



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΝΑΛΙΟΥ
ΚΕΚΛΙΜΕΝΗΣ ΡΟΗΣ ΜΕ ΕΠΙΒΟΛΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ
ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ»**

ΥΠΟ

ΣΟΦΙΑΔΗ ΓΕΩΡΓΙΟ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού 2015



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 10569/1
Ημερ. Εισ.: 26-10-2017
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜ
2015
ΣΟΦ

© 2015 Σοφιάδης Γεώργιος

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) **Δρ. Βασίλειος Μποντόζογλου**, Καθηγητής,
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής **Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος**, Καθηγητής,
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής **Δρ. Αναστάσιος Σταματέλλος**, Καθηγητής,
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Φτάνοντας στο τέλος των σπουδών μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμώς όλους εκείνους τους οποίους μου συμπαραστάθηκαν συνεχώς και αδιαλείπτως. Οφείλω ένα ευχαριστώ στους Αθανάσιο Βέργο και Αναστάσιο Δαφερέρα για την καθοριστική συμβολή τους στο κατασκευαστικό κομμάτι της παρούσας εργασίας. Ευχαριστώ τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής κκ Ανδρίτσο Νικόλαο, Σταματέλο Αναστάσιο και ιδιαιτέρως στον καθηγητή μου, κ.Μποντόζογλου Βασίλη του οποίου η επίδειξη εμπιστοσύνης προς το πρόσωπό μου και η βοήθεια του στη συγκεκριμένη εργασία υπήρξαν καθοριστικής σημασίας. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη στήριξη της όλα αυτά τα χρόνια, αλλά και τους φίλους μου που χωρίς αυτούς θα ήταν αδύνατη η επίτευξη του στόχου μου.

Σοφιάδης Γεώργιος

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	2
2.1 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΔΙΑΤΑΡΑΧΤΟΥ ΥΜΕΝΑ	2
2.2 ΜΕΛΕΤΕΣ ΡΟΗΣ ΥΓΡΟΥ ΥΜΕΝΑ ΜΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ	4
2.3 ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΗ ΡΟΗ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ.....	10
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΨΟΥΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΥΑΛΙΝΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ	11
3.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ.....	13
3.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΣΗΣ (ΤΡΑΠΕΖΙΟΥ) ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ...	15
3.5 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΥΓΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ.....	18
3.6 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΗΧΕΙΟΥ.....	20
3.7 ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΝΑΖΩΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΤΟ ΔΟΧΕΙΟ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΥΓΡΟΥ	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	30
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	31
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	32

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό την κατασκευή της πειραματικής διάταξης ενός κεκλιμένου καναλιού για την μελέτη της ροής υγρού υμένα με ελεύθερη επιφάνεια, υπό την επίδραση εξωτερικής διαταραχής. Η διαταραχή επιβάλλεται με τη χρήση ενός ηχείου και μιας γεννήτριας. Ο ευρύτερος στόχος της εργασίας ήταν η δυνατότητα εκτέλεσης πειραμάτων μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής και η παρατήρηση των αποτελεσμάτων αυτών. Γεγονός το οποίο ολοκληρώνεται σε επόμενες διπλωματικές εργασίες μετά το πέρας της παρούσας.

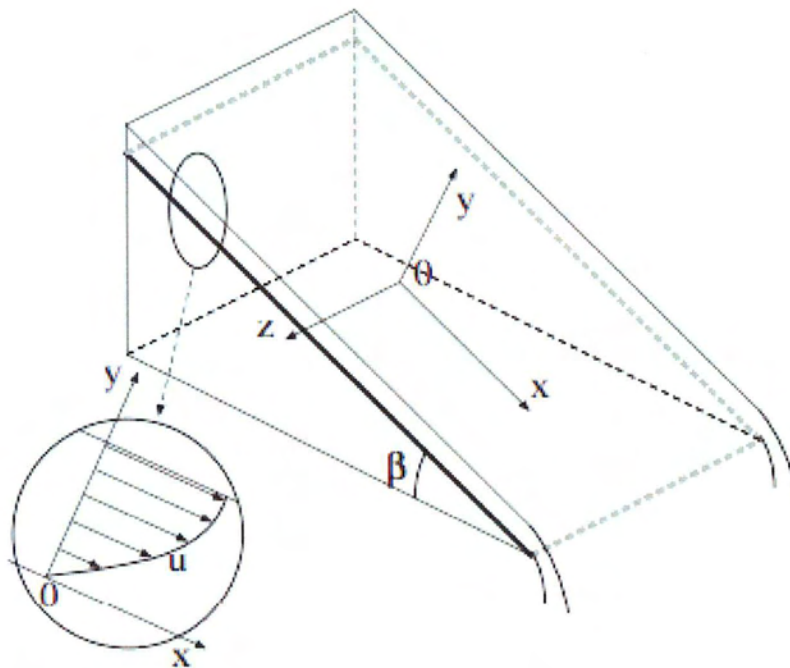
Γενικότερα η διερεύνηση και η μελέτη των φαινομένων ροής σε μη οριζόντιες επιφάνειες παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς τα φαινόμενα αυτά εμφανίζονται σε πληθώρα βιομηχανικών εφαρμογών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση της εξωτερικής διαταραχής κατά τη διάρκεια της ροής στις ελεύθερες επιφάνειες και οι αλλαγές που αυτή επιφέρει στις ιδιότητες αλλά και τη συμπεριφορά τους. Και αυτό γιατί η δομή των ρεόντων υμένων εξαρτάται από πολλαπλούς παράγοντες, όπως η επιφάνεια ροής, η θερμοκρασία, η παροχή και άλλοι, οι οποίοι διαμορφώνουν το τελικό ανάπτυγμα και την συμπεριφορά τους. Για τους λόγους αυτούς θεωρήθηκε πως θα ήταν απαραίτητη η κατασκευή μιας πειραματικής διάταξης η οποία θα εξυπηρετούσε τη δυνατότητα μελέτης των φαινομένων των παραπάνω πεδίων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται μία βασική ανάλυση των εξισώσεων οι οποίες οδηγούν στην καλύτερη κατανόηση των φαινομένων ροής σε μη οριζόντιες επιφάνειες αλλά και η αναφορά σε προηγούμενες μελέτες που αφορούν το συγκεκριμένο πεδίο και έχουν γίνει μέχρι σήμερα σε ολόκληρη την επιστημονική κοινότητα. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά ολόκληρη η διαδικασία για την κατασκευή του κάθε τμήματος της πειραματικής διάταξης αλλά και η συναρμολόγηση αυτών που οδήγησε και στο τελικό αποτέλεσμα. Τέλος στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζεται ένα βασικό πείραμα το οποίο έγινε μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής καθώς και οι πρώτες παρατηρήσεις που προέκυψαν από τη διεξαγωγή του πειράματος οι οποίες ήταν κυρίως οπτικές. Η βαθύτερη μελέτη των αποτελεσμάτων των πειραμάτων στην πειραματική αυτή διάταξη αφορά αντικείμενο επόμενων εργασιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΔΙΑΤΑΡΑΧΤΟΥ ΥΜΕΝΑ

Το πείραμα το οποίο κατασκευάστηκε αποτελεί μια απεικόνιση της ελεύθερης ροής σε κεκλιμένο επίπεδο. Στην κατασκευή έχει δοθεί η ελευθερία έτσι ώστε ο μελετητής να μπορεί να δώσει στο επίπεδο οποιαδήποτε κλίση επιθυμεί μέσα στο όριο 0° - 90° . Πριν την κατασκευή του πειράματος έγιναν οι απαραίτητοι υπολογισμοί έτσι ώστε να προβλεφτεί σε κάθε περίπτωση το πάχος του υμένα και να κατασκευαστούν κατάλληλα τα τοιχώματα του καναλιού. Οι εξισώσεις οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του πάχους του υμένα φαίνονται παρακάτω και οι οποίες έγιναν με βάση την σχηματική διάταξη του παρακάτω σχήματος (Σχήμα 1).



Σχήμα 1 Αναπαράσταση ροής σε κεκλιμένο επίπεδο

Η επίλυση του ισοζυγίου ορμής στο παραπάνω πρόβλημα της ροής σε κεκλιμένο επίπεδο μας δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα.

$$(ΕΙΣΡΟΗ)-(ΕΚΡΟΗ)+(ΠΑΡΑΓΩΓΗ)+(ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ)=0$$

$$(\tau_{xy}|_{y+dy} - \tau_{xy}|_y) \cdot (dx \cdot w) + (w \cdot dx dy) \cdot \rho \cdot g \cdot \sin \varphi = 0 \Rightarrow$$

$$\frac{d\tau_{xy}}{dy} + \rho \cdot g \cdot \sin \varphi = 0 \Rightarrow \left(\text{όμως } \tau_{xy} = \mu \cdot \frac{du}{dy} \right)$$

$$\frac{d^2 u}{dy^2} = \frac{-\rho \cdot g \cdot \sin \varphi}{\mu} \Rightarrow \text{(ολοκληρώνοντας)}$$

$$\frac{du(y)}{dy} = \frac{-\rho \cdot g \cdot \sin \varphi}{\mu} \cdot y + A \Rightarrow \text{(ολοκληρώνοντας)}$$

$$u(y) = \frac{-\rho \cdot g \cdot \sin \varphi}{\mu} \cdot \frac{y^2}{2} + A \cdot y + B \quad (1)$$

Για $y=0$:

$$\text{Από (1)} \Rightarrow u(0) = 0 \Rightarrow B = 0$$

Για $y=h$:

$$\text{Από (1)} \Rightarrow \frac{du(h)}{dy} = 0 \Rightarrow \frac{-\rho \cdot g \cdot \sin \varphi}{\mu} \cdot h + A = 0 \Rightarrow A = \frac{-\rho \cdot g \cdot \sin \varphi}{\mu} \cdot h$$

$$\text{Άρα η (1)} \Rightarrow u(y) = \frac{\rho \cdot g_x}{\mu} \cdot \left(h \cdot y - \frac{y^2}{2} \right) \Rightarrow$$

$$u(y) = \frac{\rho \cdot g_x \cdot h^2}{2 \cdot \mu} \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{y}{h} \right) - \left(\frac{y}{h} \right)^2 \right]$$

Για την παροχή γνωρίζουμε ότι :

$$Q = u \cdot h \cdot w \Rightarrow$$

$$Q = \int_0^h u(y) \cdot w dy = w \cdot \int_0^h u(y) dy$$

Υπολογίζουμε το ολοκλήρωμα ως εξής:

$$\int_0^h u(y) dy = \int_0^h \frac{\rho \cdot g_x \cdot h^2}{2 \cdot \mu} \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{y}{h} \right) - \left(\frac{y}{h} \right)^2 \right] dy = \frac{\rho \cdot g_x \cdot h^2}{2 \cdot \mu} \cdot \left[\left[\frac{y^2}{h} \right]_0^h - \left[\frac{y^3}{3 \cdot h^2} \right]_0^h \right] = \frac{\rho \cdot g_x \cdot h^2}{2 \cdot \mu} \cdot \left[h - \frac{h}{3} \right] = \frac{\rho \cdot g_x \cdot h^3}{3 \cdot \mu}$$

Άρα τελικά προκύπτει:

$$Q = \frac{w \cdot \rho \cdot g_x \cdot h^3}{3 \cdot \mu}$$

$$\text{Όμως: } q = \frac{Q}{w} = \frac{\rho \cdot g_x \cdot h^3}{3 \cdot \mu} = \frac{g_x \cdot h^3}{3 \cdot \nu} \quad \text{και } Re = \frac{q}{\nu} = \frac{g_x \cdot h^3}{3 \cdot \nu^2}$$

Άρα:

$$h = \left(\frac{3 \cdot \nu^2 \cdot Re}{g \cdot \sin \varphi} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{όπου } g_x = g \cdot \sin \varphi$$

2.2 ΜΕΛΕΤΕΣ ΡΟΗΣ ΥΓΡΟΥ ΥΜΕΝΑ ΜΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

Η ροή σε κεκλιμένο επίπεδο αποτελούσε και συνεχίζει να αποτελεί ένα μεγάλο πεδίο έρευνας. Από τις πρώτες μελέτες του πρωτοπόρου σε αυτόν τον τομέα Karitza (1949), έχουν διεξαχθεί πολλές ακόμη τις τελευταίες δεκαετίες. Στη θεωρητική ανάλυση μιας τέτοιας ροής, συνήθως θεωρούμε ιδανικές συνθήκες όπως τέλεια επίπεδη επιφάνεια ροής και αμελητέες εσωτερικές ή εξωτερικές διαταραχές. Στη πραγματικότητα όμως, στα εργαστηριακά πειράματα για παράδειγμα το πεπερασμένο μέγεθος της κατασκευής της πειραματικής διαδικασίας καθώς και οι αναπόφευκτες αποκλίσεις από τις ιδανικές συνθήκες, περιορίζουν την ακρίβεια των παρατηρήσεων. Στα περισσότερα πειράματα που διεξάγονται η αντίδραση του συστήματος στις διαταραχές μετριέται με τον αριθμό των μικρών αλλά πεπερασμένου αριθμού κυμάτων τα οποία δημιουργούνται κατά την ελεύθερη ροή του υγρού ή ανάλογα με τη συχνότητά τους. Στη συνέχεια οι μετρήσεις αυτές συγκρίνονται με τα θεωρητικά δεδομένα λαμβάνοντας υπ' όψιν τις θεωρητικές τιμές του αριθμού Reynolds.

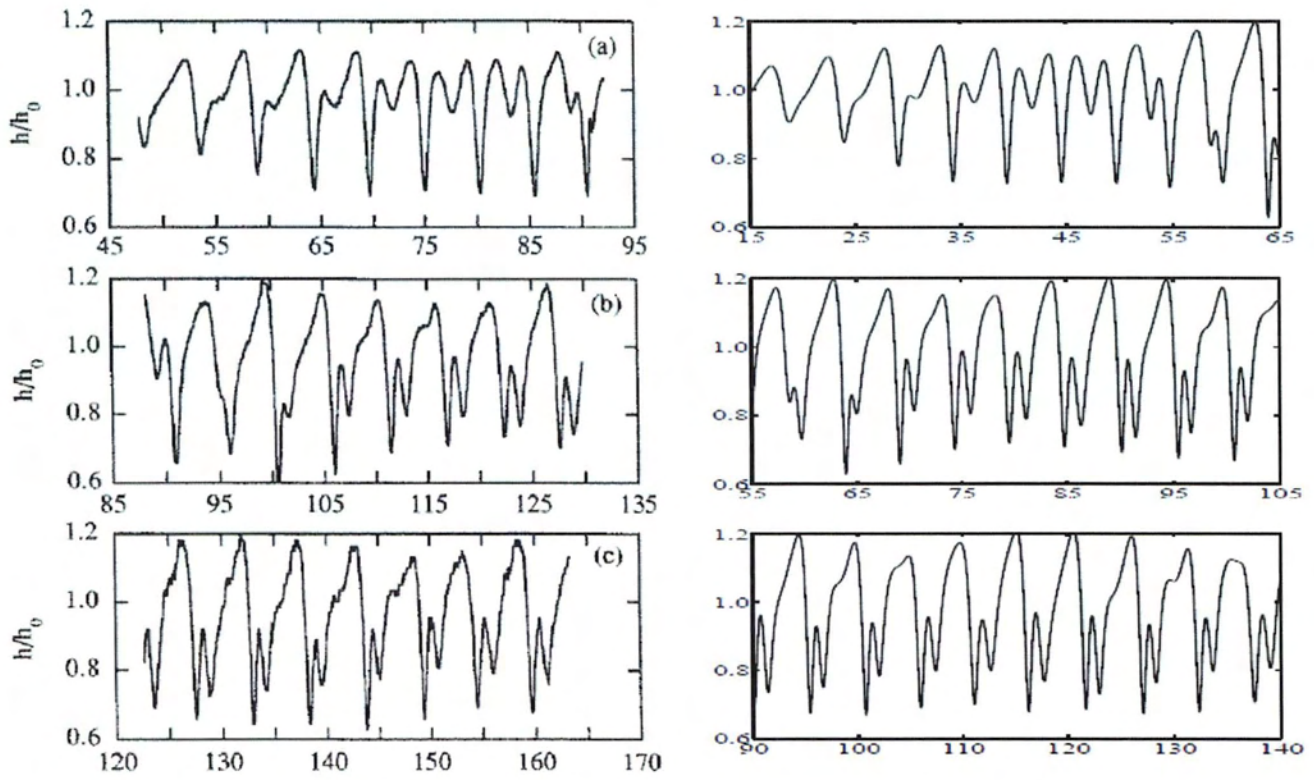
Τα διεπιφανειακά κύματα που δημιουργούνται στην κεκλιμένη επιφάνεια παρουσιάζουν ενδιαφέροντα φαινόμενα όπως μοναχικά κύματα. Η γενικότερη περίπτωση του σχηματισμού κυμάτων κατά τη ροή ενός υγρού σε κεκλιμένο επίπεδο έχει αποτελέσει το αντικείμενο τεράστιας πειραματικής και θεωρητικής μελέτης. Οι πρώτες μελέτες βασίστηκαν στην γραμμική ανάλυση ευστάθειας των Νευτωνικών υγρών, οι οποίες δείχνουν πως μια κάθετη ομοιόμορφη ροή είναι πάντα ασταθής. Η αστάθεια εκδηλώνεται με τη μορφή κυμάτων, τα οποία δημιουργούνται λόγω της βαρύτητας και έχουν μήκος κύματος πολύ μεγαλύτερο της μέσης τιμής του πάχους που σχηματίζει το φιλμ του υγρού. Μια ομοιόμορφη ροή σε κεκλιμένη επιφάνεια είναι ασταθής κάτω από την επίδραση διαταραχών κυμάτων μεγάλου μήκους για αριθμούς Reynolds που δίνονται από τον τύπο $Re = \frac{q}{\nu} = \frac{g_x \cdot h^3}{3 \cdot \nu^2}$ τον οποίο αποδείξαμε παραπάνω αναλυτικά. Από θεωρητικής άποψης,

η μελέτη της δυναμικής της ροής ενός υγρού σε κεκλιμένη επιφάνεια μπορεί να γίνει με δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Είτε μέσω της απευθείας προσομοίωσης των εξισώσεων Navier-Stokes, είτε μέσω της εξίσωσης των Kuramoto-Sivashinsky. Η δεύτερη μας παρέχει μια υπεραπλουστευμένη εικόνα του προβλήματος κατάλληλη για πάχη του φιλμ της ελεύθερης ροής τα οποία προσεγγίζουν το μηδέν. Ενώ η πρώτη είναι ακατάλληλη για τα περισσότερα πραγματικά προβλήματα τριών διαστάσεων δεδομένης της ανάγκης πως χρειαζόμαστε μια αρκετά καλή προσέγγιση. Βέβαια κάνοντας ορισμένες παραδοχές οι εξισώσεις Navier-Stokes μπορούν να απλοποιηθούν. Κάνοντας κάποιες απλοποιήσεις οδηγούμαστε στην απλή σχέση του Shkadov (1967) που απλά περιλαμβάνει το ύψος h και την παροχή

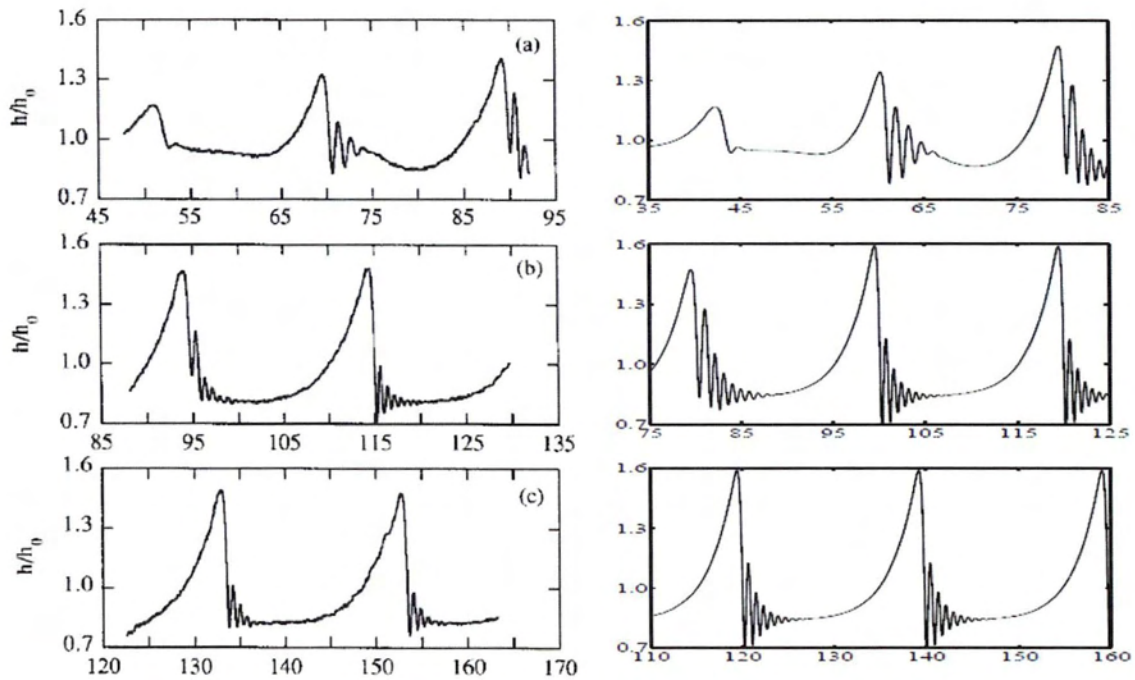
$q: q = \int_0^h u(y) dy$. Παρόλο που η σχέση αυτή μας δίνει ικανοποιητικά ποιοτικά

αποτελέσματα στην μη γραμμική περιοχή, αποτυγχάνει να προβλέψει ποσοτικά την κρίσιμη συμπεριφορά. Για να ξεπεραστούν αυτοί οι περιορισμοί αναπτύχθηκε μια καλύτερη προσέγγιση η οποία βασίζεται στις εξισώσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως αλλά λειτουργεί με ένα πιο ευέλικτο προφίλ ταχύτητας.

Στα παρακάτω σχήματα (Διάγραμμα 1, Διάγραμμα 2) παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων ενός πειράματος και της αντίστοιχης προσομοίωσης (Eur. Phys. J. B 6, 277-292 (1998)). Το πείραμα αφορά μίγμα νερού-γλυκερίνης το οποίο διατρέχει κεκλιμένο επίπεδο $6,4^\circ$ και αριθμό Reynolds $Re=19,33$. Τα γραφήματα δείχνουν τρία στιγμιότυπα του πάχους του υγρού φιλμ σε τρία διαφορετικά σημεία του επιπέδου από το ανώτερο στο κατώτερο αντίστοιχα με συχνότητα $f=4,5\text{Hz}$.

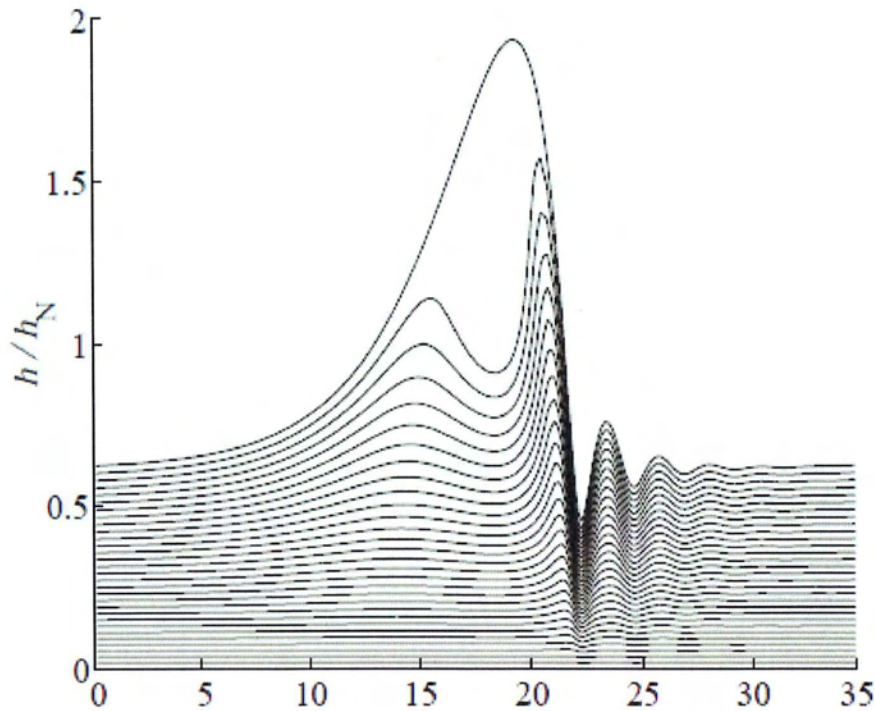


Διάγραμμα 1 Σύγκριση αποτελεσμάτων πειράματος και προσομοίωσης (συχνότητα $f=4,5\text{Hz}$ και κλίση $6,4^\circ$)



Διάγραμμα 2 Σύγκριση αποτελεσμάτων πειράματος και προσομοίωσης (συχνότητα $f=1,5\text{Hz}$ και κλίση $6,4^\circ$)

Επίσης ένα ακόμη παράδειγμα προσομοίωσης ροής σε κατακόρυφο επίπεδο με διαταραχή συχνότητας $f=2,034\text{Hz}$ απεικονίζεται παρακάτω (Eur. Phys. J. B 6, 2770-292 (1998)).



Διάγραμμα 3 Ροή σε κατακόρυφη επιφάνεια

Στο παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 3) εικονίζεται η ροή στην κατακόρυφη επιφάνεια να οδηγείται στο σχηματισμό σχεδόν μοναχικών στάσιμων ακολουθιών κυμάτων. Τα δεδομένα του παραπάνω πειράματος είναι: κινηματικό ιξώδες $\nu = 7,2 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$, ο αριθμός Karitza $\Gamma = 193,6$ (όπου $\Gamma = \frac{\gamma}{\rho \cdot \nu^{\frac{4}{3}} \cdot (g \cdot \sin \beta)^{\frac{1}{3}}}$ με

$\frac{\gamma}{\rho} = 57,6 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{s^2}$). Τα χαρακτηριστικά του κύματος παρουσιάζονται στον

παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1),(Eur. Phys. J. B 6, 277-292 (1998)).

$\langle h \rangle$ mm	h_{max} mm	λ mm	c mm/s	c $q_N / \langle h \rangle$	$\langle U \rangle$ $q_N / \langle h \rangle$
0.545	1.12	36	460	2.83	1.27
0.514	1.13	34	434	3.20	1.30

Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά του υπό μελέτη κύματος

2.3 ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΗ ΡΟΗ

Αρκετή έρευνα έχει γίνει όσο αφορά την συνεισφορά κάποιας εξωτερικής διαταραχής στην ελεύθερη κεκλιμένη ροή. Πειράματα σε αυτό το πεδίο έχουν διεξαχθεί από τους Liu και Gollub (1993) και έδειξαν πως μικρού πλάτους ημιτονοειδής κύματα στην είσοδο του πειράματος μπορούν να εξελιχθούν ραγδαία σε μοναχικά κύματα μέσα στα πρώτα 20cm για κατακόρυφη διάταξη και σε λίγο μεγαλύτερο μήκος για κεκλιμένη διάταξη. Η ταχύτητα, το πλάτος και το μήκος των κυμάτων μπορούν να αυξηθούν στη συνέχεια κατάντη σχεδόν μία τάξη μεγέθους μετά τη μετάβασή τους σε μοναχικά κύματα. Σημαντική προσπάθεια έχει γίνει για την κατασκευή ισορροπημένων παλμών (Chang, Demekhin & Kopelevich 1993, Chang, Demekhin & Kalaidin 1995; Salamon, Armstrong & Brown 1994). Το πλάτος των κυμάτων είναι αρκετά μεγάλο ανάλογο με το πάχος του υποστρώματος το οποίο διατρέχουν. Έχουν ένα ασύμμετρο σχήμα με ένα απότομο μπροστινό μέτωπο απαλλαγμένο από απότομες διακυμάνσεις. Όταν επιπλέον υγρό εισέρχεται σε έναν παλμό τότε αυτό «σβήνει» σταδιακά με μία συγκεκριμένη δυναμική. Ένας τέτοιος διεγερμένος παλμός είναι μεγαλύτερος και γρηγορότερος από τους αντίστοιχους μη διεγερμένους οι οποίοι βρίσκονται σε ισορροπία. Παρόλα αυτά λόγω της σταδιακής απόσβεσης του παλμού, τόσο το πλάτος του όσο και η ταχύτητα του πλησιάζουν τις αντίστοιχες τιμές αυτών των μεγεθών για μη διεγερμένους παλμούς, ασυμπτωτικά στο χρόνο. Επίσης, το επιπλέον πλάτος και η ταχύτητα, που έχει ένας διεγερμένος παλμός σε σχέση με αυτόν που δεν έχει υποβληθεί σε διαταραχή, μπορούν να συσχετισθούν γραμμικά σε κάθε στιγμή του χρόνου γεγονός το οποίο μπορεί να βρεθεί πειραματικά (Alekseenko, Nakoryakov & Pokusaev 1994; Vlachogiannis & Bontozoglou 2001). Οι Chang, Demekhin & Kalaidin (1998) μελέτησαν τη δυναμική των διεγερμένων παλμών αναπτύσσοντας μια φασματική θεωρία για τους παλμούς. Ο βαθμός απόσβεσης της επιπλέον μάζας για παράδειγμα μπορεί να παρατηρηθεί μέσω της ανύψωσης των πόλων του φάσματος του παλμού. Τόσο η επιπλέον μάζα όσο και το επιπλέον πλάτος φθίνουν εκθετικά στο χρόνο καθώς κατευθύνονται από τον κύριο ανυψωμένο πόλο του παλμού. Η γραμμική σύζευξη του ανυψωμένου αυτού πόλου, ο οποίος ελέγχει το πλάτος και τη μάζα του παλμού, και της συνήθους διακριτής λειτουργίας του ανυψωμένου πόλου για τη θέση και την ταχύτητα, παρέχει τη γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στο πλάτος και την ταχύτητα του διεγερμένου παλμού ο οποίος φθίνει. Αυτή η συσχέτιση με τη σειρά της μας υποδεικνύει πως τόσο το επαυξημένο πλάτος όσο και η ταχύτητα ενός συγκεκριμένου διεγερμένου παλμού φθίνουν γραμμικά κατάντη. Μερικοί διεγερμένοι παλμοί βρίσκονται πάντα σε πεδίο κυμάτων με ηχητική διαταραχή (Chang, Demekhin & Kalaidin 1996a; Chang, Demekhin & Ye 1996b). Ταξιδεύουν γρηγορότερα και αιχμαλωτίζουν τους μπροστινούς μικρότερους γείτονές τους σε αναντιστρεπτούς «καταρράκτες» συνένωσης, δεδομένου πως η ταχύτητά τους δεν τείνει στο μηδέν πριν τη συνένωση. Το μπροστινό μικρότερο κύμα το οποίο παγιδεύουν προσθέτει επιπλέον μάζα στον παλμό. Τέτοιου είδους παλμικές συνενώσεις ανυψώνουν την γραμμική ενίσχυση του πεδίου των παλμών κατάντη

(Chang et al. 1996). Οι συνενώσεις κυριαρχούν στη δυναμική των παλμών και σταματάνε όταν ο διαχωρισμός των παλμών είναι τόσο μεγάλος ώστε η επιπλέον μάζα η οποία αποκτήθηκε με τη συνένωση αποσβένει τελείως πριν προλάβει να αιχμαλωτιστεί ο επόμενος παλμός ή πριν όλοι οι παλμοί που είναι αρχικά σε ισορροπία αιχμαλωτιστούν. Το κλειδί για τη δυναμική της εκτράχυνσης αυτών των συνενωμένων κυμάτων είναι η πυκνότητα του διεγερμένου παλμού, η οποία παραμένει απροσδιόριστη. Περιέργως η πυκνότητα αυτή φαίνεται να δημιουργεί έναν ολικό ρυθμό ενίσχυσης παλμού ο οποίος είναι ανεπηρέαστος από εσωτερικές ηχητικές διαταραχές καθώς και τις συνθήκες ροής (Chang et al. 1996a). Φαίνεται πως αυτή η πυκνότητα κλειδί καθορίζεται κατά τη μετάβαση από ένα ημιτονοειδές κύμα σε παλμό. Έτσι πολλά περαιτέρω δεδομένα από τη δυναμική των παλμών μπορούν να καθοριστούν κατά τη διάρκεια αυτής της μετάβασης, όπως ο ρυθμός εκτράχυνσης του παλμού, ο τελικός διαχωρισμός του κλπ. Αυτή η παρατήρηση μας επιτρέπει να δημιουργήσουμε μια γενική θεωρία η οποία μπορεί να προβλέψει ρεαλιστικά την δυναμική των κυμάτων σε κατακόρυφη ροή, καθώς και εξισώσεις για τους αριθμούς Reynolds και Weber, αλλά και το πλάτος της εσωτερικής ηχητικής διαταραχής. Ο ρόλος του πλάτους τη ηχητικής διαταραχής είναι για να καθορίσει τη θέση της μετάβασης του κάθε κύματος. Η γενική ακολουθία μετάβασης και η δυναμική μέσα σε κάθε σύστημα παραμένουν ανεπηρέαστες από το πλάτος της ηχητικής διαταραχής. Τέλος μέσα σε μια κλίμακα αριθμών Reynolds (από 10 έως 40 για το νερό) ο ρυθμός ενίσχυσης του κύματος λαμβάνοντας υπ όψιν την κατάντη απόσταση, είναι μια παγκόσμια σταθερά η οποία διαιρείται με την μέση ταχύτητα της ελεύθερης ροής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατασκευαστική διαδικασία περιελάμβανε τα εξής βήματα:

- 1) Υπολογισμό του ύψους των γυάλινων τοιχωμάτων του καναλιού και κόλληση των γυάλινων πλακών
- 2) Σχεδιασμό πλαισίου αλουμινίου σε σχεδιαστικό πρόγραμμα και κόλληση του γυάλινου καναλιού με το πλαίσιο αλουμινίου
- 3) Κοπή, συγκόλληση και τοποθέτηση κοιλοδοκών για τη δημιουργία τραπεζιού πάνω στο οποίο τοποθετήθηκε το πλαίσιο με το γυάλινο κανάλι
- 4) Τοποθέτηση του γυάλινου καναλιού μαζί με το πλαίσιο αλουμινίου πάνω στο τραπέζι των κοιλοδοκών με τη βοήθεια μοχλοβραχίονα (αρμού) και δύο ντιζών
- 5) Κατασκευή της εισαγωγής του υγρού στην πειραματική διάταξη με την βοήθεια χαλκοσωλήνων
- 6) Κατασκευή συστήματος διαταραχής και στήριξη του συστήματος αυτού στην πειραματική διάταξη
- 7) Κατασκευή και τοποθέτηση δοχείου κατάληξης του υγρού
- 8) Σύνδεση της γριναζωτής αντλίας με την εισαγωγή και το δοχείο κατάληξης του υγρού με τη βοήθεια σωλήνων PVC
- 9) Σύνδεση του συστήματος διαταραχής με παλμογράφο

3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΨΟΥΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΥΑΛΙΝΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ

Πριν ξεκινήσει η κατασκευή της πειραματικής διάταξης, της ροής σε κεκλιμένο κανάλι, έγιναν πρώτα κάποιοι υπολογισμοί. Αρχικά υπολογίστηκε το μέγιστο ύψος των κυμάτων για διάφορους αριθμούς Reynolds καθώς και κλίσεις της διάταξης. Οι υπολογισμοί αυτοί πραγματοποιήθηκαν με την βοήθεια προγράμματος EXCEL

(Παράρτημα Σχ.1) καθώς και του βασικού τύπου: $h = \left(\frac{3 \cdot v^2 \cdot Re}{g \cdot \sin \varphi} \right)^{\frac{1}{3}}$ όπου

$g_x = g \cdot \sin \varphi$. Για να καλυφθεί ένα αρκετά μεγάλο εύρος περιπτώσεων και να βρεθεί το μέγιστο ύψος κύματος που προκύπτει από την ροή στην ελεύθερη επιφάνεια χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω πειραματικά δεδομένα:

Βαρυτική δύναμη		$g=10 \frac{m}{s^2}$
Κινηματικό ιξώδες	0% γλυκερίνη	$v=1,005 mPa \cdot s$
	50% γλυκερίνη	$v=6 mPa \cdot s$
	90% γλυκερίνη	$v=219 mPa \cdot s$
Αριθμός Reynolds		Re=10
		Re=100
Sin(ϕ)	$\phi=5^0$	Sin(ϕ)=0,087
	$\phi=30^0$	Sin(ϕ)=0,5
Μέγιστο ύψος κύματος		$h=3,265 mm$
Παροχή		$q=10,05 \frac{m^2}{s}$

Πίνακας 2 Υπολογισμός μέγιστου ύψους κύματος

Από τους παραπάνω λοιπόν υπολογισμούς (Πίνακας 2) βρέθηκε πως το ελάχιστο ύψος των τοιχωμάτων του γυάλινου καναλιού θα πρέπει να είναι 3,3mm. Για την κατασκευή των γυάλινων τοιχωμάτων χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις γυάλινες πλάκες ορθογώνιας διατομής πάχους 10mm. Η οριζόντια πλάκα που χρησιμεύει και ως επιφάνεια για την ελεύθερη ροή κόπηκε σε μήκος 1500mm και πλάτος 270mm γεγονός που αφήνει ελεύθερη επιφάνεια ροής 250mm. Οι πλάκες που χρησιμοποιήθηκαν για τα πλαϊνά τοιχώματα κόπηκαν σε μήκος 1500mm και πλάτος 50mm έτσι ώστε να αποκλείεται κάθε ενδεχόμενο υπερχειλίσσης. Τέλος μία τέταρτη γυάλινη επιφάνεια χρησιμοποιήθηκε για να σφραγίσει το πίσω μέρος της ελεύθερης επιφάνειας ενώ το κατώτερο μέρος της έμεινε ανοιχτό έτσι ώστε να γίνεται η ανακύκλωση του υγρού με τη βοήθεια της αντλίας. Οι πλάκες αφού κοπήκαν στο κατάλληλο μέγεθος κολλήθηκαν μεταξύ τους με σιλικόνη του εμπορίου (Εικόνα 1).



Εικόνα 1 Γυάλινα τοιχώματα καναλιού

3.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Ο σχεδιασμός του πλαισίου πάνω στο οποίο τοποθετήθηκε το γυάλινο κανάλι πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος autocad. Στη συνέχεια τα σχέδια στάλθηκαν στη βιομηχανία <<Λαζάρου>> όπου και έγινε η κοπή του πλαισίου αλουμινίου. Αρχικά υπολογίστηκε το πάχος του πλαισίου έτσι ώστε να επιτευχθεί το ελάχιστο βέλος κάμψης. Οι υπολογισμοί για το βέλος κάμψης του πλαισίου ήταν οι εξής:

$$\text{Το βέλος κάμψης για ορθογωνική διατομή } w_{\max} = \frac{5 \cdot q_0 \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} \leq 10^{-3} m$$

A) Για την κατακόρυφη διάσταση

$$L=0,25m$$

$$E=70GPa$$

$$q_0=(61,291) \cdot h \text{ KN}$$

$$I = \frac{l \cdot h^3}{12} = \frac{0,25 \cdot h^3}{12} = \frac{h^3}{48} m^4$$

$$\text{Άρα } \frac{5 \cdot (61,291) \cdot h [KN] \cdot 0,0039 [m^4]}{384 \cdot 70 \cdot 10^6 \left[\frac{KN}{m^2} \right] \cdot \frac{h^3}{48} [m^4]} \leq 10^{-3} m \Rightarrow h \geq 4,6mm$$

B) Για την οριζόντια διάσταση

$$L=1m$$

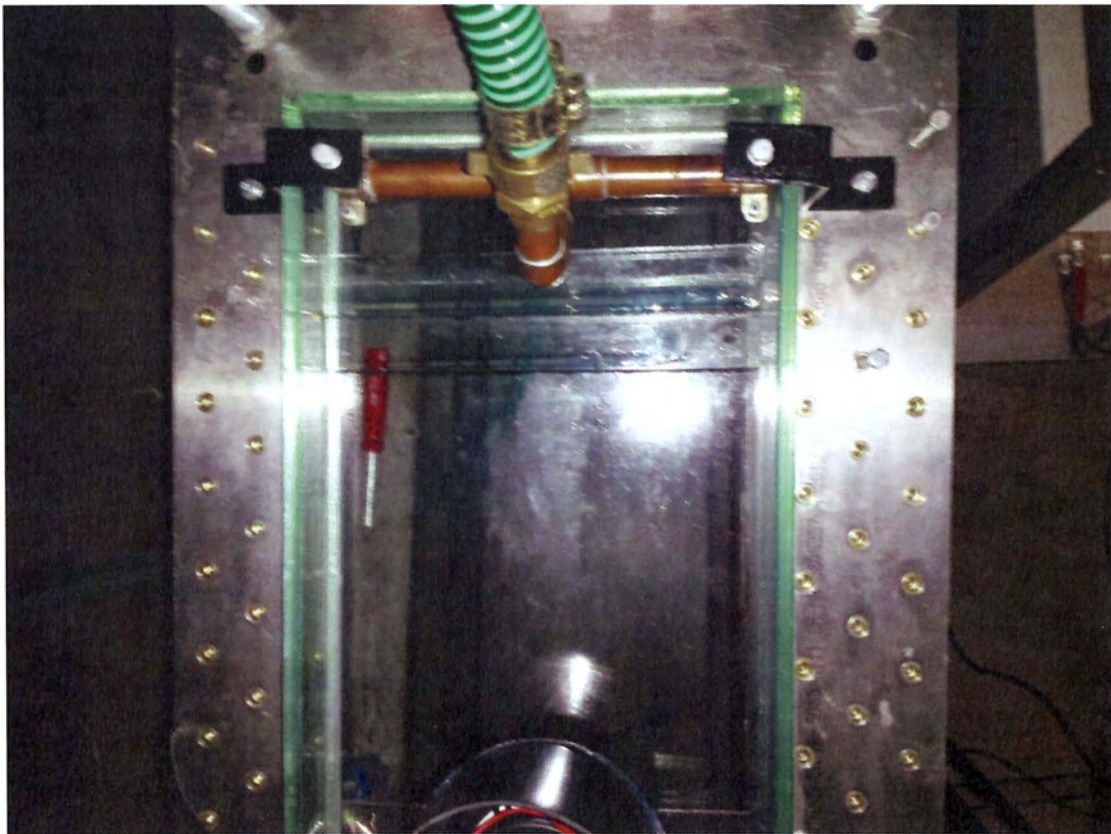
$$E=70GPa$$

$$q_0=(61,291) \cdot h \text{ KN}$$

$$I = \frac{l \cdot h^3}{12} = \frac{0,25 \cdot h^3}{12} = \frac{h^3}{12} m^4$$

$$\text{Άρα } \frac{5 \cdot (61,291) \cdot h [KN] \cdot 1 [m^4]}{384 \cdot 70 \cdot 10^6 \left[\frac{KN}{m^2} \right] \cdot \frac{h^3}{12} [m^4]} \leq 10^{-3} m \Rightarrow h \geq 369mm$$

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα σχεδιάστηκε το πλαίσιο αλουμινίου (Εικόνα 2). Με μήκος 1500mm, πάχος 10mm και πλάτος 450mm. Επίσης μετά από προτροπή του μηχανικού της βιομηχανίας <<Λαζάρου>> κολλήθηκαν κατά μήκος του πλαισίου από την κάτω πλευρά, νεύρα αλουμινίου έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η ταλάντωση του πλαισίου. Επιπλέον στα πλαίσια του πλαισίου ανοίχτηκαν οπές σπειρώματος M6 έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα στήριξης οργάνων κατά τη διάρκεια των πειραμάτων. Στη συνέχεια το γυάλινο κανάλι τοποθετήθηκε και κολλήθηκε πάνω στο πλαίσιο αλουμινίου με σιλικόνη. Το κανάλι κολλήθηκε με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να εκτείνεται και μετά το τέλος του πλαισίου αλουμινίου. Το γεγονός αυτό εξυπηρετούσε δυο διαφορετικούς σκοπούς. Αρχικά δημιουργούσε ένα κενό πίσω από το γυάλινο κανάλι, καθώς το πλαίσιο και το κανάλι είχαν το ίδιο μήκος, έτσι ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί ο μηχανισμός της εισαγωγής του υγρού. Επιπλέον το γεγονός το ότι το γυάλινο κανάλι προεξείχε του πλαισίου οδηγούσε σε μια πιο ομαλή ροή του υγρού προς τη δεξαμενή ανακύκλωσης μέσω της οποίας το υγρό οδηγείτε στην αντλία.



Εικόνα 2 Πλαίσιο αλουμινίου

3.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΣΗΣ (ΤΡΑΠΕΖΙΟΥ) ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Η κατασκευή της βάσης (τραπεζιού) αποτελούσε ένα από τα σημαντικότερα κομμάτια καθώς πάνω εκεί στηρίζεται ολόκληρη η πειραματική διάταξη. Η βάση σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η αντοχή της και να ευθυγραμμίζει ολόκληρη την κατασκευή. Αρχικά παραγγέλθηκαν 3 κοιλοδοκοί χάλυβα 6m ο καθένας τετραγωνικής διατομής (6X4cm) και πάχους 3mm. Στη συνέχεια οι κοιλοδοκοί κοπήκαν με τη βοήθεια γωνιακού τροχού σε κατάλληλα μεγέθη και κολλήθηκαν με συγκόλληση τύπου Argon για να δημιουργηθεί η παρακάτω διάταξη (Εικόνα 3).



Εικόνα 3 Βάση κοιλοδοκών

Στη συνέχεια για να υπάρχει η δυνατότητα ευθυγράμμισης ολόκληρης της πειραματικής διάταξης, στο κάτω άκρο των κατακόρυφων κοιλοδοκών ανοίχθηκαν οπές διαμέτρου ϕ 14mm με τη βοήθεια ηλεκτρικού δράπανου και σε βάθος 6cm. Στη συνέχεια στις οπές τοποθετήθηκαν 4 βίδες M14 (μια σε κάθε κατακόρυφο κοιλοδοκό) καθώς και 4 περικόχλια έτσι ώστε να ρυθμίζεται το ύψος της κάθε κοιλοδοκού ξεχωριστά (εικόνα 4).



Εικόνα 4 Βίδες για ρύθμιση ύψους

Έπειτα πραγματοποιήθηκε η σύνδεση των κομματιών της πειραματικής διάταξης που είχαν κατασκευαστεί μέχρι εκείνο το σημείο. Δηλαδή έγινε η σύνδεση του πλαισίου αλουμινίου στο οποίο είχε κολληθεί το γυάλινο κανάλι, με τη βάση των κοιλοδοκών. Η σύνδεση πραγματοποιήθηκε στο ένα άκρο, το άκρο κοντά στην εισαγωγή, με τη βοήθεια από δύο ντίζες μήκους 0,5m και διαμέτρου M14 (Εικόνα 6). Οι ντίζες εφάρμοζαν στο πάνω άκρο τους στο πλαίσιο αλουμινίου στις κατάλληλες οπές που είχαν ανοιχθεί, ενώ στο κατώτερο άκρο τους εφαρμόζουν σε δύο οπές που είχαν ανοιχθεί σε κατάλληλα σημεία στις οριζόντιες κοιλοδοκούς. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν και 4 περικόχλια (2 για κάθε ντίζα) έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής της κλίσης του πλαισίου με το κανάλι σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο. Στο άλλο άκρο, το άκρο κοντά στο δοχείο συλλογής του υγρού χρησιμοποιήθηκε ένας βραχίονας με μπίλια (αρμός) ο οποίος τοποθετήθηκε στο κέντρο του οριζόντιου κοιλοδοκού εκείνου του άκρου (Εικόνα 5). Ο αρμός έχει τη δυνατότητα για πλήρη ελευθερία κινήσεων λόγω της μπίλιας.



Εικόνα 5 Μοχλοβραχίονας στήριξης (αρμός)



Εικόνα 6 Ντίζα στήριξης και αλλαγής γωνίας

3.5 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΥΓΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Για την εισαγωγή του υγρού χρησιμοποιήθηκαν κομμάτια χαλκοσωλήνα διατομής $\phi 22$ τα οποία κόπηκαν σε κατάλληλα μεγέθη. Η εισαγωγή αποτελείται από ένα ευθύγραμμο τμήμα χαλκοσωλήνα, μια γωνία, δύο τάπες και ένα ταυ όλα από το ίδιο υλικό και όλα διατομής $\phi 22$. Τα κομμάτια αυτά συναρμολογήθηκαν στην παρακάτω διάταξη (Εικόνα 7).



Εικόνα 7 Εισαγωγή υγρού πειραματικής διάταξης

Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν δύο στηρίγματα standt στο μηχανουργείο της σχολής. Τα standt ήταν ουσιαστικά δύο πλάκες χάλυβα μήκους 17cm πλάτους 3cm και πάχους 0,3cm οι οποίες αφού θερμάνθηκαν στη συνέχεια σφυρηλατήθηκαν έτσι ώστε να δημιουργηθούν δύο γωνίες (Εικόνα 8). Στη συνέχεια βιδώθηκαν εκατέρωθεν του γυάλινου καναλιού πάνω στο πλαίσιο του αλουμινίου στις οπές που είχαν ανοιχθεί. Με αυτόν τον τρόπο στηρίχθηκε το κομμάτι της εισαγωγής στα δύο μεταλλικά standt με τη βοήθεια δύο βάσεων σπειρώματος M6. Οι βάσεις αυτές δίνουν επιπλέον τη δυνατότητα στο κομμάτι της εισαγωγής να αλλάζει την γωνία κλίσης του.



Εικόνα 8 Standt στήριξης της εισαγωγής

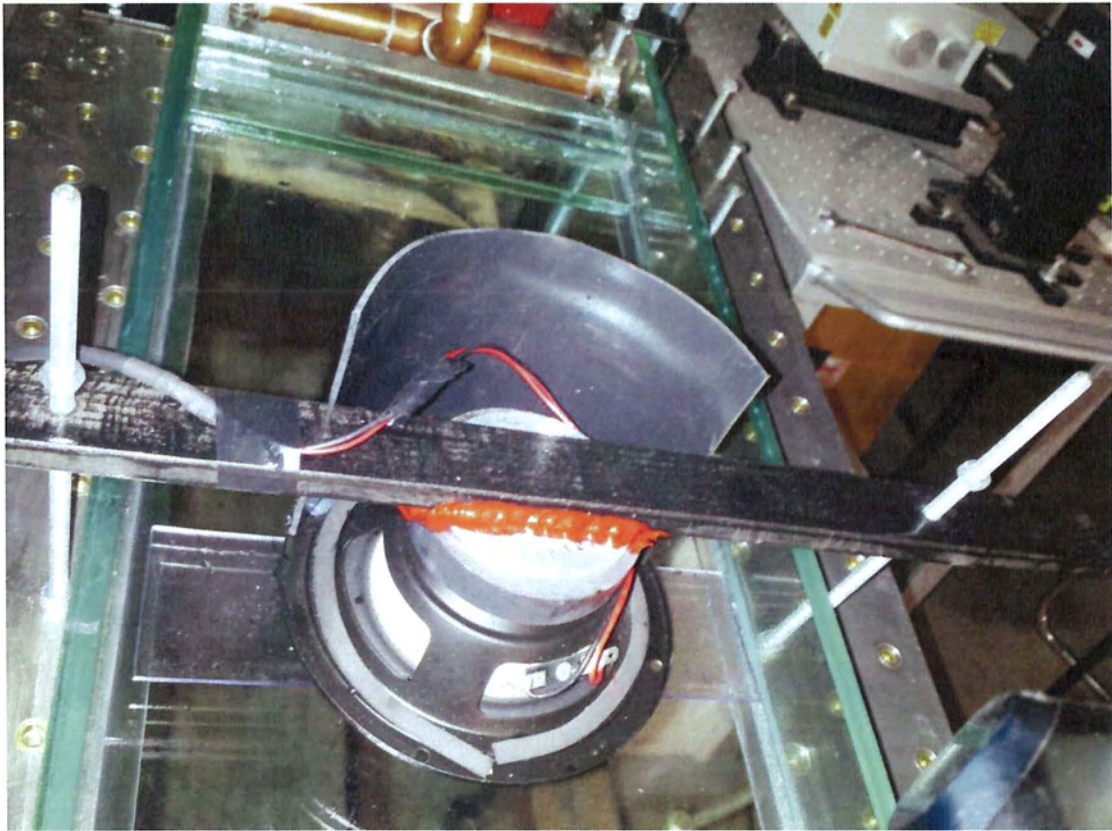
Επιπλέον το κομμάτι της εισαγωγής πριν βιδωθεί πάνω στην πειραματική διάταξη δόθηκε σε εξωτερικό μηχανουργείο. Εκεί πραγματοποιήθηκε διαμήκης τομή πάχους 1mm στο μέσο της κυκλικής διατομής με τη χρήση φρέζας κοπής μετάλλων υψηλής ακρίβειας.

3.6 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΗΧΕΙΟΥ

Το σύστημα διαταραχής της πειραματικής διάταξης έγινε σε συνεργασία με τον τεχνικό του Εργαστηρίου κ.Αναστάσιο Δαφερέρα. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε το τύμπανο ενός ηχείου 20W το οποίο όμως έπρεπε πρώτα να τροποποιηθεί (Εικόνα 10). Αρχικά αξίζει να αναφερθεί πως τα σήματα τα οποία οδηγούνται στα συμβατικά ηχεία είναι ημιτονοειδή. Με τον αντίστοιχο τρόπο πάλλεται και η μεμβράνη του ηχείου και άρα και ο αέρας μπροστά από αυτή. Τα κύματα όμως αυτά του αέρα τα οποία δημιουργούνται λόγω της ημιτονοειδούς κίνησης της μεμβράνης είναι αρκετά ασθενή με μικρό πλάτος και μεγάλη συχνότητα. Στην συγκεκριμένη πειραματική διάταξη κάτι τέτοιο δεν ήταν επιθυμητό. Αντίθετα για να είναι αισθητά τα αποτελέσματα πάνω στην επιφάνεια του υγρού (τα κύματα πάνω στην επιφάνεια του υγρού) ήταν απαραίτητο το μεγάλο πλάτος. Το γεγονός αυτό προαπαιτούσε αλλαγή στην οδήγηση των παλμών και έτσι αποφασίστηκε να γίνει η οδήγηση με τετραγωνικούς παλμούς. Για να επιτευχθεί αυτό έπρεπε να δημιουργηθεί ένας speaker driver (κύκλωμα) στο ηχείο. Ο speaker driver αποτελούνταν από δύο αντιστάσεις, δύο τρανζίστορ μία γείωση και τη σύνδεση με το ηχείο. Με τον τρόπο αυτό μπορούσαν να οδηγηθούν πλέον στο ηχείο τετραγωνικοί παλμοί διάρκειας από 0-20ms, συχνότητας $f=0-10\text{Hz}$ και πλάτους $V=0-12\text{V}$. (Παράρτημα Σχ.2) Επιπλέον χρειάστηκε μία γεννήτρια η οποία θα δημιουργεί τους κατάλληλους παλμούς. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε μία γεννήτρια που υπήρχε στο εργαστήριο της εταιρείας Tektronix και η οποία συνδέθηκε με το ηχείο (Πίνακας 3).

Τάση (V)	Συχνότητα (Hz)	Power (W)
100-240	47-63	120
116	360-440	120

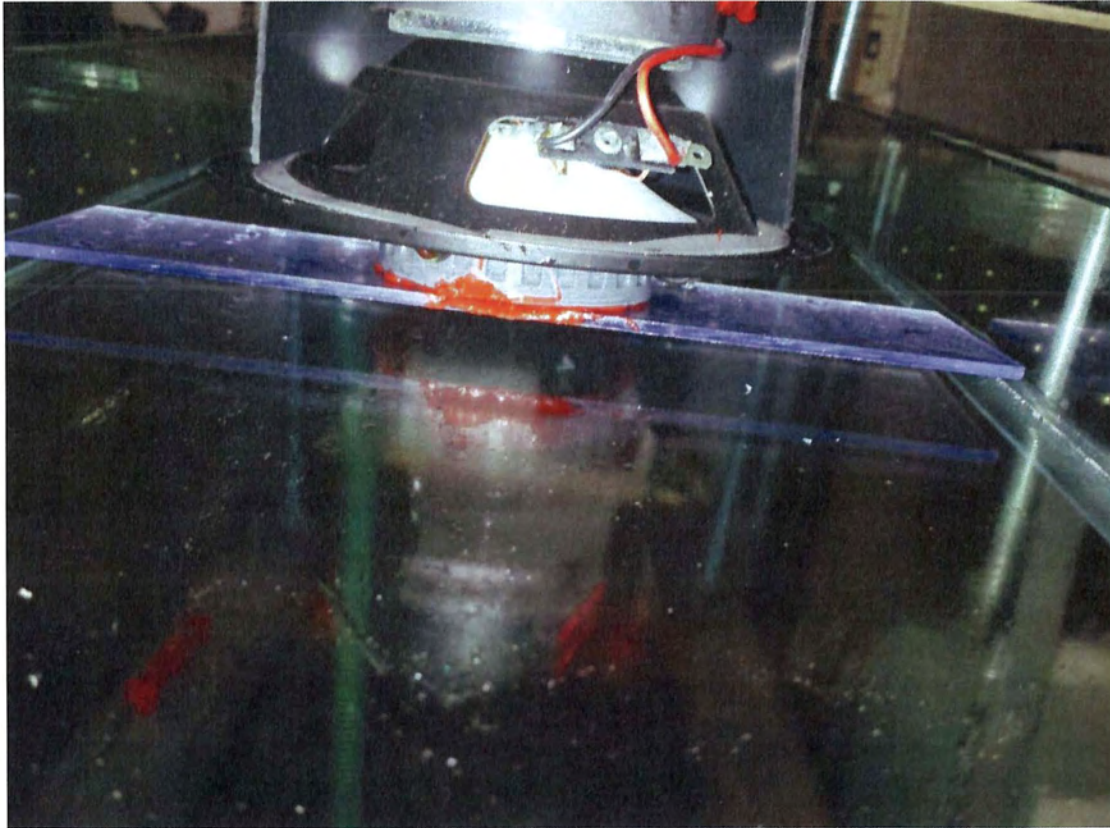
Πίνακας 3 Χαρακτηριστικά λειτουργίας γεννήτριας



Εικόνα 10 Σύστημα διαταραχής



Αφού ολοκληρώθηκε η μετατροπή του, το ηχείο στη συνέχεια κολλήθηκε με κόκκινη θερμοσιλικόνη στην κάτω επιφάνεια μιας ξύλινης πλάκας με τρόπο τέτοιο ώστε το τύμπανο του να είναι εκτεθειμένο στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού. Η ξύλινη επιφάνεια πάνω στην οποία κολλήθηκε το ηχείο ήταν ουσιαστικά μια ξύλινη πλάκα μήκους 0,45m πλάτους 0,05m και πάχους 0,02m. Στην ξύλινη αυτή πλάκα ανοίχθηκαν στην συνέχεια οπές με το ηλεκτρικό δρόπανο στις δύο άκρες στα καθορισμένα σημεία όπου υπήρχαν οπές του πλαισίου αλουμινίου από κάτω. Αφού κεντραρίστηκε το ηχείο με την ξύλινη πλάκα πάνω από το πλαίσιο αλουμινίου στη σωστή θέση, βιδώθηκε εκεί με τη βοήθεια από δύο ντίζες M6 σπειρώματος. Για την στήριξη του συστήματος αυτού χρησιμοποιήθηκαν και έξι περικόχλια τα οποία βιδώθηκαν πάνω στις ντίζες. Στη συνέχεια σειρά είχε η πλάκα από plexiglass η οποία κολλήθηκε πάνω σε έναν αποστάτη και ο αποστάτης αυτός πάνω στο ηχείο. Η πλάκα από plexiglass είχε μήκος 240mm πλάτος 60mm και πάχος 3mm. Η πλάκα αυτή χρησιμοποιήθηκε έτσι ώστε η διαταραχή που θα δημιουργείται από το ηχείο να μεταφέρεται ομοιόμορφα σε όλο το πλάτος της ελεύθερης επιφάνειας του υγρού. Η τελική διάταξη του συστήματος διαταραχής παρουσιάζεται στην παρακάτω (Εικόνα 11).



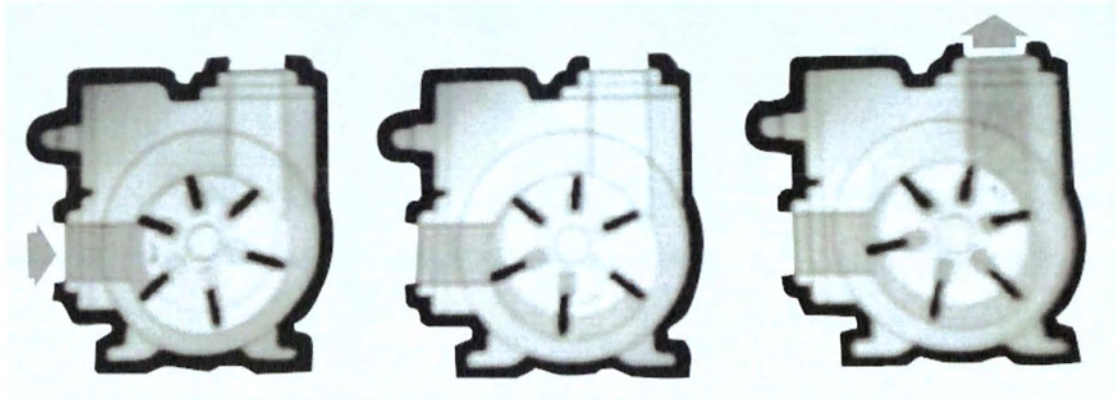
Εικόνα 11 Πλάκα plexiglass του συστήματος διαταραχής

Παραπάνω (Εικόνα 11) φαίνεται και το κομμάτι PVC το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως προστατευτικό κάλυμμα για την διάταξη της διαταραχής και κυρίως για την προστασία του ηχείου. Το κομμάτι αυτό δεν είχε σχεδιαστεί από την αρχή να τοποθετηθεί, αλλά κατά τη διάρκεια των πειραμάτων και αφού τέθηκε σε λειτουργία η πειραματική διάταξη, διαπιστώθηκε πως ήταν αναγκαίο για την αποφυγή τυχόν καταστροφής του ηχείου.

3.7 ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΝΑΖΩΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΤΟ ΔΟΧΕΙΟ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΥΓΡΟΥ

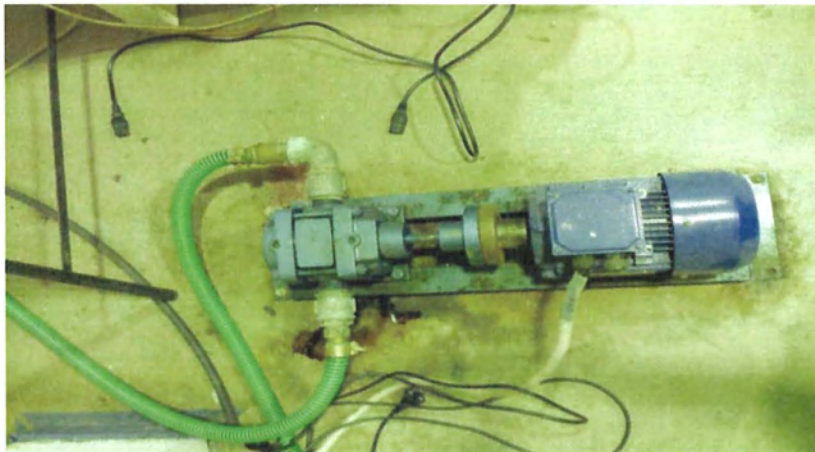
Για να γίνει δυνατή η κυκλοφορία του υγρού στο σύστημα χρησιμοποιήθηκε η γραναζωτή αντλία η οποία υπήρχε στο εργαστήριο. Ο κυριότερος λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε γραναζωτή αντλία είναι ότι τέτοιου είδους αντλίες επιλέγονται κυρίως για διακίνηση ρευστών μεγάλου ιξώδους λόγω της δραματικής πτώσεως στην απόδοση. Η αντλία βρίσκεται όπως αναφέρθηκε στο εργαστήριο τοποθετημένη σε μεταλλική βάση μαζί με ηλεκτροκινητήρα τριφασικού ρεύματος ο

οποίος παρέχει κίνηση στον κεντρικό άξονα και αυτός με τη σειρά του στα γρανάζια της αντλίας (Εικόνα 12).



Εικόνα 12 Προσομοίωση γρναζωτής αντλίας

Τα μεγάλα προτερήματα των γρναζωτών αντλιών είναι οι υψηλές ταχύτητες σε συνδυασμό με μικρές πιέσεις λειτουργίας ενώ ως μεγάλο μειονέκτημα θεωρείται η εσφαλμένη λειτουργία, σε περίπτωση που το ρευστό περιέχει στερεά αιωρούμενα σωματίδια από τα οποία μπορεί να προκληθεί βλάβη.



Εικόνα 13 Γρναζωτή αντλία

Το παραπάνω σύστημα συνδέθηκε με inverter μέσω του οποίου καθορίζονταν οι στροφές λειτουργίας και επομένως η συνολική παροχή στην πειραματική διάταξη. Η αντλία θετικής μετατοπίσεως κινεί δεδομένο όγκο ρευστού, διαμέσου του περιβλήματός της, εφαρμόζοντας δύναμη στα κινούμενα μέρη (γρναζία) τα οποία αποτελούν και τα όρια εγκλωβισμού του ρευστού. Η λειτουργία της εν λόγω αντλίας βασίζεται στην σύμπλεξη δύο πανομοιότυπων γρναζιών τα οποία περιστρέφονται με αντίθετες φορές. Το ένα εκ των δύο γρναζιών λαμβάνει κίνηση από τον άξονα

ενώ το δεύτερο γρανάζι κινείται λόγω της σύμπλεξης με το πρώτο. Καθώς τα γρανάζια απελευθερώνονται από τη σύμπλεξη, δημιουργούν μεγάλο όγκο ελέγχου (μικρή πίεση) στην είσοδο της αντλίας. Το υγρό εισέρχεται στην κοιλότητα και παγιδεύεται από τις οδοντώσεις των γραναζιών. Έχοντας πλέον αποκτήσει, μέσα από την κίνηση του στα γρανάζια και το εσωτερικό πρόβλημα της αντλίας, την απαιτούμενη πίεση εξέρχεται για περεταίρω χρήση.

Στην πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκε αντλία από την εταιρεία OMCP Ιταλίας τύπου K90S, στροφών 1390rpm και ισχύος 1,5hp. Το σώμα, τα καλύμματα και οι θάλαμοι αποτελούνται από λεπτόκοκκο φαιό χυτοσίδηρο ενώ τα γρανάζια και ο άξονας από ειδικό ανθρακούχο χάλυβα. Η στεγανοποίηση του άξονα επιτυγχάνεται με ειδική αλιφατούχο σαλαμάστρα ή με μηχανικό στυπιοθλιπτή. Η αντλία διαθέτει σύστημα θέρμανσης-ψύξης για την διακίνηση είτε πολύ θερμών είτε πολύ ψυχρών υγρών και άρα επιπρόσθετο σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας είναι περιττό.

Τύπος	Πόλοι	Ισχύς (kw)	Ισχύς (hp)	Στροφές RPM	Απόδ. %	Ρεύμα 400 V (A)	Ονομ. Ροπή (Nm)	Σχ. Ρεύμα Εκκίνησης (A)	Σχ.Ροπή Εκκίνησης (Nm)	Βάρος (Kg)
K90S	4	1,1	1,5	1390	73	2,8	7,5	6	2	16

Πίνακας 3 Χαρακτηριστικά ηλεκτροκινητήρα αντλίας

Τα στόμια εισόδου και εξόδου του ρευστού είναι διαμέτρου ϕ 1-1/4 της ίντσας. Στην έξοδο και την είσοδο της αντλίας είναι προσαρμοσμένοι εξωτερικοί σύνδεσμοι (μούφες) διαμέτρου ϕ 1-1/4 της ίντσας, όπου είναι βιδωμένοι δύο γωνιακοί σύνδεσμοι αντίστοιχων διαμέτρων. Στα θηλυκά σπειρώματα των γωνιακών συνδέσμων είναι προσαρμοσμένοι δύο σύνδεσμοι συστολής διαμέτρων ϕ 1-1/4 σε ϕ 1 ίντσας. Ο κύριος διανομέας της παροχής, με τις τρεις βάνες και το by-pass είναι βιδωμένοι στον ένα σύνδεσμο συστολής, ενώ η σωλήνα PVC με μία επιπλέον προσθήκη βάνας κρουνού είναι ενωμένη με το δεύτερο σύνδεσμο διαστολής. Ο σκοπός της επιπρόσθετης βάνας στην είσοδο της αντλίας είναι η παραμονή του υγρού στην κυρίως δεξαμενή χωρίς να χρειαστεί η μετάγγιση του για λόγους αντικατάστασης των εξαρτημάτων του συστήματος.

Ο ηλεκτροκινητήρας της αντλίας συνδέεται με τον inverter (Εικόνα 14) για τον έλεγχο των στροφών και επομένως της παροχής. Ο inverter (αναστροφέας ρεύματος) ανήκει στη σειρά Siemens 440 και ως πρωταρχικό σκοπό έχει την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος το οποίο λαμβάνει, σε εναλλασσόμενο για την τροφοδότηση του ηλεκτροκινητήρα της αντλίας. Η κύρια παράμετρος η οποία ενδιαφέρει είναι η ισχύς του κινητήρα του αναστροφέα σε συνδυασμό με την ισχύ του ηλεκτροκινητήρα της αντλίας. Η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα της αντλίας είναι 1,1kw και το μοτέρ του αναστροφέα 1,5kw, συνεπώς δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα στον προγραμματισμό των ρυθμίσεων με βάση τα στοιχεία του ηλεκτροκινητήρα αλλά ούτε και κίνδυνος υπερφόρτωσης του συστήματος λόγω εσφαλμένης χρήσης και λειτουργίας. Στον ηλεκτρολογικό πίνακα υπάρχει ασφάλεια 10Α μέσω της οποίας τροφοδοτείται ο αναστροφέας. Η τροφοδοσία επιτυγχάνεται με καλώδιο φάσης (καφέ), ουδέτερο (μπλε) για να ολοκληρωθεί το κύκλωμα και γείωσης (κίτρινο) για προστασία του συστήματος από πιθανό βραχυκύκλωμα. Αντιστοίχως ο αναστροφέας τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα με χρήση καλωδίου εναλλασσόμενου ρεύματος τριών τμημάτων για τις φάσεις και μια γείωση.



Εικόνα 14 Inverter

Τέλος αφού η προετοιμάστηκαν κατάλληλα για λειτουργία η αντλία και ο inverter έπρεπε να συνδεθούν με την πειραματική διάταξη. Η σύνδεση αυτή πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια δύο σωλήνων PVC οι οποίες συνδέονταν με την είσοδο και την έξοδο της αντλίας. Η σωλήνα που έφευγε από την έξοδο της αντλίας κατέληγε στην είσοδο της πειραματικής διάταξης όπου και συνδεόταν με την εισαγωγή του υγρού που έχει ήδη περιγραφεί νωρίτερα. Η σύνδεση αυτή γινόταν δυνατή με τη βοήθεια ενός ρακόρ και ενός σφικτήρα φ22 όσο δηλαδή και η διάμετρος της σωλήνας αλλά και του κομματιού χαλκοσωλήνα που αποτελούσε κομμάτι της εισαγωγής του υγρού. Η δεύτερη σωλήνα PVC έφευγε από την είσοδο της αντλίας και κατέληγε στο δοχείο, στο οποίο κατέληγε το υγρό αφού διέτρεχε την ελεύθερη επιφάνεια του γυάλινου καναλιού (Εικόνα 15). Το δοχείο αυτό είναι ένα δοχείο τετραγωνικού σχήματος διαστάσεων 23cm πλάτους, 25cm μήκους και 40cm ύψους. Στο δοχείο ανοίχτηκε οπή με ηλεκτρικό δρέπανο, στην πλευρά στην οποία θα γινόταν η σύνδεση με την σωλήνα εισόδου της αντλίας.

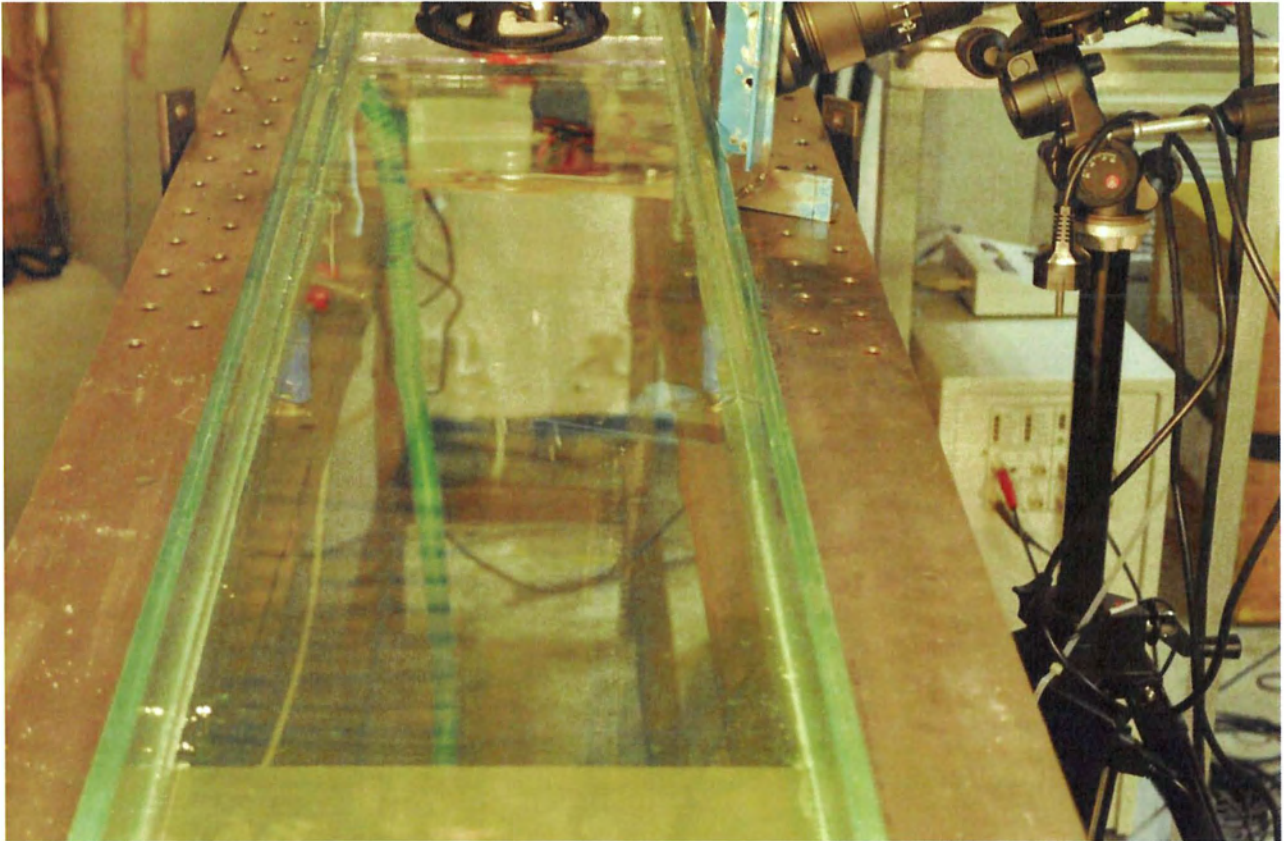


Εικόνα 15 Δοχείο συλλογής υγρού

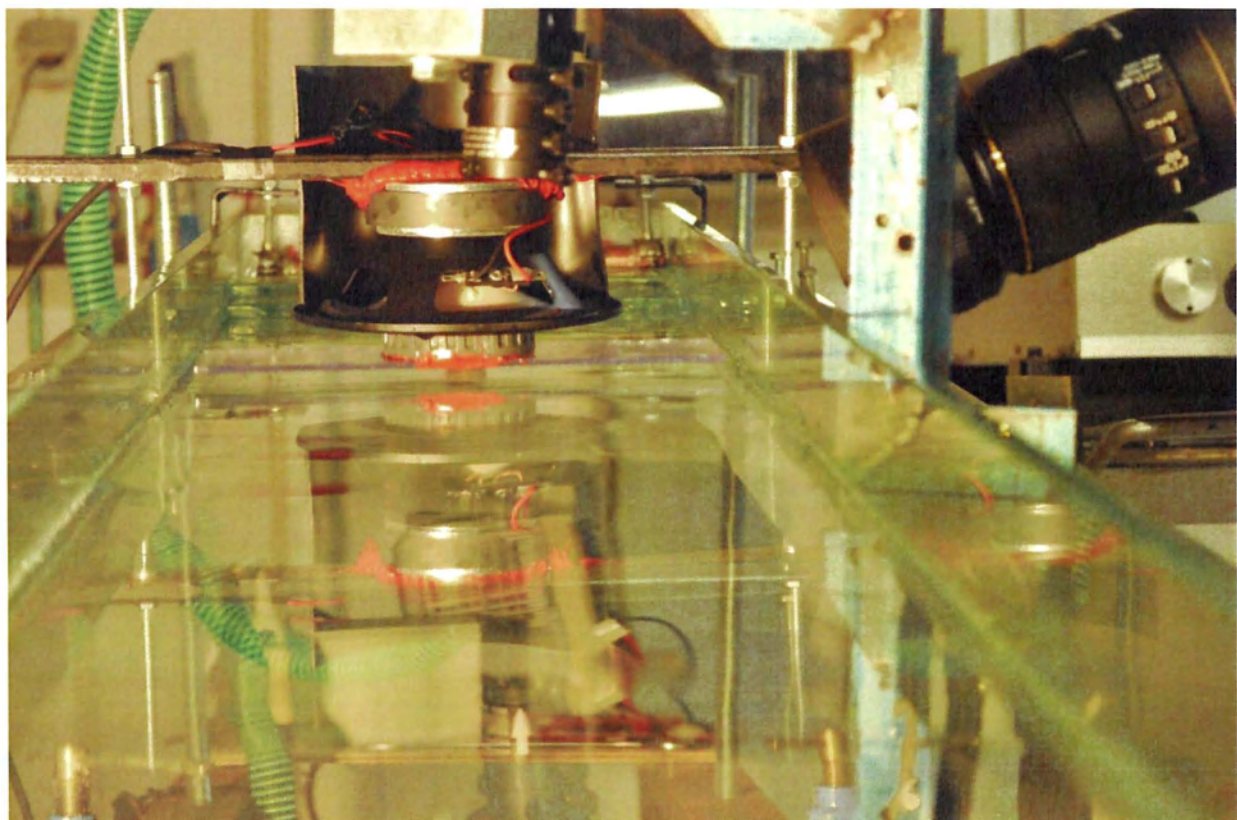
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Αφού ολοκληρώθηκε η κατασκευή της πειραματικής διάταξης και πραγματοποιήθηκε η σύνδεση της με τα περιφερειακά στοιχεία (την αντλία και την γεννήτρια), ήταν έτοιμη για λειτουργία. Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής δεν ήταν η εκτέλεση πειραμάτων και η μελέτη φαινομένων στην πειραματική διάταξη, αλλά ολοκληρωνόταν με το πέρας της κατασκευής της. Παρόλα αυτά εκτελέστηκαν κάποια αρχικά βασικά πειράματα έτσι ώστε να εξασφαλιστεί τόσο η καλή λειτουργία της διάταξης, αλλά και να παρουσιαστούν κάποια αρχικά αποτελέσματα.

Για να τεθεί σε λειτουργία η διάταξη, έπρεπε αρχικά να τοποθετηθεί μία ποσότητα υγρού (μίγμα νερού με γλυκερίνη) στο δοχείο συλλογής (Εικόνα 15). Έπειτα να ενεργοποιηθεί ο inverter (Εικόνα 14) έτσι ώστε να δώσει κίνηση στην αντλία που θα δημιουργήσει την ροή κατά μήκος του καναλιού. Για τα πρώτα αυτά πειράματα δόθηκαν στον inverter οι τιμές από 3hz έως 5hz. Στη συνέχεια και αφού εξασφαλίστηκε η ομαλή ροή του υγρού (μίγμα νερό με γλυκερίνη), ενεργοποιήθηκε η γεννήτρια. Στην γεννήτρια δοθήκαν οι τιμές συχνότητας από 15hz έως 20hz και πλάτος από 5ms έως 7ms. Οι τιμές αυτές μας έδωσαν έναν αρκετά ικανοποιητικό παλμό πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού. Το σύστημα διαταραχής (Εικόνα 10) χρειάστηκε να <<ανέβει>> ή να <<κατέβει>> με την βοήθεια των περικοχλίων στις δύο ντίζες στις οποίες είχε πραγματοποιηθεί η στήριξη του. Ο λόγος για αυτήν την μετακίνηση ήταν πως όσο αλλάζαμε το πλάτος στη διέγερση, τόσο το plexiglass απομακρυνόταν ή πλησίαζε την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού αντίστοιχα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι φωτογραφίες οι οποίες τραβήχτηκαν με τη βοήθεια ενός προβολέα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της διάταξης όπως περιγράφηκε παραπάνω.



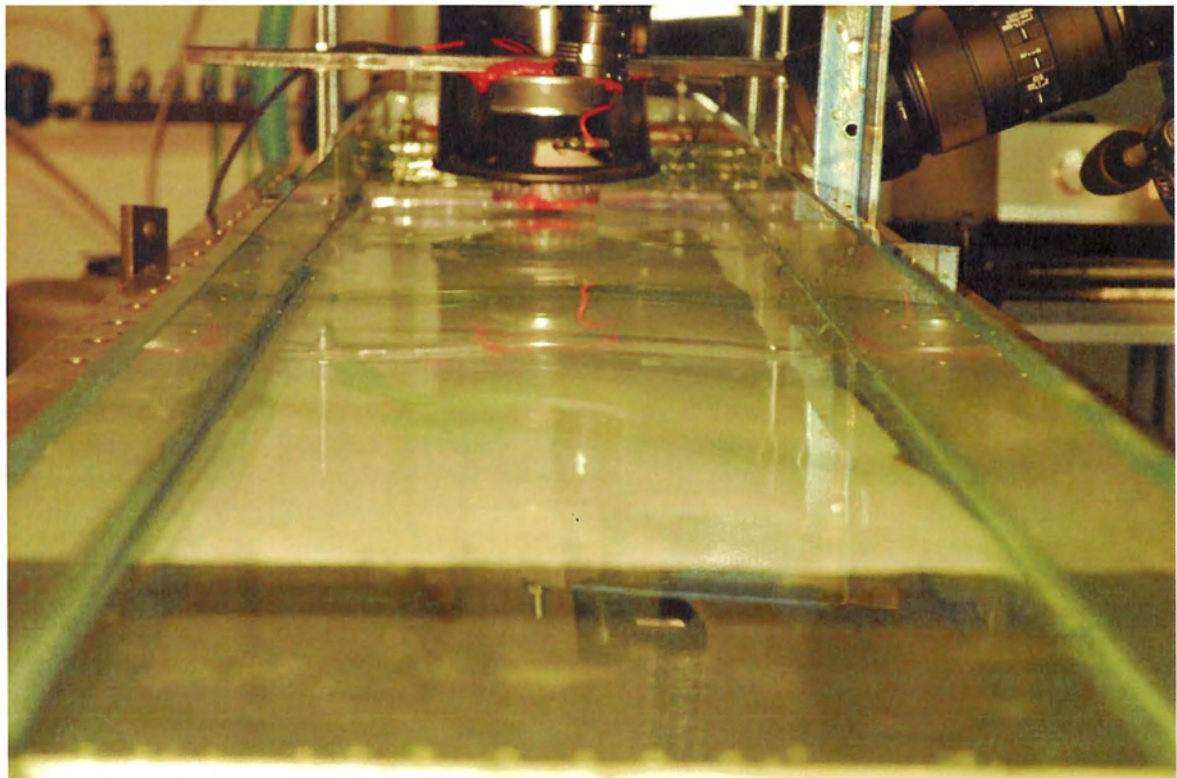
Εικόνα 16 Ροή με διαταραχή (συχνότητα $f=15\text{Hz}$ και $\text{width}=5\text{ms}$)



Εικόνα 17 Ροή με διαταραχή (συχνότητα $f=15\text{Hz}$ και $\text{width}=5\text{ms}$)



Εικόνα 18 Ροή με διαταραχή (συχνότητα $f=20\text{Hz}$ και $\text{width}=7\text{ms}$)



Εικόνα 19 Ροή με διαταραχή (συχνότητα $f=20\text{Hz}$ και $\text{width}=7\text{ms}$)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας κατασκευάστηκε εξολοκλήρου η πειραματική διάταξη ροής υγρού υμένα σε κεκλιμένο επίπεδο με την επιβολή εξωτερικής διαταραχής. Στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν η κατασκευή μιας πειραματικής διάταξης όπως περιγράφηκε παραπάνω η οποία θα συντελέσει στην περαιτέρω μελέτη της ροής κάτω από την επίδραση μιας διαταραχής σε μορφή παλμών. Η μελέτη αυτή θα συνεχιστεί με την εκπόνηση επόμενων εργασιών από τις οποίες στόχος είναι να προκύψουν νέα πειραματικά δεδομένα έτσι ώστε να κατανοηθεί σε μεγαλύτερο βάθος το παραπάνω φαινόμενο.

Αξίζει να παρατηρηθεί πως η μελέτη και η συνέχιση των πειραμάτων στη συγκεκριμένη διάταξη θα διευκολυνθεί αρκετά αν γίνει χρήση του Laser PIV το οποίο υπάρχει στο εργαστήριο των φυσικών και χημικών διεργασιών. Με τη βοήθεια του Laser αυτού καθώς και του αντίστοιχου υπολογιστικού προγράμματος αλλά και τη χρήση κάμερας υψηλής ταχύτητας, θα είναι δυνατή η μελέτη της επίδρασης της διαταραχής στη ροή σε μεγαλύτερο βάθος. Όσο αφορά το κατασκευαστικό κομμάτι πιθανώς να είναι αναγκαίες κάποιες τροποποιήσεις σε κάποια σημεία της διάταξης. Μία αρχική παρατήρηση είναι πως η διατομή στην εισαγωγή του υγρού θα πρέπει να αυξηθεί κατά 2mm. Τέλος θα ήταν χρήσιμη η μόνιμη τοποθέτηση ενός προβολέα στη διάταξη για την ευκολότερη οπτική παρατήρηση των φαινομένων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. ALEKSEENKO, S.V., NAKORYAKOV, V.Y. & POKUSAEV, B.G. 1985 “Wave formation on a vertical falling liquid film”
2. C. RUYER – QUIL & P.MANEVILLEE, Phys. J. B 6 (1998) “Modeling film flows down inclined planes”
3. ALEXANDRE ERN. ,REMI JOUBAUD & TONY LELIEVRE (2011) “ Numerical study of a thin liquid film flowing down an inclined wavy plane”
4. S.MILADINOVA, G.LEBON, E.TOSHEV (2004) “Thin flow of a power-law liquid falling down an inclined plane”
5. ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΦΟΙΤΗΤΗ ΤΖΑΝΙΔΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΟΥ (2007-2008) “Κατασκευή και δοκιμές κατακόρυφου καναλιού υγρού υμένα”
6. ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΦΟΙΤΗΤΗ ΖΗΣΗ ΓΕΩΡΓΙΟΥ (2007-2008) “Πειραματική μελέτη ροής κατακόρυφου υγρού υμένος πάνω από ανάβαθμο”
7. ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΑΡΓΥΡΙΑΔΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗΣ (2005) “Ροή υγρού υμένα: επίδραση χαρακτηριστικών διαταραχής και μορφολογίας τοιχώματος”
8. CHANG, H.-C. , (1994) “Wave evolution on a falling film”
9. KAPITZA. P.L., KAPITZA, S.P. (1949) “Wave flow of thin fluid layers of liquid”

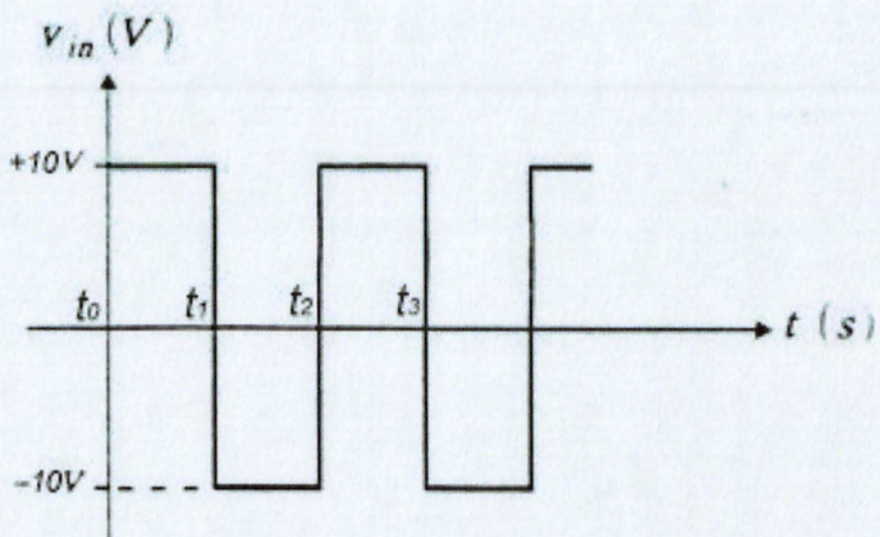
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΨΟΥΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ ΚΑΝΑΛΙΟΥ

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Βαρυντική δύναμη g :						10 m/s**2												
Κινηματικό ιξώδες :	0% γλυκερίνη					1,005 mPa*s												
3			50% γλυκερίνη			6 mPa*s												
4			90% γλυκερίνη			219 mPa*s												
6	Αριθμός Reynolds :					10												
7						100												
9	sin(φ) :		5°			0,087												
10			30°			0,5												
13																		
15	Υψος κόματος h :					3,265713202	mm											
16	Παροχή q :					10,05												
19																		
22																		

Ενότητα 1

ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟΥ ΠΑΛΜΟΥ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ



Σχήμα 2

ΑΠΑΡΑΞΗ ΤΕΡΑΤΙΚΟΥ ΠΑΜΟΥ ΤΗΣ ΠΛΗΡΙΑΣ

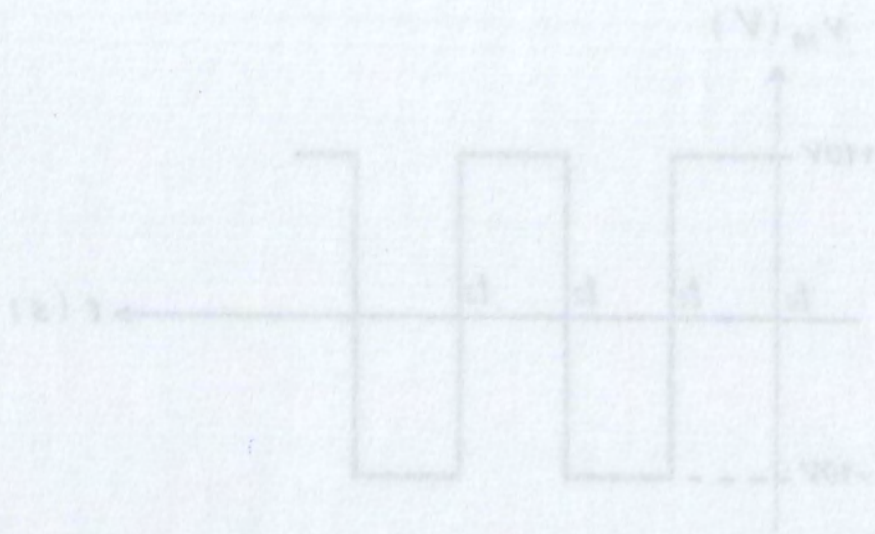


Figure 1



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

004000042947

