

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ Ε.Μ.Π.

LABORATORY OF GENERAL GEODESY
DEPARTMENT OF SURVEYING N.T.U.A.

ΑΚΡΙΒΗΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΩΠΗΛΑΤΙΚΩΝ
ΣΚΑΦΩΝ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΚΑΙ ΑΔΡΑΝΕΙΑΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ

ΦΩΤΙΑΔΗΣ ΜΙΧΑΗΛ



ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2007

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω το λέκτορα κ. Βασίλη Γκίκα για τη συνεχή υποστήριξή του αλλά και για τον προσωπικό χρόνο που αφιέρωσε για την οργάνωση και εκτέλεση της πειραματικής διαδικασίας.

Θερμές ευχαριστίες αξίζουν στους ανθρώπους που αγαπούν και ασχολούνται ενεργά με το άθλημα της κωπηλασίας και υποδέχτηκαν εμένα και τον κ. Γκίκα σε ένα χώρο σχεδόν άγνωστο για εμάς, προσφέροντάς μας κάθε δυνατή βοήθεια για την πραγματοποίηση των πειραμάτων αλλά και για τη μετέπειτα ανάλυση των αποτελεσμάτων. Πιο συγκεκριμένα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Πρόεδρο της Ελληνικής Κωπηλατικής Ομοσπονδία Φιλάθλων Ναυτικών Σωματείων κ. Ιωάννη Καρρά, τον προπονητή της Εθνικής Ομάδας κ. Πολυχρόνη Βλασταρίδη, τον προπονητή του Ομίλου Ερετών κ. Πρόδρομο Πολυκαρπίδη και τέλος, τους αθλητές κ. Ευστράτιο Αλεξίδη και κ. Αναστάσιο Μαρίνο.

Τέλος, ευχαριστώ το προσωπικό και συνεργάτες του Ε.Μ.Π. για την υποστήριξή τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	01
1. ΤΟ ΑΘΛΗΜΑ ΤΗΣ ΚΩΠΗΛΑΣΙΑΣ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΠΟΝΗΣΗΣ	03
1.1. Το Άθλημα της Κωπηλασίας	03
1.1.1. Γενικές Επισημάνσεις	03
1.1.2. Το Κωπηλατικό “Σκιφ”	04
1.2. Η Τεχνική της Κωπηλασίας	05
1.2.1. Οι Φάσεις του “Κύκλου Κουπιάς”	05
1.2.2. Κινηματικά Χαρακτηριστικά του Κωπηλατικού Σκάφους	08
1.3. Κωπηλασία και Σύγχρονες Μέθοδοι Εντοπισμού	10
1.3.1. Σκοπιμότητα Εφαρμογής Γεωδαιτικών Μεθόδων στο Άθλημα της Κωπηλασίας	10
1.3.2. Παράλληλες Εργασίες	11
2. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ	13
2.1. Εξοπλισμός Πειραματικής Διάταξης	13
2.1.1. Γεωδαιτικοί Δέκτες GPS	14
2.1.2. Γεωδαιτικός Σταθμός Αυτόματης Αναγνώρισης και Παρακολούθησης Στόχου	16
2.1.3. Αδρανειακό Σύστημα Εντοπισμού	17
2.2. Μέρη Πειραματικής Διάταξης	18
2.2.1. Πλωτό Τμήμα	19
2.2.2. Τμήμα Ξηράς	23
2.3. Επιλογή Χώρου Διεξαγωγής Πειράματος	23
2.3.1. Ο Στίβος Προπόνησης του “Ομίλου Ερετών”	24
2.3.2. Το Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο στο Σχινιά	25
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	26
3.1. Πειραματική Διαδικασία στο Μικρολίμανο	26
3.1.1. Περιγραφή Διαδρομής E1	29
3.1.2. Περιγραφή Διαδρομής E2	32
3.1.3. Περιγραφή Διαδρομής E3	33
3.1.4. Περιγραφή Διαδρομής E4	34
3.1.5. Περιγραφή Διαδρομής E5	35
3.1.6. Περιγραφή Διαδρομής E6	36
3.1.7. Περιγραφή Διαδρομής E7	37
3.2. Πειραματική Διαδικασία στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο	40
3.2.1. Περιγραφή Διαδρομής S1	43
3.2.2. Περιγραφή Διαδρομής S2	45
3.2.3. Περιγραφή Διαδρομής S3	47
3.2.4. Περιγραφή Διαδρομής S4	49
4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	50
4.1. Στατιστική Ανάλυση Φάσεων Κουπιάς	50
4.1.1. Ανάλυση Φάσεων Κουπιάς με Ρυθμό Κίνησης 20 spm	50

4.1.2. Ανάλυση Φάσεων Κουπιάς με Ρυθμό Κίνησης 32 srm	55
4.1.3. Ανάλυση Διανυθείσας Απόστασης ανά Κουπιά	57
4.2. Η Επίδραση του Ανέμου και των Αθλητών	64
4.2.1. Η Επίδραση του Ανέμου	64
4.2.2. Η Επίδραση των Αθλητών	67
4.3. Ανάλυση Δεδομένων Αδρανειακού Συστήματος	67
4.3.1. Ανάλυση Καμπύλης Επιτάχυνσης	68
4.3.2. Υπολογισμός Γωνιών Στροφής του Σκάφους	72
4.4. Φασματική Ανάλυση Δεδομένων	77
4.4.1. Θεωρητικό Υπόβαθρο	77
4.4.2. Σχολιασμός Αποτελεσμάτων	79
4.4.2.1. Βασικές Συχνότητες Διαγραμμάτων Ταχύτητας	79
4.4.2.2. Βασικές Συχνότητες Διαγράμματος Επιτάχυνσης	81
4.4.2.3. Βασικές Συχνότητες Γωνιών Στροφής	84
4.4.2.4. Βασικές Συχνότητες Διαγράμματος Ύψομέτρου	86
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ	88
5.1. Αξιολόγηση Πειραματικής Διάταξης	88
5.1.1. Σύστημα Γεωδαιτικών Δεκτών GPS	88
5.1.2. Γεωδαιτικός Σταθμός	88
5.1.3. Αδρανειακό Σύστημα Εντοπισμού	89
5.2. Συμπεράσματα Αναφορικά με τα Μεγέθη που Υπολογίστηκαν	89
5.2.1. Ταχύτητα και Επιτάχυνση	89
5.2.2. Γωνίες Στροφής του Σκάφους	89
5.2.3. Άλλες Παρατηρήσεις	90
5.3. Προτάσεις για Περαιτέρω Διερεύνηση	90
5.3.1. Θέματα για Διερεύνηση	90
5.3.2. Τροποποιήσεις στην Πειραματική Διάταξη	91
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	93

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1 Συνθήκες εκτέλεσης πρώτου πειράματος	26
Πίνακας 3.2 Μικρολίμανο: Στατιστικά στοιχεία δεδομένων συλλογής	28
Πίνακας 3.3 Συνθήκες εκτέλεσης δεύτερου πειράματος	40
Πίνακας 3.4 Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο: Στατιστικά στοιχεία δεδομένων συλλογής	43
Πίνακας 4.1 Διάρκεια φάσεων “κύκλου κουπιάς”, Διαδρομή E2	54
Πίνακας 4.2 Διάρκεια φάσεων “κύκλου κουπιάς”, Διαδρομή E7	57
Πίνακας 4.3 Διάρκεια “κύκλου κουπιάς” και απόσταση, Διαδρομή E2	58
Πίνακας 4.4 Διάρκεια “κύκλου κουπιάς” και απόσταση, Διαδρομή E7	60
Πίνακας 4.5 Διάρκεια “κύκλου κουπιάς” και απόσταση, Διαδρομή S1 (μετάβαση)	61
Πίνακας 4.6 Διάρκεια “κύκλου κουπιάς” και απόσταση, Διαδρομή S1 (επιστροφή)	63
Πίνακας 4.7 Διάρκεια φάσεων “κύκλου κουπιάς”, Διαδρομή S1 (μετάβαση)	65
Πίνακας 4.8 Διάρκεια φάσεων “κύκλου κουπιάς”, Διαδρομή S1 (επιστροφή)	66

TABLE INDEX

Table 3.1 Test area and weather conditions during the first experiment	26
Table 3.2 Mikrolimano: Field data statistics overview	28
Table 3.3 Conditions governing the second experiment	40
Table 3.4 Olympic Rowing Center: Field data statistics overview	43
Table 4.1 “Paddle stroke” phase durations, Trial Run E2	54
Table 4.2 “Paddle stroke” phase durations, Trial Run E7	57
Table 4.3 “Paddle stroke” duration and distance covered, Trial Run E2	58
Table 4.4 “Paddle stroke” duration and distance covered, Trial Run E7	60
Table 4.5 “Paddle stroke” duration and distance covered, Trial Run S1 (forward run)	61
Table 4.6 “Paddle stroke” duration and distance covered, Trial Run S1 (backward run)	63
Table 4.7 “Paddle stroke” phase durations, Trial Run S1 (forward run)	65
Table 4.8 “Paddle stroke” phase durations, Trial Run S1 (backward run)	66

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 Κωπηλατικό “σκιφ”	04
Σχήμα 1.2 Σύστημα σκάφους – νερού	08
Σχήμα 2.1 Γεωδαιτικός Σταθμός Leica TCA 1800	16
Σχήμα 2.2 Αδρανειακό σύστημα εντοπισμού MIDG II INS/GPS	17
Σχήμα 2.3 Διάταξη καταγραφής	19
Σχήμα 2.4 Μονοθέσιο κωπηλατικό “σκιφ”	20
Σχήμα 2.5 Καλούπι κατασκευής βάσης τοποθέτησης οργάνων	21
Σχήμα 2.6 Βάση τοποθέτησης οργάνων	21
Σχήμα 2.7 Πάνω και κάτω: Κεραία GPS και πρίσμα Γεωδαιτικού Σταθμού τοποθετημένα στο σκάφος	22
Σχήμα 2.8 Ο αθλητής κωπηλασίας Ευστράτιος Αλεξίδης στο σκάφος με την πειραματική διάταξη	23
Σχήμα 2.9 Δορυφορική εικόνα Μικρολίμανου (πηγή: Google Earth)	25
Σχήμα 2.10 Δορυφορική εικόνα κωπηλατοδρόμιου Σχινιά (πηγή: Google Earth)	25
Σχήμα 3.1 Ο αθλητής κωπηλασίας Ευστράτιος Αλεξίδης στο σκάφος με την πειραματική διάταξη κατά την πρώτη σειρά δοκιμών	27
Σχήμα 3.2 Σύνοψη διαδρομών πρώτου πειράματος σε δορυφορική εικόνα	28
Σχήμα 3.3 Διαδρομή E1 – Επίλυση GPS	29
Σχήμα 3.4 Διαδρομή E1 – Επίλυση Γεωδαιτικού Σταθμού	29
Σχήμα 3.5 Διαδρομή E1: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS	30
Σχήμα 3.6 Διαδρομή E1: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση Γεωδαιτικού Σταθμού	30
Σχήμα 3.7 Διαδρομή E2 – Επίλυση GPS	32
Σχήμα 3.8 Διαδρομή E2: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS	32
Σχήμα 3.9 Διαδρομή E3 – Επίλυση GPS	33
Σχήμα 3.10 Διαδρομή E3: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS	33

Σχήμα 3.11 Διαδρομή E4 – Επίλυση GPS	34
Σχήμα 3.12 Διαδρομή E4: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS	34
Σχήμα 3.13 Διαδρομή E5 – Επίλυση GPS	35
Σχήμα 3.14 Διαδρομή E5: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS	35
Σχήμα 3.15 Διαδρομή E6 – Επίλυση GPS	36
Σχήμα 3.16 Διαδρομή E6: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS	36
Σχήμα 3.17 Διαδρομή E7 – Επίλυση GPS	37
Σχήμα 3.18 Διαδρομή E7 – Επίλυση Γεωδαιτικού Σταθμού	38
Σχήμα 3.19 Διαδρομή E7: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS	38
Σχήμα 3.20 Διαδρομή E7: Απόσπασμα διαγράμματος ταχύτητας – χρόνου, επίλυση Γεωδαιτικού Σταθμού	39
Σχήμα 3.21 Αποψη του Ολυμπιακού Κωπηλατοδρομίου Σχινιά	40
Σχήμα 3.22 Ο αθλητής κωπηλασίας Αναστάσιος Μαρίνος στο σκάφος με την πειραματική διάταξη κατά τη δεύτερη σειρά δοκιμών	41
Σχήμα 3.23 Κεραία δέκτη GPS, αδρανειακό σύστημα εντοπισμού και περιβλεπτο πρίσμα τοποθετημένα στο σκάφος	42
Σχήμα 3.24 Διαδρομή S1 σε μετάβαση και επιστροφή – Επίλυση GPS	43
Σχήμα 3.25 Διαδρομή S1 σε μετάβαση: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS	44
Σχήμα 3.26 Διαδρομή S1 σε επιστροφή: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS	44
Σχήμα 3.27 Διαδρομή S2 σε μετάβαση και επιστροφή – Επίλυση GPS	45
Σχήμα 3.28 Διαδρομή S2 σε μετάβαση: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS	46
Σχήμα 3.29 Διαδρομή S2 σε επιστροφή: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS	46
Σχήμα 3.30 Διαδρομή S3 σε μετάβαση και επιστροφή – Επίλυση GPS	47
Σχήμα 3.31 Διαδρομή S3 σε μετάβαση: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS	48
Σχήμα 3.32 Διαδρομή S3 σε επιστροφή: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS	48
Σχήμα 3.34 Διαδρομή S4 σε μετάβαση – Επίλυση GPS	49
Σχήμα 3.35 Διαδρομή S4 σε μετάβαση: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS	49
Σχήμα 4.1 Διάγραμμα ταχύτητας – χρόνου (απόσπασμα), Διαδρομή E2	51
Σχήμα 4.2 Ανάλυση του “κύκλου κουπιάς” σε φάσεις στο διάγραμμα ταχύτητας – χρόνου, Διαδρομή E2	51
Σχήμα 4.3 Επικαλυπτόμενα διαγράμματα ταχύτητας - χρόνου και επιτάχυνσης - χρόνου, Διαδρομή E2	53
Σχήμα 4.4 Ανάλυση του “κύκλου κουπιάς” σε φάσεις στο διάγραμμα επιτάχυνσης - χρόνου, Διαδρομή E2	54
Σχήμα 4.5 Διάρκεια φάσεων “κύκλου κουπιάς”, Διαδρομή E2	55
Σχήμα 4.6 Ανάλυση του “κύκλου κουπιάς” σε φάσεις στο διάγραμμα ταχύτητας – χρόνου, Διαδρομή E7	56
Σχήμα 4.7 Απόσπασμα διαγράμματος ταχύτητας - απόστασης, Διαδρομή E2	58
Σχήμα 4.8 Διάγραμμα “κύκλου κουπιάς” - απόστασης, Διαδρομή E2	59
Σχήμα 4.9 Απόσπασμα διαγράμματος ταχύτητας – απόστασης, Διαδρομή E7	59
Σχήμα 4.10 Διάγραμμα “κύκλου κουπιάς” - απόστασης, Διαδρομή E7	60
Σχήμα 4.11 Απόσπασμα διαγράμματος ταχύτητας - απόστασης, Διαδρομή S1 (μετάβαση)	61
Σχήμα 4.12 Διάγραμμα “κύκλου κουπιάς” - απόστασης, Διαδρομή S1 (μετάβαση)	62
Σχήμα 4.13 Απόσπασμα διαγράμματος ταχύτητας – απόστασης, Διαδρομή S1 (επιστροφή)	62
Σχήμα 4.14 Διάγραμμα “κύκλου κουπιάς” – απόστασης, Διαδρομή S1 (επιστροφή)	63
Σχήμα 4.15 Απόσπασμα διαγράμματος ταχύτητας – χρόνου, Διαδρομή S1 (μετάβαση)	65
Σχήμα 4.16 Απόσπασμα διαγράμματος ταχύτητας – χρόνου, Διαδρομή S1 (επιστροφή)	66
Σχήμα 4.17 Σύγκριση καμπυλών ταχύτητας διαφορετικών αθλητών	67
Σχήμα 4.18 Αδρανειακό σύστημα: Διάγραμμα επιτάχυνσης - χρόνου, Διαδρομή S3	68
Σχήμα 4.19 Συγκριτική αντιπαραβολή διαγραμμάτων επιτάχυνσης – χρόνου συστημάτων GPS και INS, Διαδρομή S3	69
Σχήμα 4.20 Διαφορά διαγραμμάτων επιτάχυνσης συστημάτων GPS και INS, Διαδρομή S3	70
Σχήμα 4.21 Διάγραμμα ετεροσυσχέτισης επιτάχυνσης δεδομένων αδρανειακού και GPS	71
Σχήμα 4.22 Διάγραμμα ετεροσυσχέτισης επιτάχυνσης δεδομένων αδρανειακού και GPS (λεπτομέρεια)	72
Σχήμα 4.23 Γωνίες στροφής σκάφους	73
Σχήμα 4.24 Προνευτασμός σκάφους	74
Σχήμα 4.25 Διατοιχισμός σκάφους	75
Σχήμα 4.26 Αζιμούθιο σκάφους	76
Σχήμα 4.27 Ετεροσυσχέτιση προνευτασμού και επιτάχυνσης αδρανειακού συστήματος	76

Σχήμα 4.28 Περιοδόγραμμα ταχύτητας - χρόνου GPS, Διαδρομή E2	80
Σχήμα 4.29 Περιοδόγραμμα ταχύτητας - χρόνου GPS, Διαδρομή S1	80
Σχήμα 4.30 Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου GPS, Διαδρομή E2	81
Σχήμα 4.31 Ανακατασκευασμένη καμπύλη ταχύτητας με βάση τις βασικές συχνότητες κίνησης	81
Σχήμα 4.32 Περιοδόγραμμα επιτάχυνσης - χρόνου GPS, Διαδρομή E2	82
Σχήμα 4.33 Περιοδόγραμμα επιτάχυνσης – χρόνου GPS, Διαδρομή S3	83
Σχήμα 4.34 Περιοδόγραμμα επιτάχυνσης - χρόνου αδρανειακού συστήματος, Διαδρομή S3	83
Σχήμα 4.35 Περιοδόγραμμα προνευτασμού - χρόνου αδρανειακού συστήματος, Διαδρομή S3	84
Σχήμα 4.36 Περιοδόγραμμα διατοιχισμού - χρόνου αδρανειακού συστήματος, Διαδρομή S3	85
Σχήμα 4.37 Περιοδόγραμμα αζιμουθιακής μεταβολής - χρόνου αδρανειακού συστήματος, Διαδρομή S3	85
Σχήμα 4.38 Περιοδόγραμμα ύψους – χρόνου GPS, Διαδρομή E2	87
Σχήμα 4.39 Περιοδόγραμμα ύψους – χρόνου Γεωδαιτικός Σταθμός, Διαδρομή E2	87

FIGURE INDEX

Figure 1.1 Rowing “skiff” boat	04
Figure 1.2 Boat – water system	08
Figure 2.1 Leica TCA 1800 Total Station	16
Figure 2.2 Inertial system MIDG II INS/GPS	17
Figure 2.3 Structure of data acquisition system	19
Figure 2.4 One man rowing “skiff”	20
Figure 2.5 Mould applied for the construction of the sensor mounting base	21
Figure 2.6 On purpose built sensor mounting base	21
Figure 2.7 Above and below: GPS antenna and Total Station prism fixed on the sensor base	22
Figure 2.8 Rowing athlete Eustratios Alexidis on board a rowing skiff bearing the experimental arrangement	23
Figure 2.9 Mikrolimano satellite image (source: Google Earth)	25
Figure 2.10 Satellite image of the Skinias rowing stadium (source: Google Earth)	25
Figure 3.1 Rowing athlete Eustratios Alexidis on board a rowing skiff bearing the experimental arrangement during the first set of trial runs	27
Figure 3.2 Trial runs of the first experiment overlaid on a satellite image	28
Figure 3.3 Trial Run E1 – GPS Solution	29
Figure 3.4 Trial Run E1 – Tracking Total Station Solution	29
Figure 3.5 Trial Run E1: Velocity - time diagram, GPS solution	30
Figure 3.6 Trial Run E1: Velocity - time diagram, Tracking Total Station solution	30
Figure 3.7 Trial Run E2 – GPS Solution	32
Figure 3.8 Trial Run E2: Velocity - time diagram, GPS solution	32
Figure 3.9 Trial Run E3 – GPS solution	33
Figure 3.10 Trial Run E3: Velocity - time diagram, GPS solution	33
Figure 3.11 Trial Run E4 – GPS solution	34
Figure 3.12 Trial Run E4: Velocity - time diagram, GPS solution	34
Figure 3.13 Trial Run E5 – GPS solution	35
Figure 3.14 Trial Run E5: Velocity - time diagram, GPS solution	35
Figure 3.15 Trial Run E6 – GPS solution	36
Figure 3.16 Trial Run E6: Velocity - time diagram, GPS solution	36
Figure 3.17 Trial Run E7 – GPS solution	37
Figure 3.18 Trial Run E7 – Tracking Total Station solution	38
Figure 3.19 Trial Run E7: Velocity - time diagram, GPS solution	38
Figure 3.20 Trial Run E7: Velocity - time diagram segment, Tracking Total Station solution	39
Figure 3.21 View of the Skinias Olympic Rowing Center	40
Figure 3.22 Rowing athlete Anastasios Marinos on board a rowing skiff bearing the experimental arrangement during the second set of trial runs	41
Figure 3.23 GPS antenna, inertial guidance system and 360 degrees prism mounted on the boat	42
Figure 3.24 Trial Run S1 forward and backwards run – GPS Solution	43
Figure 3.25 Trial Run S1 forward run: Velocity - time diagram, GPS solution	44
Figure 3.26 Trial Run S1 backward run: Velocity - time diagram, GPS solution	44
Figure 3.27 Trial Run S2 forwards and backwards run – GPS Solution	45
Figure 3.28 Trial Run S2 forward run: Velocity - time diagram, GPS solution	46
Figure 3.29 Trial Run S2 backward run: Velocity - time diagram, GPS solution	46
Figure 3.30 Trial Run S3 forwards and backwards run – GPS Solution	47

Figure 3.31 Trial Run S3 forward run: Velocity - time diagram, GPS solution	48
Figure 3.32 Trial Run S3 backward run: Velocity - time diagram, GPS solution	48
Figure 3.34 Trial Run S4 forwards run – GPS Solution	49
Figure 3.35 Trial Run S4 forward run: Velocity - time diagram, GPS solution	49
Figure 4.1 Velocity - time diagram segment, Trial Run E2	51
Figure 4.2 “Paddle stroke” analysis on the velocity - time diagram, Trial Run E2	51
Figure 4.3 Overlaid velocity - time and acceleration - time diagrams, Trial Run E2	53
Figure 4.4 “Paddle stroke” analysis on the acceleration - time diagram, Trial Run E2	54
Figure 4.5 “Paddle stroke” phase durations, Trial Run E2	55
Figure 4.6 “Paddle stroke” analysis on the velocity - time diagram, Trial Run E7	56
Figure 4.7 Velocity - distance chart segment, Trial Run E2	58
Figure 4.8 “Paddle stroke” - distance diagram, Trial Run E2	59
Figure 4.9 Velocity - distance chart segment, Trial Run E7	59
Figure 4.10 “Paddle stroke” - distance diagram, Trial Run E7	60
Figure 4.11 Velocity - distance chart segment, Trial Run S1 (forward run)	61
Figure 4.12 “Paddle stroke” - distance diagram, Trial Run S1 (forward run)	62
Figure 4.13 Velocity - distance chart segment, Trial Run S1 (backward run)	62
Figure 4.14 “Paddle stroke” - distance diagram, Trial Run S1 (backward run)	63
Figure 4.15 Velocity - time chart segment, Trial Run S1 (forward run)	65
Figure 4.16 Velocity - time chart segment, Trial Run S1 (backward run)	66
Figure 4.17 Comparison of velocity curves generated by different athletes	67
Figure 4.18 Inertial system: Acceleration - time diagram, Trial Run S3	68
Figure 4.19 Comparison of the acceleration – time diagrams produced by the GPS and INS systems, Trial Run S3	69
Figure 4.20 GPS and INS acceleration diagram difference, Trial Run S3	70
Figure 4.21 Cross-correlation diagram for GPS and INS acceleration	71
Figure 4.22 Cross-correlation diagram for GPS and INS acceleration (detail)	72
Figure 4.23 Yaw pitch and roll rotational angles	73
Figure 4.24 Pitch - time diagram	74
Figure 4.25 Roll - time diagram	75
Figure 4.26 Yaw - time diagram	76
Figure 4.27 Cross-correlation diagram of INS acceleration and pitch angle	76
Figure 4.28 GPS velocity - time periodogram, Trial Run E2	80
Figure 4.29 GPS velocity - time periodogram, Trial Run S1	80
Figure 4.30 Velocity - time diagram, Trial Run E2	81
Figure 4.31 Reconstructed velocity diagram based on the dominal frequencies	81
Figure 4.32 GPS acceleration - time pe–riodogram, Trial Run E2	82
Figure 4.33 GPS acceleration – time periodogram, Trial Run S3	83
Figure 4.34 Inertial system velocity - time periodogram, Trial Run S3	83
Figure 4.35 Inertial system pitch - time periodogram, Trial Run S3	84
Figure 4.36 Inertial system roll - time periodogram, Trial Run S3	85
Figure 4.37 Inertial system yaw - time periodogram, Trial Run S3	85
Figure 4.38 GPS height – time periodogram, Trial Run E2	87
Figure 4.39 Total Station height – time periodogram, Trial Run E2	87

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Την τελευταία πενταετία, η εφαρμογή σύγχρονων δορυφορικών και οπτικών συστημάτων εντοπισμού στο άθλημα της κωπηλασίας αποτελεί αντικείμενο εφαρμοσμένης έρευνας με ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα σε πολλά αθλητικά, πανεπιστημιακά και ερευνητικά κέντρα διεθνώς. Αξιόλογη πρόοδο στο συγκεκριμένο ερευνητικό τομέα επιδεικνύουν χώρες με ιδιαίτερη παράδοση στο άθλημα όπως η Νέα Ζηλανδία, η Αυστραλία και η Μεγάλη Βρετανία.

Αν και η Ελλάδα έχει διακριθεί διεθνώς αρκετές φορές στην κωπηλασία, η προσπάθεια των προπονητών και των αθλητών δεν συνοδεύεται από την ανάλογη επιστημονική υποστήριξη όσον αφορά την αξιολόγηση των υλικών που χρησιμοποιούνται, τη βελτίωση της προπονητικής διαδικασίας και των εντοπισμό σφαλμάτων των αθλητών.

Η παρούσα εργασία έγινε στα πλαίσια της προσπάθειας να μελετηθεί η τεχνική των αθλητών όπως αυτή καταγράφεται από ποικιλία αισθητήρων και την αξιολόγηση και ανάλυση των αποτελεσμάτων, συνδυάζοντας την εμπειρία των προπονητών με σύγχρονες επιστημονικές μεθόδους.

Σε συνεργασία με την Ελληνική Κωπηλατική Ομοσπονδία Φιλάθλων Ναυτικών Σωματείων (ΕΚΟΦΝΣ) και την Εθνική Ομάδα Κωπηλασίας, πραγματοποιήθηκαν δύο σειρές πειραμάτων με σκοπό να συλλεχθούν δεδομένα. Το πρώτο έγινε στο Μικρολίμανο σε χώρο εντός του λιμανιού ενώ το δεύτερο έγινε στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο στο Σχινιά σε πραγματικές αγωνιστικές συνθήκες. Σκοπός των πειραμάτων ήταν ο υπολογισμός των κινηματικών χαρακτηριστικών του κωπηλατικού σκάφους και για αυτό κατασκευάστηκε ειδική μετρητική διάταξη που περιελάμβανε ένα αδρανειακό σύστημα μέτρησης, ένα Γεωδαιτικό Σταθμό με δυνατότητα αυτόματης παρακολούθησης στόχου και ένα ζεύγος δορυφορικών δεκτών GPS υψηλής συχνότητας καταγραφής.

Επειδή η κωπηλασία στηρίζεται στην επανάληψη της ίδιας κίνησης από την πλευρά του αθλητή, τα μεγέθη που μετρήθηκαν από τους αισθητήρες μελετήθηκαν ως προς την περιοδικότητά τους και τη μεταξύ τους συσχέτιση. Αξιόλογα συμπεράσματα προέκυψαν για μεγέθη όπως η ταχύτητα, η επιτάχυνση και ο προνευτασμός του σκάφους. Από τη μελέτη των διαγραμμάτων ταχύτητας και επιτάχυνσης επιτεύχθηκε η λεπτομερής ανάλυση της τεχνικής των αθλητών και ο εντοπισμός των λαθών που

έκαναν κατά τις δοκιμαστικές διαδρομές, γεγονός που υποδεικνύει πως η πειραματική διάταξη μπορεί αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο για τους προπονητές.

ABSTRACT

In the past five years, the application of satellite and optical tracking systems in the rowing athletic discipline has been the object of many studies with positive results conducted on behalf of universities, research or sports centers. Countries with notable achievements in rowing have made notable progress in the scientific research associated with the sport.

Even if Greek rowing teams have achieved many times international distinctions, the continuous effort made by the coaches and athletes is not accompanied by much needed scientific support regarding the evaluation of rowing equipment, the optimization of the coaching proceedings and the detection of errors in technique.

In an effort to offer this kind of support to rowing teams, this essay aims at the studying of the athletes' technique as it is recorded by multiple sensors and the consequent analysis of the results by combining modern scientific processes with the advice the experienced coaches have to offer.

In cooperation with the Greek Rowing Federation and the National Rowing Team, two experiments were carried out in order to gather data. The first took place at Microlimano inside the port and the second one at the Skinias Olympic Rowing Center. The experiments were aiming at the measuring of the kinematic characteristics regarding the rowing skiffboat and for that purpose, a special experimental arrangement was assemble including an inertial measuring system, a Total Station with the ability to automatically target its prism and a pair of high frequency GPS receivers.

Because the basic principle of rowing is the repetition of the oar movement, the measurements were checked if they can be labeled as periodic and if they have any degree of cross correlation. Most notably, interesting results occurred for measurements such as velocity, acceleration and boat pitch. Through the studying of the velocity and acceleration diagrams not only did it become possible to analyze the details of the technique used by each athlete but to also detect errors made by them during the test runs. This implies that the experimental process could become a viable option for coaches who wish to optimize the training process.

1. ΤΟ ΑΘΛΗΜΑ ΤΗΣ ΚΩΠΗΛΑΣΙΑΣ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΠΟΝΗΣΗΣ

1.1. Το Άθλημα της Κωπηλασίας

1.1.1. Γενικές Επισημάνσεις

Η κωπηλασία αποτελεί μία από τις αρχαιότερες δραστηριότητες στον Ελλαδικό χώρο. Από την εποχή του Ομήρου, οι μετακινήσεις και οι πολεμικές επιχειρήσεις στη θάλασσα εξαρτιόνταν καθοριστικά στην ικανότητα του πληρώματος να πλοηγεί το σκάφος με τη χρήση κουπιών. Οι πρώτοι λαοί που κατασκεύασαν κωπηλατικά σκάφη ήταν οι Έλληνες και οι Αιγύπτιοι. Ωστόσο, την εποχή των Βίκινγκς η κατάσταση άλλαξε ριζικά με την εγκατάσταση ιστίων, προσθήκη που τους επέτρεπε την ανάπτυξη υψηλών ταχυτήτων με ευνοϊκό άνεμο. Αυτή η τεχνική παρέμεινε το κύριο μέσο θαλάσσιων μεταφορών για αρκετά χρόνια μετά την ανακάλυψή τους, έως τη σταδιακή αντικατάστασή τους από ατμοκινούμενα σκάφη.

Σε αντίθεση με την εκμετάλλευση του ανέμου για την κίνηση του σκάφους, η τεχνική της κωπηλασίας προσφέρει μεγαλύτερες επιταχύνσεις και μικρότερο βαθμό εξάρτησης από τις καιρικές συνθήκες. Στα μειονεκτήματα της τεχνικής συμπεριλαμβάνεται ο παράγοντας της κόπωσης και η απαίτηση εκπαιδευμένου πληρώματος. Λέγεται πως οι Αθηναίοι χρειάζονταν έως και 170 ερέτες (κωπηλάτες) στις τριήρεις για την εκτέλεση πολεμικών ελιγμών [12].

Αναφορικά με την τοποθέτηση του πληρώματος στο σκάφος, ο κωπηλάτης κάθεται με την πλάτη προς την κατεύθυνση κίνησης του σκάφους ενώ τα κουπιά στηρίζονται στα πλάγια της καρίνας. Από την εποχή της ναυμαχίας της Σαλαμίνας υπάρχουν αναφορές πως το κάθισμα του κωπηλάτη είχε κινητά μέρη για να μπορεί να χρησιμοποιεί καλύτερα τη δύναμη των ποδιών του για επιπλέον ώθηση, τεχνική η οποία χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα.

Η αγωνιστική κωπηλασία αποτελεί ιδιαίτερα εξελιγμένο διεθνές άθλημα το οποίο γίνεται όλο και πιο δημοφιλές με την πάροδο του χρόνου. Ένας τυπικός αγώνας περιλαμβάνει διαδρομή περίπου 2.000 m σε ποταμό, κανάλι ή λίμνη μόνο σε μετάβαση και κατά το δυνατόν σε ευθύγραμμη τροχιά.

Αν και υπάρχουν αναφορές για αθλητικά γεγονότα που περιελάμβαναν κωπηλασία από την εποχή της ακμής των Αιγυπτίων, στις μέρες μας υφίσταται επισήμως ως άθλημα από το 1892, οπότε και ιδρύθηκε η αρμόδια Γαλλική Ομοσπονδία FISA και οργανώθηκε το πρώτο πανευρωπαϊκό πρωτάθλημα [12].

Το πρώτο αθλητικό σωματείο που ιδρύθηκε στην Ελλάδα είναι ο Όμιλος Ερετών ο οποίος εδρεύει στον Πειραιά και ασχολείται αποκλειστικά με την κωπηλασία, ενώ οι πρώτοι πανελλήνιοι αγώνες πραγματοποιήθηκαν το 1906. Σήμερα, υπεύθυνη για το συντονισμό των Σωματείων και την οργάνωση αγώνων είναι η Ελληνική Κωπηλατική Ομοσπονδία Φιλάθλων Ναυτικών Σωματείων (ΕΚΟΦΝΣ) [15].

Σε Ολυμπιακό επίπεδο, παρόλο που ήταν προγραμματισμένο να συμπεριληφθεί η κωπηλασία στους Ολυμπιακούς Αγώνες του 1896, δυσμενείς καιρικές συνθήκες οδήγησαν στο να μη διεξαχθεί το άθλημα το οποίο συμπεριλήφθηκε τελικά το 1900 στη διοργάνωση.

Η σημαντικότερη διοργάνωση κωπηλατικών αγώνων στην Ελλάδα έγινε στα πλαίσια των Ολυμπιακών Αγώνων Αθήνα 2004, στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο του Σχινιά όπου συμμετείχαν συνολικά 550 αθλητές (358 άντρες και 192 γυναίκες) από όλο τον κόσμο.

1.1.2. Το Κωπηλατικό “Σκιφ”

Τα κωπηλατικά “σκιφ” αποτελούν ανοικτά σκάφη με κατάλληλη διαρρύθμιση για τις θέσεις των αθλητών και ανάλογα με τον τύπο του σκάφους με επιπλέον χώρο για ένα πηδαλιούχο.



Σχήμα 1.1 Κωπηλατικό “σκιφ”
Figure 1.1 Rowing “skiff” boat

Το αγωνιστικό “σκιφ” χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα μικρό βάρος σε αντίθεση με τις δυνάμεις που ασκούνται επάνω του. Το “σκιφ” που μεταφέρει ένα μόνο αθλητή, γνωστό και ως “απλό σκιφ”, ζυγίζει περί τα 20 kgf μαζί με τα κουπιά ενώ μπορεί να

υπόκειται σε επιταχύνσεις μεγαλύτερες από 2 g κατά τη διάρκεια τυπικού αγώνα. Δίνεται συνεπώς ιδιαίτερη έμφαση στην ποιότητα των υλικών κατασκευής του σκάφους ώστε να μπορεί να αντέχει τις δυνάμεις που αναπτύσσονται.

Σε επίσημους αγώνες χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι σκαφών με διαφορετικό αριθμό κουπιών και αθλητών. Δύο βασικές κατηγορίες διακρίνονται για τους Ολυμπιακούς Αγώνες [11]:

Τα “κωπηλατικά σκιφ” όπου οι αθλητές χειρίζονται δύο κουπιά, πάχους 3 mm το καθένα. Διακρίνονται στο:

- “απλό σκιφ” (1X) με έναν αθλητή (ελάχιστο βάρος 14 kgr),
- “διπλό σκιφ” (2X) με δύο αθλητές (ελάχιστο βάρος 27 kgr),
- “τετραπλό σκιφ” (4X) με τέσσερις αθλητές (ελάχιστο βάρος 52 kgr).

Στην άλλη κατηγορία οι κωπηλάτες κρατούν ένα κουπί πάχους 5 mm. Διακρίνονται τέσσερις σχηματισμοί:

- δίκωπος με δύο αθλητές χωρίς πηδαλιούχο (2-) (ελάχιστο βάρος 27 kgr),
- δίκωπος με δύο αθλητές και πηδαλιούχο (2+) (ελάχιστο βάρος 32 kgr),
- τετράκωπος με τέσσερις αθλητές και πηδαλιούχο (4+) (ελάχιστο βάρος 51 kgr),
- οκτάκωπος με οχτώ αθλητές και πηδαλιούχο (8) (ελάχιστο βάρος 96 kgr).

Τα βάρη που δίνονται περιλαμβάνουν το βάρος του σκάφους και τυχόν παρελκόμενα, όπως το κάθισμα. Το ελάχιστο μήκος σκάφους για επίσημους αγώνες ανέρχεται στα 7.20 m.

1.2. Η Τεχνική της Κωπηλασίας

1.2.1. Οι Φάσεις του “Κύκλου Κουπιάς”

Για την εκτέλεση αγωνιστικής κουπιάς ο αθλητής χρησιμοποιεί τα πόδια, την πλάτη και τα χέρια του ταυτόχρονα. Η κίνηση απαιτεί πολύ καλό συγχρονισμό μεταξύ των μελών του αθλητή και τα κουπιά πρέπει να κινούνται συντονισμένα προκειμένου να διατηρεί το σκάφος ευθύγραμμη τροχιά. Σε συνθήκες αγώνα, ο αθλητής επιδιώκει να διατηρεί σταθερή την ταχύτητα της λέμβου για το μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής οπότε προκειμένου να επιτύχει τη μέγιστη δυνατή περιοδικότητα και επαναληπτικότητα κατά την κίνηση. Η ανάλυση των κινηματικών χαρακτηριστικών

του σκάφους για να επιτευχθεί η “ιδανική” κουπιά είναι ο στόχος των προπονητών κατά την εκπαιδευτική διαδικασία.

Η περιοδική κίνηση ονομάζεται “κύκλος κουπιάς” και μπορεί να αναλυθεί σε τέσσερις φάσεις [1], ως εξής:

Η φάση της εισόδου της λεπίδας του κουπιού στο νερό (Catch)

Η φάση αυτή είναι γνωστή ως “άρπαγμα” αποτελεί το δυσκολότερο τμήμα του κύκλου καθώς πρέπει να διαρκέσει τον ελάχιστο δυνατό χρόνο και να έχει ολοκληρωθεί πριν τα πόδια του αθλητή διπλωθούν εντελώς. Η λεπίδα εισάγεται κάθετα προς την επιφάνεια του νερού. Με τη βύθιση του κουπιού, το σκάφος επιβραδύνει απότομα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, οπότε είναι απαραίτητο να ξεκινήσει άμεσα η επόμενη φάση.



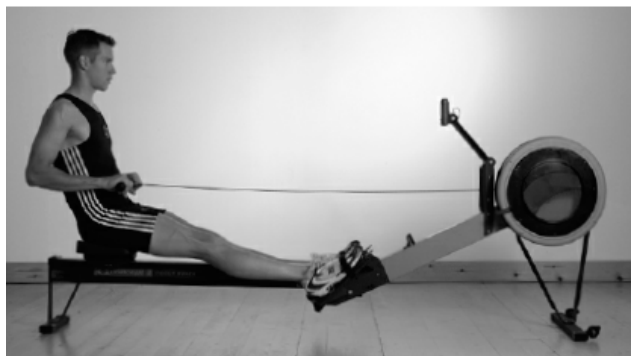
Η φάση της ώθησης (Drive)

Η φάση αυτή είναι γνωστή ως “τράβηγμα”. Ο αθλητής εφαρμόζει αντίσταση με τα πόδια, ενώ σπρώχνει το νερό με τα κουπιά για να δώσει ώθηση στο σκάφος. Σε αυτό το σημείο αρχίζει η επιτάχυνση του σκάφους η οποία διαρκεί έως την επόμενη επιστροφή στην πρώτη φάση. Η κίνηση επιτυγχάνεται κυρίως με τον κορμό και την πλάτη του αθλητή και λιγότερο με τα χέρια.



Η φάση εξαγωγής του κουπιού από το νερό (Finish)

Η φάση αυτή είναι γνωστή ως “ξενέρωμα”. Η διαδικασία ξεκινάει όταν ο αθλητής βρίσκεται στα τρία τέταρτα της κίνησης της ώθησης και



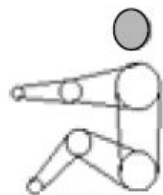
πλησιάζει το μπροστινό μέρος του σκάφους. Λίγο πριν τεντωθούν τα πόδια του εντελώς, τινάζει τα χέρια ώστε να βγάλει τη λεπίδα του κουπιού από το νερό ομαλά χωρίς να προκαλέσει ταλάντωση στο σκάφος. Η εξαγωγή περιλαμβάνει τη στροφή της λεπίδας παράλληλα με την επιφάνεια του νερού.

Η φάση επαναφοράς (Recovery)

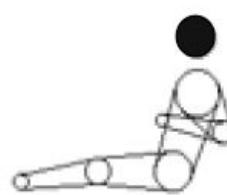
Κατά το τελευταίο τμήμα του “κύκλου κουπιάς”, ο αθλητής διπλώνει τα γόνατά του ώστε το κάθισμα (καρέλο ή σέλημα) να βρεθεί πάλι στο πίσω μέρος του σκάφους, ενώ παράλληλα τινάζει τα κουπιά προς την αντίθετη πλευρά. Κατά το τελευταίο στάδιο, είναι πιθανό να δημιουργηθεί αστάθεια στο σκάφος, για αυτό ο αθλητής βιάζεται να επανέλθει στη φάση του αρπάγματος.



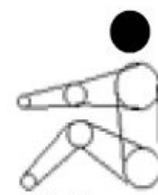
α. άρπαγμα
(catch)



β. τράβηγμα
(drive)



γ. ξενέρωμα
(finish)



δ. επαναφορά
(recovery)

Τρεις είναι οι βασικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν τον ο κουπιάς [2]:

- Η ανταπόκριση του σκάφους σε κάθε κουπιά είναι γνωστή ως Δύναμη Κουπιάς (Stroke Power).
- Η απόσταση που διανύει το σκάφος κατά τη διάρκεια του “κύκλου κουπιάς” χαρακτηρίζεται από το Μήκος Κουπιάς (Stroke Length).
- Το πλήθος κουπιών ανά μονάδα χρόνου, δηλαδή οι Κουπιές ανά Λεπτό (Strokes Per Minute – spm) ο οποίος μετράται με ειδικές διατάξεις που λειτουργούν μαγνητικά μέσα τοποθετημένα κάτω από το καρέλο, είτε κατά προσέγγιση με ρολόι. Σε αγωνιστικές συνθήκες, το σκάφος κινείται από

20 spm έως 40 spm το οποίο συνεπάγεται διάρκεια κύκλου κουπιάς από 1.5 sec–3.0 sec.

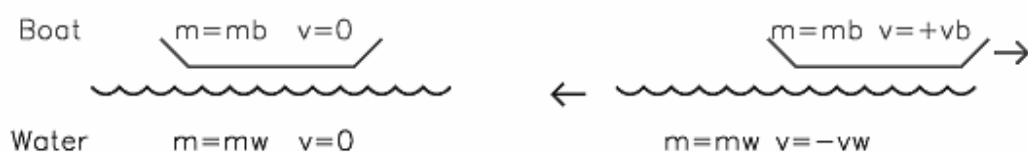
Επισημαίνεται ότι βασική επιδίωξη των προπονητών είναι ο χρόνος που βρίσκονται τα κουπιά στο νερό να είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο χρόνο έξω από το νερό, καθώς και κάθε μεμονωμένη φάση να εκτελείται όσο πιο γρήγορα γίνεται στα πλαίσια του ρυθμού κίνησης που έχει επιλεγθεί. Σε λέμβους με δύο και περισσότερους αθλητές, πρωτεύοντα ρόλο έχει ο συγχρονισμός τους σε κάθε φάση, δεδομένου ότι το παραμικρό λάθος μπορεί να προκαλέσει σημαντική απώλεια ταχύτητας. Κατά συνέπεια, η ταυτόχρονη και αργή εκτέλεση των φάσεων κουπιάς είναι προτιμότερη από γρήγορη κωπηλασία χωρίς τον πρόπονητα ρυθμό σύμφωνα τους προπονητές σε αυτή την περίπτωση.

Για τη μέτρηση των παραπάνω μεγεθών έχουν αναπτυχθεί εργαστηριακές διατάξεις σε συνδυασμό με εργόμετρα, τα οποία χρησιμοποιούνται σε κλειστό χώρο και όχι σε αγωνιστικές συνθήκες. Ο όγκος και το κόστος των διατάξεων σε συνδυασμό με τις ασταθείς συνθήκες των εξωτερικών χώρων δεν επιτρέπουν τη χρήση τους πέρα από τα πλαίσια του εργαστηρίου. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει [5], η τεχνική που εφαρμόζει ένας αθλητής εξασκούμενος με εργόμετρο, παράγει αντίστοιχη κίνηση με αυτή στον αγωνιστικό στίβο. Ωστόσο, εντοπίζονται σημαντικές διαφορές που καθορίζουν την απόδοση του. Συνεπώς, ορθή μελέτη του “κύκλου κουπιάς” μπορεί να γίνει μόνο σε κανονικό σκάφος.

1.2.2. Κινηματικά Χαρακτηριστικά του Κωπηλατικού Σκάφους

Η βασική αρχή κίνησης του σκάφους στηρίζεται στον Τρίτο Νόμο του Νεύτωνα περί δράσης και αντίδρασης. Αν m_b η μάζα του σκάφους και m_w η μάζα του νερού που μετακινείται από την κουπιά, η αρχική ολική ορμή του συστήματος είναι:

$$p = m_b \cdot 0 + m_w \cdot 0 = 0 \quad (1.1)$$



Σχήμα 1.2 Σύστημα σκάφους – νερού
Figure 1.2 Boat – water system

Η ορμή που προκαλείται από την εφαρμογή της δύναμης ισούται με:

$$p = m_b \cdot V_b + m_w \cdot V_w = 0 \quad (1.2)$$

Σύμφωνα με τις παραπάνω σχέσεις η ίδια ταχύτητα κίνησης μπορεί να επιτευχθεί, είτε δίνοντας μεγάλη ώθηση σε μικρή μάζα νερού, είτε δίνοντας μικρή ώθηση σε μεγάλη μάζα νερού. Με δεδομένη τη σχέση της κινητικής ενέργειας του συστήματος μετά την εφαρμογή της κουπιάς $U = \frac{1}{2} m_b V_b^2 + \frac{1}{2} m_w V_w^2$, για την επίτευξη ταχύτητας $V_b = 1 \text{ m/sec}$ από στάση, με δεδομένη μάζα του σκάφους και του αθλητή $m_b = 100 \text{ kg}$, αναλύονται δύο παραδείγματα:

- Για $m_w = 10 \text{ kg}$ και $V_w = 10 \text{ m/sec}$ ισχύει $U = \frac{1}{2} 100 \cdot 1^2 + \frac{1}{2} 10 \cdot 10^2 = 550 \text{ joule}$.
- Για $m_w = 20 \text{ kg}$ και $V_w = 5 \text{ m/sec}$ ισχύει $U = \frac{1}{2} 100 \cdot 1^2 + \frac{1}{2} 20 \cdot 5^2 = 300 \text{ joule}$.

Η κινητική ενέργεια που προστίθεται στο σύστημα το οποίο ξεκίνησε με $U = 0 \text{ joule}$ παράγεται από τον αθλητή. Το δεύτερο παράδειγμα απαιτεί σχεδόν τη μισή ενέργεια εκ μέρους του αθλητή σε σχέση με το πρώτο, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα πως είναι προτιμότερο να μετακινείται μεγάλη μάζα νερού με μικρή ταχύτητα κάθε φορά αντί για μικρές μάζες απότομα.

Η τριβή παράγεται κυρίως από την επαφή της λέμβου με την επιφάνεια του νερού και η οποία σε κανονικές συνθήκες ευθύνεται έως και για το 80% της αντίστασης που συναντάται. Ακολουθεί η αντίσταση των κυμάτων στην οποία προστίθεται και η αντίσταση του αέρα. Αν μ ο συντελεστής τριβής του υγρού, η αντίσταση ισούται με:

$$f = \mu \cdot V^2 \quad (1.3)$$

Για τη διατήρηση σταθερής ταχύτητας, πρέπει να ασκείται από τον αθλητή αρκετή δύναμη ώστε να αναπληρώνεται η ενέργεια που χάνεται από την τριβή. Η μέση ισχύς ισούται με:

$$P = \mu \cdot V^3 \quad (1.4)$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι για να διπλασιαστεί η ταχύτητα του σκάφους πρέπει να ασκηθεί $2^3 = 8$ φορές η αρχική δύναμη, γεγονός που καθιστά δύσκολη την ανάπτυξη μεγάλων επιταχύνσεων.

Αναφορικά με το έργο W που παράγεται, η ποσότητα είναι μικρότερη αν η ταχύτητα του σκάφους είναι σταθερή. Για παράδειγμα, αν θεωρηθεί συντελεστής τριβής

$\mu = 1 \text{ kgr/m}$ το έργο που παράγεται για 60 seconds με ταχύτητα σταθερή 5 m/sec είναι:

$$W = 60 \text{ sec} \cdot (5 \text{ m/sec})^3 \cdot 1 \text{ kgr/m} = 7500 \text{ Joule} \quad (1.5)$$

και θα διάνυε απόσταση ίση με 300 m.

Αν για τα πρώτα 30 sec το σκάφος είχε ταχύτητα ίση με 4 m/sec και τα υπόλοιπα 30 sec επιτάχυνε σε 6 m/sec, το αντίστοιχο έργο για απόσταση 300 m είναι:

$$W = 30 \text{ sec} \cdot (4 \text{ m/sec})^3 \cdot 1 \text{ kgr/m} + 30 \text{ sec} \cdot (6 \text{ m/sec})^3 \cdot 1 \text{ kgr/m} = 8400 \text{ Joule} \quad (1.6)$$

Πέρα από το γεγονός πως η σταθερή ταχύτητα επιτυγχάνεται με λιγότερο έργο, μεγάλες διακυμάνσεις στην ταχύτητα προκαλούν ταλαντώσεις της σκάφης που μπορεί να επιβραδύνουν επιπλέον το σκάφος.

1.3. Κωπηλασία και Σύγχρονες Μέθοδοι Εντοπισμού

1.3.1. Σκοπιμότητα Εφαρμογής Γεωδαιτικών Μεθόδων στο Άθλημα της Κωπηλασίας

Στα πλαίσια της επιστημονικής έρευνας έχει αναπτυχθεί πληθώρα μεθόδων και οργάνων για τη μέτρηση της απόδοσης και την κατά συνέπεια αξιολόγηση των επιδόσεων των αθλητών με απώτερο σκοπό τη βελτίωσή τους. Από τη χρήση διατάξεων που μετράνε δύναμη και επιτάχυνση έως τη χρήση φωτογραφικών μεθόδων και laser [6], τα εργαλεία που είναι διαθέσιμα και στην υπηρεσία αθλητών και προπονητών, ποικίλουν και διαφέρουν μεταξύ τους σημαντικά.

Οι σύγχρονες εξελίξεις στην τεχνολογία των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών συστημάτων εντοπισμού επιτρέπουν τον προσδιορισμό των παραμέτρων (θέση, ταχύτητα, επιτάχυνση και προσανατολισμό) της τροχιάς ενός κινητού με ακρίβεια, αξιοπιστία και υψηλή συχνότητα καταγραφής. Ειδικότερα, η εφαρμογή του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού GPS (Global Positioning System), στην καταγραφή και ανάλυση δεδομένων που αφορούν αθλητικές δραστηριότητες, έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμη για τη μελέτη της απόδοσης των αθλητών και την αξιολόγηση των εφαρμοζόμενων τεχνικών προπόνησης με στόχο τη βελτίωση των αθλητικών επιδόσεων. Συγκεκριμένα, η χρήση γεωδαιτικών δεκτών GPS σε συνδυασμό με την ανάπτυξη εξειδικευμένου λογισμικού επεξεργασίας και ανάλυσης των μετρήσεων παρέχει:

- τη δυνατότητα υπολογισμού της στιγμιαίας θέσης, ταχύτητας και επιτάχυνσης του αθλητή,

- υψηλή συχνότητα καταγραφής (έως 20 Hz) των κινηματικών χαρακτηριστικών του, καθώς και
- υψηλή ακρίβεια εντοπισμού (~ 1.0 cm).

Αναφορικά με το άθλημα της κωπηλασίας, αν και οι προπονητές γνωρίζουν εμπειρικά τη σωστή μέθοδο που πρέπει να ακολουθούν οι αθλητές, δεν έχουν αναπτυχθεί ακόμα μετρητικές διατάξεις που να επαρκούν προκειμένου να αξιολογηθεί πόσο απέχει ο αθλητής από το να επιτύχει την ιδανική κουπιά σε συνθήκες αγώνα. Η κατασκευή μιας τέτοιας διάταξης προϋποθέτει το να μπορεί να λαμβάνει αξιόπιστα δεδομένα αλλά ταυτόχρονα να μην επηρεάζει αρνητικά την απόδοση του αθλητή. Ταυτόχρονα, πρέπει να μπορεί να καταγράφει κάθε φάση κουπιάς με ακρίβεια και πληρότητα σε οποιοδήποτε ρυθμό κίνησης του σκάφους.

1.3.2. Παράλληλες Εργασίες

Την τελευταία πενταετία, η εφαρμογή σύγχρονων δορυφορικών και οπτικών συστημάτων εντοπισμού στο άθλημα της κωπηλασίας αποτελεί αντικείμενο εφαρμοσμένης έρευνας με ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα σε πολλά αθλητικά, πανεπιστημιακά και ερευνητικά κέντρα διεθνώς. Ξεχωριστή δραστηριότητα παρουσιάζουν χώρες όπως η Αυστραλία, ο Καναδάς, η Μ. Βρετανία και η Νέα Ζηλανδία.

Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι το Πανεπιστήμιο της Μελβούρνης (RIMT University), έχει αναλάβει τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου, λειτουργικού συστήματος καταγραφής και ανάλυσης δεδομένων κωπηλασίας για τις ανάγκες προπονήσεων της Εθνικής Ομάδας Κωπηλασίας της Αυστραλίας, το οποίο βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο υλοποίησης. Η προσπάθεια υποστηρίζεται από τον Οργανισμό Australian Cooperative Research Centre (CRC) και το Australian Institute of Sport. Σύμφωνα με σχετικές επιστημονικές δημοσιεύσεις, η αξιοποίηση των πρώτων αποτελεσμάτων από την πειραματική εφαρμογή του συστήματος, συνέτεινε ουσιαστικά στην κατάκτηση του χρυσού μεταλλείου από την Εθνική Ομάδα Κωπηλασίας της Αυστραλίας στους Ολυμπιακούς Αγώνες του 2004 στην Αθήνα (αθλητές J. Tomkins και D. Ginn στην κατηγορία αντρών). Αναφορικά με τη μελέτη της καμπύλης ταχύτητας / επιτάχυνσης του “κύκλου κουπιάς”, συστηματικά πειράματα με αξιόλογα αποτελέσματα [1] διεξάγονται στη Νέα Ζηλανδία από τους ερευνητές C. Hoogsteden, P. Denys και B. Magee στο Πανεπιστήμιο του Otago με συμμετοχή της Εθνικής Ομάδας Κωπηλασίας

της Νέας Ζηλανδίας. Ανάλογες προσπάθειες βρίσκονται σε εξέλιξη στο Center for Research in Geomatics, Laval University στον Καναδά με την υποστήριξη των Οργανισμών Canadian NSERC και Quebec FCAR – Centre.

2. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

2.1. Εξοπλισμός Πειραματικής Διάταξης

Η κίνηση του κωπηλατικού σκάφους επιτυγχάνεται μέσω της δύναμης που ασκεί ο αθλητής στο νερό όπως συζητήθηκε στο Κεφάλαιο 1. Δεδομένου ότι σε αγωνιστικές συνθήκες η κουπιά διαρκεί από 1.5 sec έως 3.0 sec , κρίνεται απαραίτητη η χρήση αισθητήρων υψηλής συχνότητας καταγραφής προκειμένου να καταγραφεί και να αναλυθεί το φαινόμενο. Αυτή η υπόθεση αποκλείει τη χρήση συμβατικών τοπογραφικών δεκτών που διαθέτουν δυνατότητα μέγιστη συχνότητα καταγραφής 1 sec . Επιπρόσθετα, η επιλογή του εξοπλισμού καθορίζεται από το διαθέσιμο χώρο και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του. Η χρήση μεγάλου αριθμού οργάνων παρατήρησης περιορίζεται από τη μικρή επιφάνεια που προσφέρεται για την τοποθέτησή τους στο σκάφος, καθώς ο διαθέσιμος χώρος προορίζεται για τον αθλητή, τα κουπιά και προαιρετικά για μικρούς αισθητήρες ειδικά σχεδιασμένους για χρήση στο “σκιφ”. Επίσης, η τοποθέτηση των οργάνων κοντά στον αθλητή εγκυμονεί τον κίνδυνο να επηρεαστεί αρνητικά η απόδοσή του λόγω περιορισμού του προσωπικού του χώρου, συνεπώς είναι υποχρεωτική η τοποθέτηση επιπλέον αισθητήρων στην καρίνα του σκάφους. Ωστόσο, αυτή η επιλογή θεωρείται δυσμενής για τα όργανα λόγω των ισχυρών δυνάμεων που ασκούνται στο σκάφος κατά την κίνησή του, αλλά και των του κυματισμού που μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο τους αισθητήρες των οργάνων. Επίσης, οι παρεμβάσεις στην καρίνα ενέχουν τον κίνδυνο να επηρεαστεί η υδροδυναμική του σκάφους.

Με βάση τα παραπάνω και τη διαθεσιμότητα εξοπλισμού, τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- ένα ζεύγος δεκτών GPS,
- ένας Γεωδαιτικός Σταθμός με δυνατότητα αυτόματης παρακολούθησης στόχου,
- ένα αδρανειακό σύστημα με ενσωματωμένο γυροσκόπιο, επιταχυνσιόμετρο και μαγνητόμετρο συνδεδεμένο με GPS μέτρησης κώδικα.

2.1.1. Γεωδαιτικοί Δέκτες GPS

Το Παγκόσμιο Σύστημα Δορυφορικού Εντοπισμού (Global Positioning System – GPS) χρησιμοποιείται για τον τρισδιάστατο εντοπισμό θέσης με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικού κύματος που εκπέμπεται από δορυφόρους σε τροχιά γύρω από τη Γη και την επεξεργασία του, ώστε να υπολογιστεί το γεωκεντρικό διάνυσμα προς το ζητούμενο σημείο.

Χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα του συστήματος είναι η δυνατότητά του να παρέχει κάλυψη σχεδόν στο σύνολο της γήινης επιφάνειας, κάθε χρονική στιγμή χωρίς να επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες.

Ανάλογα με τη μέθοδο παρατήρησης, η ακρίβεια εντοπισμού που μπορεί να επιτευχθεί κυμαίνεται από μερικά μέτρα και φτάνει έως και χιλιοστά του μέτρου.

Ανάλογα με το μέρος του σήματος που χρησιμοποιείται κατά την επεξεργασία, ο εντοπισμός μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους. Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται καταγραφή δεδομένων από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους προκειμένου να οριστεί σε πραγματικό χρόνο η θέση ενός σημείου στο χώρο.

Οι δύο βασικές μέθοδοι μετρήσεων είναι:

- μετρήσεις ψευδοαπόστασης με χρήση του εκπεμπόμενου κώδικα, οι οποίες δίνουν ακρίβεια έως ένα δέκατο του μέτρου,
- μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος, οι οποίες δίνουν ακρίβεια της τάξης του χιλιοστού του μέτρου.

Καθώς στη συγκεκριμένη εφαρμογή το αντικείμενο μελέτης βρίσκεται σε συνεχή κίνηση, επιλέγεται η μέθοδος του Κινηματικού Εντοπισμού με εκ των υστέρων επεξεργασία με διαφορικό GPS (DGPS). Η μέθοδος προϋποθέτει ο ένας δέκτης να τοποθετηθεί σε θέση γνωστών συντεταγμένων σε τοπικό ή εθνικό σύστημα (base receiver), ενώ ο άλλος μετακινείται κατά μήκος της τροχιάς που πρέπει αν καταγραφεί (rover receiver). Η επίλυση των βάσεων με τη συγκεκριμένη τεχνική γίνεται μετά τη λήξη των εργασιών και στηρίζεται στις μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος. Η εκ των υστέρων επίλυση επιτρέπει στο χειριστή να έχει καλύτερο έλεγχο της διαδικασίας και να τροποποιήσει τις όποιες παραμέτρους μπορούν αν οδηγήσουν σε βελτιστοποίηση του αποτελέσματος.

Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται οριζοντιογραφικά είναι της τάξης των $\pm 1 \text{ cm} \pm 2 \text{ ppm}$, ενώ η κατακόρυφη είναι υποδεέστερη και κυμαίνεται στα $\pm 2 \text{ cm} \pm 1 \text{ ppm}$. Οι τιμές αυτές κρίνονται ικανοποιητικές για τις ανάγκες του έργου.

Επιπρόσθετα, δεδομένου ότι στη συγκεκριμένη εφαρμογή απαιτείται η μέτρηση βάσεων μικρού μήκους ($< 3 \text{ km}$), δεν είναι απαραίτητη η εισαγωγή μοντέλου ιονόσφαιρας ή η χρήση ακριβών τροχιακών εφημερίδων των δορυφόρων.

Ειδικότερα, οι ιδιαίτερες συνθήκες του πειράματος, καθορίζουν ένα σύνολο χαρακτηριστικών που πρέπει να πληρούν οι δέκτες GPS. Έτσι:

- απαιτείται να είναι μικροί σε μέγεθος και συμπαγείς, ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν στο σκάφος καθώς και να αντέχουν τις επιταχύνσεις που αναπτύσσονται. Το ίδιο πρέπει να ισχύει και για τις κεραίες που τους συνοδεύουν.
- είναι απαραίτητο να υποστηρίζουν τη δυνατότητα εκ των υστέρων επεξεργασίας των μετρήσεων (PPK) καθώς αποτελεί τη μέθοδο καταγραφής πορείας κινητού που μπορεί να δώσει καλή ακρίβεια χωρίς να απαιτείται επιπλέον εξοπλισμός ραδιοεπικοινωνίας μεταξύ των δεκτών.
- πρέπει να διαθέτουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη συχνότητα καταγραφής σε συνδυασμό με επαρκή αποθηκευτικό χώρο στη μνήμη για την εκτέλεση του πειράματος.
- η υδατοστεγανότητα είναι επιπλέον χρήσιμη ιδιότητα για την παρούσα διάταξη καθώς ακόμα και χωρίς την άμεση επαφή με νερό, οι συνθήκες διεξαγωγής του πειράματος περιλαμβάνουν περισσότερη υγρασία από εκείνη που συναντάται σε συνήθεις τοπογραφικές εργασίες.

Όπως τονίστηκε, το σύστημα GPS προσφέρει τη δυνατότητα εντοπισμού ανεξάρτητα από τις συνθήκες ορατότητας που μπορεί να υπάρχουν και πρακτικά της απόστασης στατικού (base) με κινηματικού (rover) δέκτη, η οποία σημειωτέον, περιορίζεται από το μέγεθος του στίβου και είναι μικρότερη από $2 \text{ km} - 3 \text{ km}$.

Οι δέκτες που επιλέχθηκαν για το πείραμα και πληρούν σε ικανοποιητικό βαθμό τις προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν είναι της εταιρείας Javad και χρησιμοποιούν την πλακέτα JNS160 της εταιρείας, η οποία υποστηρίζει DGPS και RTK εντοπισμό [9]. Η συχνότητα καταγραφής του συγκεκριμένου μοντέλου μπορεί να φτάσει τα 20 Hz , ωστόσο, οι συγκεκριμένοι έχουν δυνατότητα μέτρησης έως 10 Hz . Οι μετρήσεις εκτελούνται με χρήση συνδυασμού των συχνοτήτων GPS L1 και L2 και υπάρχει επιπλέον η δυνατότητα μετρήσεων από το σύστημα GLONASS. Οι ακρίβειες που

προδιαγράφει ο κατασκευαστής είναι 10 cm σε μετρήσεις κώδικα και 0.1 mm σε μετρήσεις φάσης φέροντος κύματος οριζοντιογραφικά.

Οι συγκεκριμένοι δέκτες είναι απλοί στη χρήση και δεν απαιτούνται ειδικές γνώσεις για το χειρισμό τους – ιδιότητα χρήσιμη, καθώς τα όργανα που βρίσκονται στο σκάφος κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων είναι υπό την άμεση επίβλεψη του κωπηλάτη χωρίς να μπορεί να υπάρχει η δυνατότητα τεχνικής υποστήριξης.

2.1.2. Γεωδαιτικός Σταθμός Αυτόματης Αναγνώρισης και Παρακολούθησης

Στόχου

Στην πειραματική διάταξη περιλαμβάνεται ένας Γεωδαιτικός Σταθμός με δυνατότητα αυτόματης παρακολούθησης στόχου. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται το μοντέλο Leica TCA 1800 (Σχήμα 2.1) με ακρίβεια μέτρησης μήκους $\pm 10 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$ και γωνιομετρική ακρίβεια $\pm 3 \text{ cc}$ σε λειτουργία “tracking”. Η συχνότητα καταγραφής κυμαίνεται από 3 Hz έως 5 Hz ανάλογα με τις ρυθμίσεις του ειδικού λογισμικού και τις συνθήκες παρατήρησης.



Σχήμα 2.1 Γεωδαιτικός Σταθμός Leica TCA 1800
Figure 2.1 Leica TCA 1800 Total Station

Συμπληρώνοντας το σύστημα GPS, ο Γεωδαιτικός Σταθμός παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- δυνατότητα εμφάνισης άμεσου αποτελέσματος στο πεδίο χωρίς τη χρήση ειδικού εξοπλισμού, όπως λειτουργία RTK,
- καλύτερη οριζοντιογραφική αλλά κυρίως υψομετρική ακρίβεια από το GPS.

Τα μειονεκτήματα του οργάνου στην εφαρμογή είναι:

- μικρή συχνότητα καταγραφής συγκριτικά με το σύστημα GPS,
- εσφαλμένες μετρήσεις λόγω ανακλάσεων από την επιφάνεια του νερού,
- η απαίτηση οπτικής επαφής προς το στόχο.

Επισημαίνεται ότι ο Γεωδαιτικός Σταθμός χρησιμοποιείται συμπληρωματικά προς το σύστημα GPS. Βασικός στόχος είναι ο έλεγχος λειτουργίας του οργάνου στην παρούσα εφαρμογή.

2.1.3. Αδρανειακό Σύστημα Εντοπισμού

Το αδρανειακό σύστημα αποτελεί σύνθετο μετρητικό όργανο δεδομένου ότι απαρτίζεται από πολλούς διαφορετικούς αισθητήρες. Οι μετρήσεις από τους αισθητήρες επιλύονται και συννορθώνονται με τη χρήση φίλτρων Kalman προκειμένου να προκύψει το τελικό προϊόν το οποίο είναι η θέση, η ταχύτητα (γραμμική και γωνιακή) και η επιτάχυνση του κινητού με συχνότητα 50 Hz – πέντε φορές καλύτερη από αυτή του συστήματος GPS.



Σχήμα 2.2 Αδρανειακό σύστημα εντοπισμού MIDG II INS/GPS
Figure 2.2 Inertial system MIDG II INS/GPS

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιείται το όργανο της εταιρείας Microbotics Inc. με ονομασία MIDG II INS/GPS (Σχήμα 2.2). Το όργανο ζυγίζει λιγότερο από 55 gr ενώ έχει διαστάσεις 38 mm × 40 mm × 22 mm , χωρίς όμως να υπολογίζεται ο όγκος που απαιτείται για την τροφοδοσία και τη συσκευή καταγραφής της πληροφορίας [10]. Το σύστημα περιλαμβάνει:

- Επιταχυνσιόμετρο – όργανο που μετράει επιτάχυνση και ανιχνεύει δονήσεις. Αποτελεί μικροηλεκτρομηχανική συσκευή (microelectromechanical system) και χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές ανίχνευσης σεισμικής δραστηριότητας, προσδιορισμού δονήσεων σε μηχανές και μελέτες δυναμικής κινούμενων συστημάτων.
- Γυροσκόπιο – συσκευή που υπολογίζει προσανατολισμό βασισμένο στην αρχή της διατήρησης της γωνιακής ταχύτητας.
- Μαγνητόμετρο – συσκευή η οποία καταγράφει την κατεύθυνση και δύναμη του μαγνητικού πεδίου. Χρησιμοποιείται συνήθως σε γεωφυσικές και αρχαιολογικές μελέτες.
- Δέκτης GPS – πρόκειται για απλό δέκτη GPS με συχνότητα καταγραφής 5 Hz ο οποίος χρησιμοποιείται για την περιοδική διόρθωση των δεδομένων από τους υπόλοιπους αισθητήρες και την προσθήκη πληροφορίας χρόνου ακριβείας στις παρατηρήσεις.
- Ηλεκτρονικός υπολογιστής – η καταγραφή των παρατηρήσεων δεν γίνεται στο αδρανειακό σύστημα οπότε είναι απαραίτητη η προσθήκη ηλεκτρονικού υπολογιστή με ειδικό λογισμικό για την αποθήκευση και αποκωδικοποίηση των δεδομένων. Αυτή η απαίτηση αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα της διάταξης λόγω του επιπρόσθετου όγκου ενώ η λειτουργία του συστήματος περιορίζεται και από την ταχύτητα της θύρας επικοινωνίας με τον υπολογιστή.

Ο υπολογισμός των μεγεθών γίνεται σε εσωτερικό τρισδιάστατο σύστημα αναφοράς, οι άξονες του οποίου ορίζονται από τον προσανατολισμό του οργάνου στο σκάφος. Ως εκτούτου, ο ακριβής προσανατολισμός και προσεκτική τοποθέτηση της συσκευής στο σκάφος είναι κρίσιμη.

2.2. Μέρη Πειραματικής Διάταξης

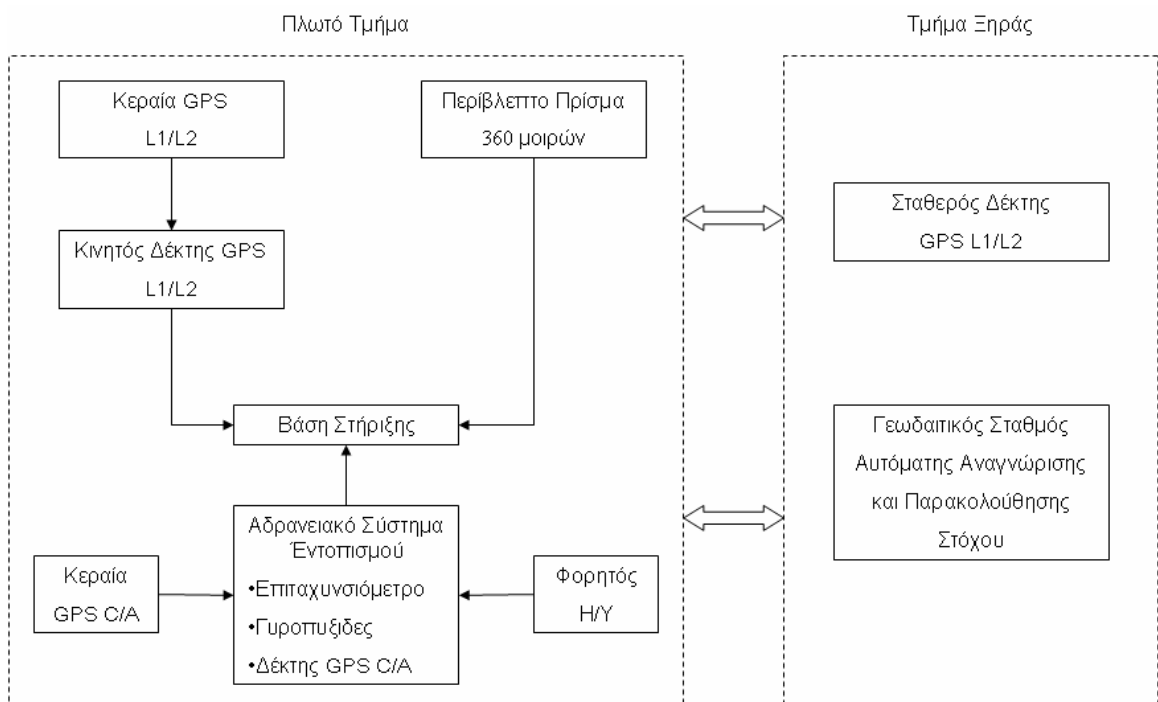
Ο εξοπλισμός που διαμορφώνει την πειραματική διάταξη κατατάσσεται σε δύο κατηγορίες:

- κινητό ή πλωτό τμήμα,
- σταθερό τμήμα ή τμήμα ξηράς.

2.2.1. Πλωτό Τμήμα

Όπως αναφέρθηκε και στην §2.1, ο διαθέσιμος χώρος στο σκάφος για την τοποθέτηση οργάνων είναι περιορισμένος. Έτσι τοποθετήθηκαν μόνο τα αναγκαίως απαραίτητα όργανα και παρελκόμενα. Αυτά είναι (Σχήμα 2.3):

- κινηματικός δέκτης GPS (rover). Η κεραία του δέκτη τοποθετείται σε κατακόρυφο στειλεό σε απόσταση από την επιφάνεια του νερού για να μη βρέχεται,
- περίβλεπτο πρίσμα Γεωδαιτικού Σταθμού 360⁰. Το υπόψη πρίσμα τοποθετείται σε τέτοια θέση στο σκάφος ώστε να εξασφαλίζεται ορατότητα προς το Γεωδαιτικό Σταθμό σε όλη τη διαδρομή του σκάφους (Σχήμα 2.7),
- αδρανειακό σύστημα εντοπισμού, το οποίο περιλαμβάνει ξεχωριστό δέκτη GPS μετρήσεως κώδικα. Η τοποθέτηση του αδρανειακού συστήματος στο σκάφος γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή ώστε ο προσανατολισμός του βασικού άξονα του συστήματος να είναι παράλληλος με το διαμήκη άξονα του σκάφους. Επιπρόσθετα, τοποθετήθηκε στο σκάφος φορητός ηλεκτρονικός υπολογιστής για την καταγραφή των μετρήσεων του αδρανειακού συστήματος εντοπισμού.



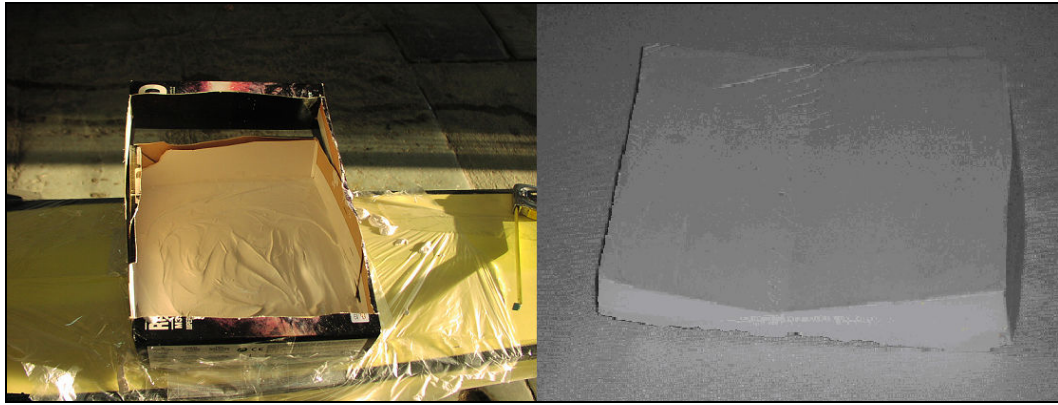
Σχήμα 2.3 Διάταξη καταγραφής
Figure 2.3 Structure of data acquisition system

Δεδομένου ότι δεν ήταν δυνατή η παρέμβαση στην επιφάνεια του σκάφους για την τοποθέτηση του εξοπλισμού, κατασκευάστηκε ειδική βάση από ελαφρύ υλικό, η οποία διαμορφώθηκε κατάλληλα για να υποδεχθεί τα όργανα. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκε συμπαγές “φελιζόλ” στο οποίο βιδώθηκαν μεταλλικά ελάσματα τα οποία φέρουν στειλεούς για την τοποθέτηση των οργάνων (Σχήμα 2.6).

Δεδομένου ότι η επιφάνεια του κωπηλατικού σκάφους δεν είναι επίπεδη, ήταν απαραίτητο να διαμορφωθεί το τμήμα της βάσης στήριξης ώστε να προσαρμοστεί στο σχήμα του σκάφους με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.5, η πλέον πρακτική μέθοδος αποδείχθηκε η κατασκευή καλουπιού, το οποίο τοποθετήθηκε στην επιφάνεια του σκάφους και πληρώθηκε με γύψο. Το αποτύπωμα της καρίνας όπως προέκυψε από το ομοίωμα του γύψου χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της βάσης.

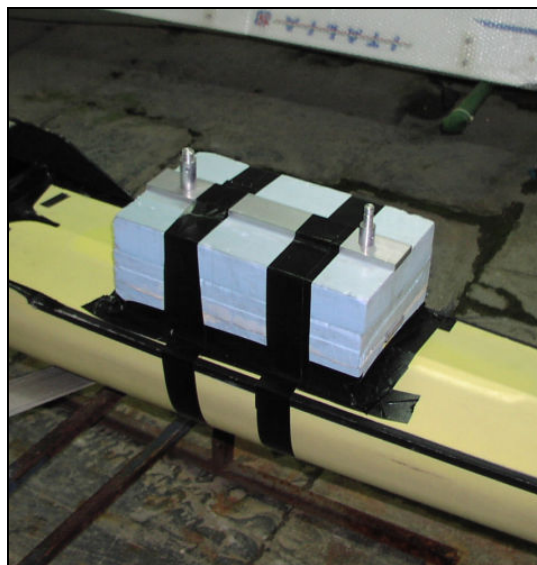


Σχήμα 2.4 Μονοθέσιο κωπηλατικό “σκιφ”
Figure 2.4 One man rowing “skiff”



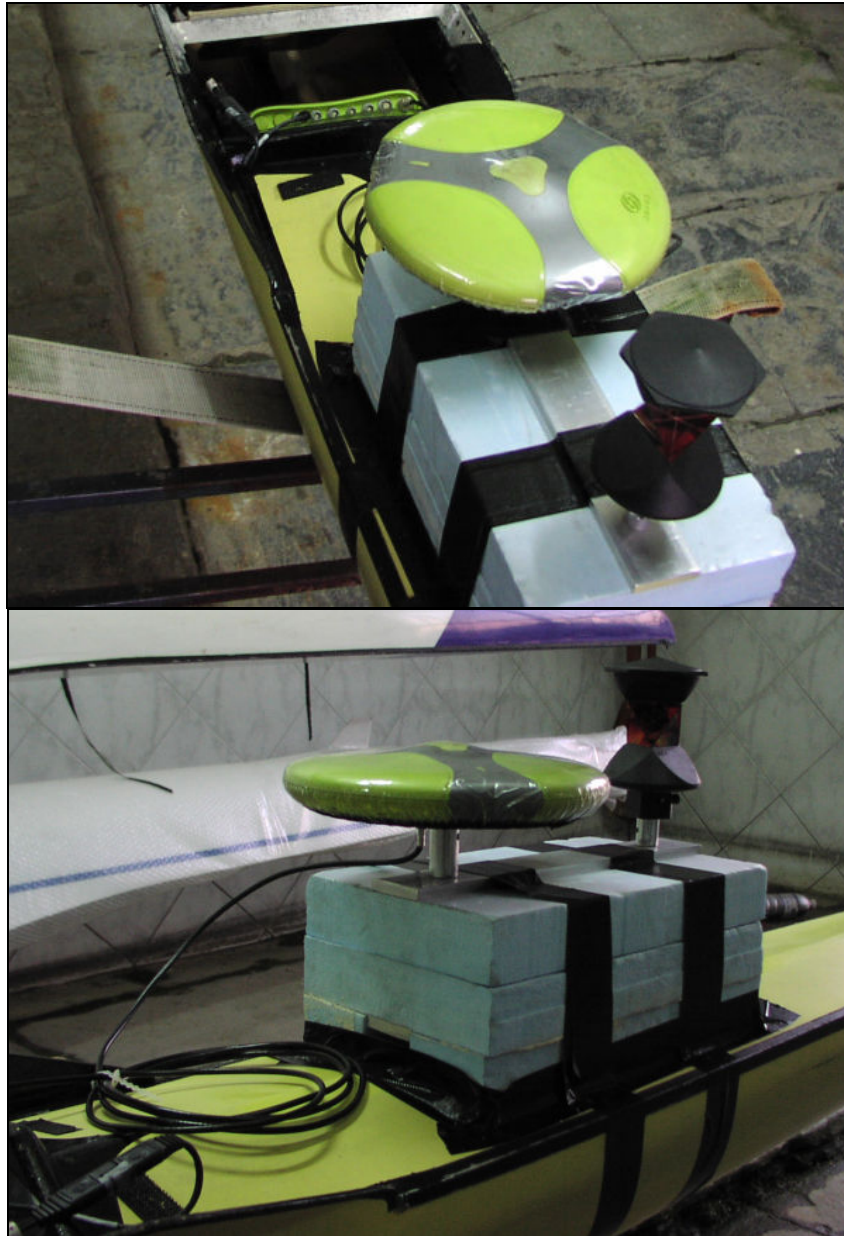
Σχήμα 2.5 Καλούπι κατασκευής βάσης τοποθέτησης οργάνων
Figure 2.5 Mould applied for the construction of the sensor mounting base

Η διάταξη τοποθετήθηκε στο πίσω μέρος της καρίνας, δεδομένου ότι σε αυτή τη θέση αναπτύσσονται λιγότεροι κραδασμοί κατά την κίνηση του σκάφους σύμφωνα με τους προπονητές. Επιπρόσθετα, η επιλογή αυτή προσέφερε επιπλέον χώρο κάτω από τα πόδια του αθλητή για την τοποθέτηση του κινητού δέκτη GPS.



Σχήμα 2.6 Βάση τοποθέτησης οργάνων
Figure 2.6 On purpose built sensor mounting base

Η στήριξη της βάσης στην καρίνα πραγματοποιήθηκε με κολλητική ταινία υψηλής αντοχής με ίνες, της οποίας το τμήμα που βρισκόταν μέσα στο νερό αφαιρέθηκε προκειμένου να μην επηρεαστεί η υδροδυναμική του σκάφους.



Σχήμα 2.7 Πάνω και κάτω: Κεραία GPS και πρίσμα Γεωδαιτικού Σταθμού τοποθετημένα στο σκάφος
Figure 2.7 Above and below: GPS antenna and Total Station prism fixed on the sensor base



Σχήμα 2.8 Ο αθλητής κωπηλασίας Ευστράτιος Αλεξίδης στο σκάφος με την πειραματική διάταξη
Figure 2.8 Rowing athlete Eustratios Alexidis on board a rowing skiff bearing the experimental arrangement

2.2.2. Τμήμα Ξηράς

Ο Γεωδαιτικός Σταθμός και ο σταθερός δέκτης GPS τοποθετήθηκαν στην περιοχή του πειράματος. Ειδικότερα, ο δέκτης GPS δεν χρειάζεται οπτική επαφή προς το πλωτό τμήμα – ωστόσο τοποθετείται στην περιοχή του πεδίου δοκιμών προκειμένου να μην υπερβαίνουν οι βάσεις τα 2 km. Επιπλέον, ο Γεωδαιτικός Σταθμός τοποθετείται έτσι ώστε να διατηρεί οπτική επαφή προς το πρίσμα ανά πάσα στιγμή.

2.3. Επιλογή Χώρου Διεξαγωγής Πειράματος

Η ομαλή διεξαγωγή του πειράματος εξαρτάται άμεσα από τις καιρικές συνθήκες και τη διαμόρφωση του χώρου.

Αναφορικά με τις καιρικές συνθήκες, σημειώνεται ότι:

- η έντονη ηλιοφάνεια προκαλεί ανακλάσεις στην επιφάνεια του νερού, οι οποίες ενδέχεται να μειώσουν την απόδοση του Γεωδαιτικού Σταθμού,
- ο κυματισμός που προκαλείται από ισχυρούς ανέμους δεν επιτρέπει τη διεξαγωγή πειραμάτων βάση κανονισμών του αθλήματος,
- απαγορευτική είναι η εμφάνιση βροχόπτωσης καθώς επηρεάζει την επίδοση του αθλητή και μπορεί να καταστρέψει τον εξοπλισμό.

Συνοψίζοντας, ιδανικές συνθήκες για τη διεξαγωγή πειράματος είναι νεφελώδης καιρός με άνεμο έντασης κάτω των 4 Beaufort.

Αντίστοιχα, η περιοχή διεξαγωγής του πειράματος πρέπει να παρέχει:

- δυνατότητα κίνησης του σκάφους σε ευθυγραμμία σε όλο το μήκος της διαδρομής, όπως απαιτείται και στους επίσημους αγώνες,
- μέγιστη απόσταση πλεύσης 2 km σύμφωνα με τους κανονισμούς κωπηλασίας,
- ελάχιστη απόσταση ώστε να προλάβει να επιταχύνει το σκάφος, να έρθει σε στάση και να έχει πραγματοποιήσει και τουλάχιστον 10 κουπιές σε σταθερή ταχύτητα, δηλαδή περίπου 300 m με ρυθμό 20 spm.

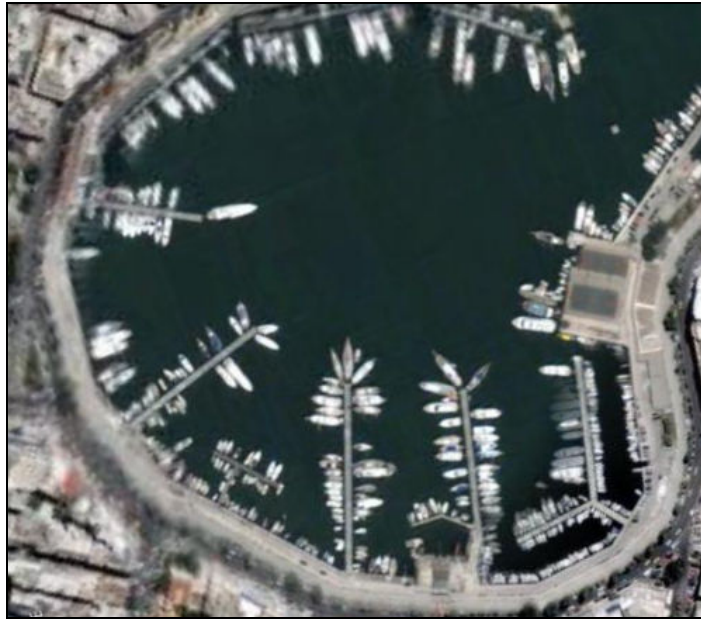
Σημειώνεται πως δεν ενδιαφέρει τόσο η δυνατότητα κίνησης σε μετάβαση και επιστροφή καθώς οι αγώνες πραγματοποιούνται μόνο σε μετάβαση. Κρίσιμο πρακτικό παράγοντα για τη διενέργεια των πειραμάτων αποτελεί και η διαθεσιμότητα των κατάλληλων χώρων για κωπηλασία, καθώς και η διαθεσιμότητα αθλητών και προπονητών.

Σε αυτή την εργασία πειράματα διεξήχθησαν σε δύο περιοχές όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

2.3.1. Ο Στίβος Προπόνησης του “Ομίλου Ερετών”

Ο “Όμιλος Ερετών” εδρεύει στο Μικρολίμανο Πειραιά που αποτελεί και φυσικό χώρο προπόνησης των αθλητών του ομίλου. Ως χώρος διεξαγωγής δοκιμών επιλέχθηκε τμήμα του λιμένα όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.9.

Η απόσταση κίνησης του σκάφους είναι περιορισμένη, της τάξης των 500 m . Σημειώνεται ότι το μικρό μήκος πλεύσης δεν αποτελεί μειονέκτημα για τη διεξαγωγή προκαταρκτικών πειραμάτων. Βασικός στόχος των πειραμάτων αυτών είναι ο έλεγχος του εξοπλισμού και η βελτιστοποίηση της τεχνικής παρατήρησης. Ωστόσο, αναγνωρίζεται ότι βασικό μειονέκτημα αυτής της επιλογής αποτελεί η πιθανότητα κίνησης ή στάθμευσης άλλων σκαφών στο λιμάνι, με συνέπεια να παρεμποδίσουν το πείραμα.



Σχήμα 2.9 Δορυφορική εικόνα Μικρολίμανου (πηγή: Google Earth)
Figure 2.9 Mikrolimano satellite image (source: Google Earth)

2.3.2. Το Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο στο Σχινιά

Αποτελεί τον επίσημο χώρο διεξαγωγής αγώνων κωπηλασίας κατά τους Ολυμπιακούς Αγώνες του 2004 (Σχήμα 2.10) και για αυτό προσφέρεται για σε αγωνιστικές συνθήκες. Ο στίβος είναι κατασκευασμένος σύμφωνα με διεθνή πρότυπα – ωστόσο, η περιοχή ευνοεί την ανάπτυξη ισχυρών ανέμων που μπορεί να επηρεάσουν τη διαδικασία.



Σχήμα 2.10 Δορυφορική εικόνα κωπηλατοδρόμιου Σχινιά (πηγή: Google Earth)
Figure 2.10 Satellite image of the Skinias rowing stadium (source: Google Earth)

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

3.1. Πειραματική Διαδικασία στο Μικρολίμανο

Βασικός στόχος του πειράματος στο Μικρολίμανο ήταν ο δοκιμαστικός έλεγχος της πειραματικής διάταξης σε πραγματικές συνθήκες. Ειδικότερα, η ανάλυση των αποτελεσμάτων αποβλέπει στην ανάδειξη τυχόν αδυναμιών του συστήματος καταγραφής και τη λήψη διορθωτικών μέτρων για το ολοκληρωμένο πείραμα, στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο.

Ο σχεδιασμός προέβλεπε την εκτέλεση κατά το δυνατών περισσότερων διαδρομών προκειμένου να συλλεχθούν επαρκή δεδομένα. Τα πειράματα περιλαμβάνουν έναν αθλητή και ως σκάφος δοκιμών χρησιμοποιήθηκε μονοθέσιο του “Ομίλου Ερετών” στο οποίο προσαρμόστηκαν τα όργανα. Οι συνθήκες διενέργειας των πειραμάτων παρατίθενται στον Πίνακα 3.1 – οι οποίες παρέμειναν αμετάβλητες σε όλη τη διάρκεια των δοκιμών. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν την Τετάρτη 06/12/2006.

Τοποθεσία	Μικρολίμανο
Μέγιστη Απόσταση Πλευσης	500 m
Χρόνος Εκτέλεσης	08:00 - 11:00
Καιρικές Συνθήκες	Έντονη ηλιοφάνεια
Άνεμος	<2 Beaufort

Πίνακας 3.1 Συνθήκες εκτέλεσης πρώτου πειράματος
Table 3.1 Test area and weather conditions during the first experiment

Ο σταθερός δέκτης GPS (σημείο BASE στο Σχήμα 3.1) τοποθετήθηκε στην οροφή του κτιρίου του “Ομίλου Ερετών” ενώ ο Γεωδαιτικός Σταθμός (σημείο TRK στο Σχήμα 3.1) εγκαταστάθηκε στην προβλήτα σε σημείο που να εξασφαλίζεται οπτική επαφή προς το σκάφος αλλά και προς το σταθερό δέκτη GPS. Η οπτική επαφή Γεωδαιτικού Σταθμού – σταθερού δέκτη GPS είναι απαραίτητη προκειμένου η θέση του σκάφους να υπολογιστεί σε κοινό σύστημα αναφοράς. Η απόλυτη θέση του σκάφους δεν έχει σημασία για τη μελέτη, γεγονός το οποίο οδήγησε στην απόφαση να αναφέρονται σε τοπικό σύστημα αναφοράς όλες οι συντεταγμένες, οπότε και η ίδρυση των στάσεων ήταν ανεξάρτητη κρατικού συστήματος αναφοράς. Για την αναγωγή των μετρήσεων και των δύο οργάνων σε κοινό τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς, μετρήθηκε εκ των υστέρων η βάση μεταξύ των σημείων BASE – TRK με μέθοδο του ταχέως στατικού εντοπισμού GPS. Δεδομένου ότι οι βάσεις που απαιτείται να

μετρηθούν δεν είναι μεγαλύτερες του 1 km δεν κρίθηκε αναγκαία η εισαγωγή κλίμακας παραμόρφωσης ή μοντέλου γεωειδούς κατά την επίλυση. Το σκάφος που χρησιμοποιήθηκε είναι απλό μονοθέσιο “σκιφ” κατασκευής της γερμανικής εταιρείας Empacher, μήκους 8 m με κουπιά Concept II τύπου Smooth. Τις διαδρομές εκτέλεσε ο αθλητής κ. Ευστράτιος Αλεξίδης (Σχήμα 3.1) υπό την επίβλεψη του προπονητή κ. Πρόδρομου Πολυκαρπίδη του “Ομίλου Ερετών”.

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν επτά διαδρομές σε μετάβαση με αφετηρία την προβλήτα του “Ομίλου Ερετών” στην οποία βρισκόταν ο Γεωδαιτικός Σταθμός και τερματισμό την αντίκρυ πλευρά του λιμανιού. Τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε διαδρομής συνοψίζονται στον Πίνακα 3.2.

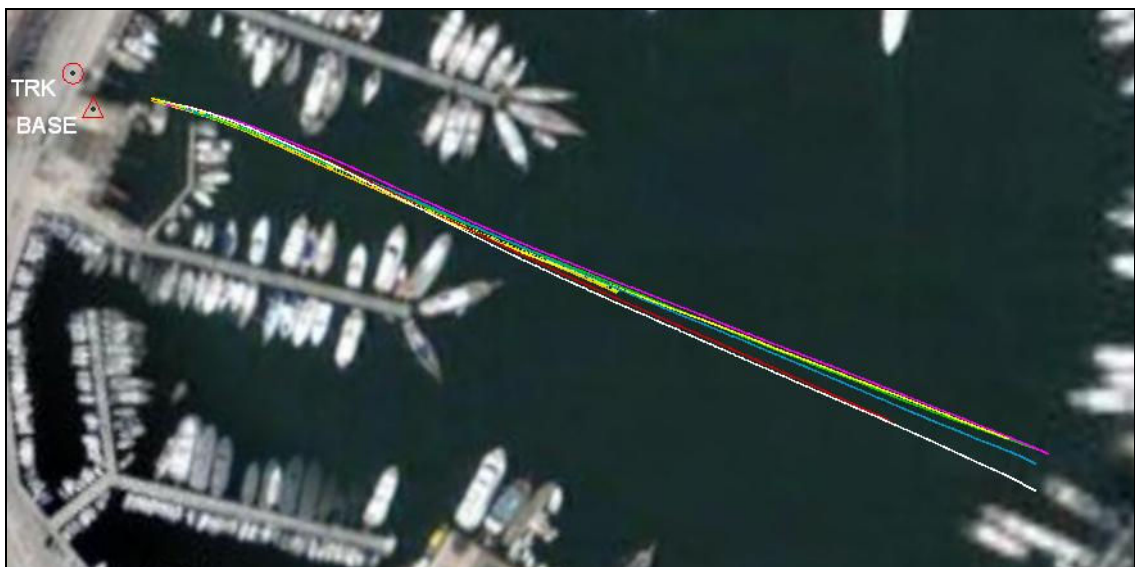


Σχήμα 3.1 Ο αθλητής κωπηλασίας Ευστράτιος Αλεξίδης στο σκάφος με την πειραματική διάταξη κατά την πρώτη σειρά δοκιμών

Figure 3.1 Rowing athlete Eustratios Alexidis on board a rowing skiff bearing the experimental arrangement during the first set of trial runs

Όργανο	Διαδρομή	Μέσος χρόνος μεταξύ διαδοχικών σημείων (sec)	Μέση απόσταση μεταξύ διαδοχικών σημείων (m)	Μέση ταχύτητα (m/sec)	Απόσταση αρχής - τέλους (m)	Αριθμός σημείων	Διάρκεια διαδρομής (sec)
Total Station	Διαδρομή E1	0.275	0.88	3.28	152.45	174	47.4
	Διαδρομή E4	0.425	1.49	3.51	287.80	194	82.1
	Διαδρομή E6	0.273	1.12	4.04	285.76	257	70.0
	Διαδρομή E7	0.269	1.22	4.53	280.98	232	62.2
GPS	Διαδρομή E1	0.100	0.31	3.14	151.67	484	48.3
	Διαδρομή E2	0.100	0.37	3.65	274.24	753	75.2
	Διαδρομή E3	0.100	0.35	3.53	181.26	516	51.6
	Διαδρομή E4	0.100	0.35	3.47	287.31	831	82.9
	Διαδρομή E5	0.100	0.37	3.66	244.64	670	66.9
	Διαδρομή E6	0.100	0.39	3.86	286.47	745	74.4
	Διαδρομή E7	0.100	0.45	4.14	290.48	703	70.2

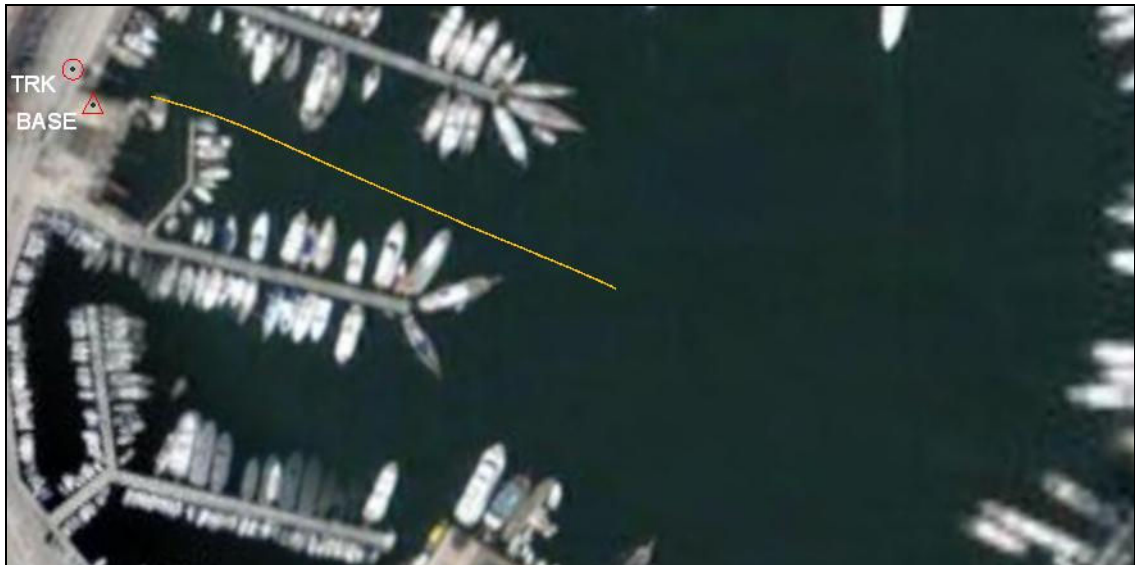
Πίνακας 3.2 Μικρολίμανο: Στατιστικά στοιχεία δεδομένων συλλογής
Table 3.2 Mikrolimano: Field data statistics overview



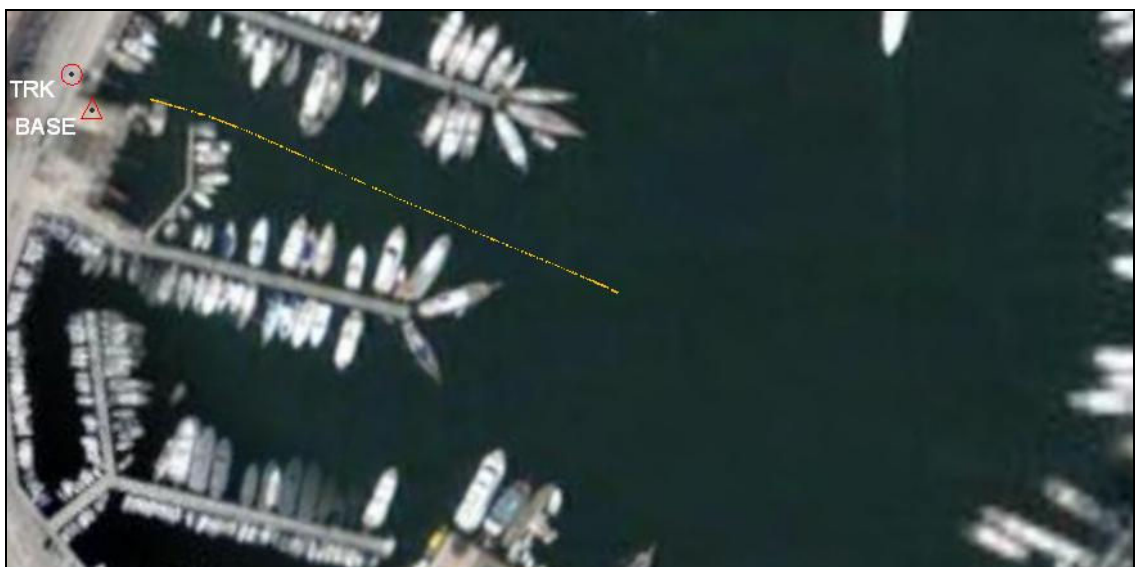
Σχήμα 3.2 Σύνοψη διαδρομών πρώτου πειράματος σε δορυφορική εικόνα
Figure 3.2 Trial runs of the first experiment overlaid on a satellite image

3.1.1. Περιγραφή Διαδρομής E1

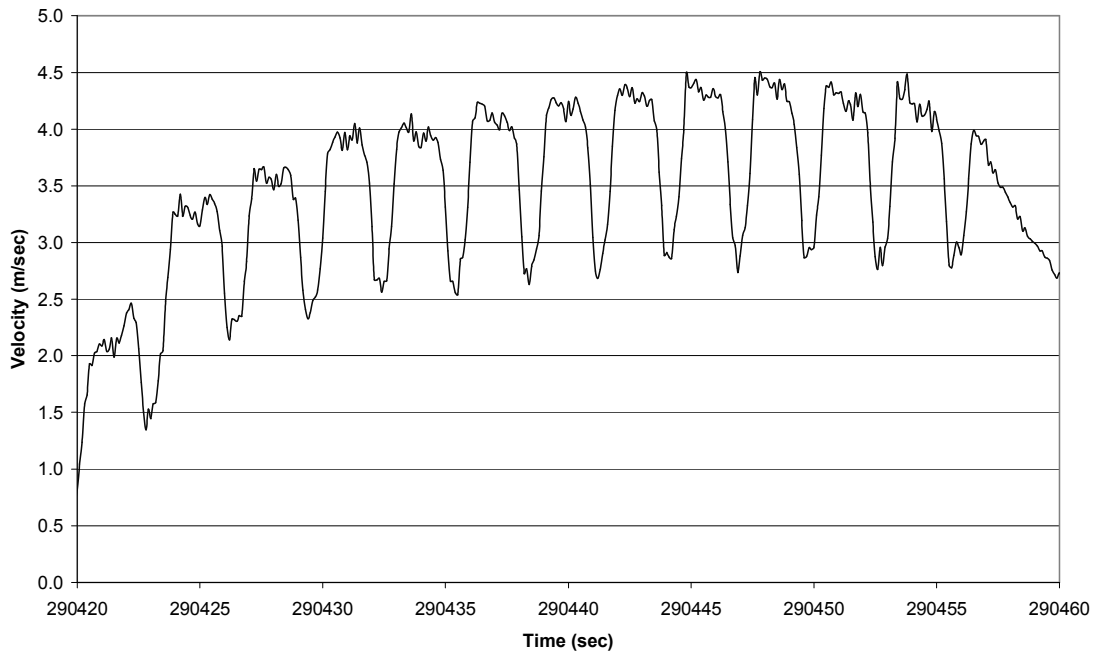
Η πρώτη διαδρομή είχε αποκλειστικά δοκιμαστικό χαρακτήρα. Το σκάφος διένυσε το μισό του διαθέσιμου μήκους, δηλαδή απόσταση περίπου 150 m. Από τον αθλητή ζητήθηκε να κινηθεί με σταθερή ταχύτητα μετά την εκκίνηση ίση με 22 spm. Συνολικά εκτελέστηκαν 12 πλήρεις κουπιές, ενώ η μέγιστη ταχύτητα του σκάφους υπολογίστηκε σε 4.5 m/sec .



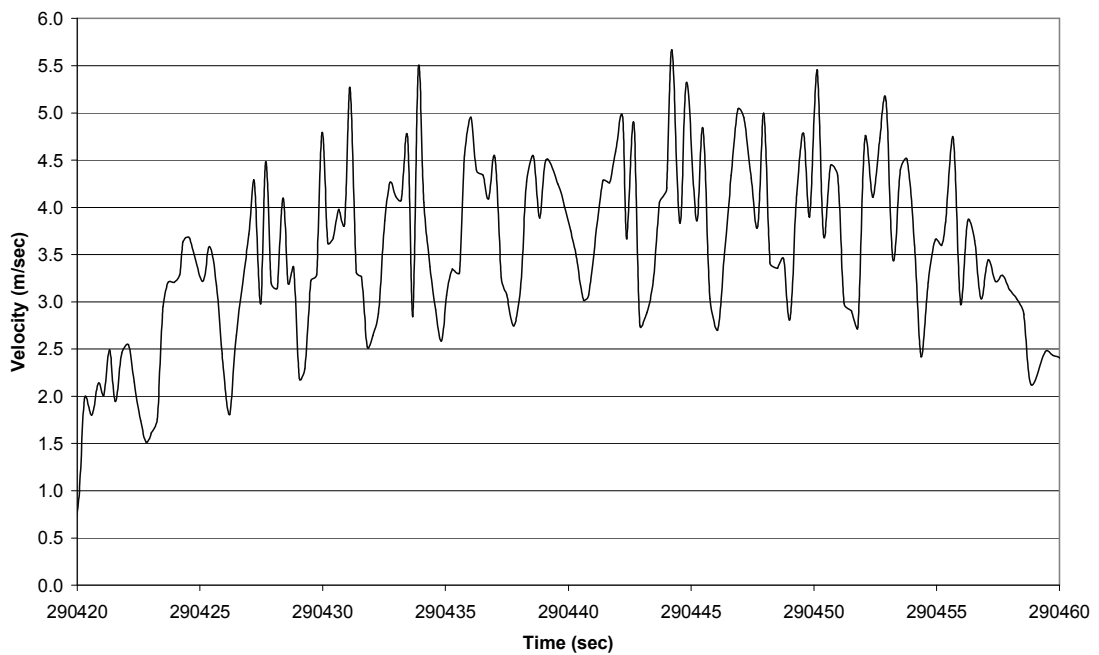
Σχήμα 3.3 Διαδρομή E1 – Επίλυση GPS
Figure 3.3 Trial Run E1 – GPS Solution



Σχήμα 3.4 Διαδρομή E1 – Επίλυση Γεωδαιτικού Σταθμού
Figure 3.4 Trial Run E1 – Tracking Total Station Solution



Σχήμα 3.5 Διαδρομή E1: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS
 Figure 3.5 Trial Run E1: Velocity - time diagram, GPS solution



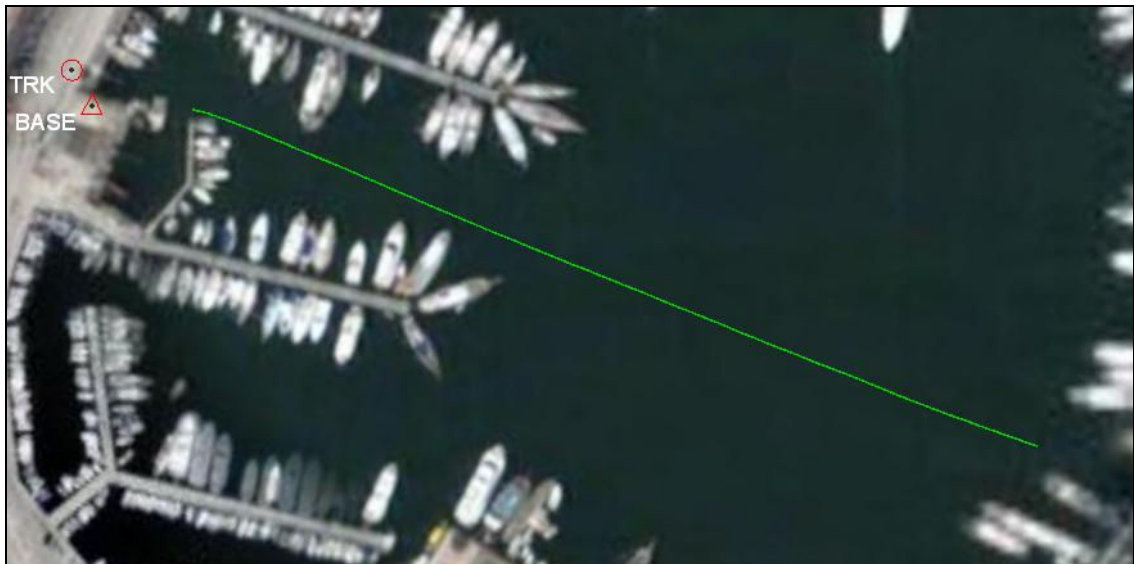
Σχήμα 3.6 Διαδρομή E1: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση Γεωδαιτικού Σταθμού
 Figure 3.6 Trial Run E1: Velocity - time diagram, Tracking Total Station solution

Ο χρόνος των διαγραμμάτων δίνεται σε δευτερόλεπτα GPS μετρημένα από την αρχή της εβδομάδας, δηλαδή από την Κυριακή 03/12/06 στις 00:00. Η στιγμιαία ταχύτητα υπολογίστηκε ως η απόσταση των σημείων ανά δύο ως προς το χρόνο καταγραφής τους.

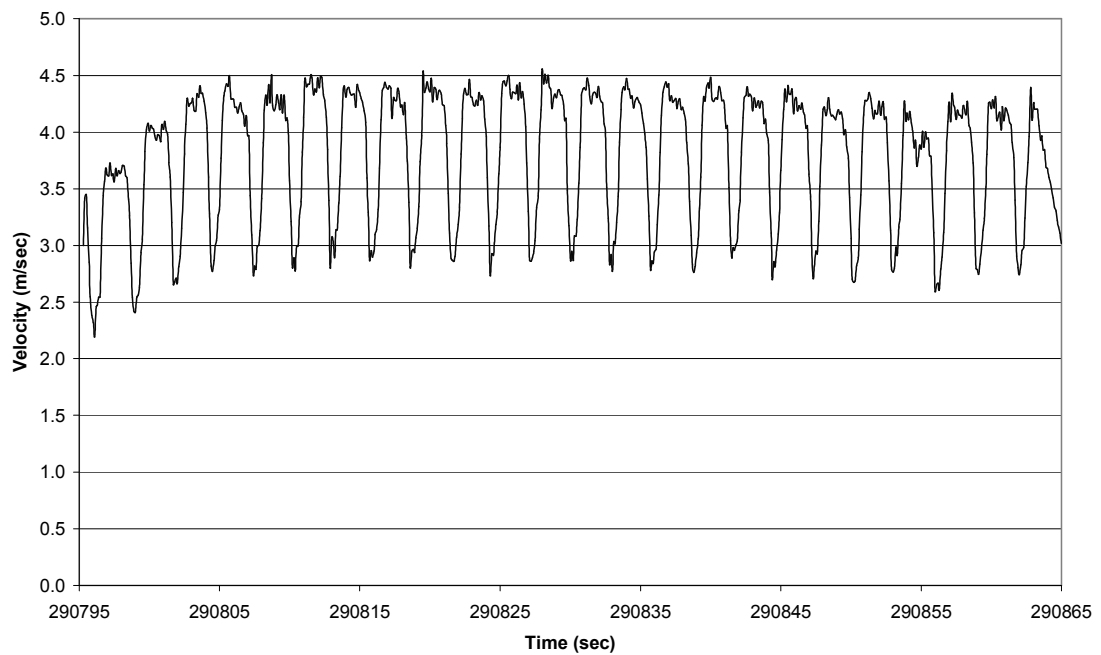
Η σύγκριση των δεδομένων του GPS με αυτά του Γεωδαιτικού Σταθμού οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η καταγραφή GPS απεικονίζει την κίνηση με μεγαλύτερη περιοδικότητα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη μικρότερη συχνότητα καταγραφής που εμφανίζει ο Γεωδαιτικός Σταθμός σε σχέση με το σύστημα GPS (βλ. Σχήματα 3.5 και 3.6). Επιπλέον, στο Σχήμα 3.6 εμφανίζεται μεγαλύτερη τιμή μέγιστης ταχύτητας κατά 1 m/sec ενώ η έντονη διακύμανση των ακρότατων τιμών δεν επιτρέπει το διαχωρισμό των φάσεων κουπιάς, γεγονός που οδηγεί στο προκαταρκτικό συμπέρασμα ότι ο συγκεκριμένος Γεωδαιτικός Σταθμός αδυνατεί να καταγράψει πλήρως το φαινόμενο.

3.1.2. Περιγραφή Διαδρομής E2

Η δεύτερη διαδρομή αποδείχθηκε είναι πληρέστερη από την πρώτη, καθώς το σκάφος έφτασε στον αντικριστό μώλο του λιμένα με σταθερό ρυθμό 20 spm. Η συνολική απόσταση που διανύθηκε ήταν της τάξης των 275 m με μέγιστη ταχύτητα τα 4.6 m/sec .



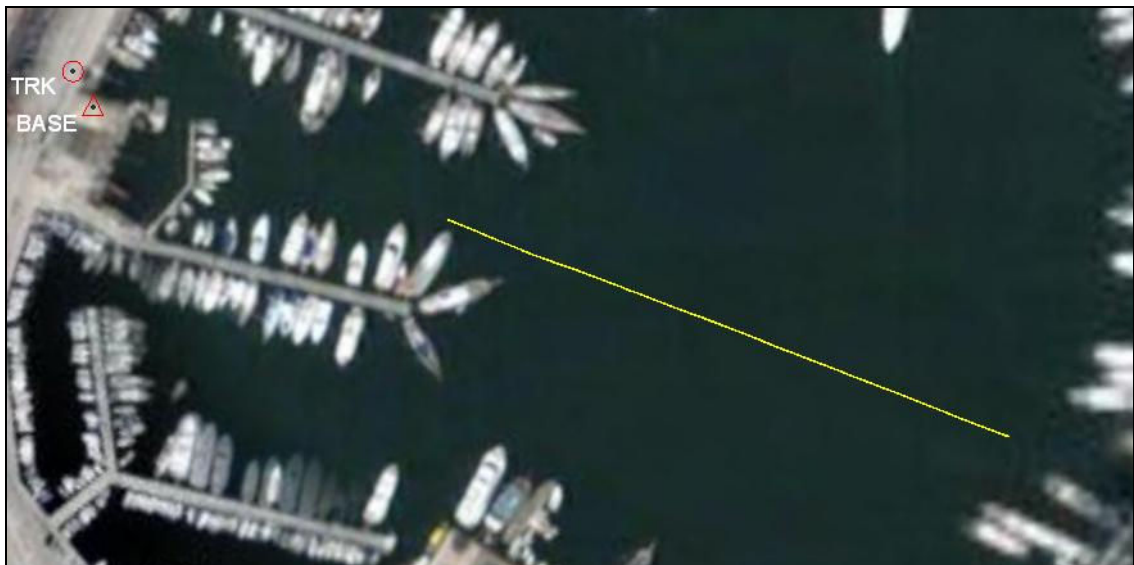
Σχήμα 3.7 Διαδρομή E2 – Επίλυση GPS
Figure 3.7 Trial Run E2 – GPS Solution



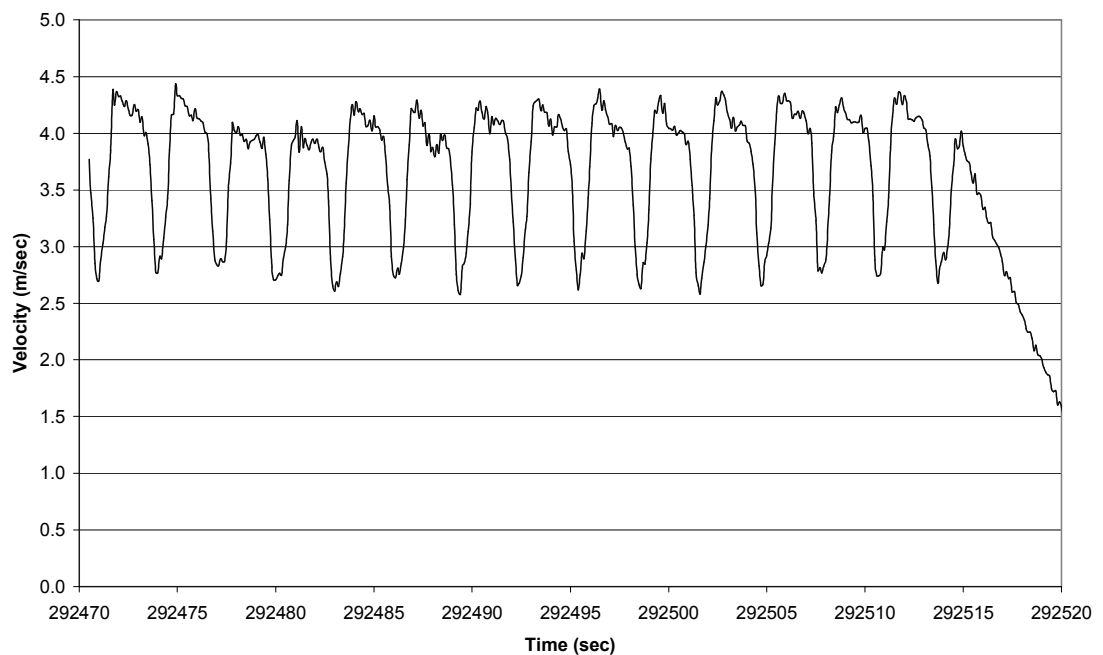
Σχήμα 3.8 Διαδρομή E2: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS
Figure 3.8 Trial Run E2: Velocity - time diagram, GPS solution

3.1.3. Περιγραφή Διαδρομής E3

Η αφετηρία της τρίτης διαδρομής έγινε σε μικρότερη απόσταση από την προβλήτα σε σχέση με τις προηγούμενες λόγω της κίνησης άλλων σκαφών στο λιμάνι. Επιδιωκόμενος ρυθμός κίνησης ήταν πάλι 20 rpm, ενώ διανύθηκε απόσταση 180 m με μέγιστη ταχύτητα 4.4 m/sec .



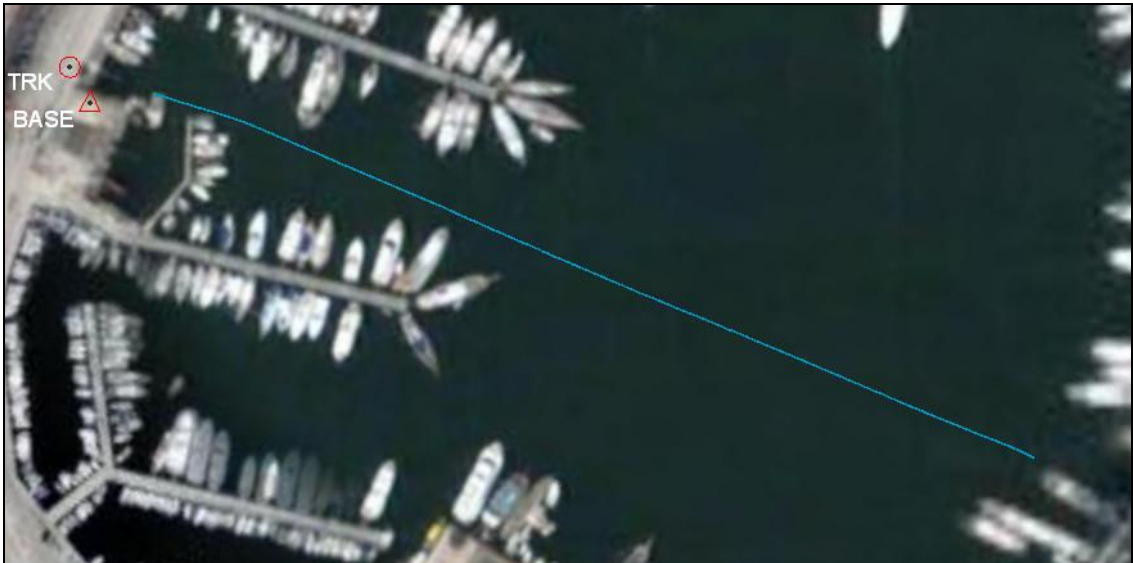
Σχήμα 3.9 Διαδρομή E3 – Επίλυση GPS
Figure 3.9 Trial Run E3 – GPS solution



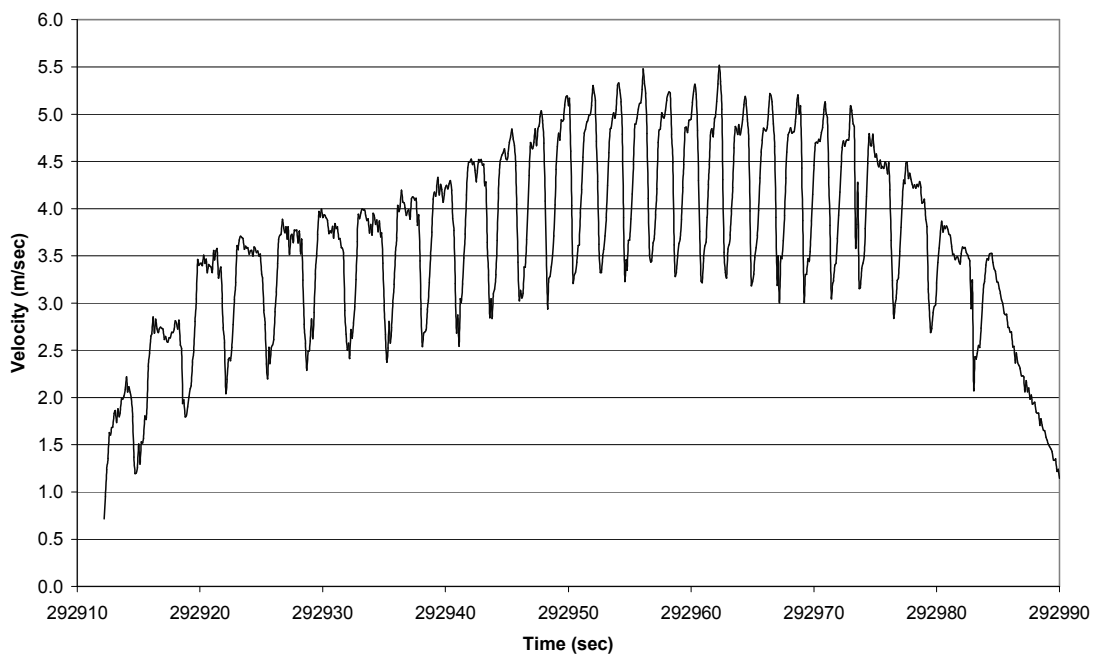
Σχήμα 3.10 Διαδρομή E3: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS
Figure 3.10 Trial Run E3: Velocity - time diagram, GPS solution

3.1.4. Περιγραφή Διαδρομής E4

Προκειμένου να δοκιμαστεί η συμπεριφορά του αθλητή και του σκάφους σε διαφορετικές συνθήκες κίνησης, ζητήθηκε από τον αθλητή να επιταχύνει σε όλο το μήκος της διαδρομής. Αποτέλεσμα, ήταν να προλάβει στον περιορισμένο χώρο του λιμανιού να φτάσει το σκάφος την ταχύτητα των 5.5 m/sec. Το σκάφος διέσχισε όλο το λιμάνι, δηλαδή απόσταση 287 m.



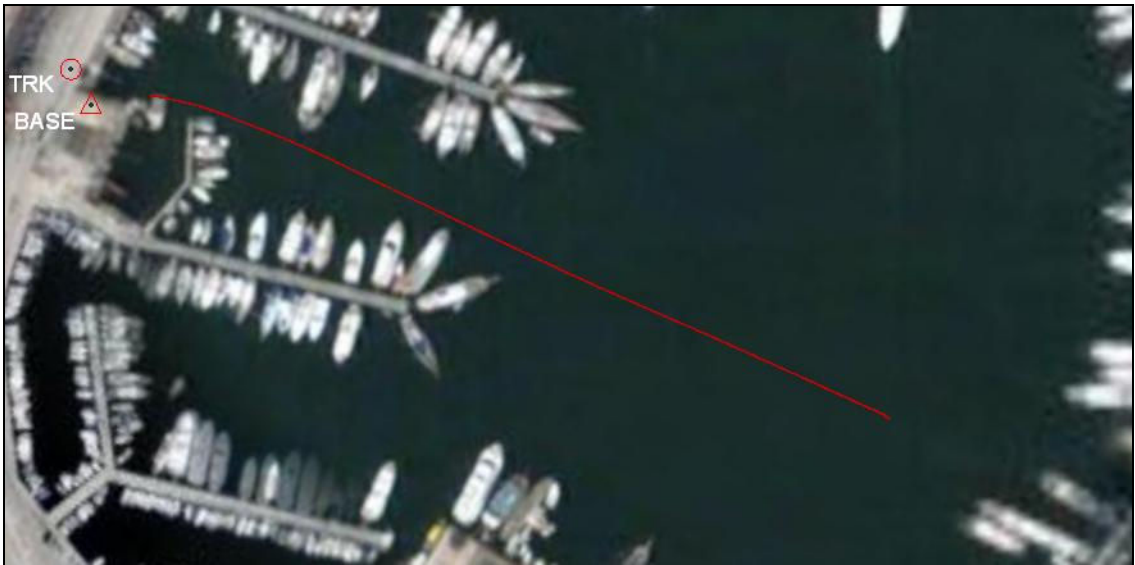
Σχήμα 3.11 Διαδρομή E4 – Επίλυση GPS
Figure 3.11 Trial Run E4 – GPS solution



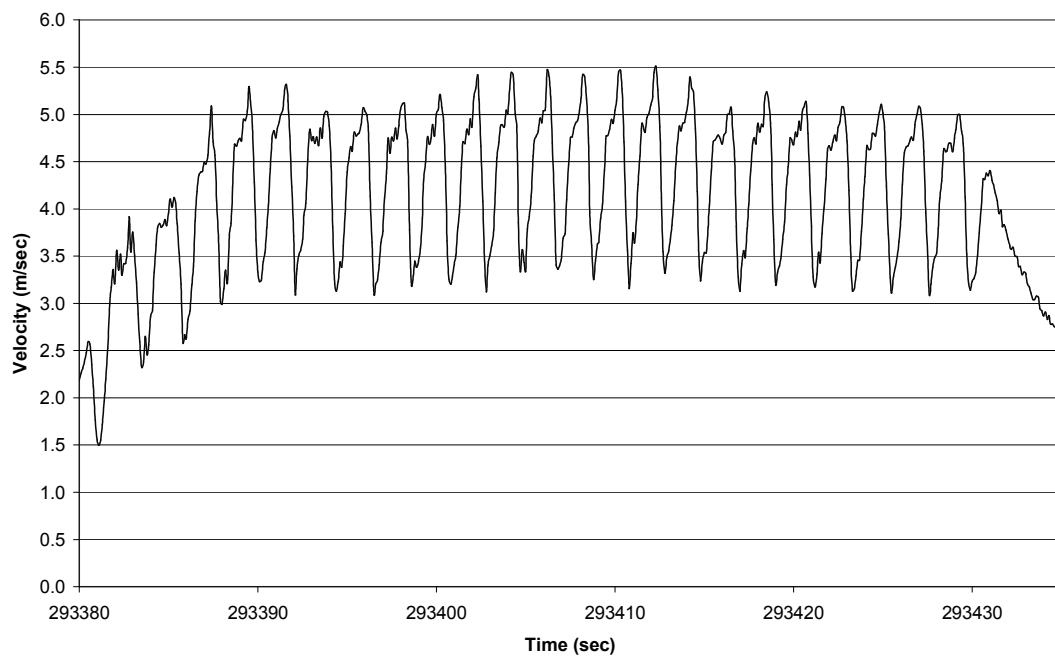
Σχήμα 3.12 Διαδρομή E4: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS
Figure 3.12 Trial Run E4: Velocity - time diagram, GPS solution

3.1.5. Περιγραφή Διαδρομής E5

Στη συγκεκριμένη διαδρομή ζητήθηκε από τον αθλητή να εκτελέσει πολύ γρήγορες κουπιές με σταθερό ρυθμό 30 spm). Η μέγιστη ταχύτητα που επιτεύχθηκε ήταν 5.5 m/sec.



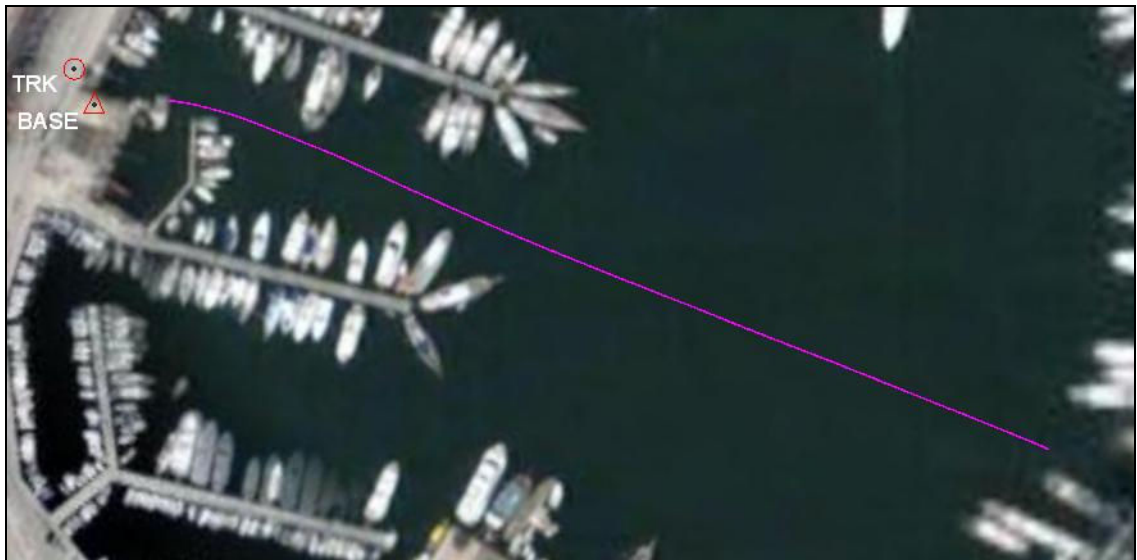
Σχήμα 3.13 Διαδρομή E5 – Επίλυση GPS
Figure 3.13 Trial Run E5 – GPS solution



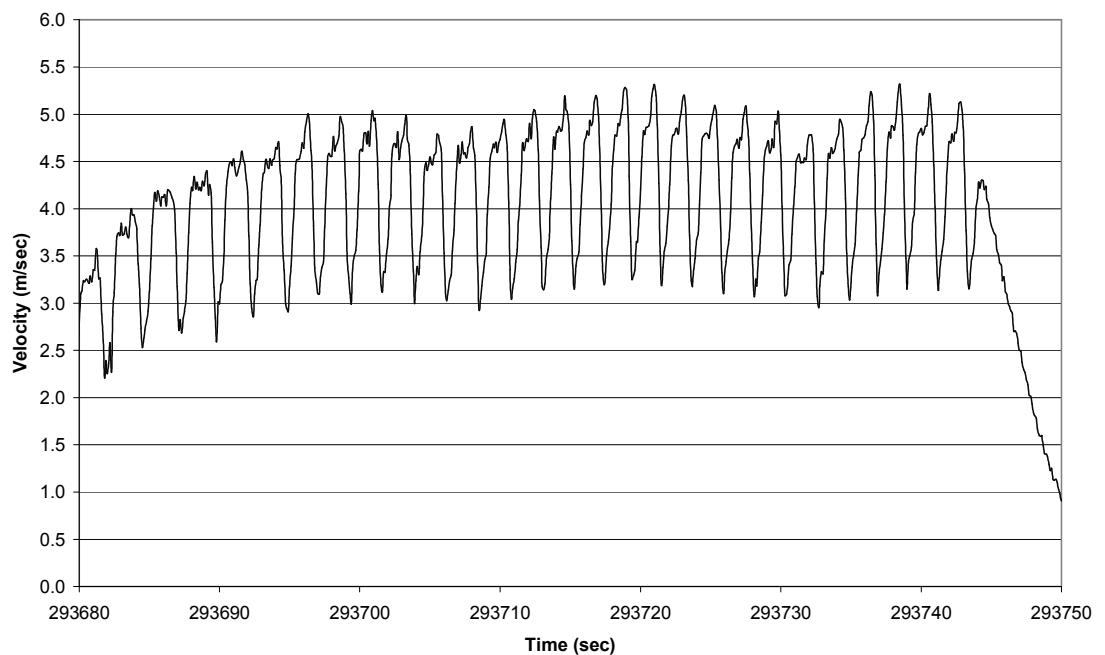
Σχήμα 3.14 Διαδρομή E5: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS
Figure 3.14 Trial Run E5: Velocity - time diagram, GPS solution

3.1.6. Περιγραφή Διαδρομής E6

Όμοια με την Διαδρομή E5, ζητήθηκε από τον αθλητή να διατηρήσει σταθερό ρυθμό κωπηλάτησης 30 spm. Στόχος αυτής της διαδρομής είναι να ελεγχθεί η επαναληψιμότητα στη συγκεκριμένη ταχύτητα. Η μέγιστη ταχύτητα ήταν 5.3 m/sec, ελάχιστα μικρότερη συγκρινόμενη με τη Διαδρομή E5.



Σχήμα 3.15 Διαδρομή E6 – Επίλυση GPS
Figure 3.15 Trial Run E6 – GPS solution



Σχήμα 3.16 Διαδρομή E6: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS
Figure 3.16 Trial Run E6: Velocity - time diagram, GPS solution

3.1.7. Περιγραφή Διαδρομής E7

Σκοπός της τελευταίας διαδρομής ήταν η μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος αθλητή – σκάφος κατά τη διαδικασία εκκίνησης, όπως αυτή πραγματοποιείται σε συνθήκες αγώνων. Η αγωνιστική εκκίνηση περιλαμβάνει:

- εκκίνηση του σκάφους με 5 γρήγορες αλλά όχι δυνατές κουπιές σε ρυθμό περίπου 38 spm ,
- ακολουθούν 10 λίγο πιο δυνατές από τις αρχικές κουπιές,
- ο αθλητής εκτελεί 20 κουπιές προσπαθώντας να ελαττώσει το ρυθμό στα 32 spm .

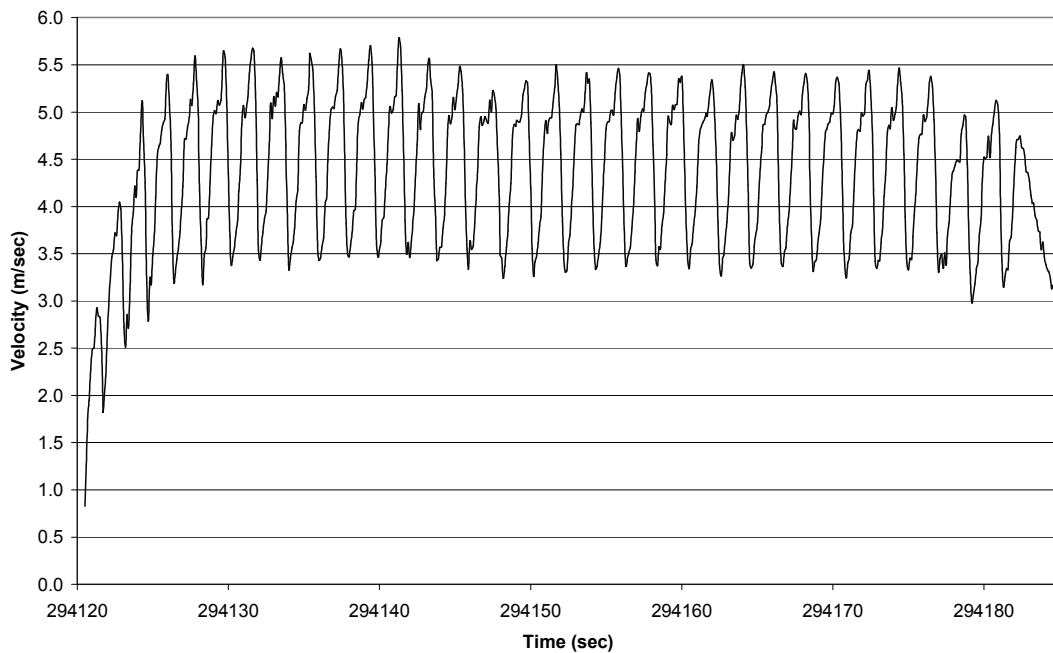
Τέλος, στους αγώνες των 2000 m, το σκάφος συνεχίζει για 1000 m με σταθερό ρυθμό και τα τελευταία 500 m επιταχύνει ξανά πριν τερματίσει.



Σχήμα 3.17 Διαδρομή E7 – Επίλυση GPS
Figure 3.17 Trial Run E7 – GPS solution



Σχήμα 3.18 Διαδρομή E7 – Επίλυση Γεωδαιτικού Σταθμού
 Figure 3.18 Trial Run E7 – Tracking Total Station solution

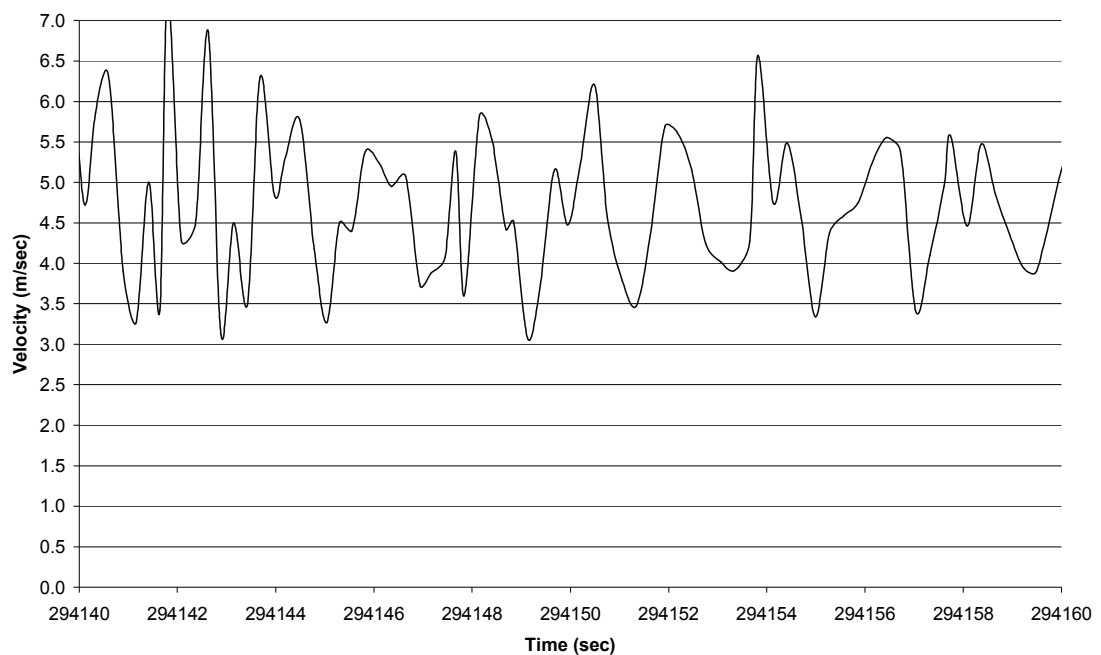


Σχήμα 3.19 Διαδρομή E7: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS
 Figure 3.19 Trial Run E7: Velocity - time diagram, GPS solution

Εξαιτίας του περιορισμένου χώρου στο Μικρολίμανο εκτελέστηκαν 32 κουπιές συνολικά (Σχήμα 3.19). Οι τέσσερις πρώτες έχουν μικρή χρονική διάρκεια – περίπου 1.5 sec κάθε μία (κατά μέσο όρο 40 spm) – και φέρνουν το σκάφος στην ταχύτητα των 5.4 m/sec . Από την πέμπτη έως και τη δέκατη τρίτη, κάθε κουπιά διαρκεί 1.8 sec–1.9 sec (περίπου 33 spm), ενώ η ταχύτητα παραμένει σταθερή (5.6 m/sec).

Από τη δέκατη τέταρτη κουπιά και μετά, ο ρυθμός κωπηλασίας μειώνεται στα 2.0 sec διάρκεια κουπιάς (30 spm) με ταχύτητα 5.4 m/sec έως ότου ακινητοποιηθεί το σκάφος.

Οι μετρήσεις του Γεωδαιτικού Σταθμού (Σχήμα 3.20) για τη συγκεκριμένη διαδρομή έδωσαν ιδιαίτερα ελλιπή διαγράμματα στα οποία είναι αδύνατον να διακριθούν οι κουπιές.



Σχήμα 3.20 Διαδρομή E7: Απόσπασμα διαγράμματος ταχύτητας – χρόνου, επίλυση Γεωδαιτικού Σταθμού

Figure 3.20 Trial Run E7: Velocity - time diagram segment, Tracking Total Station solution

3.2. Πειραματική Διαδικασία στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο

Οι δοκιμές στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο πραγματοποιήθηκαν με μεγάλη χρονική διαφορά από το πρώτο πείραμα δίνοντας τη δυνατότητα αναβάθμισης της πειραματικής διάταξης ώστε να ενταχθεί και το αδρανειακό σύστημα εντοπισμού σε αυτή (Σχήμα 3.23).



Σχήμα 3.21 Άποψη του Ολυμπιακού Κωπηλατοδρομίου Σχινιά
Figure 3.21 View of the Skinias Olympic Rowing Center

Καθώς η μέθοδος οργάνωσης και εκτέλεσης του πρώτου πειράματος δεν παρουσίασε ιδιαίτερα προβλήματα, εφαρμόστηκε ανάλογη μεθοδολογία στις δοκιμές στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο. Ο Γεωδαιτικός Σταθμός τοποθετήθηκε κοντά στο σημείο της εκκίνησης του σκάφους στην ευθυγραμμία του διαζώματος στο οποίο είχε σχεδιαστεί να κινηθεί το κωπηλατικό σκάφος. Η συγκεκριμένη στάση οργάνου επιτυγχάνει τη συνεχή παρακολούθηση του καταφώτου χωρίς το όργανο να εκτελεί μεγάλες γωνιακές μετακινήσεις που ενδέχεται να οδηγήσουν σε απώλεια στόχου. Ως μηδενικός προσανατολισμός λήφθηκε η διεύθυνση Γεωδαιτικός Σταθμός (TRK) – Σταθερός Δέκτης GPS (BASE). Η βάση των δύο σημείων μετρήθηκε με τη μέθοδο του ταχέως στατικού εντοπισμού.

Τοποθεσία	Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο Σχινιά
Μέγιστη Απόσταση Πλεύσης	2000 m
Χρόνος Εκτέλεσης	10:00 - 13:00
Καιρικές Συνθήκες	Συννεφιά
Άνεμος	3-4 Beaufort (6 στην τελευταία διαδρομή)

Πίνακας 3.3 Συνθήκες εκτέλεσης δευτέρου πειράματος
Table 3.3 Conditions governing the second experiment

Το κύριο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε κατά τη διεξαγωγή των δοκιμών ήταν η ένταση του ανέμου. Οι πρώτες διαδρομές εκτελέστηκαν με επιτυχία αλλά προς το τέλος των δοκιμών, η ένταση του ανέμου έφτασε τα 5 – 6 Beaufort με Βόρια κατεύθυνση. Καθώς ο αγωνιστικός στίβος έχει προσανατολισμό Β – Ν, οι κυματισμοί δυσχέραιναν την κίνηση του σκάφους με αποτέλεσμα να διακοπεί η τελευταία δοκιμή και να μην πραγματοποιηθεί η τελική, πλήρης διαδρομή των 2 km όπως είχε υπολογιστεί αρχικά.

Το σκάφος που χρησιμοποιήθηκε ήταν της κινέζικης εταιρείας Flying Eagle, μήκους 8 m και με κουπιά Concept II τύπου Smooth. Στο σκάφος επέβαινε ο αθλητής κ. Αναστάσιος Μαρίνος υπό την επίβλεψη του κ. Πολυχρόνη Βλασταρίδη (Σχήμα 3.22).



Σχήμα 3.22 Ο αθλητής κωπηλασίας Αναστάσιος Μαρίνος στο σκάφος με την πειραματική διάταξη κατά τη δεύτερη σειρά δοκιμών

Figure 3.22 Rowing athlete Anastasios Marinos on board a rowing skiff bearing the experimental arrangement during the second set of trial runs



Σχήμα 3.23 Κεραία δέκτη GPS, αδρανειακό σύστημα εντοπισμού και περιβλεπτο πρίσμα τοποθετημένα στο σκάφος
 Figure 3.23 GPS antenna, inertial guidance system and 360 degrees prism mounted on the boat

Όργανο	Διαδρομή	Μέσος χρόνος μεταξύ διαδοχικών σημείων (sec)	Μέση απόσταση μεταξύ διαδοχικών σημείων (m)	Μέση ταχύτητα (m/sec)	Απόσταση αρχής - τέλους (m)	Αριθμός σημείων	Διάρκεια διαδρομής (sec)
Total Station	Διαδρομή S1 Μετ.	0.279	1.08	3.90	505.00	526	199.1
	Διαδρομή S2 Μετ.	0.279	1.07	3.85	324.74	333	223.2
	Διαδρομή S3 Μετ.	0.279	1.01	3.65	394.22	494	118.6
	Διαδρομή S4 Μετ.	0.285	1.02	3.60	524.33	694	144.2
GPS	Διαδρομή S1 Μετ.	0.100	0.33	3.33	758.07	2286	228.4
	Διαδρομή S1 Επ.	0.100	0.38	3.84	759.95	1993	199.1
	Διαδρομή S2 Μετ.	0.100	0.34	3.34	763.67	2234	223.2
	Διαδρομή S2 Επ.	0.100	0.39	3.87	458.61	1188	118.6
	Διαδρομή S3 Μετ.	0.100	0.28	2.76	397.31	1444	144.2
	Διαδρομή S3 Επ.	0.100	0.30	3.03	391.27	1292	129.0
	Διαδρομή S4 Μετ.	0.100	0.25	2.54	534.82	2111	210.9

Πίνακας 3.4 Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο: Στατιστικά στοιχεία δεδομένων συλλογής
 Table 3.4 Olympic Rowing Center: Field data statistics overview

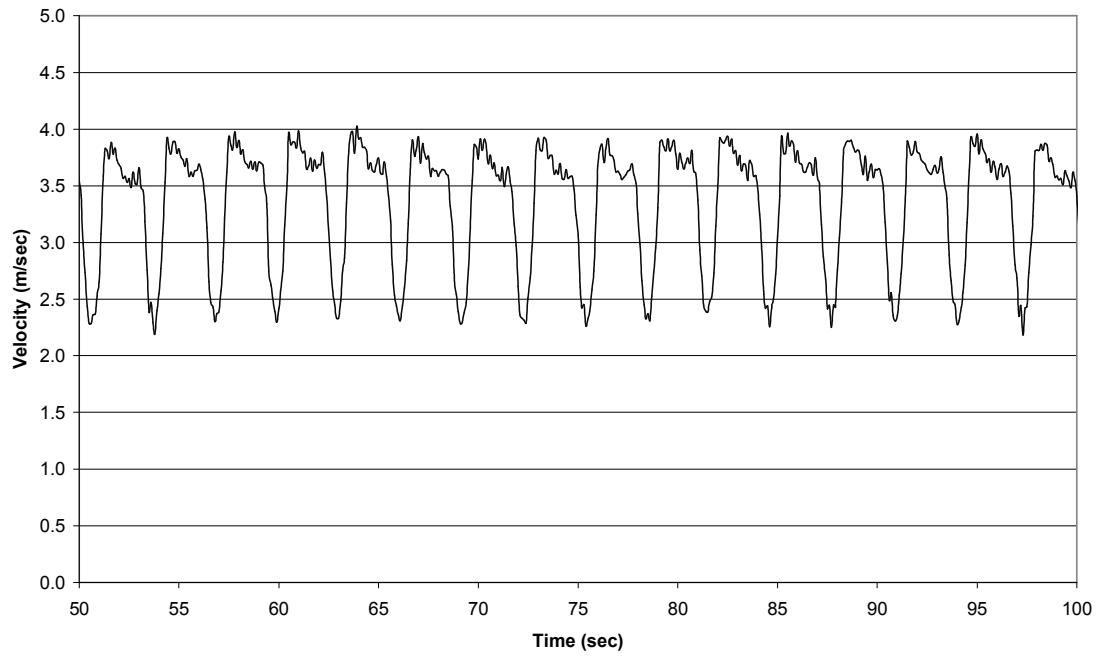
3.2.1. Περιγραφή Διαδρομής S1

Η διαδρομή εκτελέστηκε σε μετάβαση και επιστροφή από και προς το σημείο εκκίνησης. Το σκάφος απομακρύνθηκε 760 m από την προβλήτα εκκίνησης. Κατά τη σε μετάβαση διαδρομή το σκάφος ανέπτυξε μέση ταχύτητα 3.3 m/sec με αντίθετο άνεμο. Αντίθετα, κατά την επιστροφή η ταχύτητα αυξήθηκε στα 3.8 m/sec χάρη στον ούριο άνεμο.

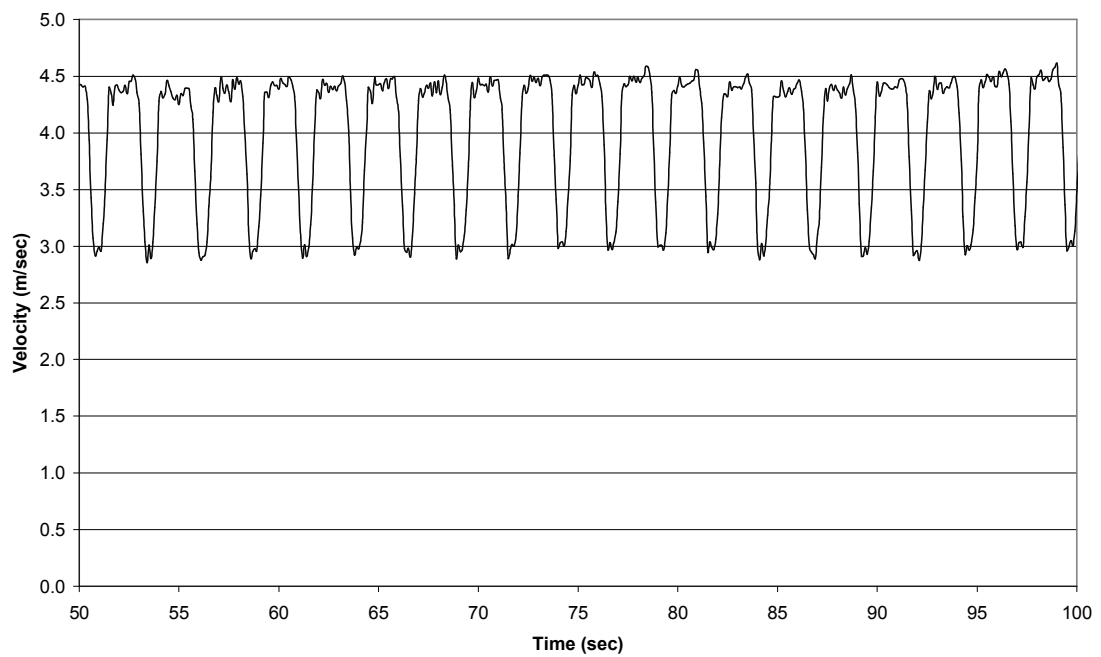


Σχήμα 3.24 Διαδρομή S1 σε μετάβαση και επιστροφή – Επίλυση GPS
Figure 3.24 Trial Run S1 forward and backwards run – GPS Solution

Από τα Σχήματα 3.25 και 3.26 διακρίνονται διαφορές στη μορφή των καμπυλών ταχύτητας σε μετάβαση και επιστροφή, οι οποίες σχετίζονται άμεσα με τη διεύθυνση του ανέμου και αναλύονται στο Κεφάλαιο 4.



Σχήμα 3.25 Διαδρομή S1 σε μετάβαση: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS
 Figure 3.25 Trial Run S1 forward run: Velocity - time diagram, GPS solution



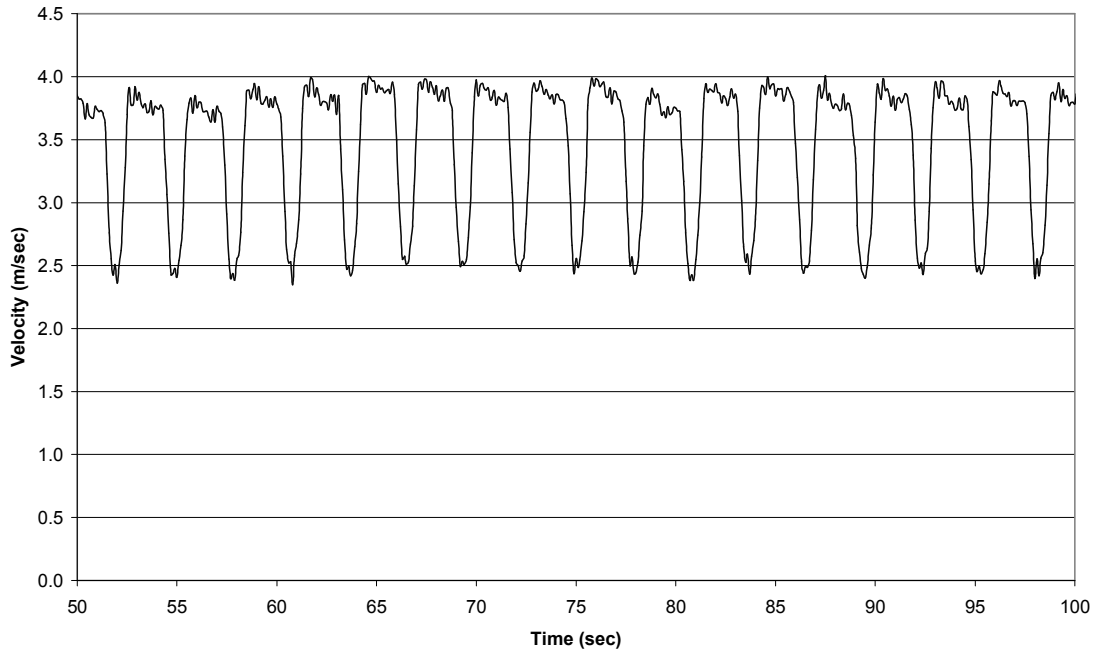
Σχήμα 3.26 Διαδρομή S1 σε επιστροφή: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS
 Figure 3.26 Trial Run S1 backward run: Velocity - time diagram, GPS solution

3.2.2. Περιγραφή Διαδρομής S2

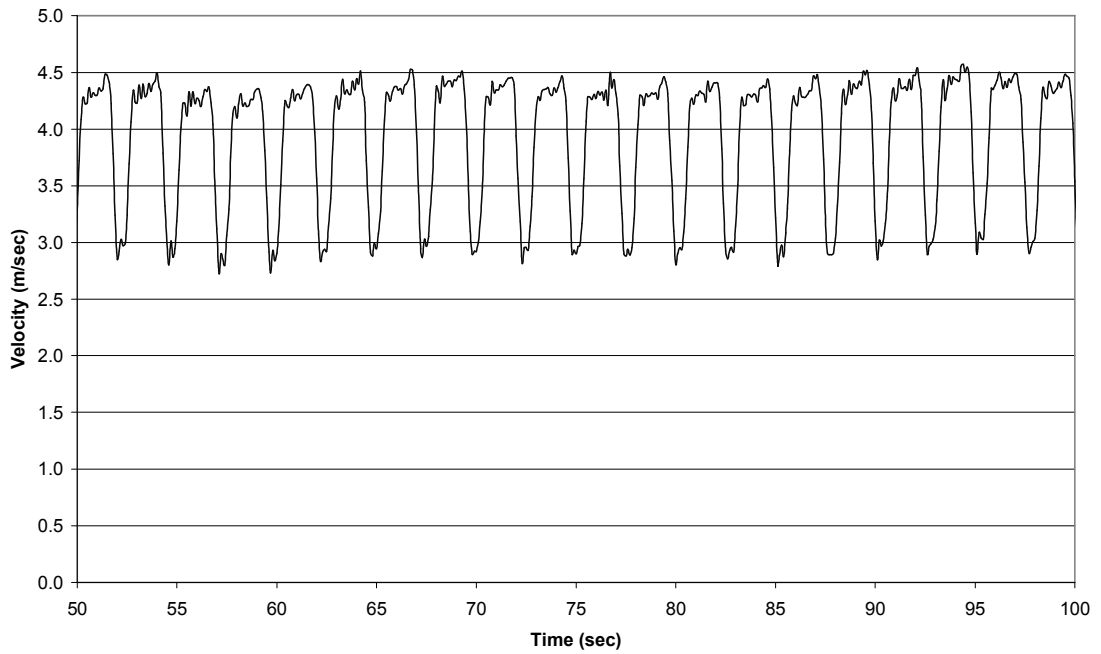
Η Διαδρομή S2 είναι ανάλογη με τη Διαδρομή S1 με τη διαφορά ότι η μνήμη του καταγραφικού του GPS δεν ήταν αρκετή προκειμένου να αποτυπωθεί ολόκληρη η επιστροφή – καταγράφηκαν 500 m από τα συνολικά 760 m. Η ταχύτητα του σκάφους κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα, δηλαδή 3.3 m/sec κατά τη μετάβαση και 3.8 m/sec κατά την επιστροφή.



Σχήμα 3.27 Διαδρομή S2 σε μετάβαση και επιστροφή – Επίλυση GPS
Figure 3.27 Trial Run S2 forwards and backwards run – GPS Solution



Σχήμα 3.28 Διαδρομή S2 σε μετάβαση: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS
 Figure 3.28 Trial Run S2 forward run: Velocity - time diagram, GPS solution



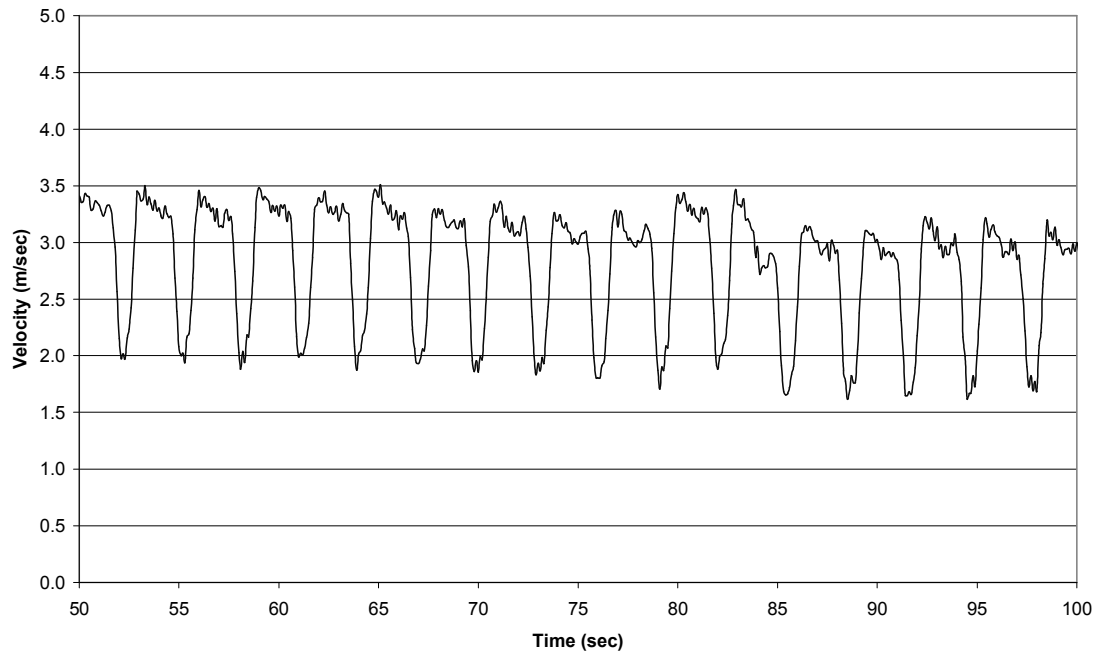
Σχήμα 3.29 Διαδρομή S2 σε επιστροφή: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS
 Figure 3.29 Trial Run S2 backward run: Velocity - time diagram, GPS solution

3.2.3. Περιγραφή Διαδρομής S3

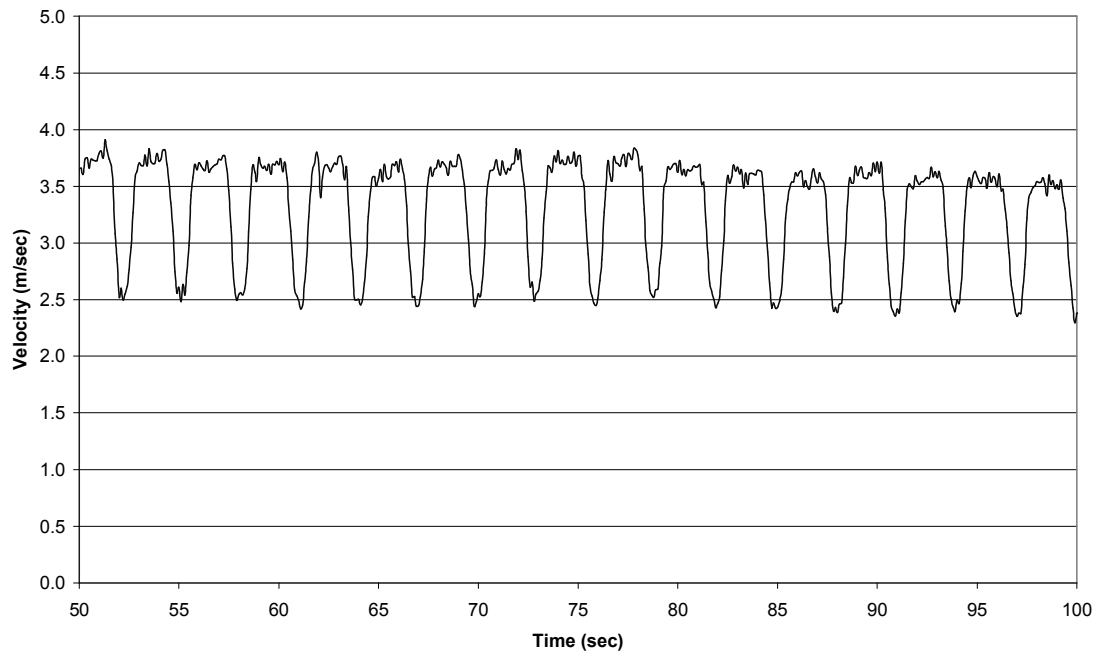
Κατά τη Διαδρομή S3 προστέθηκε στη διάταξη το αδρανειακό σύστημα για τη συλλογή επιπλέον πληροφορίας. Κύριο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε ήταν ο ενισχυμένος άνεμος. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την κόπωση του αθλητή από τις συνεχόμενες διαδρομές, το σκάφος διένυσε μόνο 800 m συνολικά σε μετάβαση και επιστροφή. Η ταχύτητα μειώθηκε στα 2.7 m/sec κατά τη μετάβαση, δηλαδή σημειώθηκε απώλεια 0.6 m/sec σε σχέση με τις προηγούμενες διαδρομές, και στα 3.0 m/sec κατά την επιστροφή, δηλαδή απώλεια 0.8 m/sec. Η μεγάλη μείωση της ταχύτητας κατά την επιστροφή, με ευνοϊκό άνεμο, οφείλεται στο γεγονός ότι αν ανέβει το ύψος του κυματισμού πάνω από ένα ορισμένο επίπεδο, ο αθλητής χάνει το ρυθμό του και δεν αποδίδει το ίδιο οπότε και είναι προτιμότερος αντίθετος άνεμος παρά ούριος.



Σχήμα 3.30 Διαδρομή S3 σε μετάβαση και επιστροφή – Επίλυση GPS
Figure 3.30 Trial Run S3 forwards and backwards run – GPS Solution



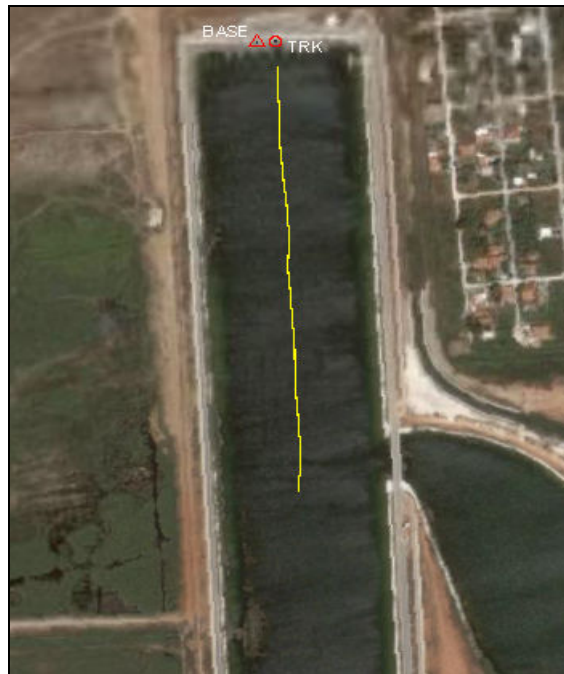
Σχήμα 3.31 Διαδρομή S3 σε μετάβαση: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS
 Figure 3.31 Trial Run S3 forward run: Velocity - time diagram, GPS solution



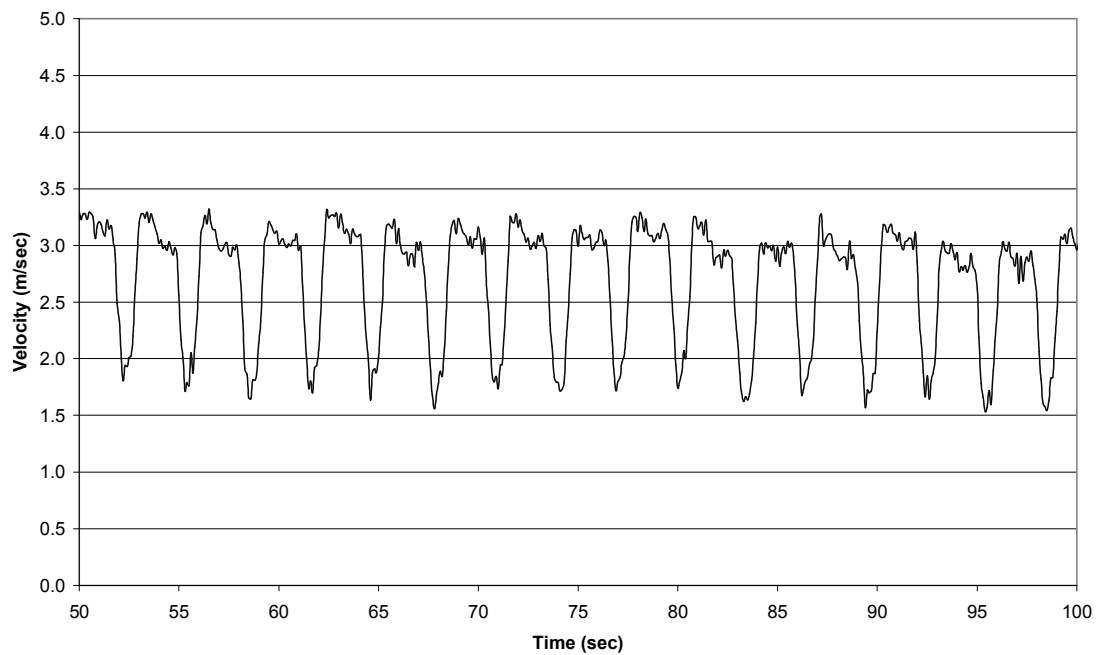
Σχήμα 3.32 Διαδρομή S3 σε επιστροφή: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS
 Figure 3.32 Trial Run S3 backward run: Velocity - time diagram, GPS solution

3.2.4. Περιγραφή διαδρομής S4

Η διαδρομή S4 εκτελέστηκε μόνο σε μετάβαση λόγω της υψηλής έντασης του ανέμου. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή παρατηρήθηκε και η χαμηλότερη μέση ταχύτητα (~ 2.5 m/sec).



Σχήμα 3.34 Διαδρομή S4 σε μετάβαση – Επίλυση GPS
Figure 3.34 Trial Run S4 forwards run – GPS Solution



Σχήμα 3.35 Διαδρομή S4 σε μετάβαση: Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου, επίλυση GPS
Figure 3.35 Trial Run S4 forward run: Velocity - time diagram, GPS solution

4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1. Στατιστική Ανάλυση Φάσεων Κουπιάς

Το κύριο προϊόν των μετρήσεων GPS είναι η θέση του σκάφους μέσω της οποίας προκύπτουν τα λοιπά κινηματικά χαρακτηριστικά (ταχύτητα και επιτάχυνση). Από την προκαταρκτική μελέτη των καμπυλών ταχύτητας, παρατηρείται ότι η κίνηση του σκάφους παρουσιάζει έντονη περιοδικότητα καθώς ο κωπηλάτης εκτελεί επαναλαμβανόμενες κινήσεις σε τακτά χρονικά διαστήματα.

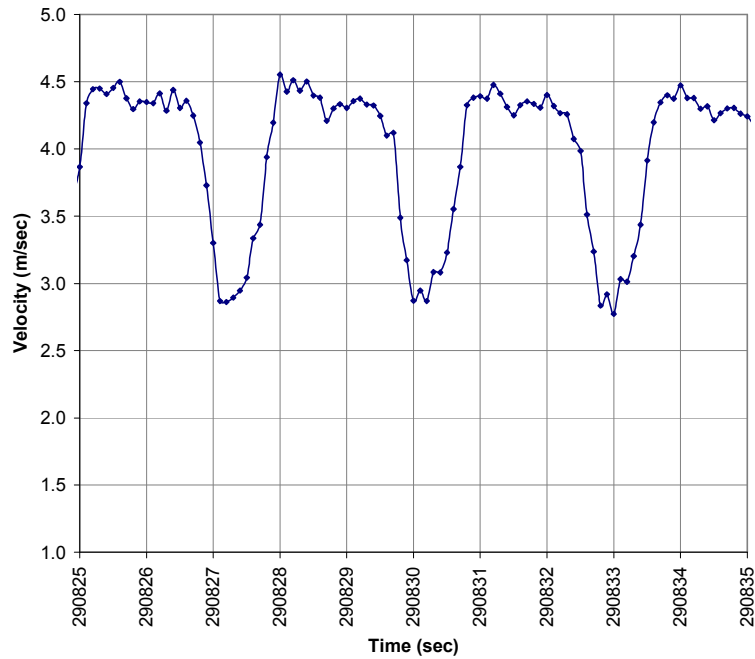
Σε προηγούμενες εργασίες [1,2,3] έχει γίνει προσπάθεια να αναλυθεί ο “κύκλος κουπιάς” σε φάσεις με απώτερο σκοπό να υπολογισθεί η αναλογία χρόνου που παραμένουν τα κουπιά μέσα στο νερό σε σχέση με το χρόνο έξω από αυτό. Μεταξύ άλλων παραμέτρων, η συγκεκριμένη αναλογία θεωρείται καθοριστική για την κατάρτιση ορθής και αποτελεσματικής τεχνικής. Στην πράξη, οι περισσότεροι προπονητές υπολογίζουν αυτή την αναλογία εμπειρικά, με την παρατήρηση του αθλητή.

Μέχρι σήμερα δεν είναι γνωστό στο συγγραφέα η μαθηματική συνάρτηση που να περιγράφει την καμπύλη ταχύτητας ή να διακρίνει τις φάσεις κουπιάς. Ωστόσο έχουν γίνει προσπάθειες μελέτης του φαινομένου σε διάφορες δημοσιεύσεις [1,2,3,7].

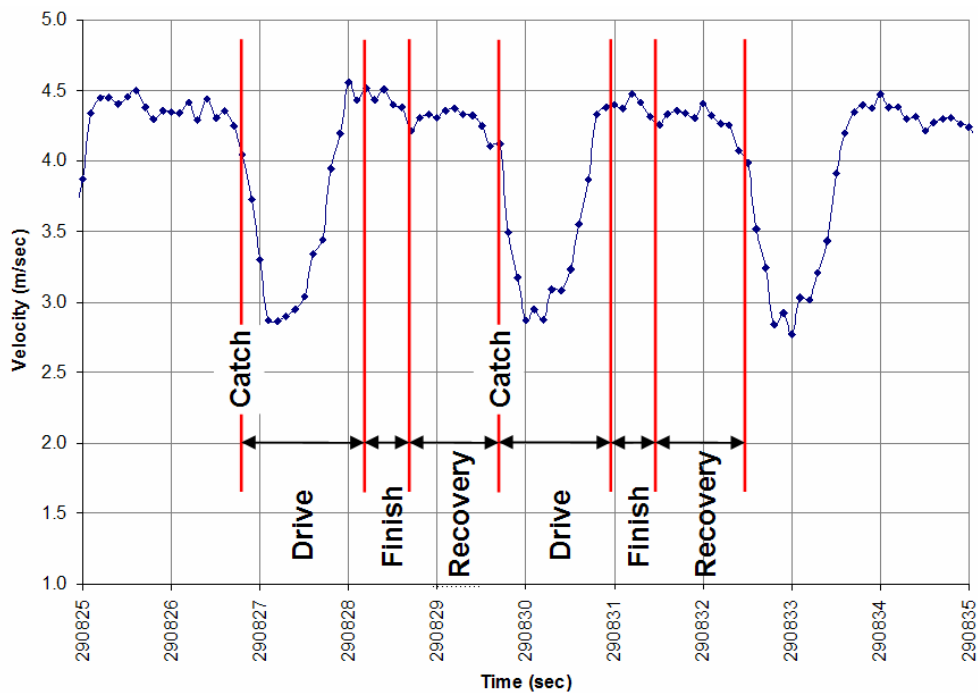
Στην παρούσα εργασία η αναγνώριση και οριοθέτηση των φάσεων έγινε με τη βοήθεια του κ. Π. Βλασταρίδη, προπονητή της Εθνικής Ομάδας Κωπηλασίας.

4.1.1. Ανάλυση Φάσεων Κουπιάς με Ρυθμό Κίνησης 20 spm

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών λήφθηκαν συνολικά 7 διαδρομές με ρυθμό κωπηλασίας 20 spm. Σε αυτή την ενότητα, περιγράφεται αναλυτικά ένα μικρό τμήμα της Διαδρομής E2 το οποίο επιλέχθηκε για τις ομαλές καιρικές συνθήκες και το βαθμό επαναληψιμότητας κατά την κωπηλάτηση (Σχήμα 4.1). Ο ρυθμός κωπηλάτησης ανέρχεται σε 20 spm, που ισοδυναμεί με περίπου 3 sec για κάθε κουπιά.



Σχήμα 4.1 Διάγραμμα ταχύτητας – χρόνου (απόσπασμα), Διαδρομή E2
 Figure 4.1 Velocity - time diagram segment, Trial Run E2



Σχήμα 4.2 Ανάλυση του “κύκλου κουπιάς” σε φάσεις στο διάγραμμα ταχύτητας – χρόνου, Διαδρομή E2

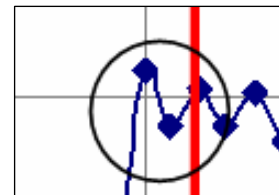
Figure 4.2 “Paddle stroke” analysis on the velocity - time diagram, Trial Run E2

Σύμφωνα με την §1.2 ο κύκλος κουπιάς διακρίνεται σε τέσσερις φάσεις. Ειδικότερα, για τα δεδομένα του Σχήματος 4.1 παρατηρούνται τα εξής:

Άρπαγμα (Catch): Αποτελεί σχεδόν στιγμιαία κίνηση της λεπίδας των κουπιών όταν εισχωρεί στο νερό. Ακολουθείται από απότομη επιβράδυνση του σκάφους μέχρι να “μαζέψει” νερό η κουτάλα του κουπιού και ακολουθείται από την έναρξη της ώθησης από τον αθλητή. Στο Σχήμα 4.2 εντοπίζεται στο σημείο μετά τη φάση επαναφοράς των κουπιών και αποτελεί την έναρξη της αιφνίδιας επιβράδυνσης του σκάφους.

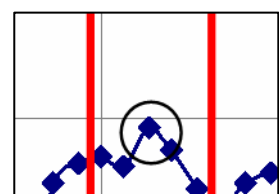
Τραβήγμα (Drive): Στην αρχή αυτής της φάσης εμφανίζεται απώλεια ταχύτητας που προκάλεσε το άρπαγμα, η οποία διαρκεί λίγο (κατά μέσο όρο 0.3 sec στο συγκεκριμένο διάγραμμα), συγκρινόμενη με τη συνολική διάρκεια της φάσης του τραβήγματος (1.3 sec αντίστοιχα). Ύστερα από την αρχική επιβράδυνση ξεκινάει η σταδιακή αύξηση της ταχύτητας του σκάφους που προκαλείται από την κίνηση των κουπιών αντίθετα προς την κατεύθυνση κίνησης. Το σκάφος επιτυγχάνει υψηλή ταχύτητα την οποία διατηρεί έως το επόμενο άρπαγμα.

Η επιβράδυνση που εμφανίζεται προτού ολοκληρωθεί η φάση οφείλεται στον “δισταγμό” του αθλητή να διατηρήσει πλήρη ισχύ στα κουπιά πριν το ξενέρωμα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η επόμενη φάση μπορεί να τον κάνει να χάσει την ισορροπία του, οπότε σιγουρεύει τη λαβή στο κουπί με αποτέλεσμα να ελαττώνει την πίεση πριν το τραβήξει από το νερό.



Λεπτομέρεια φάσης
Τραβήγματος

Ξενέρωμα (Finish): Σε αυτή τη φάση ο αθλητής χρησιμοποιεί κυρίως τα χέρια για να “τινάξει” το κουπί έξω από το νερό, ενώ μέχρι εκείνη τη στιγμή χρησιμοποιούσε το βάρος του ως κινητήρια δύναμη. Αυτή η τελευταία ώθηση, δίνει στο σκάφος ένα τελευταίο τίναγμα πριν αρχίσει η φάση της επαναφοράς το οποίο αποδεικνύεται από την κορυφή που εμφανίζεται στο διπλανό σχήμα.

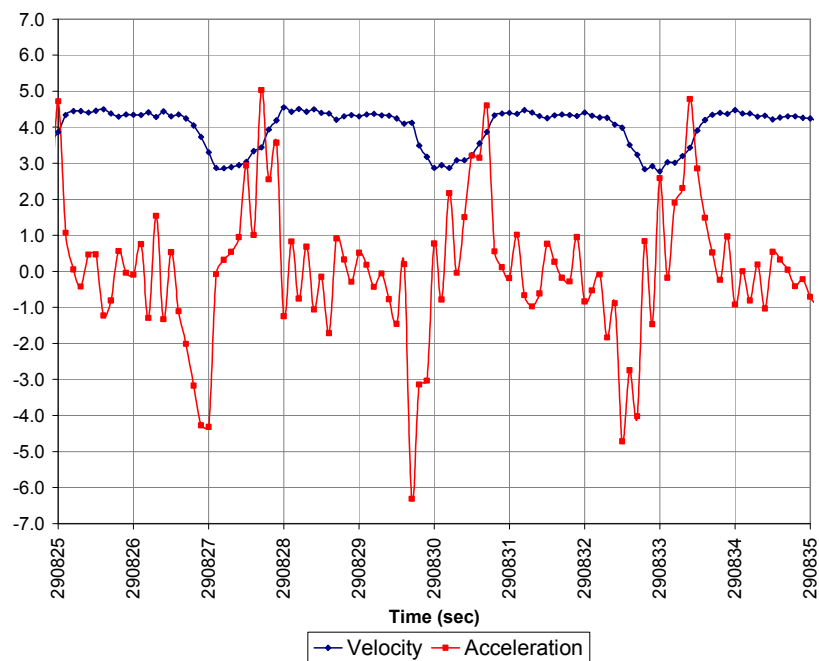


Λεπτομέρεια φάσης
Ξενερώματος

Επαναφορά (Recovery): Η φάση της επαναφοράς εμφανίζει ακανόνιστη ταλάντωση στο διάγραμμα η οποία δημιουργείται καθώς ο αθλητής προσπαθεί να επαναφέρει το καρέλο και τα κουπιά στην προβλεπόμενη θέση πριν το επόμενο άρπαγμα.

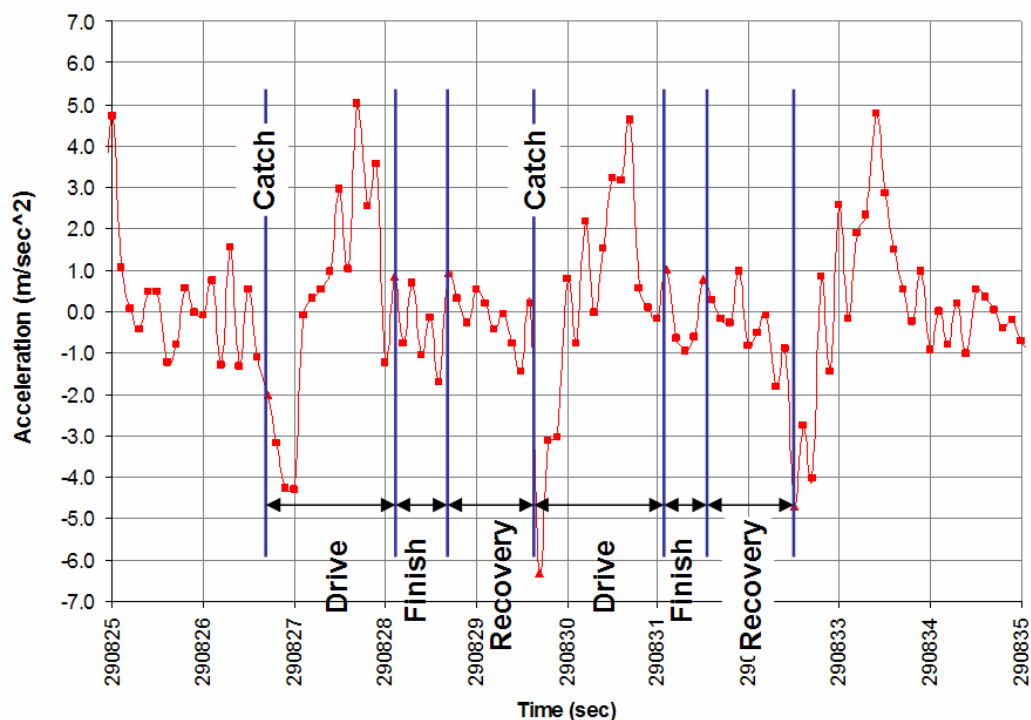
Προκειμένου να κουνηθεί το καρέλο, ο κωπηλάτης τραβάει με τα πόδια τη βάρκα προς την κατεύθυνση κίνησης, δίνοντας ώθηση στο σκάφος, ενώ θα έπρεπε να υπάρχει επιβράδυνση από τη στιγμή που η κινητήρια δύναμη παύει να ασκείται. Με τη μετακίνηση του καρέλου στην τελική του θέση, η ταχύτητα του σκάφους αρχίζει και μειώνεται όπως είναι αναμενόμενο. Ακολουθεί το άρπαγμα και το σκάφος εισέρχεται στον επόμενο “κύκλο κουπιάς”.

Το διάγραμμα επιτάχυνσης του σκάφους (Σχήμα 4.3) δεν παρουσιάζει διαφοροποιήσεις ως προς τα συμπεράσματα που μπορούν να προκύψουν για τη συμπεριφορά του σκάφους.



Σχήμα 4.3 Επικαλυπτόμενα διαγράμματα ταχύτητας - χρόνου και επιτάχυνσης - χρόνου, Διαδρομή E2
Figure 4.3 Overlaid velocity - time and acceleration - time diagrams, Trial Run E2

Σύμφωνα με το Σχήμα 4.4, η μέγιστη επιβράδυνση προκύπτει λίγο μετά την ολοκλήρωση της φάσης του αρπάγματος ενώ η μέγιστη επιτάχυνση σημειώνεται κοντά στο τέλος του τραβήγματος. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η απότομη επιβράδυνση που σημειώνεται λίγο πριν το ξενέρωμα, οπότε ο αθλητής προσπαθεί να σταθεροποιήσει τα κουπιά πριν από το τίναγμα τους έξω από το νερό.



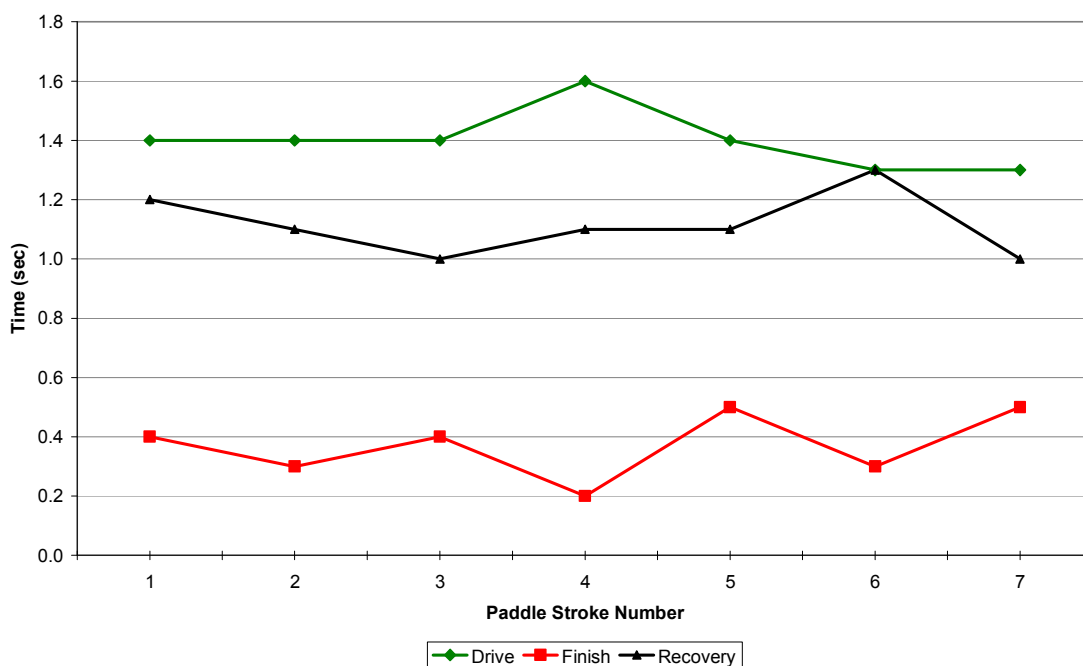
Σχήμα 4.4 Ανάλυση του “κύκλου κουπιάς” σε φάσεις στο διάγραμμα επιτάχυνσης - χρόνου, Διαδρομή E2

Figure 4.4 “Paddle stroke” analysis on the acceleration - time diagram, Trial Run E2

Αναφορικά με τη χρονική διάρκεια κάθε φάσης (Πίνακας 4.1) προκύπτει ότι ο λόγος του χρόνου που τα κουπιά είναι έξω από το νερό προς το χρόνο που είναι βυθισμένα για τυχαίο δείγμα συνεχόμενων επαναλήψεων, είναι λίγο μεγαλύτερος της μονάδας – δηλαδή το άθροισμα του χρονικού διαστήματος που διαρκεί το ξενέρωμα και η επαναφορά είναι μεγαλύτερο από το χρόνο τραβήγματος.

Διαδρομή E2						
Αριθμός Κουπιάς	Διάρκεια Drive	Διάρκεια Finish	Διάρκεια Recovery	Συνολική Διάρκεια Finish και Recovery	Αναλογία (Finish + Recovery) / Drive	Διάρκεια Κουπιάς
1	1.4	0.4	1.2	1.6	1.1	3.0
2	1.4	0.3	1.1	1.4	1.0	2.8
3	1.4	0.4	1.0	1.4	1.0	2.8
4	1.6	0.2	1.1	1.3	0.8	2.9
5	1.4	0.5	1.1	1.6	1.1	3.0
6	1.3	0.3	1.3	1.6	1.2	2.9
7	1.3	0.5	1.0	1.5	1.2	2.8
M.O.	1.4	0.4	1.1	1.5	1.1	2.9

Πίνακας 4.1 Διάρκεια φάσεων “κύκλου κουπιάς”, Διαδρομή E2
Table 4.1 “Paddle stroke” phase durations, Trial Run E2



Σχήμα 4.5 Διάρκεια φάσεων “κύκλου κουπιάς”, Διαδρομή E2
Figure 4.5 “Paddle stroke” phase durations, Trial Run E2

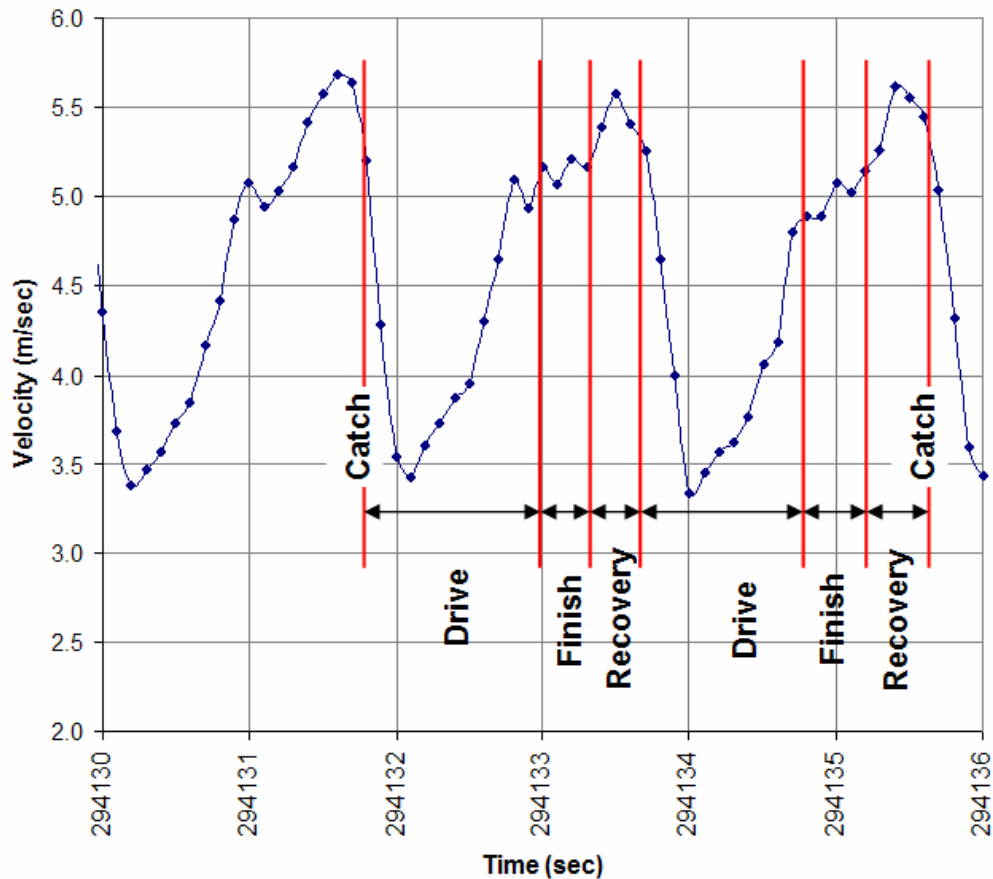
4.1.2. Ανάλυση Φάσεων Κουπιάς με Ρυθμό Κίνησης 32 spm

Συμπληρωματικά της ανάλυσης που έγινε σε 20 spm, κρίνεται σκόπιμο να μελετηθεί το φαινόμενο όταν οι κουπιές είναι πιο γρήγορες και ο αθλητής έχει λιγότερο χρόνο να συγκεντρωθεί στην εκτέλεση της κίνησης. Επιλέγεται ένα τμήμα της Διαδρομής E7 με ρυθμό 32 spm. Δεδομένου ότι αυτά τα δεδομένα συλλέχθηκαν με ίδιες καιρικές συνθήκες με αυτά της §4.1.1, τα αποτελέσματα μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους.

Ειδικότερα, από το Σχήμα 4.6 προκύπτουν δύο βασικά συμπεράσματα. Πρώτον, στη φάση του τραβήγματος το κουπί μένει αναλογικά περισσότερο χρόνο στο νερό από ότι έξω από αυτό. Δεύτερον, η φάση της επαναφοράς διαρκεί πολύ λίγο, ενώ σημειώνεται σημαντική αύξηση της ταχύτητας. Σύμφωνα με τον προπονητή κ. Π. Βλασταρίδη, αυτό το γεγονός οφείλεται στην τεχνική που εφαρμόζει ο αθλητής, ο οποίος είναι ψηλός και κατά τη φάση της επαναφοράς προσπαθεί να κερδίσει ταχύτητα ασκώντας επιπλέον τίναγμα στο καρέλο, με αποτέλεσμα να επιταχύνεται το σκάφος. Το αντίστοιχο φαινόμενο δεν παρατηρείται στους χαμηλούς ρυθμούς (20 spm) στους οποίους δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιεί το πλεονέκτημα του ύψους του. Σύμφωνα με τον προπονητή, η αύξηση της ταχύτητας κατά την επαναφορά δεν είναι

επιθυμητή και παραπέμπει σε λανθασμένη τεχνική καθώς δεν υπάρχει η απαιτούμενη ισορροπία για να πετύχει σωστά το επόμενο άρπαγμα.

Πρέπει να σημειωθεί πως το πλήθος των σημείων του διαγράμματος δεν είναι επαρκές για να προσδιοριστούν με ακρίβεια τα όρια των φάσεων, όπως συμβαίνει στα πειράματα των 20 – 24 spm. Κύρια αιτία είναι πιθανόν η συχνότητα καταγραφής του συστήματος GPS.



Σχήμα 4.6 Ανάλυση του “κύκλου κουπίας” σε φάσεις στο διάγραμμα ταχύτητας – χρόνου, Διαδρομή E7

Figure 4.6 “Paddle stroke” analysis on the velocity - time diagram, Trial Run E7

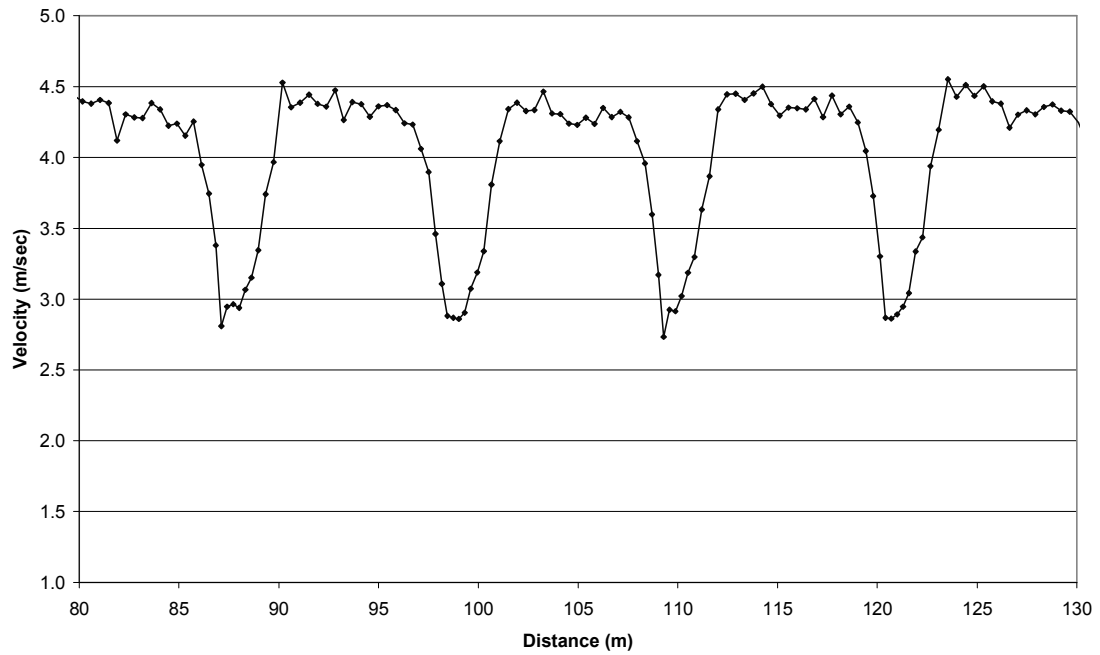
Διαδρομή E7						
Αριθμός Κουπιάς	Διάρκεια Drive	Διάρκεια Finish	Διάρκεια Recovery	Συνολική Διάρκεια Finish και Recovery	Αναλογία (Finish + Recovery) / Drive	Διάρκεια Κουπιάς
1	1.1	0.4	0.4	0.8	0.7	1.9
2	1.1	0.3	0.5	0.8	0.7	1.9
3	1.2	0.2	0.4	0.6	0.5	1.8
4	1.2	0.4	0.4	0.8	0.7	2.0
5	1.1	0.3	0.5	0.8	0.7	1.9
6	1.2	0.2	0.6	0.8	0.7	2.0
7	1.0	0.3	0.6	0.9	0.9	1.9
M.O.	1.1	0.3	0.5	0.8	0.7	1.9

Πίνακας 4.2 Διάρκεια φάσεων “κύκλου κουπιάς”, Διαδρομή E7
Table 4.2 “Paddle stroke” phase durations, Trial Run E7

Η αναλογία του χρόνου που τα κουπιά είναι στον αέρα προς το χρόνο που είναι βυθισμένα είναι της τάξης του 0.7, δηλαδή σημαντικά περισσότερος χρόνος μέσα στο νερό.

4.1.3. Ανάλυση Διανυθείσας Απόστασης ανά Κουπιά

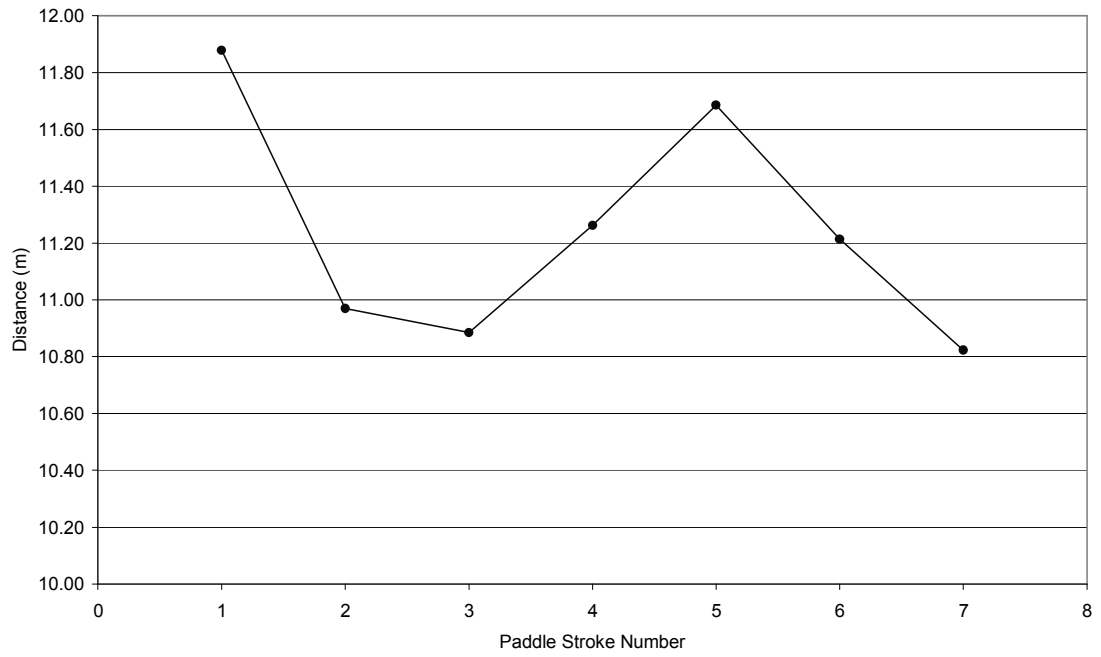
Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1, εκτός από το ρυθμό κωπηλάτησης και την ταχύτητα του σκάφους, αποτελεί σημαντικό παράγοντα και η απόσταση που διανύεται σε κάθε κουπιά. Δίνονται τα διαγράμματα απόστασης – ταχύτητας για τις Διαδρομές E2, E7, S1 – η τελευταία σε μετάβαση και επιστροφή (Σχήματα 4.7, 4.9, 4.11 και 4.13 αντίστοιχα). Σύμφωνα με τις §4.1.1 και §4.1.2 στις οποίες υπολογίσθηκαν οι κουπιές και οι φάσεις τους με βάση το χρόνο, υπολογίζεται πόση απόσταση διανύει το σκάφος σε κάθε “κύκλο κουπιάς”.



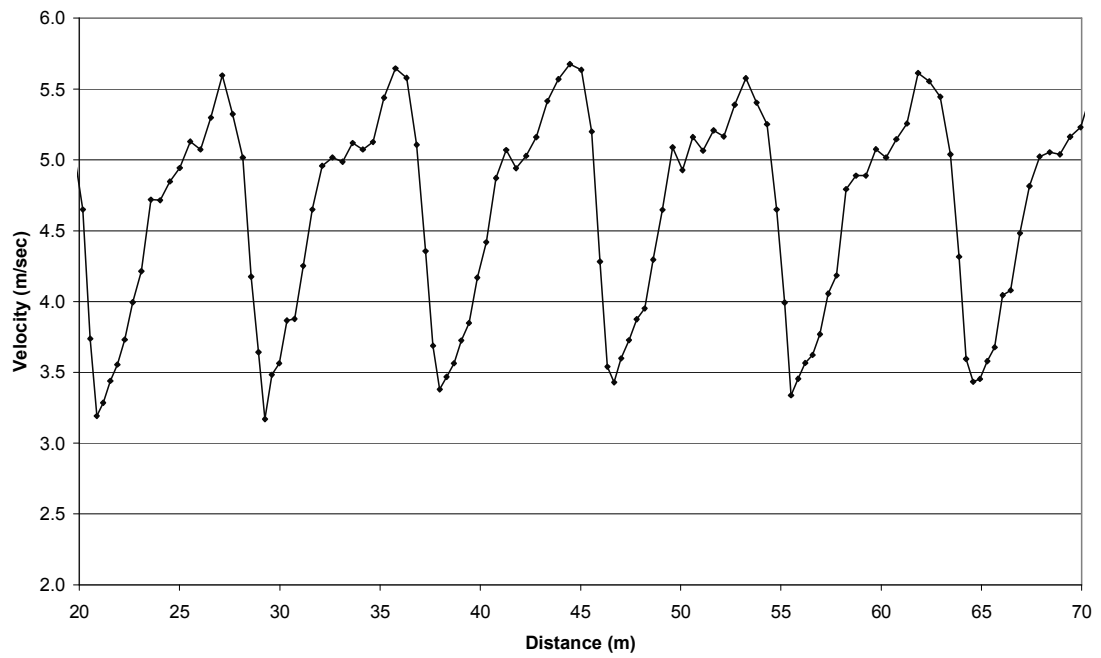
Σχήμα 4.7 Απόσπασμα διαγράμματος ταχύτητας - απόστασης, Διαδρομή E2
Figure 4.7 Velocity - distance chart segment, Trial Run E2

Διαδρομή E2			
Αριθμός Κουπιάς	Διάρκεια (sec)	Αναλογία (Finish + Recovery) / Drive	Απόσταση (m)
1	3.0	1.1	11.88
2	2.8	1.0	10.97
3	2.8	1.0	10.89
4	2.9	0.8	11.26
5	3.0	1.1	11.69
6	2.9	1.2	11.21
7	2.8	1.2	10.82
M.O.	2.9	1.1	11.25

Πίνακας 4.3 Διάρκεια “κύκλου κουπιάς” και απόσταση, Διαδρομή E2
Table 4.3 “Paddle stroke” duration and distance covered, Trial Run E2



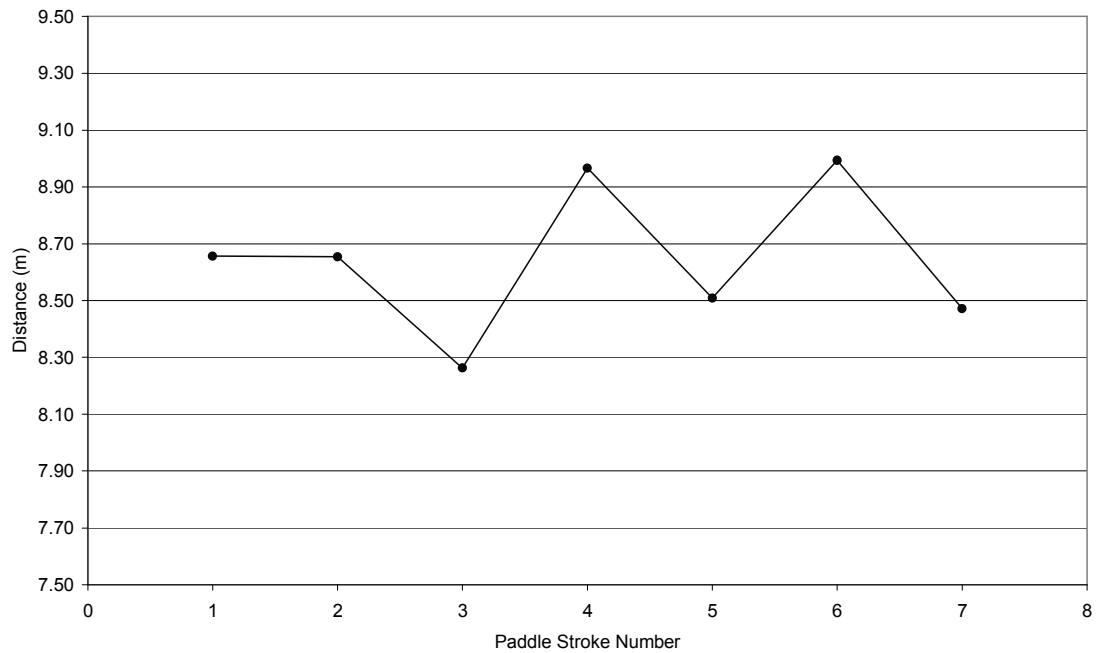
Σχήμα 4.8 Διάγραμμα “κύκλου κουπιάς” - απόστασης, Διαδρομή E2
 Figure 4.8 “Paddle stroke” - distance diagram, Trial Run E2



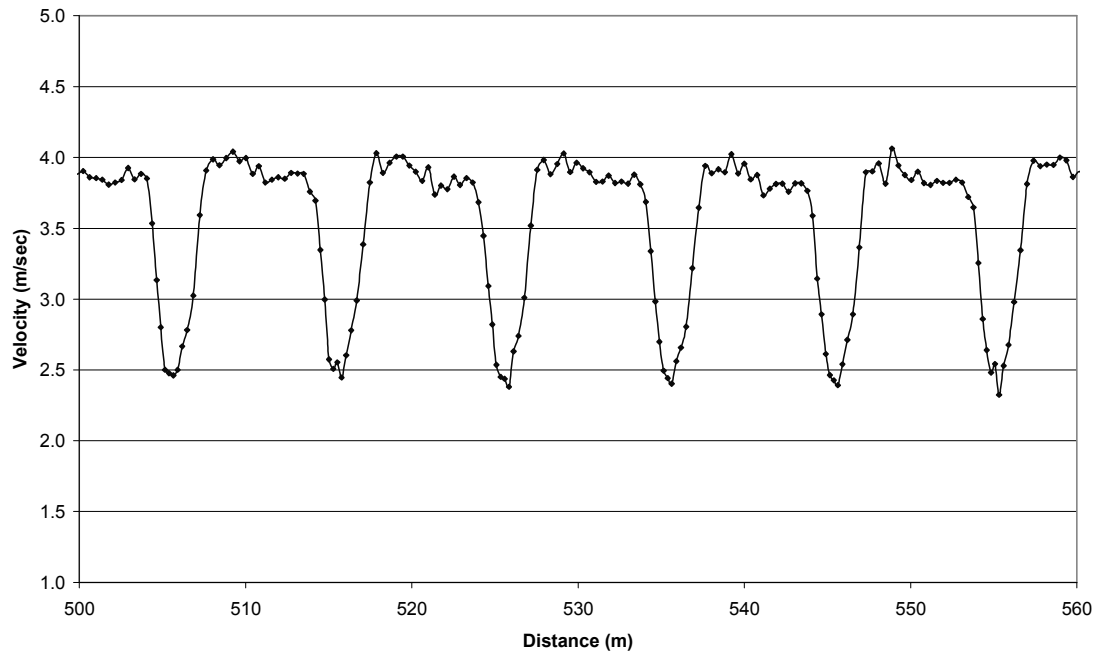
Σχήμα 4.9 Απόσπασμα διαγράμματος ταχύτητας – απόστασης, Διαδρομή E7
 Figure 4.9 Velocity - distance chart segment, Trial Run E7

Διαδρομή E7			
Αριθμός Κουπιάς	Διάρκεια (sec)	Αναλογία (Finish + Recovery) / Drive	Απόσταση (m)
1	1.9	0.7	8.66
2	1.9	0.7	8.65
3	1.8	0.5	8.26
4	2.0	0.7	8.97
5	1.9	0.7	8.51
6	2.0	0.7	8.99
7	1.9	0.9	8.47
M.O.	1.9	0.7	8.64

Πίνακας 4.4 Διάρκεια “κύκλου κουπιάς” και απόσταση, Διαδρομή E7
Table 4.4 “Paddle stroke” duration and distance covered, Trial Run E7



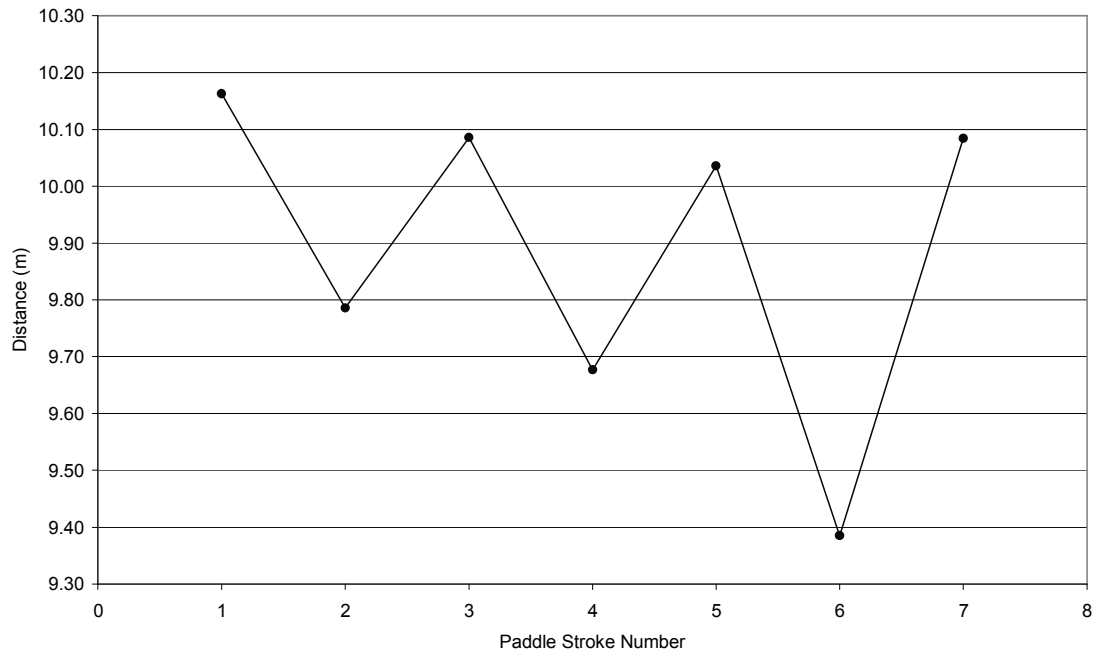
Σχήμα 4.10 Διάγραμμα “κύκλου κουπιάς” - απόστασης, Διαδρομή E7
Figure 4.10 “Paddle stroke” - distance diagram, Trial Run E7



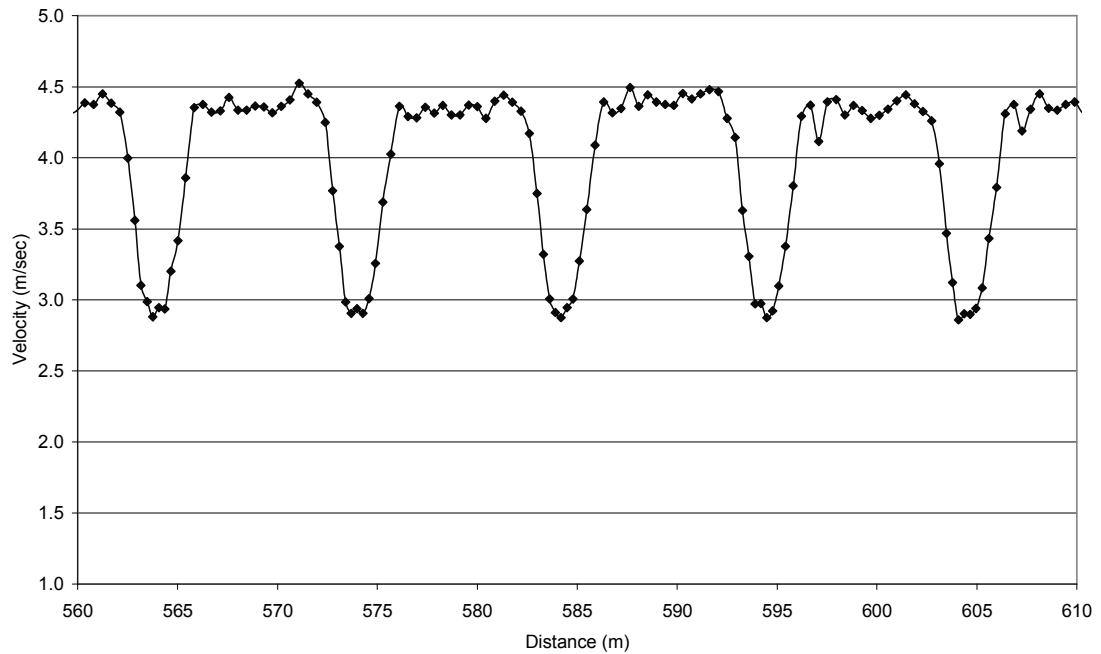
Σχήμα 4.11 Απόσπασμα διαγράμματος ταχύτητας - απόστασης, Διαδρομή S1 (μετάβαση)
Figure 4.11 Velocity - distance chart segment, Trial Run S1 (forward run)

Διαδρομή S1 - Μετάβαση			
Αριθμός Κουπιάς	Διάρκεια (sec)	Αναλογία (Finish + Recovery) / Drive	Απόσταση (m)
1	2.9	1.1	10.16
2	2.8	1.2	9.79
3	2.9	1.1	10.09
4	2.8	1.0	9.68
5	2.9	0.9	10.04
6	2.7	1.1	9.38
7	2.9	0.9	10.08
M.O.	2.8	1.0	9.89

Πίνακας 4.5 Διάρκεια “κύκλου κουπιάς” και απόσταση, Διαδρομή S1 (μετάβαση)
Table 4.5 “Paddle stroke” duration and distance covered, Trial Run S1 (forward run)



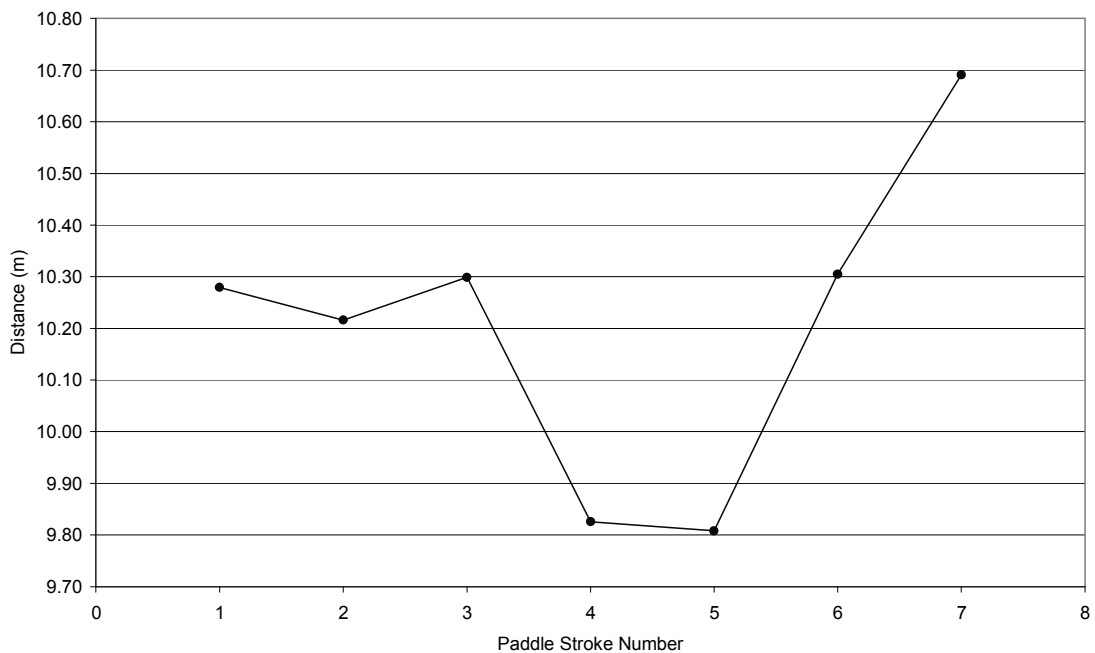
Σχήμα 4.12 Διάγραμμα “κύκλου κουπιάς” - απόστασης, Διαδρομή S1 (μετάβαση)
 Figure 4.12 “Paddle stroke” - distance diagram, Trial Run S1 (forward run)



Σχήμα 4.13 Απόσπασμα διαγράμματος ταχύτητας - απόστασης, Διαδρομή S1 (επιστροφή)
 Figure 4.13 Velocity - distance chart segment, Trial Run S1 (backward run)

Διαδρομή S1 - Επιστροφή			
Αριθμός Κουπιάς	Διάρκεια (sec)	Αναλογία (Finish + Recovery) / Drive	Απόσταση (m)
1	2.6	0.9	10.28
2	2.6	1.0	10.22
3	2.6	1.2	10.30
4	2.5	1.1	9.83
5	2.5	0.9	9.81
6	2.6	0.9	10.30
7	2.7	0.9	10.69
M.O.	2.6	1.0	10.20

Πίνακας 4.6 Διάρκεια “κύκλου κουπιάς” και απόσταση, Διαδρομή S1 (επιστροφή)
Table 4.6 “Paddle stroke” duration and distance covered, Trial Run S1 (backward run)



Σχήμα 4.14 Διάγραμμα “κύκλου κουπιάς” – απόστασης, Διαδρομή S1 (επιστροφή)
Figure 4.14 “Paddle stroke” - distance diagram, Trial Run S1 (backward run)

Από την παρατήρηση αυτών των διαγραμμάτων και πρωτίστως των πινάκων που παράγονται (Πίνακες 4.3, 4.4, 4.5 και 4.6) προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- για σταθερό ρυθμό κωπηλασίας, η απόσταση που διανύει το σκάφος στη διάρκεια κάθε “κύκλου κουπιάς”, δεν διαφέρει περισσότερο από 5% από την αμέσως προηγούμενη κουπιά,

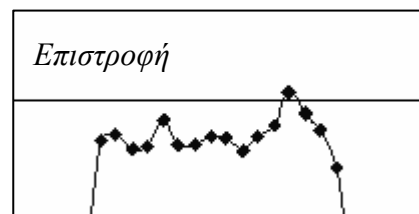
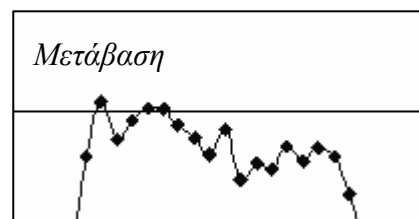
- όταν ο κύκλος έχει μεγαλύτερη διάρκεια, το σκάφος διανύει και μεγαλύτερη απόσταση. Το παραπάνω ισχύει συγκρίνοντας κουπιές μεταξύ τους στην ίδια διαδρομή αλλά και ανάμεσα σε διαφορετικές διαδρομές,
- ο λόγος του χρόνου που τα κουπιά είναι έξω από το νερό προς το χρόνο που βρίσκονται βυθισμένα δεν προκύπτει να επηρεάζει την απόσταση που διανύει το σκάφος.

4.2. Η Επίδραση του Ανέμου και των Αθλητών

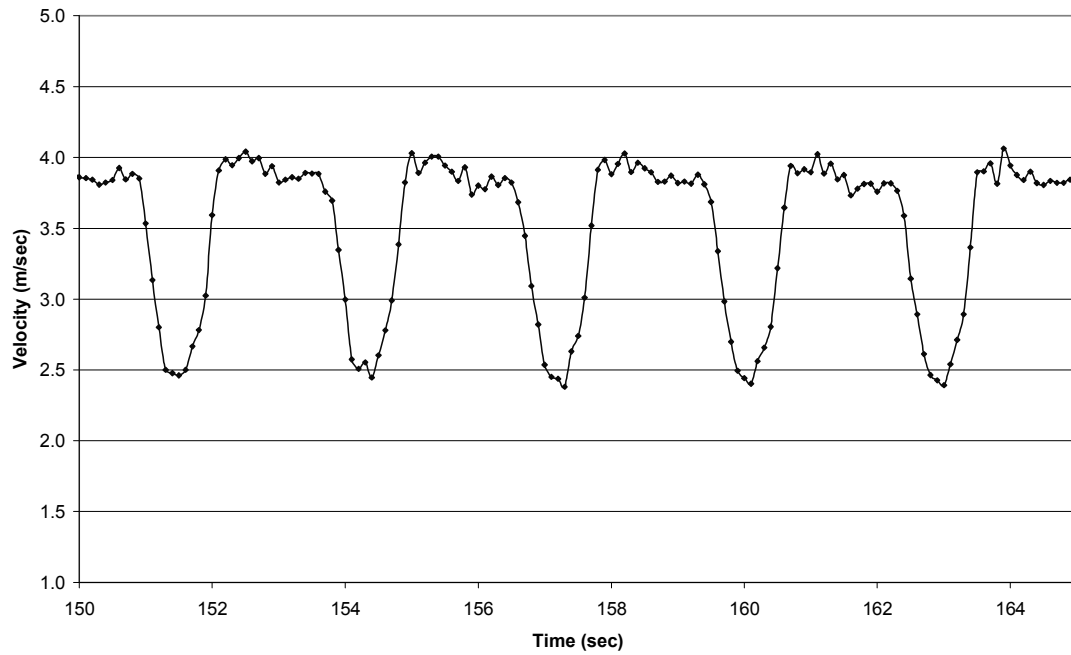
4.2.1. Η Επίδραση του Ανέμου

Για τη μελέτη της συμπεριφοράς του σκάφους σε κυματισμό επιλέχθηκε η Διαδρομή S1 σε μετάβαση και επιστροφή. Κατά τη μετάβαση (Σχήμα 4.15), ο άνεμος ήταν αντίθετος στην πορεία κίνησης με αποτέλεσμα να επιβραδυνθεί το σκάφος. Αντιθέτως, κατά την επιστροφή (Σχήμα 4.16) το σκάφος επιταχύνει κατά 0.5 m/sec , ωστόσο διατηρείται ο ίδιος ρυθμός κουπιών ανά λεπτό.

Παρά την απόλυτη αύξηση της ταχύτητας, το διάγραμμα επιστροφής είναι χειρότερο τεχνικά γιατί εμφανίζονται μεγάλες επιταχύνσεις κατά την επαναφορά. Ο ούριος άνεμος παύει να είναι ευνοϊκός από τη στιγμή που δυναμώνει ο κυματισμός, με συνέπεια να καθίσταται δυσκολότερος ο χειρισμός των κουπιών και οι δυνάμεις που ασκούνται στην καρίνα του



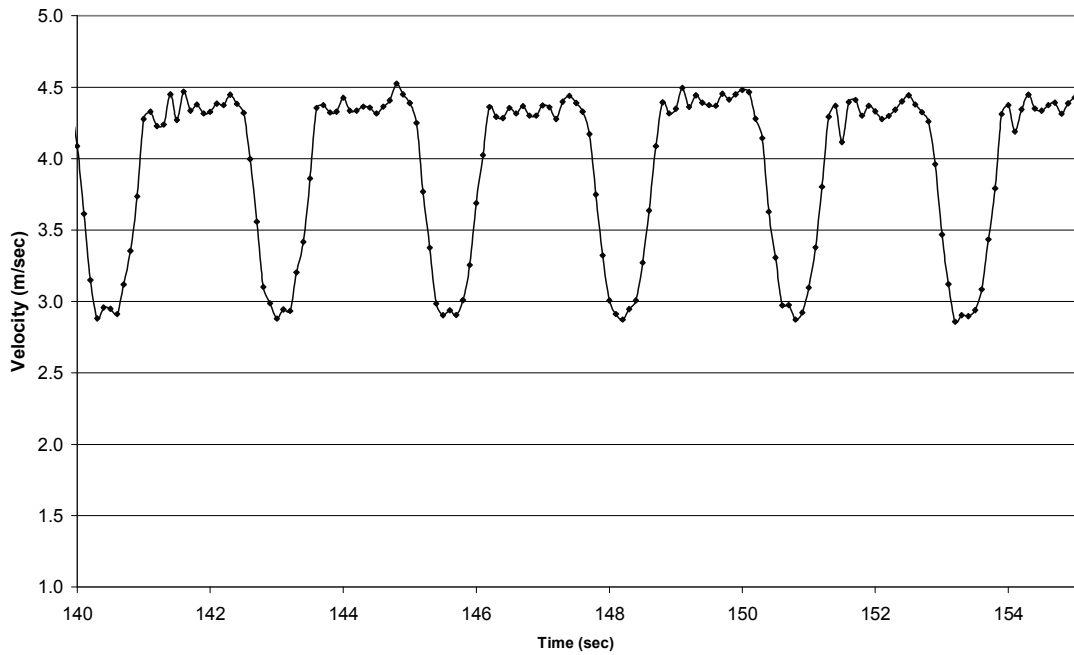
σκάφους να προκαλούν έντονες ταλαντώσεις. Κατά συνέπεια, τα κουπιά σταματούν να παρέχουν πλευρική στο σκάφος στήριξη όταν βγαίνουν από το νερό. Έτσι, στην προσπάθεια να επιτευχθεί ισορροπία, ο αθλητής προσπαθεί να κρατήσει τα κουπιά στον αέρα όσο λιγότερο γίνεται με αποτέλεσμα να εκτελεί βιαστικά την επαναφορά και να τραβάει το σκάφος με τα πόδια του.



Σχήμα 4.15 Απόσπασμα διαγράμματος ταχύτητας – χρόνου, Διαδρομή S1 (μετάβαση)
 Figure 4.15 Velocity - time chart segment, Trial Run S1 (forward run)

Διαδρομή S1 - Μετάβαση						
Αριθμός Κουπιάς	Διάρκεια Drive	Διάρκεια Finish	Διάρκεια Recovery	Συνολική Διάρκεια Finish και Recovery	Αναλογία (Finish + Recovery) / Drive	Διάρκεια Κουπιάς
1	1.4	0.3	1.2	1.5	1.1	2.9
2	1.3	0.5	1.0	1.5	1.2	2.8
3	1.4	0.3	1.2	1.5	1.1	2.9
4	1.4	0.3	1.1	1.4	1.0	2.8
5	1.5	0.4	1.0	1.4	0.9	2.9
6	1.3	0.5	0.9	1.4	1.1	2.7
7	1.5	0.5	0.9	1.4	0.9	2.9
M.O.	1.4	0.4	1.0	1.4	1.0	2.8

Πίνακας 4.7 Διάρκεια φάσεων “κύκλου κουπιάς”, Διαδρομή S1 (μετάβαση)
 Table 4.7 “Paddle stroke” phase durations, Trial Run S1 (forward run)



Σχήμα 4.16 Απόσπασμα διαγράμματος ταχύτητας – χρόνου, Διαδρομή S1 (επιστροφή)
Figure 4.16 Velocity - time chart segment, Trial Run S1 (backward run)

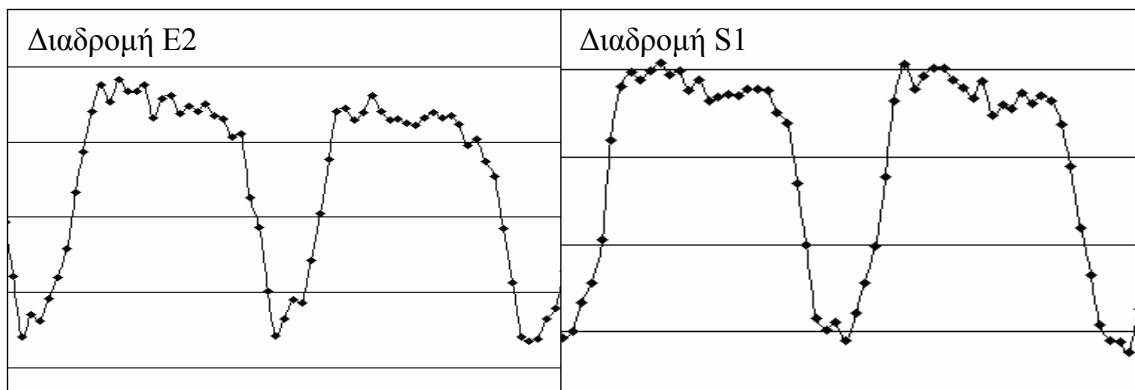
Διαδρομή S1 - Επιστροφή						
Αριθμός Κουπιάς	Διάρκεια Drive	Διάρκεια Finish	Διάρκεια Recovery	Συνολική Διάρκεια Finish και Recovery	Αναλογία (Finish + Recovery) / Drive	Διάρκεια Κουπιάς
1	1.4	0.3	0.9	1.2	0.9	2.6
2	1.3	0.4	0.9	1.3	1.0	2.6
3	1.2	0.3	1.1	1.4	1.2	2.6
4	1.2	0.3	1.0	1.3	1.1	2.5
5	1.3	0.3	0.9	1.2	0.9	2.5
6	1.4	0.4	0.8	1.2	0.9	2.6
7	1.4	0.3	1.0	1.3	0.9	2.7
M.O.	1.3	0.3	0.9	1.3	1.0	2.6

Πίνακας 4.8 Διάρκεια φάσεων “κύκλου κουπιάς”, Διαδρομή S1 (επιστροφή)
Table 4.8 “Paddle stroke” phase durations, Trial Run S1 (backward run)

Από τη σύγκριση των δεδομένων του Πίνακα 4.7 με αυτά του Πίνακα 4.8 προκύπτει ότι ο αθλητής εκτελεί πιο γρήγορες κουπιές κατά την επιστροφή – ωστόσο ο λόγος επαναφοράς / τραβήγματος παραμένει σταθερός καταδεικνύοντας ότι καταφέρνει να διατηρήσει την ίδια απόδοση και στις δύο περιπτώσεις κυματισμού.

4.2.2. Η Επίδραση των Αθλητών

Παρότι τα δύο πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές συνθήκες και με διαφορετικούς αθλητές, τα διαγράμματα ταχύτητας είναι παρόμοια για τον ίδιο ρυθμό κουπιών ανά λεπτό και σε κατάσταση χαμηλού κυματισμού. Σποραδικές διαφοροποιήσεις παρουσιάζονται, χωρίς όμως να είναι δυνατόν να ερμηνευθούν λόγω της μικρής δειγματοληψίας αλλά και της ανεπάρκειας παρόμοιων δημοσιευμένων μελετών για να χρησιμοποιηθούν ως αναφορά.



Σχήμα 4.17 Σύγκριση καμπυλών ταχύτητας διαφορετικών αθλητών
Figure 4.17 Comparison of velocity curves generated by different athletes

Σημαντικοί παράγοντες που μπορεί να διαφοροποιήσουν την καμπύλη αποτελούν η κόπωση, η διάθεση του αθλητή, καθώς και το αν βρίσκεται σε περίοδο προετοιμασίας για αγώνες ή όχι. Η εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με τις συστηματικές διαφορές στην απόδοση των αθλητών χρειάζεται περισσότερες δοκιμές σε προσεκτικά σχεδιασμένα πειράματα.

4.3. Ανάλυση Δεδομένων Αδρανειακού Συστήματος

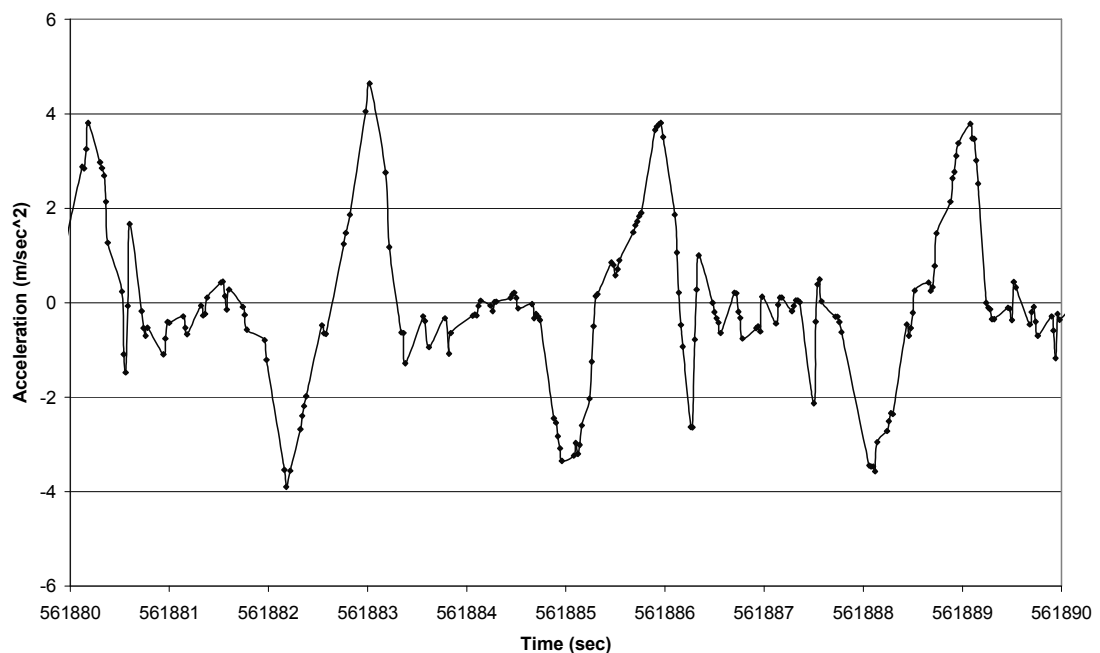
Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 2, η αρχή λειτουργίας των αδρανειακών συστημάτων εντοπισμού στηρίζεται στην απευθείας μέτρηση επιταχύνσεων ενός κινητού ως προς ένα σύστημα συντεταγμένων του οποίου η αρχή και οι άξονες ορίζονται σε σχέση με το κινούμενο σώμα. Η μέτρηση των επιταχύνσεων γίνεται με επιταγχοσιόμετρα, ενώ ο έλεγχος προσανατολισμού γίνεται με γυροσκόπια. Ο προσδιορισμός της ταχύτητας και της θέσης του κινητού προκύπτει με επεξεργασία από τις μετρούμενες επιταχύνσεις. Βασικό γνώρισμα των αδρανειακών συστημάτων εντοπισμού είναι η μείωση της ακρίβειας εντοπισμού με το χρόνο λόγω της επίδρασης

των σφαλμάτων των πρωτογενών μετρήσεων. Σήμερα, η μέθοδος του αδρανειακού εντοπισμού συνδυάζεται με δορυφορικές μεθόδους προσδιορισμού θέσης (GNSS).

Στην παρούσα εργασία αναλύονται τα δεδομένα που προέκυψαν από το ολοκληρωμένο σύστημα εντοπισμού GPS / INS και εκείνα που προήλθαν από το ανεξάρτητο σύστημα GPS δύο συχνοτήτων (L1 / L2).

4.3.1. Ανάλυση Καμπύλης Επιτάχυνσης

Μία από τις κύριες ποσότητες που παρέχεται από το αδρανειακό σύστημα εντοπισμού είναι η επιτάχυνση του κινητού και κυρίως η επιτάχυνση στην κατεύθυνση του άξονα κίνησης. Αν και ο χρόνος που επισυνάπτεται στην πληροφορία προέρχεται από το σύστημα GPS, η σύγκριση με τα δεδομένα που προέκυψαν από τους δέκτες Javad δεν είναι άμεση καθώς οι δύο αισθητήρες έχουν διαφορετική συχνότητα καταγραφής.

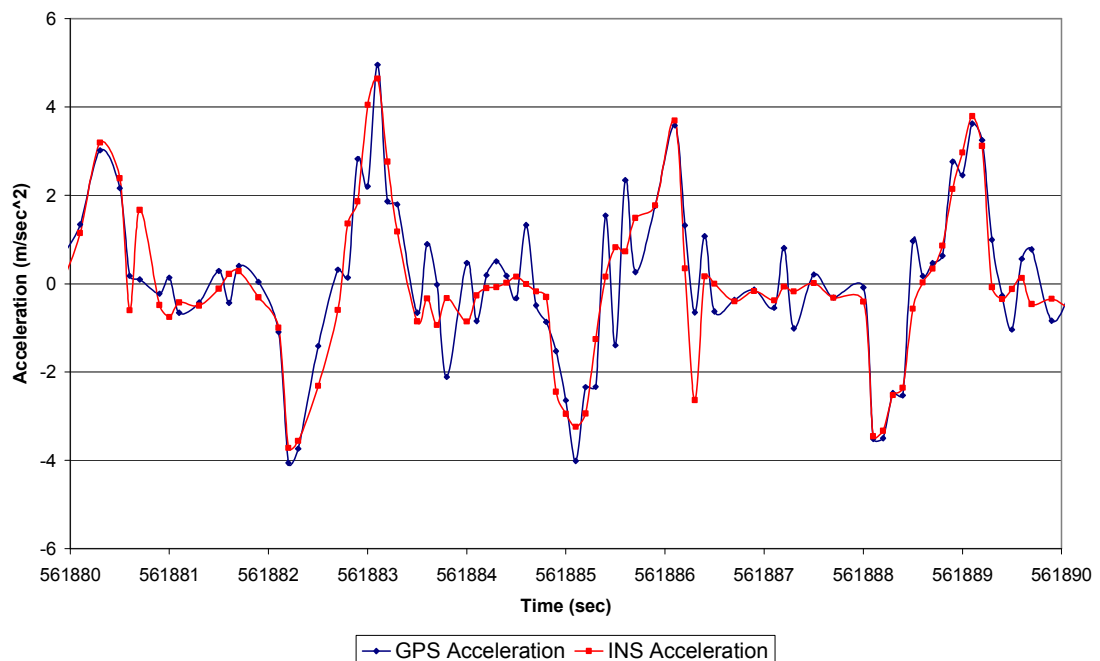


Σχήμα 4.18 Αδρανειακό σύστημα: Διάγραμμα επιτάχυνσης - χρόνου, Διαδρομή S3
Figure 4.18 Inertial system: Acceleration - time diagram, Trial Run S3

Προκειμένου να γίνει σύγκριση “σημείο προς σημείο”, απαλείφονται δεδομένα από το επιταχυνσιόμετρο έτσι ώστε η ανάλυση των μετρήσεων να γίνεται σε δεδομένα 10 Hz (Σχήμα 4.18). Η διαδικασία αυτή δημιουργεί δεδομένα μειωμένης συχνότητας – ωστόσο, είναι απαραίτητη για την πρωταρχική σύγκριση των αποτελεσμάτων “σημείο προς σημείο” βάση του κοινού χρόνου GPS.

Η διαδικασία εφαρμόζεται για τη Διαδρομή S3 για την οποία υπάρχουν δεδομένα και από τους δύο αισθητήρες. Η καμπύλη επιτάχυνσης του αδρανειακού συστήματος παρουσιάζει την ίδια μορφή με αυτή του GPS. Ειδικότερα, τα δύο συστήματα έχουν καταγράψει ίδιες κορυφές σε τμήματα απότομης μεταβολής της ταχύτητας, το επιταχυνσιόμετρο παρουσιάζει μικρότερη διακύμανση όταν η επιτάχυνση είναι σχεδόν μηδενική ή έχει μικρή τιμή (Σχήμα 4.19). Οι διαφορές μπορούν να εξηγηθούν ως εξής:

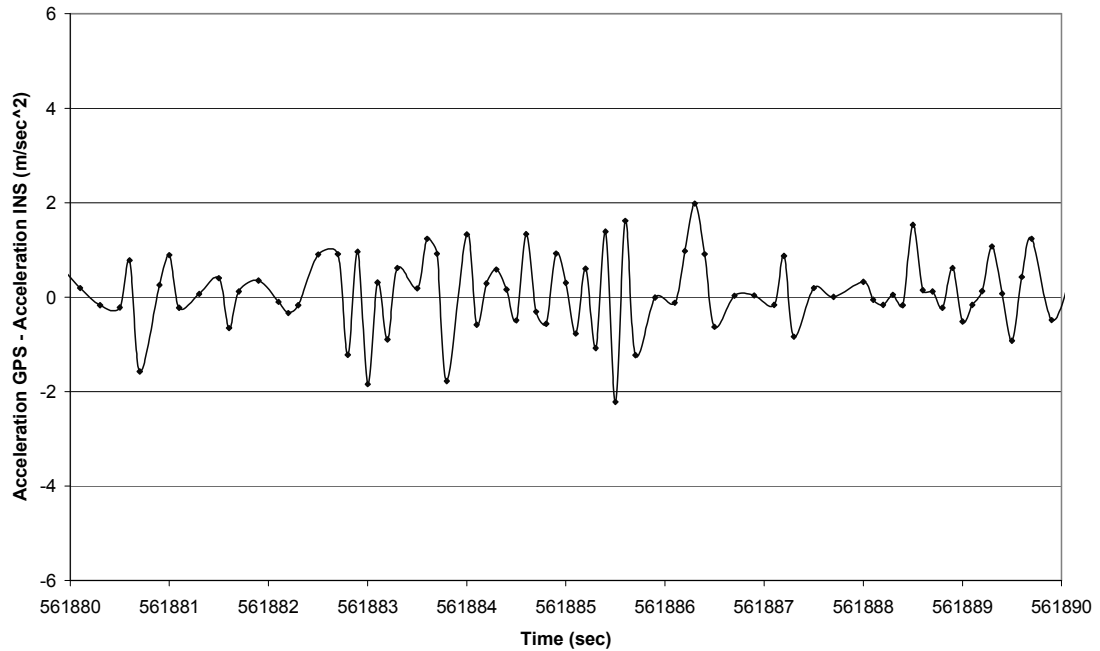
- η επιτάχυνση προκύπτει από το αδρανειακό ως πρωτογενές μέγεθος, ενώ από το σύστημα GPS ως παράγωγο της στιγμιαίας θέσης,
- τα όργανα χαρακτηρίζονται από διαφορετική ακρίβεια και είναι ρυθμισμένα να αντιδρούν σε διαφορετικά επίπεδα μεταβολών των μετρούμενων μεγεθών.



Σχήμα 4.19 Συγκριτική αντιπαράβολή διαγραμμάτων επιτάχυνσης – χρόνου συστημάτων GPS και INS, Διαδρομή S3

Figure 4.19 Comparison of the acceleration – time diagrams produced by the GPS and INS systems, Trial Run S3

Αν και η μορφή των καμπυλών των δύο οργάνων είναι ίδιας μορφής, η διαφορά της τιμής της επιτάχυνσης από σημείο σε σημείο (Σχήμα 4.20) είναι αρκετά μεγάλη και κυμαίνεται από $1 - 2 \text{ m/sec}^2$.



Σχήμα 4.20 Διαφορά διαγραμμάτων επιτάχυνσης συστημάτων GPS και INS, Διαδρομή S3
Figure 4.20 GPS and INS acceleration diagram difference, Trial Run S3

Για τον υπολογισμό του βαθμού συσχέτισης των δεδομένων, χρησιμοποιείται ο δείκτης ετεροσυσχέτισης $C_{(k)}$ για δύο σειρές $X_{(i)}$ και $Y_{(i)}$. Ο δείκτης ετεροσυσχέτισης μεταξύ δύο μεγεθών X και Y ορίζεται ως:

$$C_{(k)} = \frac{\sum_{i=1}^{N-k} (X_{(i)} - \bar{X})(Y_{(i)} - \bar{Y})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^N (X_{(i)} - \bar{X})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^N (Y_{(i)} - \bar{Y})^2 \right]}} \quad (\sigma\chi\acute{\epsilon}\sigma\eta\ 4.1)$$

όπου:

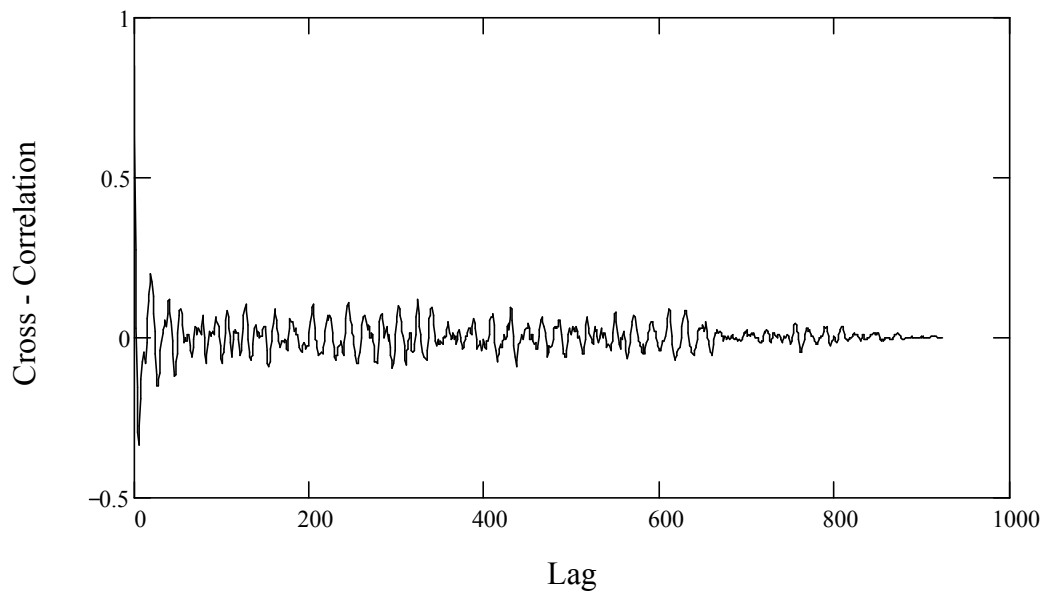
- $X_{(i)}, i = 1, 2, \dots, N - k$ η τιμή του μεγέθους X ,
- $Y_{(i)}, i = 1, 2, \dots, N - k$ η τιμή του μεγέθους Y ,
- \bar{X} η μέση τιμή του μεγέθους X για $i = 1, 2, \dots, N - k$,
- \bar{Y} η μέση τιμή του μεγέθους Y για $i = 1, 2, \dots, N - k$,
- N η χρονική διάρκεια της χρονοσειράς (sec),
- $k, k = 1, 2, \dots, N - 1$ η τιμή χρονικής υστέρησης (sec).

Το διάγραμμα ετεροσυσχέτισης παρέχει πληροφορία ως προς:

- το βαθμό συσχέτισης των δύο χρονοσειρών,

- τη χρονική υστέρηση (time lag) της μίας χρονοσειράς από την άλλη προκειμένου οι δύο χρονοσειρές να παρουσιάζουν μέγιστη συσχέτιση.

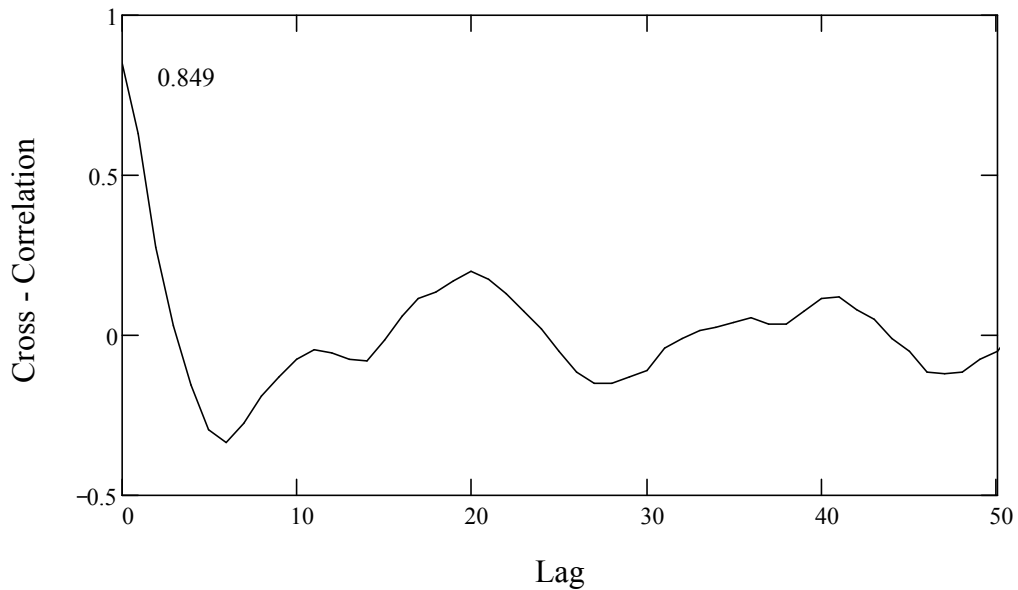
Από την εφαρμογή της μεθόδου στις τιμές επιτάχυνσης που προέκυψαν από τα δύο όργανα, προκύπτουν τα Σχήματα 4.21 και 4.22, στα οποία απεικονίζεται η ετεροσυσχέτιση για κάθε τιμή χρονικής εκτροπής.



Σχήμα 4.21 Διάγραμμα ετεροσυσχέτισης επιτάχυνσης δεδομένων αδρανειακού και GPS
Figure 4.21 Cross-correlation diagram for GPS and INS acceleration

Από το Σχήμα 4.22 προκύπτει ότι τα δεδομένα παρουσιάζουν τον υψηλότερο βαθμό συσχέτισης $C_{(k)} = 0.849$ κατά τη χρονική εκτροπή $lag = 0 \text{ sec}$. Η τιμή εκτροπής είναι αναμενόμενη καθώς τα δεδομένα είναι συγχρονισμένα με υψηλή ακρίβεια. Το $C_{(k)}$ προβλέπεται να είναι κοντά στη μονάδα καθόσον και οι δύο αισθητήρες καταγράφουν το ίδιο φυσικό μέγεθος.

Τα παραπάνω επιβεβαιώνουν την αρχική εκτίμηση ότι τα δεδομένα του αδρανειακού συστήματος και του GPS ταυτίζονται σε μεγάλο βαθμό.

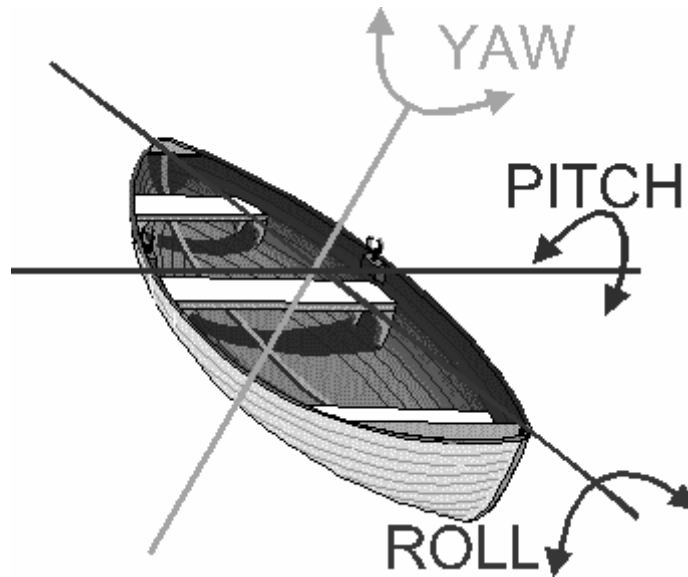


Σχήμα 4.22 Διάγραμμα ετεροσυσχέτισης επιτάχυνσης δεδομένων αδρανειακού και GPS (λεπτομέρεια)
Figure 4.22 Cross-correlation diagram for GPS and INS acceleration (detail)

4.3.2. Υπολογισμός Γωνιών Στροφής του Σκάφους

Οι γωνίες στροφής (γνωστές και ως γωνίες Tait – Bryan) χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη γωνιακή μεταβολή του γύρω από τους άξονες του συστήματος αναφοράς του σκάφους. Αποτελούν κρίσιμες παραμέτρους περιγραφής της δυναμικής του κινητού και αναφέρονται συνήθως στο κέντρο μάζας του οχήματος (Σχήμα 4.23). Διακρίνονται οι εξής τρεις περιστροφές:

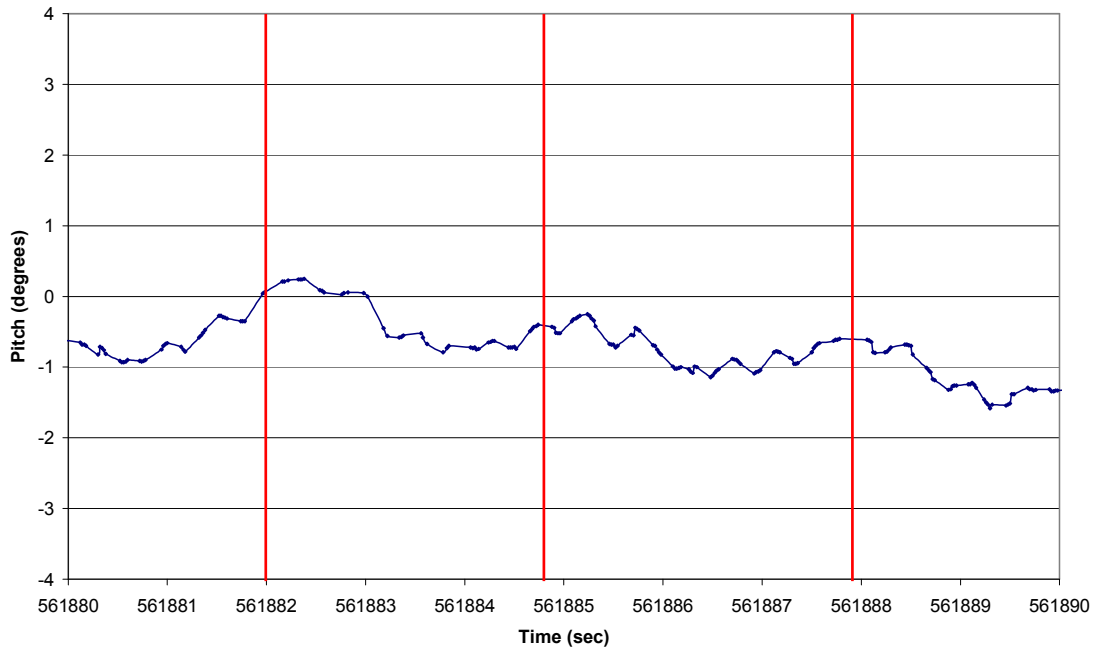
- εγκάρσια στη φορά κίνησης (Προνευτασμός – Pitch): Αναφέρεται στο κατά πόσο μεταβάλλεται η υψομετρική διαφορά του μπροστινού μέρους του σκάφους σε σχέση με το πίσω μέρος και αντίστροφα,
- περί τον διαμήκη στο σκάφος άξονα (Διατοιχισμός – Roll): Αναφέρεται στην περιστροφή του αριστερού μέρους του σκάφους σε σχέση με το δεξί και αντίστροφα.,
- περί τον κάθετο στους δύο προηγούμενους άξονες (Μεταβολή Αζιμουθίου – Yaw): Αναφέρεται στη γωνιακή μεταβολή του σκάφους από την πορεία στην οποία κινείται ο διαμήκης άξονας.



Σχήμα 4.23 Γωνίες στροφής σκάφους
Figure 4.23 Yaw pitch and roll rotational angles

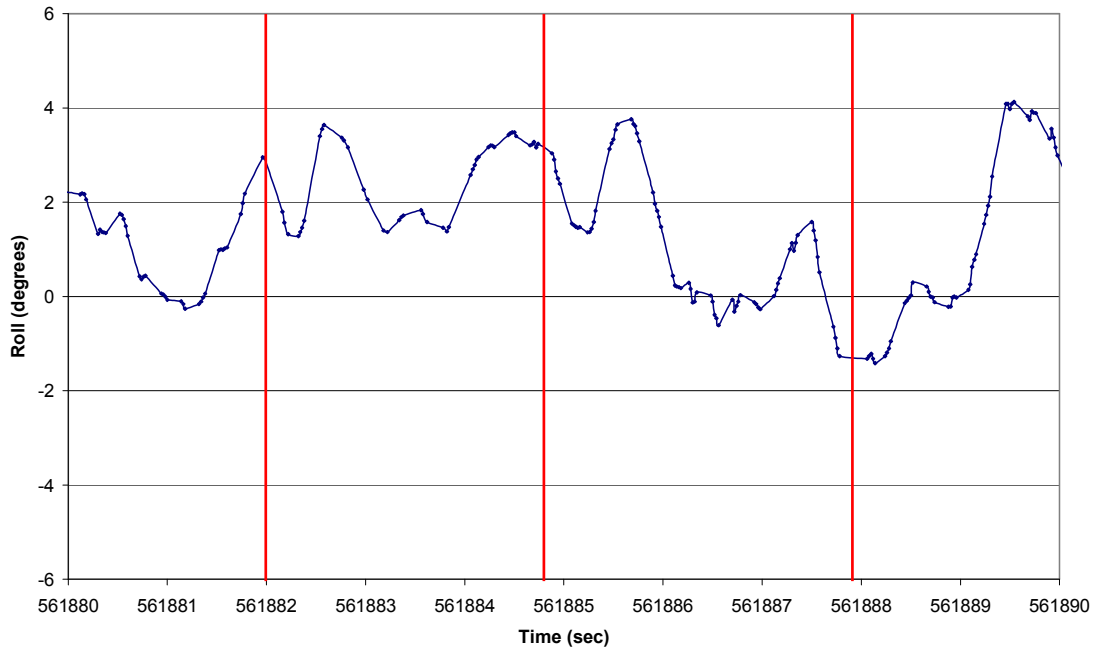
Το αδρανειακό σύστημα υπολογίζει τις γωνίες στροφής του σκάφους ως προς το κέντρο μάζας του. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, σημειώνεται ότι οι γωνίες υπολογίζονται από το αδρανειακό σύστημα με ακρίβεια 0.01 deg ενώ ο προσανατολισμός του οργάνου ως προς το βασικό άξονα του σκάφους έγινε με μικρότερη ακρίβεια. Κατά συνέπεια, δεν ενδιαφέρει η απόλυτη τιμή ως μέγεθος όσο η διακύμανση των γωνιών με το χρόνο.

Στη συνέχεια, δίνονται αποσπάσματα της Διαδρομής S3 με τα σημεία εκκίνησης κάθε κουπιάς οριοθετημένα με κόκκινες, κατακόρυφες γραμμές.



Σχήμα 4.24 Προνευτασμός σκάφους
Figure 4.24 Pitch - time diagram

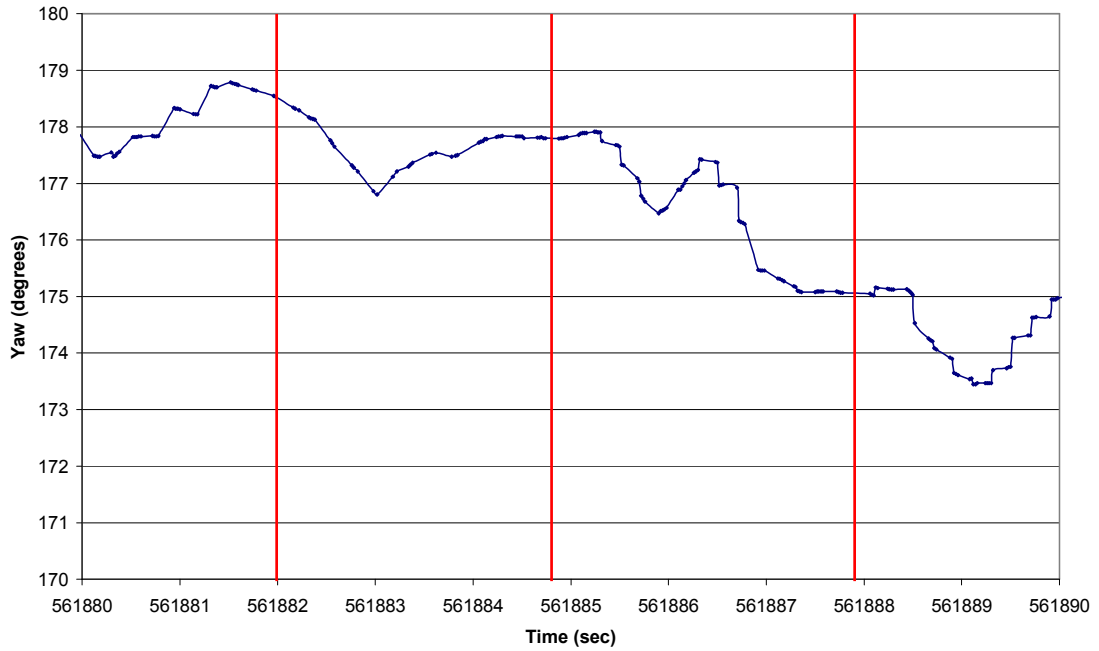
Αναφορικά με την κίνηση του εμπρόσθιου μέρους του σκάφους σε σχέση με το πίσω (Σχήμα 4.24), η μεταβολή της γωνίας κυμαίνεται σε επίπεδα μικρότερα του 1 deg ανά κουπιά. Με την εκκίνηση της φάσης τραβήγματος, το σκάφος εμφανίζει ανύψωση του μπροστινού μέρους, ενώ με την παύση της ώθησης η καρίνα βυθίζεται πάλι. Πριν το επόμενο τράβηγμα και ενώ ο αθλητής βρίσκεται στη φάση επαναφοράς και κινείται προς το πίσω μέρος του σκάφους, εμφανίζεται όπως είναι αναμενόμενο ανύψωση του μπροστινού τμήματος.



Σχήμα 4.25 Διατοιχισμός σκάφους
Figure 4.25 Roll - time diagram

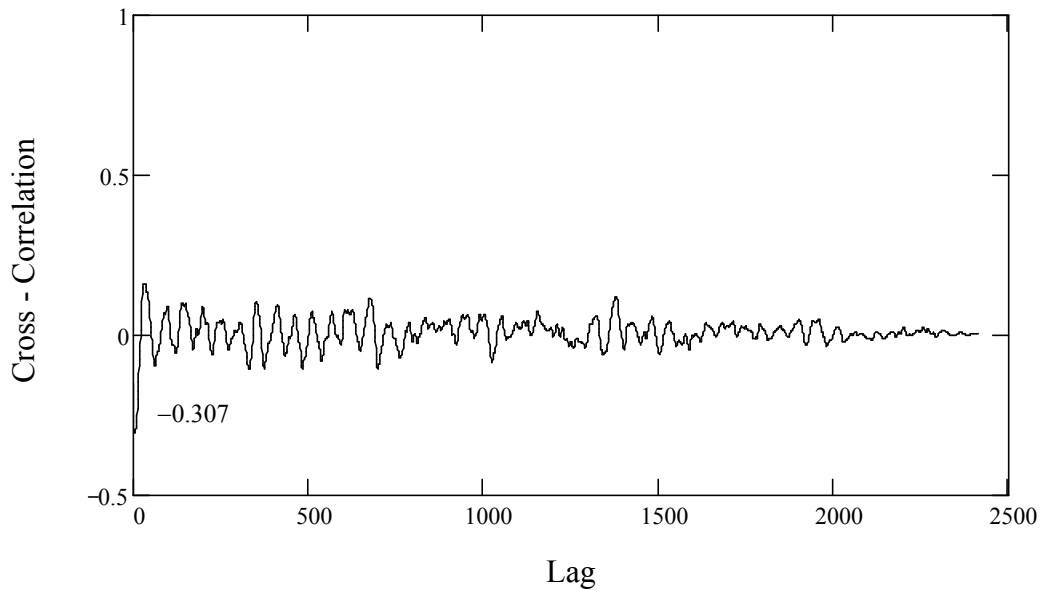
Στο Σχήμα 4.25 παρουσιάζεται η ταλάντωση του σκάφους περί τον άξονα κίνησής του (Roll). Η διακύμανση του μεγέθους είναι μεγαλύτερη από τις μεταβολές στην πρόνευση και προκαλείται από την προσπάθεια του αθλητή να ισορροπήσει τα κουπιά μέσα και έξω από το νερό και έχει εν γένει τυχαίο χαρακτήρα.

Τέλος, παρουσιάζεται η μεταβολή της γωνίας διεύθυνσης του άξονα κίνησης του σκάφους (Σχήμα 4.26). Από την παρατήρηση του συγκεκριμένου μεγέθους δεν προκύπτει κάποια τάση – ωστόσο προκύπτει η προσπάθεια του αθλητή να διατηρήσει το σκάφος ευθύγραμμη κίνηση.



Σχήμα 4.26 Αζιμούθιο σκάφους
Figure 4.26 Yaw - time diagram

Τέλος, κρίνεται σκόπιμο να γίνει έλεγχος συσχέτισης μεταξύ προνευτασμού και επιτάχυνσης χρησιμοποιώντας τη Σχέση 4.1. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.27, από όπου προκύπτει πως υπάρχει βαθμός ετεροσυσχέτισης $C_{(k)} = -0.307$ για $\text{lag} = 0 \text{ sec}$. Η τιμή δείχνει κάποια σύνδεση αλλά όχι ισχυρή.



Σχήμα 4.27 Ετεροσυσχέτιση προνευτασμού και επιτάχυνσης αδρανειακού συστήματος
Figure 4.27 Cross-correlation diagram of INS acceleration and pitch angle

4.4. Φασματική Ανάλυση Δεδομένων

4.4.1. Θεωρητικό Υπόβαθρο

Η προκαταρκτική ανάλυση των δεδομένων υποδεικνύει ξεκάθαρα ότι ορισμένα μεγέθη εμφανίζουν περιοδικό χαρακτήρα. Αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν να αναλυθούν με μεθόδους ανάλυσης σήματος με βάση το γεγονός ότι κάθε γραφική παράσταση κάθε γραφική παράσταση που έχει προκύψει από τις μετρήσεις πεδίου αποτελεί κυματομορφή της μεταβλητής που εξετάζεται κάθε φορά.

Το βασικό εργαλείο μελέτης είναι ένα διάγραμμα το οποίο φέρει τη συχνότητα του σήματος στον οριζόντιο άξονα και την ισχύ του στον κατακόρυφο, γνωστό ως περιοδόγραμμα (periodogram) [13]. Η κατασκευή του περιοδογράμματος αποτελεί τεχνική γραφικής ανάλυσης δεδομένων, η οποία στηρίζεται στο μετασχηματισμό Fourier και στηρίζεται στο βαθμό αυτοσυσχέτισης των δεδομένων. Κύριος περιορισμός του κλασικού μετασχηματισμού Fourier είναι ότι ο υπολογισμός του δεν είναι ανεξάρτητος του χρονικού βήματος των παρατηρήσεων. Προκειμένου να παρακαμφθεί αυτός ο περιορισμός, χρησιμοποιείται το εξειδικευμένο περιοδόγραμμα Lomb όπως βελτιώθηκε από τον Scargle (Lomb – Scargle Periodogram) [12, 13]. Χαρακτηριστικό του περιοδογράμματος Lomb αποτελεί η δυνατότητα ανάλυσης μη ομογενοποιημένων δεδομένων με την προσθήκη της παραμέτρου χρονικής εκτροπής $\tau(\omega)$ (σχέση 4.5), της οποίας η εφαρμογή επιτρέπει στο περιοδόγραμμα Lomb να εκτελεί ανάλυση σήματος “σημείο προς σημείο” σύμφωνα με την πυκνότητα δειγματοληψίας και όχι σύμφωνα με το χρόνο. Η μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως στην ιατρική για την ανάλυση σήματος καρδιακών παλμών και στηρίζεται στο μετασχηματισμό Fourier διακριτού χρόνου (Discrete - time Fourier Transformation – DFT) για σήμα $x(t_n)$, όπου $(n = 1, 2, \dots, N)$ με μη καθορισμένο χρονικό διάστημα μεταξύ των παρατηρήσεων:

$$\text{DFT}(\omega) = \sum_{n=1}^N x(t_n) e^{-i\omega t_n} \quad (4.2)$$

$$\text{όπου } \omega = 2\pi f \quad (4.3)$$

$$P(\omega) = \frac{1}{2\sigma^2} \left\{ \frac{\left[\sum_{n=1}^N x(t_n) \cos \omega(t_n - \tau(\omega)) \right]^2}{\sum_{n=1}^N \cos^2 \omega(t_n - \tau(\omega))} + \frac{\left[\sum_{n=1}^N x(t_n) \sin \omega(t_n - \tau(\omega)) \right]^2}{\sum_{n=1}^N \sin^2 \omega(t_n - \tau(\omega))} \right\} \quad (4.4)$$

$$\tau(\omega) = \frac{1}{2\omega} \arctan \left\{ \frac{\sum_{n=1}^N \sin 2\omega t_n}{\sum_{n=1}^N \cos 2\omega t_n} \right\} \quad (4.5)$$

Ο υπολογισμός του περιοδογράμματος Lomb ισοδυναμεί με την προσαρμογή ημιτονοειδούς καμπύλης στα δεδομένα με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Στόχος αυτής της ανάλυσης είναι να βρεθούν οι κύριες συχνότητες που περιγράφουν το φαινόμενο και η σχετική ισχύ τους.

Η μέθοδος εφαρμόζεται στην πλειοψηφία των δεδομένων (Σχήματα 4.28 έως 4.39) του GPS και του αδρανειακού συστήματος με σκοπό να διαπιστωθεί ποια μεγέθη εμφανίζουν όντως περιοδικό χαρακτήρα. Η εφαρμογή του αλγορίθμου Lomb έγινε στο περιβάλλον του μαθηματικού λογισμικού MathCAD.

4.4.2. Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

4.4.2.1. Βασικές Συχνότητες Διαγραμμάτων Ταχύτητας

Τα περιοδογράμματα που προκύπτουν από τα διαγράμματα ταχύτητας δίνουν δύο βασικές συχνότητες σε κάθε περίπτωση οι οποίες διαφέρουν ανάλογα με το ρυθμό κίνησης. Για τη Διαδρομή E2 (Σχήμα 4.28), προκύπτει κύρια συχνότητα $f_1 = 0.350$ Hz ,

δηλαδή περίοδος $T_1 = \frac{1}{f_1} = 2.857$ sec και δευτερεύουσα συχνότητα με υποτριπλάσια

ισχύ από την πρώτη, $f_2 = 0.695$ Hz και περίοδο $T_2 = \frac{1}{f_2} = 1.439$ sec . Η περίοδος T_1

προσεγγίζει τη διάρκεια “κύκλου κουπιάς”, όπως είχε αυτή υπολογιστεί στην §4.1.1

και αντιστοιχεί σε ρυθμό $\frac{60}{2.857} = 21$ spm, τιμή που προσεγγίζει το ρυθμό τον οποίο

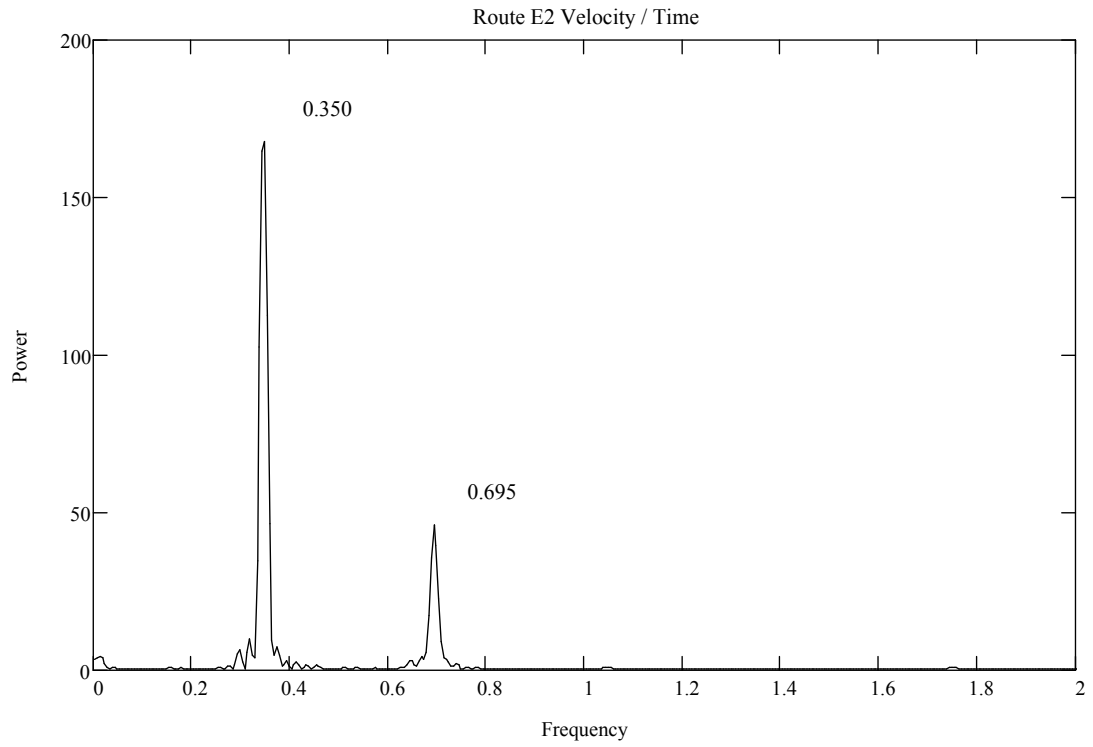
ζητήθηκε να κωπηλατήσει ο αθλητής. Κατά συνέπεια, θεωρείται ότι η συχνότητα f_1 χαρακτηρίζει το ρυθμό κίνησης – ωστόσο η ύπαρξη δύο βασικών συχνοτήτων, σε συνδυασμό με την απουσία σημαντικού θορύβου, υποδεικνύει ότι το διάγραμμα της ταχύτητας μπορεί να αναλυθεί σε δύο αρμονικές καμπύλες.

Αντίστοιχα συμπεράσματα προκύπτουν από τη μελέτη της Διαδρομής S1 (Σχήμα 4.29), κατά την οποία προκύπτουν πάλι δύο συχνότητες, $f_1 = 0.352$ Hz και $f_2 = 0.655$ Hz . Σε αυτή την περίπτωση, το περιοδογράμματα διαφοροποιείται από το προηγούμενο από ότι αφορά το επίπεδο θορύβου στην περιοχή των βασικών συχνοτήτων, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στην ενίσχυση του ανέμου κατά τη δεύτερη σειρά πειραμάτων. Τέλος, οι παρεμφερείς τιμές των συχνοτήτων στα δύο διαγράμματα οδηγεί στο συμπέρασμα ότι για δεδομένο ρυθμό κωπηλασίας, οι βασικές συχνότητες είναι αμετάβλητες.

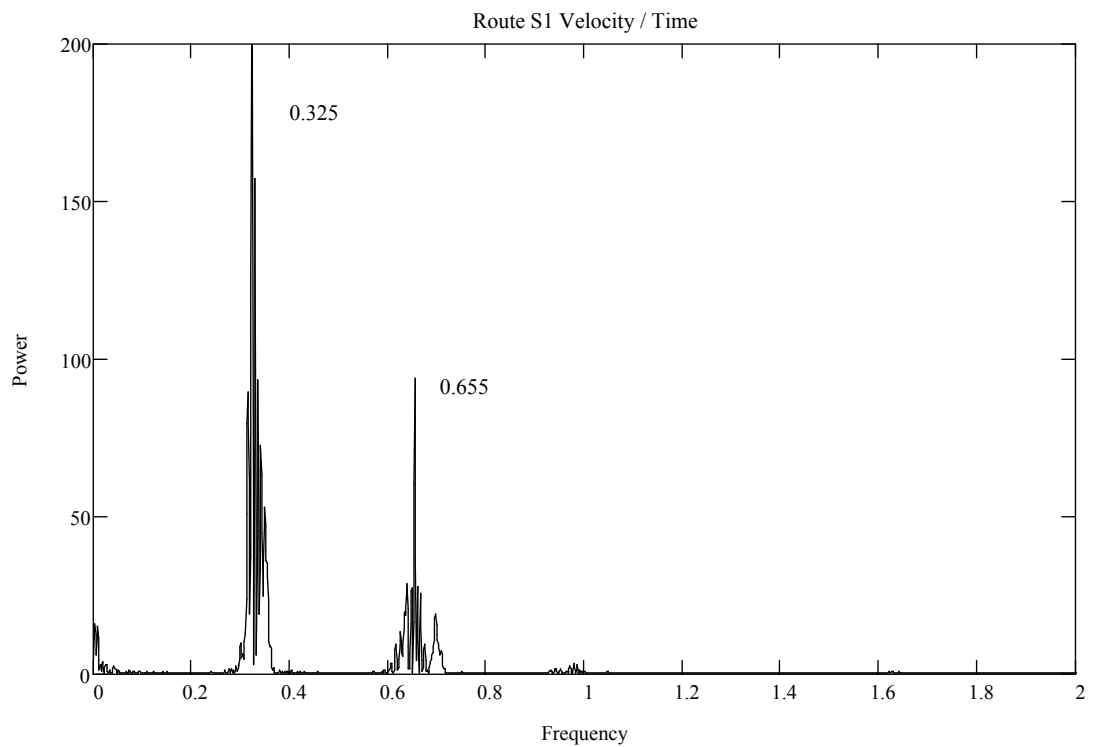
Με γνωστές τις βασικές συχνότητες και με δεδομένη τη σχετική ισχύ τους, είναι δυνατόν να γίνει ανακατασκευή της καμπύλης ταχύτητας με το συνδυασμό δύο ημιτονοειδών καμπυλών της μορφής:

$$y_{(t)} = A \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) \quad (4.6)$$

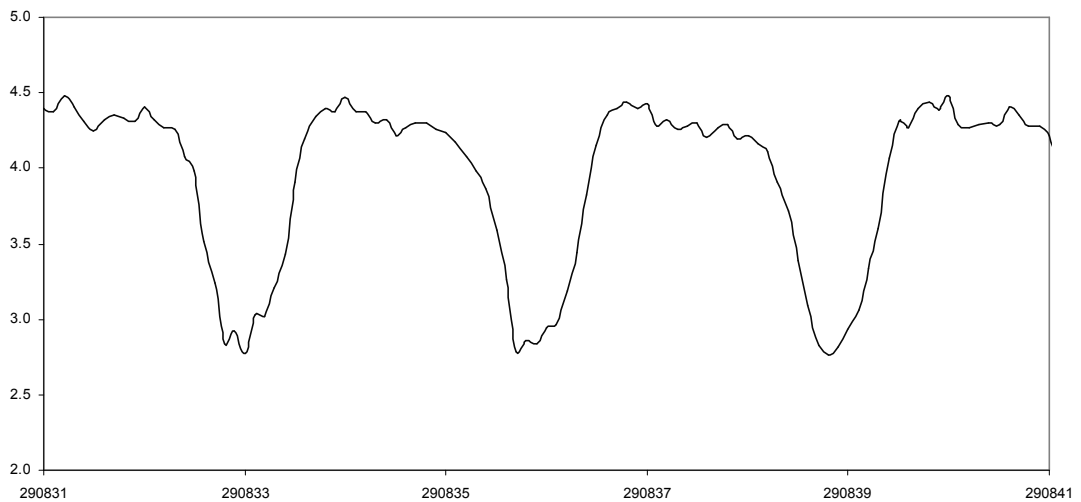
όπου A είναι η ισχύς του σήματος. Η καμπύλη που προκύπτει παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.31 και προσεγγίζει σε μορφή την αντίστοιχη του Σχήματος 4.30 που έχει προκύψει από το GPS.



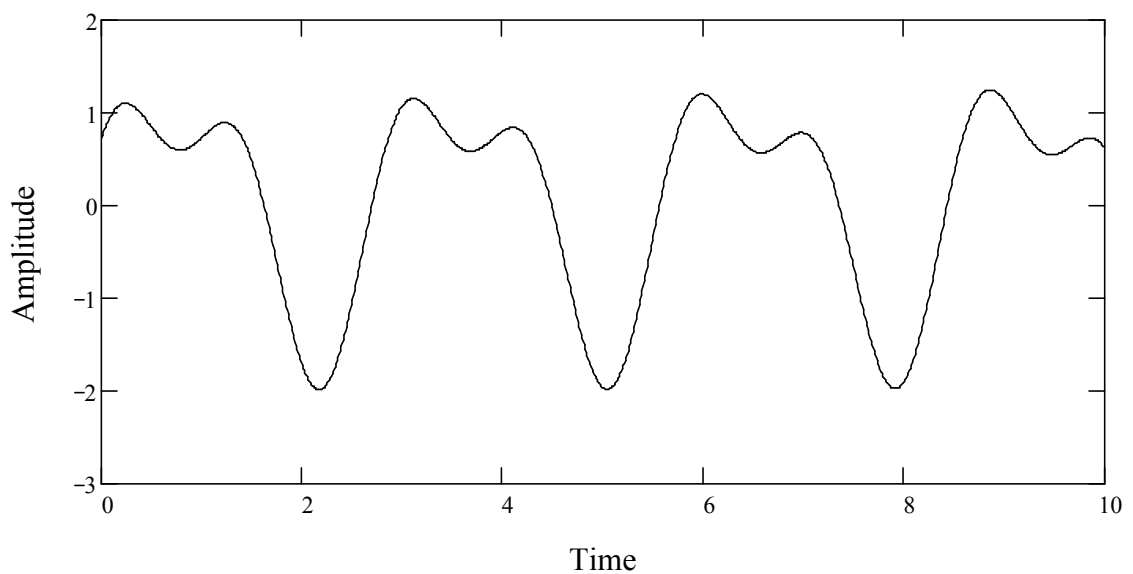
Σχήμα 4.28 Περιοδόγραμμα ταχύτητας - χρόνου GPS, Διαδρομή E2
 Figure 4.28 GPS velocity - time periodogram, Trial Run E2



Σχήμα 4.29 Περιοδόγραμμα ταχύτητας - χρόνου GPS, Διαδρομή S1
 Figure 4.29 GPS velocity - time periodogram, Trial Run S1



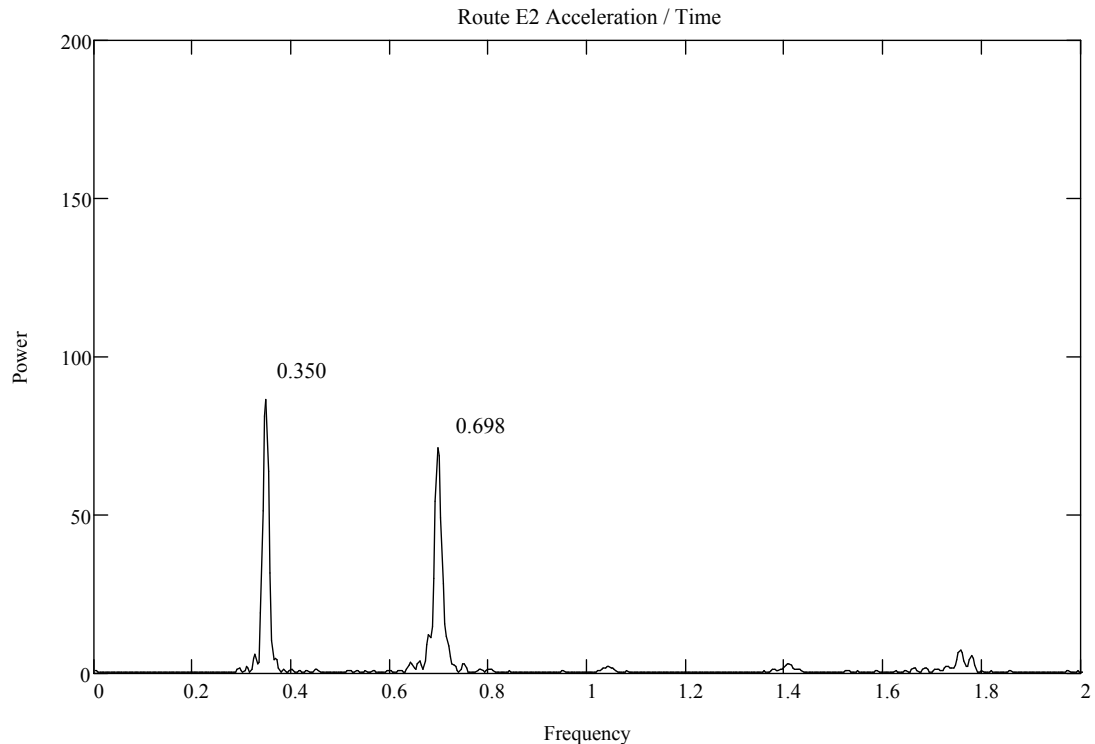
Σχήμα 4.30 Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου GPS, Διαδρομή E2
Figure 4.30 Velocity - time diagram, Trial Run E2



Σχήμα 4.31 Ανακατασκευασμένη καμπύλη ταχύτητας με βάση τις βασικές συχνότητες κίνησης
Figure 4.31 Reconstructed velocity diagram based on the dominant frequencies

4.4.2.2. Βασικές Συχνότητες Διαγράμματος Επιτάχυνσης

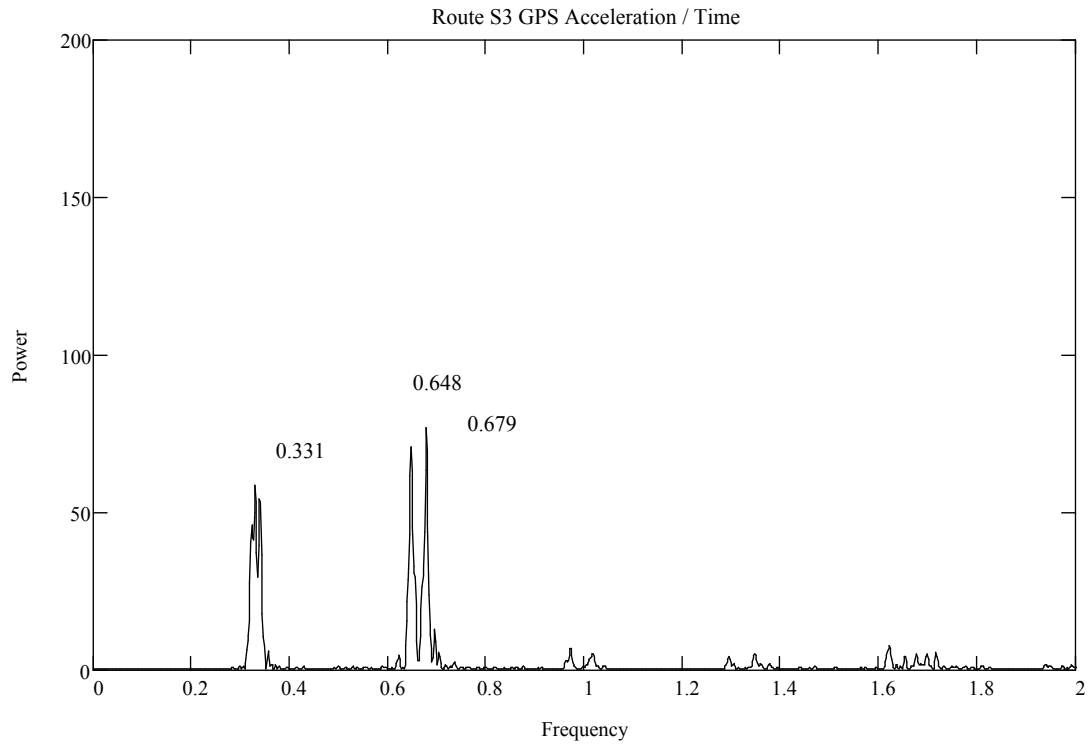
Για την ίδια διαδρομή δίνεται και το περιοδόγραμμα επιτάχυνσης – χρόνου όπως προκύπτει από το GPS (Σχήμα 4.32). Δεδομένου ότι η επιτάχυνση αποτελεί παράγωγο της ταχύτητας, το διάγραμμα χαρακτηρίζεται από ακριβώς τις ίδιες συχνότητες με αυτές του Σχήματος 4.28 αλλά με διαφορετικό λόγο ισχύος μεταξύ τους.



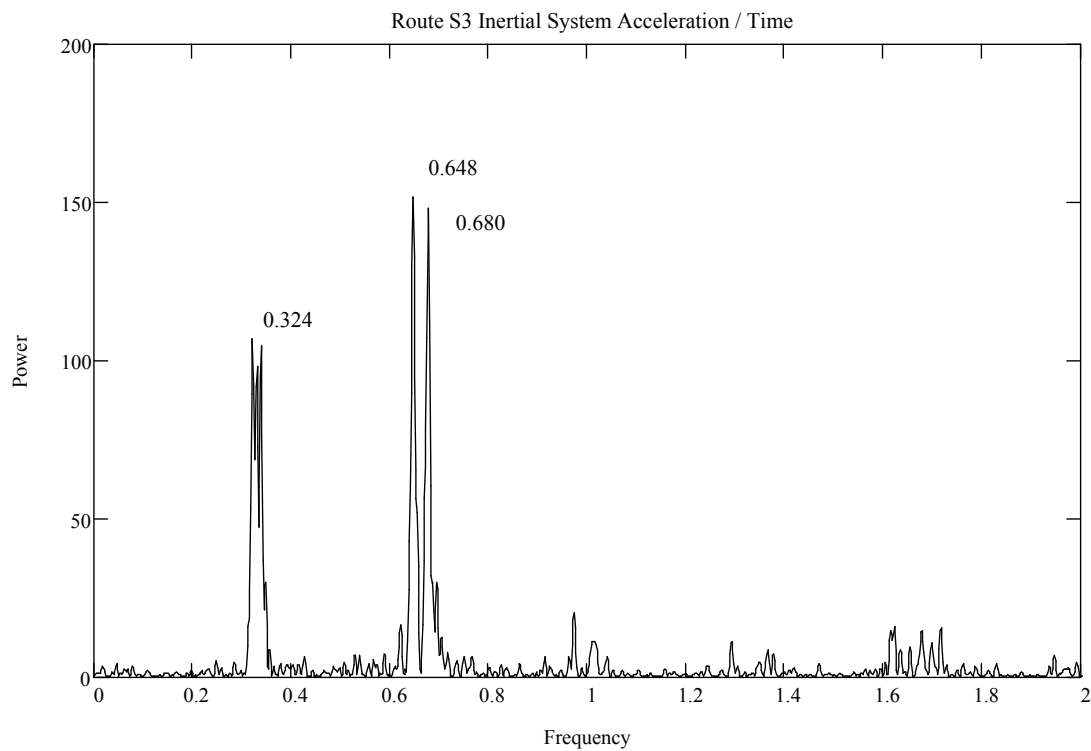
Σχήμα 4.32 Περιοδόγραμμα επιτάχυνσης - χρόνου GPS, Διαδρομή E2
 Figure 4.32 GPS acceleration - time pe-riodogram, Trial Run E2

Για τη Διαδρομή S3, η επιτάχυνση έχει προκύψει από το GPS αλλά έχει μετρηθεί και άμεσα από το αδρανειακό σύστημα. Τα δύο όργανα εμφανίζουν υψηλό βαθμό ετεροσυχέτισης όπως αποδείχθηκε στην §4.3.1 οπότε αναμένεται να προκύψουν παρόμοια περιοδογράμματα. Πράγματι, από τα Σχήματα 4.33 και 4.34 προκύπτει ότι τα περιοδογράμματα παρουσιάζουν δύο βασικές συχνότητες εκ των οποίων η μία έχει δύο κορυφές. Οι συχνότητες του GPS είναι $f_1 = 0.331 \text{ Hz}$, $f_2 = 0.648 \text{ Hz}$ και $f_3 = 0.679 \text{ Hz}$, ενώ του αδρανειακού συστήματος $f_1 = 0.324 \text{ Hz}$, $f_2 = 0.648 \text{ Hz}$ και $f_3 = 0.680 \text{ Hz}$, οπότε επιβεβαιώνεται η αρχική πρόβλεψη για ίδιες βασικές συχνότητες. Η ισχύς του σήματος όπως προκύπτει από το αδρανειακό σύστημα, είναι δύο φορές πιο ισχυρή σε σχέση με το GPS και είναι πιθανό να οφείλεται στην υψηλότερη συχνότητα και ακρίβεια καταγραφής του αισθητήρα.

Από τη σύγκριση των περιοδογραμμάτων επιτάχυνσης GPS (Σχήματα 4.32 και 4.33), προκύπτει η διαφοροποίηση πως η μεγαλύτερη από τις δύο βασικές συχνότητες κατά τα πειράματα στο Σχινιά έχει δύο κορυφές, ενώ οι διαδρομές στον Όμιλο Ερετών εμφανίζουν μία. Η διαφορά στις συνθήκες εκτέλεσης αφορά στον κυματισμό, ο οποίος εκλαμβάνεται ως βασική αιτία εμφάνισης του φαινομένου.



Σχήμα 4.33 Περιοδόγραμμα επιτάχυνσης – χρόνου GPS, Διαδρομή S3
 Figure 4.33 GPS acceleration – time periodogram, Trial Run S3



Σχήμα 4.34 Περιοδόγραμμα επιτάχυνσης - χρόνου αδρανειακού συστήματος, Διαδρομή S3
 Figure 4.34 Inertial system velocity - time periodogram, Trial Run S3

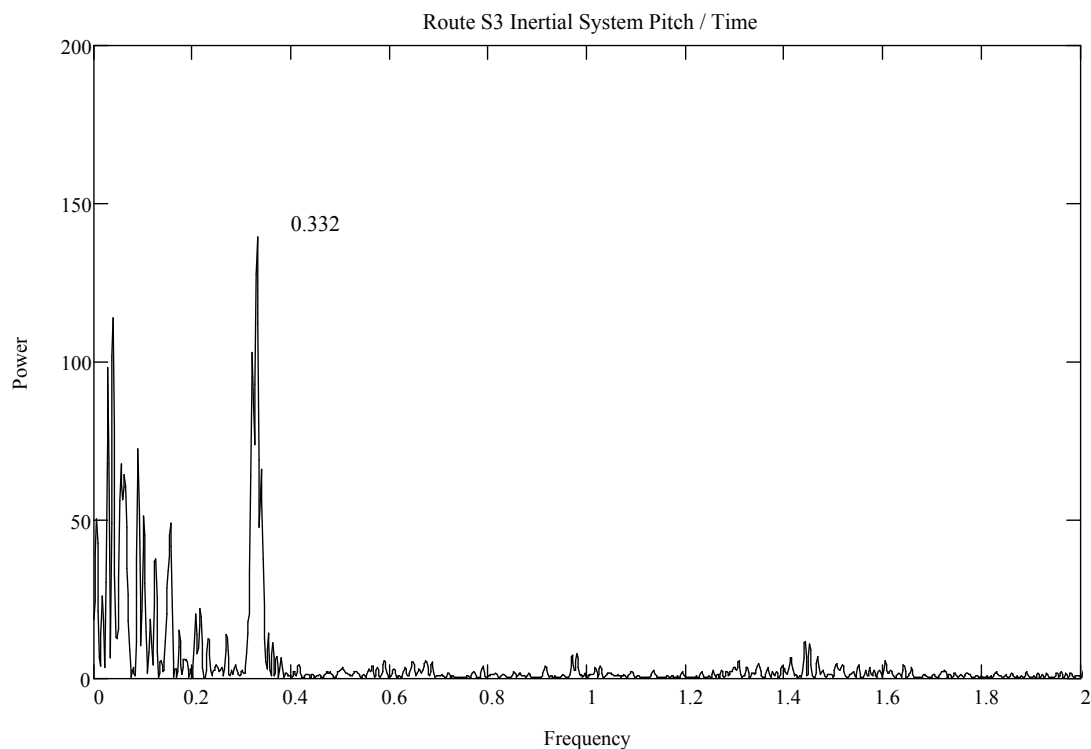
4.4.2.3. Βασικές Συχνότητες Γωνιών Στροφής

Ως τελευταίο κομμάτι της ανάλυσης, παρουσιάζονται τα περιοδογράμματα των γωνιών στροφής του σκάφους (Σχήματα 4.35 έως 4.37).

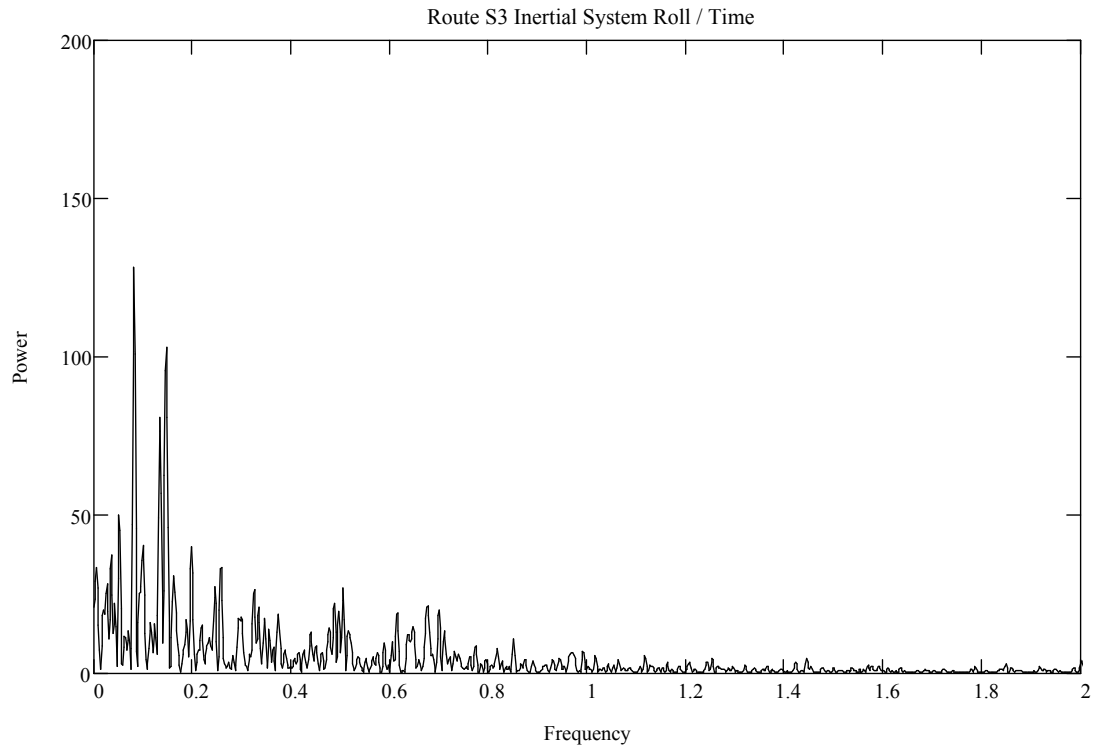
Ο προνευτασμός (Σχήμα 4.35) εμφανίζει επαναληψιμότητα με βασική συχνότητα $f = 0.332$ Hz . Το γεγονός αυτό προδίδει ίδια περίοδο με τη διάρκεια “κύκλου κουπιάς”, με αποτέλεσμα να επιβεβαιώνεται η συσχέτισή του με την επιτάχυνση του σκάφους.

Ο διατοιχισμός (Σχήμα 4.36) εμφανίζει πολύ θόρυβο με δύο συχνότητες να ξεχωρίζουν, αλλά βρίσκονται πολύ κοντά στο μηδέν και αυτές οπότε δεν σχηματίζεται κάποια σαφής εικόνα σε ότι αφορά την περιοδικότητα του μεγέθους.

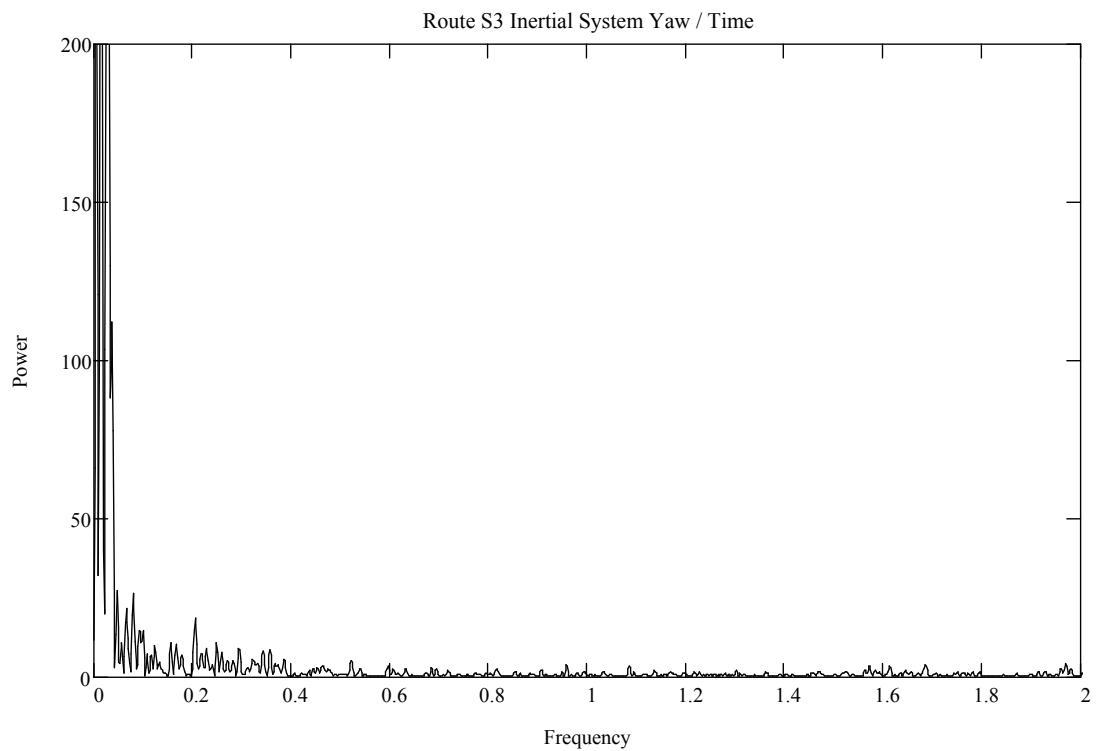
Η μεταβολή του αζιμουθίου του σκάφους (Σχήμα 4.37) αποτελεί καθαρά τυχαίο φαινόμενο και εξαρτάται από την προσπάθεια του κωπηλάτη να διατηρήσει σταθερή την πορεία του σκάφους με συνέπεια να μην εμφανίζει περιοδικότητα.



Σχήμα 4.35 Περιοδόγραμμα προνευτασμού - χρόνου αδρανειακού συστήματος, Διαδρομή S3
Figure 4.35 Inertial system pitch - time periodogram, Trial Run S3



Σχήμα 4.36 Περιοδόγραμμα διατοιχισμού - χρόνου αδρανειακού συστήματος, Διαδρομή S3
 Figure 4.36 Inertial system roll - time periodogram, Trial Run S3

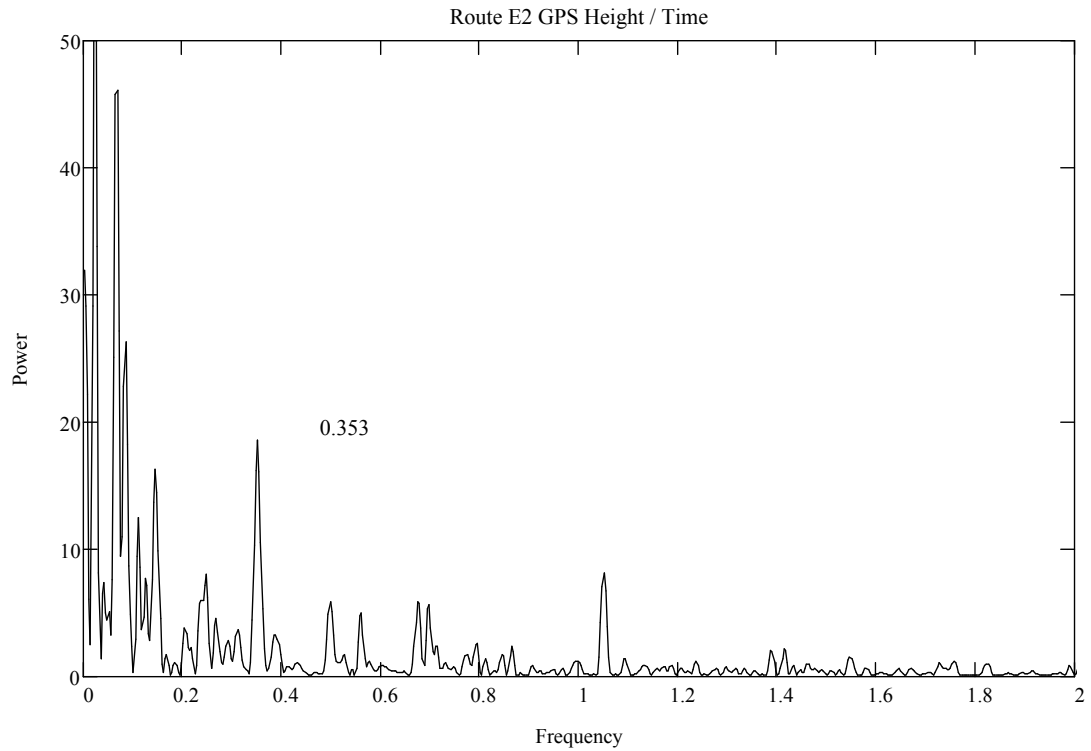


Σχήμα 4.37 Περιοδόγραμμα αζιμουθιακής μεταβολής - χρόνου αδρανειακού συστήματος, Διαδρομή S3
 Figure 4.37 Inertial system yaw - time periodogram, Trial Run S3

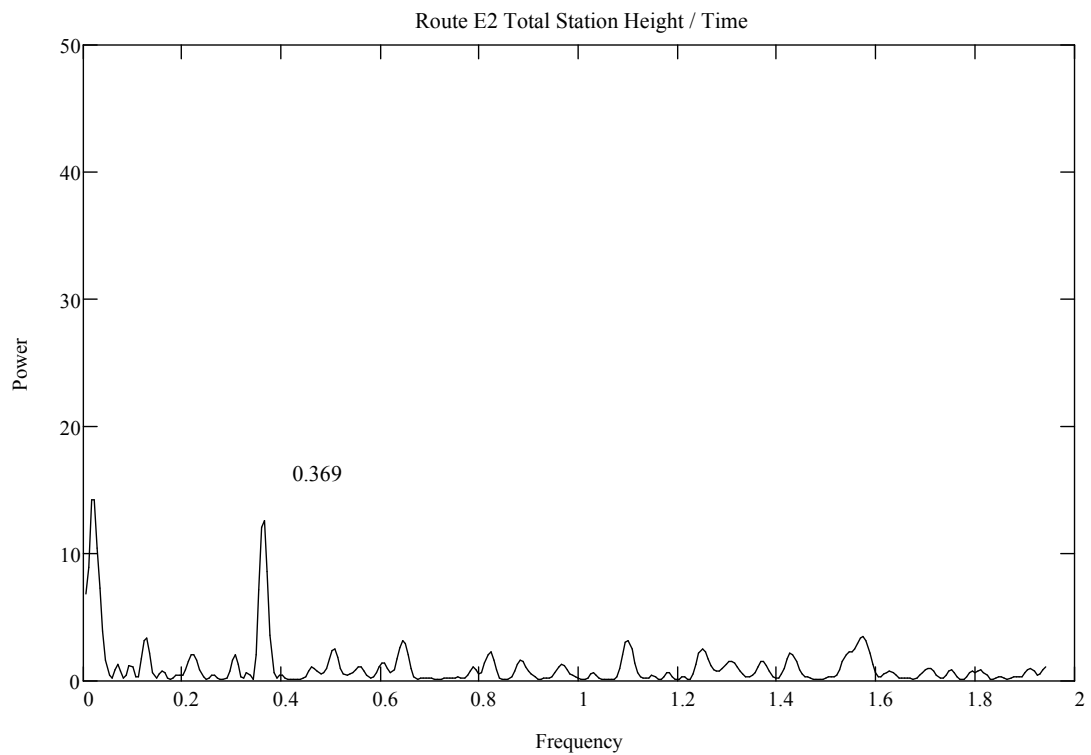
4.4.2.4. Βασικές Συχνότητες Διαγράμματος Υψομέτρου

Επόμενο ζήτημα που εξετάζεται είναι η περιοδικότητα της υψομετρικής πληροφορίας η οποία έχει προκύψει από το GPS (Σχήμα 4.38) και το Γεωδαιτικό Σταθμό (Σχήμα 4.39). Επιλέγεται η Διαδρομή E2 για την οποία υπάρχουν επαρκή δεδομένα Γεωδαιτικού Σταθμού ώστε να μπορεί να εκτελεστεί ο μετασχηματισμός Fourier.

Και τα δύο διαγράμματα δίνουν συχνότητες κοντά στο μηδέν οι οποίες αντιστοιχούν σε θόρυβο. Ο Γεωδαιτικός Σταθμός χαρακτηρίζεται από σημαντικά λιγότερο θόρυβο σε σχέση με το GPS, γεγονός αναμενόμενο λόγω της καλύτερης ακρίβειας υψομετρικών μετρήσεων που διαθέτει το όργανο. Προκύπτει από το διάγραμμα μία βασική συχνότητα $f = 0.369 \text{ Hz}$, η οποία προσεγγίζει την αντίστοιχη βασική συχνότητα για το μέγεθος της ταχύτητας για την ίδια διαδρομή. Το GPS παρέχει βασική συχνότητα $f = 0.353 \text{ Hz}$ – ωστόσο, υπάρχει και πληθώρα μικρότερων συχνοτήτων οι οποίες είναι πιθανό να αποτελούν θόρυβο.



Σχήμα 4.38 Περιοδόγραμμα ύψους – χρόνου GPS, Διαδρομή E2
 Figure 4.38 GPS height – time periodogram, Trial Run E2



Σχήμα 4.39 Περιοδόγραμμα ύψους – χρόνου Γεωδαιτικός Σταθμός, Διαδρομή E2
 Figure 4.39 Total Station height – time periodogram, Trial Run E2

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

5.1. Αξιολόγηση Πειραματικής Διάταξης

Ο αρχικός σκοπός της πειραματικής διάταξης, δηλαδή η καταγραφή των κινηματικών χαρακτηριστικών του συστήματος “κωπηλατικό σκάφος – αθλητής” επιτεύχθηκε με ικανοποιητικά αποτελέσματα και στις δύο σειρές πειραμάτων. Εξαιτίας της περιορισμένης συχνότητας καταγραφής των οργάνων, οι μετρήσεις είναι αντιπροσωπευτικές του φαινομένου σε χαμηλούς ρυθμούς κωπηλασίας, (20 – 25 spm).

5.1.1. Σύστημα Γεωδαιτικών Δεκτών GPS

Η αυτονομία του συστήματος GPS σε συνδυασμό με τη δυνατότητα του να καταγράφει τη θέση του σκάφους ανεξάρτητα από συνθήκες ορατότητας ή ατμοσφαιρικές μεταβολές το καθιστούν ιδιαίτερα κατάλληλο για εφαρμογές τέτοιου τύπου.

Οι δέκτες GPS κατέγραψαν τη θέση του σκάφους. Στη συνέχεια αυτή η πληροφορία μετατράπηκε σε μεγέθη τα οποία περιγράφουν πληρέστερα την κινηματική κατάσταση του σκάφους όπως η ταχύτητα και η επιτάχυνση. Η πυκνότητα των στιγμάτων ήταν επαρκής για την ανάλυση του “κύκλου κουπιάς” σε διακριτές φάσεις για χαμηλούς ρυθμούς κίνησης, αλλά προτείνεται η χρήση δεκτών με μεγαλύτερη συχνότητα καταγραφής για ρυθμούς 30 – 40 spm. Αναφορικά με την υψομετρική ανάλυση, ο θόρυβος που προέκυψε από την ανεπαρκή ακρίβεια των οργάνων δεν επέτρεψε την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

Μειονέκτημα από τη χρήση του συστήματος είναι ότι τα μεγέθη που ενδιαφέρουν, δηλαδή η επιτάχυνση και η ταχύτητα, παράγονται έμμεσα από την πληροφορία θέσης και τα σφάλματα μέτρησής της μεταφέρονται αυτούσια στα παράγωγα μεγέθη.

5.1.2. Γεωδαιτικός Σταθμός

Όπως αναμενόταν, ο Γεωδαιτικός Σταθμός δεν περιέγραψε με πληρότητα το φαινόμενο καθώς οι ανακλάσεις, η συχνή απώλεια στόχου και η χαμηλή συχνότητα καταγραφής δεν έδωσαν αξιόλογες μετρήσεις. Θετικό σημείο αποτελεί η πολύ καλή καταγραφή υψομετρικής πληροφορίας και ο υπολογισμός της κύριας συχνότητας που χαρακτηρίζει τη μεταβολή της.

Η χρήση του Γεωδαιτικού Σταθμού εξυπηρετεί τη συγκεκριμένη εφαρμογή όταν συνδυάζεται η υψομετρική πληροφορία που καταγράφει με τη θέση που προκύπτει από το GPS με σκοπό να καλυφθεί η αδυναμία του δορυφορικού συστήματος για τη μέτρηση υψομέτρων.

5.1.3. Αδρανειακό Σύστημα Εντοπισμού

Το αδρανειακό σύστημα παρείχε στην πειραματική διάταξη τη δυνατότητα πολύ υψηλής συχνότητας καταγραφής και τη δυνατότητα μέτρησης των γωνιών στροφής του σκάφους οι οποίες δεν προκύπτουν από τα άλλα δύο όργανα.

Παρότι η μετρημένη επιτάχυνση πλησιάζει τα αποτελέσματα του GPS, η διακύμανση του μεγέθους είναι μικρότερη και η ανάλυση συχνοτήτων δείχνει πιο ισχυρό σήμα στις βασικές συχνότητες. Σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η επιτάχυνση προκύπτει από πρωτογενείς μετρήσεις και όχι ως παράγωγο του μεγέθους της θέσης, το αδρανειακό σύστημα πλεονεκτεί σε αυτό το σημείο έναντι του GPS.

5.2. Συμπεράσματα Αναφορικά με τα Μεγέθη που Υπολογίστηκαν

5.2.1. Ταχύτητα και Επιτάχυνση

Ο υπολογισμός της ταχύτητας αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για την οριοθέτηση των φάσεων του “κύκλου κουπιάς”, αλλά μόνο για ρυθμό κίνησης κοντά στα 20 rpm. Στους μεγαλύτερους ρυθμούς, η δειγματοληψία δεν ήταν αρκετά πυκνή ώστε να μπορούν να διακριθούν με λεπτομέρεια οι φάσεις οπότε κρίνεται αναγκαία υψηλότερη συχνότητα καταγραφής.

Σημαντική παρατήρηση αποτελεί η επιβεβαίωση της περιοδικότητας της μεταβολής της ταχύτητας του σκάφους. Οι δύο βασικές συχνότητες που χαρακτηρίζουν την ταχύτητα είναι ίδιες και για την επιτάχυνση, ενώ είναι σταθερές για δεδομένο ρυθμό κωπηλασίας και συνθήκες διεξαγωγής.

5.2.2. Γωνίες Στροφής του Σκάφους

Ενώ η μεταβολή του αζιμουθίου του σκάφους και ο διατοιχισμός δεν εμφανίζουν περιοδικότητα, ο προνευτασμός διαφέρει και χαρακτηρίζεται από βασική συχνότητα ανάλογη με αυτή της ταχύτητας ενώ εμφανίζει κάποια συσχέτιση με το μέγεθος της επιτάχυνσης. Οι δοκιμές με το αδρανειακό σύστημα έγιναν με έντονο άνεμο, οπότε θεωρείται επιβεβλημένο να γίνει έλεγχος σε διαφορετικές συνθήκες ώστε να διαπιστωθεί αν όντως η περιοδικότητα οφείλεται στις συνθήκες κυματισμού ή σε

επαναλαμβανόμενη κίνηση του σκάφους που προκαλείται κατά την κίνηση των κουπιών.

5.2.3. Άλλες Παρατηρήσεις

Η θέση του σκάφους δεν ενδιαφέρει αυτή κάθε αυτή, αλλά περισσότερο ως πρωτογενές δεδομένο βάσει του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα και η επιτάχυνσή του. Ακόμα και η κίνηση του σκάφους σε αυστηρά ευθύγραμμη πορεία, δεν έχει την ίδια βαρύτητα για τους προπονητές όσο έχει η ορθή εφαρμογή τεχνικής και η διατήρηση του απαιτούμενου ρυθμού κίνησης. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι αθλητές κατάφεραν να διατηρήσουν το σκάφος σε ευθύγραμμη πορεία, όπως προκύπτει και στο Κεφάλαιο 3.

Ο λόγος του χρόνου που τα κουπιά βρίσκονται βυθισμένα στο νερό σε σχέση με το χρόνο που είναι έξω από αυτό δεν φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά την απόσταση που διένυε το σκάφος με κάθε κουπιά. Το συγκεκριμένο ζήτημα ενδέχεται να χρειάζεται περισσότερη μελέτη προκειμένου να εξαχθεί κάποιο χρήσιμο συμπέρασμα σχετικά – ωστόσο, η πρωταρχική ανάλυση δείχνει ότι δεν αποτελεί δείκτη απόδοσης του αθλητή όπως είχε υποτεθεί αρχικά.

5.3. Προτάσεις για Περαιτέρω Διερεύνηση

5.3.1. Θέματα για Διερεύνηση

Η λήψη μετρήσεων από δύο διαφορετικούς αθλητές δεν οδήγησε σε κάποιο αξιόλογο δείκτη με τον οποίο να μπορεί να συγκριθεί η τεχνική τους.

Προτείνεται σε επόμενες δοκιμές να υπάρχει δυνατότητα μεγαλύτερης δειγματοληψίας δεδομένων δύο ή περισσότερων αθλητών σε πολλές διαφορετικές συνθήκες, ώστε να υπολογιστούν:

- η αντιπροσωπευτική καμπύλη ταχύτητας και επιτάχυνσης κάθε αθλητή για κάθε ρυθμό κίνησης,
- η επίδραση εξωγενών παραγόντων, όπως η ένταση και κατεύθυνση ανέμου στα κινηματικά χαρακτηριστικά και στη διαφοροποίηση της εφαρμοζόμενης τεχνικής,
- η διαφορά των καμπυλών των αθλητών μεταξύ τους και πως αυτά μεταφράζονται σε διαφοροποιήσεις στην τεχνική και
- η εύρεση δεικτών που να μπορούν να συνδέσουν άμεσα την απόδοση του αθλητή με τα διαγράμματα.

Για την επιλογή των κατάλληλων δεικτών χρειάζεται μεγάλος όγκος δεδομένων. Υποψήφια σημαντικά μεγέθη για διερεύνηση που να συνδέονται με την απόδοση είναι η διάρκεια των φάσεων του “κύκλου κουπιάς”, ο προνευτασμός και ενδεχομένως ο λόγος του χρόνου που τα κουπιά βρίσκονται βυθισμένα στο νερό σε σχέση με το χρόνο που είναι έξω από αυτό.

Τέλος, σημαντικός στόχος είναι να αναλυθεί η καμπύλη κάποιου αθλητή υψηλών επιδόσεων, να ονομαστεί ως “πρότυπο” και να εντοπιστούν οι διαφορές στην τεχνική του που τον κάνουν να είναι καλύτερος από τους υπόλοιπους. Απώτερος σκοπός θα είναι να υπολογιστεί πόσο απέχουν οι υπόλοιποι αθλητές ποσοτικά από την “πρότυπη” καμπύλη και κατά πόσο είναι δυνατόν να την προσεγγίσουν με κατάλληλες τροποποιήσεις στην προπονητική διαδικασία. Αυτό επιτυγχάνεται με την καταγραφή και ενδελεχή μελέτη των κινηματικών χαρακτηριστικών των φάσεων του “κύκλου κουπιάς”, με στόχο τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων και της χρονικής διάρκειας κάθε επιμέρους φάσης.

5.3.2. Τροποποιήσεις στην Πειραματική Διάταξη

Οι τροποποιήσεις στην πειραματική διάταξη προτείνονται για την αντιμετώπιση αδυναμιών που εντοπίστηκαν και για τον υπολογισμό μεγεθών που δεν ήταν δυνατό με τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν. Συνοψίζονται παρακάτω:

- για την ανάλυση μετρήσεων σε μεγάλους ρυθμούς κίνησης προτείνεται η χρήση GPS υψηλής συχνότητας καταγραφής 20 Hz, διπλάσια από των δεκτών που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία, και
- με σκοπό την ακριβή οριοθέτηση των φάσεων του “κύκλου κουπιάς”, προτείνεται η χρήση κάμερας υψηλής ανάλυσης και συχνότητας καταγραφής και ο συγχρονισμός της με τα υπόλοιπα όργανα ώστε να είναι γνωστό ποια ήταν η στάση του σώματος του αθλητή σε κάθε θέση. Τα δεδομένα θα αναλυθούν από προπονητές και ειδικούς ώστε να γίνει η συσχέτιση των διαγραμμάτων με το οπτικό υλικό και η εξαγωγή πορισμάτων με οδηγό την προπονητική εμπειρία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. B. Magee, C. Hoogsteden, P. Denys – “Dynamics of a Rowing Skiff: Evaluating the Leica GPS 1200 Series”, University of Otago (2004)
2. K. Zhang, R. Deakin, R. Grenfell, Y. Li, J. Zhang, W.N. Cameron, D.M. Silcock – “GNSS for Sports – Sailing and Rowing Perspectives”, Journal of Global Positioning Systems (2004)
3. K. Zhang, Y. Li, R. Grenfell, A. Hahn, C. Gore, T. Rice – “Developing Prototype Multisensor GPS Rower Monitoring and Coaching Systems for Olympics”, FIG Working Week Athens, Greece (2004)
4. A. Lin, R. Mullins, M. Pung, L. Theofilactidis – “Application of Accelerometers in Training”, Analog Devices Website (2006)
5. D.E. Upson – “A Kinematic and Temporal Analysis of Ergometer Rowing and On – Water Rowing”, Southern Connecticut State University
6. D. G. Liebermann, L. Katz, M. D. Hughes, R. M. Bartlett, J. McClements, I. M. Franks – “Advances in the application of information technology to sport performance”, Journal of Sports Sciences (2002)
7. M. Lambert, R. Santerre – “Speed Check – Performance Monitoring with RTK GPS”, GPS World (February 2004)
8. V. Kleshnev – “Stroke Rate VS Distance in Rowing”, Australian Institute of Sport (<http://www.coachesinfo.com/category/rowing/76/>)
9. Ιστοσελίδα Javad Navigation Systems (<http://www.javad.com/>)
10. Ιστοσελίδα Microbotics Inc. (<http://microboticsinc.com/>)
11. Ιστοσελίδα Ολυμπιακών Αγώνων (<http://www.olympic.org/uk/>)
12. Ιστοσελίδα ηλεκτρονικής εγκυκλοπαίδειας Wikipedia (<http://www.wikipedia.org/>)
13. Ιστοσελίδα Glossary of Terms Used in Time Series Analysis of Cardiovascular Data (<http://www.cbi.dongnocchi.it/glossary/Lomb.html>)
14. Ιστοσελίδα Paul Bourke για την ετεροσυσχέτιση (<http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/other/correlate/>)
15. Ιστοσελίδα Ελληνικής Κωπηλατικής Ομοσπονδίας Φιλάθλων Ναυτικών Σωματείων (<http://www.kopilasia.gr/>)