχανισμός καταγράφει τα δεδομένα χρόνος, πίεση και στιγμιαία ταχύτητα ανάδυσης στην SD card έως ότου φτάσει στα 2 (m) όπου απενεργοποιείται και περιμένει την επανενεργοποίησή του από τον μαγνήτη. Ο μηχανισμός πέρασε την δοκιμή με επιτυχία πραγματοποιώντας τέσσερις αναδύσεις / καταδύσεις, καταγράφοντας τα δεδομένα στην SD card και το Housing παρέμεινε στεγανό.



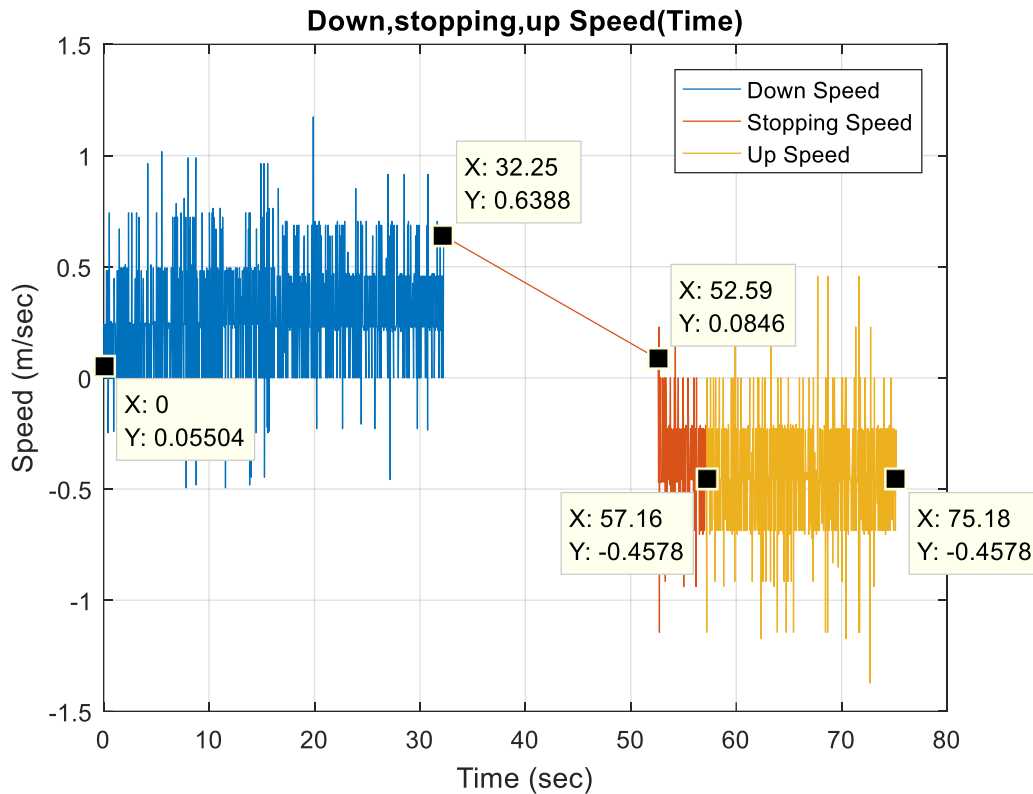
Εικόνα 7-7: Κατάδυση και ανάδυση του μηχανισμού σε βάθος 10 (m)

Τα δεδομένα χρόνου, βάθους και ταχύτητας που κατέγραψε ο μηχανισμός στην SD card, επεξεργάστηκαν στο πρόγραμμα MATLAB και έγινε εξαγωγή δύο γραφημάτων από αυτά. Στο πρώτο, (γράφημα 7-1) απεικονίζεται η μεταβολή του βάθους συνάρτηση του χρόνου, όπου φαίνεται η διαδικασία της κατάδυσης να ξεκινάει την χρονική στιγμή 0 (sec) από βάθος 1,28 (m), το οποίο είναι το μήκος του μηχανισμού και η καταγραφή των δεδομένων έχει ξεκινήσει αφού το λάδι έχει μεταφερθεί στο εσωτερικό Bladder.

Στο (γράφημα 7-1) φαίνεται ότι ο μηχανισμός εκτελεί την διαδικασία της κατάδυσης έως τα 10 (m) σε χρόνο 32,25 (sec), ενώ στο (γράφημα 7-2) φαίνεται η στιγμιαία ταχύτητα κατάδυσης με μπλε χρώμα με μία μέση ταχύτητα κατάδυσης 0,2699 (m/sec).



Γράφημα 7-1: Απεικόνιση του βάθους συνάρτηση του χρόνου



Γράφημα 7-2: Απεικόνιση των ταχυτήτων κατάδυσης, φρεναρίσματος και ανάδυσης συνάρτηση του χρόνου

Την χρονική στιγμή 32,25 (sec) (γράφημα 7-1), (γράφημα 7-2) ο μηχανισμός έχει φτάσει σε βάθος 10 (m). Παρατηρείται στο (γράφημα 7-1) από την χρονική στιγμή 32,25 (sec) έως την χρονική στιγμή 52,59 (sec), ότι ο μηχανισμός ξεπερνάει το 10 (m) και συνεχίζει να καταδύεται με μικρότερο ρυθμό μεταβολής του βάθους μέχρι τα 12 (m). Στο (γράφημα 7-2) από την χρονική στιγμή 32,25 (sec) έως την χρονική στιγμή 52,59 (sec), ο μηχανισμός σταματάει να καταγράφει δεδομένα, και ασχολείται με την μέτρηση της ποσότητας του λαδιού που μεταφέρεται από το εσωτερικό στο εξωτερικό Bladder η οποία διαρκεί 20 (sec) και έπειτα συνεχίζει την καταγραφή των δεδομένων. Από αυτές τις καταστάσεις στα δύο γραφήματα, συμπεραίνουμε ότι για να επιβραδύνει και να σταματήσει ο μηχανισμός χρειάζεται να διανύσει βάθος 2 (m) και χρόνο 20 (sec).

Από την χρονική στιγμή 52,59 (sec) έως 57,16 (sec) (γράφημα 7-1), ο μηχανισμός αναδύεται από τα 12 (m) έως τα 10 (m) σε χρόνο 4,57 (sec), όπως την ίδια χρονική περίοδο φαίνεται στο (γράφημα 7-2) με πορτοκαλί χρώμα και αρνητικό πρόσημο, η στιγμιαία ταχύτητα ανάδυσης του.

Την χρονική στιγμή 57,16 (sec) έως 75,18 (sec) (γράφημα 7-1) ο μηχανισμός αναδύεται από τα 10 (m) έως τα 2 (m), με στιγμιαία ταχύτητα όπως φαίνεται στο (γράφημα 7-2) με κίτρινο χρώμα και μέση ταχύτητα ανάδυσης 0,4052 (m/sec). Στα 2 (m) σταματάει η καταγραφή των δεδομένων και ο μηχανισμός απενεργοποιείται.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η λειτουργία του μηχανισμού έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα στο πεδίο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8 Συμπεράσματα – προτάσεις για μελλοντική εξέλιξη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είχε ως στόχο τη σχεδίαση και κατασκευή ενός παράκτιου αυτόνομου μηχανισμού μεταβλητής πλευστότητας χαμηλού κόστους, για την συλλογή δεδομένων από στήλη ύδατος.

Από τις δοκιμές του μηχανισμού οι οποίες αναφέρονται στο κεφάλαιο 7, προκύπτει ότι ο μηχανισμός που κατασκευάστηκε είναι ικανός να εκτελεί προγραμματισμένες αναδύσεις και καταδύσεις σε συγκεκριμένο βάθος και να καταγράφει δεδομένα καθ' όλη την διάρκεια αυτών. Ανάλογα με τα δεδομένα που επιθυμούν οι ερευνητές, θα πρέπει να τοποθετηθούν και τα κατάλληλα μετρητικά όργανα πάνω στον μηχανισμό για να τα συλλέγουν.

Για μελλοντική βελτιστοποίηση της αυτονομίας του μηχανισμού μπορούν να τοποθετηθούν φωτοβολταϊκά πάνελ στο πάνω προστατευτικό καπάκι, ούτως ώστε όταν ο μηχανισμός βρίσκεται στην επιφάνεια και περιμένει για την επόμενη κατάδυση, να φορτίζει τις μπαταρίες του.

Για την αύξηση της άνωσης του μηχανισμού αν αυτό είναι απαραίτητο, οι μπαταρίες του μπορούν να αντικατασταθούν με μπαταρίες λιθίου οι οποίες έχουν πολύ μικρότερο βάρος από τις μπαταρίες μόλυβδου που χρησιμοποιούνται, όμως χρειάζεται έρευνα για το πώς μπορούν να φορτίσουν από φωτοβολταϊκά πάνελ, καθώς οι μπαταρίες λιθίου χρειάζονται συγκεκριμένες συνθήκες φόρτισης.

Για την ευκολότερη λήψη των δεδομένων μπορεί να τοποθετηθεί στο πάνω μέρος του μηχανισμού μία κεραία, η οποία όταν ο μηχανισμός είναι σταθμευμένος στην επιφάνεια της θάλασσας, να στέλνει δορυφορικά τα δεδομένα. Με αυτόν τον τρόπο θα έχουν οι ενδιαφερόμενοι τα δεδομένα σε άμεσο χρόνο χωρίς να χρειάζεται να ανασύρουν τον μηχανισμό για να τα πάρουν.

Αν είναι απαραίτητη η αύξηση της ταχύτητας ανάδυσης και κατάδυσης του μηχανισμού, μία λύση θα ήταν να κατασκευαστούν προστατευτικά καπάκια σε σχήμα κώνου τα οποία θα προσδίδουν στο σώμα του μηχανισμού ένα ποιο υδροδυναμικό σχήμα, όπως αυτό της τορπίλης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

9 Βιβλιογραφία

- [1] “Θαλάσσια έρευνα.” [Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available: <http://www.helmeacadets.gr/gr/sea-human/marine-research>
- [2] “Autonomous underwater vehicles : modeling, control design, and simulation,” 2011. [Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Autonomous_underwater_vehicle
- [3] S. A. Jenkins, D. E. Humphreys, J. Sherman, J. Osse, C. Jones, and N. Leonard, “Underwater Glider System Study,” May 2003. [Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Underwater_glider
- [4] “About Argo,” *Argo part Integr. Glob. Obs. Strateg.* [Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available: [https://en.Wikipedia.org/wiki/Argo_\(oceanography\)](https://en.Wikipedia.org/wiki/Argo_(oceanography))
- [5] “Αρχή του Αρχιμήδη - Βικιπαίδεια.” [Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%81%CF%87%CE%AE_%CF%84%CE%B7%CF%85_%CE%91%CF%81%CF%87%CE%B9%CE%BC%CE%AE%CE%B4%CE%B7
- [6] “POM-C unfilled - TECAFORM AH natural | Ensinger.” [Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available: http://www.ensingeronline.com/modules/public/sheet/createsheet.php?SID=1344&FL=0&FILENAME=TECAFORM_AH_natural_0.PDF&ZOOM=1.2
- [7] “Arduino Uno.” [Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf>
- [8] “Arduino Pro Mini Pin Diagram, Technical Specifications, Alternative and How to Use It.” [Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available: <https://components101.com/microcontrollers/arduino-pro-mini>
- [9] “TCS Micropumps.” [Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available: <http://www.micropumps.co.uk/TCSMG2000range.htm>
- [10] “You searched for 2WH03008FI - Trimantec.” [Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available: https://trimantec.com/?s=2WH03008FI&submit=Search&post_type=product
- [11] “Μονές ανεπίστροφες| Κ. ΠΑΡΗΣ Α.Ε. [Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available: <http://www.cparis.gr/categories/98/%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CF%80%CE%AF%CF%83%CF%84%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%B5%CF%82-%CE%B2%CE%B1%CE%BB%CE%B2%CE%AF%CE%B4%CE%B5%CF%82> ”
- [12] “Description of the Communication Protocol for Series 4 LD ... 9LD OEM pressure transmitter from KELLER. [Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available: http://www.keller-druck.com.pl/produkty/przetworniki/pdf/4ld_9ld_protocol_e.pdf”

- [13] Software interrupt based real time clock source code project for PIC microcontroller. ”
[Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_clock
- [14] “Manual interface converter, K-114. ” [Accessed: 17-06-2018].
[Online]. Available: http://www.keller-druck.com/picts/pdf/engl/man_K-114_e.pdf
- [15] “Keller LEX1 Digital Pressure Gauge | Pressure Gauges | Instrumart. ”
[Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available:
<https://www.instrumart.com/products/31008/keller-lex1-digital-pressure-gauge>
- [16] “SI Pressure HTP1 Hydraulic Hand Pump | Calibration Pumps / Pressure Sources | Instrumart. ” [Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available:
<https://www.instrumart.com/products/4581/si-pressure-htp1-hydraulic-hand-pump>
- [17] “Understand and reduce DC/DC switching-converter ground noise,” *Eetimes.com*,”
[Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/DC-to-DC_converter.
- [18] “Solid-state relay - Wikipedia. ” [Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available:
https://en.wikipedia.org/wiki/Solid-state_relay
- [19] “Measuring Voltage with Arduino. ” [Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available:
<https://startingelectronics.org/articles/arduino/measuring-voltage-with-arduino/>
- [20] “Μπαταρία - Βικιπαίδεια. ” [Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available:
<https://el.wikipedia.org/wiki/Μπαταρία>
- [21] “Τύποι μπαταριών | Αφης. ” [Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available:
<http://www.afis.gr/typoi-mpatarion>
- [22] “Battery NCR18650B. ” [Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available:
<https://www.batteryspace.com/prod-specs/NCR18650B.pdf>
- [23] “CSB Battery Technologies. ” [Accessed: 17-06-2018]. [Online]. Available:
http://www.csb-battery.com/english/01_product/02_detail.php?fid=8&pid=33
- [24] “Programming Arduino Getting Started with Sketches,” [Accessed: 17-06-2018].
[Online]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Arduino>.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

10 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

10.1 Δίαυλος επικοινωνίας I²C

Το πρωτόκολλο I²C (Inter-Integrated Circuit) [12] είναι ένας σειριακός διάυλος επικοινωνίας περιφερειακών συσκευών μικρής ταχύτητας (π.χ. αισθητήρας πίεσης) με μητρικές πλακέτες (π.χ. μικροελεγκτής Arduino). Η διασύνδεσή τους μπορεί να γίνει είτε με τυπωμένο κύκλωμα είτε με καλώδιο. Ο διάυλος χρησιμοποιεί δύο αμφίδρομες γραμμές επικοινωνίας, την SDA (I²C Data) που είναι η γραμμή για τη μεταφορά δεδομένων και την SCL (I²C Clock) που είναι η γραμμή ρολογιού και συγχρονίζει την επικοινωνία. Η πιο συνηθισμένη συχνότητα στο I²C Clock είναι 100 (KHz) όμως μπορεί να μειωθεί ή να αυξηθεί ανάλογα με τις απαιτήσεις του διαύλου.

Κάθε μία από αυτές συνδέονται με μία αντίσταση ανύψωσης δυναμικού 1...10 (ΚΩ) (Pull-up) στην γραμμή τροφοδοσίας SUP, έτσι ώστε όλη η γραμμή να βρίσκεται σε υψηλό επίπεδο και μόνο όταν δοθεί χαμηλό επίπεδο σε μία από τις δύο γραμμές SDA SCL η συνολική γραμμή να βρεθεί σε χαμηλό επίπεδο. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται διακριτό πότε ο διάυλος είναι απασχολημένος και πότε όχι. Αν δεν τοποθετηθούν αντιστάσεις, τότε η συνολική γραμμή θα βρίσκεται πάντα σε χαμηλό επίπεδο και ο διάυλος θα φαίνεται συνεχώς απασχολημένος και δεν θα λειτουργεί. Το χαμηλό (low) και το υψηλό (high) επίπεδο αντιπροσωπεύουν το λογικό 0 και το λογικό 1 αντίστοιχα τα οποία σε τάση εκφράζονται 30% και 70% της τάσης τροφοδοσίας.

Οι συσκευές που συνδέονται στον διάυλο μπορούν να είναι είτε master είτε slave. Η master είναι αυτή που ελέγχει και οδηγεί την γραμμή I²C Clock ενώ η slave είναι αυτή που ανταποκρίνεται στην master. Δεδομένα μπορούν να στείλουν και η master και η slave, όμως μόνο η master μπορεί να ελέγξει, να ξεκινήσει και να τερματίσει την μεταφορά δεδομένων. Σε έναν διάυλο I²C μπορούν να συνδεθούν πολλές συσκευές slave και master, έχοντας όμως η κάθε μία ξεχωριστή διεύθυνση επικοινωνίας (π.χ. Slave address 0x40). Η master συσκευή δεν χρειάζεται να έχει διεύθυνση αν στον διάυλο χρησιμοποιείται μόνο μία. Ο αριθμός των συσκευών που μπορούν να συνδεθούν στον διάυλο, εξαρτάται από τις διαθέσιμες διευθύνσεις και την χωρητικότητα του διαύλου που δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 400 Pf. Ο μέγιστος αριθμός συνδεδεμένων συσκευών στον διάυλο μπορεί να είναι είτε 128 αν οι διευθύνσεις αποτελούνται από 7 bit είτε 1024 αν οι διευθύνσεις αποτελούνται από 10 bit.

Κάθε περιβάλλον δεδομένων αποτελείται από **έναρξη – δεδομένα – λήξη**. Όταν η master θέλει να επικοινωνήσει με την slave, στην έναρξη μεταφοράς δεδομένων (the Start bit {S}) δίνεται από την master ένα σήμα παλμού στο SDA από high να είναι low ενώ στο SCL παραμένει high. Αφού δοθεί η έναρξη και αυτό γίνεται για να έχει χρόνο ο πομπός ή ο δέκτης να προετοιμαστεί και να δηλωθεί ότι ο διάυλος είναι απασχολημένος, ξεκινάει η αποστολή των δεδομένων. Το πρώτο Byte (8 bit) κάθε πλαισίου δεδομένων περιέχει τη διεύθυνση Slave address (στα πρώτα 7 bit) ενώ το 8^ο bit είναι R (Read) ή W (Write) . Το Start bit {S} το βλέπουν όλες οι συσκευές slave, όμως όταν αποσταλεί το πρώτο Byte με την Slave address τότε

ανταποκρίνεται μόνο η συσκευή με την συγκεκριμένη διεύθυνση, ενώ οι υπόλοιπες συσκευές μπαίνουν σε κατάσταση αναμονής. Στην λήξη μεταφοράς των δεδομένων (the STOP bit {P}) δίνεται από την master ένα σήμα παλμού στην SDA από low να είναι high ενώ στην SCL (μετά από τους παλμούς συγχρονισμού που δίνει για την αποστολή των δεδομένων) να παραμείνει high. Καθώς και οι δύο γραμμές είναι σε επίπεδο high, ο διάυλος παύει να είναι απασχολημένος και μπαίνει σε αδρανή κατάσταση.

Για τον προσδιορισμό του πλαισίου δεδομένων από την master, αν αυτό είναι για ανάγνωση ή για εγγραφή, στο 8^ο bit του 1^ο Byte (που περιέχει την διεύθυνση slave), δηλώνεται 1 (R) ή 0 (W) αντίστοιχα, αν δηλαδή η master λειτουργήσει ως πομπός ή ως δέκτης. Μετά από κάθε Byte του πλαισίου δεδομένων (και προς τις δύο κατευθύνσεις) ο δέκτης του Byte δίνει ανατροφοδότηση με το bit αναγνώρισης (A), για να δηλώσει ότι δέχτηκε το Byte σωστά και είναι έτοιμος για το επόμενο. Ο δέκτης πρέπει πάντα να επιβεβαιώνει τα Byte από ένα ACK (A). Αν ο δέκτης δεν ανταποκριθεί με το bit αναγνώρισης (A), τότε ο πομπός αυτό το Byte το ανιχνεύει ως εξαίρεση (π.χ. νομίζει ότι του έχουν δώσει λάθος διεύθυνση slave). Αν ο δέκτης είναι η master και έχει λάβει σωστά όλα τα Bytes του πλαισίου δεδομένων ανάγνωσης (5 Bytes από 8 bits το κάθε ένα), η master επιστρέφει μετά το τελευταίο Byte του πλαισίου δεδομένων ένα NACK (N), το οποίο απαιτείται για τον τερματισμό ενός πλαισίου δεδομένων (Bytes) ανάγνωσης. Βλέποντας τα ποιο αναλυτικά:

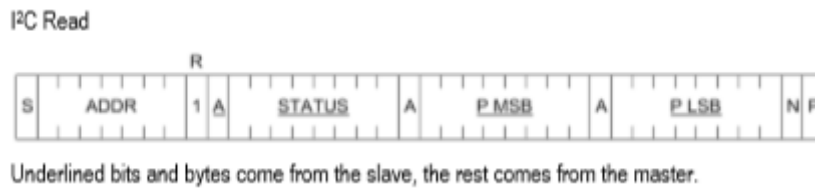
- I²C Write (γράφει ο Arduino στον αισθητήρα) (Εικόνα 10-1)



Εικόνα 10-1: I²C Write

1. Το πλαίσιο δεδομένων ξεκινάει με το bit (S) Start που δίνει ο master και σηματοδοτεί την εκκίνηση του πλαισίου δεδομένων.
2. Ξεκινάει το πρώτο Byte που αναφέρει την διεύθυνση slave (π.χ. 0x40) στα πρώτα 7 bit ενώ στο 8^ο bit δίνει το 0 (Write) για να δηλώσει ότι είναι πλαίσιο δεδομένων γραφής.
3. Δίνεται το (A) όπου είναι το bit αναγνώρισης που στέλνει η slave μετά από κάθε byte που δέχεται.
4. Το επόμενο byte είναι κάποια σχόλια που στέλνει η master στην slave,
5. Δίνεται πάλι το (A) από την slave
6. Η master δίνει το bit P το οποίο σηματοδοτεί το τέλος του πλαισίου δεδομένων.

- I²C Read (Διαβάζει ο Arduino από τον αισθητήρα) (Εικόνα 10-2)



Εικόνα 10-2: I²C Read

1. Το πλαίσιο δεδομένων ξεκινάει με το bit (S) Start που δίνει ο master και σηματοδοτεί την εκκίνηση του πλαισίου δεδομένων.
2. Ξεκινάει το πρώτο Byte που αναφέρει την διεύθυνση slave (π.χ. 0x40) στα πρώτα 7 bit ενώ στο 8^οbit δίνει το 1 (Read) για να δηλώσει ότι είναι πλαίσιο δεδομένων ανάγνωσης.
3. Η slave απαντάει στην master με το (A) που είναι το bit επιβεβαίωσης και με το Byte STATUS το οποίο περιγράφει την κατάσταση που βρίσκεται και περιλαμβάνει τα (Busy, Mode, Memory error).
4. Η master στέλνει στην slave το bit επιβεβαίωσης (A).
5. Η slave στέλνει στην master το byte PMSB το οποίο περιέχει τα δεδομένα πίεσης
6. Η master στέλνει στην slave το bit επιβεβαίωσης (A).
7. Η slave στέλνει στην master το byte PLSB το οποίο περιέχει τα δεδομένα πίεσης ακριβείας.
8. Η master στέλνει στην slave το bit N το οποίο σημαίνει τερματισμός ενός συνόλου δεδομένων ανάγνωσης και το bit P που σηματοδοτεί το τέλος του πλαισίου δεδομένων.