



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Πειραματική Διερεύνηση Απόδοσης Πεδίλων  
Ελεύθερης Κατάδυσης»  
(Experimental Evaluation of Free Diving Fins  
Performance)

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΜΠΑΡΔΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΜΑΘΙΟΥΛΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ  
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ

Ιούλιος 2009

**Στη μνήμη του πατέρα μου**

## Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	5
Σκοπός.....	6
Εισαγωγή.....	6

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Η ελεύθερη κατάδυση.....	7
1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά ενός αγωνιστικού βατραχοπέδλου.....	9
1.2.1 Λεπίδα πτερυγίου.....	9
1.2.2 Πέλμα πτερυγίου.....	10
1.2.3 Παρατροπίδια πτερυγίων.....	10
1.2.4 Γωνία πέλματος-λεπίδας.....	11

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Μονοπέδιλο.....	16
-----------------	----

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 (βιβλιογραφική ανασκόπηση)

3.1 Διερεύνηση της απόδοσης των πεδίων ελεύθερης κατάδυση .....	19
3.2 G.Darigan.....	24
3.3.1 Υδρομηχανική της κολυμβητικής προώθησης.....	41
3.3.2 Κάποια βέλτιστα προβλήματα σχήματος.....	44
3.4 Επίδραση των πτερυγίων στην οικονομία και απόδοση της ανθρώπινης κολύμβησης...	45
3.5 Μέγιστη συνεχόμενη ώση μέσω χρήσης λεπίδων στην υποβρύχια κολύμβηση.....	53

3. Τεχνική κολύμβηση γυναικών με αναφορά στην εκλογή λεπίδων.....	53
---	----

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

4. 1 Περιγραφή της πειραματική διάταξης.....	54
--	----

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

5.1 Πειραματική επεξεργασία.....	64
----------------------------------	----

5.2 Μετρήσεις.....	65
--------------------	----

5.3 Βαθμοί απόδοσης.....	70
--------------------------	----

5.4 Επεξεργασία πεδίων.....	73
-----------------------------	----

5.5 Γραφήματα.....	112
--------------------	-----

Συμπεράσματα.....	118
-------------------	-----

Παράρτημα.....	120
----------------	-----

Βιβλιογραφία.....	122
-------------------	-----

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά την διάρκεια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας ασχοληθήκαμε με την πειραματική διερεύνηση της απόδοσης των πεδίων ελεύθερης κατάδυσης. Χρησιμοποιήθηκε ένας μηχανισμός κίνησης ο οποίος προσομοιώνει την κίνηση των ποδιών του δύτη ενώ οι συνθήκες ήταν οι ίδιες για όλα τα πέδιλα. Για μηδενική ταχύτητα νερού διαπιστώθηκε ότι η απόδοση των πεδίων εξαρτάται κυρίως από τον τρόπο παραμόρφωσης των λεπίδων, επομένως από τον τρόπο κατασκευής τους, του πέλματος, του τρόπου σύνδεσής λεπίδας-πέλματος καθώς και από το μέγεθος-σχήμα της λεπίδας.

## ABSTRACT

In the context of this diploma thesis we studied the performance of free diving fins following an experimental procedure. A kinematic mechanism was used in order to simulate the movement of the diver's feet while the conditions of the experiment were similar for all the examined fins. For zero water free stream velocity it was found that the performance of the free-diving fins mainly depends on the deformation of the fins and consequently on the way these have been constructed, they are connected to the shoes. Finally more work has to be done in order to optimize both the shape and the size of the fins.

## ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι να κατασκευαστεί αφενώς μία διάταξη η οποία θα υπολογίζει την απόδοση των πτερυγίων του ελεύθερου δύτε και σε τελική ανάλυση η εύρεση ενός αποδοτικού πεδίου ως προς την εξοικονόμηση ενέργειας κατά την υποβρύχια μετακίνηση. Μεγάλης σημασίας κρίνεται το γεγονός ότι η συγκεκριμένη πειραματική διάταξη θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στο μέλλον στην διαδικασία εύρεσης του ιδανικού πεδίου και θα είναι δυνατή η εξαγωγή κρίσιμων συμπερασμάτων σχετικά με τους παράγοντες οι οποίοι βελτιώνουν την απόδοση των πτερυγίων του ελεύθερου δύτε.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ελεύθερη κατάδυση είναι ένα άθλημα η σημασία του οποίου έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια εξαιτίας του αριθμού και του επιπέδου των αθλητών που προπονούνται. Για να καταφέρει ο άνθρωπος να βουτήξει στα 100μετρα βάθος με την αναπνοή του με σταθερά βάρος, νέες πνευματικές και φυσικές μέθοδοι προπόνησης έχουν αναπτυχθεί, καθώς και νέα υλικά με καινούρια σχήματα, πιο αποδοτικά, έχουν αποδοθεί στις λεπίδες. Συνήθως αυτές οι βελτιώσεις βασίζονται στην πείρα του κατασκευαστή, ο οποίος στηρίζεται στην άποψη των αθλητών και όχι σε επιστημονικά τεκμηριωμένες μετρήσεις. **Το κέρδος αυτής της μελέτης είναι η εισαγωγή μιας επιστημονικά τεκμηριωμένης μεθοδολογίας όπου ορίζεται ποσοτικώς η απόδοση του πεδίου ελεύθερης κατάδυσης.** Αυτή η μεθοδολογία καθώς και τα αποτελέσματα της ανάλυσης πεδίων μιας γνωστής εταιρείας η οποία προσφέρθηκε να βοηθήσει στην έρευνα δίνοντας μας τον απαιτούμενο εξοπλισμό, παρατίθενται στη συνέχεια λεπτομερικά.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### 1.1 Η Ελεύθερη Κατάδυση

Είναι το άθλημα στο οποίο ο άνθρωπος εκτελεί δυναμική ή στατική άπνοια μέσα στο υγρό στοιχείο. Το τελευταίο είναι είτε η θάλασσα είτε μία πισίνα ή και σπανιότερα κάποια λίμνη...

Ως δυναμική άπνοια νοείται η διάδυση απόστασης υποβρυχίως συνήθως χρησιμοποιώντας βατραχοπέδιλα από μοντέρνα υλικά(υαλονήματα ,carbon fiber) ,μονοπέδιλα είτε με τα γυμνά μας πόδια. Η δυναμική άπνοια στην πισίνα εκτελείται οριζοντίως, ενώ στην θάλασσα καθέτως. Στη στατική άπνοια, αντιθέτως κρατάμε την αναπνοή μας ενώ είμαστε σε ακινησία..

Πρωτεργάτες αυτού του αθλήματος είναι οι Καλύμνιοι σφουγγαράδες οι οποίοι με την βοήθεια ενός έρματος(σκανδαλόπετρα) βουτούσανε στη θάλασσα κρατώντας την αναπνοή τους, με σκοπό την ανεύρεση σφουγγαριών.... Ο Στάθης Χατζής από τη Σύμη πριν από 60 χρόνια επίσης με μια αναπνοή καταδύθηκε σε βάθος περίπου 70 μέτρων για να βοηθήσει στο ξεσκάλωμα της άγκυρας του Ιταλικού θωρηκτού Regina Margarita και τελικά τα κατάφερε! Το συγκεκριμένο γεγονός καταγράφηκε επίσημα στο ημερολόγιο των παρατηρητών του γεγονότος. Κατόπιν ακολούθησαν πολλοί μεγάλοι ελεύθεροι δύτες όπως ο Magiol, Pellizzari, Pipin, οι οποίοι άφησαν ιστορία αφού έγιναν ουσιαστικά ανθρώπινα πειραματόζωα βουτώντας σε βάθου τα οποία 'μέχρι πρότινος ήταν απαγορευτικά αφού θεωρούσαν ότι ο άνθρωπος δεν μπορεί να επιζήσει σε τέτοιες συνθήκες πίεσης.

Στις μέρες μας πλέον που το άθλημα γίνεται χρόνο με τον χρόνο ολοένα και πιο ανταγωνιστικό και ο σύγχρονος δύτες πλησιάζει όλο και περισσότερο στα όρια του για την επίτευξη ενός ρεκορ, υπάρχει η ανάγκη για τη βελτιστοποίηση του εξοπλισμού. Τον σημαντικότερο ρόλο σ αυτό το κομμάτι αποτελούν οι λεπίδες οι οποίες θα δώσουν την απαιτούμενη πρόωθηση με την λιγότερη δυνατή κατανάλωση έργου.

**Στο αγώνισμα της δυναμικής άπνοιας** το οποίο είναι από τα πλέον απαιτητικά από μεριάς φυσικής κατάστασης καθώς και τεχνικής, ο ρόλος του καλού πεδίλου μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα ένα νέο ρεκορ.. Παρόλα αυτά μεγάλη σημασία παίζει και ο τρόπος που θα κινήσουμε τις λεπίδες. Το εύρος της κίνησης δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλο έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι τριβές, ταυτόχρονα όμως πρέπει να είναι τόσο ώστε να μπορεί να κινεί

τον δύτη με ικανοποιητική ταχύτητα.Ένα εύρος της τάξης του  $+_{30}$  μοιρών είναι ικανοποιητικό.

Πρώτιστος στόχος είναι η ελαχιστοποίηση των καταναλώσεων.Για παράδειγμα πρέπει να γίνει κατανοητό ότι το να κινηθούμε πιο γρήγορα δεν σημαίνει απαραίτητα ότι θα διανύσουμε και μεγαλύτερη απόσταση με μία ανάσα..Σύμφωνα με την πράξη σε αγώνες ελεύθερης κατάδυσης έχει φανεί ότι μία ταχύτητα της τάξης του 1m/sec είναι για τους περισσότερους αθλητές πολυ οικονομική..δηλαδή προτιμούν να διανύσουν 50 μετρα σε 50 sec απ ότι σε 25 sec που θεωρητικά μπορούν.

Παράλληλα θα πρέπει να ενεργοποιήσουμε τους κατάλληλους μυς.Η δύναμη δεν πρέπει να μπαίνει από τον τετρακέφαλο αλλά πρώτιστα από τους αστραγάλους οι οποίοι είναι οικονομικότεροι μύς απο πλευράς απαίτησης οξυγόνου.Γίνεται κατανοητό επομένως ότι δέν πρέπει να σπάμε το γόνατο σε μεγάλο βαθμό(σχήμα 2.6 )και να το κρατάμε αρκετά τετωμένο.Το πόδι δεν σπρώχνει ούτε κλωτσάει όπως νόμιζαν παλιά.Κουνιέται μπρος πίσω σε υδροδυναμικές γωνίες ως προς τον οριζόντιο άξονα ώστε να πετύχουμε μία συνεχόμενη ροή στην κίνηση χωρίς επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις οι οποίες στοιχίζουν σε ενέργεια.Στο σχήμα 1 φαίνεται ο τρόπος κίνησης.Το γόνατο πρέπει να σπάει ακόμα λιγότερο ακόμα και στην μισή γωνία απο την αναπαράσταση.Τα χέρια τέλος, είναι κρατημένα μπροστά για να πετύχουμε το τέλειο υδροδυναμικό σχήμα.Σημαντικό ρόλο παίζει και το βάθος της πισίνας στο οποίο θα κινηθούμε.Πρέπει να ρυθμίσουμε με βαρίδια την πλευστότητά μας με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουμε ουδέτερη πλευστότητα στο επιθυμητό βάθος κίνησης.Μόνο έτσι θα δουλέψει το πέδιλο κατά την φορά κίνησης μόνο και θα ελαχιστοποιηθεί η κάθετη συνιστώσα.



Σχ.1.1 Φωτογραφία πέδिलου ελεύθερης κατάδυσης



## 1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά ενός αγωνιστικού βατραχοπέδλου

Το βατραχοπέδιλο αποτελείται από τα εξής βασικά μέρη:

**α.**λεπίδα(συνήθως από ανθρακόνημα)

**β.**πέλμα-παπουτσάκι

**γ.**παρατροπίδια

**δ.**γωνία που πρέπει να σχηματίζει το πέλμα με τη λεπίδα

### 1.2.1 Λεπίδα πτερυγίου

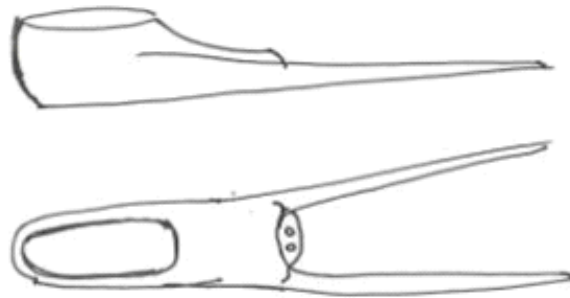
Η λεπίδα έχει διάφορα σχήματα, απολήξεις διαφορετικές, καθώς και διαφορετικές σκληρότητες. Παλαιότερα χρησιμοποιούσαν πλαστικές λεπίδες ενώ τα τελευταία χρόνια έχουν επικρατήσει ως υλικά το υαλόνημα και το καρμπόνιο, τα οποία είναι πιο ελαφριά και πιο νευρικά από τα αντίστοιχα πλαστικά. Μπορεί θεωρητικά μια πολύ σκληρή λεπίδα να φαίνεται εκ πρώτης όψεως πιο αποδοτική αφού μπορεί να δώσει μεγαλύτερη ώση από μία πιο μαλακιά, αλλά στην περίπτωσή μας, μας ενδιαφέρει το βατραχοπέδιλο να είναι ταυτόχρονα και οικονομικό στο θέμα κατανάλωσης ενέργειας, δηλαδή οξυγόνου. Σημασία πρέπει να δοθεί επίσης και στο είδος της σκληρότητας, δηλαδή αν είναι σε κάποια σημεία πιο σκληρό ή όχι και κατά πόσο αυτό είναι αποδοτικό. Η απόλιξη έχει και αυτή τη σημασία της καθώς αλλάζει την ροή του μεταφερόμενου νερού. Το πόσο σημαντικό ρόλο παίζει, είναι ένα ερώτημα το οποίο δύναται να απαντηθεί με το πέρας αυτής της εργασίας.



Σχ.1.2 Δυο διαφορετικές απολήξεις πεδίων διαφορετικών υλικών

### 1.2.2 Πέλμα πτερυγίου

Το πέλμα στο βατραχοπέδιλο της ελεύθερης κατάδυσης έχει επικρατήσει να φτιάχνεται από latex. Είναι πολύ σημαντικό το πέλμα να ναι σκληρό σε ορισμένα σημεία έτσι ώστε να μην έχουμε απώλειες και να μεταφέρεται σωστά η εκτόνωση της λεπίδας. Παράλληλα όμως είναι σημαντικό σε άλλα σημεία να είναι μαλακό έτσι ώστε να παραμένει ανατομικό. **Η σωστή τοποθέτηση ενός καλού πέλματος με μια πολύ καλή λεπίδα θα μας δώσει τη χρυσή τομή για ένα αποδοτικό πέδιλο.** Διάφορα πέλματα θα αξιολογηθούν και σε αυτή τη μελέτη αλλά εκεί που θα γίνει το κάτι παραπάνω είναι η δημιουργία ενός πρωτοποριακού πέλματος το οποίο θα εκμεταλλεύεται στο έπακρον τις δυνατότητες τις λεπίδας.



Σχ.1.3 Πέλμα πτερυγίου σε δυο όψεις, πλάγια και κάτοψη

### 1.2.3 Παρατροπίδια πτερυγίων

Ο ρόλος των πλαινών παρατροπιδίων είναι ουσιαστικά να οδηγούν το νερό κατά την σωστή κατεύθυνση και να σταθεροποιούν την λεπίδα κατά την χρήση, μην αφήνοντάς την να «μπαλαντζάρει». Υπάρχουν μεγάλα παρατροπίδια, μικρά, άλλα τα οποία είναι καθόλο το μήκος της λεπίδας και άλλα τα οποία είναι πιο κοντά. Στην εργασία αυτή θα τεκμηριωθεί κατά πόσο τελικά επηρεάζουν την απόδοση του πεδίου.



Σχ.1.4 παρατροπίδια πτερυγίου

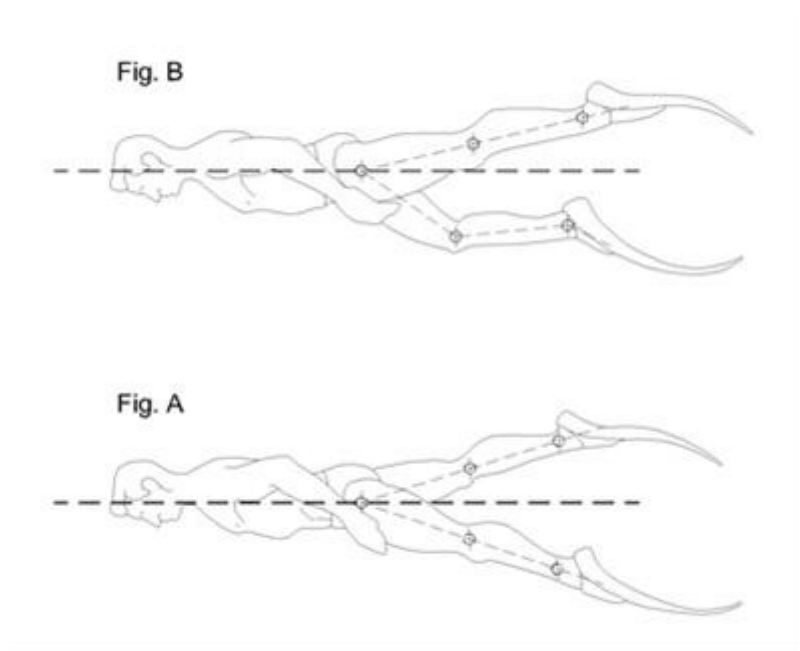
#### 1.2.4 Γωνία πέλματος-λεπίδας

Μια άλλη σημαντική παράμετρος που προβληματίζει τους κατασκευαστές πτερυγίων είναι η γωνία που σχηματίζει το πέλμα με την λεπίδα..Η γωνία αυτή παίρνει τιμές συνήθως από 10 έως 25 μοίρες .Αν ανατρέξουμε στην ανατομία του ανθρώπινου σώματος θα παρατηρήσουμε ότι ο άνθρωπος όταν τεντώσει εντελώς το πόδι του,ο αστράγαλος με το πέλμα δεν σχηματίζει γωνία 180 μοίρες..Έχει υπολογιστεί ότι κυμαίνεται από 165 έως 180 ανάλογα με τη φυσιολογία του κάθε ανθρώπου .Έτσι λοιπόν αν υποθέσουμε ότι ένας μέσος άνθρωπος έχει 165 μοίρες γωνία όταν τεντώσει το γοφό –γόνατο –αστράγαλο –μετατάρσιο(οφείλεται στα 2 τελευταία μέρη),βάζοντας θεωρητικά μία γωνία 15μοιρών στο πέλμα-λεπίδα( $165+15=180$ ) θα καταφέρουμε να πετύχουμε ένα καλό υδροδυναμικό σχήμα ,να μειώσουμε τις αντιστάσεις και πιθανότατα να δουλέψει το πέλμα καλύτερα...βέβαια όλα αυτά είναι εικασίες και μοναχα μέσω του πειράματος μπορεί να βρεθεί η βέλτιστη γωνία.Στα περισσότερα πέλμα α αυτή η γωνία παίρνει τιμές 15,18,21 και 23 μοίρες..Αυτές τις γωνίες θα μελετήσουμε αρχικά και μεις..



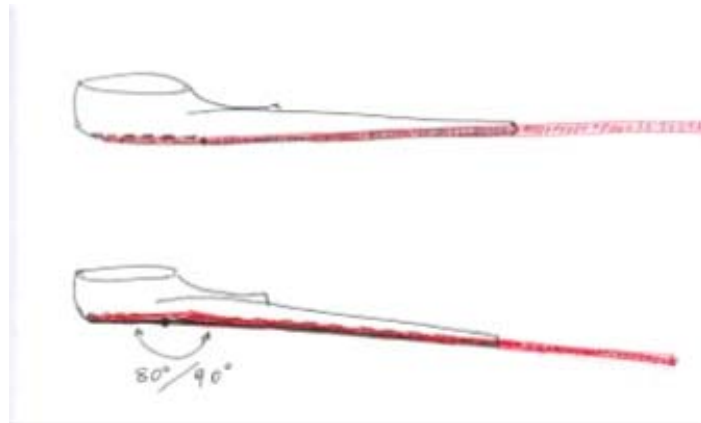
Σχ.1.5 Γωνία πέλματος-λεπίδας

Στο σχ.1.5 διακρίνεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του πέλματος και της λεπίδας



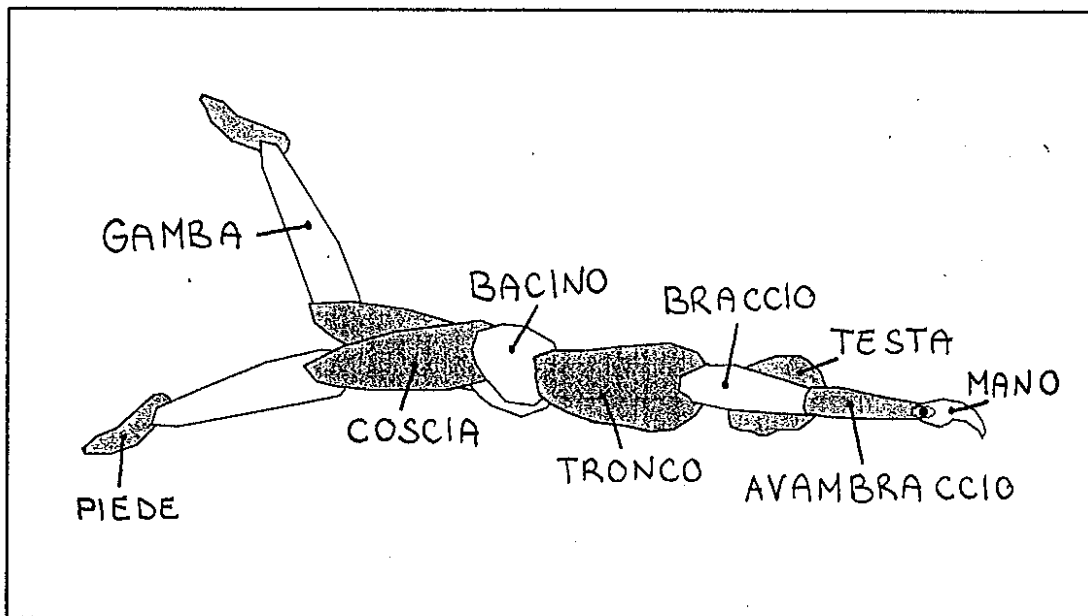
Σχ.1.6 Στάση του σώματος κατά την κολύμβηση

Στο σχ.1.6 φαίνεται η στάση του σώματος την στιγμή που κολυμπάει ο δύτες



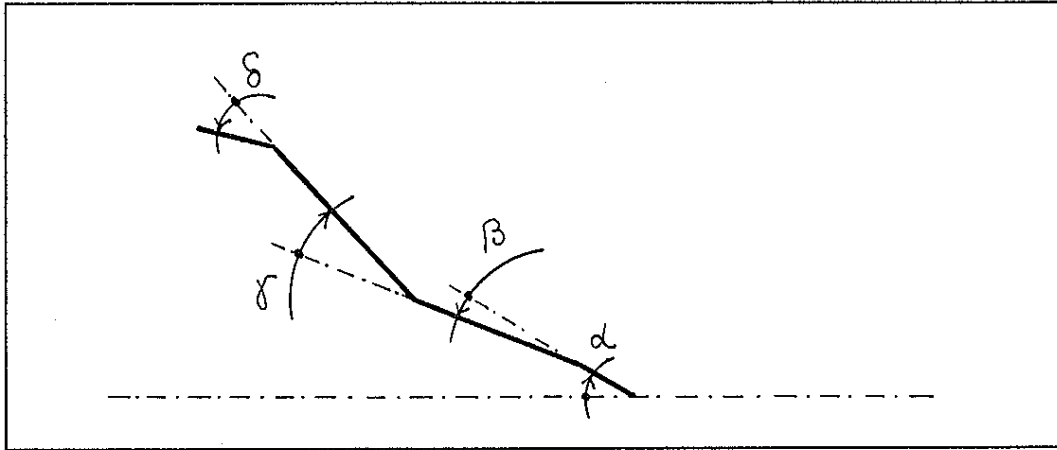
Σχ.1.7 Γωνία λεπίδας-πέλματος

Στο σχήμα 1.7 φαίνεται το σημείο που σχηματίζεται η γωνία πέλματος και λεπίδας



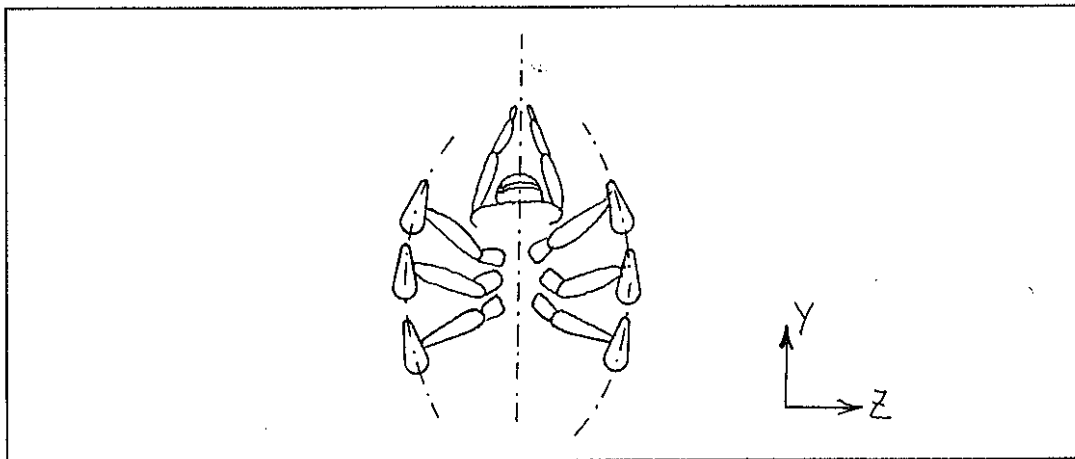
Σχ.1. 8 Κολυμβητής σε άπνοια

Στο σχήμα 1.8 φαίνεται η στάση του σώματος του δύτη όταν διανύει απόσταση σε άπνου καθώς και τα διάφορα μέρη του σώματός του.



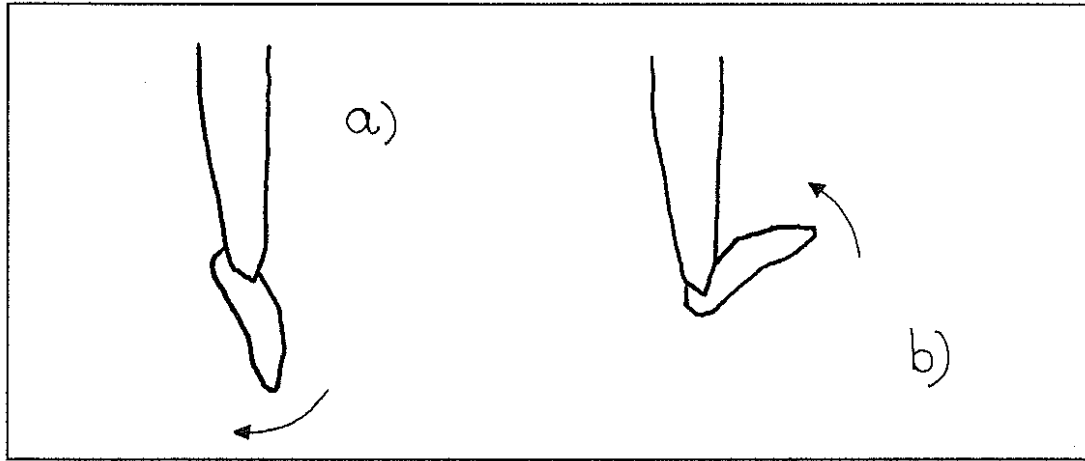
Σχ.1.9 Κινηματική ποδιού κολυμβητή

Στο σχήμα 1.9 διακρίνονται οι γωνίες στις οποίες σπάζει το πόδι του ανθρώπου έτσι ώστε να κουνήσει το πόδι του



Σχ.1.10 Οπίσθια όψη του κολυμβητή

Στο σχήμα 1.10 διακρίνεται ο δύτες από μία άλλη όψη



Σχ.1.11 (α)το πέλμα σε έκταση,(β)το πέλμα σε διάταση

Στο σχήμα 1.11 φαίνονται οι γωνίες που μπορεί να πάρει το ακραίο μέρος του ποδιού

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Μονοπέδιλο

Τα τελευταία χρόνια ολοένα και περισσότεροι ελεύθεροι δύτες κάνουν χρήση των μονοπέδλων για να βελτιώσουν την απόδοσή τους και την οικονομία τους μέσα στο υγρό στοιχείο. Το μονοπέδιλο αποτελείται ουσιαστικά από μία μεγάλη ενιαία λεπίδα και ένα παπουτσάκι εντός του οποίου μπαίνουν και τα δύο πέλματα. Ο δύτες για να παράγει την επιθυμητή ώση χρησιμοποιεί την κυματοειδή κίνηση και με μία τεχνική παρόμοια με του δελφινιού επιταχύνεται εντός του νερού προς την επιθυμητή κατεύθυνση. Οι ταχύτητες οι οποίες επιτυγχάνονται είναι σαφώς μεγαλύτερες από αυτές των διπλών πτερυγίων. Η εργασία αυτή επομένως μπορεί να γίνει τροφή για την περαιτέρω μελέτη της βελτιστοποίησης του μονοπέδλου. Αν και πολύ αποδοτικό, παρόλα αυτά πρέπει να αναλογιστούμε ότι οι δύτες οι οποίοι κάνουν υποβρύχιο ψάρεμα είναι πολύ περισσότεροι από τους αγνούς ελεύθερους δύτες. Στο υποβρύχιο ψάρεμα η ευελιξία εντός του νερού είναι πρωτίστης σημασίας μιας και ο δύτες πολλές φορές έχει επαφή με τα βράχια του βυθού και παλιά δικτυα τα οποία θέλουν ιδιαίτερη προσοχή. Γι αυτό το λόγο, η εύρεση αποδοτικών ως προς την οικονομία διπλών πτερυγίων θα παραμείνει επίκαιρη για αρκετό καιρό.

Η κίνηση στο μονοπέδιλο είναι σαφώς πιο περίπλοκη και απαιτεί ιδιαίτερα καλή τεχνική για να γίνει το μονοπέδιλο αποδοτικό στη χρήση του. Για μελέτη θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί μία μεγαλύτερη δεξαμενή στην οποία με έναν κατάλληλο μηχανισμό θα εξομοιώναμε την κίνηση. Αυτό θα μπορούσε να γίνει ως εξής. Θα έπρεπε ένας καλός αθλητής γνώστης της τεχνικής να έμπαινε εντός του νερού και να εκτελούσε δελφινισμούς ενώ γινόταν ταυτόχρονα κινηματογράφηση της κίνησης. Για ευκολία π.χ θα μπορούσε να τοποθετηθεί φώσφορος στα πέλματα του αθλητή ώστε να είναι πιο ευκρινής η κίνηση και να αναπαρασταθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο από τον μηχανισμό, είτε να γίνουν τα πειράματα πάνω στον αθλητή. Μία περαιτέρω βελτίωση του ίδιου του μηχανισμού μας θα ήταν να υπήρχε ροή νερού κατά μήκος των πτερυγίων στην ταχύτητα του 1m/sec.





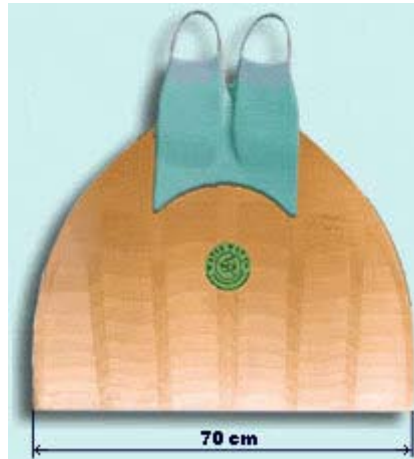
(α)



(β)



(γ)



(δ)

Σχ. 2.1 (α),(β),(γ),(δ) διαφοροι τυποι μονοπεδιλου



Σχ.2.2φωτογραφία ενός αθλητή ελεύθερης κατάδυσης

Στα σχ.2.1,α,β,φ,δ διακρίνονται διαφορετικών ειδών μονοπέδιλα ενώ στο σχ.2.2 ένας ελεύθερος δύτες με την στάση του σώματός του κατά την διαδικασία εκτέλεσης άπνου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Βιβλιογραφική ανασκόπηση

#### 3.1 Διερεύνηση της απόδοσης των πεδίων ελεύθερης κατάδυσης

##### Evaluation of the performances of free-diving fins

G. Minak

Mechanical Engineering Department DIEM, Università degli Studi di Bologna, Italy

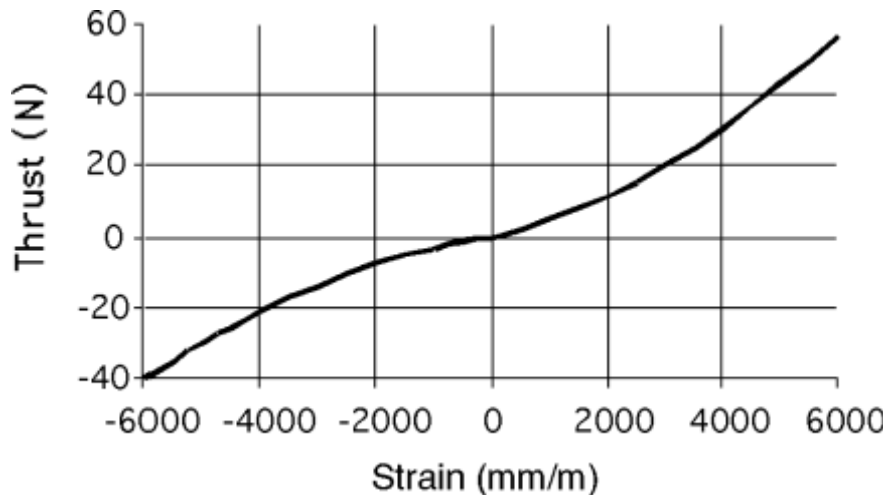
Σε αυτή τη μελέτη η οποία έγινε στο πανεπιστήμιο της Bologna, γίνεται μία προσπάθεια αποτίμησης της απόδοσης των πεδίων ελεύθερης κατάδυσης. Ουσιαστικά ασχολήθηκαν στο να καθιερώσουν μία μεθοδολογία κατά την οποία θα μπορούσαν να λάβουν αποτελέσματα εύκολα χωρίς κόπο. Πειραματίστηκαν λοιπόν με ένα πέδιλο το οποίο ήταν φτιαγμένο από 2 διαφορετικά θερμοπλαστικά υλικά. Τέσσερις μεγάλου εύρους (+\_10%) όργανα μέτρησης έντασης (strain gauges

MM EP-40-125AC-350) κολλήθηκαν στην λεπίδα σε διαφορετικές θέσεις και προστατεύτηκαν με σιλικόνη. Εξαιτίας του σχήματος της λεπίδας δεν ήταν δυνατό να κολληθούν τα strain gauges κατά τον κύριο άξονα. Το όλο πείραμα διεξήχθη σε μία σταθερή θερμοκρασία νερού στους 26 βαθμούς κελσίου. Η συχνότητα κατά τις δυναμικές μετρήσεις ήταν 1 kHz και για τις στατικές 100 Hz.

Η βαθμονόμηση των επιμηκυνσιομέτρων έγινε αναρτώντας γνωστά βάρη από τη λεπίδα. Μέσο της στατικής αυτής βαθμονόμησης αγνοήθηκαν φαινόμενα δυναμικής υστέρησης. Τα πειράματα έγιναν μέσα σε μία πισίνα κολυμβητηρίου έτσι ώστε να εξαλειφθεί η ώση η οποία μεταδίδεται από τον δύτη στον τοίχο. Η ώση μετρήθηκε από 2 αδιάβροχα **load cells** (<200N)!! Ήταν σχεδιασμένα ως καμπτικοί δοκοί εφοδιασμένα με 4 **strain gauges** σε διάταξη πλήρους γέφυρας εγκατεστημένα στο σημείο το οποίο δέχεται την μεγαλύτερη παραμόρφωση οριζόμενα από ένα μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων. Ήταν φτιαγμένα από υψηλής αντοχής αλουμινικό κράμα το οποίο είχε επεξεργαστεί με ηλεκτροδιάβρωση.

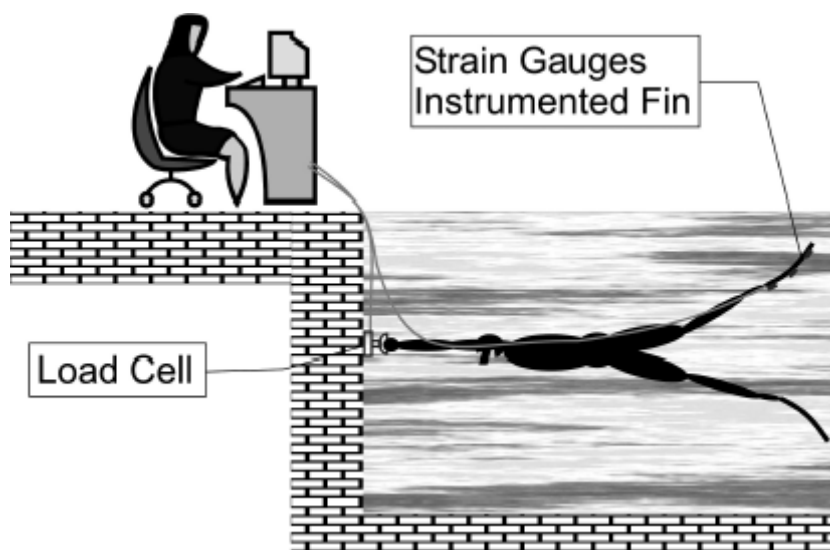
Τα πειράματα έγιναν όλα πάνω σε τρεις δύτες. Έναν εκπαιδευτή ελεύθερης κατάδυσης APNEA ACADEMY, έναν έμπειρο δύτη και έναν αρχάριο. Όλοι τους είχαν βάρος 70-75kg και ύψος 1.72-1.76cm. Κατά τις μετρήσεις διάφορα κολυμβητηριακά στυλ ελέγχθηκαν καθώς και διαφορετικές λεπίδες και διαφορετικοί ρυθμοί πεδιλιάς. Στην γραφική παράσταση που

φαίνεται αλλάζει η θέση του πεδίου στο οποίο παίρνουμε μετρήσεις από το ένα πόδι στο άλλο για να διαπιστώσουμε τυχόν διαφορές στην ώση από πόδι σε πόδι



Σχ.3.1.1 διάγραμμα ώσης-παραμόρφωσης

Η διαδικασία ξεκινάει καθορίζοντας το σημείο αναφοράς μηδέν με τους αθλητές να επιπλέουν ελεύθερα στην επιφάνεια. Από κει και ύστερα ακολουθεί μία περίοδος 35-40 δευτερολέπτων όπου οι αθλητές κινούμενοι σε ένα βάθος διόμιση περίπου μέτρων σπρώχνουν τον τοίχο κρατώντας παράλληλα την αναπνοή τους.



Σχ.3.1.2 αναπαράσταση διαδικασίας πειράματος

Καθόλη την διάρκεια της κίνησης γίνεται βιντεοσκόπηση έτσι ώστε να βρεθεί η συχνότητα και η περίοδος της κίνησης και να διαπιστωθούν τοιχόν διαφορές κατά την ταυτόχρονη κίνηση των λεπίδων σε σχέση με την εκάστοτε ταχύτητα που αναπτύσει ο αθλητής.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Γενικά από την γραφική παράσταση η οποία δεν έχει διαμορφωθεί και φιλτραριθεί γίνεται φανερό ότι τα 4 strain gauges δίνουν παρόμοιο σήμα,έτσι δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν και τα 4 στην περίπτωση που εξετάζεται..Γίνεται φανερό ότι η ημιτονοειδής καμπύλη δεν είναι τέλεια και αυτά που διαβάζουμε είναι χωρίς φάση.

Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της εγκάρσιας κάμψης όπου δεν υπολογίζεται ως ένα κύριο φαινόμενο,αλλά ανιχνεύονται εφόσον τα strain gauges δεν βρίσκονται στον άξονα της λεπίδας.Ένα βελτιωμένο μετρητικό σύστημα μπορούσε να αποτελείται από 2 σετ strain gauges για την αναζήτηση της διαμήκους και εγκάρσιας κάμψης.

Δεδομένα του κυττάρου φόρτισης φαίνονται σε γραφικές πραστάσεις και εφόσον τα δύο κύτταρα είναι ανεξάρτητα, επομένως οι τιμές της φόρτισης είναι διαφορετικές για κάθε κύτταρο εξαιτίας της μη συμμετρικής πεδιλιάς των αθλητών.Το ολικό φορτίο βρίσκεται πολύ απλά προσθέτοντας τα δεδομένα των 2 καναλιών.Ήταν δυνατό να συγκριθούν τα πειραματικά δεδομένα δια μέσου των εικόνων οι οποίες πάρθηκαν με την υποβρύχια κάμερα έτσι ώστε να γίνει ανάλυση της χρονικής περιόδου της πεδιλιάς.

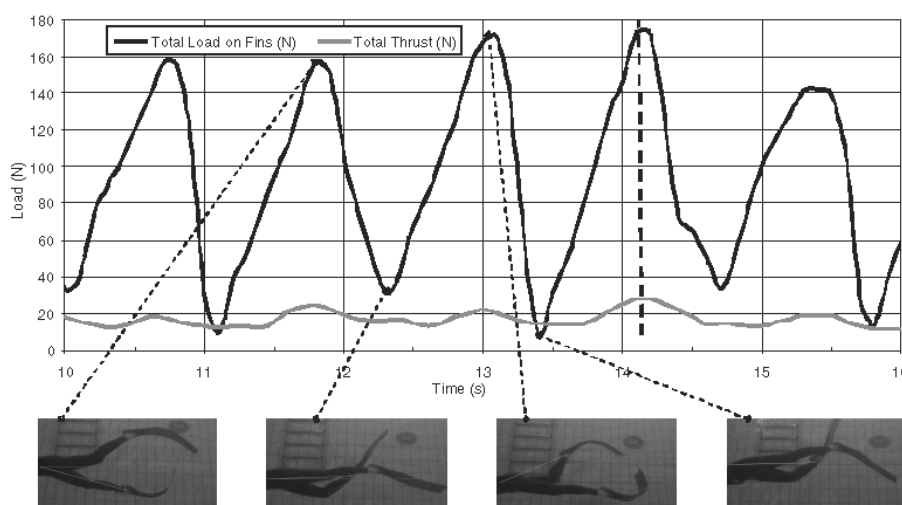


Figure 5 Kicking cycle analysis

Σχ.3.1.3 φωτογραφίες και διαγράμματα σε 4 κρίσιμα σημεία

Γίνεται φανερό από το σχήμα 3.1.3 ότι η μέγιστη φόρτιση της λεπίδας παρατηρείται κατά το μεγαλύτερο άνοιγμα των ποδιών ,ενώ την μικρότερη τιμή την παίρνουμε όταν τα πόδια είναι παράλληλα με τον οριζόντιο άξονα και βρίσκονται σχεδόν στην ίδια ευθεία με τον κορμό του αθλητή. Η μέγιστη τιμή της συνολικής φόρτισης υπολογίζεται από την δύναμη στην οποία εφαρμόζεται στη μία λεπίδα προσθέτοντας την συνεισφορά της άλλης λεπίδας η οποία θα βρίσκεται σε διαφορά ημιτονοειδούς φάσης μισής περιόδου. Οι μέγιστες τιμές της συνολικής ώσης βρίσκονται σε φάση. Από την μελέτη γίνεται επίσης φανερό ότι η εμπειρία του δύτε είναι πολύ σημαντική σε αυτή τη μεθοδολογία. Για την ακρίβεια μονάχα ο εκπαιδευτής φαίνεται ότι μπορεί και κινεί με αποτελεσματικό τρόπο τα πέδιλα, κινώντας τα συμμετρικά πετυχαίνοντας της μέγιστη ώση. Ο ανειδίκευτος δύτες κολυμπάει με πολύ ασύμμετρο τρόπο πιάνοντας σε ορισμένα σημεία της κίνησης της λεπίδας μεγάλη φόρτιση αλλά παρακολουθώντας την ώση της λεπίδας σε ορισμένα σημεία γίνεται ακόμα και μηδενική. Ο έμπειρος δύτες βρίσκεται κάπου στη μέση μεταξύ του ανειδίκευτου και του εκπαιδευτή. Επίσης από την μελέτη γίνεται φανερό ότι και στους τρεις αθλητές όταν εκτελούσαν την κίνηση σε κάθετη θέση ήταν πιο αποτελεσματικοί απ'όταν εκτελούσαν την κίνηση σε οριζόντια θέση. Ο λόγος είναι αρκετά προφανής και έχει να κάνει με το ζύγισμα του αθλητή στην οριζόντια θέση... "Όταν οι αθλητές κινούνται παράλληλα με το πάτο της πισίνας έχουν να υπερνικήσουν και το φαινόμενο της άνωσης το οποίο τους εμποδίζει να κινήσουν αποτελεσματικά και σε απολύτως οριζόντια συνιστώσα το ίδιο τους το σώμα. Αντιθέτως όταν το σώμα βρίσκεται σε κάθετη στάση η άνωση βρίσκεται προς την κατεύθυνση κίνησης και δεν παρεμποδίζει την ορθή κίνηση των πεδίων. Παρατηρώντας και την κίνηση στην κάμερα εντοπίστηκαν και 2 λάθη στην πεδιλιά. Στην πρώτη περίπτωση η λεπίδα λυγίζει κατά την εγκάρσια κατεύθυνση εξαιτίας του ότι ο δύτες αδυνατεί να κρατήσει το πέλμα στην ίδια ευθεία με τον αστράγαλο με αποτέλεσμα η ώση να μην αυξάνεται εξαιτίας της ελλατωμένης απόδοσης της λεπίδας. Κατά την δεύτερη περίπτωση ο αθλητής λυγίζει αρκετά το γόνατο επειδή δεν μπορεί να εφαρμόσει την απαιτούμενη δύναμη εξαιτίας της δικιάς του κούρασης με αποτέλεσμα να μειώνεται η ώση.

Επομένως με βάση όλα τα προηγούμενα ορίστηκε ένα μέγεθος  $e = F1 \setminus Ff$

Όπου  $F1$  είναι η συνολική ώση κατά τον οριζόντιο άξονα που δίνουν οι δύο λεπίδες κατά την κίνησή τους και  $Ff$  είναι η συνολική δύναμη που εφαρμόζει ο δύτες για να κινηθεί.

Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή είναι φυσιολογικό οι τιμές αυτού του λόγου να διαφέρουν από αθλητή σε αθλητή. Για τον εκπαιδευτή είναι μία ημιτονοειδής αυξανόμενη συνάρτηση του ρυθμού κλωτσίσματος. Οι τιμές για τον ανειδίκευτο δύτη είναι γύρω στο 15% ,για τον έμπειρο 21% και για τον εκπαιδευτή 26% για ένα ρυθμό κλωτσίσματος του 1Hz όπου είναι μία τυπική τιμή για την ελεύθερη κατάδυση.

Από τα αποτελέσματα γίνεται φανερό ότι η καλύτερη συνάρτηση είναι εκθετική αλλά στο εύρος 0.6-1.6Hz που μας ενδιαφέρει μπορεί να θεωρηθεί σαν γραμμική με μία καλή προσέγγιση χωρίς λάθη.

Σύμφωνα λοιπόν με την μελέτη αυτή εγκαθιδρύθηκε μία νέα εύκολη και χωρίς κόστος μεθοδολογία για την αποδοτικότητα των πεδίων ελεύθερης κατάδυσης. Ο λόγος μεταξύ της ολικής ώσης προς την ολική δύναμη που εφαρμόζει ο δύτης θεωρήθηκε ως δείκτης απόδοσης. Γενικά σύμφωνα με τον G. Minak τα αποτελέσματα συμφωνούν αρκετά με προηγούμενες μελέτες και η πιθανότητα της χρησιμοποίησης της ίδιας διαδικασίας για βιομηχανικές εφαρμογές τονίζεται

## **ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ**

Η χρησιμοποίηση STRAIN GAUGES είναι μία πολύ καλή ιδέα για να μετρήσουν της δυνάμεις στις λεπίδες και την ώση τους. Οι συγκεκριμένοι μελετητές χρησιμοποίησαν πραγματικούς αθλητές στην συγκεκριμένη μελέτη. Εδώ βέβαια τίθεται ένα σημαντικό ερώτημα. Είναι δυνατόν τα αποτελέσματα να θεωρηθούν αντικειμενικά εφόσον στηρίζονται στην κινησιολογία πραγματικών αθλητών? Για παράδειγμα ένας άνθρωπος ο οποίος θα φορέσει 2 διαφορετικών ειδών βατραχοπέδιλα είναι λογικό να τα κινήσει κάθε φορά με διαφορετικό τρόπο. Θέλω να πω δηλαδή ότι οι συνθήκες πειράματος θα αλλάζουν κάθε φορά ανάλογα με την όρεξη του αθλητή. Μία φορά θα κινήσει τις λεπίδες με άλφα δύναμη και την άλλη με βήτα. Επίσης μία φορά θα χρησιμοποιήσει με αποτελεσματικότερο τρόπο τις λεπίδες με καλύτερη τεχνική και την άλλη δε θα έχει τόσο υδροδυναμική στάση και θα δείξει διαφορετικά αποτελέσματα η μέτρηση. Δηλαδή κρίνεται σκόπιμο να ελαχιστοποιηθεί ο

ανθρώπινος παράγοντας και να προσεγγίσουμε καλύτερα πιο σταθερές συνθήκες πειράματος.Γι αυτόν τον λόγο κυρίως έγινε μία προσπάθεια από την μερία μας να φτιάξουμε μία πειραματική διάταξη η οποία να προσεγγίζει σε ένα πολυ καλό βαθμό τις πραγματικές συνθήκες που όμως όλα τα πειράματά μας με αυτό το τρόπο θα γίνονται σε σταθερές συνθήκες.Έτσι τα αποτελέσματά μας θα είναι έγκυρα και αντιπροσωπευτικά της αλήθειας.

### **3.2ΕΡΓΑΣΙΑ DAPIRAN(www.Dapiran.it)**

Ο φυσικός νόμος της υποβρύχιας κολύμβησης είναι ο εξής :δράση-αντίδραση,το οποίο σημαίνει ότι η κίνηση είναι αποτέλεσμα της αντίθετης μετακίνησης νερού(τρίτος νόμος του Νεύτονα)

‘σε κάθε δράση αντιστοιχεί μία αντίδραση προς την αντίθετη κατεύθυνση’

Η ώση την οποία δέχεται το υποβρύχειο υπόκειται στο νόμο του Νεύτονα

$$\mathbf{F} = \mathbf{m} \times \mathbf{a}$$

Ωση=μάζα του νερού x επιτάχυνση της μάζας του νερού

Άρα γίνεται φανερό ότι η ώση αυξάνεται εξαιτίας 2 παραγόντων, της μάζας του εκτοπιζόμενου νερού το οποίο είναι η αντίδραση της ώσης, και της αντίστοιχης επιτάχυνσης του στην εξεταζόμενη περίπτωση..

Ορίζεται ως βαθμός απόδοσης της υποβρύχιας κολύμβησης:η κινητική ενέργεια της εμπρόστιας κίνησης (του αθλητή ) προς την μυική δύναμη που εξασκεί

Αυτός ο β.α. είναι ιδιαίτερα μικρός για 2 κυρίως λόγους

1.Το διάνυσμα της συνιστώσας της ώσης που παράγει ο κολυμβητής είναι ιδιαίτερα μικρό



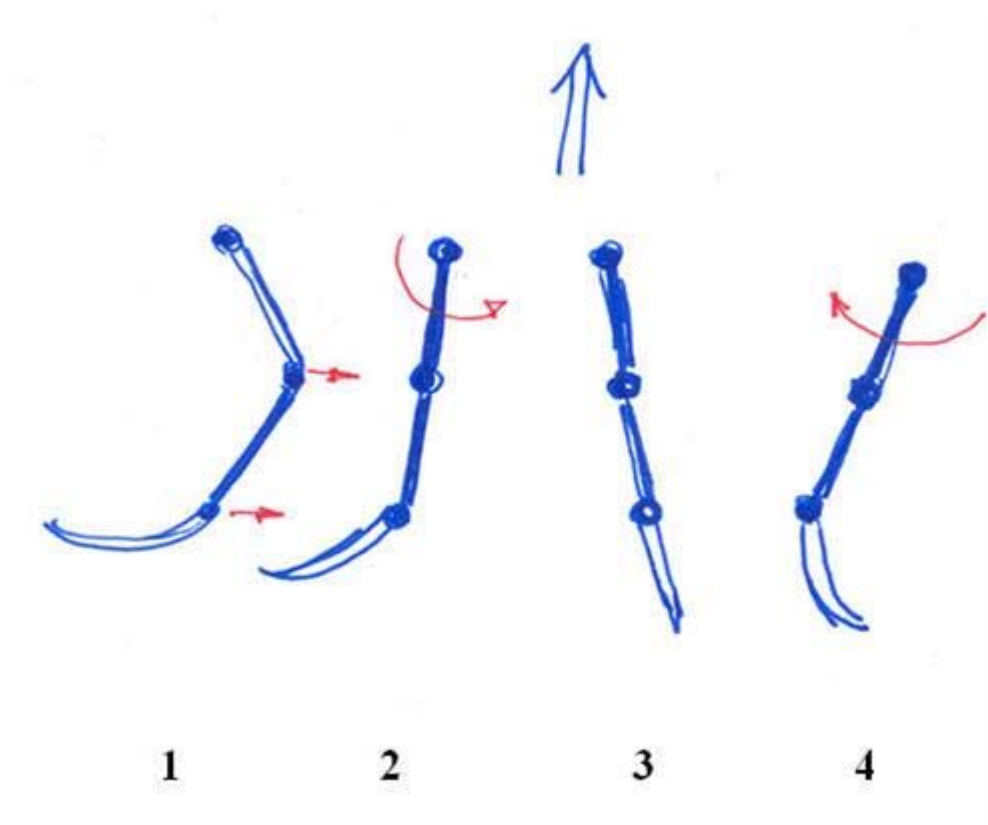
2 Η αντίσταση του σώματος είναι ιδιαίτερα αυξημένη εξαιτίας της μη υδροδυναμικής στάσης του κολυμβητή ο οποίος κινείται

Το σώμα του ανθρώπου είναι έτσι φτιαγμένο ώστε να περπατά και όχι να κολυμπά, και αυτό είναι κάτι το οποίο έχει περάσει στα γονίδια του με την πάροδο του χρόνου. Επίσης ένας επαγγελματίας κολυμβητής σε στυλ croul διανύει τα 100 μέτρα σε περίπου 46 δευτερόλεπτα, ενώ σε στάση προσθίου σε 58 περίπου. ο λόγος είναι ότι σε στάση croul το σώμα είναι πιο υδροδυναμικά τοποθετημένο στο νερό.

Από τα πιο πάνω γίνεται φανερό ότι και στην υποβρύχια μετακίνηση χωρίς υποβοήθηση από τεχνικά μέλη θα έχουμε μικρές ταχύτητες. Η μέγιστη ταχύτητα που επιτυγχάνει ο άνθρωπος κολυμπώντας στην επιφάνεια είναι της τάξης του 1.7-2m/sec ενώ υποβρυχίως με τη βία φτάνει το 1m/sec... Τα πράγματα όμως αλλάζουν δραματικά με τη χρήση πεδίων αφού πετυχαίνουμε ταυτόχρονα υδροδυναμική στάση του σώματος και μεγάλη εκτόπιση νερού. Βέβαια είμαστε πολύ πίσω από τα ψάρια τα οποία επιτυγχάνουν ταχύτητες ακόμα και 10 m/sec!

### **Υποβρύχια κολύμβηση με τη βοήθεια ζεύγους λεπίδων(βατραχοπέδιλα)**

Αυτή η πρέξη ονομάζεται croul όπως αναφέρθηκε και πιο πριν και απαιτεί την ταυτόχρονη κίνηση των 2 ποδιών η οποία μπορεί να διαιρεθεί σε 4 στάδια



Σχ.3.2.1 διάφορες θέσεις της λεπίδας κατά την κίνηση

1) Το νερό μπροστά από την λεπίδα σπρώχνεται εξαιτίας της κίνησης του κάτω μέρους του ποδιού το οποίο λυγίζει εξαιτίας της δυνατότητας σε ευκαμψία που έχει το γόνατο να πηγαίνει μπρος-πίσω (**Παρατάυτα εξίσου σημαντική δύναμη εφαρμόζεται στους αστραγάλους**). Εξαιτίας αυτής της κίνησης η λεπίδα παραμορφώνεται ελαστικά συσσωρεύοντας ελαστική-δυναμική ενέργεια.

Μυϊκό έργο=κινητική ενέργεια μεταφερόμενη στο νερό+συσσωρευμένη δυναμική ενέργεια της παραμορφωμένης λεπίδας

2) Στο τελείωμα της πεδιλιάς ο δύτες δεν καταναλώνει καθόλου ενέργεια. Η συσσωρευμένη ενέργεια όμως στο παραμορφωμένο πέδιλο εκτονώνεται αφού το τελευταίο επιστρέφει στην αρχική του θέση ,αυξάνοντας κατ'αυτόν τον τρόπο για δεύτερη φορά την ταχύτητα του εκτοπιζόμενου νερού.

3) Όταν το πόδι βρίσκεται σε πλήρη έκταση η ώση της λεπίδας είναι μηδενική

4) κλώτσημα του ποδιού προς την αντίθετη κατεύθυνση όντας τεντωμένο

Τα 2 πρώτα στάδια της πεδιλιάς ουσιαστικά δε μπορούν να χωριστούν και το ένα είναι η φυσική συνέχεια του άλλου σε μία μονοκόμματη κίνηση. Επίσης ο άνθρωπος εκμεταλλεύεται το φαινόμενο της δράσης αντίδρασης. Όταν η μία λεπίδα του εκτελεί την εμπρόσθια κίνηση (στάδια 1-2), η άλλη ταυτόχρονα κάνει την οπίσθια κίνηση (3-4). Με αυτόν τον τρόπο ουσιαστικά ισοροπεί και είναι απόλυτα υδροδυναμικός και συγχρονισμένος. Παρόλ' αυτά η κίνησή του απέχει κατά πολύ από την κίνηση των ψαριών η οποία τους βγαίνει φυσικά έχοντας περάσει στο DNA τους εδώ και χιλιάδες χρόνια πριν...

Από όλα αυτά γίνεται κατανοητό ότι το υλικό της λεπίδας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο ώστε να πετύχουμε την μεγαλύτερη δυνατή επιτάχυνση της λεπίδας πριν αυτή εκτονωθεί εντελώς και μεταφέρει το εκτοπιζόμενο νερό. Ουσιαστικά πρέπει να μεγιστοποιήσουμε την απόδοση μεταξύ της ελαστικής ενέργειας η οποία μεταφέρεται από την λεπίδα και την ενέργεια η οποία απαιτείται για την παραμόρφωσή της.

Τελευταία το καλύτερο υλικό το οποίο έχει βρεθεί είναι το ανθρακόνημα. Αναλύοντας αυτό ενεργητικά, το χαρακτηριστικό το οποίο ορίζει τα διάφορα είδη των λεπίδων είναι η δυνατότητα που έχουν στο να απορροφούν μυική ενέργεια υπό την μορφή ελαστικής ενέργειας και το χάρισμα που έχουν στο να την μετατρέπουν σε εμπρόσθια κίνηση. Αυτή η δυναμική (ελαστική) ενέργεια είναι:

**$A = \frac{1}{2} Ff$**  όπου **F** είναι η ώση και **f** είναι η παραμόρφωση σύμφωνα πάντα με τον **G.Darigan**

### Απόδοση λεπίδας

Ως απόδοση λεπίδας ορίζεται ως ο λόγος της αποθηκευμένης ελαστικής ενέργειας (A), προς την ενέργεια η οποία μεταφέρεται στο νερό.

Είναι εξίσου σημαντικό να προσθέσουμε ότι η κίνηση οποιουδήποτε στερεού σώματος το οποίο προωθείται εντός νερού κατευθύνεται από τις δυνάμεις οι οποίες τείνουν να το επιταχύνουν και σε εκείνες οι οποίες τείνουν να το επιβραδύνουν. Η ώση δίνεται από την κίνηση των άκρων και η μείωση της ταχύτητας οφείλεται στην αδρανειακή αντίσταση του σώματος και του νερού. Επομένως στην κολύμβηση ουσιαστικά δεν είναι αρκετό να αυξήσουμε την προωθητική δύναμη, αλλά κρίνεται εξίσου σημαντικό να μειώσουμε την αντίσταση!

Η λεπίδα επιταχύνει ένα μέρος νερού το οποίο το ονομάζουμε «κερδισμένη μάζα», η οποία είναι περίπου ίση με την μάζα του νερού το οποίο περιέχεται σε ένα κύλινδρο που έχει διάμετρο ισοδύναμη με το μήκος της λεπίδας. Επομένως για να μεγιστοποιήσουμε την ώση είναι απαραίτητο να αυξήσουμε την επιφάνεια επαφής της λεπίδας με το νερό τόσο ώστε να μην συγκρούεται με την αλληλοδιαδοχική κίνηση των ποδιών σε στυλ κολύμβησης croul.

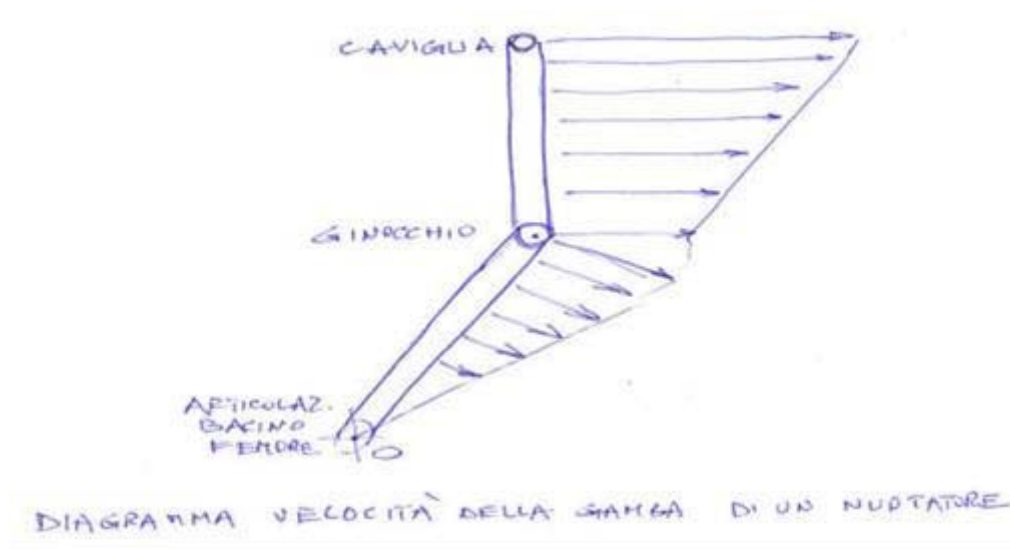


Σχ.3.2.2 διάγραμμα πρόωσης ως συνάρτηση των αρθρώσεων

Στο σχ.4.2.2 διακρίνεται το διάγραμμα πρόωσης του ποδιού στις τρεις αρθρώσεις του. Σαν μια πρώτη ανάλυση στην προωθητική κίνηση με πέδιλα, γίνεται κατανοητό ότι για την συγκεκριμένη ανατομία του ανθρώπινου ποδιού, ένας δύτης μπορεί εύκολα να εκτελέσει ένα οπίσθιο κλώτσιμα (back kick) ορθολογικά (1a) επιταχύνοντας τη μάζα του νερού μέσω μίας συγχρονισμένης κίνησης του μηρού-κνήμης-κάτω μέρους ποδιού. Εφόσον δεν μπορεί να λυγίσει το πόδι του ανθρωπολογικά, ο μόνος τρόπος να επιταχύνουμε τη μάζα του εκτοπιζόμενου νερού είναι μόνο μέσω της κίνησης του κάτω μέρους του ποδιού και της κίνησης του μηρού (1b).

Ανεπιφύλακτα μπορούμε να πούμε ότι η απόδοση της πρόωσης στο στάδιο 1a είναι σαφέστατα καλύτερη από αυτή του σταδίου 1b. Αυτό γίνεται κατανοητό αν αναλογιστούμε την μάζα των μυών οι οποίοι λαμβάνουν χώρα στην ενέργεια αυτή. Οι μηριαίοι τετρακέφαλοι είναι οι πιο ισχυρές μυϊκές ομάδες του ανθρώπινου σώματος. Δεν πρέπει όμως για κανένα λόγο να θεωρήσουμε εντελώς παθητικό τον ρόλο του σταδίου 1b ακόμα αν και σε αυτή τη φάση ο δύτης προσπαθεί να βρεί τη θέση του ποδιού όπου προσφέρει την λιγότερο υδροδυναμική αντίσταση. Αυτό είναι πολύ σημαντικό συνυπολογίζοντας και άλλους παράγοντες οι οποίοι επιδρούν στην άπνοια όπως η μυϊκή απαίτηση σε οξυγόνο. Επομένως

είναι λιγότερα ενεργητικά ακριβό να εστιάσουμε την προσοχή μας στην ώση του σταδίου 1a όπου η ανατομία και οι μυς του ποδιού προσφέρουν μία ανώτερη απόδοση πρόωσης α.



Σχ.3.2.3 διάγραμμα ταχυτήτων

Βλέποντας το πιο πάνω διάγραμμα ταχύτητας(σχ.3.2.3) καθώς το πόδι εκτελεί κίνηση ωρολογιακά καταλαβαίνουμε ότι με τον κατάλληλο συγχρονισμό του μηρού και της κνήμης μπορούμε να αυξήσουμε κατά πολυ την ταχύτητα του κάτω άκρου του ποδιού (αστράγαλος)στο οποίο εκεί κοντά είναι τοποθετημένο το βατραχοπέδιλο.Άμα σε όλα αυτα προσθέσουμε την ταχύτητα του γονάτου εξαιτίας της κίνησης η οποία επιτυγχάνεται από τους τετρακεφάλους και της κίνησης εξαιτίας της γάμπας θα έχουμε σαν αποτέλεσμα ακόμα μεγαλύτερη ταχύτητα.Κάτι ανάλογο συμβαίνει και στο ποδόσφαιρο κλωτσώντας την μπάλα!

Η επιτάχυνση στην οποία το νερό μπορεί να φτάσει το οποίο έχει σπρωχθεί από την λεπίδα εξαρτάται άμεσα από την ταχύτητα την οποία μπορεί να επιτύχει στην μονάδα του χρόνου, η οποία όπως γνωρίζουμε εξαρτάται από την αντίσταση εξαιτίας του νερού.Η ώση όπως έχουμε πει εξαρτάται από 2 παράγοντες.Την επιτάχυνση και τη μάζα.Άμα καταφέρουμε να κινήσουμε μεγάλες μάζες νερού δεν μπορούμε να ελπίσουμε σε μεγάλη επιτάχυνση,και αν χρειαζόμαστε μεγάλη επιτάχυνση δεν μπορούμε να το πετύχουμε μετακινώντας ένα μεγάλο ποσό νερού.Δεν πρέπει όμως να γίνει η παρανόηση ότι ο δύτης οφείλει να έχει τεράστιους μυς στα πόδια ώστε να καταφέρει να επιτύχει μεγάλες επιταγύνσεις με μεγάλης επιφάνεις βατραχοπέδιλα.Εξάλου η κολύμβηση βασίζεται κυρίως στο καλό νευρο-μυικό σύστημα παρά

στην φυσική δύναμη. Αν αναλογιστούμε και τα μεγάλα ποσοστά οξυγόνου όπου θα απαιτούν οι μεγάλοι μύς οι οποίοι θα μειώσουν κατά πολύ την άπνοια του δύτε τείνουμε ακόμα περισσότερο σε αυτή την άποψη η οποία τεκμηριώνεται από τον G. Darigan.

Μία πολύ σημαντική παρατήρηση είναι ότι πρέπει να επιτύχουμε την ανώτερη απόλυτη τιμή της ταχύτητας την στιγμή στην οποία το νερό ρέει στο ακραίο μέρος της λεπίδας.

**«Σαν αθλητής ελεύθερης κατάδυσης ήξερα πάντα ότι την δύναμη στην λεπίδα πρέπει να την εφαρμόζω προοδευτικά αυξανόμενη. Όταν το πέδιλο περάσει τον οριζόντιο άξονα τότε είναι το σημείο όπου πρέπει να μπει το μεγαλύτερο ποσοστό της δύναμης επιτρέποντας έτσι στην λεπίδα να αποκτήσει ακόμα μεγαλύτερη ταχύτητα την στιγμή της εκτόνωσης της. Αυτή η τεχνική βρίσκει απόλυτη εφαρμογή με την ανωτέρω θεωρία.»**

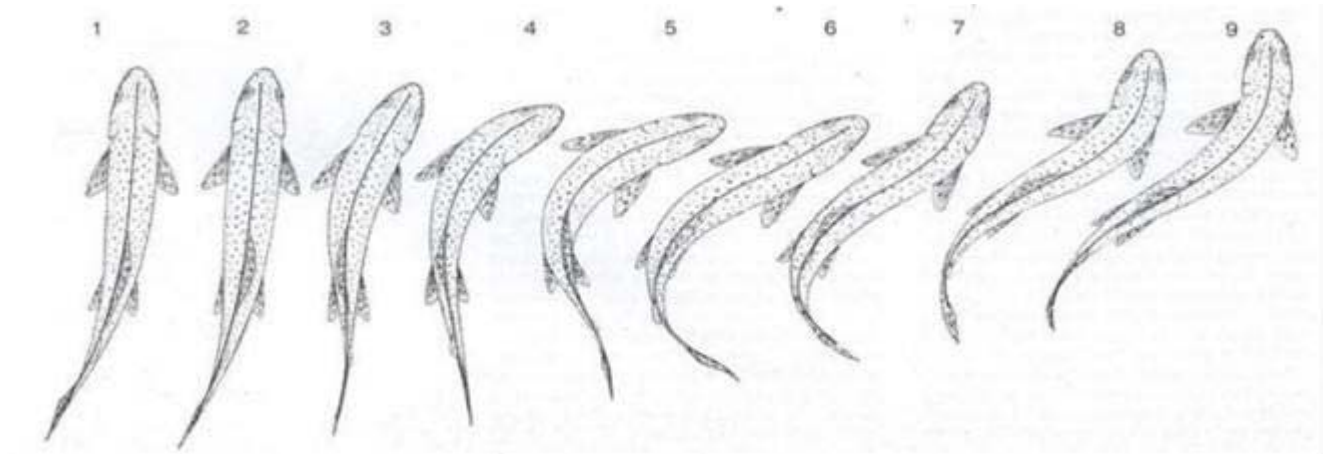
## **ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ**

Από την στιγμή που δεν υπάρχει κάποια θεωρητική ή πειραματική μελέτη σχετικά με την υποβρύχια τεχνική κολύμβησης με πέδιλα, η σωστότερη προσέγγιση ώστε να κατανοήσουμε την ιδανική κίνηση και να κατασκευάσουμε ένα λειτουργικό προσθετικό είναι να προσπαθήσουμε να κατανοήσουμε και να αντιγράψουμε τη δομή την οποία έχουν τα ψάρια ύστερα από χιλιάδες χρόνια εξέλιξη.

Το σχήμα και η μάζα του σώματος των ψαριών παράγουν διαφορετική ώση και αντίσταση κάθε φορά που ορίζονται από τους δύο αυτούς παράγοντες. Γι' αυτόν το λόγο κάποια ψάρια ειδικεύονται στην επιτάχυνση (barracuda) ,άλλα στις μανούβρες (trigger fish) και άλλα στο να διανύουν μεγάλες αποστάσεις (tuna fish).

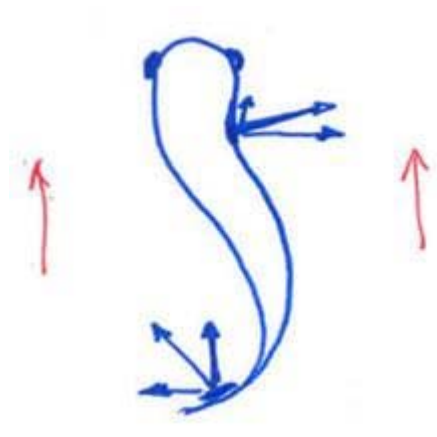
Σύμφωνα με την μορφολογία-δομή των ψαριών ,τα κολυμβητικά στυλ που χρησιμοποιούν χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: Κυματοειδής κίνηση-κίνηση ταλάντωσης

## Κυματοειδής κίνηση



Σχ.3.2.4 κυματοειδής κίνηση ενός ψαριού σε 8 στιγμιότυπα

Το σώμα του ψαριού λυγίζει παράγοντας ένα κύμα το οποίο τρέχει γύρω από ολόκληρη τη δομή του ψαριού η οποία ελέγχεται απο το **σώμα** και την **ουρά** του



Σχ..3.2.5 ανάλυση δυνάμεων

Το προωστικό στοιχείο το οποίο προέρχεται από το μυο-σκελετικό σύστημα του ψαριού παράγει μία ώση στο νερό όπου σύμφωνα με τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα το ίδιο κάνει και το νερό. Δηλαδή παράγει μία ώση ίσης δύναμης αλλά αντίθετου μέτρου από το προωστικό στοιχείο. Η αντίδραση του νερού στο σώμα του ψαριού είναι κάθετη στην επιφάνεια του προωστικού παράγοντα και μπορεί να χωριστεί σε 2 διαφορετικές συνιστώσες. Μία κατά την διεύθυνση της συνολικής κίνησης του ψαριού, την πραγματική εμπρόσθια ώση, και μία κάθετη

δύναμη ως προς την κατεύθυνση της κίνησης. Το αποτέλεσμα της ώσης κατά την κατεύθυνση της κίνησης όλων των προωστικών στοιχείων, ορίζουν την συνολική εμπρόσθια ώση την οποία το ψάρι επιτυγχάνει από την κυματοειδή του κίνηση. Εν τω μεταξύ το αποτέλεσμα όλων των πλευρικών ώσεων έχουν ως αποτέλεσμα την συστροφή του σώματος του ψαριού γύρω από το κέντρο μάζας του για να διατηρηθεί η ισοροπία της κίνησης. Αυτό δημιουργεί μια κατάσταση στην οποία όταν η ουρά κουνιέται προς μία κατεύθυνση, τότε το σώμα στρίβει προς την άλλη και ούτω καθεξής..

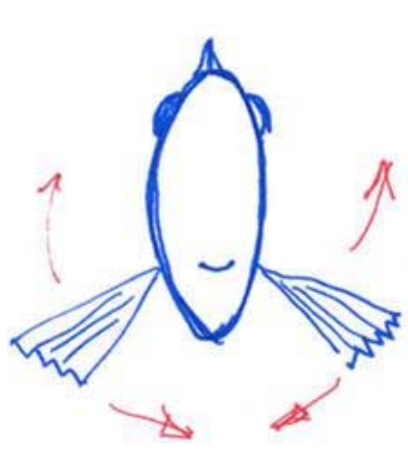
Όπως φαίνεται και από το σχήμα τα προωστικά στοιχεία κοντά στην ουρά παράγουν μία μεγαλύτερη ώση από αυτά κοντά στο κεφάλι του ψαριού. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους:

1) Η κατανομή δίπλα στην ουρά κλίνει προς καλύτερη γωνία. Η μέγιστη δύναμη μπορεί να επιτευχθεί όταν η κίνηση της ουράς είναι κάθετη στην κατεύθυνση της κίνησης.

2) Κάθε προωστική δομή επιταγχύνει το νερό το οποίο προέρχεται από την προηγούμενη. Γι' αυτό και η ουρά δίνει την κύρια συνεισφορά στην επιτάχυνση και την ταχύτητα.

### κίνηση ταλάντωσης

Αυτή παράγεται από λεπτά πτερύγια κοντά στη βάση τα οποία κινούνται μπρος-πίσω ως προς τον το άξονά τους.



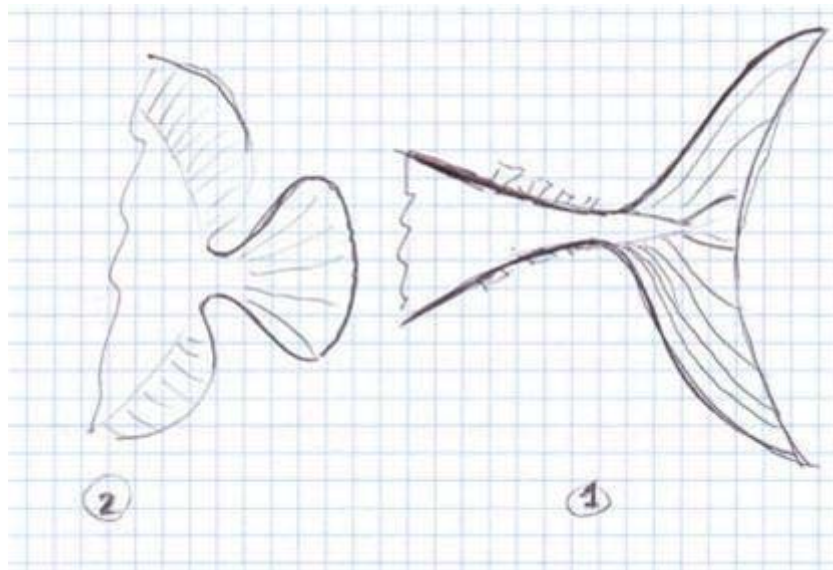
Σχ.3.2.6 πτερύγια πηδαλιούχησης



Στο σχήμα 4.2.6 διακρίνονται τα πτερύγια πηδαλιούχησης. Αυτά τα πτερύγια δεν παράγουν μεγάλη ώση αλλά ο κύριος ρόλος τους είναι για την πηδαλιούχηση.

### Οι άκρες των πτερυγίων

Τα ουραία πτερύγια έχουν ένα διαφορετικό σχήμα ανάλογα με το είδος της κολύμβησης την οποία το κάθε ψάρι εφαρμόζει



Σχ.3.2.7 διαφορετικές απολήξεις ουραίων πτερυγίων

Στο σχ.3.2.7 διακρίνονται: Ουρά τύπου 1) ψηλή και λεπτή, ενώνεται στο σώμα με ένα λεπτό μίσχο άνθους ο οποίος χρησιμοποιείται από τα ψάρια-τούνες και γεννούν μία δυνατή ώση με χαμηλή υδροδυναμική αντίσταση

Ουρά τύπου 2) χρησιμοποιείται από τα ψάρια –πεταλούδες. Με το κυκλικό τους σχήμα είναι ικανές για αργές μανούβρες οι οποίες εμπεριέχουν αλλαγές κατεύθυνσης με γωνίες γύρω από έναν κάθετο άξονα ο οποίος λειτουργεί σαν κέντρο μάζας.

Αυτού του είδους οι ουρές έχουν μία κίνηση η οποία είναι παρόμοια με αυτή η οποία χρησιμοποιείται από τα πτερύγια ταλάντωσης παρά από την κυματοειδή κίνηση όπου ένα ουραίο πτερύγιο παρέχει.

Τα δύο αυτά σχήματα αναπαριστούν τις αντιδιαμετρικές λύσεις κίνησης. 1)για ταχύτητα 2)για μανουβράρισμα. Μεταξύ αυτών των δύο λύσεων υπάρχουν πλήθος άλλων πτερυγίων για παρόμοιους τύπους κολύμβησης. Σε κάθε περίπτωση όμως όλα τα πτερύγια είναι δομημένα με μία κοίλη άκρη η οποία είναι ικανή για ανάπτυξη ταχύτητας και με αυτές με κυρτό τελείωμα το οποίο ειδικεύεται για μανουβράρισμα σε χαμηλές ταχύτητες.

### **Η κολυμβητική τεχνική κάποιων θηλαστικών όπως οι ενυδρίδες**

Αν αναρωτηθούμε αν η κολυμβητική τεχνική με τα διπλά πέλδια είναι αρκετά κοντά με αυτή που χρησιμοποιείται από ορισμένα υδρόβια θηλαστικά όπως η ενυδρίδα είναι αρκετά λογικό. Αυτά τα θηλαστικά έχουν άκρα τα οποία μοιάζουν αρκετά με τα δικά μας αλλά με το πέρασμα των χρόνων έχουν αναπτύξει μία μεμβράνη ανάμεσα στα δάκτυλά τους.

Η κολυμβητική πράξη αυτών των ζώων είναι αρκετά πιο περίπλοκη από αυτή των ψαριών επειδή προστίθεται στην κυματοειδή κίνηση του σώματος μία πρόσθετη κίνηση των άκρων η οποία δεν έχει σχέση με καμία εύκαμπτη δομή η οποία δίνει ώση και είναι αρκετά διαφορετική από τη δική μας η οποία είναι σχεδιασμένη για όρθια στάση.

Ουσιαστικά χρησιμοποιώντας τα διπλά πτερύγια σε στυλ crawl, και σε ακόμα μεγαλύτερα ζητήματα με τη χρήση μονοπέδλου κάνοντας δελφινισμούς, ο δύτες έχει προσαρμόσει το σώμα του σε ένα είδος κολύμβησης το οποίο βασίζεται στην ευλιγυσία της λεπίδας η οποία με την ανάλογη κίνηση των ποδιών εκμεταλλεύεται την ελαστική ενέργεια και την εκτονώνει την πιο κατάλληλη στιγμή έτσι ώστε να κερδίσει ένα κύμα ώσης.

Το ψάρι με την κυματοειδή κίνηση του σώματός του και του ουραίου πτερυγίου γεννά ένα κλυμα το οποίο ταξιδεύει γύρω από το σώμα του γρηγορότερα από την ακολουθία του στο νερό. Ο δύτες γεννά και αυτός ένα μοναδικό κλυμα, παρόμοιο με αυτό που δημιουργείται από την κυματοειδή κίνηση του ψαριού. Αυτό το γεγονός κάνει την σύγκριση εφικτή

Μεγάλη αξία έχει να παρατηρήσουμε κάποια ήδη ζώων τα οποία εφαρμόζουν άλλους τρόπους υποβρύχιας μετακίνησης, τα οποία δεν έχουν γεννηθεί μέσα στο νερό. Ένα τέτοιο ζώο είναι και ο πιγκουίνος. Αυτά τα πτηνά τα οποία περνούν το μισό μέρος της ζωής τους στην ξηρά αλλά βόσκουν στη θάλασσα, δεν χρησιμοποιούν την κυματοειδή κίνηση όπως τα περισσότερα υδρόβια ζώα κάνουν. Η κίνησή τους βασίζεται στην κωπηλασία. Τα ατροφικά

τους φτερά κουνιούνται μπρος πίσω και ωθούν το νερό στην αντίθετη κατεύθυνση από την οποία θέλουν να κινηθούν, με αποτέλεσμα να κερδίσουν μία ώση ως αντίδραση. Κανένας άνθρωπος ως τώρα έχει δοκιμάσει να εφαρμόσει αυτόν τον τρόπο κολύμβησης, χρησιμοποιώντας δηλαδή προσθετικά στα χέρια του και ένα μονοπέδιλο στα πόδια του συγχρονίζοντας την κυματοειδή κίνηση του σώματος με αυτή από τα προσθετικά των χεριών

Η προσαρμογή μας στην υποβρύχια κολύμβηση με τεχνολογικά προσθετικά βρίσκεται μονάχα στην αρχή ακόμα!

**Γενικά η κίνηση της δομής πόδι-λεπίδα μπορεί να είναι παρόμοια με την κυματοειδή κίνηση ενός ψαριού.**

Στα ψάρια κάθε δομή πρόωσης κοντά στην ουρά οφείλει να κινηθεί γρηγορότερα από αυτά τα μέρη τα οποία έρχονται πρώτα και με αυτόν τον τρόπο κερδίζουν σε ταχύτητα στο νερό.

Κάτι ανάλογο απαιτείται από τους μηραίους δικέφαλους μυς και τα γαστρονομικά τα οποία κινούν το μηραίο οστό και την κνήμη. Άμα φανταστούμε ένα παίχτη ποδοσφαίρου ο οποίος εκτελεί ένα πέναλτι, αυτός προσπαθεί να δώσει την υψηλότερη επιτάχυνση στην μπάλα. Θα κατευθύνει έτσι την κίνησή του έτσι ώστε ο αστράγαλος-πόδι να κερδίσει την μέγιστη δυνατή ταχύτητα. Κατ'αυτόν τον τρόπο η κινητική ενέργεια του ποδιού μέσω της επαφής με την μπάλα θα μεταφερθεί στην τελευταία η οποία θα αποκτήσει την ανάλογη ταχύτητα. Αυτή η σύγκριση μπορεί να γίνει και με ένα παίχτη του τέννις ο οποίος θα συγχρονίσει την κίνηση του χεριού του ώστε να αποκτήσει την μέγιστη δυνατή ταχύτητα στο ακραίο μέρος αυτού κοντά στην παλάμη.

Σαν συμπέρασμα μπορούμε να πούμε ότι η τελική κίνηση είναι η συνδιαστική δράση του ποδιού η οποία δίνει την μέγιστη ταχύτητα στον αστράγαλο.

Στην φύση οι προωστικές δομές οι οποίες χρησιμοποιούνται στην κυματοειδή κολύμβηση είναι πολύ ευλίγιστες, γι αυτό το λόγο η επιφάνεια των διπλών πτερυγίων θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα ευλίγιστες κυρίως κοντά στο ακραίο μέρος όπου το νερό επιταγχύνεται. Είναι άξιο να σημειωθεί το γεγονός ότι ορισμένοι δύτες οι οποίοι χρησιμοποιούν άκαμπτα πέδιλα δεν είναι ικανοί να επιταγχύνουν το νερό και η κίνησή τους είναι αρκετά παρόμοια σε αυτή του

ποδηλατιστή ο οποίος πιέζει τα πετάλια. Αυτό συμβαίνει επειδή η λεπίδα προσφέρει μία μεγάλη υδροδυναμική αντίσταση ,τόσο μεγάλη ,τέτοια ώστε οι μυς του δύτη να μην είναι ικανοί να κινήσουν το πόδι όπως πρέπει.

Η ανατομία του ψαριού έχει σε μεγάλη υπόληψη την ώση η οποία γεννάται από την κυματοειδή κίνηση και η οποία απαιτεί μία μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση η οποία δεν χρησιμοποιείται στην εμπρόστια ώση. Στους δύτες κάτι τέτοιο μπορεί να παρατηρηθεί όταν:

A) το πτερύγιο είναι πολύ ευλίγιστο και διπλώνει πάραπολύ κάτω από το νερό

B) Όταν η λεπίδα είναι πολύ φαρδιά κοντά στο παπούτσι το οποίο είναι κάτι ανάλογο με το μίσχο άνθους της ουράς του ψαριού. (στα ψάρια είναι λεπτά)

### Το συνολικό ποσό της ώσης των διπλών



Σχ.3.2.8 ανάλυση δυνάμεων

Ας υποθέσουμε ότι χωρίζουμε την επιφάνεια ώσης του πτερυγίου με μοναδιαία στοιχεία πρόωσης. Το συνολικό ποσοστό της ώσης του πτερυγίου θα παραχθεί από την άθροιση των ανυσμάτων των προωστικών στοιχείων.

Αυτή η απλοποίηση επιτρέπει μία ευκολότερη θεωρητική μελέτη της ώσης της λεπίδας. Η αντίδραση του νερού κατά την επαφή της επιφάνειας ώσης σε ένα μοναδικό προωστικό στοιχείο είναι κάθετο στην επιφάνεια. Αυτή τη στιγμή είναι δυνατό να χωρίσουμε την ώση

στην κατεύθυνση της κίνησης του δύτη και στην κατεύθυνση η οποία είναι κάθετη στην εμπρόσθια ώση(ανάλυση δυνάμεων)

Από αυτήν την εισαγωγή είναι εύκολο να δούμε ότι όχι όλα τα προωστικά στοιχεία δίνουν ένα ίσο ποσό ώσης κατά την κατεύθυνση της κίνησης. Τα πάντα εξαρτώνται με την θέση τους ως προς το λύγισμα της λεπίδας.

Όπως φαίνεται και από το σχήμα κατά την ανάλυση των δυνάμεων η δύναμη η οποία είναι κάθετη στη κατεύθυνση της κίνησης δεν παράγει ώση παρά μόνο ενεργειακή απώλεια.

Από αυτή την πρώτη ανάλυση προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

**-Τα προωστικά στοιχεία τα οποία είναι κάθετα στην κατεύθυνση της κίνησης προσφέρουν την μεγαλύτερη ώση**

**-Το μέτρο της ώσης ενός μοναδικού προωστικού στοιχείου αυξάνεται όταν βρίσκεται κοντά στο ακραίο μέρος του πτερυγίου.**

Το πτερύγιο γεννά ένα κύμα πρόωσης:καθώς η λεπίδα κινείται ,τα προωστικά στοιχεία γλιστράνε παράλληλα με τον άξονα της λεπίδας και επιταγχύνουν το νερό το οποίο προέρχεται από τα προηγούμενα προωστικά στοιχεία.

Συμπερασματικά κάθε προωστικό στοιχείο επιταγχύνει το νερό το οποίο προέρχεται από την ώση των προηγούμενων έως ότου η υψηλότερη ταχύτητα επιτευχθεί κοντά στο ακραίο μέρος του πτερυγίου.

## **Ο ρυθμός κολύμβησης και το σχήμα της λεπίδας.**

**Η απόδοση ενός δύτη σε υποβρύχια μετακίνηση εξαρτάται από την διαφορά μεταξύ της ώσης που παράγει με τις λεπίδες του και της αντίστασης του σώματός του εντός του νερού κατά την διάρκεια της κίνησης.**

Οι αντιστάσεις σε ένα σώμα ίδιου μεγέθους και μάζης εξαρτώνται από το ρυθμό κολύμβησης.

Ξεκινώντας ο δύτης από την ακινησία,για παράδειγμα,η υδροδυναμική αντίσταση προστίθεται στην αδρανειακή αντίσταση.Από την άλλη μεριά στην κολύμβηση πορείας η μείωση της ταχύτητας σχετίζεται εντελώς με την υδροδυναμική αντίσταση.

Η συμμετοχή του κολυμβητικού ρυθμού είναι πολύ σημαντική επειδή σε κάθε κολυμβητικό ρυθμό αντιστοιχεί και ένα βέλτιστο σχήμα λεπίδας(συμφωνα με τον Dapiran!)

Γενικά ένα πτερύγιο το οποίο είναι κατασκευασμένο να δίνει καλύτερες αποδόσεις στην επιφανειακή κολύμβηση διαφέρει πολύ από εκείνα τα οποία είναι κατασκευασμένα για υποβρύχια κολύμβηση με στάση ακινησίας ως αρχή.

Είναι απαραίτητο να διευκρινίσουμε αυτά το σκεπτικό με ορισμένα παραδείγματα:

1)Καθώς ο δύτης ο οποίος βρίσκεται στον πυθμένα της θάλασσας ,παράγει μεγάλο έργο ώστε να υπερνικήσει της αδρανειακές δυνάμεις της μάζας του σώματός του και ενάντια στο ίδιο του το βάρος.Καθώς βουτάει ολοένα και βαθύτερα πρέπει να παλέψει και με μία άλλη αντίσταση η οποία οφείλεται στη μείωση του πάχους της καταδυτικής στολής,η οποία μειώνει την άνωση του σώματος αλλά όχι το βάρος του δύτη.Σε αυτή την περίπτωση η ώση της λεπίδας πρέπει να υπερνικήσει πολύ μεγαλύτερη αντίσταση από αυτή που θα έπρεπε κατά την οριζόντια κατεύθυνση

Αυτή η αύξηση της ώσης η οποία απαιτείται μπορεί να επιτευχθεί είτε με αύξηση του εκτοπιζόμενου νερού το οποίο επιδρά στην ώση είτε με μία υψηλότερη επιτάχυνση του νερού.

Γι' αυτόν το λόγο η λεπίδα πρέπει να είναι φαρδύτερη και το σχήμα πρέπει να επιτρέπει μεγάλες επιταχύνσεις στα ακραία μέρη αυτής. Η τεχνική στην οριζόντια κολύμβηση είναι διαφορετική οι προωστικές κινήσεις θα πρέπει να είναι ανοιχτές και όσο πιο γρήγορες γίνεται

2) Για την περίπτωση των δυτών αυτόνομης κατάδυσης οι κολυμβητικές συνθήκες είναι διαφορετικές. Και αυτοί εξαιτίας της πρόσθετης μάζας του εξοπλισμού τους ο οποίος βαραίνει υποβρυχίως μίας και το ειδικό τους βάρος είναι μεγαλύτερο από αυτό του ανθρώπου. Σε αυτήν την περίπτωση τα πτερύγια πρέπει να είναι φαρδύτερα από αυτά της επιφανειακής κολύμβησης αλλά ο δύτης αυτός δεν χρειάζεται να κινηθεί γρήγορα μιας και είναι εφοδιασμένος με αναπνευστικές συσκευές και εξαιτίας του γιλέκου του το οποίο του παρέχει την απαραίτητη ώση όποτε την χρειαστεί. Γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιεί κοντύτερα πτερύγια τα οποία είναι φτιαγμένα από λιγότερα αποδοτικά υλικά όπως το πλαστικό και το λάστιχο. Η επιλογή αυτών των υλικών έχει γίνει με γνώμονα ότι οι δύτες αυτοί καμιά φορά αναγκάζονται να περπατήσουν στον πυθμένα της θάλασσας ή σε πέτρινους κάθετους τοίχους υποβρυχίως.

Αυτά τα απλά παραδείγματα δείχνουν ότι δεν υπάρχει το ιδανικό πτερύγιο για όλους του τρόπους υποβρυχίας μετακίνησης και βρίσκεται στην επιλογή του δύτη η εύρεση του ιδανικού προσθετικού ανάλογα με τις ανάγκες του κατά την υδρόβια μετακίνηση.

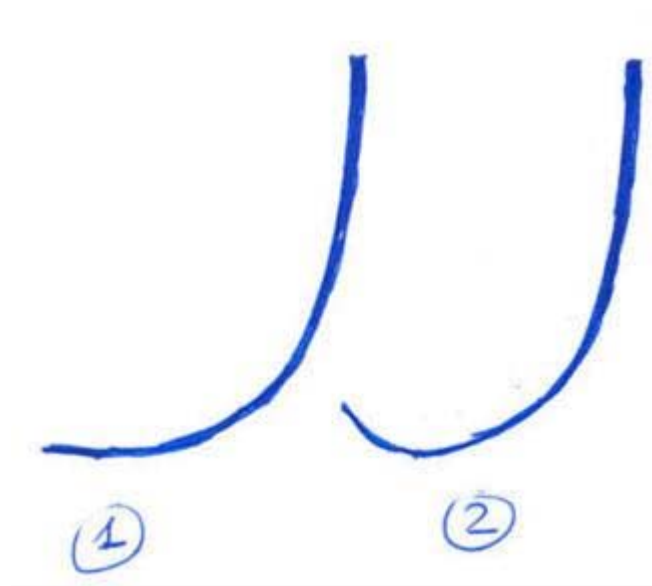
Βλέποντας και τις κατασκευαστικές εταιρείες παρουσιάζουν προϊόντα μερικών κατηγοριών όπως: αυτόνομη κατάδυση, ελεύθερη κατάδυση, τεχνική κολύμβηση, snorkeling, υποβρύχιο ψάρεμα

Ακόμα και αν κάθε εταιρεία παρουσιάζει διαφορετικά μοντέλα η αγορά είναι ακόμα νέα: κάθε παραγωγός κατασκευαστής πουλάει τις λεπίδες του δίνοντας έμφαση στην απόδοση της ώσης χωρίς να λάβουν υπόψιν τους την νευρικότητα της λεπίδας .

**Το ιδεατό σχήμα ενός πτερυγίου το οποίο χρησιμοποιείται για ελεύθερη κατάδυση ή βαθύ υποβρύχιο κνήγι**

Σύμφωνα με αυτή τη μελέτη η ιδεατή δομή έχει να κάνει με ένα ελαφρά εύκαμπτο πτερυγίο το οποίο γεννά ένα κύμα συγκεκριμένου εύρους(1) άλλα όχι τόσο εύκαμπτο ώστε να παραχθεί ένα σχήμα της μορφής (2)

Όπως είναι εύκολο να παρατηρηθεί από το σχήμα (2) η επιφάνεια ώσης του πτερυγίου δεν είναι κάθετη στην κατεύθυνση της κίνησης του δύτε.Επομένως στο πιο σημαντικό μέρος του πτερυγίου το ακραίο σημείο δε θα επιτευχθεί δύναμη παράλληλη με την επιθυμητή κατεύθυνση της κίνησης και μέρος αυτής θα χαθεί κατά την ανάλυση των δυνάμεων.



Σχ.3.2.9 διαφορετικών ειδών παραμόρφωσης λεπίδων ανάλογα με τη διαδικασία κατασκευής τους

Η πιο προφανής παρατήρηση η οποία έρχεται στο μυαλό είναι ότι η λεπίδα κάτω από την πίεση του λυγίσματος εξαρτάται από την μυϊκή δύναμη η οποία εφαρμόζεται από τον δύτε.

Αυτή η πίστη επηρέασε πολλές εταιρείες στο να παράγουν λεπίδες διαφορετικών σκληροτήτων.Θα έπρεπε κανονικά να μιλάμε για αντίσταση στο λύγισμα.Στην ουσία η λεπίδα δεν πιέζεται σε μία σκληρή επιφάνεια αλλά σε ένα υγρό το οποίο επιταχυνόμενο κινείται παράγοντας δίνες.

Ακόμα και ένας πολύ ισχυρός δύτες δε θα μπορούσε σε καμία περίπτωση να λυγίζει μία λεπίδα η οποία κάτω από πίεση βρίσκεται στη θέση (1) και να τη φέρει στη θέση



(2)βλ.σχ.3.2.9.Αυτό συμβαίνει επειδή το νερό γλιστράει στην επιφάνεια του πτερυγίου πριν να δημιουργήσει ένα αρκετά άκαμπτο υπόστρωμα ικανό να το φέρει στη θέση (2)

Η διαμόρφωση του πτερυγίου κάτω από πίεση σχετίζεται περισσότερο με την ίδια τη δομή της λεπίδας παρά με την μυϊκή δύναμη την οποία της εφαρμόζεται υποβρυχίως.

### **3.3.1 Υδρομηχανική της κολυμβητικής προώθησης μέρος 1.κολύμβηση μιας δυο διαστάσεων εύκαμπτης πλάκας σε διαφορετικές εμπρόστιες ταχύτητες σε ένα μη συνεκτικό ρευστό**

#### **Hydromechanics of swimming propulsion. part 1. Swimming of a two-dimensional flexible plate at variable forward speeds in an inviscid fluid**

**By T. YAO-TSU WU, 1970. California Institute of Technology, Pasadena, California**

Οι πιο αποτελεσματικές κινήσεις στην κολύμβηση των υδρόβιων ζώων όλων των μεγεθών φαίνεται να έχουν την φόρμα ενός εγκάρσιου κύματος το οποίο εμφανίζεται γύρω από το σώμα από το κεφάλι προς την ουρά. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτής της κυματοειδούς διάθεσης της προώθησης συζητιούνται για την περίπτωση μεγάλων αριθμών Reynolds τα οποία βασίζονται στην αρχή της ενεργειακής διατήρησης.

Το κύριο πρόβλημα μιας 2-διαστάσεων ευλίγιστης πλάκας το οποίο κολυμπάει αυθαίρετα σε ασταθείς εμπρόστιες ταχύτητες βρίσκει λύση μέσω της γραμμικής θεωρίας ροής ιξώδους.

Για αυτή την πλάκα η οποία ξεκινάει με μία σταθερή επιτάχυνση από την ηρεμία, η μικρού χρόνου λύση εκτιμάται καθώς και το αρχικό βέλτιστο σχήμα ορίζεται για την μέγιστη ώση κάτω από συγκεκριμένης συνθήκες.

Τα υδρόβια ζώα προωθούνται στο νερό ή σε οποιοδήποτε άλλο υγρό μέσο, έχοντας ένα μεγάλο εύρος μεγέθους και ταχύτητας. Τα μεγάλα κυτοειδή όπως οι φάλαινες μπορεί να έχουν μήκος από 2 έως 30 μέτρα και να κινηθούν με ταχύτητες 6-10 m/sec (Lang & Pryor 1966).

Μικροσκοπικοί οργανισμοί (paramecia-spermatozoa) οι οποίοι κυμαίνονται από 300μm έως και 50μm σε μήκος με λόγο μήκους-διαμέτρου από 20 έως 100, μπορούν να κολυμπήσουν σε ταχύτητες από 1000 έως 80rpm/s.

Ενδιαμέσως αυτών των ακραιοτήτων υπάρχουν πολλά ήδη ψαριών και υδρόβιων ζώων διαφορετικών μεγεθών. Βασιζόμενοι στο χαρακτηριστικό μήκος  $l$  του κινούμενου σώματος σε

ταχύτητα  $U$  σε υγρό με κινηματικό ιξώδες  $\nu$ , ο αριθμός Reynolds,  $R=Ul/\nu$  ορίζεται ως ο λόγος των δυνάμεων αδράνειας προς των δυνάμεων συνεκτικότητας

Η τιμή του  $R$  είναι της τάξης του 108 για τα περισσότερα γρήγορα κυττοειδή, 106 για τα μεταναστευτικά ψάρια, 105-103 για μια μεγάλη ποικιλία ψαριών, 102 για τα αμφίβια έως 1 για τα turbatix, 10V η λιγότερο για τα paramecia και τα spermatozoa. (Gray 1968, p. 437) και το οριακό 10-6 ή λιγότερο για τα βακτήρια.

Παρόλο που το  $R$  διαφέρει αρκετά από περίπτωση σε περίπτωση, η πιο αποτελεσματική κίνηση της υποβρύχιας προώθησης η οποία χρησιμοποιείται από ένα μεγάλο αριθμό υδρόβιων ζώων διαφορετικών μεγεθών έχει παρατηρηθεί να διαφέρει πολύ λίγο από μία κυματοειδή κίνηση του σώματος, υπό την μορφή ενός εγκάρσιου κύματος το οποίο διαδίδεται γύρω από το σώμα από το κεφάλι προς την ουρά.

Η εκπληκτική απόδοση ορισμένων κυττοειδών (δελφίνια, φάλαινες κτλ) και μερικών γνωστών ψαριών (τούνες wahoo, marlin, ξιφίες κτλ), τα οποία χρησιμοποιούν δυνατές ουρές είναι μόνο μία εκδοχή αυτής της βασικής κυματοειδούς κίνησης.

Στον κόσμο των μικροοργανισμών μία μεγάλη ποικιλία ζώων από βακτήρια, λίγο μεγαλύτερα πρωτόζωα και ακόμα πιο μεγάλα σπερματοζώα έχουν παρατηρηθεί να χρησιμοποιούν είτε ομοιόμορφα εγκάρσια κύματα, είτε ελικοειδή σαν βασικό τρόπο προώθησης.

Η βασική κυματοειδής κίνηση φαίνεται να επηρεάζεται λίγο από τον αριθμό Reynolds για ένα τόσο μεγάλο εύρος. Παρόλ' αυτά βασικές αρχές οι οποίες υπογραμμίζουν την υδρομηχανική της κολυμβητικής προώθησης διαφέρει αρκετά για μεγάλες και μικρές τιμές του αριθμού Reynolds..

Για μεγάλους αριθμούς Reynolds η κολυμβητική προώθηση εξαρτάται κυρίως στο φαινόμενο της αδράνειας αφού η ροή γύρω από ένα λεπτό όριο αποτελούμενο δίπλα στην επιφάνεια του σώματος είναι περιστροφική. Το ιξώδες του υγρού είναι μικρής σημασίας εκτός από τον ρόλο της γέννησης της στροβιλώδους κίνησης μέσα στο απόνερο και την δημιουργία ενός λεπτού αποτελούμενου ορίου και μίας τριβής του δέρματος στην επιφάνεια του σώματος.

Καθώς ένα αυτοκινούμενο σώμα προωθείται στο νερό με σταθερή ταχύτητα, η εμπρόστα και οπίστια ορμή βρίσκονται σε απόλυτη ισορροπία.

Αυτός ο μηχανισμός της κολυμβητικής κίνησης σε μεγάλους αριθμούς Reynolds έχει διευκρινιστεί από τους von Kármán & Burgers (1943) για μία απλή περίπτωση ενός άκαμπτου πιάτου στην εγκάρσια κυμάτωση. Η κολύμβηση ενός αδύνατου ψαριού έχει μελετηθεί από τον Lighthill (1960) και η κυματοειδής κίνηση μιας διδιάστατης ευλίγιστης πλάκας έχει υπολογιστεί από τον Wu (1961).

Στην άλλη άκρη ,οι κινήσεις των μικροσκοπικών σωμάτων πάντα ανταποκρίνονται σε μικρούς αριθμούς Reynolds.Η ώση σε αυτό το εύρος εξαρτάται σχεδόν εξολοκλήρου στο από τις διατμητικές τάσεις αφού οι εσωτερικές δυνάμεις είναι εξαιρετικά μικρές,εκτός ενδεχομένως από τις από τις κινήσεις σε πολύ υψηλές συχνότητες.

#### Υδρομηχανική της κολυμβητικής ώσης

Η υδροδυναμική στην κολύμβηση είναι μονάχα ένα μέρος του προβλήματος.Από την άποψη της βιομηχανικής,όλη η πρόοδος κατά την κολύμβηση ξεκινά με την βιοχημική ενέργεια η οποία είναι αποθηκευμένη,η οποία μετατρέπεται μέσω του βαθμού απόδοσης  $q$  ,σε βιομηχανική ενέργεια για την διατήρηση της κίνησης του σώματος.Κατόπιν μετατρέπεται μέσω του βαθμού απόδοσης  $y$  σε υδροδυναμική ενέργεια για την κολύμβηση.Ένα μέρος αυτής δαπανάται ως χρήσιμο έργο από την ώση,όπου εξισορροπεί το έργο από την αντίσταση της δύναμης της τριβής.Το παραμένον μέρος μετατρέπεται σε απώλεια της ενέργειας.

Πριν αυτή τη μελέτη και άλλοι ασχολήθηκαν με παρόμοια θέματα.Η ταχύτητα των μεγάλων φαλαινών μελετήθηκε προσεκτικά από τους Lang et al. (1963, 1966).Μία ακόμα ενδιαφέρουσα μελέτη ήταν αυτή του Osborne (1960) ο οποίος μελέτησε τον αποδημητικό σολομό και έβγαλε το συμπέρασμα ότι αυτά τα ψάρια έχουν πολύ μικρή αντίσταση όπου επιτυγχάνετο με παρόμοια άκαμπτα σώματα ή ότι η δύναμη ανά γραμμάριο μυϊκότητας είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που έχει παρατηρηθεί σε θερμόαιμα ζώα.Αυτό είναι γνωστό και ως το παράδοξο του Gray(1948,1949).

### 3.3.2.Κάποια βέλτιστα προβλήματα σχήματος

By T. YAO-TSU WU,(1970),California Institute of TechnologyPasadena, California

Τα βέλτιστα σχήματα τα οποία αναλύονται αναφέρονται σε μία 2-διαστάσεων ευκαμπτη πλάκα σε μία αρμονική κίνηση ως προς τον χρόνο το οποίο θα ελαχιστοποιήσει την ενεργειακή απώλεια κάτω από συνθήκες συγκεκριμένης ώσης και πιθανότατα κάτω από άλλες παρόμοιες συνθήκες. Αρχικά η βέλτιστη κίνηση μιάς άκαμπτης πλάκας ορίζεται εξολοκλήρου. Είναι απαραίτητο αρχικά να μειώσουμε το αρχικό πρόβλημα σε ένα χαμηλότερης τάξης βρίσκοντας την ενεργειακή απώλεια γι'αυτό, με γνωστές μεθόδους. Γενικά δείχνεται ότι η λύση μπορεί να οριστεί σε μία συγκεκριμένη έκταση αλλά το ακριβές σχήμα δεν είναι πάντα μοναδικά ορισμένο

Μια από τις πιο εμπνευσμένες ερωτήσεις οι οποίες αφορούν το φαινόμενο της υδρόβιας ζωικής μετακίνησης και αυτή της πτήσης των πτηνών και εντόμων είναι άρρικτα συνδεδεμένο με την υψηλότερη δυνατή υδροδυναμική απόδοση. Αυτό το πρόβλημα μελετήθηκε από αρκετούς ερευνητές οι οποίοι σημείωσαν την εντυπωσιακή δυνατότητα αυτών των ζώων στην γένεση γρήγορων κινήσεων σε χαμηλές ενεργειακές απώλειες.

Αρκετά μπορούν να ειπωθούν σχετικά με τα επιθυμητά σχήματα της κίνησης του σώματος. Ότι σε μεγάλους αριθμούς Reynolds ένα λεπτό 2-διαστάσεων πιάτο κερδίζει ώση στέλνοντας εγκάρσια κύματα από το κεφάλι προς την ουρά με πλάτος ελαφρώς αυξανόμενο προς το πίσω μέρος όπου κατά αυτόν τον τρόπο κερδίζεται μία εμπρόστια κολυμβητική ταχύτητα κατά ένα μικρό ποσοστό λιγότερο από την συντονισμένη ταχύτητα κύματος το οποίο αναπτύσσεται από το σώμα. Όσον αφορά την ουρά κάποιων υψηλής απόδοσης ψαριών ,αυτή πρέπει να κινείται κοντά στο μονοπάτι το οποίο ορίζεται από τον κυματισμό του σώματος. Αυτό το τελευταίο φαίνεται πολύ αναλυτικά στην μελέτη του Lighthill (1969).

Από μαθηματικής πλευράς αυτό το φαινόμενο αναλύθηκε από τον Wang(1966) ο οποίος χρησιμοποίησε σειρές Fourier για να απεικονίσει την κίνηση του σώματος και βρήκε ότι αυτή η λύση υπάρχει για ένα μόνο μέρος κάποιων χαρακτηριστικών ιδιοτιμών. Παρόλα αυτά στην παρούσα μελέτη του Wu αυτό το βέλτιστο σχήμα δεν είναι πρόβλημα χαρακτηριστικών ιδιοτιμών και είναι αφορμή νέων συζητήσεων.

Αρχικά η βέλτιστη κίνηση μιας άκαμπτης επίπεδης πλάκας ορίζεται μειώνοντας τους αρχικούς βαθμούς ελευθερίας. Αυτή η βέλτιστη λύση βρέθηκε ότι εξαρτάται από 2 συνιστώσες. Η πρώτη είναι μία αδιάστατη συχνότητα και η άλλη είναι η παράμετρος που σχετίζεται με τα αεροδυναμικά φορτία

Τελικά το γενικό πρόβλημα του βέλτιστου σχήματος μίας ευλίγιστης πλάκας η οποία έχει ένα άπειρο βαθμό ελευθερίας τελικά αναλύεται και συζητιέται. Βρέθηκε ότι η λύση μπορεί να οριστεί σε συγκεκριμένα όρια και με τους επιπλέον βαθμούς ελευθερίας η βέλτιστη απόδοση μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω από την τιμή της άκαμπτης πλάκας αλλά παρόλ' αυτά το ακριβές σχήμα δεν είναι μοναδικά ορισμένο.

### **3.4 Επίδραση των πτερυγίων στην οικονομία και απόδοση της ανθρώπινης κολύμβησης**

#### **How fins affect the economy and efficiency of human swimming**

**P. Zamparo<sup>1,2,\*</sup>, D. R. Pendergast<sup>3</sup>, B. Termin<sup>3</sup> and A. E. Minetti<sup>2</sup>,(2002)**

#### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στοχος αυτής της μελέτης είναι να ποσοτικοποιήσει τις βελτιώσεις στην οικονομία και την απόδοση στην επιφανειακή κολύμβηση με τη χρησιμοποίηση λεπίδων μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος ταχυτήτων το οποίο μπορεί να επιτευχθεί με αερόβια άσκηση. Σε συγκρίσιμες ταχύτητες, το ενεργειακό κόστος (C) στην κολύμβηση με πτερύγια ήταν 40% χαμηλότερο από αυτό της κλασικής κολύμβησης. Κάνοντας σύγκριση στην ίδια μεταβολική ισχύ, η μείωση του C επέτρεπε μία αύξηση στην ταχύτητα  $v$  της τάξης του  $0.2\text{ms}^{-1}$ . Τα πτερύγια μόνο κατά λίγο μειώνουν το εύρος της πεδιλιάς (κατά 10%) αλλά προκαλούν μία μεγάλη μείωση (40%) στη συχνότητα του κλωτσίσματος. Η μείωση στη συχνότητα οδηγεί σε μία παράλληλη μείωση του εσωτερικού έργου ( $W_{int}$ , περίπου κατά 75% στις ίδιες ταχύτητες και της ενέργειας η οποία δαπανάται ώστε να παραχθεί κινητική ενέργεια στο νερό ( $W'k$ , περίπου 40%). Αυτά τα δύο συστατικά της συνολικής ενεργειακής δαπάνης μετρήθηκαν με ανάλυση σε video ( $W'_{int}$ ) και από μετρήσεις απόδοσης κατά Froude ( $W'k$ ). Η απόδοση κατά Froude ( $\eta_f$ ) μετρήθηκε υπολογίζοντας τις ταχύτητες των κινούμενων κυμάτων γύρω από το σώμα κατά την ουραία κατεύθυνση. Το  $\eta_f$  βρέθηκε να είναι 0.70 κατά την κολύμβηση με πτερύγια και 0.61 χωρίς αυτά. Καμμία διαφορά στην δύναμη υπερνίκησης των

δυνάμεων τριβής( $W'd$ ) δεν παρατηρήθηκε στις αντίστοιχες ταχύτητες .Η μηχανική απόδοση( $W_{tot}/(Cv)$ ,όπου  $W'_{tot}=W'k+W'int+W'd$ ) βρέθηκε να είναι περίπου 10% μεγαλύτερο στο κολύμπι με πτερύγια i.e.  $0.13\pm 0.02$  και  $0.11\pm 0.02$  χωρίς(κατά μέσο όρο για όλες τις ταχύτητες που συγκρίθηκαν)

Τα πτερύγια έχουν κατασκευαστεί έτσι ώστε να βελτιώσουν το μέρος εκείνο της δύναμης το οποίο είναι χρήσιμο στο να προωθήσει το σώμα μπροστά.Με άλλα λόγια είναι κατασκευασμένα να βελτιώσουν την απόδοση της πρόωσης στην υποβρύχια μετακίνηση.Μία ανάλυση των μηχανικών περιορισμών στην βελτίωση της οικονομίας μέσω των πτερυγίων δεν έχει επιχειρηθεί ποτέ επειδή η ποσοτικοποίηση του μηχανικού έργου κατά την διάρκεια της υδρόβιας μετακίνησης δεν είναι απλή υπόθεση.Στην παρούσα μελέτη η ενεργειακή απώλεια,το μηχανικό έργο και η απόδοση στην κολύμβηση χρησιμοποιώντας το 'leg kick' μετρήθηκαν και εκτιμήθηκαν με μεθοδολογίες οι οποίες εφαρμόστηκαν στην ανθρώπινη μετακίνηση και σε αυτή των ψαριών.

## ΜΙΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Όπως στην ανθρώπινη μετακίνηση στην ξηρά έτσι και στην θάλασσα,η οικονομία και η απόδοση εξαρτώνται από το μηχανικό έργο( $W_{tot}$ ) όπου οι μυς πρέπει να παράγουν ώστε να διατηρήσουν μία σταθερή ταχύτητα.Αυτό το έργο απαρτίζεται από 2 κύρια συστατικά.1)το έργο το οποίο απαιτείται για να υπερνικηθούν οι εξωτερικές δυνάμεις( $W_{ext}$ ) και 2)το έργο το οποίο απαιτείται ώστε να επιταχυνθούν και να επιβραδυνθούν τα πόδια με σεβασμό προς το κέντρο βάρους.

Το εξωτερικό έργο στην υδρόβια μετακίνηση γενικά απαρτίζεται από 2 συστατικά: $W_d$ ,το έργο το οποίο απαιτείται ώστε να υπερνικηθεί η αντίσταση η οποία αντισταθεί στην ώση.Και το  $W_k$  το οποίο δεν σχετίζεται με την ώση.Και οι δύο τύποι έργου δίνουν κινητική ενέργεια αλλά μόνο η  $W_d$  απόδοση συνεισφέρει στην πρόωση.Η ενεργητική αντίσταση στο νερό είναι υψηλότερη από την παθητική εξαιτίας σε αλλαγές στην εμπρόστια επιφάνεια και στην μηχανική των ρευστών οι οποίες προκαλούνται από τις κινήσεις των χεριών και ποδιών

Οι άνθρωποι κολυμπούν σε τιμές του  $Re$  της τάξης του  $10^6$  οι οποίες είναι συγκρίσιμες με αυτές των αδύνατων ψαριών. (e.g. 105 for eels, as estimated by Alexander, 1977).

$$nF = (c + v) / 2c, (1)$$

Σε υψηλές τιμές του  $Re$  και για μία δοσμένη ταχύτητα  $v$ , η απόδοση της κυματοειδούς κίνησης ενός ισχνού ψαριού δίνονται από τον πιο πάνω τύπο

$C = \eta$  ταχύτητα του κύματος

$Hf = \eta$  απόδοση κατά Froude (e.g. Lighthill, 1975; Daniel, 1991)

Η  $\eta f$  πρέπει να παίρνει τιμές μεταξύ 0.5 και 1 για ικανοποιητική πρόωση: η ταχύτητα του οπίσθιου κύματος πρέπει να είναι υψηλότερη από τον μέσο όρο της εμπρόσθιας ταχύτητας του ψαριού.

Η  $\eta f$  επίσης ορίζεται ως :

$$nF = Wd / (Wd + Wk), (2) \text{ (e.g. Lighthill, 1975; Daniel, 1991).}$$

Ουσιαστικά αντικατοπτρίζεται η ικανότητα του σώματος το οποίο κολυμπάει να μεταδώσει χρήσιμη κινητική ενέργεια στο νερό.

$$Wk = (Wd/nF) - Wd. (3)$$

Γενικά κατά την κίνηση στο νερό με διπλά πτερύγια, η κίνηση του ποδιού είναι παρόμοια με το λεγόμενο dolphin kick κατά το οποίο τα πόδια κινούνται συγχρονισμένα, αλλά στην πρώτη περίπτωση εργάζονται με διαφορά φάσης μισού κύκλου. Τελικά το εσωτερικό έργο  $W_{int}$  μπορεί να μετρηθεί μέσω κινηματικής ανάλυσης σύμφωνα με μία μέθοδο η οποία αναφέρθηκε από τους Cavagna and Kaneko (1977). Κατά την κολύμβηση με τα πόδια σε στυλ crawl το εσωτερικό έργο φαίνεται να είναι παρόμοιο με αυτό κατά το περπάτημα, αφού και στις 2 περιπτώσεις τα πόδια κινούνται με μία ημιτονοειδή καμπύλη σχεδόν συμμετρική με σεβασμό στο κέντρο μάζας του σώματος.



Σχ.3.4.1 Η κινηματική του ποδιού κατά το leg-kick

Τα πειράματα έγιναν σε 7 κορυφαίους κολλεγιακούς αθλητές οι οποίοι ήταν μέλη του Πανεπιστημίου Division, στην αντρική κολυμβητική ομάδα. Ο μέσος όρος της μάζας τους ήταν  $71.6 \pm 7.2 \text{ kg}$  και ο μέσος όρος του ύψους τους  $1.79 \pm 0.69 \text{ m}$  και η μέση ηλικία τους  $19.9 \pm 1.3$  χρόνια.

### *ΠΤΕΡΥΓΙΑ*

Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τα bio-fin pro. Αυτά τα πτερύγια ήταν κατασκευασμένα από λάστιχο, ήταν μικρά σε μέγεθος και είχαν υψηλή ευλυγισία. Αυτού του είδους οι λεπίδες φάνηκε ότι είναι ικανές στην αύξηση της οικονομίας στο κολύμπι συγκρινόμενα με διάφορους τύπους λεπ'ιδων από παρόμοια πειράματα (Pendergast et al., 1996). Οι αθλητές χρησιμοποίησαν πέδιλα 2 διαφορετικών μεγεθών. Το μήκος τους η μάζα τους και η επιφάνειά τους ορίστηκε ανάλογα με το μέγεθος του ποδιού των αντικειμένων.

### ΠΡΩΤΟΚΟΛΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Οι αθλητές κολύμπησαν σε μία πισίνα 2.5 μέτρων πλάτους και 2.5 μέτρων βάθους και 60 μέτρων περιμέτρου του κολυμβητή πάνω από την τροχιά. Η ταχύτητα των κολυμβητών ορίστηκε από ένα impeller τύπου ροομέτρου (PT – 301, Mead Inst. Corp., Riverdale, NY, USA) το οποίο τοποθετήθηκε 1.5 μέτρο μπροστά από τους κολυμβητές και συνδέθηκε με ένα ταχύμετρο (F1-12 P Portable indicator, Mead Inst. Corp., Riverdale, NY, USA). Οι κολυμβητές τους ζητήθηκε να κολυμπήσουν με τα χέρια σε υπερέκταση πάνω από το κεφάλι



με τις παλάμες ενωμένες και να δείχνουν προς τα κάτω. Η εμπρόστια πρόωση επιτυγχάνεται με κλώτσιμα των ποδιών με και χωρίς πτερύγια.

Τα πειράματα έγιναν όλα σε ένα εύρος ταχυτήτων  $N=5$ , οι οποίες μπορούσαν να επιτευχθούν αεροβικά. Το εύρος των ταχυτήτων ορίστηκε σύμφωνα με τις συνθήκες κολύμβησης. Για χωρίς πτερύγια κολύμβηση ορίστηκε  $0.6-1.0 \text{ ms}^{-1}$ , και με πτερύγια  $0.7-1.1 \text{ ms}^{-1}$ . Κάθε αθλητής πήρε μέος σε αρκετές συνεδρίες, η κάθε μία αντιστοιχούσε δε, σε 1-3 προσπάθειες σε δωσμένες συνθήκες και ταχύτητες με τουλάχιστον 15-20 λεπτά ξεκούρασης η μία από την άλλη.

Κατά την διάρκεια του πειράματος υπήρξε κινηματογράφιση καθώς τα υποκείμενα περνούσαν μπροστά από ένα υποβρύχιο παράθυρο. Η απόσταση μεταξύ του γοφού και του γονάτου μετρήθηκε και κινηματογραφήθηκε για κάθε αθλητή ξεχωριστά και αξιοποιήθηκε ως βαθμονομημένη συνιστώσα

Ύστερα από τα πειράματα, τα δεδομένα περάστηκαν σε PC. 2-διαστάσεων συντεταγμένες συγκεκριμένων ανατομικών στοιχείων αξιοποιήθηκαν για να μετρηθεί η γωνία κλίσης του θώρακα το βάθος κλωτσιματος, η απόδοση Froude και το εσωτερικό έργο. Μόνο τα δεδομένα τα οποία συλλέχτηκαν κατά την διάρκεια αποφασισμένης ελεύθερης κολύμβησης αναλύθηκαν.

Όπως δείχτηκε από τους Minetti και Saibene (1992) το μηχανικό εσωτερικό έργο κατά την διάρκεια του περπατήματος μπορεί να περιγραφεί από την παρακάτω ισότητα

$$W_{int} = kv^2f, \quad (4)$$

Όπου το  $k$  σχετίζεται με παράγοντες αδράνειας του κινούμενου σώματος,  $v$  είναι η μέση ταχύτητα ( $\text{m s}^{-1}$ ) και  $f$  συχνότητα του δρασκελισμού (Hz)

Στην κολύμβηση σε στυλ croul με τα χέρια σε υπερέκταση το  $W_{int}$  είναι παρόμοιο με του περπατήματος αφού και στις 2 περιπτώσεις τα πόδια κινούνται με έναν ημιτονοηδή μηχανισμό

Απόδοση κατά Froude ( $\eta_f$ ) και η κινητική ενέργεια ( $W_k$ )

Το  $\eta_f$  υπολογίστηκε και για τις δύο περιπτώσεις από τις τιμές του μέσου όρου της εμπρόσθιας ταχύτητας ( $v$ ) και από την ταχύτητα του οπίσθιου κύματος ( $c$ ) και στις 2 περιπτώσεις.

Σε ένα ζεύγος ταχυτήτων η ενεργειακή απώλεια στη κολύμβηση με πτερύγια ήταν  $42 \pm 2\%$  χαμηλότερη από τι χωρίς. Με σύγκριση στον ίδιο μεταβολικό ρυθμό, η μείωση του C η οποία έγινε με την χρήση λεπίδων επέτρεψε μία αύξηση στην ταχύτητα πρόωσης της τάξης του  $0.2 \text{ms}^{-1}$ . Τα πτερύγια μόνο κατά λίγο (14%) μειώνουν το βάθος κλωτσίσματος αλλά οδηγούν σε μία αισθητή μείωση της συχνότητας κλωτσίσματος (43%). Καμία ουσιαστική διαφορά στην ενεργητική αντίσταση και στηγωνία κλίσης του θώρακα δεν παρατηρήθηκε και για τις 2 συνθήκες σε διαφορετικές ταχύτητες.

### Ενεργητική στην κολύμβηση

Τα υπάρχοντα δεδομένα στην ενεργητική στην τεχνική κολύμβηση αναφέρονται κυρίως στην υποβρύχια κολύμβηση και δείχνουν ότι αυτά τα οποία επηρεάζουν τα διάφορα πτερύγια ως ενεργητική απαίτηση στην κολύμβηση εξαρτώνται από τον τύπο των λεπίδων οι οποίες χρησιμοποιούνται. Μεγάλες και άκαμπτες λεπίδες είναι ενεργητικά πιο απαιτητικές αλλά βελτιώνουν την διαφορά μεταξύ της στατικής και της δυναμικής θέσης.

Η απόδοση στην υδρόβια μετακίνηση ορίζεται από τρεις παράγοντες. 1) η απόδοση με την οποία οι μυς χρησιμοποιούν οξυγόνο έτσι ώστε να πράγουν ενέργεια. Αυτή συνήθως ορίζεται ως μηχανική-μυοσκελετική απόδοση ( $H_m = W_{tot}/E'$ ).

2) Η απόδοση με την οποία το έργο το οποίο παράγεται από τους μυς δίνουν μία χρήσιμη κίνηση (το κλάσμα εκείνο του έργου το οποίο δίνει κινητική ενέργεια στο ρευστό. Αυτό το συστατικό δέχεται το γεγονός ότι μέρος της ενέργειας χάνεται στην επιτάχυνση της μάζας μέρους των ποδιών που εξαρτώνται από την παραγωγή της ώσης (λεπίδες πτερυγίων) και στην υπερνίκηση της συνεκτικής απόσβεσης των

Αυτή η ενέργεια ονομάζεται **υδραυλική ενέργεια ( $\eta_f$ )** (Alexander, 1983)

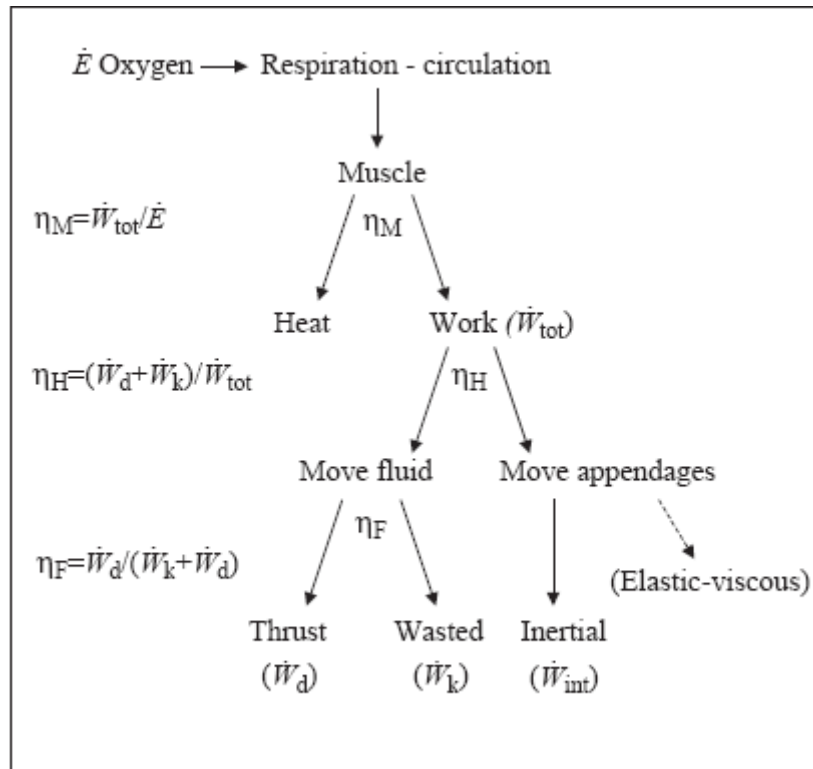
$$\eta_H = (W_k + W_d) / W_{tot} \quad (7)$$

3) Η απόδοση κατά την οποία το έργο το οποίο παράγεται στο κινούμενο υγρό γίνεται χρήσιμη ώση ( $W_d$ ). Αυτή είναι η **απόδοση κατά Froude** και δίνεται ως:

$$n_F = \dot{W}_d / (\dot{W}_k + \dot{W}_d) \quad (8)$$

Η παραγωγή της υδραυλικής και της απόδοσης κατά Froude δίνουν **την απόδοση προώθησης** ( $n_P = \dot{W}_d / \dot{W}_{tot}$ )

Η παραγωγή της μηχανικής ενέργειας (nM) και της απόδοσης προώθησης δίνουν την **performance efficiency** ( $n = \dot{W}_d / E$ .)



Σχ.3.4.2 διάγραμμα ροής των βημάτων της μετατροπής ενέργειας στην υδρόβια ανθρώπινη μετακίνηση

### **Performance efficiency (n)**

Το κλάσμα του χρήσιμου έργου το οποίο παράγεται διαιρεμένο με την ενεργειακή δαπάνη χρησιμοποιείται ως μέτρο απόδοσης για πολλά βιολογικά συστήματα (Daniel, 1991). Στη συγκεκριμένη μελέτη ως performance efficiency ορίζεται το κλάσμα της χρήσιμης ενέργειας (απαραίτητη να παράγει την ώση) προς τη συνολική ενεργειακή

δαπάνη( $Wd/E'$ ). Αυτό το σκεπτικό είναι χρήσιμο για να περιληφθούν συνοπτικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης.

Εφόσον τα πτερύγια δεν επηρεάζουν το  $Wd$  (σε συγκρίσιμες ταχύτητες), η αύξηση της οικονομίας (42%) η οποία παρατηρείται με την χρήση πτερυγίων πρέπει να παράγουν μία αύξηση της απόδοσης. Το κλάσμα  $Wd/E'$  ισούται με 0.03-0.05 στην κολύμβηση χωρίς πτερύγια και σε 0.07-0.09 στην κολύμβηση με πτερύγια και ανταποκρίνεται σε μία διαφορά της τάξης του 77% σε συγκρινόμενες ταχύτητες. Αυτή η αύξηση οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στην αύξηση της απόδοσης πρόωσης (66%). Από την αύξηση στο  $nP$ , το ένα τρίτο πρέπει να αποδοθεί σε μία αύξηση στο  $nF$  (13 %), τα δύο τρίτα σε μία αύξηση της υδραυλικής ενέργειας (40%). Η αύξηση στο  $nP$  παρατηρείται κυρίως μέσω μίας μείωσης κατά 43% στο  $KF$  (η οποία οδηγεί σε μία μείωση κατά 74% στο  $W_{int}$ ) και μέσω μίας αύξησης στην επιφάνεια πρόωσης (3.5 φορές μεγαλύτερο με πτερύγια), κάτι το οποίο οδηγεί σε επιτάχυνση μεγαλύτερων μαζών υγρού σε χαμηλότερες ταχύτητες (Alexander, 1977).

## Συμπεράσματα

Μία συνολική ενεργειακή ισορροπία κατά την διάρκεια της κολύμβησης επιχειρήθηκε, χρησιμοποιώντας συνδιαστικά παλαιότερες μεθοδολογίες οι οποίες είχαν εφαρμοστεί σε ανθρώπους και ψάρια κατά την διάρκεια της κίνησής τους.

Από τον συνδιασμό αυτών των τεχνικών, η οικονομία ( $C$ ), το συνολικό μηχανικό έργο ( $W_{tot}$ ), η απόδοση πρόωσης ( $nF$ ) και η μηχανική απόδοση ( $nM$ ) στην κολύμβηση αναλύθηκαν. Παρόλο που η ανάλυση των συστατικών από τα οποία αποτελείται η performance efficiency βοηθάει στο να κατανοήσουμε γιατί η κολύμβηση με πτερύγια αποτελεί πλεονέκτημα στην υποβρύχια μετακίνηση, παρόλα αυτά το συνολικό κέρδος στην ώση είναι κατά πολύ μικρότερο με αυτό που παράγουν οι μυς βασιζόμενοι στην απόδοσή τους στη μετακίνηση επί ξηράς. Παρά την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την αύξηση κατά  $0.2ms^{-1}$  στην ταχύτητα σε παρόμοιο μεταβολικό ρυθμό, άλλες λύσεις με διαφορετικές συσκευές κίνησης πρέπει να ανακαλυφθούν για να αυξηθεί η απόδοση κατά Froude (για να μειωθεί το  $W_k$ ), η υδραυλική απόδοση (να μειωθεί το  $W_{int}$ ) και η μυική απόδοση έτσι ώστε να βελτιωθεί περαιτέρω η απόδοση στην ανθρώπινη κολύμβηση.

### **3.5 Μέγιστη συνεχόμενη ώση εξαιτίας της χρήσης λεπίδων στην υποβρύχια κολύμβηση**

**Yamaguchi H,Shidara F,Naraki N,Mohri M.,**Coastal Research Department, Japan Marine Science & Technology Center,

Σε αυτή τη μελέτη εξετάστηκε το άνω όριο της εμπρόσθιας δύναμης ώσης από το κλώτσιμα της λεπίδας χρησιμοποιώντας ένα σταθερό κολυμβητικό εργόμετρο. Η καρδιακή συχνότητα, ο όγκος του αέρα που μπορεί να ειπνέυσει ο άνθρωπος σε ένα λεπτό, η πρόσληψη οξυγόνου, και η απόδοση μετρήθηκαν σε τέσσερις αθλητές οι οποίοι κολύπησαν σταθερά για 8 λεπτά σε οριζόντια θέση ενάντια μίας εφαρμοζόμενης δύναμης σε ένα βάθος 0.7 μέτρων. Η θερμοκρασία του νερού ήταν ρυθμισμένη στους 26 βαθμούς(+\_1) C. Ο βαθμός απόδοσης ο οποίος ήταν παράμετρος του πόσο καλά τα αντικείμενα αντιστάθμισαν την συγκεκριμένη δύναμη, έδειξε ένα άνω όριο γύρω στα 64 N συνεχόμενης σταθερής δύναμης ώσης. Αυτό σημαίνει ότι ο δύτης μπορούσε να παράγει μία δύναμη ώσης 64 N σταθερά για 8 λεπτά σε ένα σταθερό ρυθμό. Η καρδιακή συχνότητα, ο όγκος του αέρα που μπορεί να ειπνέυσει ο άνθρωπος σε ένα λεπτό, η πρόσληψη οξυγόνου, και η απόδοση έδειξε αναλογικές αυξήσεις στην δεχόμενη δύναμη των 64N και τείνανε να φτάσουν γύρω στα 69N

### **3.6 Τεχνική κολύμβηση γυναικών με αναφορά στην εκλογή λεπίδων**

**Pendergast DR,Mollendorf J,Logue C,Samimy S.**Center for Research and Education in Special Environments, School of Engineering,University at Buffalo, Buffalo, NY 14214, USA.

Οι κολυμβητές υποβρύχιων αποστάσεων χρησιμοποιούν πτερύγια τα οποία παράγουν ώση για να υπερνικήσουν τις δυνάμεις τριβής και για να ωθήσουν τον δύτη. Ο τύπος των λεπίδων φαίνεται να επηρεάζει την απόδοση του δύτη, παρόλα αυτά τα δεδομένα στερούνται στις γυναίκες

Η κατανάλωση οξυγόνου ( $\dot{V}O_2$ ) στην κολύμβηση ως συνάρτηση της ταχύτητας, η ταχύτητα ως συνάρτηση της συχνότητας της πεδιλιάς, η μέγιστη ταχύτητα ( $v$ ), το μέγιστο  $\dot{V}O_2$ , η μέγιστη ώση ορίστηκαν για 8 γυναίκες δύτες σε ένα βάθος 1.25 μέτρων σε μία πισίνα 60 μέτρων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4. 1Περιγραφή της πειραματικής διάταξης

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω,προσπαθήσαμε να φτιάξουμε μία πειραματική διάταξη η οποία θα αναπαριστά σε μεγάλο βαθμό την πραγματικότητα..Αρχικά δανειστήκαμε μία διάταξη μιας γνωστής εταιρείας στον χώρο κατάδυσης η οποία είχε να χρησιμοποιηθεί καιρο...Ο αρχικός της ρόλος ήταν για τεστ αντοχής των πειραματικών τους πεδίων



Σχ.4.1 αρχική μορφή δεξαμενης

Στο σχ.4.1 φαίνεται η αρχική όψη της δεξαμενής πριν τις τροποποιήσεις.Στο πάνω μέρος είναι τοποθετημένος ένας μικρός κινητήρας και ένας μηχανισμός στροφάλου-εκκέντρου,όπου στο κάτω μέρος ήταν τοποθετημένο ένα ψεύτικο ομοίωμα ποδιού που στην άκρη του τοποθετούσαν το βατραχοπέδιλο.Έτσι λοιπόν είχαμε ένα καλό υπόβαθρο πάνω στο οποίο θα έπρεπε να κάνουμε τις ανάλογες μετατροπές.

Αυτά που έμειναν ουσιαστικά ανέπαφα ήταν η δεξαμενή ,ο κινητήρας ,ο στρόφαλος ,το εκκεντρο ,κι το ξύλινο παπουτσάκι .Υστερα από αρκετές συνεδρίες και ακόμα περισσότερες μετατροπές καταλήξαμε στο εξής σχήμα όπου τα επιμέρους μέρη φαίνονται στις φωτογραφίες.

Ο αρχικός μας προβληματισμός ήταν ο θόρυβος και οι ταλαντώσεις που έκανε το motor και αν αυτό θα επηρέαζε το σήμα μας.Το πόδι επίσης ήταν πολύ μεγάλο..Το μικρύνουμε περίπου στο μισό με αποτέλεσμα να μειωθεί το εύρος της πεδιλιάς στο επιθυμητό,να μειωθούν οι επιστροφές του νερού και να γίνεται καλύτερη κυκλοφορία μέσα στη δεξαμενή.Στο έκκεντρο επίσης ανοίχτηκε μία τρύπα πιο κοντά στο κέντρο και συνδέθηκε με τον στρόφαλο εκεί.Η καινούργια αυτή τρύπα βελτίωσε κατα πολύ την κατάσταση αφού το εύρος τελειοποιήθηκε καθώς επίσης και η ταλάντωση του πεδίλου απέκτησε την πραγματική συχνότητα κίνησης ,ύστερα και απο δοκιμές στην πισίνα με πραγματικούς αθλητές.Ένα άλλο θέμα που κοιτάξαμε ήταν να τοποθετήσουμε το ξύλινο ομοίωμα παπουτσιού στην ιδανική θέση,υπό γωνία 165 μοιρών με τον αστράγαλο(βλ.σχ.4.2), για να μετρήσουμε και το είδος της γωνίας που πρέπει να έχει στο σημείο που ενώνεται το πέλμα με την λεπίδα.



Σχ.4.2 μεταλλικό πόδι



Σχ.4.3 σύνδεση λεπίδας με μεταλλικό πόδι

Η λεπίδα αρχικά τοποθετείται με την βοήθεια λιπαντικού πάνω στο ξύλινο πέλμα και ύστερα ασφαλίζεται με την βοήθεια «ελίτσων» για να μειωθούν οι απώλειες κατά την κίνηση του βατραχοπέδιλου και να ληφθούν σωστότερα αποτελέσματα.



Σχ.4.4 σύστημα μετάδοσης -κίνησης



Ο μηχανισμός στροφάλου –εκκέντρου βελτιώθηκε αισθητά...Η αλυσίδα τανύστηκε βλ.σχ.4.4με την βοήθεια του μεσαίου τροχού την αλυσοκίνησης τα μέταλα βάφτηκαν πάλι για να πάρει ένα πιο όμορφο σχήμα και ο κεντρικός άξονας αλλάχθηκε με έναν καινούργιο μιας και ο παλιος είχε φθορές.Επίσης σημεία επίφοβα για ράγισμα συγκολλήθηκαν εκ νέου.



Σχ.4.5 μηχανισμός στροφάλου –εκκέντρου

Στο σχήμα 4.5 φαίνεται η καινούργια οπή η οποία διανύχθηκε έτσι ώστε το εύρος της κίνησης της λεπίδας να προσεγγίσει την πραγματική κατα την διάρκεια της κατάδυσης του δύτη(περίπου $\pm 30$  μοίρες)



Σχ.4.6 διαδικασία συναρμολόγησης



Σχ.4.7 διαδικασία συναρμολόγησης



Σχ.4.8 διαδικασία συναρμολόγησης

Στα σχήματα 4.6-4.8 φαίνεται η διαδικασία συναρμολόγησης του μηχανισμού. Το όλο σύστημα σηκώνεται και τοποθετείται στη δεξαμενή πολύ προσεκτικά με τη βοήθεια γερανογέφυρας.



Σχ.4.9 Τοποθέτηση με γερανογέφυρα

Στο σχ.4.9 διακρίνεται ο τρόπος τοποθέτησης του μηχανισμού άνωθεν της δεξαμενής



Σχ.4.10 φωτογραφία μηχανισμού πριν τοποθετηθεί στη δεξαμενή

Στο σχ.4.10 διακρίνονται τρεις οριζόντιοι μεταλλικοί δοκοί..Η κάτω δοκός ουσιαστικά κινεί το βατραχοπέδιλο και είναι η επέκταση του διωστήρα του συστήματος. Όπως βλέπουμε το δεξί του μέρος ενώνεται με το έκκεντρο ενώ το αριστερό του μέρος με το μεταλλικό πόδι πάνω στο οποίο είναι τοποθετημένο το βατραχοπέδιλο.Η πάνω δοκός παίζει το ρόλο του σταθεροποιητή.Δεν αφήνει τον μηχανισμό να κινηθεί ανεξέλεγκτα,και επιτρέπει μια πιο αρμονική κίνηση του πεδίλου κατά τον κάθετο άξονα,μην αφήνοντας το πέδιλο να «μπαλαντζάρει»αριστερά-δεξιά κατά την λειτουργία.**Μετά από μετρήσεις κρίναμε ότι η δοκός σταθεροποίησης έπρεπε να φύγει για τον λόγο ότι έκανε το σήμα μας αδύναμο και να στηριχθεί ο μηχανισμός εξολοκλήρου πάνω στο ζυγό.**Όπως βλέπουμε το τελειώμά της έχει την μορφή ενός Π για πιο σταθερό και ομοιόμορφο κράτημα.Η μεσαία δοκός έχει σχήμα Γ.Το αριστερό της τελειώμα δένει στο πάνω μέρος του Π ενώ το άλλο άκρο βγαίνει έξω από τον μηχανισμό και ενώνεται με τον ζυγό,ο οποίος αναλύει τα αποτελέσματα(δυνάμεις – ροπές)

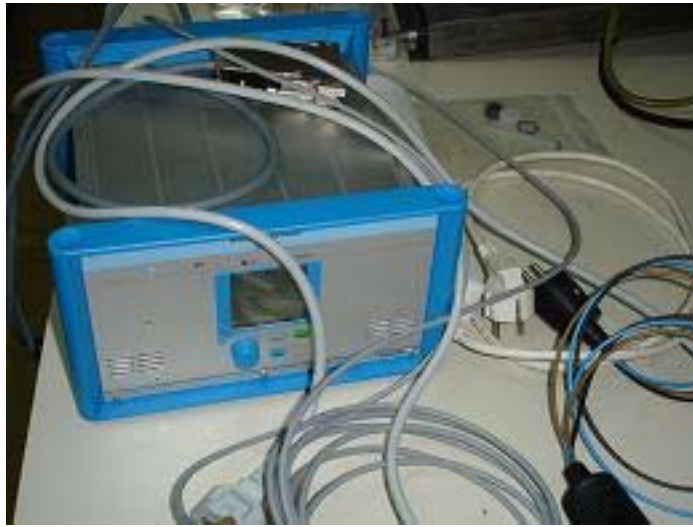


Σχ.4.11 ζυγός μέτρησης 6-συνιστωσών

Ο ζυγός(βλ.σχ4.11) τοποθετείται και αυτός στο πάνω μέρος της δεξαμενής σε συγκεκριμένο σημείο.Φτιάχθηκε και μία ξύλινη βάση ,ο ρόλος της οποίας είναι να πατάει καλά ο ζυγός ώστε να μη μας δώσει εσφαλμένα αποτελέσματα.Επίσης παρατηρούμε τέσσερις αισθητήρες (5,6,7,8),οι οποίοι παίρνουν και αναλύουν τις μετρήσεις.Ο ζυγός λειτουργεί πιεζοηλεκτρικά.

Στο τελειώμα λοιπόν της μεσαίας ράβδου έχει τοποθετηθεί μία βίδα η οποία δένει στην κεντρική οπή της πιεζοηλεκτρικής διάταξης,και οποιαδήποτε δύναμη ή ροπή εξαιτίας της

κίνησης του πεδίλου μεταφέρεται εκεί ,και κατόπιν μέσω υπολογιστή αναλύονται τα αποτελέσματα της μέτρησης.



Σχ.4.12 μετατροπέας σήματος

Οι μετρήσεις παίρνουμε πρώτιστα σ αυτό το μηχάνημα(σχ.4.12).Κατόπιν γίνεται μετατροπή του σήματος και έτσι λαμβάνονται οι ανάλογες γραφικές παραστάσεις στην οθόνη του υπολογιστή



Σχ.4.13 διάταξη μέτρησης στατικών δυνάμεων για την εξακρίβωση της ακρίβειας των μετρήσεων



Πρωτού βέβαια παρθούν οι ανάλογες μετρήσεις έπρεπε να σιγουρευτούμε για την ορθότητα των αποτελεσμάτων του ζυγού. Έτσι χρησιμοποιήσαμε αυτή τη μικρή και εύχρηστη διάταξη(σχ.4.13). Τοποθετήσαμε το ζυγό στο έδαφος σε σταθερό σημείο και απέναντί του σε μικρή απόσταση την ξύλινη αυτή κατασκευή με τη τροχαλία. Μέσω σύρματος(μείωση τριβών), ενώσαμε το βαριδάκι(1 kg) με την βίδα η οποία είναι τοποθετημένη στην οπή του ζυγού και διαπιστώσαμε έτσι ότι πράγματι η πειραματική μέτρηση δεν διαφέρει από την πραγματική.

Αν το όλο σύστημα τελείωνε εδώ, η εργασία μας θα ήταν ελλιπής. Κατ' αυτόν τον τρόπο οποιοδήποτε πολύ σκληρό πέδιλο θα μας δώσει σίγουρα μεγαλύτερη δύναμη. Αυτό όμως δεν σημαίνει κιόλας ότι θα είναι και πιο αποδοτικό. Θα μπορεί άραγε ο αθλητής να κινήσει με τον τρόπο που πρέπει μια πολύ σκληρή λεπίδα; Την λύση θα μας την έδινε ένα βατόμετρο. Το βατόμετρο αυτό θα μας δώσει την δυνατότητα να μετρήσουμε ταυτόχρονα την δύναμη με την ισχύ και μαζί με ένα μηχάνημα το οποίο θα παίζει το ρόλο του ρυθμιστή θα έχουμε ανά πάσα χρονική στιγμή, ανάλογα με το σημείο που βρίσκεται το πέδιλο κατά τη λειτουργία του, την δύναμη και την ισχύ που καταναλώνεται κατά την εκάστοτε φάση λειτουργίας. Η ισχύς είναι άμεσα συνιφασμένη με την κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται από τον αθλητή για να κινήσει το πέδιλο οικονομικά και ταυτόχρονα αποδοτικά. Επίσης πρέπει να γίνει κατανοητό ότι η δύναμη η οποία μας ενδιαφέρει είναι κατά την οριζόντια διεύθυνση και είναι ουσιαστικά η αντίδραση της μετατόπισης του νερού κατά την αντίθετη κατεύθυνση. Δυστυχώς για τον λόγο ότι η διακριτική ακρίβεια του βατομέτρου δεν μας επέτρεπε να διακρίνουμε ουσιαστικές διαφορές αναγκαστήκαμε να αλλάξουμε τον τρόπο εκτίμησης απόδοσης. Ο τρόπος θα παρουσιαστεί αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.

Μία ακόμα μέτρηση πάρθηκε στην πισίνα με κάπως παράδοξο τρόπο. Ένας έμπειρος αθλητής βάλθηκε να κινηθεί με την ταχύτητα του αγώνα του η οποία είναι 1m/sec. Αφού επαναλήφθηκε αυτό αρκετές φορές δέσαμε στην μέση του ένα προπονητικό λάστιχο και την άλλη άκρη από ένα σταθερό σημείο στην άκρη του βατήρα. Ύστερα τον βάλαμε να κινηθεί με τον ίδιο τρόπο όπως πριν και μετρήσαμε την επιμήκυνση του λάστιχου. Κατόπιν, εκτός νερού πια, δέσαμε την μία άκρη πάλι σε ένα σταθερό σημείο και στην άλλη άκρη τοποθετήσαμε ένα δυναμόμετρο και μετρήσαμε την δύναμη που πήραμε για την αντίστοιχη επιμήκυνση που μας ενδιέφερα... Έτσι με απλές πράξεις βρέθηκε ότι αυτός ο αθλητής ο οποίος είχε βάρος 71kg

και ύψος 1,78cm κατανάλωνε περίπου 100 watt κατά την ταυτόχρονη κίνηση των δύο πεδίων του.

$$P=f*s$$

Άρα έχουμε ακόμα μία ένδειξη ότι η λεπίδα κινείται σχετικά οικονομικά με περίπου 50 watt ανά κίνηση ενός ποδιου.

Με αυτήν την τελευταία μέτρηση πετύχαμε το εξής.Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό η δύναμη την οποία θα μας δώσει ο ζυγός θα έχει μειωμένη τιμή από την πραγματική εξαιτίας των διαφόρων αντιστάσεων και τριβών της πειραματικής διάταξης.Με αυτή την τελευταία μέτρηση θα γίνει μία προσπάθεια προσομίωσης των τιμών αν και ουσιαστικό μας μέλημα είναι η σύγκριση των διαφορετικών πεδίων ως προς την απόδοση.

Για να είμαστε ακριβείς με τις μετρήσεις των δυνάμεων –ροπών και ισχύος έπρεπε να παρθεί άλλη μία πολύ σημαντική μέτρηση χωρίς την οποία δε θα μπορούσαμε να επεξεργαστούμε τα αποτελέσματα.Αδειάσαμε αρχικά την δεξαμενή από νερό και πήραμε μετρήσεις με τον ζυγό κατά την λειτουργία του εκτος νερου..Κατόπιν γεμίσαμε ξανά τη δεξαμενή και βάλουμε τον μηχανισμό σε λειτουργία χωρίς όμως να έχουμε τοποθετήσει πάνω κάποιο βατραχοπέδιλο και παρατηρήσαμε τις διαφορές που είχαμε στα αποτελέσματά μας όσον αφορά την οριζόντια συνιστώσα(κυρίως )η οποία μας ενδιέφεται.Μ'αυτόν τον τρόπο σιγουρευτήκαμε ότι η όλη σύλληψη της πειραματικής διάταξής μας όντως είναι ορθή.Υστερα ακολούθησαν πολλά πειράματα χρησιμοποιώντας διαφορετικά πέδιλα,μετρήσεις χωρίς πτερύγια.μετρήσεις με αντίβαρα,κ.α ,οι οποίες είχαν όλες τον σκοπό της σωστής εύρεσης των δυνάμεων που μας απασχολούν μέσω της διάταξης που κατασκευάσαμε.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5.1 Πειραματική επεξεργασία

Αρχική μας ιδέα ήταν να τοποθετήσουμε όσο το δυνατόν περισσότερα πέδιλα στην πειραματική διάταξη και στη συνέχεια να τα επεξεργαστούμε και να λάβουμε τα πρώτα μας συμπεράσματα. Βασική προϋπόθεση αυτών των πεδίων ήταν να διαφέρουν μεταξύ τους κατά 1 μόνο παράγοντα ώστε να εξασφαλίσουμε ότι τα αποτελέσματά μας οφείλονται στην αλλαγή αυτού του παράγοντα και μόνο.

Οι παράγοντες οι οποίοι μας απασχόλησαν ήταν:

1. υλικό (πλαστικό-κάρμπον)
2. σκληρότητα
3. παπουτσάκι
4. απόλιξη
5. παρατροπίδια

Πρώτιστα τοποθετήσαμε ένα πλαστικό πέδιλο. Κατόπιν πήραμε πέδιλα μίας γνωστής εταιρείας στο χώρο διαφορετικών σκληροτήτων αλλά με ίδιους όλους τους άλλους παράγοντες. Κατόπιν πήραμε πέδιλα ίδιας σκληρότητας ίδιας απόλιξης και ίδιων παρατροπιδίων αλλά αλλάξαμε τα παπουτσάκια. Ύστερα βάλαμε στο ζυγό πέδιλα με μόνη διαφορά μεταξύ τους τις απολίξεις (half lunate-έξω, half lunate-έσω, ίσιο, πρωτότυπο), και τέλος δοκιμάσαμε τα παρατροπίδια.



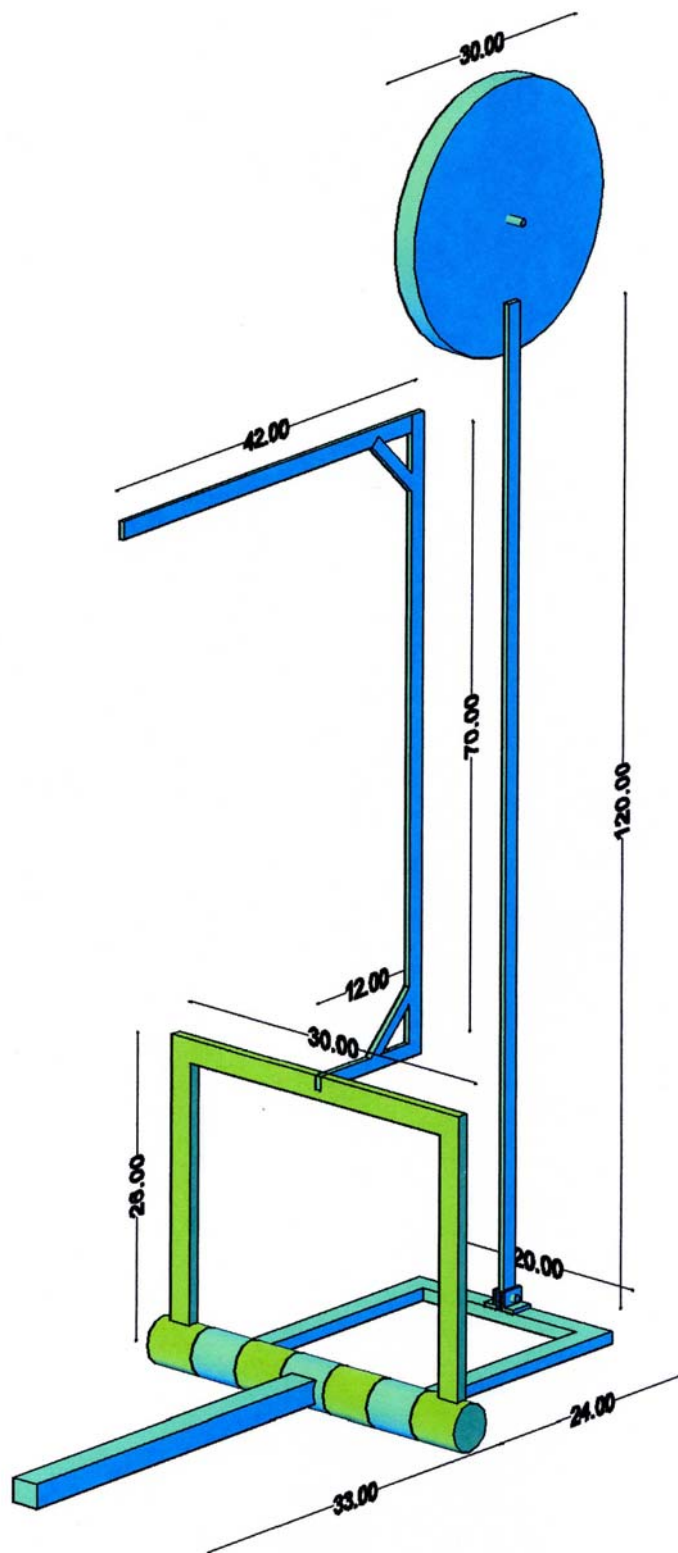
## 5.2 Μετρήσεις

Στις γραφικές παραστάσεις οι οποίες ακολουθούν φαίνεται η δύναμη  $F_z$  και η ροπή  $M_y$  τις οποίες δέχεται ο ζυγός κατά την λειτουργία του μηχανισμού καθώς ο διωστήρας στρέφεται δεξιόστροφα. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι δυνάμεις και οι ροπές οι οποίες λαμβάνονται είναι το αλγεβρικό άθροισμα των δυνάμεων ώσης από την κίνηση του πτερυγίου και από την δύναμη του διωστήρα. Ωστόσο είναι δυνατή η παρατήρηση των διαφορών από πτερύγιο σε πτερύγιο. Παράλληλα παρατείνονται τα σχήματα των λεπίδων σε 7 διαφορετικά χρονικά σημεία της μίας περιόδου, καθώς επίσης βρίσκονται συντελεστές απόδοσης και παρατείνονται τα αποτελέσματα. Η διαδικασία φαίνεται στη συνέχεια αναλυτικά για το κάθε πέδιλο ξεχωριστά αφού πρώτα αναλυθεί η διαδικασία εύρεσης των δυνάμεων και των βαθμών απόδοσης.

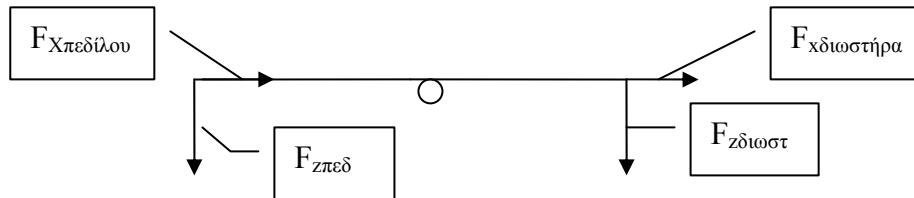
Καθώς με το  $F_x$  δεν βγάλαμε άκρη αρχίσαμε να σκεφτόμαστε διάφορους τρόπους ώστε να πάρουμε το σωστό σήμα. Κάνοντας μία ανάλυση δυνάμεων είναι φανερό ότι κατά την δεξιόστροφη κίνηση του διωστήρα το  $F_x$  (διωστήρα) είναι αντίθετης φοράς με το  $F_{\text{πέδιλου}}$  το οποίο μας δίνει την ώση κατά τον Χάξονα ο οποίος μας ενδιαφέρει.

Οι θέσεις που χρησιμοποιούμε κατά την ανάλυση είναι όταν ο διωστήρας βρίσκεται στην θέση  $-180$  μοίρες (οριζόντια) κατά την αριστερόστροφη κίνηση, δηλαδή κατά το κατέβασμα του διωστήρα το οποίο αντιστοιχεί σε ανέβασμα του πεδύλου και την στιγμή κατά την οποία περνά από τον οριζόντιο άξονα το πέδιλο. Αντίστοιχα κατά την δεξιόστροφη κίνηση χρησιμοποιούμε την θέση κατά την οποία ο διωστήρας βρίσκεται στη θέση  $0$  μοίρες (οριζόντια) κατά το κατέβασμα πάλι του διωστήρα- ανέβασμα του πεδύλου όταν περνά από τον οριζόντιο άξονα.

Υποθέτοντας ότι ο μηχανισμός κίνησης ουσιαστικά λειτουργεί σαν μία τραμπάλα, όταν το πέδιλο περνά από τον οριζόντιο άξονα η ροπή μηδενίζεται αφού  $M = i \cdot \theta$ . Τα προς εξέταση σημεία είναι τα  $+180$  μοίρες. Είναι τα σημεία στα οποία η γωνιακή επιτάχυνση μηδενίζεται αφού είναι το σημείο με τη μέγιστη ταχύτητα της λεπίδας και από το σημείο και κάτω η ταχύτητα του πεδύλου μειώνεται και αρχίζει η επιβράδυνση. (δηλ. αλλάζω πρόσημο η επιτάχυνση



Σχ.5.2.1.α,ο μηχανισμός σε τρισδιάστατο σχέδιο και οι χρήσιμες διαστάσεις



Σχ.5.2.1.β σχηματική απόδοση δυνάμεων κατά την αριστερόστροφη κίνηση –κάθοδος διωστήρα-σύστημα «τραμπάλας»-δυνάμεων(θέση  $-180^\circ$ )

**Άρα  $M_y=0$  5.2.1**

Έστω ότι χρησιμοποιούμε την αριστερή φορά κίνησης του διωστήρα. Τότε στο προς εξέταση σημείο έχουμε το εξής σύστημα εξισώσεων ως προς το σημείο περιστροφής της τραμπάλας:

**1.  $M_y=0$  (στο σημείο περιστροφής της τραμπάλας) από 5.2.1**

$$2. \Sigma M_y = M_{y\text{πεδίου}} + M_{y\text{διοστήρα}} = f_{z\text{διοστήρα}} * 0.25 - f_{z\text{πεδίου}} * 0.45 = 0 \quad 5.2.2$$

τα  $F_x$  δεν συνεισφέρουν στη ροπή γιατί τείνουν στο σημείο περιστροφής της τραμπάλας

$$3. f_{z\text{πεδίου}} + f_{z\text{διοστήρα}} = f_{z\text{μετρούμ}} \quad 5.2.2$$

**Από τα 1,2,3 προκύπτει:**

$$f_{z\text{πεδίου}} = f_{z\text{διοστήρα}} * 0.25 / 0.45 = (f_{z\text{μετρούμενο}} - f_{z\text{πεδίου}}) * 0.25 / 0.45$$

$$(f_{z\text{πεδίου}} + f_{z\text{πεδίου}} * 0.25 / 0.45) * 0.45 / 0.25 = f_{z\text{μετρούμενο}} \quad 5.2.3$$

Άρα:

$$f_{z\text{πεδίου}} = f_{z\text{μετρούμενο}}/2.8 \quad 5.2.4$$

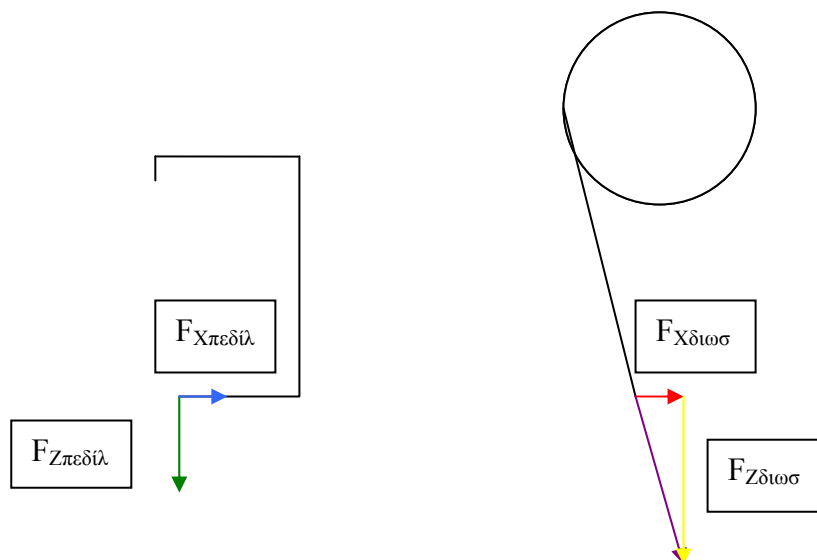
$$\text{Και } f_{z\text{διωστήρα}} = f_{z\text{μετρούμενο}} - f_{z\text{μετρούμενο}}/2.8 \quad 5.2.5$$

Για να απομονώσουμε το  $f_{x\text{πεδίου}}$  απαιτείται μελέτη κατά τις 2 φορές κίνησης στα σημεία τα οποία αναφέρθηκαν πιο πάνω ως προς το σημείο μέτρησης του ζυγού.

### Αριστερόστροφη κίνηση

Με ανάλυση ροπών έχω:

$$\begin{aligned} \Sigma M_y = M_{y\text{μετρούμενο}1} &= f_{z\text{μετρούμενο}} * 0.3 - f_{x\text{μετρούμενο}} * 0.96 = \\ &= f_{z\text{μετρούμενο}} * 0.3 - (f_{x\text{πεδίου}} + f_{x\text{διωστήρα}}) * 0.96 \end{aligned} \quad 5.2.5$$



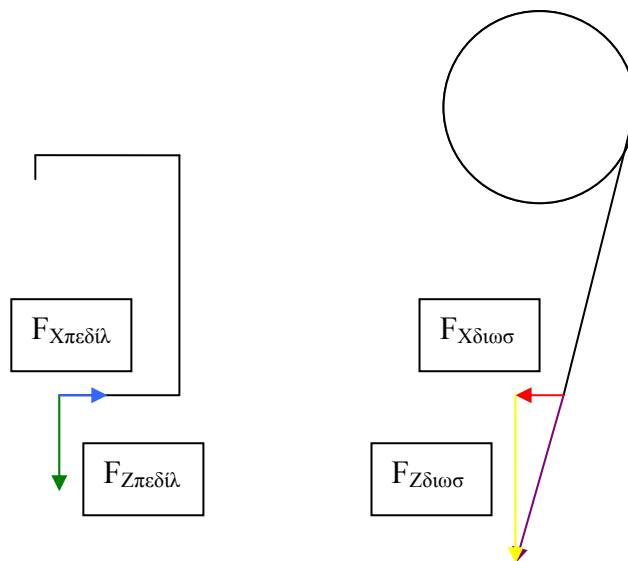
Σχ.5.2.2 οι δυνάμεις κατά την αριστερόστροφη κίνηση του διωστήρα η οποία αντιστοιχεί σε κατέβασμα διωστήρα-ανέβασμα πεδίου.

## Δεξιόστροφη κίνηση

Με ανάλυση ροπών έχω:

$$\begin{aligned}\Sigma M_y = M_{y\text{μετρούμενο}} &= f_{z\text{μετρούμενο}} * 0.3 - f_{x\text{μετρούμενο}} * 0.96 = \\ &= f_{z\text{μετρούμενο}} * 0.3 - (f_{x\text{πεδίου}} - f_{x\text{διωστήρα}}) * 0.96\end{aligned}$$

5.2.6



Σχ.5.2.3 οι δυνάμεις κατά την δεξιόστροφη κίνηση του διωστήρα η οποία αντιστοιχεί σε ανέβασμα διωστήρα-κατέβασμα πεδίου.

Από (5.2.5)+(5.2.6) προκύπτει:

$$M_{\text{γμετρούμενο1}} + M_{\text{γμετρούμενο2}} = 2 * f_{\text{γμετρούμενο.μέσο}} * 0.3 - 2 * f_{\text{χπεδίου}} * 0.96$$

Λύνοντας ως προς  $f_{\text{χπεδίου}}$  προκύπτει:

$$F_{\text{χπεδίου}} = (2 * f_{\text{γμετρούμενο.μέσο}} * 0.3 - M_{\text{γμετρούμενο1}} - M_{\text{γμετρούμενο2}}) / 1.92 \quad 5.2.7$$

Όπου τα  $f_{\text{zδωστήρα}}$ ,  $f_{\text{zπεδίου}}$ ,  $M_{\text{γμετρούμενο1}}$ ,  $M_{\text{γμετρούμενο2}}$  είναι γνωστά

### 5.3 Βαθμοί απόδοσης

Ως μέτρο σύγκρισης των πεδίων χρησιμοποιήθηκαν οι εξής βαθμοί απόδοσης:

#### 1. $F_x/F_z$

Όπου  $F_x$  = η μέγιστη ώση την οποία παράγει ένα πέδιλο κατά την X-συνιστώσα (φορά κίνησης) κατά την διάρκεια της κίνησης

$F_z$  = η μέγιστη ώση κατά τον άξονα z που παρατηρείται κατά την διάρκεια της κίνησης η οποία είναι ανάλογη με την δύναμη την οποία πρέπει να ασκήσει ο δύτες για να κινήσει το πέδιλο

Γενικά ισχύει:

$$B. \text{Απόδοσης} = (\text{ΕΡΓΟ ΠΡΟΩΣΗΣ}) / (\text{ΕΡΓΟ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ}) = W_T / W_C$$

$W_T$  (THRUST WORK)

$$W_T = F_{\text{ΧΜΕΣΟ}} * L ,$$

L: ΜΗΚΟΣ ΠΟΥ ΔΙΑΝΥΕΙ Ο ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΣ

$W_C$  (CONSUMPTION WORK)

$$W_C = F_{\text{ΖΜΕΣΟ}} * l_{\text{καθετης διαδρομης πεδιλου}} * N ,$$

N: ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΕΔΙΛΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΚΟΣ L

$$L = N * L_{\text{ΠΕΔΙΛΙΑΣ}} ,$$

$L_{\text{ΠΕΔΙΛΙΑΣ}}$ : ΜΗΚΟΣ ΠΟΥ ΔΙΑΝΥΕΙ Ο ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΣ ΜΕ ΜΙΑ ΠΕΔΙΛΙΑ

$$L_{\text{ΠΕΔΙΛΙΑΣ}} = (U_{\text{ΜΕΣΟ}} * T) / 2 ,$$

T=ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΠΕΔΙΛΟΥ

DRAG=THRUST (ΟΜΑΛΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΗ ΚΙΝΗΣΗ)

$$\text{DRAG} = F_{\text{ΧΜΕΣΟ}}$$

$$\text{DRAG} = f(U_{\text{ΜΕΣΟ}}) \quad \begin{array}{l} 1. K * U_{\text{ΜΕΣΟ}} \\ 2. K * U_{\text{ΜΕΣΟ}}^{1,5} \\ 3. K * U_{\text{ΜΕΣΟ}}^2 \end{array}$$

$$W_C = (F_{\text{ΖΜΕΣΟ}} * L_{\text{ΚΑΘΕΤΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΠΕΔΙΛΙΑΣ}} * L) / L_{\text{ΠΕΔΙΛΙΑΣ}}, \text{ Έστω: } L_1 = L_{\text{ΚΑΘΕΤΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΠΕΔΙΛΙΑΣ}}$$

$$L_2 = l_{\text{ΠΕΔΙΛΙΑΣ}}$$

$$W_C = (F_{\text{ΖΜΕΣΟ}} * L_1 * L_2) / L_2 = (F_{\text{ΖΜΕΣΟ}} * L_1 * L_2) / (f(F_X) * T / 2) , \quad \text{όπου} \quad f(F_X) = \begin{array}{l} 1. F_X \\ 2. F_X^{1/1.5} \\ 3. F_X^{1/2} \end{array}$$

$$\text{Β. ΑΠΟΔΟΣΗΣΗΣ} = (F_{\text{ΧΜΕΣΟ}} * L * f(F_X) * T) / (F_{\text{ΖΜΕΣΟ}} * L_1 * L_2) = C * F_{\text{ΧΜΕΣΟ}} * f(F_X) / F_{\text{ΖΜΕΣΟ}}$$

Όπου  $C = \text{const.}$

$$1. F_{\text{ΧΜΕΣΟ}}^2 / F_{\text{ΖΜΕΣΟ}}$$

2.  $F_{\text{ΧΜΕΣΟ}} \cdot F_X^{1/1.5} / F_{\text{ΖΜΕΣΟ}} = F_X^{1+1/1.5} / F_{\text{ΖΜΕΣΟ}} = F_X^{2.5/1.5} / F_{\text{ΖΜΕΣΟ}}$
3.  $F_{\text{ΧΜΕΣΟ}} \cdot F_X^{1/2} / F_{\text{ΖΜΕΣΟ}} = F_X^{3/2} / F_{\text{ΖΜΕΣΟ}}$

**ΤΕΛΙΚΩΣ: Β.ΑΠΟΔΟΣΗΣ 1 =  $F_{\text{ΧΜΕΣΟ}} / F_{\text{ΖΜΕΣΟ}}$**

$$2 = F_{\text{ΧΜΕΣΟ}}^2 / F_{\text{ΖΜΕΣΟ}}$$

$$3 = F_{\text{ΧΜΕΣΟ}}^{2.5/1.5} / F_{\text{ΖΜΕΣΟ}}$$

$$4 = F_{\text{ΧΜΕΣΟ}}^{3/2} / F_{\text{ΖΜΕΣΟ}}$$

Για την ορθότερη εύρεση των  $F_x$  και  $M_y$  χρησιμοποιήσαμε ένα πρόγραμμα στην Fortran το οποίο μας βρήκε τον μέσο όρο των τιμών χρησιμοποιώντας τα picks που αντιστοιχούσαν στην άνοδο του πεδίου όπως λειτουργεί το σύστημά μας. Επίσης γίνεται εύρεση και της τυπικής απόκλισης των τιμών μας. Το πρόγραμμα παρατίθεται στο παράρτημα στο τέλος του βιβλίου

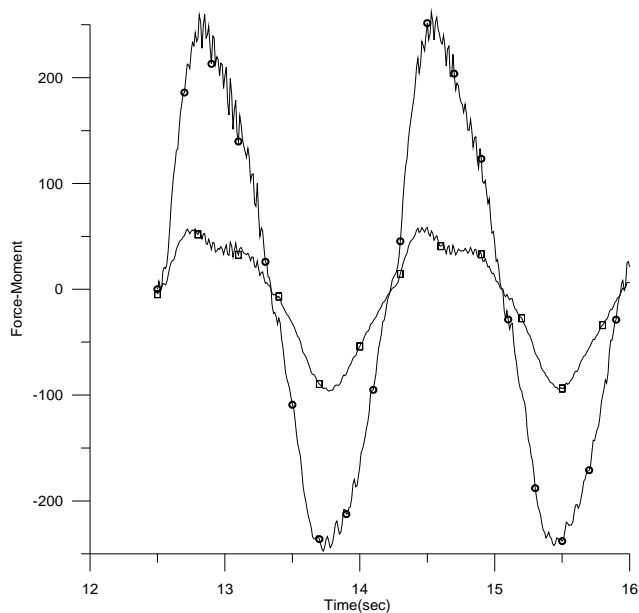
Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις των 12 πεδίων

Με τετραγωνάκια διακρίνονται οι συναρτήσεις  $M_Y(t)$  (N\*m) ενώ με κυκλάκια οι συναρτήσεις  $F_Z(t)$  (N).

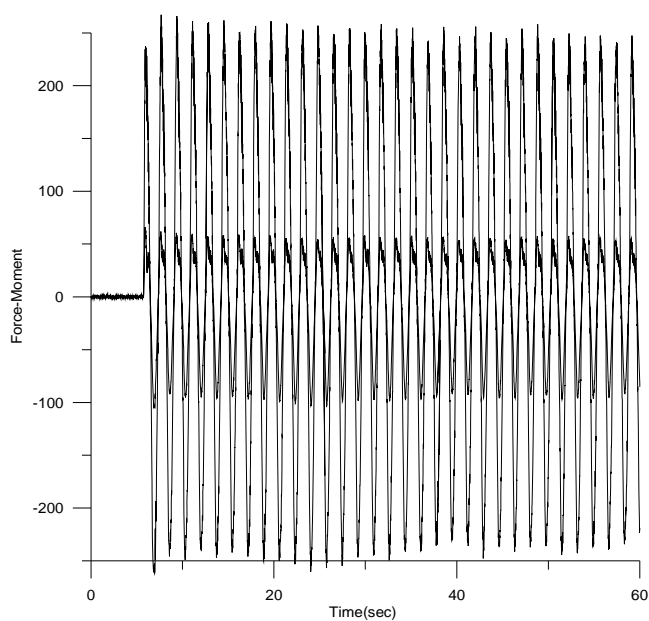


## 5.4 Επεξεργασία πεδίων

### ΠΕΔΙΟ Α



(α)



(β)

Σχ.5.4.1 Πέδιλο «Α». (α)  $F_z$  και  $M_y$  δυο περιόδων (β) Χρονοσειρές  $F_z$  και  $M_y$  πειράματος

	Fz			My		
	M.T	T.A	KY.	M.T	T.A	KY.
A-left	223.73	3	345	47.71	3.75	345
A-right	251.32	2.59	64	56.46	3.51	64

M.T=η μέση τιμή των μέγιστων τιμών των δυνάμεων που ασκούνται στον ζυγό κατά τον άξονα Z.

T.A=((τυπική απόκλιση)/M.T)%

KY=κύκλοι ή ο αριθμός των περιόδων κατά την διάρκεια της μέτρησης

Από την σχέση **fzπεδίου= fzμετρούμενο/2.8** έχω:

$$Fz.πεδίου.left=223.73/2.8=79.9 \text{ N}$$

$$Fz.πεδίου.right=251.32/2.8=89.75 \text{ N}$$

$$Fz.average=(79.9+89.75)/2=84.82 \text{ N}$$

Από την σχέση **Fxπεδίου=(2\* fz.average\*0.3- Μγμετρούμενο1- Μγμετρούμενο2)/1.92** προκύπτει:

$$Fxπεδίου=((79.9+89.75)*0.3-(47.41+56.46))/1.92=-27.74\text{N}$$

$$Fx/Fz=27.74/84.82=32.71\%$$

$$Fx^2/Fz=(27.74)^2/84.82=9.02$$

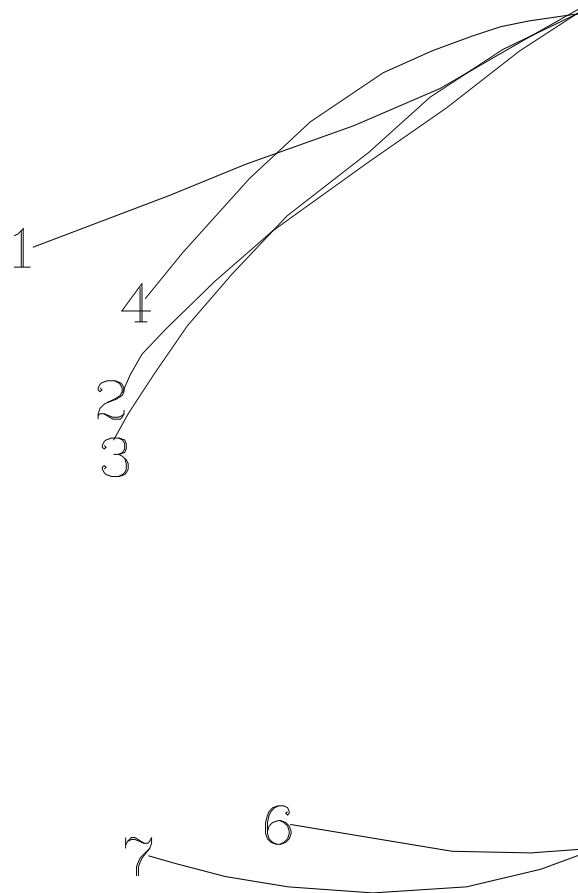
$$Fx^{3/2}/Fz=27.74^{3/2}/84.82=1.72$$

$$Fx^{1.66}/Fz=27.74^{1.66}/84.82=2.93$$

$$Fx/E=27.74/0.0781=355.28\text{N/m}^2$$

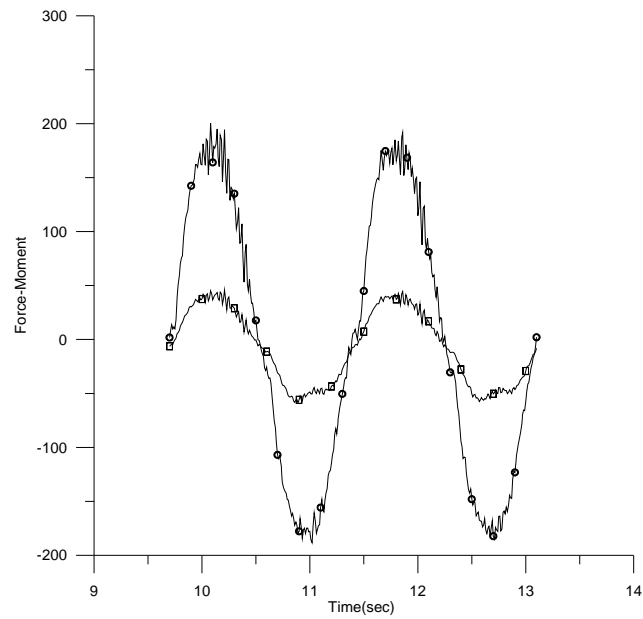
$$Fz/E=84.82/0.0781=1086,04\text{N/m}^2$$

Πλάτος/Μήκος=25,5cm/33cm=0,772(όσον αφορά τις διαστάσεις της λεπίδας)

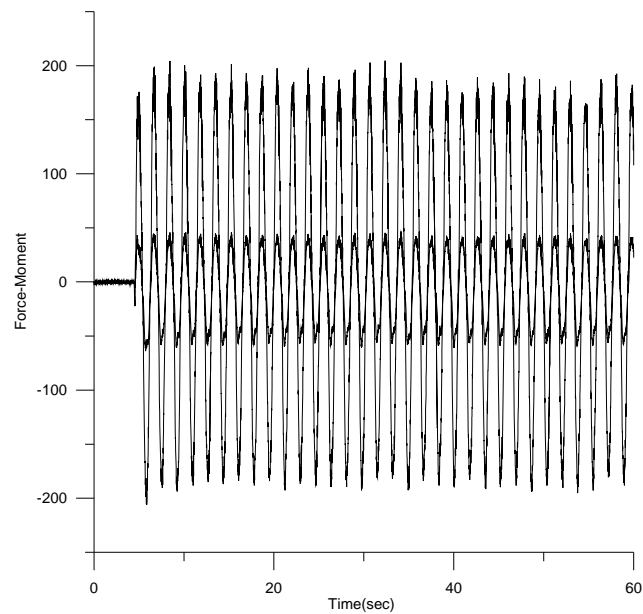


Σχ.5.4.2 Γραφική απεικόνιση της λεπίδας «Α» σε διάφορες θέσεις μίας περιόδου,  
 (1)Κάτω ακραία θέση  $t=0$  frames, (2) $t=4$  frames, (3) $t=8$ frames, (4) $t=12$ frames,  
 (5) $t=32$ frames,(δεν διακρίνεται εδώ,εμποδίζει η μεσαία δοκός) ,(6) $t=34$ frames,  
 (7) $t=38$ frames, Όπου  $T=42$ frames

## ΠΕΔΙΟ Β



(a)



(β)

Σχ.5.4.3 Πέδιλο «Β». (α)  $F_z$  και  $M_y$  δυο περιόδων (β) Χρονοσειρές  $F_z$  και  $M_y$  πειράματος

	Fz			My		
	M.T	T.A	KY.	M.T	T.A	KY.
B-left	177.79	3.8	241	27.75	4.57	338
B-right	188.86	4.1	65	43.64	3.57	65

M.T=η μέση τιμή των μέγιστων τιμών των δυνάμεων που ασκούνται στον ζυγό κατά τον άξονα Z.

T.A=((τυπική απόκλιση)/M.T)%

KY=κύκλοι ή ο αριθμός των περιόδων κατά την διάρκεια της μέτρησης

Από την σχέση **fzπεδίου= fzμετρούμενο/2.8** έχω:

$$Fz.πεδίου.left=177.29/2.8=63.31 \text{ N}$$

$$Fz.πεδίου.right=188.86/2.8=67.45 \text{ N}$$

$$Fz.average=(63.31+67.45)/2=65.38 \text{ N}$$

Από την σχέση **Fxπεδίου=(2\* fz.average\*0.3- Μγμετρούμενο1- Μγμετρούμενο2)/1.92** προκύπτει:

$$Fxπεδίου=((63.31+67.45)*0.3-(27.75+43.64))/1.92=-16.75\text{N}$$

$$Fx/Fz=16.75/65.38=25.62\%$$

$$Fx^2/Fz=(16.75)^2/65.38=4.29$$

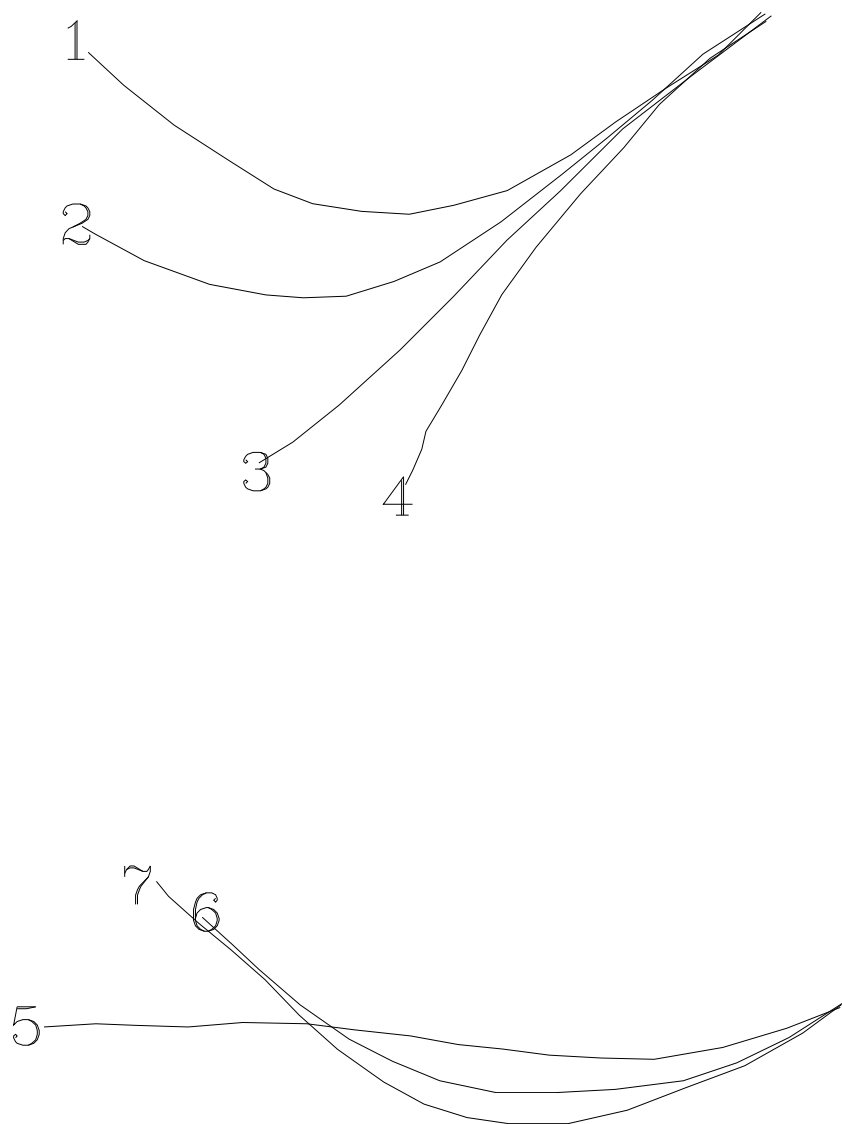
$$Fx^{3/2}/Fz=(16.75)^{3/2}/65.38=1.048$$

$$Fx^{1.66}/Fz=(16.75)^{1.66}/65.38=1.64$$

$$Fx/E=16,75/0.1167=143.53\text{N/m}^2$$

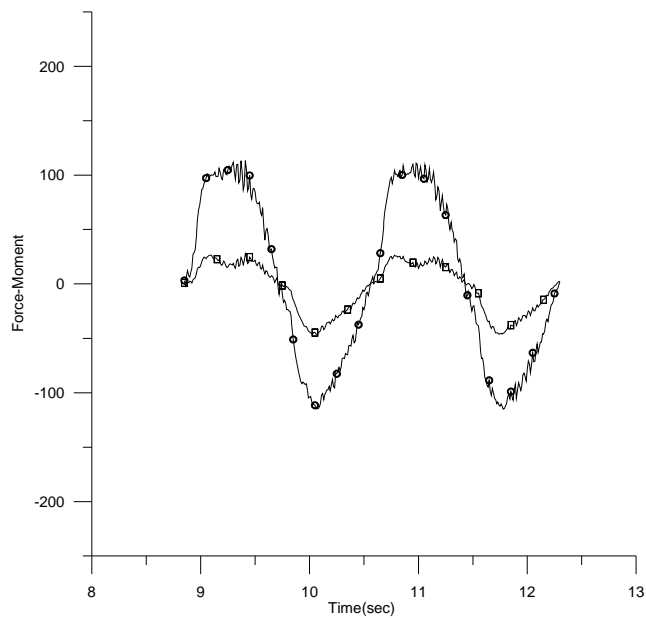
$$Fz/E=65,38/0.1167=560.24\text{N/m}^2$$

Πλάτος/Μήκος=19cm/64.5cm=0.2945 (όσον αφορά τις διαστάσεις της λεπίδας)

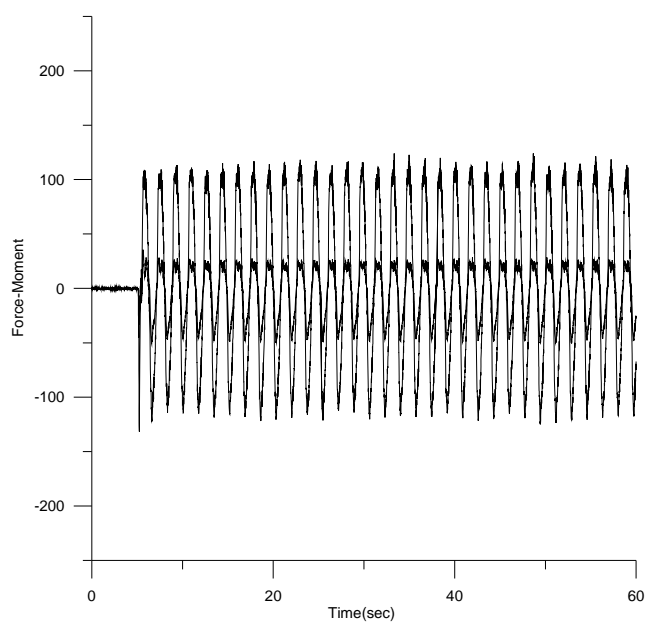


Σχ.5.4.4 Γραφική απεικόνιση της λεπίδας «B» σε διάφορες θέσεις μίας περιόδου,  
 (1)Κάτω ακραία θέση  $t=0$  frames, (2) $t=4$  frames, (3) $t=8$ frames, (4) $t=12$ frames,  
 (5) $t=32$ frames,(6) $t=34$ frames, (7) $t=38$ frames, Όπου  $T=42$ frames

## ΠΕΔΙΟ C



(α)



(β)

Σχ.5.4.5 Πέδilo «C». (α)  $F_z$  και  $M_y$  δυο περιόδων (β) Χρονοσειρές  $F_z$  και  $M_y$  πειράματος

	Fz			My		
	M.T	T.A	KY.	M.T	T.A	KY.
C-left	122.08	3.38	346	29.99	2.59	345
C-right	115.78	2.77	64	26.46	3.14	64

M.T=η μέση τιμή των μέγιστων τιμών των δυνάμεων που ασκούνται στον ζυγό κατά τον άξονα Z.

T.A=((τυπική απόκλιση)/M.T)%

KY=κύκλοι ή ο αριθμός των περιόδων κατά την διάρκεια της μέτρησης

Από την σχέση **fzπεδίου= fzμετρούμενο/2.8** έχω:

$$Fz.πεδίου.left=122.08/2.8=43.06 \text{ N}$$

$$Fz.πεδίου.right=115.78/2.8=41.35 \text{ N}$$

$$Fz.average=(43.06+41.35)/2=42.77 \text{ N}$$

Από την σχέση **Fxπεδίου=(2\* fz.average\*0.3- Μυμετρούμενο1- Μυμετρούμενο2)/1.92** προκύπτει:

$$Fxπεδίου=((43.6+41.35)*0.3-(29.99+26.46))/1.92=-16.12 \text{ N}$$

$$Fx/Fz=16.12/42.77=37.95\%$$

$$Fx^2/Fz=(16.12)^2/42.77=6.11$$

$$Fx^{3/2}/Fz=(16.12)^{3/2}/42.77=1.523$$

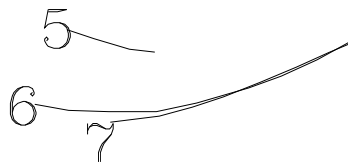
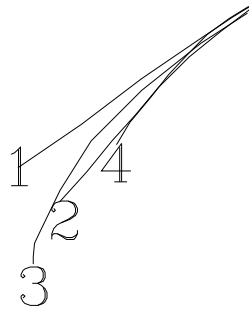
$$Fx^{1.66}/Fz=(16.12)^{1.66}/42.77=2.37$$

$$Fx/E=16,16/0.0525=307,8 \text{ N/m}^2$$

$$Fz/E=42.47/0.0525=808.95 \text{ N/m}^2$$

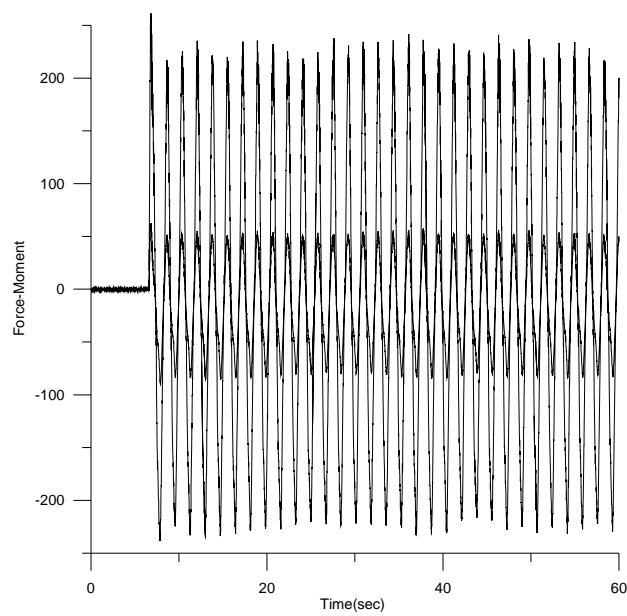
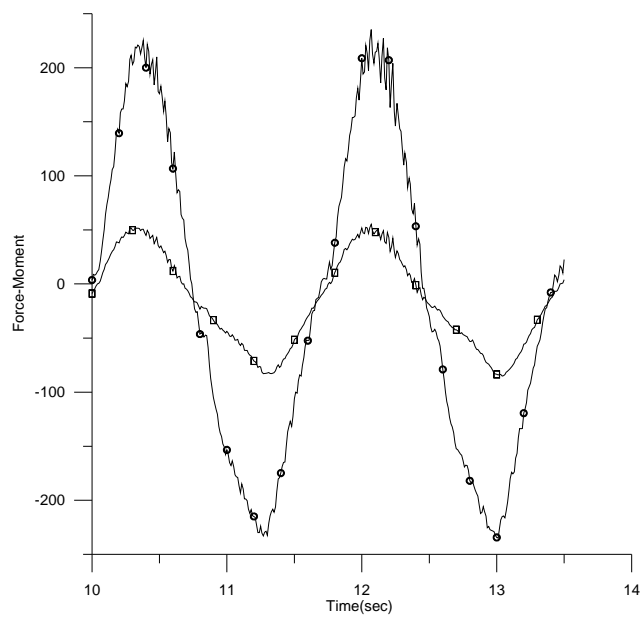
Πλάτος/Μήκος=20cm/28cm=0.714 (όσον αφορά τις διαστάσεις της λεπίδας)





Σχ.5.4.6 Γραφική απεικόνιση της λεπίδας «C» σε διάφορες θέσεις μίας περιόδου,  
(1)Κάτω ακραία θέση  $t=0$  frames, (2) $t=4$  frames, (3) $t=8$ frames, (4) $t=12$ frames,  
(5) $t=32$ frames,(δεν διακρίνεται εδώ,εμποδίζει η μεσαία δοκός) ,(6) $t=34$ frames,  
(7) $t=38$ frames, Όπου  $T=42$ frames

## ΠΕΔΙΟ D



(β)

Σχ.5.4.7 Πέδilo «D». (α)  $F_z$  και  $M_y$  δυο περιόδων (β) Χρονοσειρές  $F_z$  και  $M_y$  πειράματος

	Fz			My		
	M.T	T.A	KY.	M.T	T.A	KY.
D-left	227.47	3.21	346	42.69	3.44	346
D-right	229.96	2.47	64	53.17	2.8	64

M.T=η μέση τιμή των μέγιστων τιμών των δυνάμεων που ασκούνται στον ζυγό κατά τον άξονα Z.

T.A=((τυπική απόκλιση)/M.T)%

KY=κύκλοι ή ο αριθμός των περιόδων κατά την διάρκεια της μέτρησης

Από την σχέση **fzπεδίου= fzμετρούμενο/2.8** έχω:

$$Fz.πεδίου.left=227.47/2.8=81.23 \text{ N}$$

$$Fz.πεδίου.right=229.26/2.8=81.87 \text{ N}$$

$$Fz.average=(81.23+81.87)/2=81.55 \text{ N}$$

Από την σχέση **Fxπεδίου=(2\* fz.average\*0.3- Μyμετρούμενο1- Μyμετρούμενο2)/1.92** προκύπτει:

$$Fxπεδίου=((81.23+81.87)*0.3-(42.69+53.17))/1.92=-24.55\text{N}$$

$$Fx/Fz=24.55/81.55=29.97\%$$

$$Fx^2/Fz=(24.55)^2/81.55=7.32$$

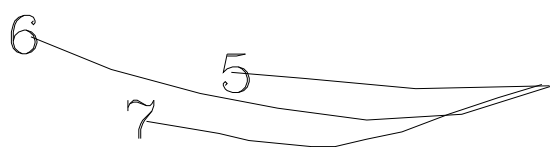
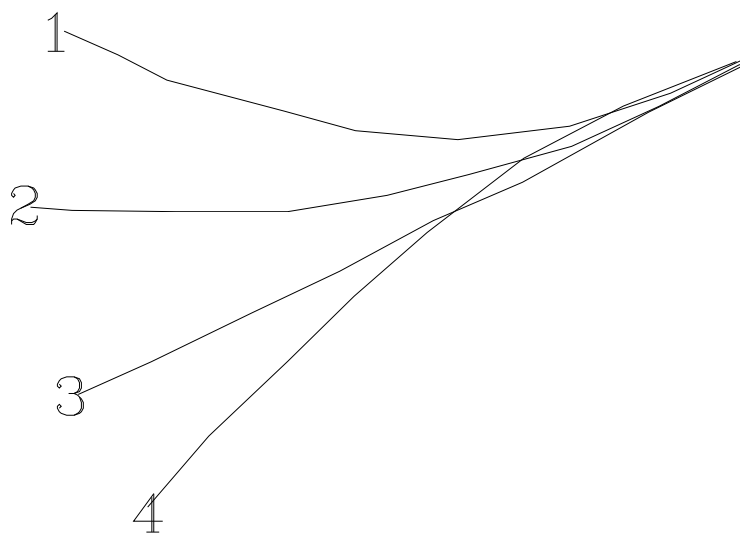
$$Fx^{3/2}/Fz=(24.55)^{3/2}/81.55=1.48$$

$$Fx^{1.66}/Fz=(24.55)^{1.66}/81.55=2.46$$

$$Fx/E=24.44/0.1263=193.5\text{N/m}^2$$

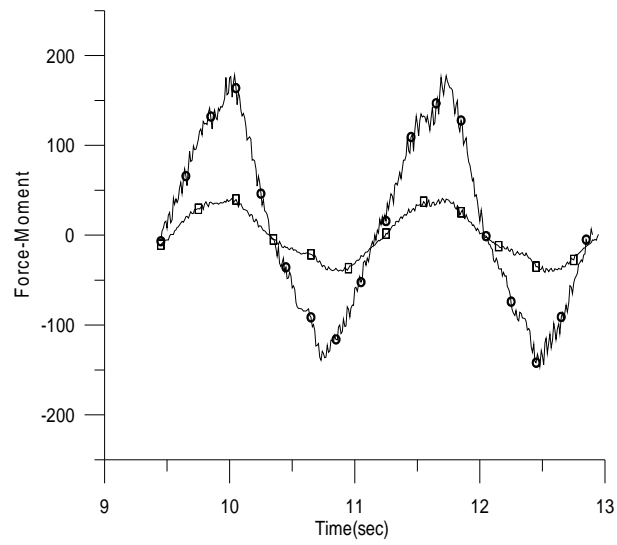
$$Fz/E=81.55/0.1263=645.68\text{N/m}^2$$

Πλάτος/Μήκος=22.5cm/62cm=0.3629 (όσον αφορά τις διαστάσεις της λεπίδας)

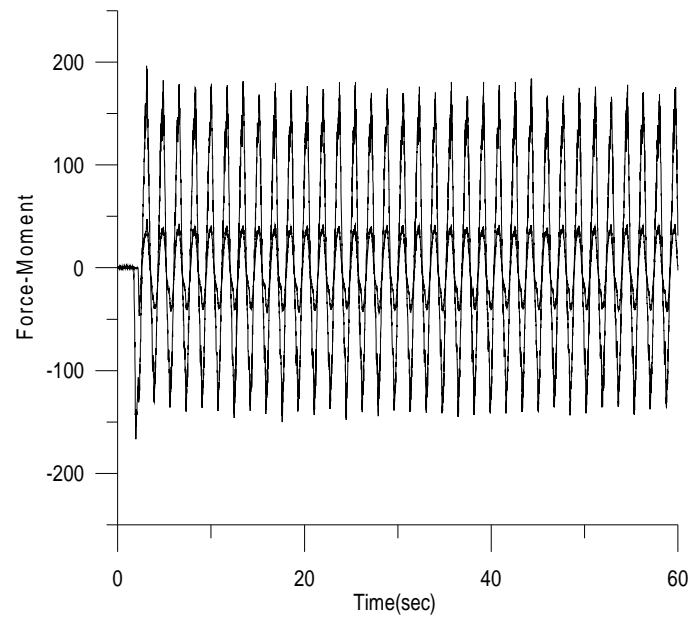


Σχ.5.4.8 Γραφική απεικόνιση της λεπίδας «D» σε διάφορες θέσεις μίας περιόδου,  
 (1)Κάτω ακραία θέση  $t=0$  frames, (2) $t=4$  frames, (3) $t=8$ frames, (4) $t=12$ frames,  
 (5) $t=32$ frames,(6) $t=34$ frames, (7) $t=38$ frames, Όπου  $T=42$ frames

## ΠΕΔΙΛΟ Ε



(α)



(β)

Σχ.5.4.9 Πέδιλο «Ε». (α)  $F_z$  και  $M_y$  δυο περιόδων (β) Χρονοσειρές  $F_z$  και  $M_y$  πειράματος

	Fz			My		
	M.T	T.A	KY.	M.T	T.A	KY.
E-left	153.28	2.51	67	30.42	2.38	67
E-right	170.17	2.49	31	41.14	2.06	31

M.T=η μέση τιμή των μέγιστων τιμών των δυνάμεων που ασκούνται στον ζυγό κατά τον άξονα Z.

T.A=((τυπική απόκλιση)/M.T)%

KY=κύκλοι ή ο αριθμός των περιόδων κατά την διάρκεια της μέτρησης

Από την σχέση **fzπεδίου= fzμετρούμενο/2.8** έχω:

$$Fz.πεδίου.left=153.28/2.8=54.74 \text{ N}$$

$$Fz.πεδίου.right=170.17/2.8=60.77 \text{ N}$$

$$Fz.average=(54.74+60.77)/2=57.75 \text{ N}$$

Από την σχέση **Fxπεδίου=(2\* fz.average\*0.3- Μυμετρούμενο1- Μυμετρούμενο2)/1.92** προκύπτει:

$$Fxπεδίου=((54.74+60.77)*0.3-(30.42+41.14))/1.92=-19.22\text{N}$$

$$Fx/Fz=19.22/57.75=33.2\%$$

$$Fx^2/Fz=(19.22)^2/57.75=6.39$$

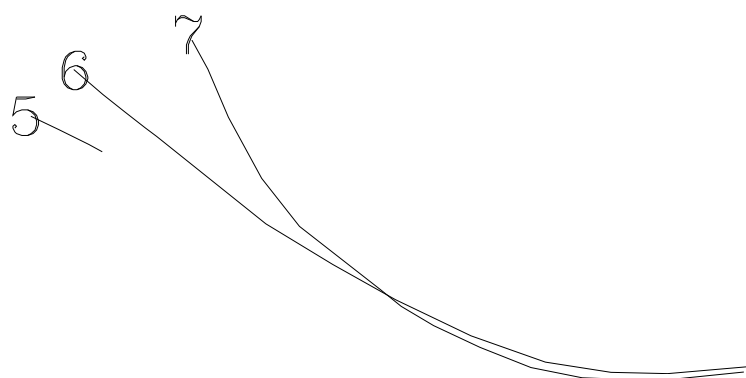
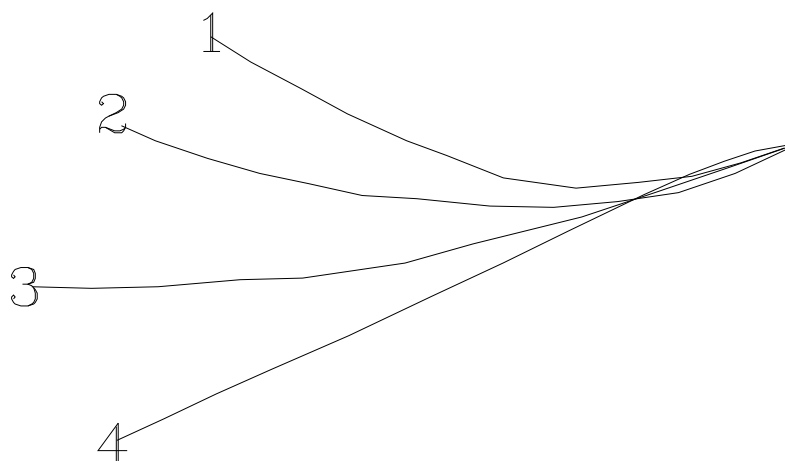
$$Fx^{3/2}/Fz=(19.22)^{3/2}/57.75=1.459$$

$$Fx^{1.66}/Fz=(19.22)^{1.66}/57.75=2.34$$

$$Fx/E=19.22/0.0956=201.046\text{N/m}^2$$

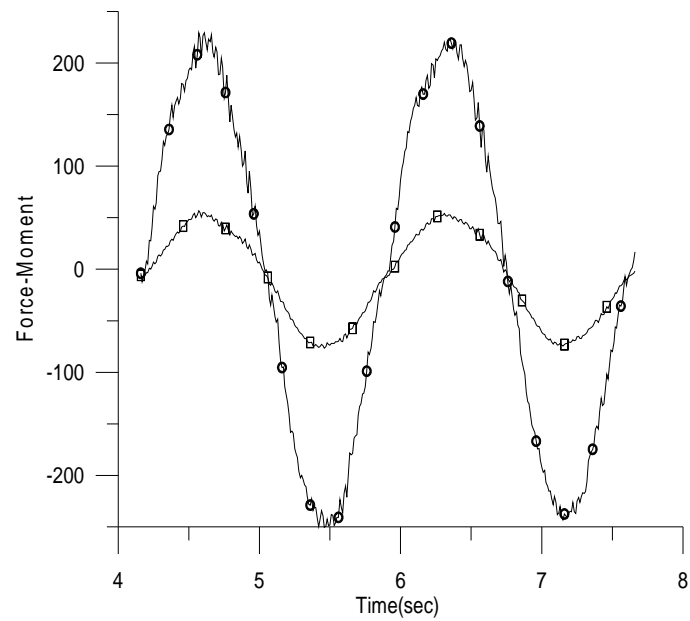
$$Fz/E=57.75/0.0956=604.08\text{N/m}^2$$

Πλάτος/Μήκος=22cm/52cm=0.423 (όσον αφορά τις διαστάσεις της λεπίδας)

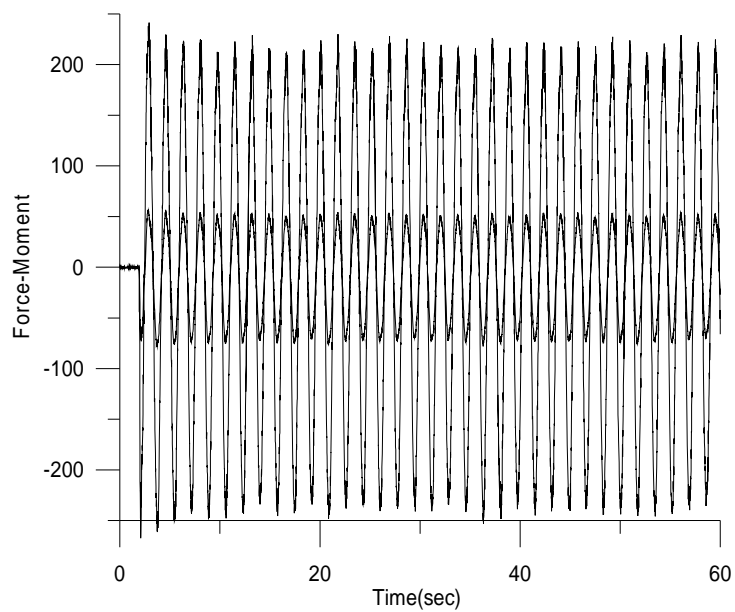


Σχ.5.4.10 Γραφική απεικόνιση της λεπίδας «Ε» σε διάφορες θέσεις μίας περιόδου,  
 (1)Κάτω ακραία θέση  $t=0$  frames, (2) $t=4$  frames, (3) $t=8$ frames, (4) $t=12$ frames,  
 (5) $t=32$ frames,(δεν διακρίνεται εδώ,εμποδίζει η μεσαία δοκός) ,(6) $t=34$ frames,  
 (7) $t=38$ frames, Όπου  $T=42$ frames

## ΠΕΔΙΟ F



(α)



(β)

Σχ.5.4.11 Πέδίο «F». (α)  $F_z$  και  $M_y$  δυο περιόδων (β) Χρονοσειρές  $F_z$  και  $M_y$  πειράματος



	Fz(N)			My(Nm)		
	M.T	T.A	KY.	M.T	T.A	KY.
F-left	194.43	2.7	31	32.97	2.089	31
F-right	221.47	2.31	32	52.65	2.76	32

M.T=η μέση τιμή των μέγιστων τιμών των δυνάμεων που ασκούνται στον ζυγό κατά τον άξονα Z.

T.A=((τυπική απόκλιση)/M.T)%

KY=κύκλοι ή ο αριθμός των περιόδων κατά την διάρκεια της μέτρησης

Από την σχέση  $fz_{\text{πεδίου}} = fz_{\text{μετρούμενο}}/2.8$  έχω:

$$Fz_{\text{πεδίου.left}} = 194.43/2.8 = 69.43 \text{ N}$$

$$Fz_{\text{πεδίου.right}} = 221.47/2.8 = 79.09 \text{ N}$$

$$Fz_{\text{average}} = (69.43 + 79.09)/2 = 74.26 \text{ N}$$

Από την σχέση  $Fx_{\text{πεδίου}} = (2 * fz_{\text{average}} * 0.3 - \text{Μυμετρούμενο1} - \text{Μυμετρούμενο2})/1.92$  προκύπτει:

$$Fx_{\text{πεδίου}} = ((69.43 + 79.09) * 0.3 - (52.65 + 32.97))/1.92 = -21.38 \text{ N}$$

$$Fx/Fz = 21.38/74.26 = 28.79\%$$

$$Fx^2/Fz = (21.38)^2/74.26 = 6.15$$

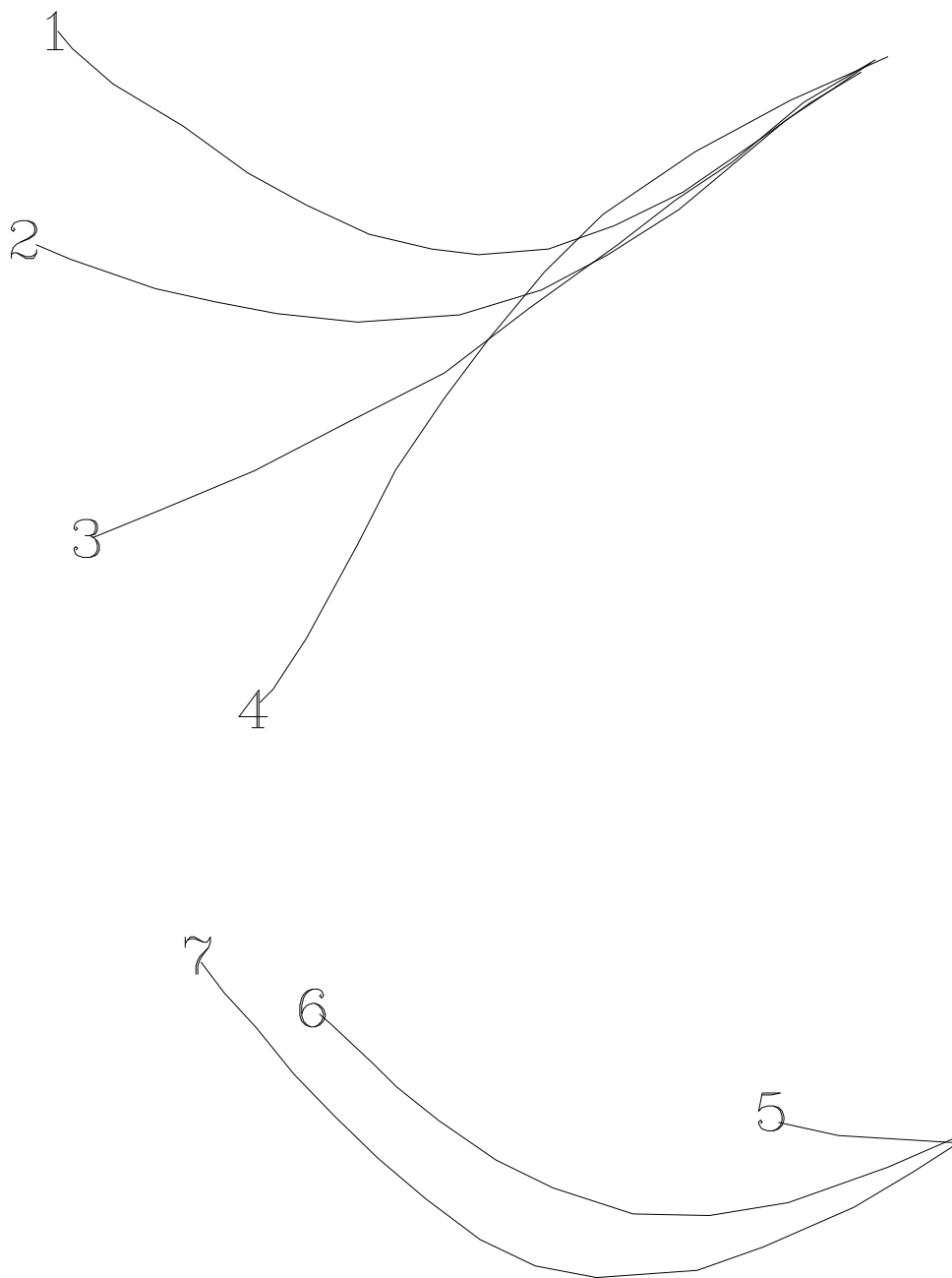
$$Fx^{3/2}/Fz = (21.38)^{3/2}/74.26 = 1.33$$

$$Fx^{1.66}/Fz = (21.38)^{1.66}/74.26 = 2.18$$

$$Fx/E = 21.38/0.1101 = 194.187 \text{ N/m}^2$$

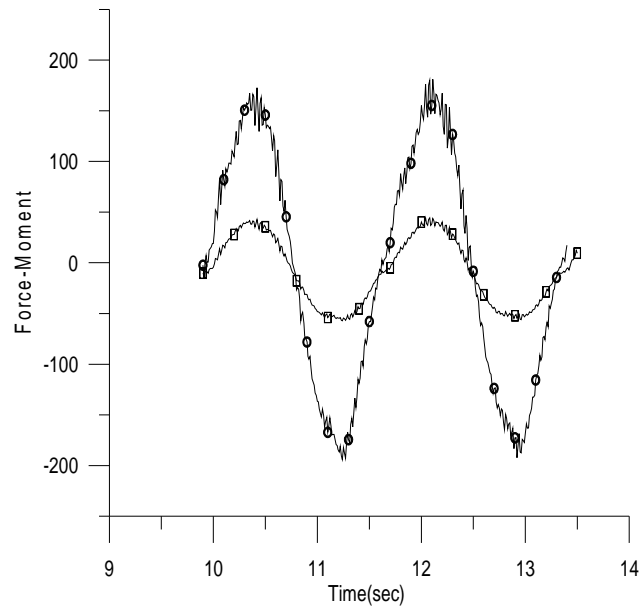
$$Fz/E = 74.26/0.1101 = 6679.47 \text{ N/m}^2$$

Πλάτος/Μήκος = 18cm/60cm = 0.3 (όσον αφορά τις διαστάσεις της λεπίδας)

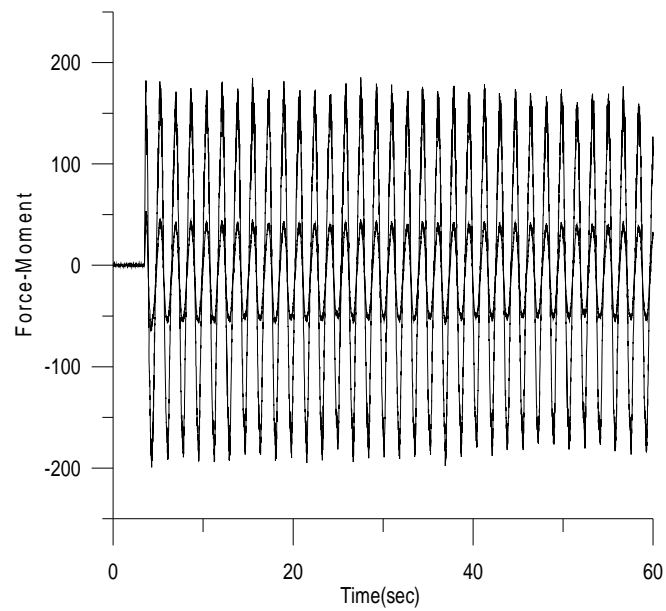


Σχ.5.4.12 Γραφική απεικόνιση της λεπίδας «F» σε διάφορες θέσεις μίας περιόδου,  
 (1)Κάτω ακραία θέση  $t=0$  frames, (2) $t=4$  frames, (3) $t=8$ frames, (4) $t=12$ frames,  
 (5) $t=32$ frames,(δεν διακρίνεται εδώ,εμποδίζει η μεσαία δοκός) ,(6) $t=34$ frames,  
 (7) $t=38$ frames, Όπου  $T=42$ frames

## ΠΕΔΙΟ G



(α)



(β)

Σχ.5.4.13 Πέδιλο «G». (α)  $F_z$  και  $M_y$  δυο περιόδων (β) Χρονοσειρές  $F_z$  και  $M_y$  πειράματος

	Fz			My		
	M.T	T.A	KY.	M.T	T.A	KY.
G-left	154.54	3.47	337	26.41	4.45	337
G-right	175.77	3.12	30	44.7	2.46	30

M.T=η μέση τιμή των μέγιστων τιμών των δυνάμεων που ασκούνται στον ζυγό κατά τον άξονα Z.

T.A=((τυπική απόκλιση)/M.T)%

KY=κύκλοι ή ο αριθμός των περιόδων κατά την διάρκεια της μέτρησης

Από την σχέση  $fz_{\text{πεδίου}} = fz_{\text{μετρούμενο}}/2.8$  έχω:

$$Fz_{\text{πεδίου.left}} = 154.54/2.8 = 55.19 \text{ N}$$

$$Fz_{\text{πεδίου.right}} = 175.77/2.8 = 62.77 \text{ N}$$

$$Fz_{\text{average}} = (55.19 + 62.77)/2 = 58.98 \text{ N}$$

Από την σχέση  $Fx_{\text{πεδίου}} = (2 * fz_{\text{average}} * 0.3 - \text{Μυμετρούμενο1} - \text{Μυμετρούμενο2})/1.92$  προκύπτει:

$$Fx_{\text{πεδίου}} = ((55.19 + 62.77) * 0.3 - (26.41 + 44.47))/1.92 = -18.6 \text{ N}$$

$$Fx/Fz = 18.6/58.98 = 31.54\%$$

$$Fx^2/Fz = (18.6)^2/58.98 = 5.86$$

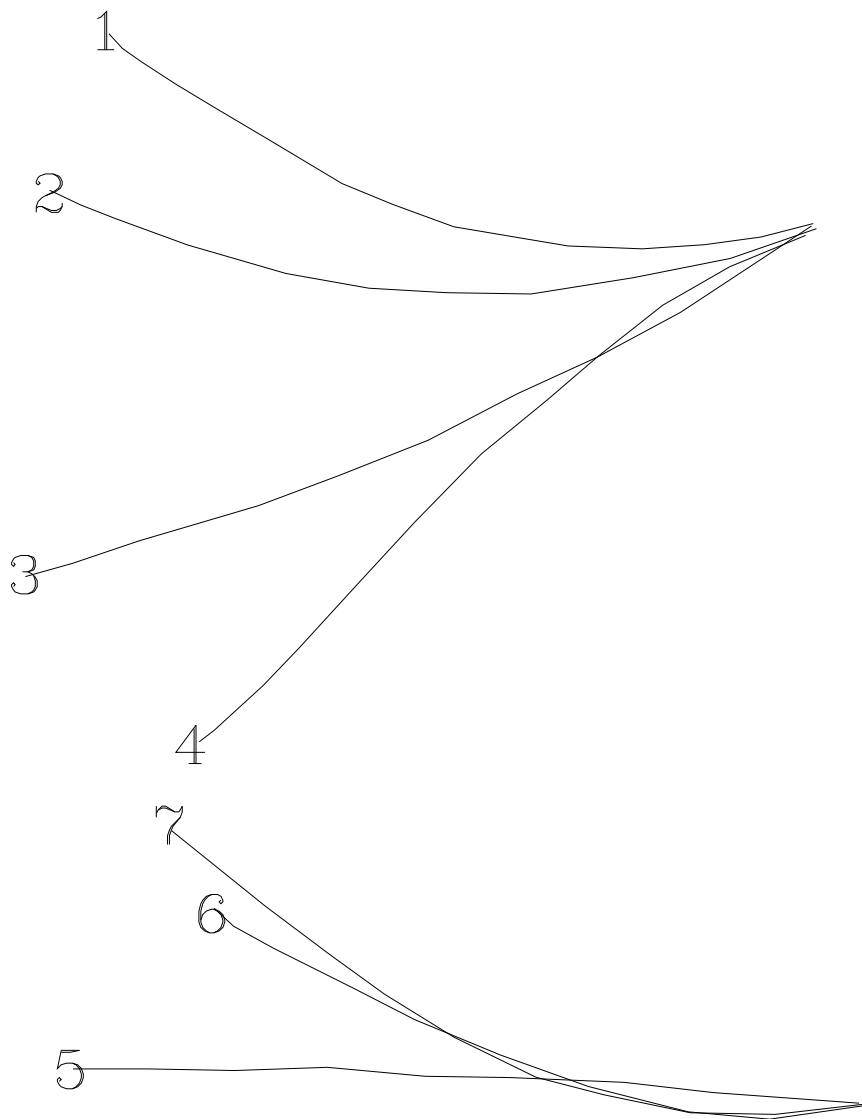
$$Fx^{3/2}/Fz = (18.6)^{3/2}/58.98 = 1.362$$

$$Fx^{1.66}/Fz = (18.6)^{1.66}/58.98 = 2.17$$

$$Fx/E = 18.6/0.1225 = 151.77 \text{ N/m}^2$$

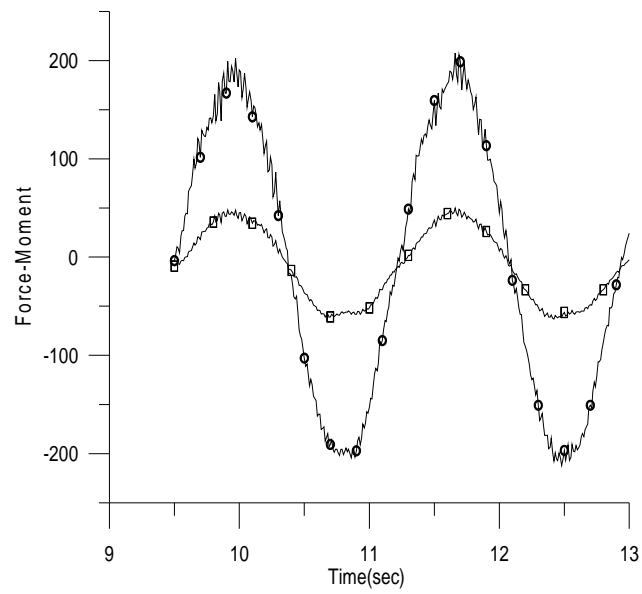
$$Fz/E = 58.98/0.1225 = 481.47 \text{ N/m}^2$$

Πλάτος/Μήκος = 22cm/60cm = 0.366 (όσον αφορά τις διαστάσεις της λεπίδας)

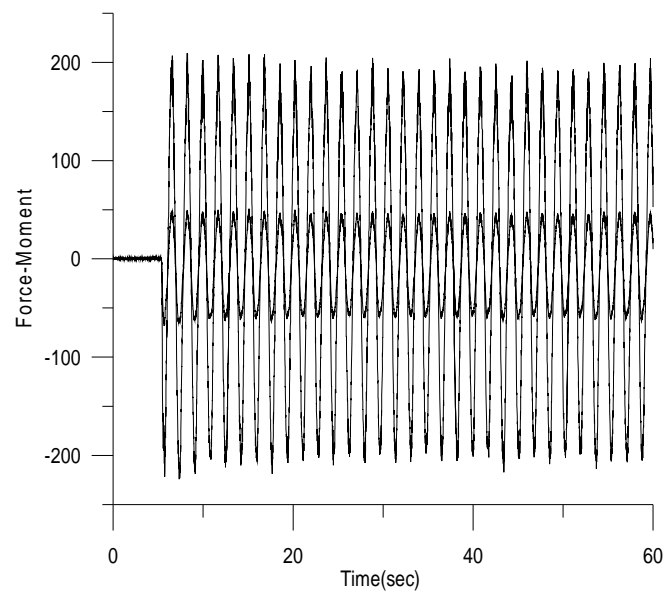


Σχ.5.4.14 Γραφική απεικόνιση της λεπίδας «G» σε διάφορες θέσεις μίας περιόδου, (1)Κάτω ακραία θέση  $t=0$  frames, (2) $t=4$  frames, (3) $t=8$ frames, (4) $t=12$ frames, (5) $t=32$ frames,(6) $t=34$ frames, (7) $t=38$ frames, Όπου  $T=42$ frames

## ΠΕΔΙΛΟ Η



(α)



(β)

Σχ.5.4.15 Πέδιλο «Η». (α)  $F_z$  και  $M_y$  δυο περιόδων (β) Χρονοσειρές  $F_z$  και  $M_y$  πειράματος

	Fz			My		
	M.T	T.A	KY.	M.T	T.A	KY.
G-left	190.84	3.208	64	31.59	2.14	64
G-right	198.42	2.41	31	48.87	2.28	31

M.T=η μέση τιμή των μέγιστων τιμών των δυνάμεων που ασκούνται στον ζυγό κατά τον άξονα Z.

T.A=((τυπική απόκλιση)/M.T)%

KY=κύκλοι ή ο αριθμός των περιόδων κατά την διάρκεια της μέτρησης

Από την σχέση **fzπεδίου= fzμετρούμενο/2.8** έχω:

$$Fz.πεδίου.left=190.84/2.8=68.15 \text{ N}$$

$$Fz.πεδίου.right=198.42/2.8=70.86 \text{ N}$$

$$Fz.average=(68.15+70.86)/2=69.5 \text{ N}$$

Από την σχέση **Fxπεδίου=(2\* fz.average\*0.3- Μυμετρούμενο1- Μυμετρούμενο2)/1.92** προκύπτει:

$$Fxπεδίου=((68.15+70.86)*0.3-(31.59+48.87))/1.92=-20.18\text{N}$$

$$Fx/Fz=20.18/69.5=29\%$$

$$Fx^2/Fz=(20.18)^2/69.5=5.86$$

$$Fx^{3/2}/Fz=(20.18)^{3/2}/69.5=1.304$$

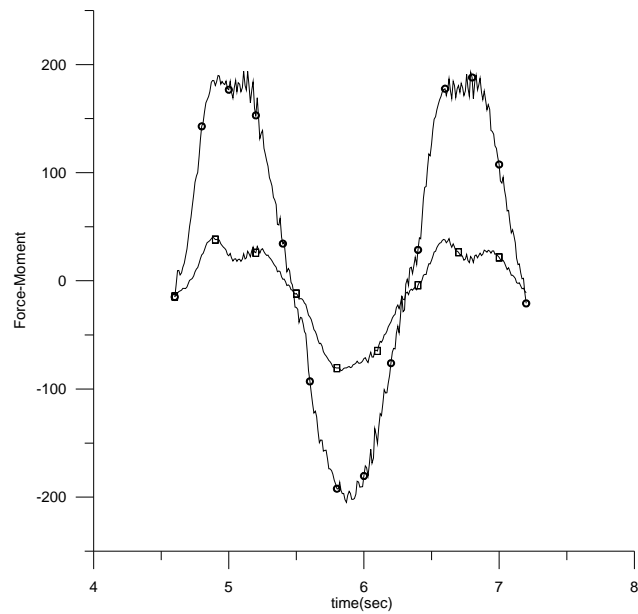
$$Fx^{1.66}/Fz=(20.18)^{1.66}/69.5=2.1$$

$$Fx/E=20.18/0.1101=83.28\text{N/m}^2$$

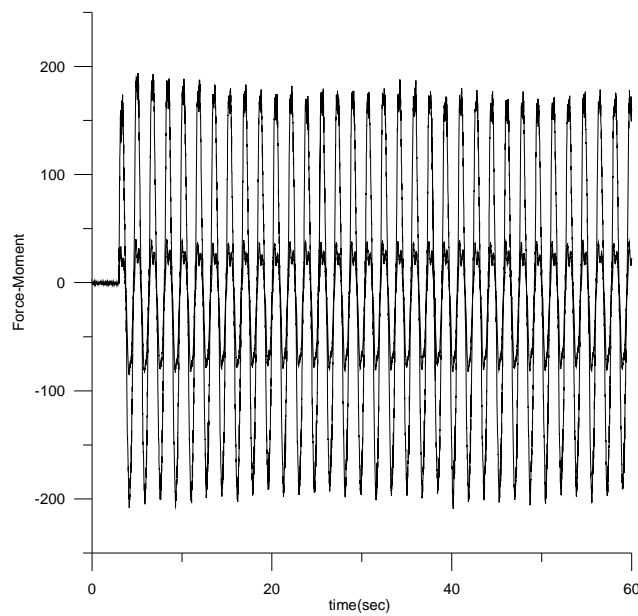
$$Fz/E=69.5/0.11101=631.244\text{N/m}^2$$

Πλάτος/Μήκος=18cm/60cm=0.3 (όσον αφορά τις διαστάσεις της λεπίδας)

## ΠΕΔΙΟ Ι



(α)



(β)

Σχ.5.4.16 Πέδilo «I». (α)  $F_z$  και  $M_y$  δυο περιόδων (β) Χρονοσειρές  $F_z$  και  $M_y$  πειράματος



	Fz			My		
	M.T	T.A	KY.	M.T	T.A	KY.
G-left	181.17	3.41	346	36.12	4.32	346
G-right	156.76	3.68	32	35.42	3.17	32

M.T=η μέση τιμή των μέγιστων τιμών των δυνάμεων που ασκούνται στον ζυγό κατά τον άξονα Z.

T.A=((τυπική απόκλιση)/M.T)%

KY=κύκλοι ή ο αριθμός των περιόδων κατά την διάρκεια της μέτρησης

Από την σχέση **fzπεδίου= fzμετρούμενο/2.8** έχω:

$$Fz.πεδίου.left=181.17/2.8=64.7 \text{ N}$$

$$Fz.πεδίου.right=156.76/2.8=55.98 \text{ N}$$

$$Fz.average=(64.7+55.98)/2=60.1 \text{ N}$$

Από την σχέση **Fxπεδίου=(2\* fz.average\*0.3- Μγμετρούμενο1- Μγμετρούμενο2)/1.92** προκύπτει:

$$Fxπεδίου=((64.7+55.98)*0.3-(36.12+35.42))/1.92=-18.4 \text{ N}$$

$$Fx/Fz=18.4/60.34=30.49\%$$

$$Fx^2/Fz=(18.4)^2/60.34=5.61$$

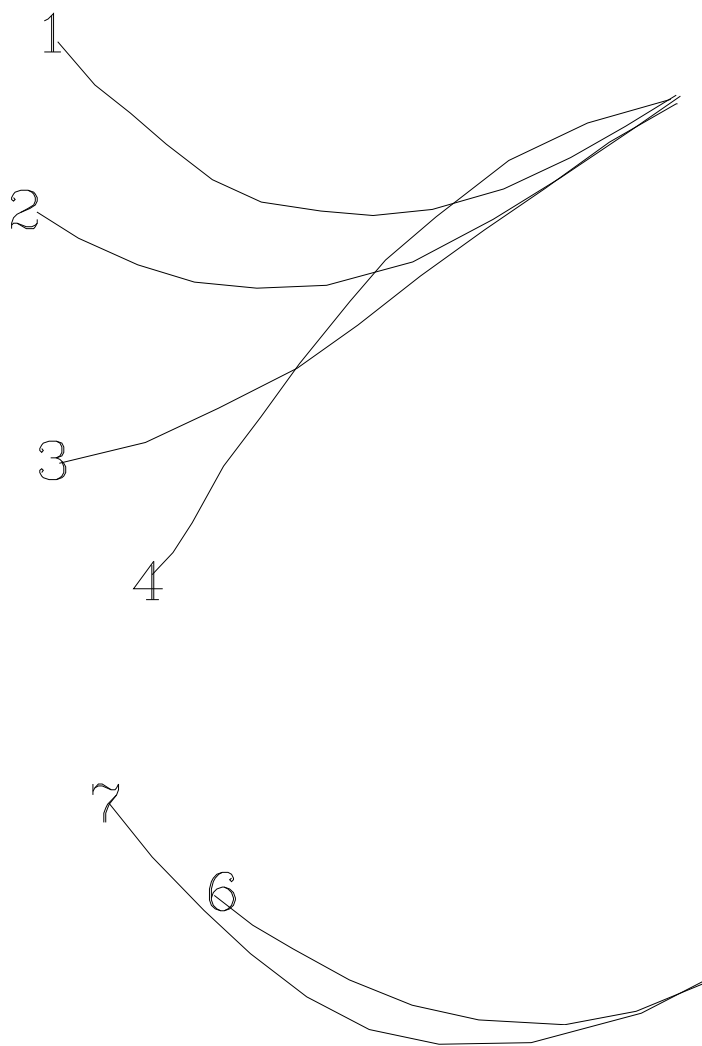
$$Fx^{3/2}/Fz=(18.4)^{3/2}/60.34=1.308$$

$$Fx^{1.66}/Fz=(18.4)^{1.66}/60.34=2.08$$

$$Fx/E=18.4/0.1101=167.12 \text{ N/m}^2$$

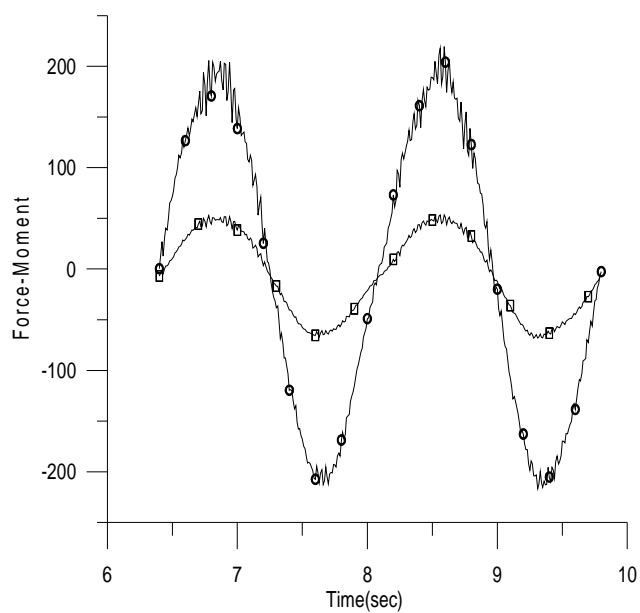
$$Fz/E=81.55/0.1263=548.04 \text{ N/m}^2$$

Πλάτος/Μήκος=18cm/60cm=0.3 (όσον αφορά τις διαστάσεις της λεπίδας)

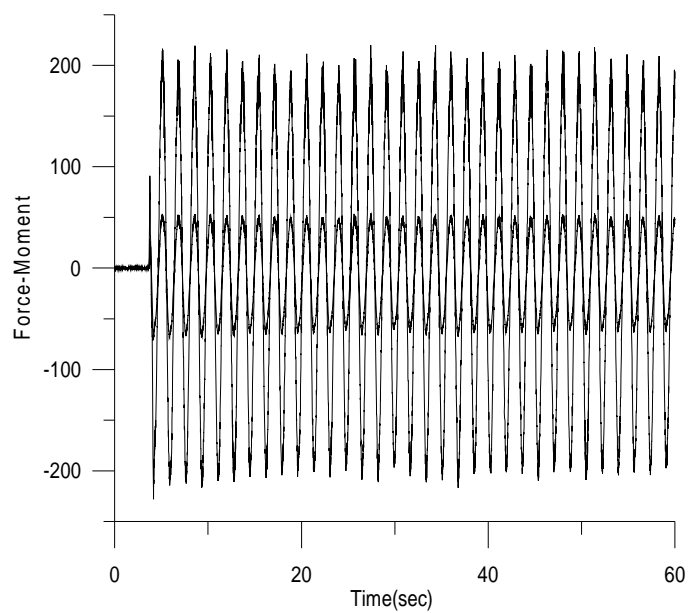


Σχ.5.4.17 Γραφική απεικόνιση της λεπίδας «I» σε διάφορες θέσεις μίας περιόδου,  
 (1)Κάτω ακραία θέση  $t=0$  frames, (2) $t=4$  frames, (3) $t=8$ frames, (4) $t=12$ frames,  
 (5) $t=32$ frames,(δεν διακρίνεται εδώ,εμποδίζει η μεσαία δοκός στήριξης της δεξαμενής)  
 ,(6) $t=34$ frames, (7) $t=38$ frames, Όπου  $T=42$ frames

## ΠΕΔΙΟ J



(α)



(β)

Σχ.5.4.18 Πέδilo «J». (α)  $F_z$  και  $M_y$  δυο περιόδων (β) Χρονοσειρές  $F_z$  και  $M_y$  πειράματος

	Fz			My		
	M.T	T.A	KY.	M.T	T.A	KY.
J-left	194.84	2.12	30	29.19	2.96	30
J-right	209.32	3.03	31	52.16	2.31	31

M.T=η μέση τιμή των μέγιστων τιμών των δυνάμεων που ασκούνται στον ζυγό κατά τον άξονα Z.

T.A=((τυπική απόκλιση)/M.T)%

KY=κύκλοι ή ο αριθμός των περιόδων κατά την διάρκεια της μέτρησης

Από την σχέση **fzπεδίου=fzμετρούμενο/2.8** έχω:

$$Fz.πεδίου.left=194.84/2.8=69.28 \text{ N}$$

$$Fz.πεδίου.right=209.32/2.8=74.64 \text{ N}$$

$$Fz.average=(69.28+74.64)/2=71.96 \text{ N}$$

Από την σχέση **Fxπεδίου=(2\* fz.average\*0.3- Μyμετρούμενο1- Μyμετρούμενο2)/1.92** προκύπτει:

$$Fxπεδίου=((69.28+74.64)*0.3-(52.16+29.19))/1.92=-19.88\text{N}$$

$$Fx/Fz=19.88/71.96=27.62\%$$

$$Fx^2/Fz=(19.88)^2/71.96=5.49$$

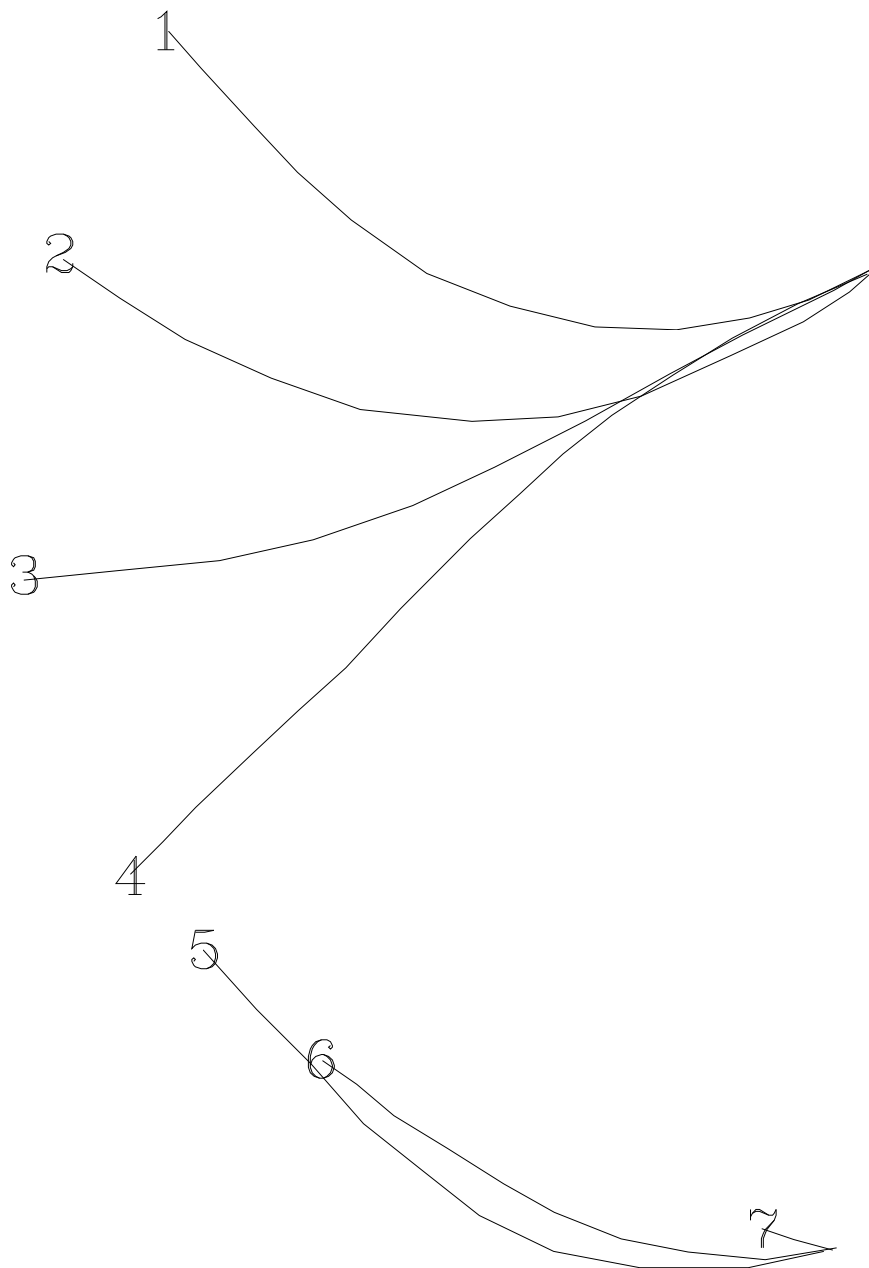
$$Fx^{3/2}/Fz=(19.88)^{3/2}/71.96=1.231$$

$$Fx^{1.66}/Fz=(19.88)^{1.66}/71.96=1.98$$

$$Fx/E=19.8/0.1101=179.83\text{N/m}^2$$

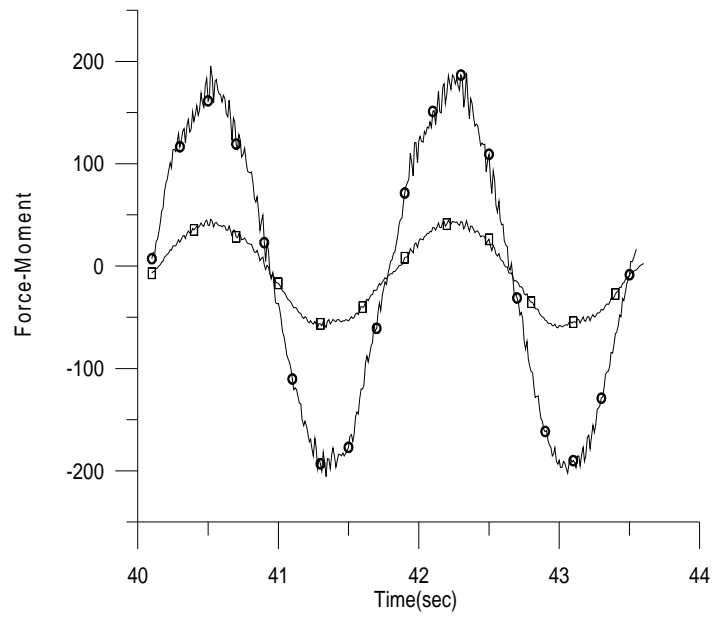
$$Fz/E=71.98/0.1101=653.77\text{N/m}^2$$

Πλάτος/Μήκος=18cm/60cm=0.3 (όσον αφορά τις διαστάσεις της λεπίδας)

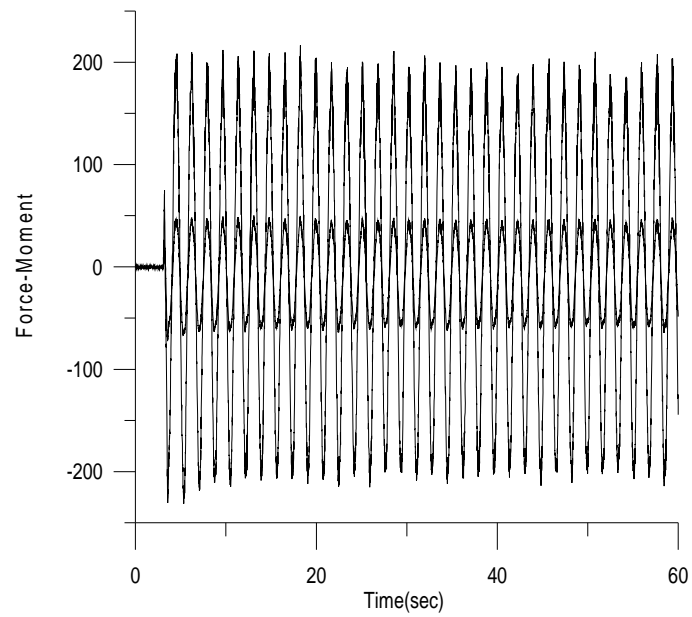


Σχ.5.4.19 Γραφική απεικόνιση της λεπίδας «J» σε διάφορες θέσεις μίας περιόδου,  
 (1)Κάτω ακραία θέση  $t=0$  frames, (2) $t=4$  frames, (3) $t=8$ frames, (4) $t=12$ frames,  
 (5) $t=32$ frames,(6) $t=34$ frames, (7) $t=38$ frames,(δεν διακρίνεται εδώ,εμποδίζει η μεσαία δοκός),  
 Όπου  $T=42$ frames

## ΠΕΔΙΛΟ Κ



(α)



(β)

Σχ.5.4.20 Πέδιλο «Κ». (α)  $F_z$  και  $M_y$  δυο περιόδων (β) Χρονοσειρές  $F_z$  και  $M_y$  πειράματος

	Fz			My		
	M.T	T.A	KY.	M.T	T.A	KY.
K-left	187.49	3.418	31	26.4	3.02	31
K-right	201.24	3.34	23	47.58	2.63	23

M.T=η μέση τιμή των μέγιστων τιμών των δυνάμεων που ασκούνται στον ζυγό κατά τον άξονα Z.

T.A=((τυπική απόκλιση)/M.T)%

KY=κύκλοι ή ο αριθμός των περιόδων κατά την διάρκεια της μέτρησης

Από την σχέση  $fz_{\text{πεδίου}} = fz_{\text{μετρούμενο}}/2.8$  έχω:

$$Fz_{\text{πεδίου.left}} = 187.49/2.8 = 66.96 \text{ N}$$

$$Fz_{\text{πεδίου.right}} = 201.24/2.8 = 71.87 \text{ N}$$

$$Fz_{\text{average}} = (66.96 + 71.87)/2 = 69.41 \text{ N}$$

Από την σχέση  $Fx_{\text{πεδίου}} = (2 * fz_{\text{average}} * 0.3 - \text{Μυμετρούμενο1} - \text{Μυμετρούμενο2})/1.92$  προκύπτει:

$$Fx_{\text{πεδίου}} = ((66.96 + 71.87) * 0.3 - (26.4 + 47.58))/1.92 = -16.83 \text{ N}$$

$$Fx/Fz = 16.83/69.41 = 24.26\%$$

$$Fx^2/Fz = (16.83)^2/69.41 = 4.08$$

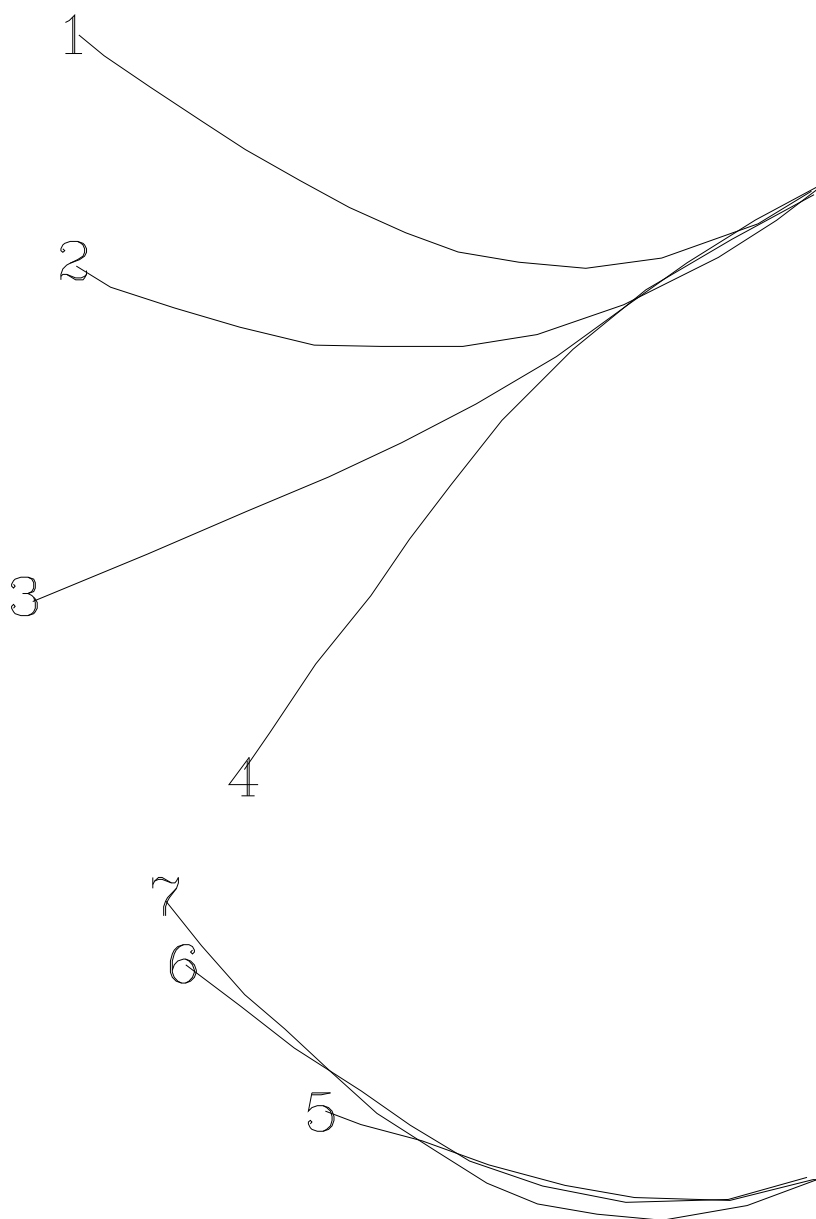
$$Fx^{3/2}/Fz = (16.83)^{3/2}/69.41 = 0.995$$

$$Fx^{1.66}/Fz = (16.83)^{1.66}/69.41 = 1.562$$

$$Fx/E = 16.83/0.1101 = 152.86 \text{ N/m}^2$$

$$Fz/E = 69.41/0.1101 = 630.42 \text{ N/m}^2$$

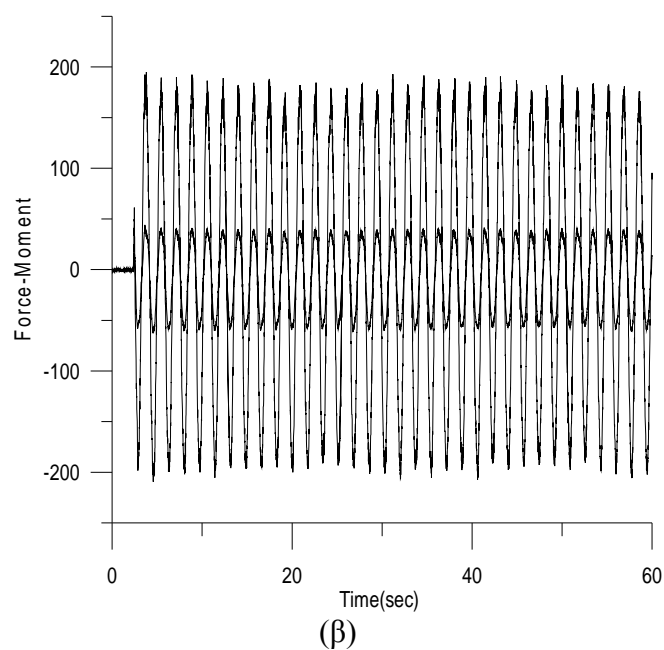
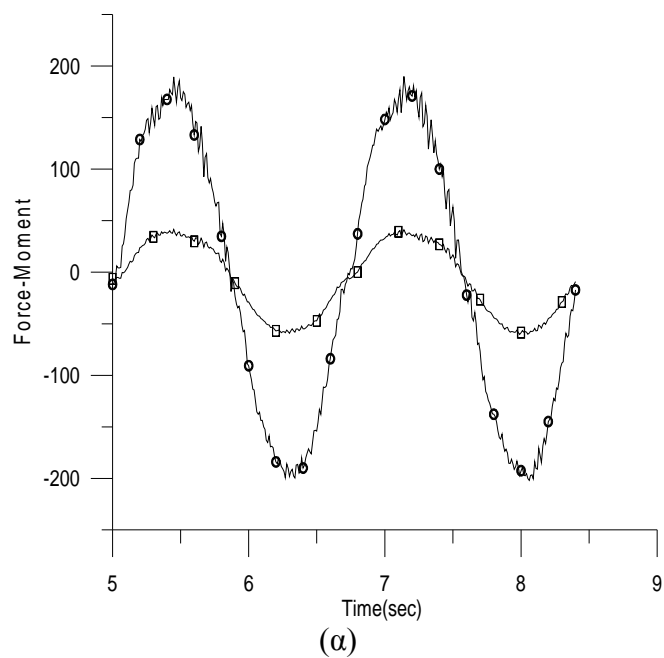
Πλάτος/Μήκος = 18cm/60cm = 0.3 (όσον αφορά τις διαστάσεις της λεπίδας)



Σχ.5.4.21 Γραφική απεικόνιση της λεπίδας «Κ» σε διάφορες θέσεις μίας περιόδου,  
 (1)Κάτω ακραία θέση  $t=0$  frames, (2) $t=4$  frames, (3) $t=8$ frames, (4) $t=12$ frames,  
 (5) $t=32$ frames,(6) $t=34$ frames, (7) $t=38$ frames, Όπου  $T=42$ frames



## ΠΕΔΙΛΟ L



Σχ.5.4.22 Πέδιλο «L». (α)  $F_z$  και  $M_y$  δυο περιόδων (β) Χρονοσειρές  $F_z$  και  $M_y$  πειράματος

	Fz			My		
	M.T	T.A	KY.	M.T	T.A	KY.
L-left	161.23	3.19	67	24.13	4.69	67
L-right	189.9	3	32	41.69	2.58	31

M.T=η μέση τιμή των μέγιστων τιμών των δυνάμεων που ασκούνται στον ζυγό κατά τον άξονα Z.

T.A=((τυπική απόκλιση)/M.T)%

KY=κύκλοι ή ο αριθμός των περιόδων κατά την διάρκεια της μέτρησης

Από την σχέση  $f_{z\text{πεδίου}} = f_{\text{μετρούμενο}}/2.8$  έχω:

$$F_{z.\text{πεδίου}.left} = 161.23/2.8 = 57.58 \text{ N}$$

$$F_{z.\text{πεδίου}.right} = 189.9/2.8 = 67.82 \text{ N}$$

$$F_{z.\text{average}} = (57.58 + 67.82)/2 = 62.7 \text{ N}$$

Από την σχέση  $F_{x\text{πεδίου}} = (2 * f_{z.\text{average}} * 0.3 - \text{Μυμετρούμενο1} - \text{Μυμετρούμενο2})/1.92$  προκύπτει:

$$F_{x\text{πεδίου}} = ((57.58 + 67.82) * 0.3 - (41.69 + 24.13))/1.92 = -14.68 \text{ N}$$

$$F_x/F_z = 14.68/62.7 = 23.42\%$$

$$F_x^2/F_z = (14.68)^2/62.7 = 3.43$$

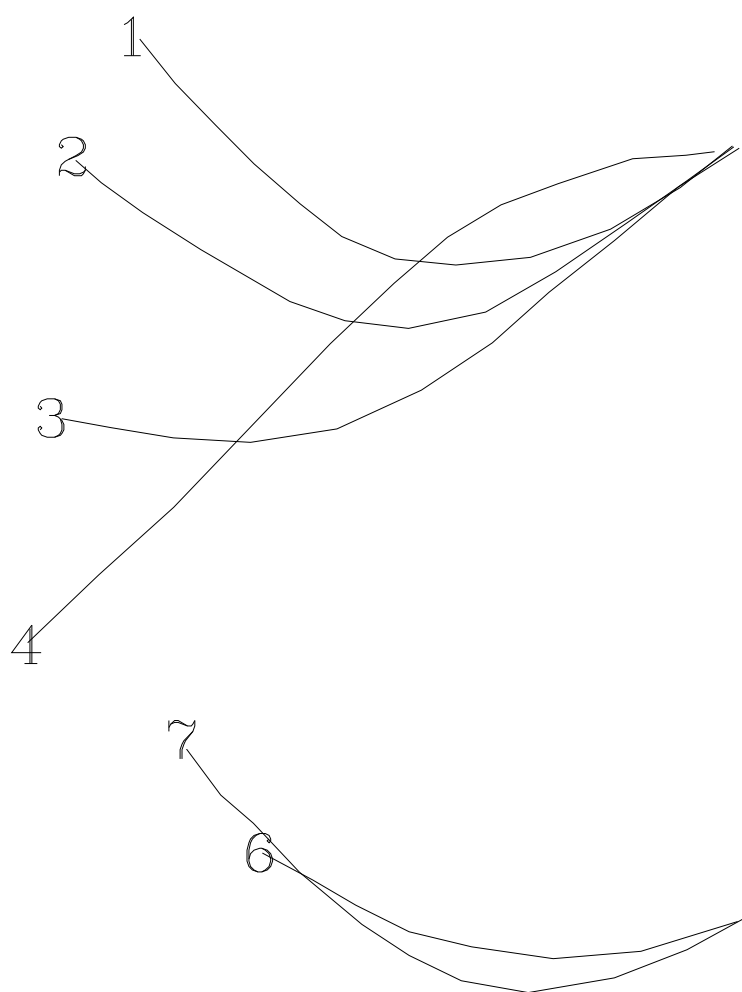
$$F_x^{3/2}/F_z = (14.68)^{3/2}/62.7 = 0.897$$

$$F_x^{1.66}/F_z = (14.68)^{1.66}/62.7 = 1.378$$

$$F_x/E = 14.68/0.1101 = 133.33 \text{ N/m}^2$$

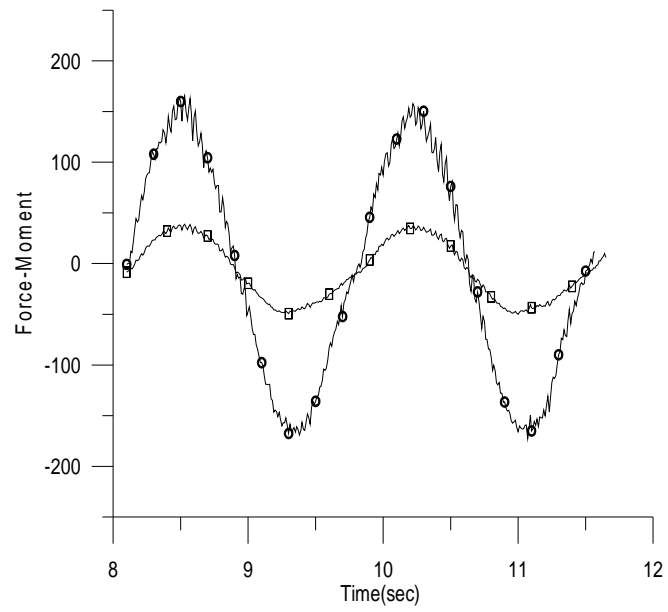
$$F_z/E = 62.7/0.1101 = 569.48 \text{ N/m}^2$$

Πλάτος/Μήκος = 18cm/60cm = 0.3629 (όσον αφορά τις διαστάσεις της λεπίδας)

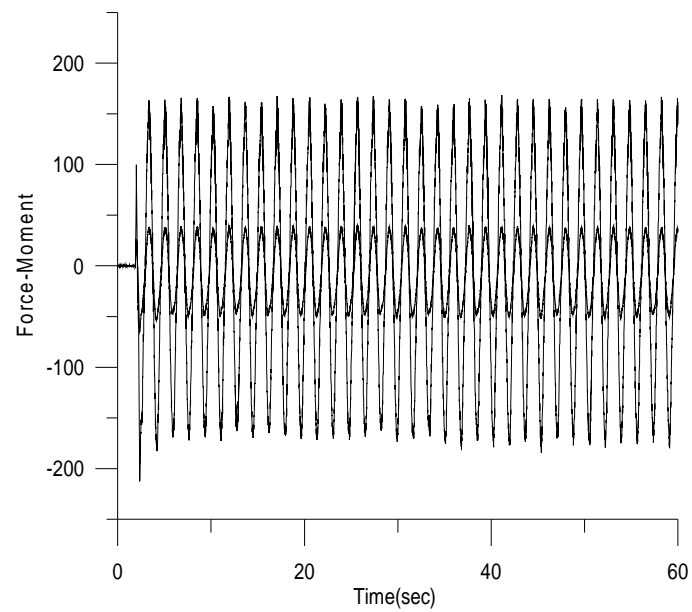


Σχ.5.4.23 Γραφική απεικόνιση της λεπίδας «Κ» σε διάφορες θέσεις μίας περιόδου,  
 (1)Κάτω ακραία θέση  $t=0$  frames, (2) $t=4$  frames, (3) $t=8$ frames, (4) $t=12$ frames,  
 (5) $t=32$ frames,(δεν διακρίνεται εδώ,εμποδίζει η μεσαία δοκός) ,(6) $t=34$ frames,  
 (7) $t=38$ frames, Όπου  $T=42$ frames

## ΠΕΔΙΛΟ Μ



(a)



(β)

Σχ.5.4.24 Πέδילו «Μ». (α)  $F_z$  και  $M_y$  δυο περιόδων (β) Χρονοσειρές  $F_z$  και  $M_y$  πειράματος

	Fz			My		
	M.T	T.A	KY.	M.T	T.A	KY.
M-right	167.1	2.39	32	38.88	2.26	32
M-left	145.75	3.72	31	16.32	4.73	31

M.T=η μέση τιμή των μέγιστων τιμών των δυνάμεων που ασκούνται στον ζυγό κατά τον άξονα Z.

T.A=((τυπική απόκλιση)/M.T)%

KY=κύκλοι ή ο αριθμός των περιόδων κατά την διάρκεια της μέτρησης

Από την σχέση  $fz_{\text{πεδίου}} = fz_{\text{μετρούμενο}}/2.8$  έχω:

$$Fz_{\text{πεδίου.left}} = 145.75/2.8 = 52.05 \text{ N}$$

$$Fz_{\text{πεδίου.right}} = 167.1/2.8 = 59.68 \text{ N}$$

$$Fz_{\text{average}} = (52.05 + 59.68)/2 = 55.86 \text{ N}$$

Από την σχέση  $Fx_{\text{πεδίου}} = (2 * fz_{\text{average}} * 0.3 - \text{Μυμετρούμενο1} - \text{Μυμετρούμενο2})/1.92$  προκύπτει:

$$Fx_{\text{πεδίου}} = ((59.68 + 52.05) * 0.3 - (38.88 + 16.32))/1.92 = -11.29 \text{ N}$$

$$Fx/Fz = 11.29/55.86 = 20.21\%$$

$$Fx^2/Fz = (11.29)^2/55.86 = 2.28$$

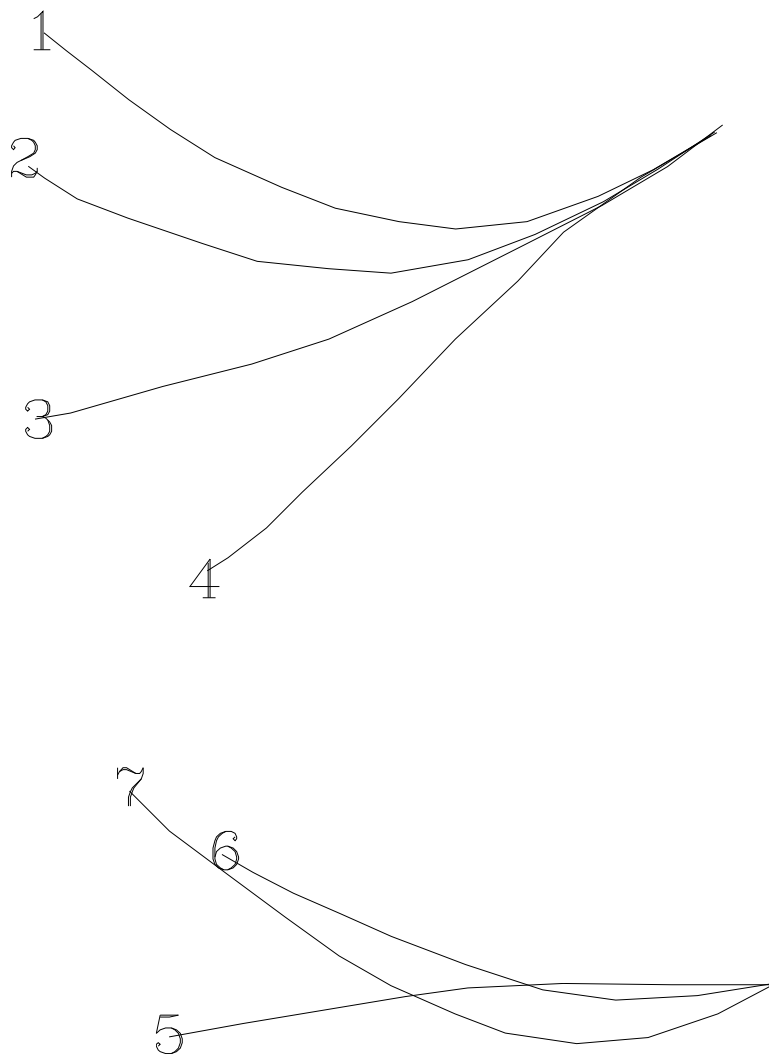
$$Fx^{3/2}/Fz = (11.29)^{3/2}/55.86 = 0.679$$

$$Fx^{1.66}/Fz = (11.29)^{1.66}/55.86 = 0.679$$

$$Fx/E = 11.29/0.1101 = 102.54 \text{ N/m}^2$$

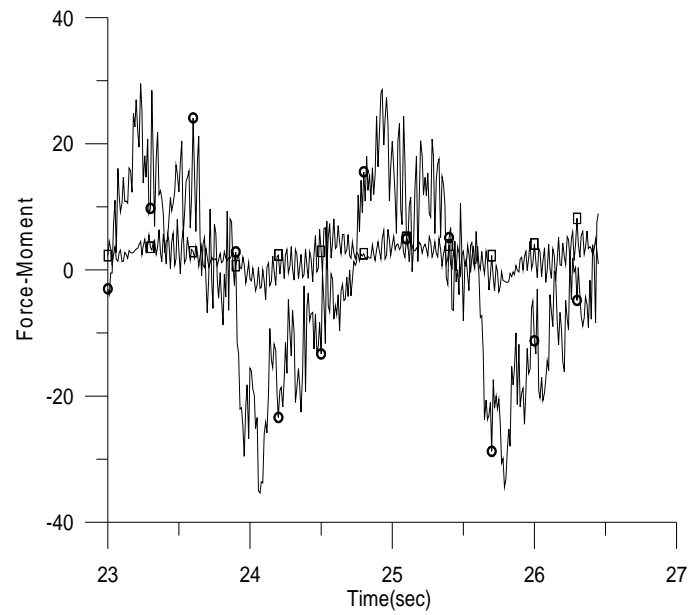
$$Fz/E = 55.86/0.1101 = 507.357 \text{ N/m}^2$$

Πλάτος/Μήκος = 18cm/60cm = 0.3 (όσον αφορά τις διαστάσεις της λεπίδας)

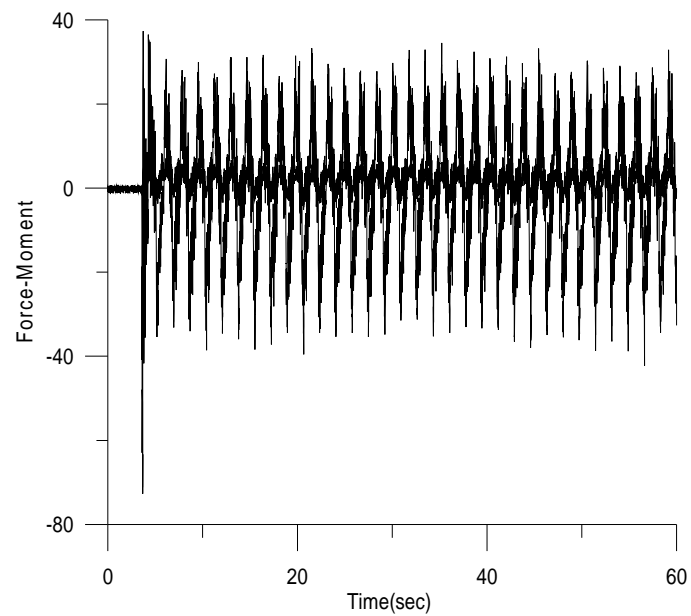


Σχ.5.4.25 Γραφική απεικόνιση της λεπίδας «Κ» σε διάφορες θέσεις μίας περιόδου,  
 (1)Κάτω ακραία θέση  $t=0$  frames, (2) $t=4$  frames, (3) $t=8$ frames, (4) $t=12$ frames,  
 (5) $t=32$ frames,(6) $t=34$ frames, (7) $t=38$ frames, Όπου  $T=42$ frames

## ΧΩΡΙΣ ΠΕΔΙΛΟ



(α)

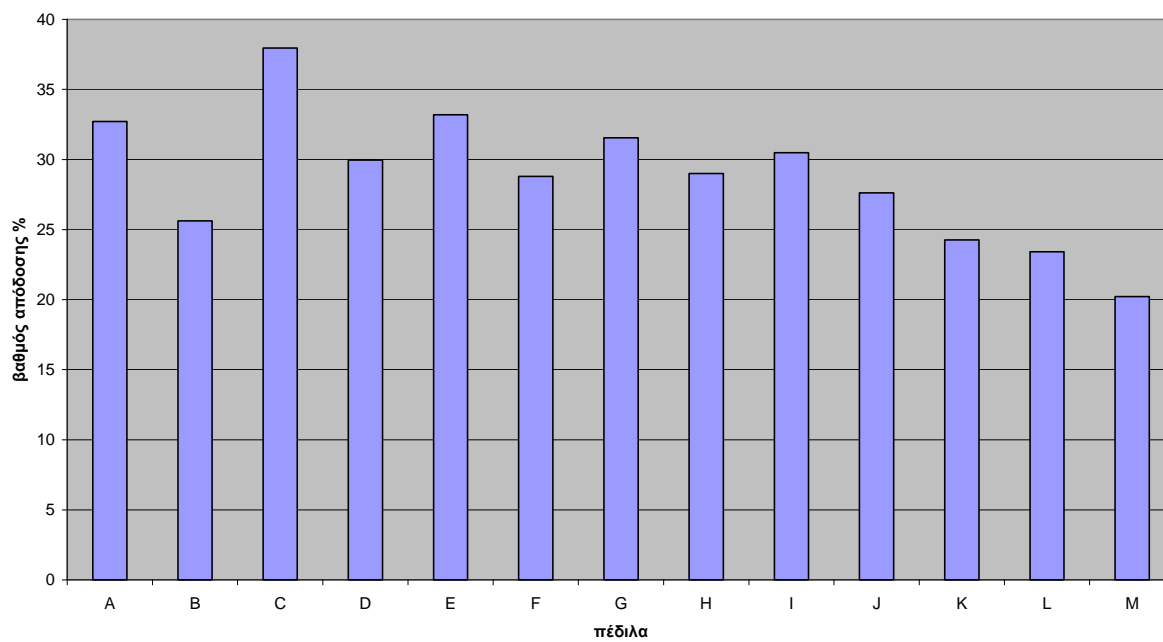


(β)

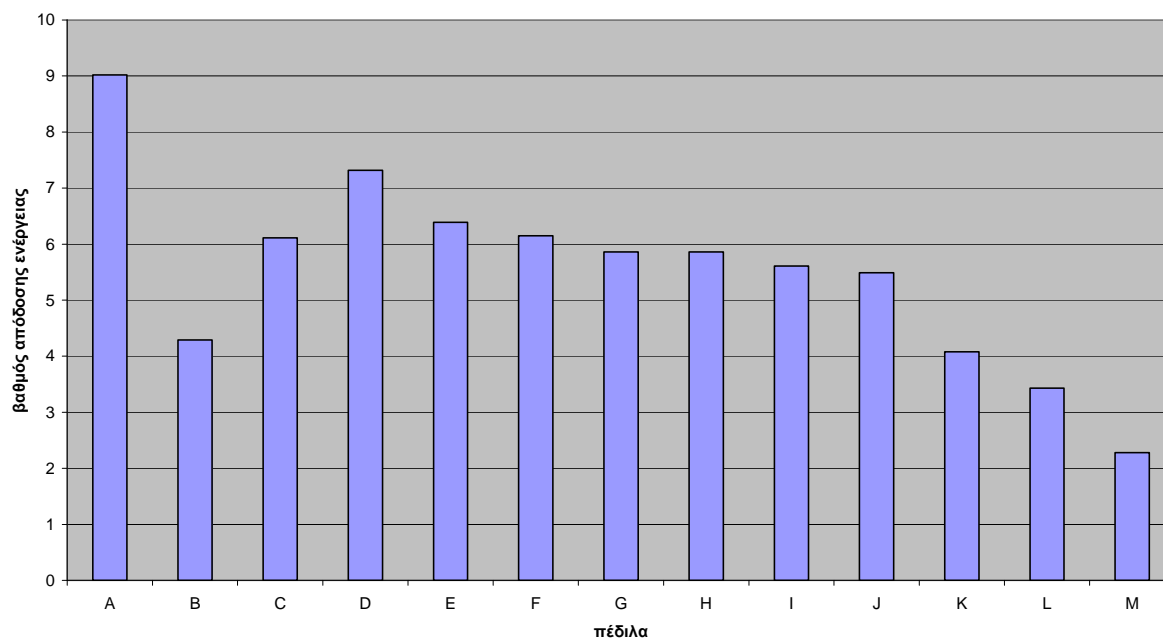
Σχ.5.4.26 σκέτο χωρίς περύγιο. (α)  $F_z$  και  $M_y$  δυο περιόδων (β) Χρονοσειρές  $F_z$  και  $M_y$  πειράματος

## ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

γράφημα πεδίων ως προς τον βαθμό απόδοσης  $F_x/F_z$

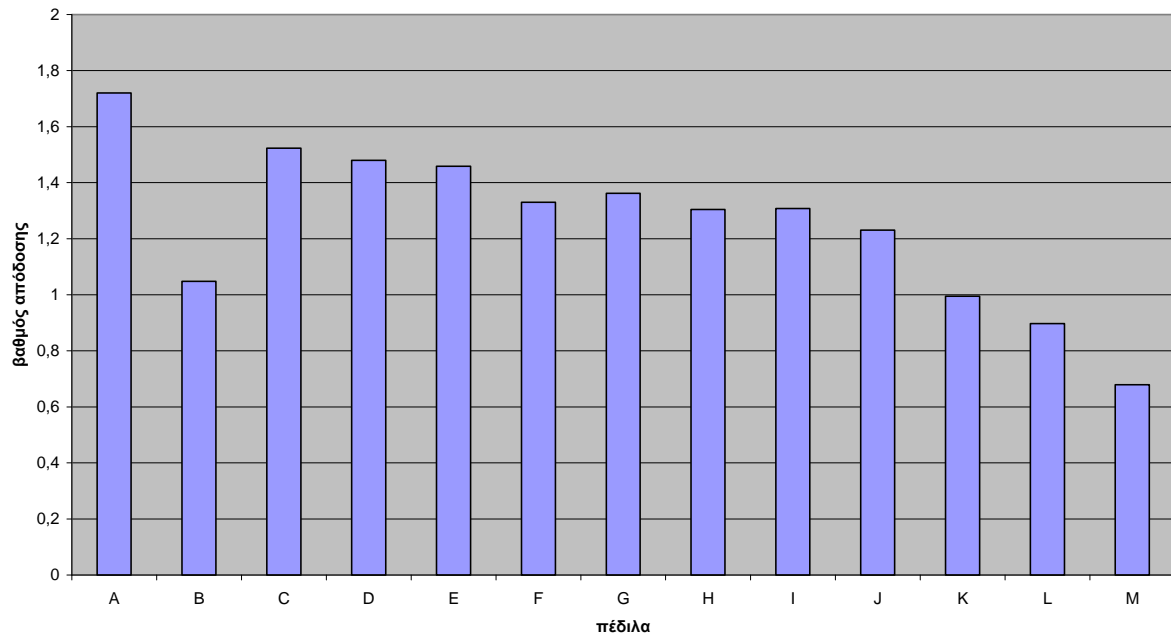


γράφημα πεδίων ως προς τον βαθμό απόδοσης ενέργειας  $F_x^2/F_z$

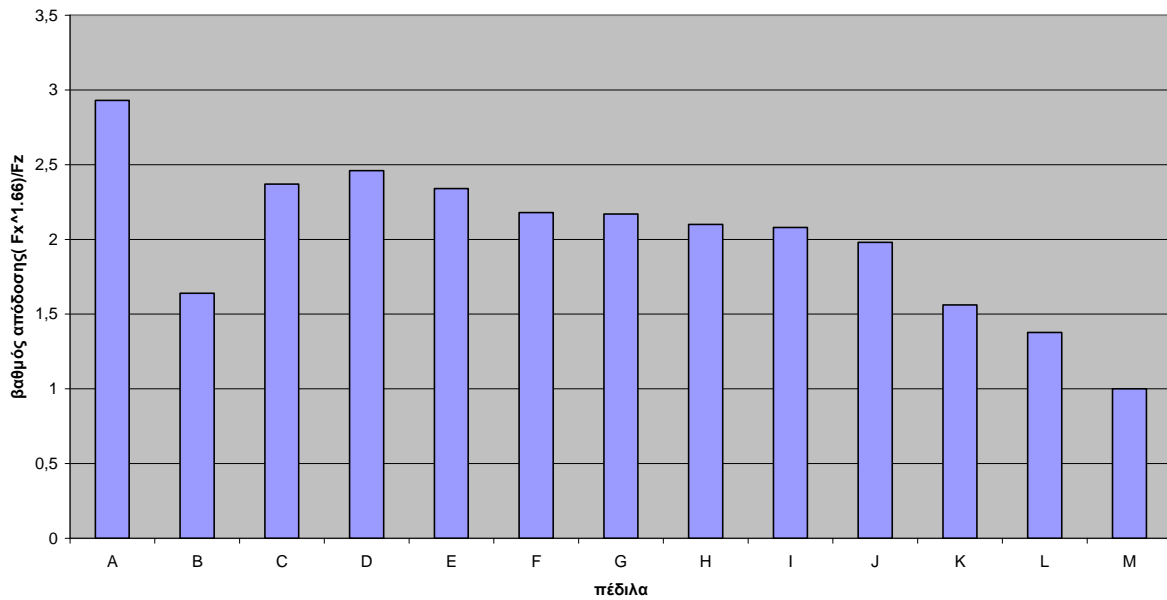




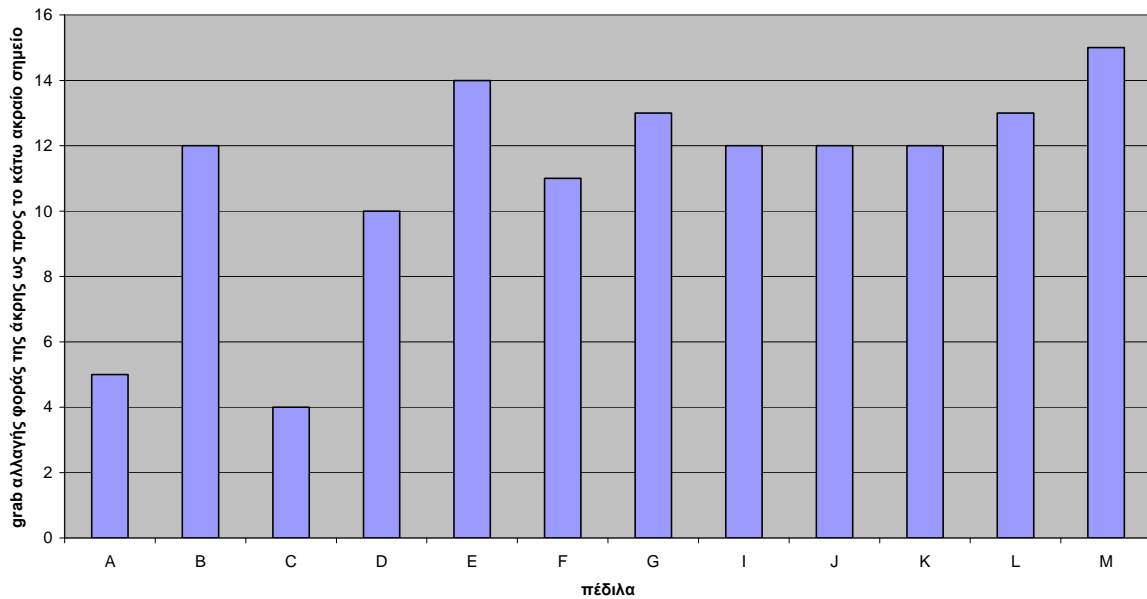
Γράφημα πεδίων-εναλλακτικού βαθμού απόδοσης  $Fx^{(3/2)}/Fz$



Γράφημα πεδίων ως προς τον βαθμό απόδοσης  $(Fx^{1.66})/Fz$

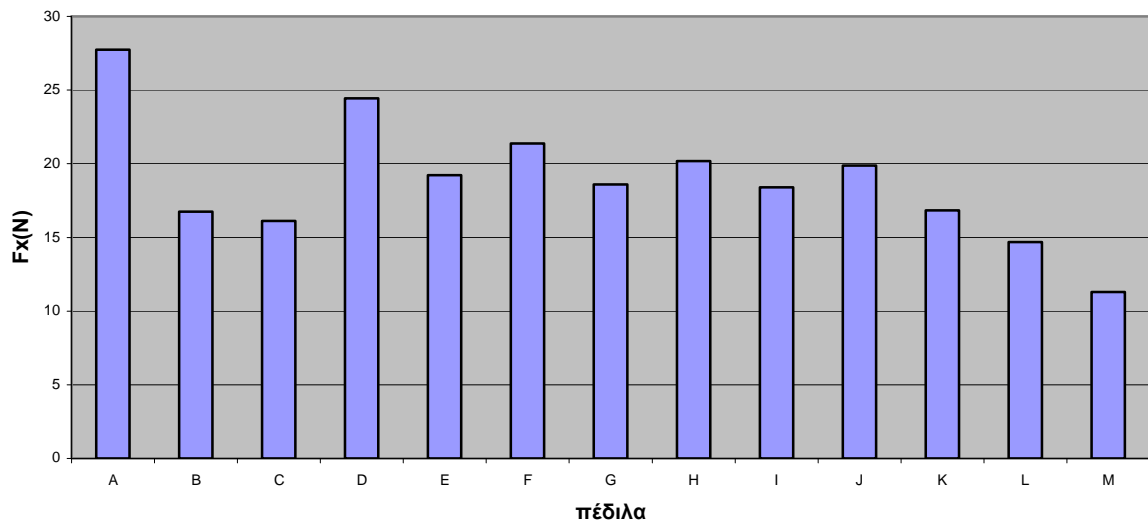


βαθμός υστέρησης του κάθε πεδίου

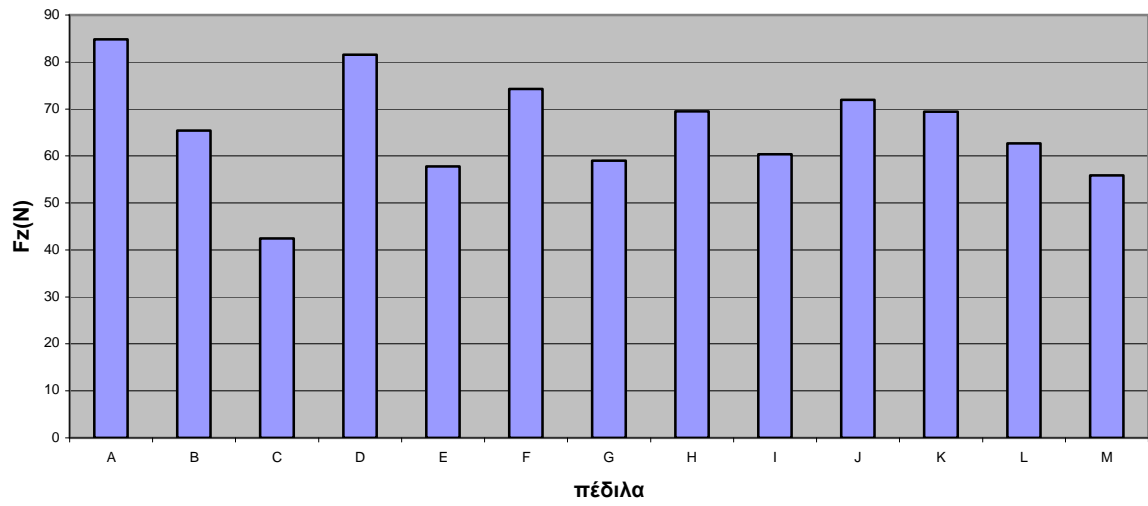


Κατά την μελέτη των video's παρατηρήθηκε το φαινόμενο ότι το ακραίο σημείο της λεπίδας υστερούσε σε σχέση με την κίνηση του παπουτσιού. Για παράδειγμα όταν το παπούτσι ξεκινούσε την προς τα πάνω κίνηση, τότε το ακραίο μέρος της λεπίδας συνέχιζε την προς τα κάτω κίνηση. Στο πιο κάτω διάγραμμα διακρίνεται για το κάθε πέδιλο σε πιο grab ως προς το κάτω ακραίο σημείο της κίνησης του παπουτσιού, το ακραίο σημείο της λεπίδας ακολουθούσε την προς τα πάνω κίνηση. Κατά αυτόν τον τρόπο διακρίνεται το πόσο υστερεί η κάθε λεπίδα ως προς την κίνηση του ποδιού του δότη και κατά συνέπεια το πόσο νευρικό είναι το κάθε πέδιλο στο σύνολο του.

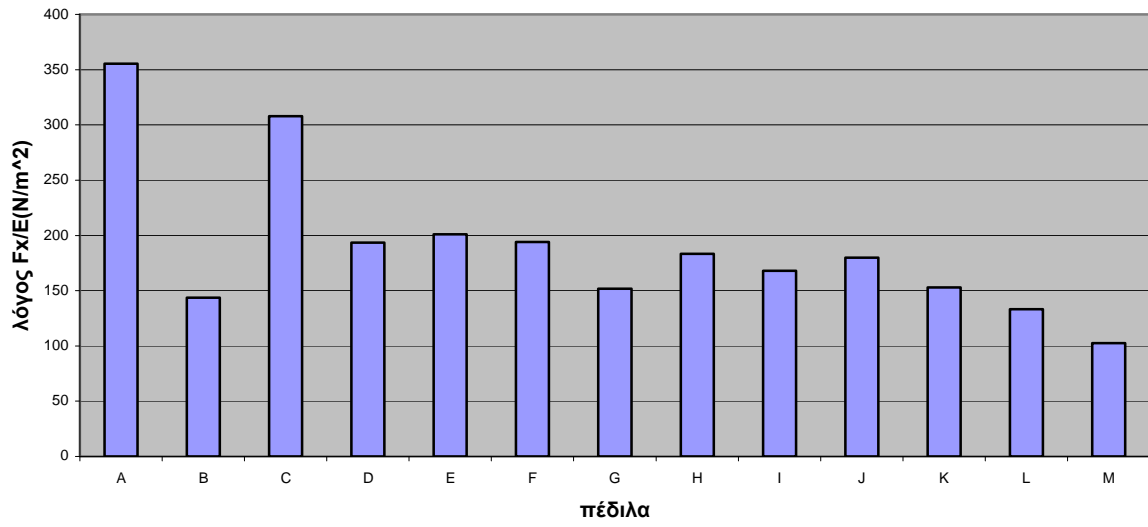
γράφημα δύναμης ώσης ανά πέδιλο



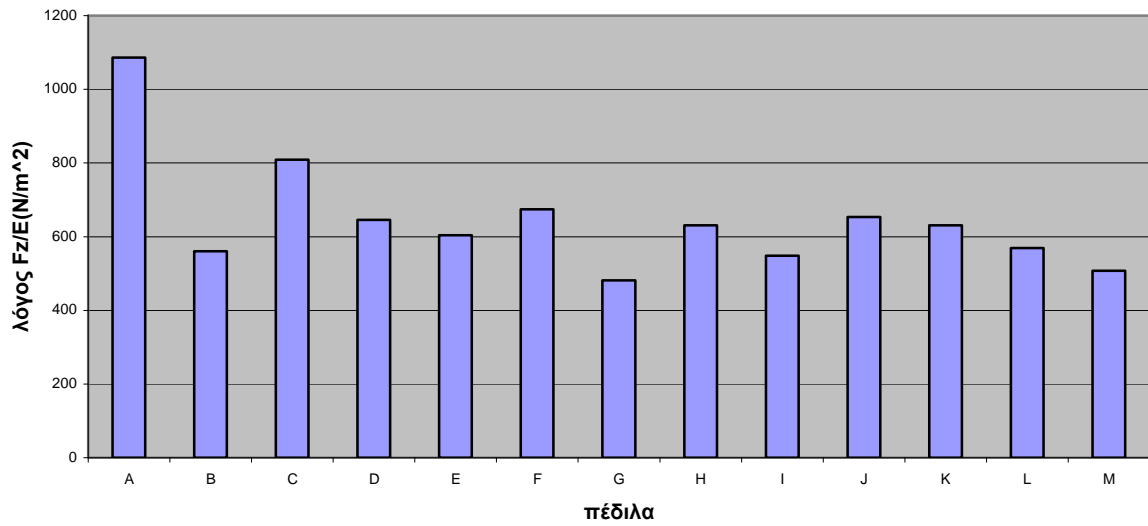
γράφημα κατακόρυφης δύναμης  $F_z$  ανά πέδιλο



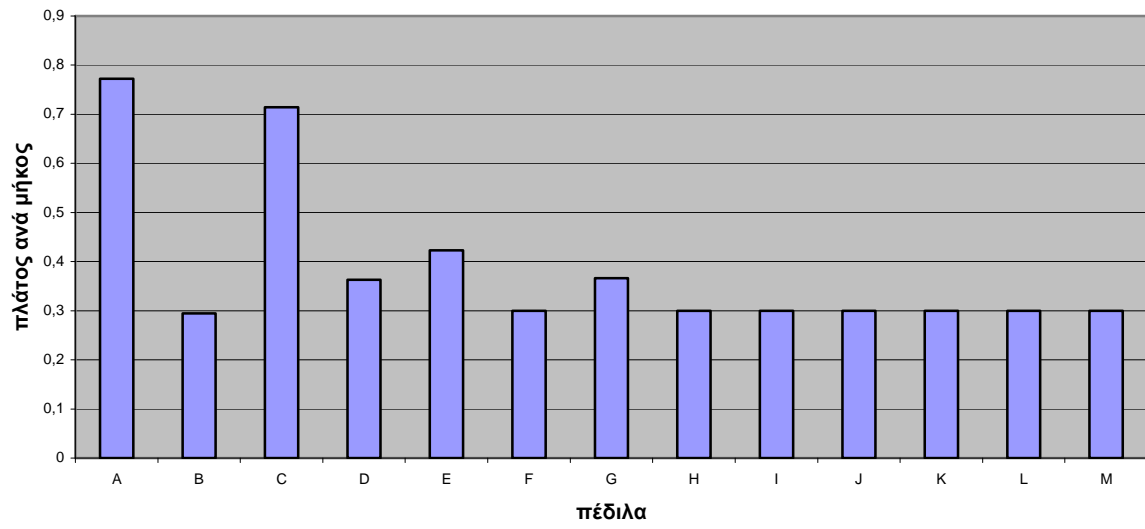
γράφημα δύναμης  $f_x$  προς την επιφάνεια της λεπίδας E ανά πέδιλο



γράφημα δύναμης  $f_z$  προς την επιφάνεια της λεπίδας E ανά πέδιλο



γράφημα του λόγου πλάτος/μήκος λεπίδας ανα πέδιλο



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το θέμα της απόδοσης των πεδίων ελεύθερης κατάδυσης είναι πολυπαραμετρικό και εξαρτάται από τα εξής:

- **Το πέλμα**(μαλακό-σκληρό+νέυρα λεπίδας)

Πρέπει να είναι σκληρό στα σημεία τα οποία εξασκείται η δύναμη και τα νεύρα να υποστηρίζουν τυχόν αδυναμίες της λεπίδας.

- **Την ελαστικότητα-παραμόρφωση της λεπίδας**

Πρέπει να είναι κατά τέτοιο τρόπο κατασκευασμένη ώστε να είναι νευρική και να μην παρατηρείται έντονα το φαινόμενο της υστέρησης μεταξύ της κίνησης του ποδιού και της άκρης της λεπίδας.

- **Την γωνία πέλματος-λεπίδας**
- **Τα παρατροπίδια**
- **Την απόληξη της λεπίδας**
- **Την σύνδεση πέλματος –λεπίδας**
- **Την τεχνική κολύμβησης**(κίνηση ποδιών,στάση σώματος,κ.τ.λ.)

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι μεγαλύτερη αξία έχει **η σωστή κατασκευή-πλέξη της λεπίδας** παρά το ίδιο το είδος του υλικού(ανθρακόνημα-υαλόνημα-πλαστικό,κ.τ.λ.) το οποίο θα χρησιμοποιηθεί.Για παράδειγμα μία καλή πλαστική λεπίδα ενδέχεται να είναι πιο αποδοτική από μία λάθος κατασκευασμένη λεπίδα από ένα ανώτερο υλικό όπως το ανθρακόνημα..Η λεπίδα δεν πρέπει να είναι ιδιαίτερα μαλακή και θα πρέπει να είναι ενισχυμένη σε συγκεκριμένα σημεία έτσι ώστε να μην παρατηρείται **το φαινόμενο της υστέρησης**,κατά το οποίο η λεπίδα δεν ακολουθεί την κίνηση του ποδιού του δύτη.Διαπιστώθηκε επίσης ότι **τα νεύρα του πέλματος περιορίζουν τα κατασκευαστικά λάθη της λεπίδας**,βελτιώνοντας την τελική απόδοση του πεδίου για τον λόγο ότι αναγκάζουν τη λεπίδα να παραμορφωθεί με έναν διαφορετικό τρόπο.

Επομένως κρίνεται ότι τα σημαντικότερα κριτήρια της απόδοσης των πεδίων ελεύθερης κατάδυσης αποτελούν ο τρόπος πλέξης της λεπίδας(ελαστικότητα),τα νεύρα,ο τρόπος κατασκευής του παπουτσιού και σε τελική ανάλυση το πώς θα συνδιαστούν κατάλληλα αυτές οι παράμετροι.Τέλος κρίνεται σκόπιμο στο μέλλον να γίνει περαιτέρω έρευνα σχετικά με **το**

**σχήμα και τις διαστάσεις της λεπίδας,κάτι το οποίο ενδέχεται να αλλάξει ριζικά την φιλοσοφία κατασκευής των πεδίων ελεύθερης κατάδυσης.**

## Παράρτημα

**Πρόγραμμα Fortran υπολογισμού των M.T,T.A,KY** όπου:

M.T=η μέση τιμή των μέγιστων τιμών των δυνάμεων που ασκούνται στον ζυγό κατά τον άξονα Z.

T.A=((τυπική απόκλιση)/M.T)%

KY=κύκλοι ή ο αριθμός των περιόδων κατά την διάρκεια της μέτρησης

```
DIMENSION FZ(60000),MY(60000),IM(3000),FM(60000),IMF(3000)
OPEN(1,FILE='technisubdeksia.dat')
OPEN(2,FILE='MAGOUT.DAT')
ITOT1=12000
WRITE(*,*) 'GIVE START I'
READ(*,*) ISTART
C*****READ DATA *****
DO 5 I=1,ITOT1
READ(1,*) TIME,FX,FY,FZ(I),MX,F,MZ
5 CONTINUE
C*****START FROM ISTART *****
K=0
DO 2 I=ISTART,ITOT1
K=K+1
FZ(K)=FZ(I)
2 CONTINUE
ITOT=K
C*****EVRESI XRONIKON STIGMON MHDENISMOU THS FZ
*****
L=0
DO 10 I=1,ITOT-1
PAR=FZ(I)*FZ(I+1)
IF(PAR.LE.0.) THEN
L=L+1
IM(L)=I
ENDIF
10 CONTINUE
LM=L
DO 12 I=1,LM-1
IDIF=ABS(IM(I)-IM(I+1))
IF(IDIF.LE.30) THEN
IM(I+1)=IM(I)
ENDIF
12 CONTINUE
```



```

DO 14 I=1,LM
WRITE(2,*) IM(I)
14 CONTINUE
K=0
DO 15 I=1,LM-1
IF(IM(I).NE.IM(I+1)) THEN
K=K+1
IMF(K)=IM(I)
K=K+1
IMF(K)=IM(I+1)
ELSE
GOTO 15
ENDIF
15 CONTINUE
LM=K
WRITE(*,*) '*****LM*****',LM
DO 16 I=1,LM
WRITE(2,*) IMF(I)
16 CONTINUE
K=0
DO 20 I=4,LM-4,4
FMAX=0.
DO 30 I1=IMF(I),IMF(I+2)
IF(FZ(I1).GT.FMAX) FMAX=FZ(I1)
30 CONTINUE
K=K+1
FM(K)=FMAX
WRITE(2,*) FM(K),K,IMF(I),IMF(I+2)
20 CONTINUE
KM=K
C*****MEAN VALUE OF FMAX *****
SUM=0
DO 50 I=1,KM
SUM=SUM+FM(I)
50 CONTINUE
FMEAN=SUM/KM
C*****TYPICHA APOKLISI *****
RMS=0.
DO 60 I=1,KM
RMS=RMS+(FM(I)-FMEAN)**2
60 CONTINUE
RMS=100.*SQRT(RMS/KM)/FMEAN
WRITE(*,*) 'MESI TIME & RMS & NUMBER OF CYCLES',FMEAN, RMS,KM
STOP
END

```

## Βιβλιογραφία

[1] P. Zamparo, D. R. Pendergast, B. Termin and A. E. Minetti, 2002, How fins affect the economy and efficiency of human swimming, *The Journal of Experimental Biology* 205, 2665–2676.

[2] T. Yao-Tsu Wu, 1970, Hydromechanics of swimming propulsion.  
part 1. Swimming of a two-dimensional flexible plate at variable forward speeds in an inviscid fluid, *J. Fluid Mech.* (1971), vol. 46, part 2, pp. 337-355.

[3] T. Yao-Tsu Wu, 1970, Hydromechanics of swimming propulsion. Part 2.  
Some optimum shape problems, *J. Fluid Mech.* (1971), vol. 46, part 3, pp. 521-544

[4] G. Minak, 2004. Evaluation of the performances of free-diving fins, *Sports Engineering* vol.7, 153-158

[5] [www.Dapiran.it](http://www.Dapiran.it)

[6] Yamaguchi H, Shidara F, Naraki N, Mohri M. Μέγιστη συνεχόμενη ώση εξαιτίας της χρήσης λεπίδων στην υποβρύχια κολύμβηση, Coastal Research Department, Japan Marine Science & Technology Center, Yokosuka, Japan.

[7] Pendergast DR, Mollendorf J, Logue C, Samimy S. Υποβρύχια τεχνική κολύμβηση στις γυναίκες με αναφορά στην εκλογή λεπίδων  
Center for Research and Education in Special Environments, School of Engineering,  
University at Buffalo, Buffalo, NY 14214, USA.

[8] <http://www.springerlink.com/content/174665870p0g1u02/>

[9] [http://books.google.gr/books?id=Z0YWn5F9sWkC&pg=PA43&lpg=PA43&dq=fin-swimming+research&source=bl&ots=5GrFjM48UZ&sig=XW2a3gufQQIWJ\\_kJ-](http://books.google.gr/books?id=Z0YWn5F9sWkC&pg=PA43&lpg=PA43&dq=fin-swimming+research&source=bl&ots=5GrFjM48UZ&sig=XW2a3gufQQIWJ_kJ-)

[ziqUkw48Ew&hl=el&ei=rxXFSdnGBeKJjAeA66GQCw&sa=X&oi=book\\_result&resnum=2  
&ct=result#PPP1,M1](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/123456789)

[10] <http://jeb.biologists.org/cgi/content/full/207/11/1825>

[11] [http://www.iop.org/EJ/article/1748-3190/1/4/S04/bb6\\_4\\_s04.pdf](http://www.iop.org/EJ/article/1748-3190/1/4/S04/bb6_4_s04.pdf)

[12] [http://www.fcnm.org/Maximum\\_sustained\\_fin.pdf](http://www.fcnm.org/Maximum_sustained_fin.pdf)

