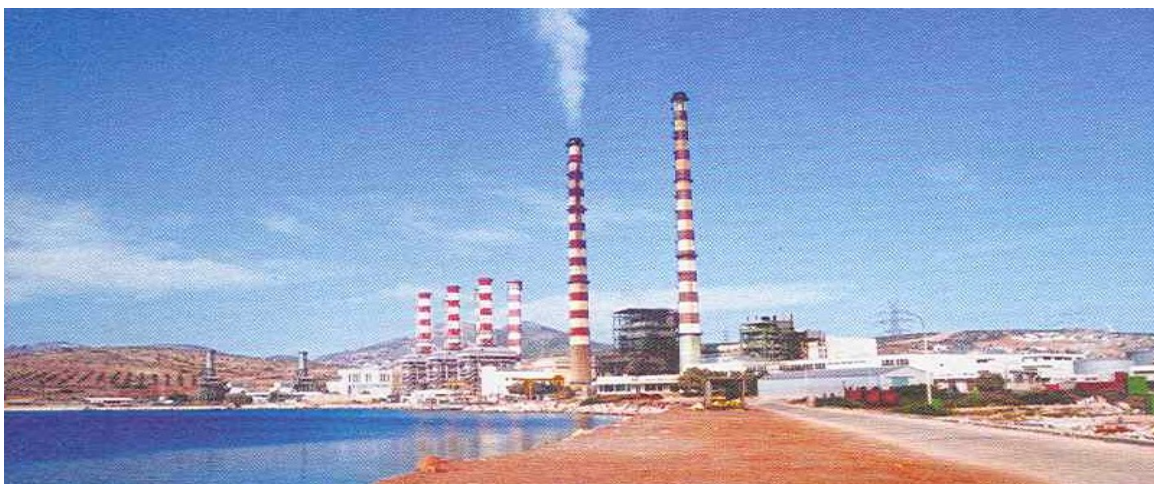




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
σχολή αγρονομών και τοπογραφών μηχανικών
τομέας τοπογραφίας
εργαστήριο γενικής γεωδαισίας

**ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΗΣ ΥΨΗΛΗΣ
ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΥ ΤΟΥ ΑΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ ΤΗΣ ΔΕΗ Α.Ε.**



ΜΑΡΙΤΣΟΥΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ :

Β. ΓΚΙΚΑΣ, ΔΕΚΤΟΡΑΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2008

Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η οποία αποτελεί το τελευταίο στάδιο πριν από την ολοκλήρωση των σπουδών στο τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, διήρκεσε ένα ακαδημαϊκό έτος και σε όλο αυτό το χρονικό διάστημα υπήρξαν πολλά πρόσωπα τα οποία βοήθησαν για την επιτυχή ολοκλήρωση της και τα οποία αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω.

Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γκίκα Βασίλη, για τις πολύτιμες συμβουλές και τις οδηγίες σε όλο το διάστημα της εκπόνησης της εργασίας τόσο σε πρακτικά όσο και θεωρητικά θέματα.

Τις ευχαριστίες μου θα ήθελα να εκφράσω κατά σειρά στον Γενικό Διευθυντή Παραγωγής του ΑΗΣ Λαυρίου κ. Α. Μιζάν, τον Διευθυντή Εκμετάλλευσης Θερμοηλεκτρικών Σταθμών κ. Α. Χανταβά, τον Διευθυντή κλάδου ΑΗΣ Λαυρίου κ. Ε. Παναγιάρη, τον Τομέαρχη Συντήρησης ΑΗΣ Λαυρίου κ. Α. Οικονομίδη και τον Μηχανικό Σχεδιασμού Μηχανολογικής Συντήρησης, κ. Ε. Καραγιάννη για την παροχή της σχετικής άδειας εκτέλεσης του πειράματος και την συμβολή τους στην πραγματοποίηση των εργασιών υπαίθρου. Νιώθω επίσης την ανάγκη να ευχαριστήσω τον κ. Κ. Παπαγεωργίου, Τομέαρχη Βελτιώσεων και Τεχνικού Ελέγχου ΑΗΣ Λαυρίου, για την προσωπική επικοινωνία και τις πολύτιμες πληροφορίες που μου παρείχε αναφορικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της υψηλής καπνοδόχου.

Ευχαριστώ την αδερφή μου Χρυσούλα, καθώς και τους φίλους μου Γιάννη και Αποστόλη όχι μόνο για την άψογη συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας αλλά και για την συνεργασία που είχαμε ως συμφοιτητές τα τελευταία πέντε χρόνια.

Επίσης, μέσα από την παρούσα εργασία θα ήθελα να πω «ευχαριστώ» πάνω απ' όλα στους γονείς μου Βασίλειο και Ελένη Μαριτσούδη και στη συνέχεια στους θείους μου Κωνσταντίνο και Φιλιά Βαλτετσιώτη, καθώς και στο θείο μου Χρήστο Μαριτσούδη για την αμέριστη υποστήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου αλλά και σε όλους του καθηγητές του τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών που κατά τη διάρκεια των σπουδών, μου παρείχαν τα κατάλληλα εφόδια ώστε να γίνω ένας καλός και υπεύθυνος μηχανικός.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κύριος στόχος της παρούσας εργασίας αποτελεί η μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς υψηλών κατασκευών με χρήση γεωδαιτικής μεθοδολογίας. Ειδικότερα, μελετάται η δυναμική συμπεριφορά της υψηλής (~ 150 m) καπνοδόχου της ΔΕΗ ΑΕ (Ατμοηλεκτρικός Σταθμός Λαυρίου) έναντι των μεταβολών του ανέμου και της θερμοκρασίας. Η μελέτη στηρίζεται στη μέθοδο αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου που εφαρμόζεται με χρήση ολοκληρωμένου ρομποτικού γεωδαιτικού σταθμού.

Οι εργασίες πεδίου περιελάμβαναν αναγνώριση της περιοχής και της κατασκευής και τοποθέτηση στο άνω μέρος αυτής (1.5 m κάτω από τη στέψη) κυκλικού πρίσματος και κατάλληλου προστατευτικού καλύμματος με τη βοήθεια προσωπικού της Εταιρείας. Μετρήσεις ελήφθησαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους και συνθήκες έντασης ανέμου. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Leica TCA 1800, και κατάλληλο λογισμικό ψηφιακής καταγραφής μέσω Η/Υ που συντάχθηκε για σχετικές εφαρμογές. Συνολικά συλλέχθηκαν δεδομένα σε τρεις διαφορετικές περιόδους. Ωστόσο, η ανάλυση βασίζεται στην μελέτη 36 ομάδων δεδομένων κυμαινόμενης διάρκειας συνολικής διάρκειας 12 ωρών.

Η ανάλυση των δεδομένων γίνεται σε τρία στάδια. Αρχικά οι μετρήσεις εξετάζονται ως προς την παρουσία χονδροειδών λαθών και ακολουθεί στατιστική επεξεργασία των υγιών μετρήσεων. Σε επόμενη φάση τα δεδομένα μελετώνται στο πεδίο του χώρου / χρόνου και τέλος στο πεδίο των συχνοτήτων. Από τη σχετική ανάλυση προκύπτει ότι τα κινηματικά χαρακτηριστικά της κατασκευής εμφανίζουν περιοδικό χαρακτήρα με βασική συχνότητα ταλάντωσης 0.33 Hz και κυμαινόμενο εύρος από ± 1.0 cm έως ± 8.0 cm. Εκτιμάται ότι τα αποτελέσματα αυτά σε συνδυασμό με αποτελέσματα προσομοίωσης της δυναμικής συμπεριφοράς της κατασκευής (π.χ. με χρήση της θεωρίας πεπερασμένων στοιχείων) μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για μια ολοκληρωμένη μελέτη των χαρακτηριστικών κίνησης της κατασκευής.

ABSTRACT

This diploma thesis aims to study the dynamic behavior of tall structures using geodetic methodology. More specifically, an observation system based on the method of tracking total station is used for monitoring the dynamic behavior of a tall chimney (~150 m) due to wind loads. The construction forms part of the National Power Company plant located in Lavrion, Attiki area.

Field work involved reconnaissance of the area surrounding the chimney and installation of cyclic prism (~ 1.5 m) below the crown of the structure. Observations were taken place from a well protected site located about 150 m from the chimney's basement. A Leica TCA 1800 tracking total station and an on purpose built acquisition software was used to collect observations at a recording frequency 5-6 Hz. Data were collected on different days and wind conditions.

Data analysis is undertaken three sequential steps. Firstly, the raw observations are examined against gross errors followed by statistical analyses of the clean data. At a second stage the analysis focuses on the time domain. The last stage of data processing involves Fourier analysis using the Lomb periodogram. The results of the analysis produce a fairly constant value of dominant frequency of the value of 0.33 Hz and width between ± 1 cm and ± 8 cm (depending on wind intension).

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	3
Περίληψη	4
Abstract	5
Περιεχόμενα	6
Κατάλογος Σχημάτων	11
Κατάλογος Πινάκων	14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά	16
1.2 Αντικείμενο – Στόχοι εργασίας	17
1.3 Δομή της εργασίας	17

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

2.1 Εισαγωγή	21
2.2 Έλεγχος Συμπεριφοράς Τεχνικών έργων – Κατασκευών	21
2.3 Μέθοδοι-Τεχνικές και Όργανα Παρακολούθησης Δυναμικών Παραμορφώσεων	23
2.4 Η χρήση του GPS στη Παρακολούθηση Δυναμικής Συμπεριφορών Τεχνικών Έργων	24
2.5 Γεωδαιτικοί Σταθμοί Αυτόματης Αναγνώρισης και Παρακολούθησης Στόχου	

στον Έλεγχο Δυναμικής Συμπεριφοράς Υψηλών Εύκαμπτων Κατασκευών	25
2.5.1 Γενικά χαρακτηριστικά	25
2.5.2 Αρχές λειτουργίας	27
2.5.3 Πηγές σφαλμάτων	28
2.5.4 Παραδείγματα οργάνων	29
2.6 Παραδείγματα Δυναμικής Παρακολούθησης Τεχνικών Έργων-Κατασκευών από τη διεθνή βιβλιογραφία	30
2.6.1 Παράδειγμα 1 - Παρακολούθηση συμπεριφοράς υψηλής καπνοδόχου με χρήση GPS και επιταχυνσιόμετρων, Piacenza- Ιταλία	30
2.6.2 Παράδειγμα 2 - Παρακολούθηση δυναμικής παραμόρφωσης γέφυρας Wilford με χρήση total station, Nottingham- Μ. Βρετανία	34
2.6.3 Παράδειγμα 3 - Παρακολούθηση δυναμικής συμπεριφοράς γέφυρας Humber σε μια περιοχή της Νότιας Αγγλίας	37
2.4.4 Παράδειγμα 4 - Παρακολούθηση συμπεριφοράς υψηλών και εύκαμπτων κατασκευών με χρήση GPS	39

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΨΗΛΗΣ ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΥ ΤΟΥ ΑΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

3.1 Εισαγωγή	43
3.2 Ατμοηλεκτρικός Σταθμός Λαυρίου	43
3.2.1 Γενικές πληροφορίες	43
3.2.2 Ο ρόλος του ΑΗΣ Λαυρίου στο δίκτυο της ΔΕΗ	44
3.3 Υψηλή Καπνοδόχος	45

3.3.1 Σκοπός λειτουργίας υψηλής καπνοδόχου	45
3.3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά	46
3.4 Προπαρασκευαστικές Εργασίες	47
3.4.1 Σχετικές συνεννοήσεις με τη ΔΕΗ Α.Ε.	47
3.4.2 Τοποθέτηση πρίσματος στην καπνοδόχο	47
3.4.3 Επιλογή θέσης στάσης οργάνου	49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ Leica TCA1800 ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ

4.1 Εισαγωγή	52
4.2 Γεωδαιτικός Σταθμός Leica TCA 1800	52
4.2.1 Γενικά στοιχεία	52
4.2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας	54
4.2.3 Επιπρόσθετες λειτουργίες	56
4.2.4 Πρωτοκόλλα επικοινωνίας Leica TCA1800	57
4.2.5 Πρίσμα 360° και απλό κυκλικό πρίσμα	57
4.3 Πεδία Εφαρμογών	58
4.4 Λογισμικό Καταγραφής « Leica TCA1800 Tracking Controller»	58
4.4.1 Γενικά χαρακτηριστικά	58
4.4.2 Διαδικασίες λειτουργίας	59
4.4.2.1 Γενικά	59
4.4.2.2 Περιγραφή φάσεων λειτουργίας	60
4.4.2.3 Μετρητική διαδικασία	61
4.5 Ολοκληρωμένο σύστημα καταγραφής	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

5.1 Εισαγωγή	64
5.2 Συλλογή Δεδομένων Πεδίου	64
5.2.1 Πρώτη επίσκεψη (20/01/2007)	64
5.2.2 Δεύτερη επίσκεψη (21/09/2007)	65
5.3.3 Τρίτη επίσκεψη (02/10/2007)	67
5.3 Ανεμολογικά Δεδομένα και Δεδομένα Θερμοκρασίας	69
5.4 Προβλήματα Πριν και Κατά τη Διάρκεια των Μετρήσεων	73

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

6.1 Εισαγωγή	76
6.2 Προεπεξεργασία των Μετρήσεων	76
6.2.1 Συστήματα αναφοράς	76
6.2.2 Βασικά χαρακτηριστικά κίνησης	77
6.3 Στατιστική Επεξεργασία των Μετρήσεων	79
6.3.1 Βασικές στατιστικές παράμετροι	79
6.3.2 Διαγράμματα οριζοντιογραφίας	80
6.3.3 Διαγράμματα πλήθους εμφανίσεων	80
6.4 Φασματική Επεξεργασία των Μετρήσεων	81
6.4.1 Εισαγωγή	81
6.4.2 Σειρές Fourier	82

6.4.3 Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier (DFT)	84
6.4.4 Ταχύς Μετασχηματισμός Fourier (Fast Fourier Transform- FFT)	87
6.4.5 Περιοδόγραμμα Lomb	88

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

7.1 Γενικά	90
7.2 Προεπεξεργασία των Μετρήσεων και Υπολογισμός Βασικών Στατιστικών Μεγεθών	91
7.2.1 Προεπεξεργασία των μετρήσεων	91
7.2.2 Υπολογισμός βασικών στατιστικών μεγεθών	94
7.2.3 Ταξινόμηση των μετρήσεων ανάλογα με το μέγεθος τους	98
7.3 Ανάλυση στο Πεδίο του Χώρου / Χρόνου	100
7.3.1 Διαγράμματα οριζοντιογραφίας	100
7.3.2 Ανάλυση χρονοσειρών	104
7.4 Ανάλυση στο Πεδίο των Συχνοτήτων	107
7.4.1 Μελέτη της περιοδικότητας της κίνησης από διαγράμματα οριζοντιογραφίας και χρονοσειρών	107
7.4.2 Μελέτη της περιοδικότητας της κίνησης με ανάλυση Fourier	110
7.5 Συσχέτιση Φαινομένου με άλλα Μεγέθη	113

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

8.1 Γενικά	116
8.2 Βασικές Επισημάνσεις - Συμπεράσματα	116

8.2.1 Αναφορικά με τη μέθοδο παρακολούθησης του φαινομένου	116
8.2.2 Αναφορικά με τη δυναμική συμπεριφορά της κατασκευής	117
8.3 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα	117
Βιβλιογραφία	120
Παράρτημα Α: Τοπογραφικό διάγραμμα ΑΗΣ Λαυρίου και τεχνικά χαρακτηριστικά καπνοδόχου	123
Παράρτημα Β: Έντυπα μετρήσεων	128

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Σχήμα 2.1 (α) Αστοχία γέφυρας Tacoma λόγω κακού σχεδιασμού
- Σχήμα 2.1 (β) Ολική αστοχία κεραίας κινητής τηλεφωνίας από την επίδραση του τυφώνα Michelle
- Σχήμα 2.2 Παρακολούθηση μετακινήσεων / ταλαντώσεων της γέφυρας Tsing Ma του Hong Kong με την χρήση GPS
- Σχήμα 2.3 Η εξέλιξη της τεχνολογίας στους γεωδαιτικούς σταθμούς
- Σχήμα 2.4 Σφάλμα χρονικής διαφοράς μετρήσεων γωνίας απόστασης
- Σχήμα 2.5 Εικόνα της κατασκευής και θέση οργάνων (καπνοδόχος, Piacenza-Ιταλία)
- Σχήμα 2.6 Συχνότητες και πλάτη ταλάντωσης της κατασκευής (καπνοδόχος, Piacenza - Ιταλία)
- Σχήμα 2.7 Μέση κίνηση της κατασκευής κατά τη διάρκεια μιας ημέρας σε κατά μήκος και κατά πλάτος διεύθυνση (καπνοδόχος, Piacenza - Ιταλία)
- Σχήμα 2.8 Μετατοπίσεις και Ηλιακή ακτινοβολία στην κατά μήκος διεύθυνση
- Σχήμα 2.9 Οριζόντιες μετατοπίσεις (m) καπνοδόχου λόγω θερμικής φόρτισης
- Σχήμα 2.10 Οριζόντιες μετατοπίσεις (m) καπνοδόχου και κατανομή πιέσεων λόγω του Ανέμου (καπνοδόχος, Piacenza - Ιταλία)
- Σχήμα 2.11 Η διάταξη των οργάνων (γέφυρα Wilford)
- Σχήμα 2.12 Οι μετατοπίσεις της θέσης όπως μετρήθηκαν από το γεωδαιτικό σταθμό την τελευταία ημέρα των παρατηρήσεων (γέφυρα Wilford)
- Σχήμα 2.13 Οι μετατοπίσεις της θέσης όπως μετρήθηκαν από το GPS την τελευταία ημέρα των παρατηρήσεων (γέφυρα Wilford)
- Σχήμα 2.14 Παρακολούθηση της γεφυρας Humber στην Αγγλία με την χρήση του GPS
- Σχήμα 2.15 Διαγράμματα της μετακίνησης της γέφυρας Humber

Σχήμα 2.16 Calgary Tower – Καναδάς

Σχήμα 2.17 Διάγραμμα μετακίνησης του Calgary Tower κατά την διάρκεια πνέοντος
δυτικού ανέμου

Σχήμα 3.1 Σύστημα παραγωγής –μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας

Σχήμα 3.2 Προστατευτικό κάλυμμα

Σχήμα 3.3 Διαδικασία και προσωπικό εγκατάστασης πρίσματος

Σχήμα 3.4 Τοποθεσία φυλακίου δεξαμενής

Σχήμα 3.5 Θέση κατόπτρου και στάσης οργάνου

Σχήμα 4.1 Ο Γεωδαιτικός σταθμός Leica TCA1800

Σχήμα 4.2 Η λειτουργία του συστήματος ATR και το οπτικό πεδίο τηλεσκοπίου

Σχήμα 4.3 Απλό κυκλικό πρίσμα

Σχήμα 4.4 Πρίσμα 360 °

Σχήμα 4.5 Φόρμες διεπαφής προγράμματος Leica TCA1800 Tracking Controller

Σχήμα 4.6 Καλώδιο σύνδεσης οργάνου Leica TCA1800-H/Y και μπαταρίας

Σχήμα 4.7 Ολοκληρωμένο σύστημα καταγραφής

Σχήμα 5.1 Μέτρηση Θερμοκρασίας

Σχήμα 5.2 Διαγράμματα Θερμοκρασίας

Σχήμα 5.3 Ο ήλιος επί της σκοπευτικής γραμμής

Σχήμα 6.1 Μετατροπή πολικών συντεταγμένων σε καρτεσιανές

Σχήμα 6.2 Ανάλυση παρατηρηθέντος σήματος

Σχήμα 6.3 Σχηματική απεικόνιση του κανόνα του τραπεζίου σε 8 σημεία στη συνάρτηση

$$f(t) = \sin(2\pi t)$$

Σχήμα 7.1 Τυπικό παράδειγμα χονδροειδών σφαλμάτων (outliers) σε μια χρονοσειρά παρατηρήσεων
κινούμενου στόχου

Σχήμα 7.2 Η θέση του Ήλιου την 02-10-2007 σε σχέση με τη διεύθυνση σκόπευσης

Σχήμα 7.3 (α) Μέση τιμή της τετμημένης X για κάθε ομάδα παρατηρήσεων

Σχήμα 7.3 (β) Μέση τιμή της τεταγμένης Y για κάθε ομάδα παρατηρήσεων

Σχήμα 7.3 (γ) Μέση τιμή του υψομέτρου H για κάθε ομάδα παρατηρήσεων

Σχήμα 7.4 (α) Ιστόγραμμα τετμημένων

Σχήμα 7.4 (β) Ιστόγραμμα τεταγμένων

Σχήμα 7.4 (γ) Ιστόγραμμα τιμών υψομέτρου

Σχήμα 7.5 (α) Διαγράμματα οριζοντιογραφίας για τις χρονικές περιόδους 12:30:00-12:40:00
και 15:30:00-15:40:00

Σχήμα 7.5 (β) Διαγράμματα οριζοντιογραφίας για τις χρονικές περιόδους 18:15:00-18:30:00
και 21:10:00-21:30:00

Σχήμα 7.6 Μέση μετακίνηση της καπνοδόχου σε όλη τη διάρκεια των παρατηρήσεων

Σχήμα 7.7 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κίνησης της καπνοδόχου για τυχαία χρονικό
διάστημα.

Σχήμα 7.8 (α) Μετακίνηση $X-t$ το διάστημα 18:15:00-18:30:00

Σχήμα 7.8 (β) Μετακίνηση $Y-t$ το διάστημα 18:15:00-18:30:00

Σχήμα 7.8 (γ) Μετακίνηση $H-t$ το διάστημα 18:15:00-18:30:00

Σχήμα 7.9 Διάγραμμα οριζοντιογραφίας 4sec

Σχήμα 7.10 Διάγραμμα οριζοντιογραφίας τριών περιόδων 12 sec

Σχήμα 7.11 Διάγραμμα μετακίνησης $X-t$ διάρκειας 12sec

Σχήμα 7.12 Περιοδόγραμμα για την συνιστώσα της τετμημένης (α) και της τεταγμένης (β)
της ομάδας δεδομένων 6

Σχήμα 7.13 Περιοδόγραμμα για την συνιστώσα της τετμημένης (α) και της τεταγμένης (β)
της ομάδας δεδομένων 34

Σχήμα 7.14 Δεδομένα ανέμου την 02-10-2007 από τα ανεμόμετρα (α) Enercon500 και (β)
NEG-Micon750

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά του Leica TCA 1800

Πίνακας 5.1 Στοιχεία των μετρήσεων της 21-09-2007

Πίνακας 5.2 Στοιχεία των μετρήσεων της 02-10-2007

Πίνακας 5.3 Δεδομένα άνεμου για την περιοχή τις ημέρες των μετρήσεων

Πίνακας 5.3 Δεδομένα έντασης και κατεύθυνσης ανέμου βάση δυο διαφορετικού τύπου
ανεμομέτρων την 02-10-2007

Πίνακας 7.1 Ποσοστά χονδροειδών σφαλμάτων για κάθε ομάδα δεδομένων

Πίνακας 7.2 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση ομάδων δεδομένων την 02-10-2007

Πίνακας 7.3 Δεδομένα διαγραμμάτων πλήθους εμφανίσεων

Πίνακας 7.4 Κύρια συχνότητα και εύρος ταλάντωσης ορισμένων από τις ομάδες δεδομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Η εξέλιξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια έχει συνεισφέρει ουσιαστικά στην ανάπτυξη όλο και περισσότερων εφαρμογών που σχετίζονται με τη μελέτη φαινομένων δυναμικής συμπεριφοράς μεγάλων κατασκευών όπως π.χ. ψηλών κτηρίων, γεφυρών κ.τ.λ. Η χρήση του συστήματος GPS σε ανάλογα προβλήματα στο πρόσφατο παρελθόν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη για μια σειρά από λόγους που σχετίζονται με τα εν γένει χαρακτηριστικά του συστήματος (συχνότητα και ακρίβεια καταγραφής κ.α.).

Ωστόσο τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί νέες μέθοδοι και τεχνικές για την παρακολούθηση και ανάλυση «ημιστατικών» και δυναμικών παραμορφώσεων των κατασκευών. Μια από αυτές είναι και η μέθοδος της αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου που εφαρμόζεται (automatic target recognition and tracking) με τη βοήθεια ενός ψηφιακά ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού (tracking total station). Σήμερα είναι γνωστό ότι τα όργανα αυτής της κατηγορίας μπορούν να λειτουργήσουν ικανοποιητικά και να ανιχνεύσουν μετατοπίσεις με συχνότητα καταγραφής έως και 10 Hz. Ειδικότερα, αναφέρεται ότι η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές δυναμικής παρακολούθησης, όπου συχνότητα ταλάντωσης είναι της τάξης 0.5 Hz και μικρότερη, για παράδειγμα καταγραφή μικροκινήσεων ψηλών κτηρίων, γεφυρών καθώς επίσης μεγάλων, ψηλών και εύκαμπτων κατασκευών.

1.2 Αντικείμενο – Στόχοι Εργασίας

Κύριος στόχος της παρούσης εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της μεθόδου αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου στον έλεγχο της δυναμικής συμπεριφοράς υψηλών και εύκαμπτων κατασκευών. Ειδικότερα, η εργασία εστιάζεται στη μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς μιας υψηλής καπνοδόχου υπό την επίδραση διαφόρων εξωτερικών παραγόντων όπως ισχυροί άνεμοι, θερμοκρασιακές μεταβολές ή και κάποια πιθανή σεισμική δραστηριότητα. Απώτερος σκοπός της εργασίας είναι η εξαγωγή αποτελεσμάτων τα οποία με παράλληλη διερεύνηση με μεθόδους αριθμητικής ανάλυσης από ειδικούς (πολιτικούς μηχανικούς-στατικούς) θα οδηγήσουν σε συμπεράσματα σχετικά με την συμπεριφορά της συγκεκριμένης κατασκευής σε συνάρτηση με τη γεωμετρία, την ηλικία και τα υλικά κατασκευής.

Προκειμένου λοιπόν να διαπιστωθούν τα παραπάνω, τέθηκαν εξ αρχής ορισμένοι στόχοι οι οποίοι είναι οι εξής :

- να εξετασθεί η δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου και οι περιορισμοί που συνεπάγονται,
- να μετρηθούν έμμεσα τα πλάτη της ταλάντωσης και να μελετηθεί αν υπάρχει η περιοδικότητα του φαινομένου,
- να υπολογισθεί η βασική συχνότητα και το εύρος της ταλάντωσης,
- να εξετασθεί ενδεχόμενη επίδραση στην μεταβολή της θερμοκρασίας σαν χαρακτηριστικό της ταλάντωσης,
- τέλος, να διαπιστωθεί αν η εφαρμοσθείς μέθοδος αποτέλεσε ένα οικονομικό εργαλείο για την δυναμική παρακολούθηση της καπνοδόχου.

1.2 Δομή της Εργασίας

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από οκτώ κεφάλαια των οποίων το περιεχόμενο παρουσιάζεται συνοπτικά παρακάτω.

Το Κεφάλαιο 1 παρέχει μια γενική εισαγωγή στο αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.

Το Κεφάλαιο 2 αναφέρεται στις μεθόδους και τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται σήμερα προκειμένου για τον έλεγχο της δυναμικής συμπεριφοράς τεχνικών έργων. Αναφέρονται ορισμένα είδη

αυτών και των παραμορφώσεων που επιδέχονται ενώ ειδική αναφορά γίνεται στα όργανα παρακολούθησης που χρησιμοποιούνται, με ειδικότερη μνεία στους γεωδαιτικούς σταθμούς αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου. Τέλος, δίνονται κάποια παραδείγματα και τα αποτελέσματα ανάλογων εφαρμογών από διάφορες κατασκευές που έχουν πραγματοποιηθεί σε διεθνές επίπεδο.

Το Κεφάλαιο 3 παρέχει σχετικές πληροφορίες για τον Ατμοηλεκτρικό Σταθμό της ΔΕΗ Α.Ε. στο Λαύριο και δίνεται μια περιγραφή των τεχνικών χαρακτηριστικών της υψηλής καπνοδόχου για την οποία έγινε η εργασία. Επίσης, στο ίδιο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι σχετικές προπαρασκευαστικές εργασίες.

Το Κεφάλαιο 4 παρουσιάζει τα όργανα και τα παρελκόμενα που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Δίνεται μια γενική περιγραφή του γεωδαιτικού σταθμού Leica TCA 1800, της αρχής λειτουργίας του, των δυνατοτήτων του, καθώς επίσης ορισμένα στοιχεία που αφορούν το κυκλικό πρίσμα. Τμήμα του κεφαλαίου αποτελεί και η παρουσίαση του λογισμικού καταγραφής σε σχέση με τη γλώσσα προγραμματισμού, τα βασικά χαρακτηριστικά του και τον τρόπο λειτουργίας του. Τέλος, συνοπτική αναφορά γίνεται στο ολοκληρωμένο σύστημα καταγραφής των δεδομένων.

Το Κεφάλαιο 5 περιλαμβάνει τις εργασίες υπαίθρου που έγιναν στο χώρο της κατασκευής. Περιέχεται η κωδικοποίηση και η περιγραφή των πειραμάτων που εκτελέστηκαν, καθώς επίσης γίνεται αναφορά σε ορισμένα συμπληρωματικά στοιχεία που τέθηκαν υπόψη μας, όπως π.χ. δεδομένα θερμοκρασίας, άνεμου κ.τ.λ..

Το Κεφάλαιο 6 δίνεται η μεθοδολογία επεξεργασίας των μετρήσεων, κάποιοι προκαταρκτικοί υπολογισμοί και εν συνεχεία αναφέρονται λεπτομερώς και σε θεωρητικό επίπεδο τα παράγωγα αποτελέσματα τόσο της στατιστικής όσο και της φασματικής ανάλυσης.

Το Κεφάλαιο 7 περιέχει τα αποτελέσματα επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων όπως αυτά προέκυψαν από τις εργασίες υπαίθρου. Στη ουσία περιλαμβάνει ταξινόμηση των πειραμάτων, υπολογισμούς βασικών στατιστικών μεγεθών καθώς επίσης και διαγράμματα μετακινήσεων και μεταβολής μεγεθών τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο των συχνοτήτων.

Το κεφάλαιο 8 περιλαμβάνει τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις εργασίες υπαίθρου, καθώς και από την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων για την καπνοδόχο. Ένα μέρος του κεφαλαίου αποτελείται από μια σειρά προτάσεων που αφορούν μελλοντική συνέχιση της παρούσας εργασίας για περαιτέρω διερεύνηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2
ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

2.1 Εισαγωγή

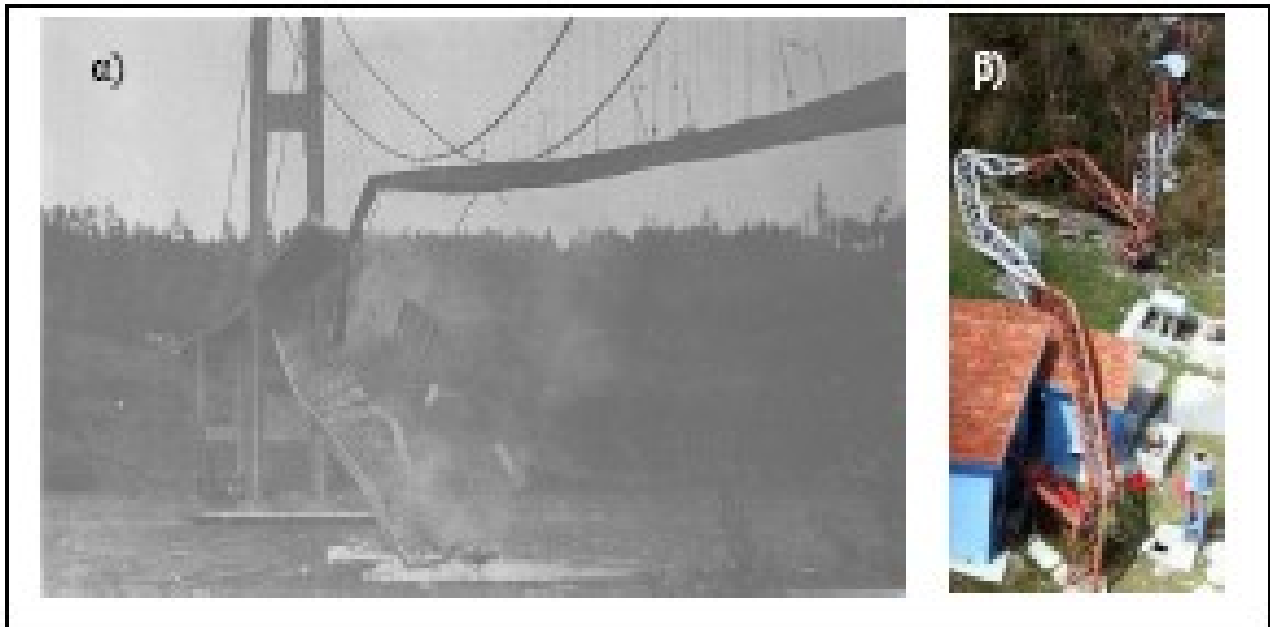
Στο Κεφάλαιο 2 δίνονται οι βασικές αρχές, οι μέθοδοι, τα όργανα και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της δυναμικής συμπεριφοράς τεχνικών έργων. Αρχικά, αναφέρονται συνοπτικά διάφορες κατηγορίες τεχνικών έργων και κατασκευών και τα είδη των παραμορφώσεων που αυτά επιδέχονται, ενώ ιδιαίτερη έμφαση δίνεται κυρίως σε κατασκευές που υπόκεινται σε δυναμικές παραμορφώσεις και στις συνθήκες που αυτές τις καθορίζουν. Στην συνέχεια περιγράφονται οι μέθοδοι, οι τεχνικές και τα όργανα παρακολούθησης δυναμικών παραμορφώσεων με ειδική αναφορά στη τεχνολογία των δορυφορικών συστημάτων GPS. Επίσης αναφορά γίνεται και στα όργανα αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου. Η μέθοδος αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να γίνει η παρακολούθηση της δυναμικής συμπεριφοράς της υψηλής καπνοδόχου της ΔΕΗ Α.Ε. στη περιοχή του Λαυρίου. Τέλος, δίνονται ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα δυναμικής παρακολούθησης τεχνικών έργων – κατασκευών που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία .

2.2 Έλεγχος Συμπεριφοράς Τεχνικών Έργων – Κατασκευών

Η αλματώδης ανάπτυξη σε διάφορους τομείς της επιστήμης τα τελευταία χρόνια δημιούργησε τις κατάλληλες συνθήκες για την κατασκευή δύσκολων και μεγάλων τεχνικών έργων, όπως φράγματα, γέφυρες, ψηλά κτίρια κ.α. στα οποία βασικό ρόλο παίζει η ασφάλεια κατά την φάση της κατασκευής τους όσο και κατά την λειτουργία τους. Στο παρελθόν σημειώθηκαν αστοχίες – καταστροφές τεχνικών έργων. Πιο συγκεκριμένα, μεγάλα τεχνικά έργα αστόχησαν ολικά (Tacoma Bridge, Σχήμα 2.1α) ή μερικά (Millenium Bridge; Arup, 2005) λόγω του κακού σχεδιασμού ή συσσώρευσης μικρών παραμορφώσεων που είχαν ή θα μπορούσαν να είχαν ανιχνευτεί και αντιμετωπιστεί έγκαιρα (π.χ.

φράγμα Malpasset). Οι διαπιστώσεις αυτές οδήγησαν στην υιοθέτηση τακτικών, συνεχούς και συστηματικής παρακολούθησης (monitoring) των κατασκευών, τόσο κατά την φάση της κατασκευής όσο και κατά την φάση λειτουργίας, με στόχο την ασφάλεια αλλά και την βελτιστοποίηση της οικονομίας του έργου.

Η ενόργανη παρακολούθηση της κινηματικής, ιδιαίτερα των εύκαμπτων κατασκευών, κρίνεται απαραίτητη καθώς λόγω του σχεδιασμού τους και της εφαρμογής δυναμικών φορτίων παρατηρούνται συνεχώς σημαντικές μετακινήσεις και αποκλίσεις από τον αρχικό σχεδιασμό με αποτέλεσμα διαφοροποίηση των δυναμικών χαρακτηριστικών των κατασκευών και έκθεσή τους σε διάφορους κινδύνους.



Σχήμα 2.1 α) Αστοχία γέφυρας Tacoma λόγω κακού σχεδιασμού και β) ολική αστοχία κεραίας κινητής τηλεφωνίας από την επίδραση του τυφώνα Michelle. (πηγή: Διαδίκτυο). Figure 2.1 a) Failure of Tacoma bridge due to bad technical design and b) Total failure of antenna due to typhoon Michelle.

Η παρακολούθηση των εύκαμπτων κατασκευών με σύγχρονα γεωδαιτικά όργανα και μεθόδους αποσκοπεί στην κάλυψη δύο στόχων:

- τη μελέτη των ταλαντώσεων των κατασκευών λόγω δυναμικών φορτίων (π.χ. σεισμός, άνεμος, κυκλοφοριακός φόρτος), ώστε να ελέγχεται η λειτουργία και η ασφάλειά τους, καθώς και οι μόνιμες και ημιστατικές μετακινήσεις τους.



Σχήμα 2.2 Παρακολούθηση μετακινήσεων/ταλαντώσεων της γέφυρας Tsing Ma του Hong Kong με την χρήση GPS (Wong et al., 2001).Figure 2.2 Monitoting oscillation using GPS, Tsing Ma bridge-Hong kong (Wong et al., 2001).

- τον προσδιορισμό των δυναμικών χαρακτηριστικών των κατασκευών (κυρίως ιδιοσυχνότητες και εύρος ταλάντωσης) με στόχο τον εντοπισμό τυχόν αποκλίσεων των χαρακτηριστικών αυτών από τον αρχικό σχεδιασμό (π.χ. λόγω κακής εφαρμογής των μελετών σχεδιασμού ή αστοχιών).

2.3 Μέθοδοι-Τεχνικές και Όργανα Παρακολούθησης Δυναμικών Παραμορφώσεων

Η ασφαλής λειτουργία των τεχνικών έργων αποτελεί ένα βασικό αντικείμενο μελέτης των κατασκευών. Προκειμένου λοιπόν να αναλυθούν διάφοροι τύποι μηχανικών κατασκευών όπως π.χ. ψηλά κτίρια, καπνοδόχοι, γέφυρες κ.τ.λ. και να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα όσον αφορά τη συμπεριφορά και τη δυναμική παραμόρφωση στην οποία υπόκεινται έχουν εφαρμοσθεί μέχρι σήμερα αρκετές μέθοδοι και όργανα παρακολούθησης.

Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται σήμερα για την παρακολούθηση δυναμικής συμπεριφοράς των κατασκευών διακρίνονται σε δυο βασικές κατηγορίες, τις γεωδαιτικές και τις μη γεωδαιτικές. Οι γεωδαιτικές μέθοδοι περιλαμβάνουν τις συμβατικές μεθόδους που αφορούν τη χρήση κλασσικών μεθόδων γεωδαισίας και τις *δορυφορικές* που αφορούν παρατηρήσεις με τη χρήση δεκτών GPS καθώς και άλλες ειδικές τεχνικές που έχουν να κάνουν με όργανα προηγμένης τεχνολογίας όπως είναι οι σαρωτές laser. Μη γεωδαιτικές μέθοδοι περιλαμβάνουν τεχνικές που αφορούν τη χρήση οργάνων, όπως είναι τα κλισίμετρα και οπτικές ίνες.

Η παρούσα εργασία εστιάζει στις γεωδαιτικές μεθόδους και εφαρμογές. Ωστόσο αναφέρεται ότι, η επιλογή της μεθοδολογίας και του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί στην παρακολούθηση ενός

τεχνικού έργου είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για την ομαλή πρόοδο και λειτουργία του συνόλου του έργου.

Βασικά χαρακτηριστικά αυτών πρέπει να είναι:

- η ταχύτητα συλλογής των δεδομένων: Μια γρήγορη τεχνική οδηγεί σε ταχεία αξιολόγηση των δεδομένων και έγκαιρη λήψη αποφάσεων.
- η πληρότητα των δεδομένων: Για σχεδιασμό πολύπλοκων κατασκευών με σύνθετη συμπεριφορά, η λήψη μετρήσεων σε λίγα επιλεγμένα σημεία μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα.
- η ακρίβεια των δεδομένων: Οι απαιτήσεις ποικίλουν ανάλογα με το αντικείμενο παρακολούθησης.
- η ασφάλεια της μεθόδου και του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού: η μέθοδος πρέπει να είναι απόλυτα ασφαλής για τα συνεργεία που εκτελούν τις μετρήσεις, για τα συνεργεία κατασκευής / συντήρησης και για το κοινό που χρησιμοποιεί το έργο (αν η παρακολούθηση γίνεται σε φάση λειτουργίας).
- η δυνατότητα αποτύπωσης μη προσβάσιμων αντικειμένων: Ολισθαίνοντα πρανή, φορείς γεφυρών, μέτωπα και εσωτερικό σηράγγων είναι κατά κανόνα δυσπρόσιτα ή απρόσιτα. Σε πολλές μάλιστα περιπτώσεις το πλησιέστερο σημείο εποπτείας είναι σε απόσταση δεκάδων μέτρων.
- η δυνατότητα χρήσης της μεθόδου οποιαδήποτε ώρα και με οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες.
- η δυνατότητα γρήγορης ανάλυσης των στοιχείων για την παραγωγή άμεσων αλλά ταυτόχρονα αξιόπιστων αποτελεσμάτων, που θα οδηγήσουν σε άμεση και ορθή λήψη αποφάσεων.
- η δυνατότητα περαιτέρω αξιοποίησης των στοιχείων μέσω σύγχρονων εργαλείων λογισμικού για την παραγωγή προηγμένων προϊόντων.

2.4 Η Χρήση του GPS στην Παρακολούθηση Δυναμικής Συμπεριφοράς Τεχνικών Έργων

Κατά τη τελευταία εικοσαετία η τεχνολογία δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα σε εφαρμογές δυναμικής παραμόρφωσης τεχνικών έργων. Για το σκοπό αυτό εφαρμόζονται τεχνικές κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο (Real Time Kinematic) ή

σε εκ των υστέρων επεξεργασία (Post processed Kinematic).

Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι:

- υψηλή συχνότητα καταγραφής (έως και 20 Hz),
- ακρίβεια εντοπισμού οριζοντιογραφικά (1.5-2.0 cm),
- εντοπισμός σε σταθερή βάση ανεξάρτητα της θέσης.

Ωστόσο, η μέθοδος:

- παρέχει μειωμένη ακρίβεια εντοπισμού στο υψόμετρο (≈ 3.0 cm),
- δεν προσφέρεται σε κλειστούς χώρους,
- απαιτεί τη χρήση γεωδαιτικών δεκτών που χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος.

Ορισμένες χαρακτηριστικές εφαρμογές που έχουν πραγματοποιηθεί για την παρακολούθηση της δυναμικής συμπεριφοράς τεχνικών έργων με τη χρήση GPS δίνονται μεταξύ άλλων προς το τέλος του κεφαλαίου.

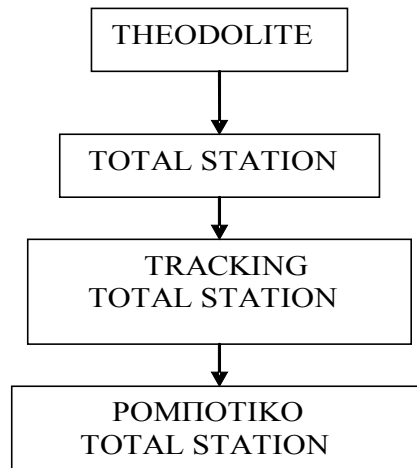
2.5 Γεωδαιτικοί Σταθμοί Αυτόματης Αναγνώρισης και Παρακολούθησης Στόχου στον Έλεγχο Δυναμικής Συμπεριφοράς Υψηλών Εύκαμπτων Κατασκευών

Δεδομένου ότι οι γεωδαιτικός σταθμός αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης αποτέλεσε το βασικό εργαλείο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια πιο λεπτομερής αναφορά σε ορισμένα στοιχεία που αφορούν τα συγκεκριμένα όργανα και πιθανώς να ωφελήσουν σημαντικά τον αναγνώστη στην βαθύτερη κατανόηση τόσο της λειτουργίας τους όσο και της μεθόδου στην οποία και εφαρμόστηκε.

2.5.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Η παρακολούθηση δυναμικής συμπεριφοράς υψηλών εύκαμπτων κατασκευών χρησιμοποιώντας παραδοσιακό εξοπλισμό, όπως επιταχυνσιόμετρα, οπτικές ίνες, κλισίμετρα, αρκετές φορές δεν προσφέρουν τις κατά συνθήκη επιθυμητές ακρίβειες. Επιπλέον, κρίνεται αναγκαία η εγκατάσταση και η χρήση των οργάνων αυτών απευθείας στην κατασκευή προκειμένου να υπάρχει άμεση σύνδεση των σημείων αναφοράς με τη συμπεριφορά της κατασκευής. Όλες, όμως αυτές οι δραστηριότητες ενέχουν

πρακτικές δυσκολίες. Σε μια προσπάθεια να ξεπεραστούν τέτοιου είδους προβλήματα αρκετές έρευνες (Lovse et al 1995, Radovanovic and Teskey 2001, Meng et al 2004) εξέτασαν τη χρησιμότητα τοπογραφικού εξοπλισμού υψηλής ακρίβειας όπως είναι οι γεωδαιτικοί σταθμοί αυτόματης παρακολούθησης και αναγνώρισης στόχου (Tracking Total station).



Σχήμα 2.3 Η εξέλιξη της τεχνολογίας στους γεωδαιτικούς σταθμούς Figure 2.3 The development of technology on total stations

Έως και πριν λίγα χρόνια οι γεωδαιτικοί σταθμοί προορίζονταν αποκλειστικά να εκτελούν παρατηρήσεις σε ακίνητους στόχους. Η ανάπτυξη όμως νέων τεχνολογιών έχει διευρύνει τη δυνατότητα των εφαρμογών τους και έχει μειώσει σημαντικά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Η προσθήκη ηλεκτρονικού συστήματος μέτρησης τόσο της απόστασης με την αποστολή οπτικών παλμών όσο και των γωνιών με την αντικατάσταση των γυάλινων χαραγμένων δίσκων ανάγνωσης από αντιστοιχούς φέρουν μικροηλεκτρονικά κυκλώματα αποτελεί την εξέλιξη των κλασσικών θεοδολίων. Ο ακατάπαυστος ρυθμός ανάπτυξης της επιστήμης έδωσε τη δυνατότητα στους γεωδαιτικούς σταθμούς να μετρούν την απόσταση χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα χάρη βεβαίως του πιο ισχυρού σήματος μετάδοσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, καθώς και της μεγαλύτερης διαμέτρου του φακού του τηλεσκοπίου. Επίσης, η ενσωμάτωση σε αυτά μικρομηχανισμών περιστροφής του οργάνου γύρω από τον πρωτεύοντα και δευτερεύοντα άξονα (σερβομηχανισμοί), αλλά και του συστήματος αυτόματης αναγνώρισης στόχου – κατάφωτου επιτρέπει την πραγματοποίηση μετρήσεων σε κινούμενους στόχους. Παράλληλα η περαιτέρω δυνατή αναβάθμιση του συστήματος σε ρομποτικό με την προσθήκη σε αυτό ραδιοζεύξης οργάνου κατάφωτου παρέχει τη δυνατότητα της πρόσβασης από

ένα και μόνο άτομο στις ενδείξεις του οργάνου μέσω τηλεχειρισμού από απόσταση. Η νέα αυτή λοιπόν γενιά των ρομποτικών γεωδαιτικών σταθμών προσφέρει στο χρήστη μια σειρά από πλεονεκτήματα όπως είναι η αυξημένη συχνότητα καταγραφής των δεδομένων σε κινούμενους και μη στόχους. Επίσης, η δυνατότητα του οργάνου να βρίσκει από μόνο του το στόχο εξαλείφει το πιθανό σφάλμα σκόπευσης και δεν απαιτεί παρατηρητή. Τέλος η καταγραφή των μετρήσεων εντός του οργάνου ή με τη βοήθεια ειδικού προγράμματος σε ηλεκτρονικό υπολογιστή επιταχύνει τη διαδικασία πεδίου και εξαλείφει το τυχόν σφάλμα ανάγνωσης και καταγραφής.

Βάση πλέον όλων των παραπάνω δίνεται η δυνατότητα μέτρησης και παρακολούθησης της δυναμικής συμπεριφοράς και των μικρομετακινήσεων μεγάλων τεχνικών έργων και κατασκευών. Επιπρόσθετα, εφαρμογές τέτοιων συστημάτων μπορεί να είναι και κινηματικής φύσεως, όπως π.χ. πλοήγηση αγροτικών μηχανημάτων, η σάρωση και έλεγχος στρώσης σιδηροτροχιών κ.α.

2.5.1 Αρχές λειτουργίας

Όλοι οι γεωδαιτικοί σταθμοί αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου λειτουργούν με τη βοήθεια αλγορίθμων οι οποίοι διαφοροποιούνται ανάλογα με τη τεχνική της αναγνώρισης. Οι αλγόριθμοι αυτοί διακρίνονται με βάση τον χονδρικό εντοπισμό (coarse location) και στον ακριβή εντοπισμό (precise location) του πρίσματος.

Στον μεν πρώτο ο στόχος αναζητείται στην ευρύτερη περιοχή του οπτικού πεδίου του οργάνου και είναι δυνατός ο εντοπισμός του μεταξύ άλλων αντικειμένων με τη βοήθεια εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας, στο δε δεύτερο ο ανακλαστήρας πρέπει να εντοπίζεται στο πεδίο οράσεως της συσκευής ανίχνευσης. Μόλις ολοκληρωθεί η αυτόματη αναγνώριση του στόχου και προσδιορισθεί η απόκλιση της εικόνας του από τον άξονα το τηλεσκοπίου (αρχική τιμή διόρθωσης) το τηλεσκόπιο κεντρώνεται στο πρίσμα και ακολουθεί νέος προσδιορισμός της απόκλισης. Η παραπάνω διαδικασία αποτελεί την απλή στατική περίπτωση για αυτόματη αναγνώριση στόχου.

Στην περίπτωση κινούμενου στόχου εφαρμόζεται μια διαφορετική διαδικασία. Μέσω ενός ολοκληρωμένου αλγορίθμου εντοπισμού γίνεται προσπάθεια να μειωθούν όσο το δυνατόν περισσότερο σημειακές αποκλίσεις ανεξάρτητα της ταχύτητας του στόχου. Ειδικοί αλγόριθμοι

παρεμβολής βασισμένοι σε πολύπλοκα δυναμικά μοντέλα κίνησης ελέγχουν την απώλεια του στόχου και αν αυτός παραμένει σταθερός η μέτρηση καλείται στατική (static), διαφορετικά αν παραμείνει για λίγο ακίνητος και στην συνέχεια κινείται καλείται «Stop and go». Η κινηματική μέθοδος απαιτεί συγχρονισμό όλων των αισθητήρων του οργάνου προκειμένου να γίνονται ταυτόχρονες μετρήσεις και ελαχιστοποίηση του χρόνου μέτρησης – απόκρισης.

Τέλος, αναφέρεται ότι οι αρχές λειτουργίας των συστημάτων αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου μεταξύ των διάφορων κατασκευαστικών γεωδαιτικών οργάνων ποικίλει.

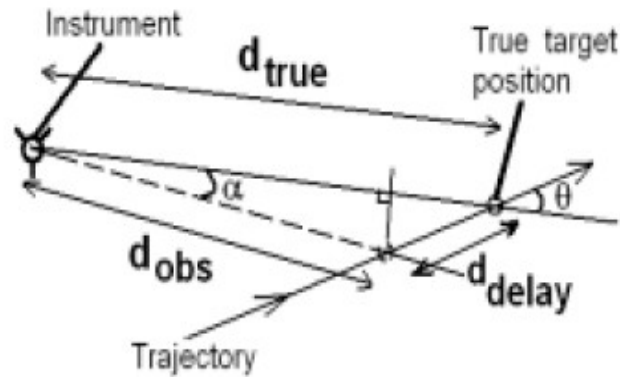
2.5.2 Πηγές σφαλμάτων

Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι γεωδαιτικοί σταθμοί αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου αποτελούν την εξέλιξη των γνωστών γεωδαιτικών σταθμών. Συνεπώς, ένα μέρος των σφαλμάτων είναι κοινά με τα σφάλματα των απλών γεωδαιτικών σταθμών, όπως π.χ. σφάλματα κέντρωσης, οριζοντίωσης κ.τ.λ. Παράλληλα όμως επιδρούν και διάφοροι άλλοι παράγοντες σφαλμάτων οι οποίοι και σχετίζονται αφενός με την εφαρμογή των επιπλέον μηχανισμών που τα αποτελούν (ATR), και αφετέρου, με το περιβάλλον και τη γεωμετρία στην περιοχή εφαρμογής.

Στους συμβατικούς γεωδαιτικούς σταθμούς η εξάλειψη των σφαλμάτων μπορεί να επιτευχθεί με την ιδιαίτερη προσοχή, την επιλογή της καταλληλότερης μεθοδολογίας και την εφαρμογή των απαιτούμενων αναγωγών. Το ίδιο όμως δεν μπορεί να καταστεί δυνατό στα συστήματα αυτόματης παρακολούθησης και κυρίως κατά την καθαρά κινηματική λειτουργία τους.

Συνοπτικά, προκειμένου να επιτευχθεί η αρτιότερη λειτουργία και το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα κατά τη χρήση γεωδαιτικών σταθμών αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου σε μελέτες τέτοιου είδους θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι πηγές σφαλμάτων τους εκ των οποίων οι βασικότερες είναι:

- σε κινηματικές εφαρμογές το σφάλμα χρονικής διαφοράς Δt μεταξύ της μέτρησης γωνίας (που γίνεται στιγμιαία) και της μέτρησης απόστασης που κατά κανόνα χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να ολοκληρωθεί και έχει σαν αποτέλεσμα το λανθασμένο υπολογισμό της θέσης του σημείου. Σχηματικά το συγκεκριμένο σφάλμα αποδίδεται στο Σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.4 Σφάλμα χρονικής διαφοράς μετρήσεων γωνίας απόστασης (Leica, 2000)

Figure 2.4 Synchronization error between angle and distance measurement (Leica,2000)

- η αδυναμία των οργάνων αυτών να παρακολουθήσουν αποτελεσματικά τον κινούμενο στόχο όταν αυτός κινείται με μεγάλες πλευρικές ταχύτητες ή όταν βρίσκεται σε σχετικά μικρή απόσταση από το όργανο με αποτέλεσμα είτε να λαμβάνεται εσφαλμένη ή καθόλου μέτρηση, είτε να χαθεί ολοκληρωτικά ο στόχος.
- οι πηγές εξωτερικής ακτινοβολίας και οι αντανάκλασεις μπορούν να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό την διαδικασία των μετρήσεων.
- το σφάλμα που μπορεί να εισαχθεί στις παρατηρήσεις από την πιθανή μικροαπόκλιση στην παραλληλία των σκοπευτικών αξόνων οργάνου – στόχου.

2.5.1 Παραδείγματα οργάνων

Σε μια εποχή όπου ο ανταγωνισμός στην αγορά έχει πάρει αρκετά μεγάλες διαστάσεις οι εταιρίες κατασκευής γεωδαιτικών οργάνων προσπαθούν να δημιουργήσουν το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα προκειμένου να αντεπεξέλθουν στις ανάγκες των γεωδαιτικών εφαρμογών για τις οποίες προορίζονται. Σήμερα, υπάρχουν αρκετά συστήματα αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης κινούμενου στόχου ωστόσο, μεταξύ των διάφορων κατασκευαστών ορισμένα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους διαφέρουν σημαντικά. Εταιρίες κατασκευής παρόμοιων γεωδαιτικών σταθμών είναι η Leica Geosystems, η Zeiss, η Trimble και τέλος η εταιρία Topcon.

Τα όργανα που κατασκευάζονται από τις δυο πρώτες εταιρίες βασίζονται στο ενεργητικό σύστημα λειτουργίας στο οποίο μια ενσωματωμένη κάμερα CCD συμβάλλει καθοριστικά στην ανίχνευση του ίχνους επιστροφής από το στόχο μιας εκπεμπόμενης ακτίνας laser. Σε αντίθεση η εταιρία Trimble χρησιμοποιεί ένα παθητικό σύστημα λειτουργίας που στηρίζεται στην ανίχνευση της ακτινοβολίας προκαθορισμένου μήκους κύματος και στο οποίο ο άξονας της αυτόματης αναγνώρισης στόχου είναι παράλληλα μετατοπισμένος. Η αρχή λειτουργίας τέλος των οργάνων της Topcon διαφέρει σημαντικά γιατί χρησιμοποιείται μια διαφορετική μέθοδος σάρωσης στην οποία μια ακτίνα laser σαρώνει σε οριζόντιες γραμμές ένα εύρος περίπου 40' της μοίρας οριζόντια και κάθετα. Μετράται ο χρόνος μεταξύ έναρξης σάρωσης και πρώτου ανακλώμενου σήματος, και επαναυπολογίζονται οι συντεταγμένες στο εύρος σάρωσης.

Τέλος, ενδεικτικά αναφέρονται ορισμένα όργανα των παραπάνω εταιριών που είναι διαθέσιμα στο εμπόριο χωρίς βέβαια να είναι και τα μοναδικά: Η σειρά 5600της Trimble, τα μοντέλα A της Leica σειράς TPS2000, όργανα TOPCON 3ης γενιάς (GTS 800A και GRT 2000) και τα όργανα της σειράς S της Zeiss.

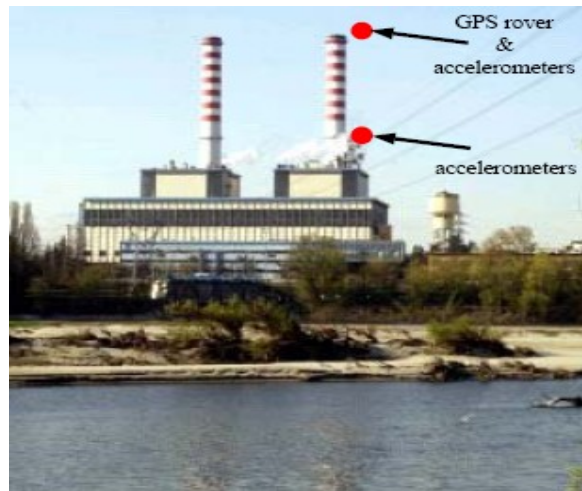
2.5 Παραδείγματα Δυναμικής Παρακολούθησης Τεχνικών Έργων-Κατασκευών από τη διεθνή βιβλιογραφία

Τα παρακάτω παραδείγματα αναφέρονται σε μερικές μεμονωμένες ή και συνδυασμένες τεχνικές μέτρησης που προαναφέρθηκαν, για την παρακολούθηση της δυναμικής συμπεριφοράς των κατασκευών παγκοσμίως.

2.6.1 Παράδειγμα 1 - Παρακολούθηση συμπεριφοράς υψηλής καπνοδόχου με χρήση GPS και επιταχυνσιομέτρων, Piacenza- Ιταλία

Μια ευρέως και συχνά αποτελεσματική μέθοδος σε περιπτώσεις δυναμικής παρακολούθησης αποτελεί η συνδυασμένη χρήση επιταχυνσιομέτρων και δεκτών GPS. Το Ιταλικό κέντρο Πειραματικών Επιστημών (CESI) σε συνεργασία με το Πολυτεχνείο του Μιλάνου στηρίχθηκαν στη συγκεκριμένη μέθοδο προκειμένου να παρατηρηθεί η κατασκευαστική ακεραιότητα – ευστάθεια υψηλών

κατασκευών. Η σχετική εφαρμογή πραγματοποιήθηκε σε μια καπνοδόχο του θερμοηλεκτρικού σταθμού στην περιοχή της Πιατσέντσα στην Ιταλία. Η συγκεκριμένη κατασκευή έχει ύψος 120 m και η εξωτερική της ακτίνα μειώνεται από τη βάση προς την κορυφή από τα 4.24 m στα 3.52m. Είναι κατασκευασμένη από ενισχυμένο σκυρόδεμα και το θεμέλιο της αποτελεί βάση σχήματος κόλουρου κώνου διαμέτρου 20m.



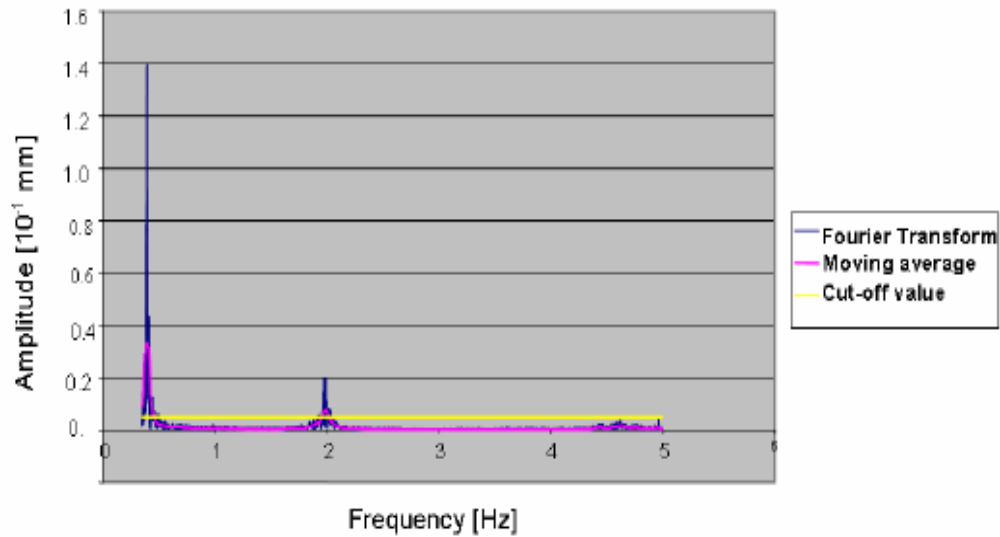
Σχήμα 2.5 Εικόνα της κατασκευής και θέση οργάνων(Cazzaniga et al, 2006)

Figure 2.5 Chimneys view and instruments location (Cazzaniga et al, 2006)

Προκειμένου λοιπόν να ελεγχθεί η στατικότητα και η συμπεριφορά της κατασκευής, τρεις δέκτες GPS δυο συχνοτήτων τύπου Leica AX1202 εκ των οποίων ο ένας τοποθετήθηκε επί της κατασκευής (κινητός σταθμός) ενώ οι υπόλοιποι σε σταθερά σημεία του εδάφους (σταθμοί αναφοράς). Η συχνότητα καταγραφής του τέθηκε στα 10 Hz. Παράλληλα η κατασκευή εξοπλίσθηκε με 4 επιταχυνσιόμετρα τύπου CFX US4 τα οποία τοποθετήθηκαν κατά ζεύγη κάθετα μεταξύ τους σε οριζόντιο επίπεδο έτσι ώστε να καταγράφουν με συχνότητα 125 Hz συνιστώσες επιτάχυνσης σε κατά μήκος και κατά πλάτος διευθύνσεις.

Ιδιαίτερα η όλη διαδικασία είχε σαν ειδικότερο στόχο να αναδείξει πιθανά σημάδια γήρανσης της κατασκευής και το κατά πόσο αυτή θα μπορούσε να αντλήσει τις μηχανικές της ιδιότητες σε περιπτώσεις δυναμικής φόρτισης, είτε εξαιτίας του άνεμου, είτε θερμικών δραστηριοτήτων. Από την ανάλυση των δεδομένων των επιταχυνσιομέτρων σε συχνότητες από 0.29-5.0 Hz και με τη βοήθεια του μετασχηματισμού του Fourier αντλήθηκε το φάσμα μικροεκτοπισμού υπό τη προϋπόθεση ότι σε κάθε κατεύθυνση η κίνηση της κατασκευής ακολουθεί την απλή αρμονική ταλάντωση. Παρατηρείται ότι σε συχνότητες 0.29 Hz και 2Hz εντοπίζονται μέσες μετατοπίσεις της τάξης των 3.5 cm και 1.5

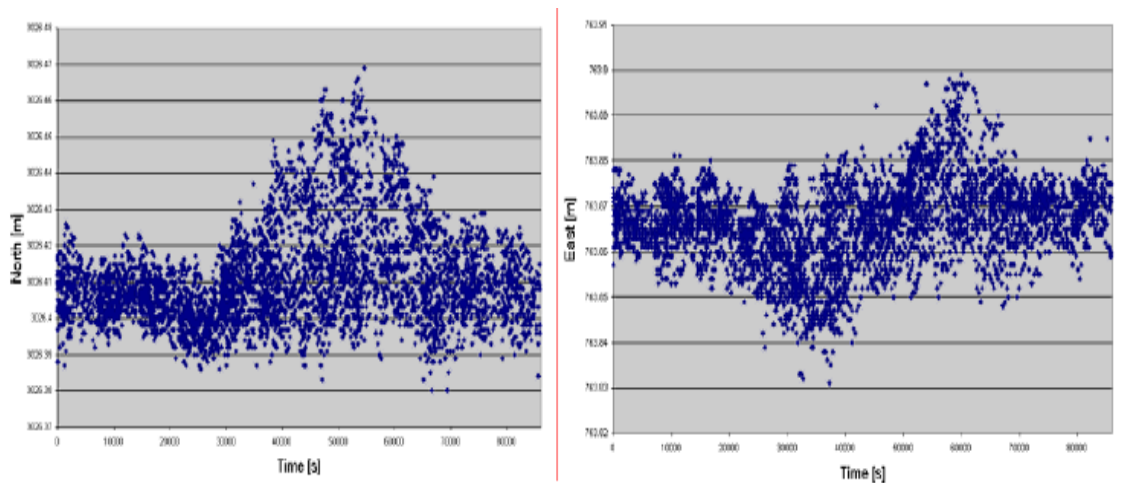
cm αντίστοιχα σε αντίθεση με τις μηδαμινές μετατοπίσεις σε ολόκληρο το υπόλοιπο φάσμα συχνοτήτων.



Σχήμα 2.6 Συχνότητες και πλάτη ταλάντωσης της κατασκευής(Cazzaniga et al, 2006)

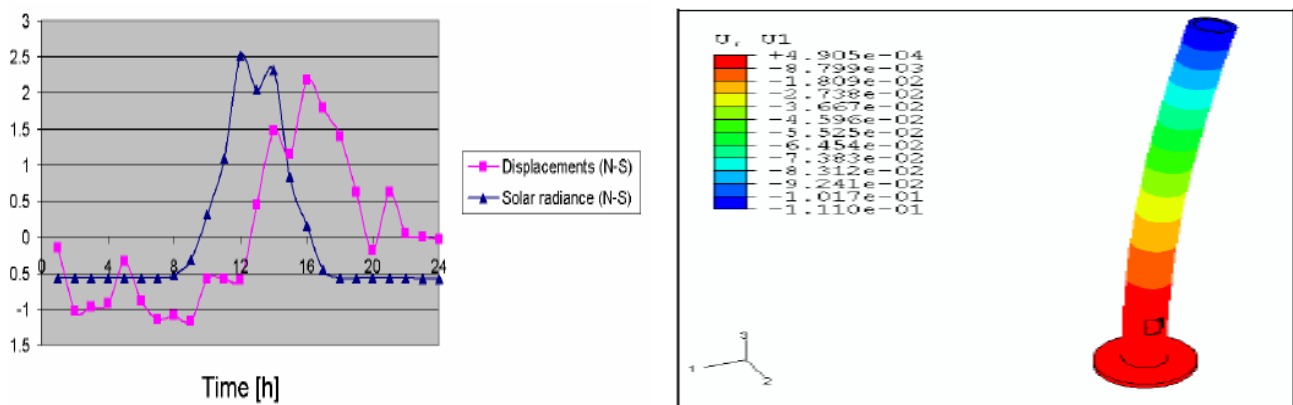
Figure 2.6 Principal frequencies of chimney vibrations(Cazzaniga et al, 2006)

Παρατηρήσεις των σταθμών GPS λαμβάνονταν ανά 5 min και υφίσταντο ποιοτικό έλεγχο σήματος μέσω ενός ειδικού προγράμματος (TEQC by UVANCO). Μια μετρητική διαδικασία τριών και πλέον μηνών με πάνω από 3000 δείγματα παρατηρήσεων έδωσε τις μέσες τιμές των συντεταγμένων του κινητού δεκτή στην κορυφή της κατασκευής.



Σχήμα 2.7 Μέση κίνηση της κατασκευής κατά τη διάρκεια μιας ημέρας σε κατά μήκος και κατά πλάτος διεύθυνση (Cazzaniga et al, 2006). Figure 2.7 Chimney daily movements in east-west direction(right) and south-north one (left).(Cazzaniga et al, 2006)

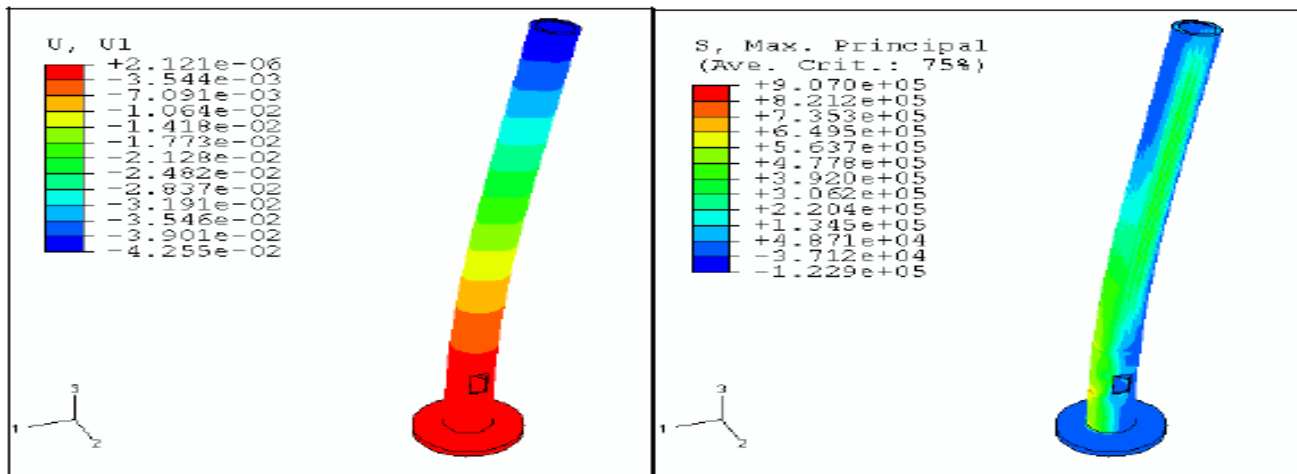
Από αυτές ανιχνεύθηκε μια μέση μεταβολή της θέσης που κυμαίνεται στον άξονα των Y γύρω στα 9 cm και στον άξονα των X γύρω στα 7 cm. Ως σύστημα αναφοράς υιοθετήθηκε το τοπικό καρτεσιανό με αρχή συντεταγμένων τον ένα εκ των δυο κύριων σταθμών προσανατολισμένο στο Βορρά. Η μη ολοκληρωτική ταύτιση των αποτελεσμάτων του GPS με αυτά των επιταχυνσιομέτρων είναι πιθανό να οφειλόταν στο μη φιλτράρισμα των δεδομένων των δευτέρων. Ωστόσο παρατηρήθηκε μια αξιοσημείωτη συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων που αποκτήθηκαν από το δορυφορικό σύστημα και αυτών της ηλιακής ακτινοβολίας που προμηθεύτηκαν από το μετεωρολογικό σταθμό που βρισκόταν κοντά στη περιοχή της υπό μελέτη κατασκευής. Το Σχήμα 2.8 παρουσιάζει αυτή τη συσχέτιση ηλιακής ακτινοβολίας και μετατοπίσεων στην κατά μήκος διεύθυνση.



Σχήμα 2.8 Μετατοπίσεις και Ηλιακή ακτινοβολία στην κατά μήκος διεύθυνση(Cazzaniga et al, 2006). Figure 2.8 Displacements and solar radiance on E-W direction (Cazzaniga et al, 2006)

Σχήμα 2.9 Οριζόντιες μετατοπίσεις (m) καπνοδόχου λόγω θερμικής φόρτισης(Cazzaniga et al, 2006). Figure 2.9 Horizontal displacements of the chimney (m) due to thermal load(Cazzaniga et al, 2006).

Τέλος, αναφέρεται ότι βάσει στοιχείων του ίδιου μετεωρολογικού σταθμού που η προς το νότο κατεύθυνση του άνεμου ήταν η επικρατέστερη τη χρονική στιγμή των παρατηρήσεων. Η ένδειξη της ταχύτητας (15 m/sec) και οι κατανεμημένες πιέσεις του άνεμου κατά μήκος της καπνοδόχου φαίνονται στο Σχήμα 2.10.



Σχήμα 2.10 Οριζόντιες μετατοπίσεις (m) καπνοδόχου και κατανομή πιέσεων λόγω του ανέμου(Cazzaniga et al, 2006) Figure 2.10 Horizontal displacements (m) and principal max stresses due to wind(Cazzaniga et al, 2006)

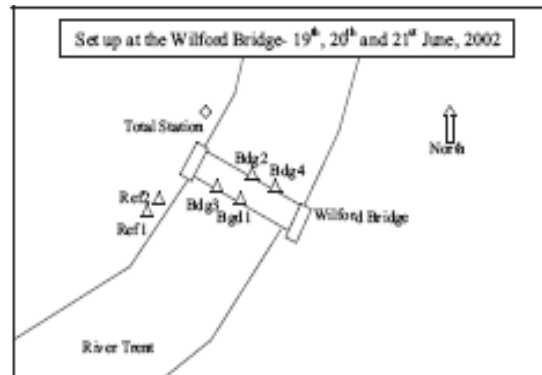
Από την αριθμητική ανάλυση διαπιστώνεται ότι οι οριζόντιες μετατοπίσεις λόγω του ανέμου είναι χαμηλότερες σε σχέση με αυτές λόγω θερμικών φορτίσεων και σε αντίθεση με τις ελαστικές πιέσεις που είναι μεγαλύτερες.

2.6.2 Παράδειγμα 2 - Παρακολούθηση δυναμικής συμπεριφοράς γέφυρας Wilford με χρήση total station, Nottingham- Μ. Βρετανία

Είναι γνωστό ότι ευρείας διάρκειας μετατοπίσεις κατασκευών μπορούν να παρακολουθηθούν και με τη χρήση ψηφιακά ειδικών ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών. Τέτοιου είδους μετρήσεις μπορεί να διαρκέσουν μερικά λεπτά, ώρες ή και εβδομάδες αν χρειασθεί προς ένα αριθμό στόχων έτσι ώστε να αναδείξουν περιοδικές ή μόνιμες παραμορφώσεις. Στο Πανεπιστήμιο του Nottingham έρευνες έχουν επικεντρωθεί στην δυναμική παραμόρφωση κατασκευών και ιδιαίτερα γεφυρών χρησιμοποιώντας εξοπλισμό αποτελούμενο από GPS, επιταχυνσιόμετρα, total station η και συνδυασμό αυτών. Μια τέτοιου είδους εφαρμογή διεξήχθη στη πεζογέφυρα Wilford κατά μήκος του ποταμού Trend ένα τριήμερο του Ιουνίου του 2002.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε αποτελείτο από τα όργανα που προαναφέρθηκαν πλην των επιταχυνσιομέτρων, και η διάταξη των οποίων φαίνεται στο Σχήμα 2.11. Μονής η διπλής συχνότητας

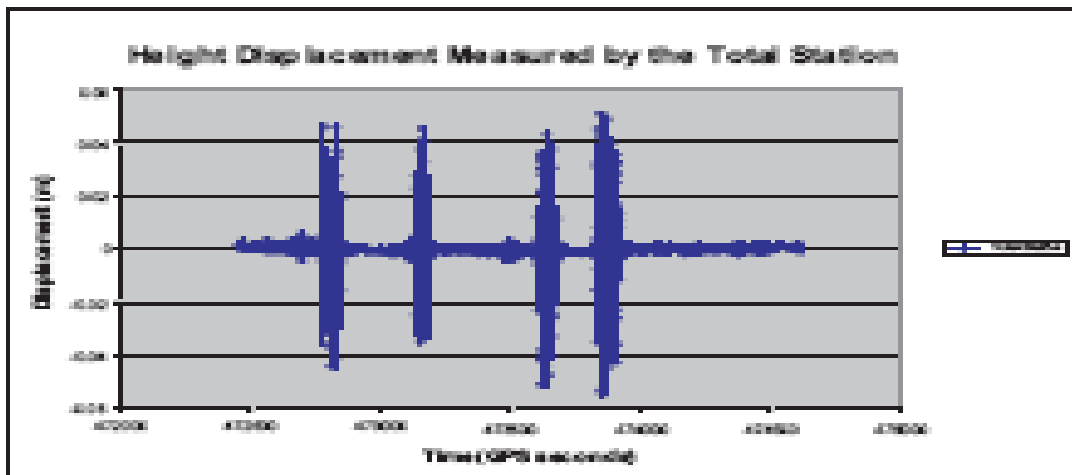
δεκτές GPS τύπου Leica 500 τοποθετήθηκαν σε διάφορα σημεία στη γέφυρα και εκτός αυτής ενώ σε συγκεκριμένο σημείο εγκαταστάθηκε το περιβλεπτό πρίσμα των 360°. Ο φέροντας οργανισμός της κατασκευής τέθηκε σε συνθήκες δόνησης που



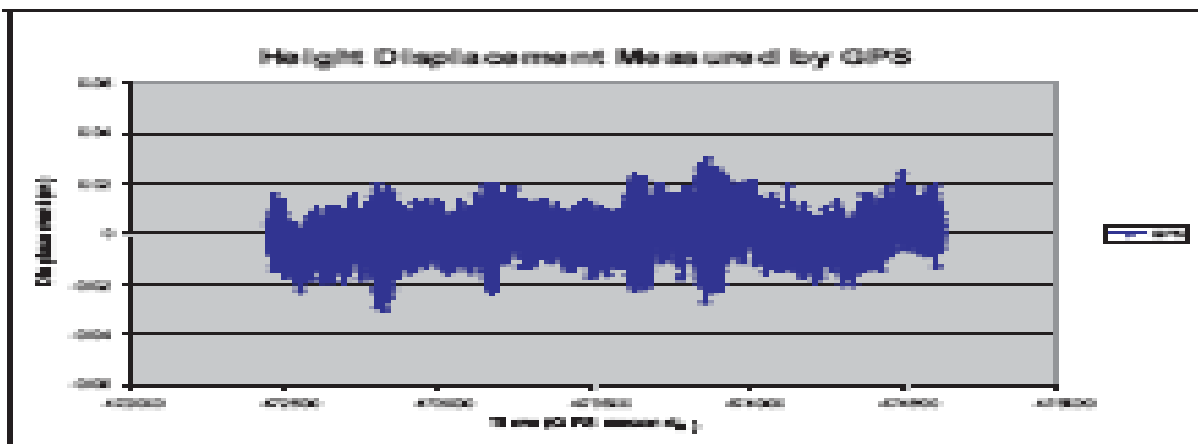
Εικόνα 2.11 Η διάταξη των οργάνων (IESSG) Figure 2.11 Set up at the Wilford bridge (IESSG)

προκλήθηκαν από προσωπικό και φοιτητές του πανεπιστήμιου διερχόμενοι κατά μήκος της γέφυρας με διαφορετικούς τρόπους κάθε φορά. Παρατηρήσεις από τον γεωδαιτικό σταθμό συλλέχθηκαν και στις τρεις ημέρες και μόνο σε περιόδους έντονης δραστηριότητας. Η μόνη διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι κατά τις μετρήσεις της πρώτης ημέρας χρησιμοποιήθηκε απλό κυκλικό πρίσμα αντί αυτού των 360°.

Η εκτέλεση των υπολογισμών των μετρημένων γωνιών και αποστάσεων κατά τη διάρκεια κίνησης του πρίσματος έδωσε τις συντεταγμένες της θέσης του κάθε φορά. Το Σχήμα 2.12 δείχνει το μέγεθος της μετατόπισης όπως αυτό καταγράφηκε από τις επίγειες παρατηρήσεις την τελευταία μέρα των μετρήσεων. Επίσης η παρουσίαση των αποτελεσμάτων του δορυφορικού συστήματος και της επεξεργασίας των δεδομένων του με τη βοήθεια του λογισμικού Ski-Pro φαίνονται στο Σχήμα 2.13. Η συχνότητα καταγραφής των δεκτών του GPS ήταν τα 10 Hz σε αντίθεση με αυτή του γεωδαιτικού σταθμού του 1Hz.



Σχήμα 2.12 Οι μετατοπίσεις της θέσης όπως μετρήθηκαν από το γεωδαιτικό σταθμό την τελευταία ημέρα των παρατηρήσεων (IESSG). Figure 2.12 The height displacement measured by the total station (IESSG).



Σχήμα 2.13 Οι μετατοπίσεις της θέσης όπως μετρήθηκαν από το GPS την τελευταία ημέρα των παρατηρήσεων (IESSG) Figure 2.13 The height displacement shown by GPS (IESSG).

Από την ανάλυση των δεδομένων του γεωδαιτικού σταθμού παρατηρήθηκαν με χαρακτηριστική λεπτομέρεια (Σχήμα 2.11) τέσσερις ευδιάκριτες « εξάρσεις » στη διάρκεια της φόρτισης της κατασκευής. Το πλάτος της μεγαλύτερης εξ' αυτών ανέρχεται περίπου στα 0.1 m. Η ίδια κατάσταση, ίσως λιγότερο καθαρά, παρατηρείται και για τα δεδομένα του συστήματος GPS (Σχήμα 2.12) ωστόσο οι ίδιες « εξάρσεις » εμφανίζονται με πολύ μικρότερο πλάτος, σχεδόν το μισό, με τη μεγαλύτερη τιμή να ανέρχεται στα 0.05 m. Τα ίδια δεδομένα του GPS επανεπεξεργάστηκαν από δυο ακόμη διαφορετικά λογισμικά (Grafnav and Kinpos) και έδωσαν ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα. Έτσι ως

πιθανές αιτίες για την διαφορά στο πλάτος επισημάνθηκαν:

- το γεγονός ότι το πρίσμα των 360° παρέχει ένα τυπικό σφάλμα της τάξης των 6 mm και,
- το ενδεχόμενο της μη ολοκληρωτικής καταγραφής της συμπεριφοράς από το γεωδαιτικό σταθμό εξαιτίας του ότι οι μετρήσεις πάρθηκαν από ένα και μόνο σταθερό σημείο της κατασκευής. Παρόλα αυτά τα αποτελέσματα που εξήχθησαν δεν κατέδειξαν κάποια ανησυχητικά στοιχεία που να αφορούν την κατασκευή ωστόσο, έγινε φανερό ότι ο γεωδαιτικός σταθμός αντιμετώπισε αρκετές δυσκολίες παρακολούθησης δυναμικής συμπεριφοράς σχετικά γρήγορα μεταβαλλόμενων κατασκευών όπως αυτή της γέφυρας Wilford. Εξαιτίας λοιπόν του χαμηλού βαθμού δεδομένων δεν κατεγράφησαν πλήρως οι ταλαντώσεις και ως γενικό συμπέρασμα προέκυψε το ότι για μικρού μεγέθους γέφυρες με μικρό πλάτος ταλάντωσης και μεγάλη συχνότητα είναι αδύνατο να παρατηρηθεί με αξιοπιστία με total station σε αντίθεση βεβαίως με μεγαλύτερες που λειτουργούν με μικρότερες συχνότητες.

2.6.3 Παράδειγμα 3 - Παρακολούθηση δυναμικής συμπεριφοράς γέφυρας Humber σε μια περιοχή της Νότιας Αγγλίας .

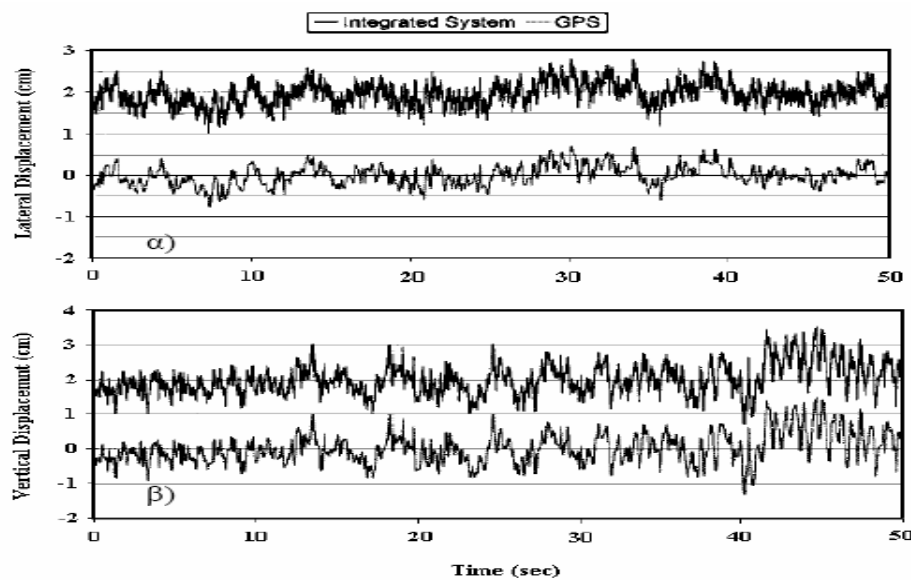
Η παρακολούθηση της Humber Bridge στην Αγγλία (Σχήμα 2.14) αποτελεί μία κλασική εφαρμογή του συστήματος GPS στην παρακολούθηση της ταλάντωσης γεφυρών. Για την παρακολούθηση της Humber Bridge έχουν δοκιμαστεί διάφορες εφαρμογές του GPS (π.χ. με την χρήση pseudolites, Meng et al, 2004). Η πιο ολοκληρωμένη εφαρμογή ήταν με ένα υβριδικό σύστημα παρακολούθησης αποτελούμενο από επιταχυνσιογράφους Kistler με δυνατότητα καταγραφής των επιταχύνσεων στους τρεις άξονες καθώς και συστήματα GPS.



Σχήμα 2.14: Παρακολούθηση της Humber Bridge στην Αγγλία με την χρήση του GPS
Figure 2.14 Monitoring Humber Bridge using GPS technology

Με την χρήση κατάλληλης συσκευής τοποθετήθηκε η κεραία του GPS πάνω από τον επιταχυνσιογράφο ώστε να έχουν κοινό κατακόρυφο άξονα. Στην συνέχεια, οι καταγραφές του επιταχυνσιογράφου και του συστήματος GPS μετασχηματίστηκαν με κατάλληλο τρόπο και ανάχθηκαν σε κοινό σύστημα αναφοράς για να είναι οι μετρήσεις συγκρίσιμες. Επόμενο βήμα ήταν να αφαιρεθούν συστηματικά σφάλματα από τις μετρήσεις των επιταχυνσιογράφων με την χρήση φίλτρου φασματικής ανάλυσης (low-pass filter), το οποίο είχε προκύψει από πειράματα κι ενώ οι επιταχυνσιογράφοι ήταν ακίνητοι.

Επίσης, ειδικά φίλτρα χρησιμοποιήθηκαν για την απαλοιφή σφαλμάτων (multipath effect) των μετρήσεων του GPS. Τέλος, προσδιορίστηκε η ταχύτητα και η μετακίνηση από τις μετρήσεις των επιταχυνσιογράφων με αριθμητική ολοκλήρωση. Κατά την διαδικασία αυτή χρησιμοποιούταν ειδικός αλγόριθμος για την αφαίρεση της τάσης απόκλισης της ταχύτητας και της μετακίνησης από την πραγματική τιμή που παρουσίαζαν εξαιτίας του σημαντικού



Σχήμα 2.15: Διαγράμματα της μετακίνησης της γέφυρας Humber α) στον οριζόντιο και β) στον κατακόρυφο άξονα. (Με την μαύρη γραμμή είναι οι μετακινήσεις που προέρχονται από το υβριδικό σύστημα (επιταχυνσιογράφος και GPS) ενώ με την γκρι γραμμή είναι οι μετακινήσεις από το σύστημα GPS) (Roberts et al ,2004). Figure 2.15 Displacement Diagrams of Humber bridge a) horizontally and b) vertically. (Roberts et al ,2004)

αθροιστικού σφάλματος. Στην διόρθωση αυτή συνέβαλαν και οι μετρήσεις του GPS ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Στο σχήμα 2.15 παρουσιάζονται οι μετακινήσεις της γέφυρας στον κατακόρυφο και τον εγκάρσιο άξονα που προέκυψαν από την ολοκλήρωση των επιταχύνσεων του επιταχυνσιογράφου και τις διορθώσεις τους με βάση τις μετρήσεις του GPS, καθώς και οι μετακινήσεις

με βάση μόνο τις μετρήσεις του GPS. Από την σύγκριση των διαγραμμάτων παρατηρείται ότι οι μετακινήσεις που προέκυψαν από το GPS είναι παρόμοιες με αυτές που προέκυψαν από το υβριδικό σύστημα παρακολούθησης (επιταχυνσιογράφοι και GPS).

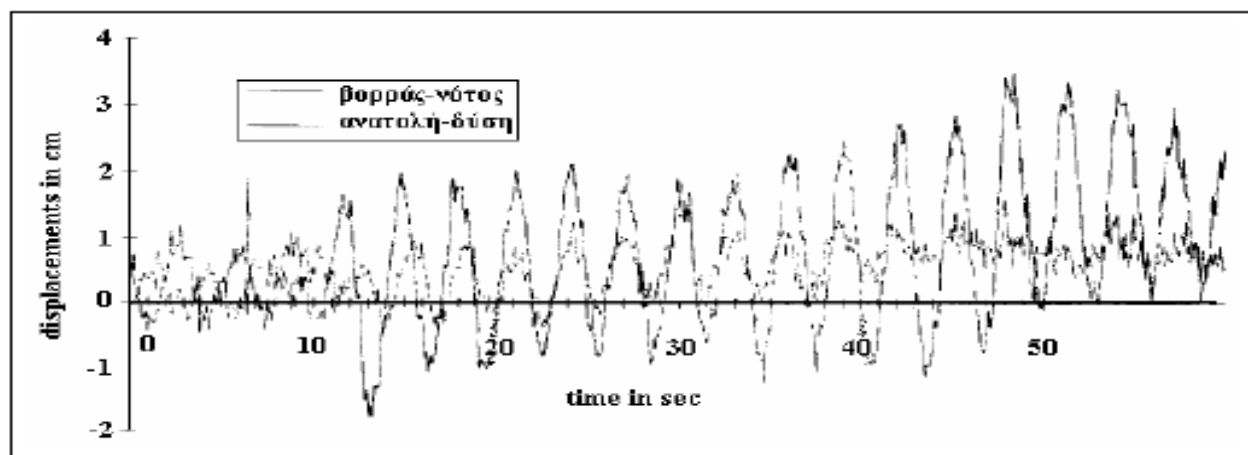
2.6.4 Παράδειγμα 4 - Παρακολούθηση συμπεριφοράς υψηλών και εύκαμπτων κατασκευών με χρήση GPS.

Στην διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν ορισμένες αναφορές για τις μέχρι τώρα εφαρμογές του GPS για την παρακολούθηση και άλλων εύκαμπτων κατασκευών όπως είναι τα ψηλά κτίρια, οι πύργοι και οι κεραίες, καθώς σημαντικές είναι οι μετακινήσεις που οφείλονται σε δυναμικές φορτίσεις και κυρίως στον άνεμο (Lovse et. al. 1995; Li et al., 2004; Li, 2004; Tamura et al., 2002; Brownjohn et. al., 2004.; Ogaia et al, 2003). Μια αρχική εφαρμογή αποτελεί αυτή των Lovse et al. (1995) στην οποία με την χρήση GPS παρακολουθήθηκαν οι μετακινήσεις του Calgary Tower, εξαιτίας ισχυρού ανέμου. Το αξιοσημείωτο συμπέρασμα



Σχήμα 2.16 Calgary Tower – Καναδάς (διαδίκτυο) Figure 2.16 Calgary Tower – Canada (internet)

που προέκυψε από τις καταγραφές του GPS είναι ότι ενώ ο άνεμος ήταν δυτικός, παρουσιάστηκε μεγαλύτερη μετακίνηση κατά την διεύθυνση βορρά-νότου (Σχήμα 2.17). Αυτό το φαινόμενο, γνωστό ως Karman-Vortex, δεν είναι ευρέως γνωστό και οφείλεται στο ότι γύρω από τον πύργο δημιουργήθηκαν στρόβιλοι στη νότια και την βόρεια πλευρά του πύργου, οι οποίοι προκάλεσαν ζώνες χαμηλής και υψηλής πίεσης.



Σχήμα 2.17: Διάγραμμα μετακίνησης του Calgary Tower κατά την διάρκεια πνέοντας δυτικού ανέμου. Παρατηρούμε ότι μεγαλύτερη μετακίνηση παρατηρείται κατά την διεύθυνση βορρά-νότου το οποίο οφείλεται σε στροβιλισμούς που δημιουργεί ο άνεμος και διαφοράς πίεσης που εμφανίζεται στη διεύθυνση βορρά-νότου (Lovse et al.,1995). Figure 2.17 Calgary's Tower displacement diagram during western wind.(Lovse et al.,1995)

Λόγω της διαφοράς πίεσης εμφανίστηκε τάση για ώθηση της κατασκευής από την πλευρά που η πίεση ήταν υψηλή, ενώ εμφανίστηκε τάση για έλξη από την πλευρά που η πίεση ήταν χαμηλή. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί κατά την διεύθυνση βορρά-νότου ισχυρότερη πίεση από αυτή της διεύθυνσης ανατολής-δύσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι ίσως είναι η πρώτη φορά που το φαινόμενο αυτό καταγράφεται σε κατασκευές (Nickitoroulou et al., 2005).

Μία ακόμα γνωστή εργασία στη βιβλιογραφία αποτελεί η παρακολούθηση με GPS των μετακινήσεων του Republic Plaza στην Σιγκαπούρη (Li et al., 2004). Πρόκειται, για το ψηλότερο κτίριο (280m) μίας περιοχής η οποία δοκιμάζεται από τυφώνες και μακρινούς σεισμούς. Το σύστημα παρακολούθησης αποτελείται από σύστημα GPS, επιταχυνσιογράφο και ανεμόμετρο, τα οποία λειτουργούν συνεχώς, έτσι ώστε να υπάρχει μία συνολική εικόνα για τις φορτίσεις και την κινηματική κατάσταση του κτιρίου. Το 2000 κατά την διάρκεια καταγραφών συνέβησαν ένας σεισμός μεγέθους 8.0 της κλίμακας Ρίχτερ και μία καταιγίδα κατά την διάρκεια της οποίας ο άνεμος είχε ταχύτητα 21 m/sec. Από την καταγραφή του GPS προσδιορίστηκαν οι μετακινήσεις της κορυφής του κτιρίου, ενώ στην συνέχεια με

την χρήση της μεθόδου Wavelet Transform έγινε φασματική ανάλυση των μετακινήσεων. Από την φασματική ανάλυση παρατηρήθηκε ότι κατά την διάρκεια του σεισμού το κτίριο ταλαντώθηκε με την πρώτη (0.1 Hz) και την δεύτερη ιδιοσυχνότητα (0.7 Hz), ενώ κατά την διάρκεια της καταιγίδας κατά την ταλάντωση συμμετείχε μόνο η πρώτη ιδιομορφή (0.1 Hz).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΨΗΛΗΣ ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΥ ΤΟΥ
ΛΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ
ΚΑΙ ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΨΗΛΗΣ ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΥ ΤΟΥ ΑΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

3.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αποτελείται από δυο μέρη. Στο πρώτο μέρος δίνονται ορισμένα γενικά στοιχεία που αφορούν το ενεργειακό κέντρο παραγωγής της ΔΕΗ ΑΕ στο Λαύριο, καθώς επίσης και κάποια ειδικότερα στοιχεία που σχετίζονται με τη λειτουργία της υψηλής καπνοδόχου στην οποία πραγματοποιήθηκε η εργασία. Στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου περιγράφονται οι προπαρασκευαστικές εργασίες αναγνώρισης και εγκατάστασης του εξοπλισμού στην κατασκευή.

3.2 Ατμοηλεκτρικός Σταθμός Λαυρίου

3.2.1 Γενικές πληροφορίες

Το Ενεργειακό Κέντρο Ηλεκτροπαραγωγής Λαυρίου αποτελεί ένα από τα κύρια κέντρα παραγωγής ηλεκτρισμού της «ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ Α.Ε. - ΔΕΗ Α.Ε.». Είναι εγκατεστημένο στο Νοτιοανατολικό άκρο της ηπειρωτικής Ελλάδας κοντά στην πόλη του Λαυρίου, 51 χιλιόμετρα μακριά από την Αθήνα. Η συνύπαρξή του με την τουριστική περιοχή του Σουνίου αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα κατά το σχεδιασμό του εργοστασίου που επέβαλε τη λήψη αυστηρών μέτρων περιβαλλοντικής προστασίας της περιοχής. Το Ενεργειακό Κέντρο Ηλεκτροπαραγωγής είναι εγκατεστημένο σε γήπεδο έκτασης 404.997m² και ως τον Απρίλιο του 2006 αποτελείτο από τέσσερα αυτόνομα συγκροτήματα παραγωγής ρεύματος. Η σημερινή απασχόληση εργατικού δυναμικού ανέρχεται στα 300 άτομα και η λειτουργία του είναι σε 24ωρη βάση.

Η κατασκευή του εργοστασίου άρχισε το 1969 και τέθηκε σε λειτουργία το 1972 ένα χρόνο αφότου αποπερατώθηκε η κατασκευή της πρώτης και δεύτερης μονάδας παραγωγής. Ο αρχικός σχεδιασμός του Ενεργειακού Κέντρου περιελάμβανε πέντε (5) μονάδες καύσης βαρέως πετρελαίου. Αρχικά (1969-1971) κατασκευάστηκαν δυο μονάδες, η Μονάδα Ι και η Μονάδα ΙΙ που προαναφέρθηκαν,

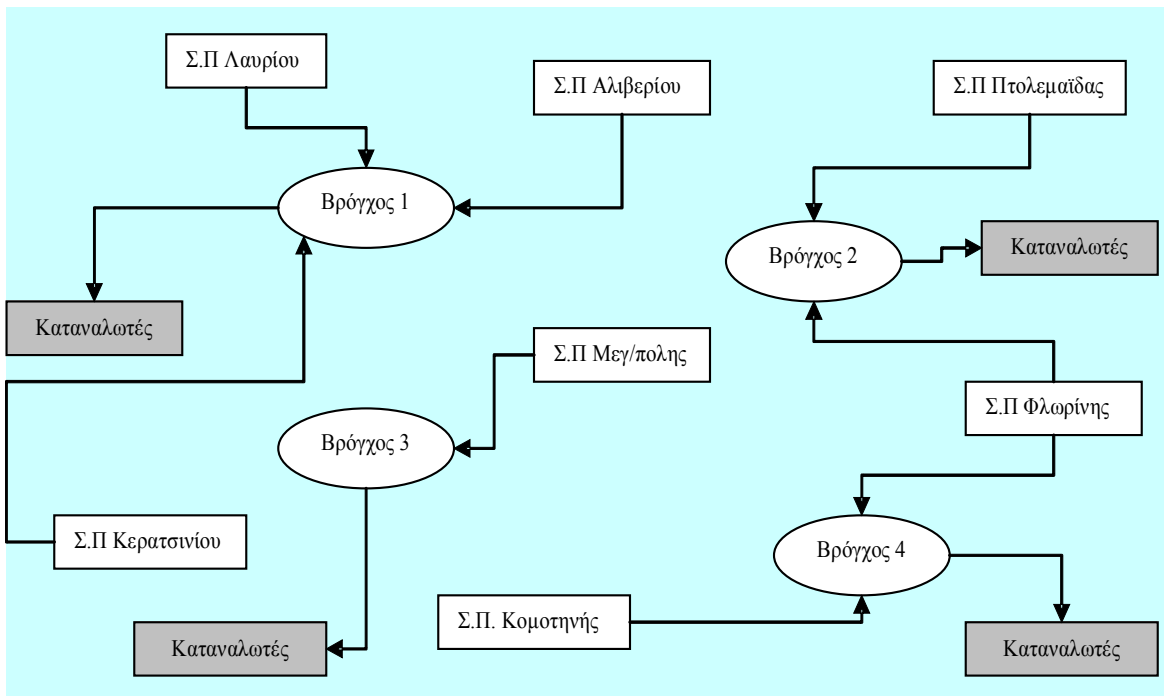
ισχύος 150MW και 300MW αντίστοιχα, που είχαν σαν πρωτογενές καύσιμο το μαζούτ τύπου ΙΙΙ. Αργότερα κατασκευάστηκαν τρεις ακόμη μονάδες που λειτούργησαν με πρώτη ύλη το φυσικό αέριο. Το 1996 ο οίκος BABCOCK Energy ανέλαβε την κατασκευή της Μονάδας παραγωγής ΙΙΙ ισχύος 180 MW ενώ από τον οίκο ALSTOM μελετήθηκε και κατασκευάστηκε δυο χρόνια αργότερα η Μονάδα ΙV με ισχύ 560MW. Τέλος τον Απρίλιο του 2006 εισήλθε σε εμπορική λειτουργία και η νέα Μονάδα συνδυασμένου κύκλου (ΜονάδαV) ισχύος 385MW. Συνολικά, η ισχύς του εργοστασίου ανέρχεται σε περίπου 1600MW. Η γραμμή παραγωγής συνδέεται με το εθνικό δίκτυο μεταφοράς με γραμμές 400kV και 150kV.

Η γενική διάταξη του εργοστασίου μελετήθηκε έτσι ώστε να καλύπτονται με αποτελεσματικό τρόπο οι λειτουργικές ανάγκες του σταθμού. Στο τοπογραφικό διάγραμμα που παρατίθεται (Παράρτημα Α) διακρίνονται τα μηχανοστάσια, οι λέβητες και ο λοιπός εξοπλισμός των Μονάδων, τα διάφορα κτίρια, καθώς και οι χώροι πρασίνου και σχετικά πληροφοριακά στοιχεία. Τέλος κάποια πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά του ΑΗΣ Λαυρίου είναι τα εξής:

- Βρίσκεται δίπλα στη θάλασσα: Οι λιμενικές εγκαταστάσεις επιτρέπουν την προσάραξη πλοίων για προμήθεια καυσίμων.
- Βρίσκεται κοντά σε περιοχές υψηλής κατανάλωσης (Αθήνα–Πειραιάς).
- Δεν προκαλεί αυξημένη ρύπανση σε κατοικημένη περιοχή.

3.2.2 Ο ρόλος του ΑΗΣ Λαυρίου στο δίκτυο της ΔΕΗ

Ο ρόλος της ΔΕΗ ΑΕ εστιάζεται στην παραγωγή και διάθεση ηλεκτρικής ενέργειας στην ελληνική αγορά. Για το σκοπό αυτό, η στρατηγική λειτουργίας της εταιρίας στηρίζεται σε ένα σύστημα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα παραγωγής υλοποιείται από ένα δίκτυο ενεργειακών σταθμών διαφορετικής λειτουργίας (ανάλογα με τη τοποθεσία και το πρωτογενές καύσιμο), τμήμα του οποίου αποτελεί και ο ΑΗΣ Λαυρίου. Αναφορικά με το σύστημα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, αυτό στηρίζεται σε έναν μεγάλο αριθμό «βρόγχων» που λειτουργούν ως μέσα διοχέτευσης της παραγόμενης ενέργειας. Ρόλος λοιπόν όλων των σταθμών παραγωγής στο ευρύτερο δίκτυο της ΔΕΗ είναι η προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας στους «βρόγχους» με απώτερο στόχο τη διανομή της στο καταναλωτικό κοινό.



Σχήμα 3.1 Σύστημα παραγωγής –μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας

Figure 3.1 Transferring system of electric energy

Ο ΑΗΣ Λαυρίου παρέχει ποσοστιαία το 8% της συνολικής ισχύος της ΔΕΗ που καλύπτει μέρος των αναγκών της Αττικής.

3.3 Υψηλή Καπνοδόχος

Η καπνοδόχος στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι εργασίες υπαίθρου αποτελεί τμήμα της μονάδος ΙΙ του ΑΗΣ Λαυρίου. Η κατασκευή της ξεκίνησε από την εταιρία «ΜΑΘΙΟΣ Πυρίμαχα» ταυτόχρονα με την κατασκευή του εργοστασίου (1969) και ολοκληρώθηκε στις αρχές του 1971. Κατεβλήθη προσπάθεια η ολοκλήρωση της να είναι έτοιμη σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα πριν την ολοκλήρωση και λειτουργία του εργοστασίου προκειμένου να υπάρξει δυνατότητα διενέργειας των κατάλληλων δοκιμών και ελέγχων σχετικά με τη λειτουργία της.

3.3.1 Σκοπός λειτουργίας υψηλής καπνοδόχου

Η υψηλή καπνοδόχος της μονάδας παραγωγής ενέργειας εξυπηρετεί την ομαλή μετάβαση των προϊόντων καύσης στην ατμόσφαιρα. Τα καυσαέρια μέσω μιας χημικής αντίδρασης μεταξύ των πρώτων υλών που λαμβάνει χώρα στον λέβητα της μονάδας αποκτούν την επιθυμητή θερμότητα και

στην συνέχεια εισέρχονται στην καπνοδόχο μέσω μιας ειδικής σύνδεσης. Η μεταφορά τους στην ατμόσφαιρα στηρίζεται στις συνθήκες υπερπίεσης που δημιουργούνται στο εσωτερικό της, λόγω της μεγάλης υψομετρικής διαφοράς, οι οποίες συμβάλουν στον ελκυσμό τους.

3.3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Η υψηλή καπνοδόχος της μονάδας II είναι κυλινδρικού σχήματος και συνολικού ύψους 150 m. Η εξωτερική διάμετρος της βάσης είναι 10.8 m μειούμενη σταδιακά σε 5.65 m. Το εύρος του δακτυλίου της καπνοδόχου είναι 0.65m στη βάση και 0.35m στη κορυφή. Το θεμέλιο της κατασκευής είναι τετραγωνικής διατομής με μήκος πλευράς 17 m και ύψος 4.5m. Το υλικό κατασκευής είναι οπλισμένο σκυρόδεμα σχεδιασμένο να αντέχει τις απαιτούμενες θερμοκρασίες.

Η επιλογή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της υψηλής καπνοδόχου έγινε για μια σειρά από λόγους που δίνονται στη συνέχεια:

- Η επιλογή κυλινδρικού σχήματος ελαχιστοποιεί την τριβή των καυσαερίων στα τοιχώματα της κατασκευής γεγονός που θα είχε ως αποτέλεσμα το «φρενάρισμά» τους, και την μη ομαλή μετάβαση τους στην ατμόσφαιρα.
- Το μεγάλο ύψος της είναι αναγκαίο για δυο λόγους. Πρώτον, για να επιτευχθούν οι συνθήκες διαφοράς πίεσης (μεγαλύτερη στη βάση μικρότερη στην κορυφή) που απαιτούνται προκειμένου να είναι επιτυχής και γρήγορος ο ελκυσμός των αερίων, και δεύτερον προκειμένου να καταστεί δυνατή η βέλτιστη διάχυση του καπνού στην ατμόσφαιρα με κύριο σκοπό την αποφυγή ρύπανσης κατοικημένων περιοχών.

Η σταδιακή μείωση του πλάτους της καθ' όλο το ύψος της κατασκευής είναι επίσης σημαντική δεδομένου ότι επιτυγχάνονται καλύτερες ταχύτητες εξόδου των καυσαερίων. Επίσης, χαμηλώνει το κέντρο βάρους της κατασκευής με αποτέλεσμα να εμφανίζει καλύτερη ευστάθεια. Επιπρόσθετα, το γεγονός ότι ο όγκος των αερίων ψηλά είναι μικρότερος από ότι χαμηλά, λόγω μικρότερης θερμοκρασίας, έχει σαν άμεση συνέπεια να μην απαιτείται η διατήρηση ίδιας επιφάνειας τόσο στην βάση όσο και στην κορυφή.

Τέλος, για λόγους πληρότητας, αναφέρεται ότι η καπνοδόχος φέρει διπλό τοίχωμα. Στο εσωτερικό της υπάρχει μια παρόμοια κατασκευή μικρότερης διαμέτρου και ίδιου ύψους η οποία εξυπηρετεί την διατήρηση της θερμοκρασίας σε όλο το ύψος της κατασκευής ούτως ώστε να μην

«παγώνει» το καυσαέριο και δυσκολεύεται η μετάβασή του στην ατμόσφαιρα. Το τελευταίο στην περίπτωση που συμβεί αποτελεί μια σημαντική εσωτερική αιτία ταλάντωσης της κατασκευής (τιράγιο) και γίνεται κάθε δυνατή προσπάθεια να αποφεύγεται (Παπαγεωργίου, 2007).

3.4 Προπαρασκευαστικές Εργασίες

3.4.1 Σχετικές συνεννοήσεις με τη ΔΕΗ Α.Ε.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας υπήρχε μια συνεχής επαφή μεταξύ της διεύθυνσης του ΑΗΣ Λαυρίου και του ΕΜΠ. Συγκεκριμένα, μετά την ανάθεση της μελέτης της συμπεριφοράς της καπνοδόχου έγιναν ορισμένες επαφές όπου συμφωνήθηκαν οι αναμενόμενες προπαρασκευαστικές εργασίες. Ειδικότερα:

- Συζητήθηκε και αποφασίσθηκε η διαδικασία εγκατάστασης του κατάλληλου πρίσματος στην κορυφή της κατασκευής.
- Αποφασίσθηκε η τοποθεσία από όπου θα γινότανε η λήψη των μετρήσεων. Λόγοι τοπογραφίας της περιοχής οδήγησαν στην απόφαση χρήσης του φυλακίου δεξαμενής (Βλ. Σχήμα 3.6-6.7). Το φυλάκιο βρίσκεται σε απόσταση 353m περίπου από την καπνοδόχο και λειτουργεί σε 24ωρη βάση υπό την εποπτεία του σταθμού.
- Η διεύθυνση του σταθμού παρείχε κατάλληλα σχέδια και πληροφορίες της κατασκευής βάσει των οποίων προέκυψαν χρήσιμα τεχνικά και λειτουργικά στοιχεία.
- Τέλος, συζητήθηκε το θέμα της πρόσβασης μελών της ερευνητικής ομάδας στο φυλάκιο και αποφασίσθηκε η άδεια εισόδου σε αυτό όποτε χρειασθεί, εφόσον ενημερωθεί η κεντρική πύλη του σταθμού παραγωγής.

3.4.2 Τοποθέτηση πρίσματος στην καπνοδόχο

Η τοποθέτηση του κατόπτρου στο άνω μέρος της κατασκευής ήταν αναγκαία προκειμένου να διεξαχθούν οι παρατηρήσεις. Το κάτοπτρο επιλέχθηκε να τοποθετηθεί στο ψηλότερο σημείο της καπνοδόχου στο οποίο υπήρχε η δυνατότητα ανθρώπινης πρόσβασης. Η επιλογή της θέσης του έγινε με βάση τα εξής κριτήρια. Πρώτον, τοποθετήθηκε σε αυτή τη θέση και όχι χαμηλότερα ούτως ώστε η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε να μπορέσει να καταγράψει καλύτερα και αποδοτικότερα το φαινόμενο της ταλάντωσης (μέγιστο εύρος) και την συμπεριφορά της κατασκευής σε δυσμενείς συνθήκες. Δεύτερον, η εγκατάσταση του έγινε έτσι ώστε να υπάρχει οπτική επαφή με τη θέση

παρατήρησης. Σημειώνεται ότι κατά



Σχήμα 3.2 Προστατευτικό κάλυμμα

Figure 3.2 Prism protector

την τοποθέτηση του εγκαταστάθηκε ταυτόχρονα και ένα προστατευτικό κάλυμμα μεταλλικής κατασκευής (Βλ Σχήμα 3.2) προκειμένου να προστατευτεί τόσο από τα εξερχόμενα αέρια όσο και από την επίδραση του ήλιου.

Η διαδικασία τοποθέτησης του πρίσματος διήρκεσε μια ημέρα στην οποία ειδικευμένο προσωπικό έχοντας πάρει όλα τα απαιτούμενα μέτρα προστασίας ανέβηκε στην κορυφή της καπνοδόχου από όπου και εγκαταστάθηκε ένα σύστημα ασφαλούς μεταφοράς του στο συγκεκριμένο σημείο. Η ανύψωση και τοποθέτηση του κυκλικού πρίσματος έγινε με ευθύνη της διεύθυνσης του ΑΗΣ Λαυρίου. Τα Σχήματα 3.3α, 3.3β, 3.3γ απεικονίζουν τη διαδικασία εγκατάστασης του εξοπλισμού ενώ διακρίνεται και το προσωπικό στην κορυφή της κατασκευής κατά την ολοκλήρωση αυτής.

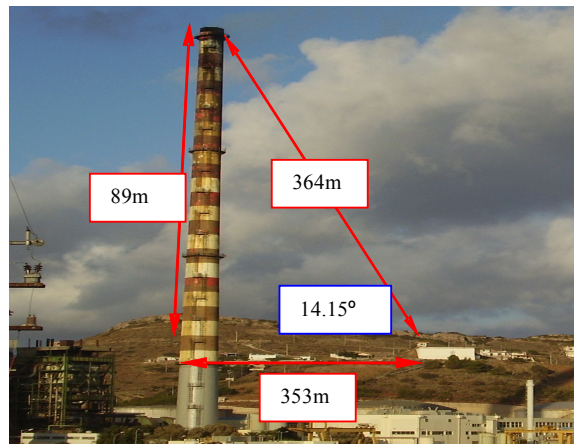


Σχήμα 3.3α,β,γ Διαδικασία και προσωπικό εγκατάστασης πρίσματος

Figure 3.3a,b,c Procedure and Staff of prism installation

3.4.3 Επιλογή θέσης στάσης οργάνου

Όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 3.4.1 οι μετρήσεις προς το κυκλικό πρίσμα έγιναν από τη θέση του φυλακίου της δεξαμενής (Βλ. Σχημα 3.4,3.5). Η επιλογή αυτή έγινε για τους εξής λόγους: Πρώτον, παρέχει βέλτιστη γεωμετρία μεταξύ σημείου στάσης και στόχου. Ειδικότερα, η γεωμετρία παρατήρησης σχηματίζει κατακόρυφο τρίγωνο με κεκλιμένη πλευρά παρατήρησης 364.16 m και κατακόρυφη γωνία 14.15°.



Θέση κατόπτρου



*Θέση στάσης
οργάνου*

Σχήματα 3.4-3.5 Τοποθεσία φυλακίου δεξαμενής - Θέση κάτοπτρου και στάσης οργάνου
Figure 3.4-3.5 Monitoring location – Prism's and instrument's place

Βασικός επίσης λόγος για τον οποίο η απόκτηση των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε από το συγκεκριμένο σημείο ήταν το ότι επρόκειτο για το μοναδικό σημείο στη γύρω περιοχή της κατασκευής από όπου υπάρχει δυνατότητα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος. Επίσης, δεδομένου ότι οι μετρήσεις είχε προσχεδιασθεί να πραγματοποιηθούν σε συνθήκες έντονου ανέμου οι παρατηρήσεις έγιναν μέσα από το φυλάκιο τόσο για την ασφάλεια των οργάνων όσο και για την αποφυγή αντιμετώπισης προβλημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4
ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ LEICA TCA1800 ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ LEICA TCA1800 ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια ειδική αναφορά στον γεωδαιτικό σταθμό Leica TCA1800 και των παρελκόμενων του που χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο διπλωματικής εργασίας. Δίνονται αρκετά χρήσιμα στοιχεία όσον αφορά τα γενικά χαρακτηριστικά του, την αρχή λειτουργίας και τις πηγές σφαλμάτων, ενώ μια λεπτομερής περιγραφή γίνεται και στο λογισμικό Leica TCA Tracking Controller που χρησίμευσε για την καταγραφή των δεδομένων. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα βασικά μέρη του ολοκληρωμένου συστήματος καταγραφής (Total station, Laptop, παρελκόμενα κ.τ.λ.).

4.2 Ο Γεωδαιτικός Σταθμός Leica TCA 1800

4.2.1 Γενικά στοιχεία

Ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TCA 1800 αποτελεί ένα εξελιγμένο γεωδαιτικό όργανο το οποίο παρουσιάζει έναν αρκετά μεγάλο αριθμό δυνατοτήτων που το καθιστούν άμεσα εφαρμόσιμο σε εξειδικευμένες εργασίες γεωδαιτικών εφαρμογών. Ειδικότερα, ο τρόπος λειτουργίας κατά τον εντοπισμό, παρακολούθηση και μέτρηση κινουμένου στόχου απαιτεί πρόσθετες δυνατότητες και τεχνικές. Το συγκεκριμένο όργανο είναι εφοδιασμένο με σερβομηχανισμό που επιτρέπει την αυτόματη περιστροφή γύρω από τον πρωτεύοντα άξονά του, καθώς επίσης και σύστημα αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου. Παράλληλα διαθέτει ορισμένες ακόμη λειτουργίες που επιγραμματικά αναφέρονται στη συνέχεια. Η σχετικά υψηλή ακρίβεια που επιτυγχάνει στις μετρήσεις στατικού και κινηματικού εντοπισμού σε συνδυασμό με τις εξαιρετικά μεγάλες δυνατότητές του μπορούν υπό προϋποθέσεις να το καταστήσουν υποψήφια εναλλακτική λύση των δορυφορικών συστημάτων σε περιπτώσεις δυναμικής παρακολούθησης και συμπεριφοράς κατασκευών.



Σχήμα 4.1 Ο Γεωδαιτικός σταθμός Leica TCA1800

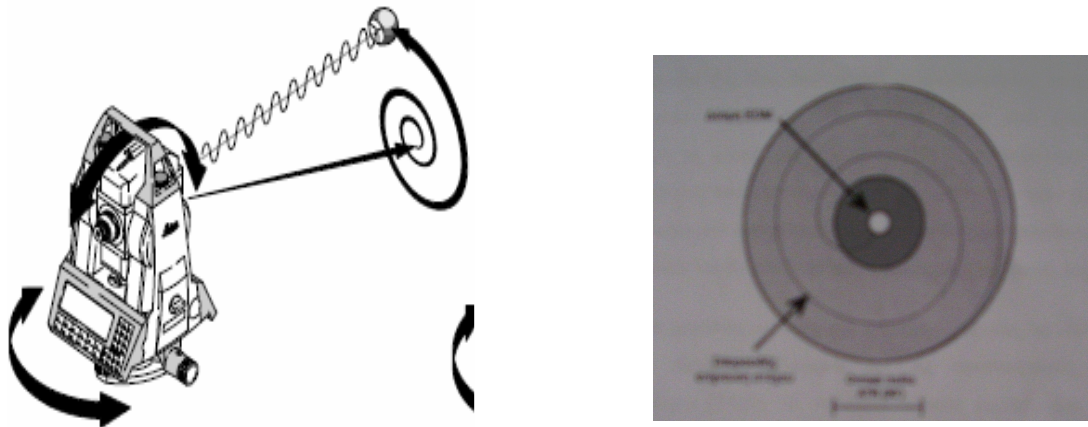
Figure 4.1 Leica TCA 1800 total station

Πέραν τώρα του συστήματος αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου (Automated Target Recognition), ορισμένα αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

- η δυνατότητα λειτουργίας του οργάνου στις ιδιαιτερότητες της εκάστοτε εφαρμογής. Σε αυτό συμβάλλει η συμβατότητά του και η επικοινωνία του οργάνου με άλλες συσκευές και με ειδικά κατασκευασμένα προγράμματα σε γλώσσα προγραμματισμού Geobasic και προτύπου επικοινωνίας GeoCoM (Leica Geosystems),
- ο πλήρης έλεγχος και προγραμματισμός του οργάνου που μπορεί να επιτευχθεί μέσω της σύνδεσής του με ηλεκτρονικό υπολογιστή,
- η ευχέρεια της επιλογής που δίνει στο χρήστη όσον αφορά την καταγραφή και την αποθήκευση των δεδομένων. Αυτό μπορεί να γίνει είτε στην εσωτερική μνήμη του συστήματος (3MB) του οργάνου, είτε σε αποσπώμενη κάρτα μνήμης (PCMCIA 0.5-4MB), είτε τέλος απευθείας σε Η/Υ,
- η δυνατότητα πολλών ευκολιών και καινοτομιών που προσφέρει όπως π.χ. ισοσταθμιστές αυτοδιορθώσεων, έτοιμα προγράμματα λογισμικού κ.α.

4.2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας

Το όργανο TCA 1800 όπως και όλα τα όργανα με κωδικό A, είναι μέλη της οικογένειας των οργάνων της σειράς TPS 2000 της Leica. Η συγκεκριμένη εταιρία κατασκευάζει γεωδαιτικούς σταθμούς με βάση ένα διαφορετικό σύστημα λειτουργίας σε σχέση πάντα με άλλες ομοειδής εταιρίες. Πιο συγκεκριμένα στο TCA 1800 η λειτουργία των συστημάτων μέτρησης απόστασης είναι ανεξάρτητη και υλοποιείται μονοαξονικά. Το ίδιο συμβαίνει και με τα όλα αλλά συστήματα που το αποτελούν. Η λειτουργία του συστήματος αυτόματης παρακολούθησης δεν απέχει πολύ από τη χαρακτηριστική λειτουργία των κλασικών EDM που είναι η εκπομπή μιας μη ορατής ακτίνας laser. Η ακτίνα αυτή είναι σχετικά χαμηλής ισχύος και ανακλάται στο σταθερό ή κινούμενο κατά περίπτωση στόχο (ενεργητικό σύστημα). Η αρχή της όλης διαδικασίας λειτουργίας του συστήματος επιτυγχάνεται με την αρχική τοποθέτηση από το χρήστη του στόχου στο ευρύτερο οπτικό πεδίο του οργάνου, διαφορετικά η αναγνώριση είναι ανεπιτυχής. Από τη στιγμή που τεθεί σε εφαρμογή η λειτουργία ATR, το όργανο αναγνωρίζει το στόχο αυτόματα, με τη προϋπόθεση πάντα ότι αυτός βρίσκεται εντός ενός κύκλου με κέντρο το κέντρο του σταυρονήματος και διαμέτρου 30'. Αν κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει το σύστημα δίνει εντολή εκτέλεσης σπειροειδής περιστροφικής κίνησης χρονικής διάρκειας 2-4 δευτερόλεπτων από μέσα προς τα έξω έως ότου εντοπισθεί ο στόχος (Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.2 Η λειτουργία του συστήματος ATR και το οπτικό πεδίο τηλεσκοπίου Leica TCA 1800 (Leica TCA1800 user's manual) Figure 4.2 ATR system operation and Leica TCA1800 field of view (Leica TCA1800 user's manual)

Μεταξύ άλλων, η ακρίβεια εντοπισμού του οργάνου εξαρτάται και από την ποιότητα του ενσωματωμένου επεξεργαστή διάταξης CCD.

Το σύστημα αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου μπορεί να εφαρμοσθεί με δυο διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με την εφαρμογή. Αναλυτικότερα, διατίθενται δυο επιλογές λειτουργίας με τις εξής προδιαγραφές:

- απλή παρακολούθηση στόχου (TRK): Μια μέτρηση ανά 0.3 sec και με ακρίβεια 5mm+2ppm
- ταχεία παρακολούθηση στόχου (RTRK): Μια μέτρηση ανά 0.15 sec και με ακρίβεια 10mm+2ppm.

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου δίνονται στον Πίνακα 4.1.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ	
LEICA TCA 1800	
ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΩΝΙΩΝ Ακρίβεια οριζοντίων, κατακόρυφων γωνιών	(+/-) 3 cc (1'')
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ Ατμοσφαιρικές συνθήκες : <ul style="list-style-type: none"> • Άσχημες • Μέτριες • Άριστες 	1200/1500m 2500/3500m 3500/5000m
ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ <ul style="list-style-type: none"> • Standard Τυπικό σφάλμα Χρόνος μέτρησης • Tracking Τυπικό σφάλμα Χρόνος μέτρησης • Rapid Tracking Τυπικό σφάλμα Χρόνος μέτρησης 	(+/-) 2mm(+/-)2ppm 3 sec (+/-)5mm(+/-)2ppm 0.3 sec (+/-)10mm (+/-)2ppm 0.15 sec
ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟ Μεγέθυνση / εικόνα	32 X /ορθή
ΜΠΑΤΑΡΙΑ (ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ) Τύπος / Volt Χωρητικότητα Χρόνος φόρτισης (ώρες) Άλλες μπαταρίες	NiCd /12V 1.1Ah 14 hr Εξωτερική / μπαταρία αυτοκινήτου
ΒΑΡΟΣ Όργανο	5.9 kg

Πίνακας4.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά του Leica TCA 1800 Table 4.1 Leica TCA1800 technical features

4.2.3 Επιπρόσθετες λειτουργίες

- Λειτουργία ATR: Έχει αναλυθεί σχολαστικά στην § 4.2.2.
- Λειτουργία LINT: Η λειτουργία αυτή διακόπτει το ATR για μια μέτρηση απόστασης. Συνήθως χρησιμοποιείται για ενδιάμεσες μετρήσεις απόστασης σε στόχους που βρίσκονται σε εύρος που υπερβαίνει το εύρος του ATR.
- Λειτουργία RCS: Με την επιλογή αυτή οι τοπογραφικές εργασίες μπορούν να εκτελεστούν μόνο με ένα άτομο. Όλες οι λειτουργίες και τα προγράμματα ειδικών εφαρμογών είναι διαθέσιμα σε χειριστήριο που είναι τοποθετημένο στο στυλεό του κατάφωτου. Για την επιλογή αυτή απαιτούνται ένα χειριστήριο, δυο modems (για την ασύρματη επικοινωνία χειρίστη- οργάνου) και τα κατάλληλα καλώδια.

4.2.4 Πρωτόκολλα επικοινωνίας Leica TCA1800

Είναι γνωστό ότι ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TCA1800 παρέχει δυνατότητα λειτουργίας μέσω H/Y. Ο χειριστής έχει τη δυνατότητα να κατευθύνει τις ενέργειες του μέσω της χρήση ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η σχετική επικοινωνία υλοποιείται μέσω κατάλληλου λογισμικού. Προκειμένου όμως να αναγνωρισθεί και να υλοποιηθεί το λογισμικό και οι εφαρμογές είναι απαραίτητη η υποστήριξη των γεωδαιτικών σταθμών με ειδικά πρωτόκολλα επικοινωνίας.

Η λειτουργία των γεωδαιτικών σταθμών της εταιρίας Leica επιτυγχάνεται με τα πρωτόκολλα GSI και GeoCom. Αναλυτικότερα το πρωτόκολλο GSI (Geo Serial Interface) αφορά στις σειρές 1000 και 1100 (στις οποίες συμπεριλαμβάνεται και το TCA 1800). Ωστόσο, οι περιορισμένες δυνατότητες του δεν επιτρέπουν να φανεί χρήσιμο στην ανάπτυξη εξειδικευμένων εργασιών. Πρόκειται για ένα σειριακό τύπο της μορφής ASCII και η επικοινωνία από και προς το όργανο που αφορά την παρατήρηση και καταγραφή των μετρήσεων πραγματοποιείται με απλές εντολές και ορισμένους σταθερούς όρους (WI – Word Indexes) που δηλώνουν διάφορους τύπους δεδομένων. Βασικό μειονέκτημα του πρωτοκόλλου GSI είναι ότι βασίζεται αποκλειστικά στο πρότυπο ASCII, αγνοώντας τη δυνατότητα του να λειτουργήσει σε οποιοδήποτε λειτουργικό σύστημα. Προκειμένου να αντιμετωπισθούν ειδικές εφαρμογές θα πρέπει να γίνεται χρήση της Leica GeoBasic. Πρόκειται για μια γλώσσα προγραμματισμού βασίζεται στη γλώσσα προγραμματισμού της κοινής Basic, η οποία μέσα από ένα

σύνολο εντολών, τύπων και συναρτήσεων μπορεί να χρησιμεύσει σε ένα αρκετά μεγάλο φάσμα εξειδικευμένων εργασιών.

Πολλές γεωδαιτικές εφαρμογές με τη χρήση των οργάνων αυτών απαιτούν τη χρήση φορητού ηλεκτρονικού υπολογιστή. Σε αυτή τη περίπτωση το πρωτόκολλο GeoCom υπερτερεί σε σχέση με τις προγραμματιστικές μεθόδους των οργάνων της Leica. Το είδος της επικοινωνίας που επιτυγχάνεται χρησιμεύει σε περιπτώσεις όπου ο αριθμός των δεδομένων σε εφαρμογές είναι πολύ μεγάλος και αυτό γιατί εξασφαλίζονται μεγάλες ταχύτητες εισόδου / εξόδου και αξιοπιστία στη μετάδοση τους .

4.2.4 Πρίσμα 360° και απλό κυκλικό πρίσμα

Η λειτουργία του γεωδαιτικού σταθμού Leica TCA1800 σε στατικό εντοπισμό γίνεται με χρήση κυκλικού πρίσματος (Σχήμα 4.3). Ωστόσο, σε κινηματικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται περίβλεπτα κατάφωτα προκειμένου να λαμβάνεται σήμα από όλες τις κατευθύνσεις. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται το πρίσμα των 360 ° του Σχήματος 4.4. Τέτοιου είδους πρίσματα (omni directional) τα οποία αποτελούνται ένα σύμπλεγμα έξι επιμέρους



Σχήμα 3.4 – 4.4 Απλό κυκλικό πρίσμα και πρίσμα περίβλεπτο (360)

πρισμάτων ανακλούν τη δέσμη από οποιαδήποτε διεύθυνση και αν προσπέσει. Σύμφωνα με εργαστηριακά πειράματα (Favre C. , Hennes M. 2000) έχει αποδειχθεί ότι η σταθερά του συγκεκριμένου πρίσματος μεταβάλλεται περιοδικά ($\pm 2\text{mm} / 20^\circ$) ανάλογα με την οριζόντια και κατακόρυφη γωνία οράσεως ενώ η καλύτερη τιμή της ($\pm 23,1\text{ mm}$) επιτυγχάνεται όταν το

κατάφωτο είναι τοποθετημένο κατακόρυφα και στραμμένο προς το όργανο στη διεύθυνση των τριών χαρακτηριστικών βέλων του πλαστικού περιβλήματος .

4.2 Πεδία Εφαρμογών

Από τα προηγούμενα συνάγεται ότι ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TCA1800 είναι κατάλληλος σε απαιτητικές εφαρμογές. Τρέχουσες εργασίες δε θα πρέπει να αποκλείονται αλλά δεν να συνίστανται, λόγω του υψηλού κόστους αγοράς του οργάνου.

Μερικές κατηγορίες εφαρμογών για τις οποίες συνίσταται η χρήση τους είναι οι εξής :

- αποτυπώσεις υψηλής ακρίβειας (π.χ. σήραγγες, σιδηροδρομική)
- χαράξεις υψηλής ακρίβειας (π.χ. σήραγγες, σιδηροδρομική, φράγματα)
- παρακολούθηση μικρομετακινήσεων τεχνικών έργων και φυσικών διεργασιών (π.χ. κατολισθήσεις)
- καθοδήγηση μηχανημάτων σε εφαρμογές οδοποιίας και στον αγροτικό τομέα.

4.4 Λογισμικό Καταγραφής «Leica TCA1800 Tracking Controller»

4.4.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Το λογισμικό «Leica TCA 1800 Tracking Controller» συντάχθηκε στα πλαίσια μεταπτυχιακής ερευνητικής εργασίας (Δασκαλάκης, 2005), ενώ πρόσφατα ορισμένες βελτιώσεις συντέλεσαν στην ποιοτική αναβάθμιση της λειτουργίας και στην εξαγωγή ποιοτικότερων αποτελεσμάτων.

Αναλυτικότερα τώρα, το λογισμικό αναπτύχθηκε κατά βάση για εφαρμογές δυναμικής παρακολούθησης κατασκευών και παρακολούθησης κινουμένου στόχου. Η λειτουργία του αφορά αποκλειστικά το γεωδαιτικό σταθμό Leica TCA 1800 και είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον αμφίδρομης επικοινωνίας για το χειρισμό του. Η κατασκευή του πραγματοποιήθηκε στη γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic 6.0, η οποία βασίζεται στο πρωτόκολλο GeoCom v. 1.07 που παρέχεται από την Leica Geosystems (Leica Geosystems, 2000). Δουλεύει στο λειτουργικό σύστημα των Windows και κατά την υλοποίηση του δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στις ιδιαιτερότητες της

εφαρμογής έχοντας ως βασικό μέλημα τόσο τις μετρήσεις επί του κινουμένου στόχου όσο και την προσάρτηση του χρόνου στην καταγραφή αυτών.

Σημαντικό χαρακτηριστικό αποτελεί το γεγονός ότι από τη στιγμή που επιτευχθεί η σειριακή σύνδεση οργάνου – υπολογιστή παύει πλέον η χειροκίνητη παρέμβαση του χρήστη επί του οργάνου μιας και η ρύθμισή του στην παρακολούθηση και την εκτέλεση των μετρήσεων γίνονται καθ' ολοκληρία από τον υπολογιστή. Το λογισμικό έχει σχεδιασθεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μπορεί να καταγράφει παρατηρήσεις και με τις δυο μεθόδους παρακολούθησης, τόσο την απλή (TRK- Tracking) με ακρίβεια 5mm+2rpm και συχνότητα 3.3 Hz όσο και την ταχεία (RTRK- Rapid Tracking) διπλάσιας ακρίβειας και συχνότητας. Όταν το όργανο λειτουργεί με το συγκεκριμένο πρόγραμμα ο βαθμός καταγραφής του μπορεί να αγγίξει το επίπεδο των 5.8 Hz και η επισήμανση του χρόνου στις παρατηρήσεις εξισώνεται με την ακρίβεια του εσωτερικού χρονομέτρου του οργάνου (0.001 sec). Αυτό το χαρακτηριστικό του προγράμματος είναι ιδιαίτερης σημασίας δεδομένου ότι το σύστημα καθίσταται ικανό να εντοπίσει παραμορφώσεις προκαλούμενες από αρμονικές ταλαντώσεις έως και 2.9 Hz. Αυτό προκύπτει από το θεώρημα του Nyquist βάση του οποίου ένας εύρος φάσματος q Hz μπορεί να εντοπισθεί με δειγματοληπτικό έλεγχο σε διπλάσια συχνότητα (Schwartz,1975).

4.4.2 Διαδικασίες λειτουργίας

Η όλη λειτουργία του λογισμικού χωρίζεται σε δυο κατηγορίες διαδικασιών, τις προμετρητικές και τις μετρητικές διαδικασίες .

4.4.2.1 Γενικά

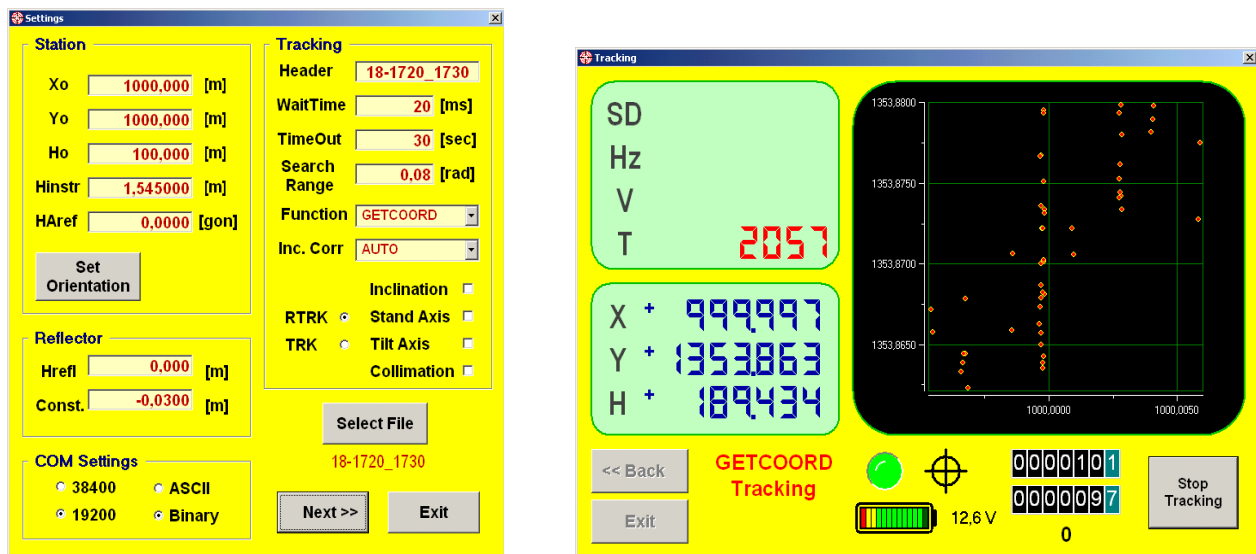
Εφόσον γίνει η εκκίνηση του προγράμματος και η εισαγωγή των απαιτούμενων στοιχείων της στάσης εμφανίζονται στην οθόνη του υπολογιστή το μετρούμενο σημείο με ορθογώνιες συντεταγμένες. Η όλη διαδικασία γίνεται σε πραγματικό χρόνο (real time) και οι συντεταγμένες συνοδεύονται απαραίτητα από το χρόνο μέτρησής τους. Ο έλεγχος ποιότητας των μετρήσεων γίνεται με τη βοήθεια κωδικών (Return Codes) που προκύπτουν από συναρτησιακά μοντέλα του πρωτοκόλλου GeoCom και εν συνεχεία αποθηκεύονται με πολική και καρτεσιανή μορφή σε ένα αρχείο τύπου ASCII. Επίσης, το πρόγραμμα πέραν του πλήθους των πλεονεκτημάτων που διαθέτει έχει την ικανότητα να επιτρέπει στο χρήστη την επιλογή της επί τόπου αυτόματης σχεδίαση των μετρημένων σημείων με απώτερο σκοπό τον έλεγχο των αποτελεσμάτων σε πραγματικό χρόνο. Προκειμένου η εφαρμογή του λογισμικού και η διαδικασία των μετρήσεων να είναι αξιόπιστη και αποτελεσματική όλες οι διαδικασίες υπόκεινται σε

ένα σύστημα εντοπισμού - διάγνωση και επιδιόρθωσης των λαθών που στηρίζεται στο πρωτόκολλο GeoCom. Ο χρήστης μέσω αυτού μπορεί την ίδια χρονική στιγμή να ειδοποιηθεί για την ύπαρξη εσφαλμένων και κακής ποιότητας μετρήσεων με κατάλληλες οπτικές ενδείξεις. Παράλληλα δυνατότητα έλεγχου παρέχεται τόσο για το σύνολο των σκοπευόμενων σημείων, την ύπαρξη εμποδίων κατά την ανάκλαση του σήματος, την απώλεια του στόχου, όσο και για εξωτερικούς παράγοντες όπως η αποφόρτιση της μπαταρίας.

4.4.2.2 Περιγραφή φάσεων λειτουργίας

Η υλοποίηση τώρα του προγράμματος γίνεται όπως προαναφέρθηκε σε περιβάλλον Windows και εκτελείται σε τρεις φάσεις: Στην πρώτη φάση επιδιώκεται η τοποθέτηση του οργάνου σε μια κατάσταση άμεσα ελεγχόμενη από τον υπολογιστή. Η εκκίνηση του λογισμικού δίνει τη δυνατότητα αυτή ενώ σε περίπτωση που ο H/Y δεν μπορεί να εντοπίσει το όργανο τότε και μέχρι να εντοπισθεί τίθενται σε διερεύνηση όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί παραμέτρων.

Στην δεύτερη φάση ζητούνται και εισάγονται στοιχεία που αφορούν τη στάση του οργάνου όπως είναι οι αρχικές συντεταγμένες, το ύψος οργάνου και του καταφώτου.



Σχήμα 4.5 Φόρμες διεπαφής προγράμματος Leica TCA1800 Tracking Controller
Figure 4.5 Leica TCA1800 Tracking Controller interface

Προηγείται η μόνη χειροκίνητη παρέμβαση επί του οργάνου ώστε να βρεθεί χονδρικά ο στόχος και στη συνέχεια εισάγεται η γωνία μηδενισμού. Βάση λοιπόν αυτών ορίζεται το τοπικό σύστημα αναφοράς και μια νέα στάση, υπολογίζονται οι συντεταγμένες της και δίνεται πλέον η δυνατότητα υπολογισμού και αυτόματης παρουσίας των συντεταγμένων των μετρημένων σημείων.

Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο, σε ειδικό παράθυρο διάλογου συμπεριλαμβάνονται οι τελικές επιλογές χρήσης του προγράμματος. Σε αυτή τη φάση, ο χρήστης επιλέγει τη μέθοδο παρακολούθησης που επιθυμεί (TRK – RTRK) αφού προηγουμένως ορίσει με ποιο όνομα και που θα αποθηκευτούν τα μετρημένα στοιχεία. Ειδικά πλήκτρα εντολών επιτρέπουν τόσο την διακοπή των μετρήσεων όσο και την επιλογή αυτόματης σχεδίασης αυτών. Τέλος εκτός των ενδείξεων των μετρήσεων, παρέχονται συνεχώς πληροφορίες όσον αφορά την ποιότητά τους και την κατάσταση της μπαταρίας.

4.4.2.3 Μετρητική διαδικασία

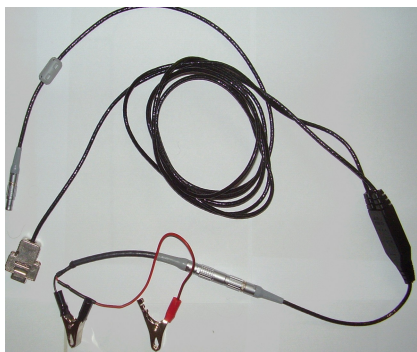
Στη διάρκεια της μετρητικής διαδικασίας απενεργοποιούνται όλες οι λειτουργίες που προαναφέρθηκαν κατά την τρίτη φάση υλοποίησης του προγράμματος και παρουσιάζονται αποκλειστικά και μόνο οι τρέχουσες συντεταγμένες των σκοπευόμενων σημείων, ο δείκτης ποιότητάς τους και ο χρόνος μέτρησής τους . Τόσο η απλή όσο και η ταχεία μέθοδος μέτρησης βασίζονται σε ένα βρόχο μεταβλητής χρονικής διάρκειας ο οποίος περιλαμβάνει κυκλικά την συνάρτηση μέτρησης, τον έλεγχο, την επεξεργασία και την εμφάνιση - καταγραφή – σχεδίαση των αποτελεσμάτων.

4.5 Ολοκληρωμένο Σύστημα Καταγραφής

Η εφαρμογή του λογισμικού Leica TCA1800 Tracking Controller εκτός του οργάνου και του λογισμικού απαιτεί (ανάλογα με την εφαρμογή) μια σειρά από παρελκόμενα τα οποία είναι:

Τα απαραίτητα λειτουργικά αντικείμενα του συστήματος:

- όργανο (Leica TCA1800)
- τρίποδας
- αράχνη
- φορητός υπολογιστής με τα καλώδιά του
- μπαταρία Αυτοκινήτου (12Volt)
- καλώδιο σύνδεσης του οργάνου με μπαταρία και H/Y (Σχήμα 4.6)



Σχήμα 4.6 Καλώδιο σύνδεσης οργάνου Leica TCA1800-H/Y και μπαταρίας

Figure 4.6 The connection wire between Leica TCA1800-PC-battery

- λογισμικό Tracking (σε CD) .

Επιπλέον, ανάλογα με την εφαρμογή απαιτούνται:

- θερμόμετρο –υγρόμετρο
- μετροταινία (για μέτρηση ύψους οργάνου)
- φορητή μονάδα αποθήκευσης δεδομένων (back up)
- κιάλια (για έλεγχο ύπαρξης και καθαρότητας πρίσματος)
- πολύπριζο – μπαλαντέζα (για τροφοδοσία ρεύματος στο H/Y)
- σημειωματάριο – μολύβια –έντυπα χρήσης λογισμικού.



Σχήμα 4.7 Ολοκληρωμένο σύστημα καταγραφής

Figure 4.7 Integrated recording system

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται οι εργασίες υπαίθρου που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Παράλληλα, γίνεται η κωδικοποίηση και παρουσίαση τόσο των παρατηρήσεων όσο και των λοιπών δεδομένων που αποκτήθηκαν (δεδομένα θερμοκρασίας – άνεμου) από διάφορες πηγές.

Οι εργασίες υπαίθρου δεν έγιναν σε μια και μόνη περίοδο αλλά σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Το συνολικό διάστημα αυτών είναι στην περίοδο Ιανουάριος – Οκτώβριος 2007. Σε αυτό πραγματοποιήθηκαν τρεις επισκέψεις στην περιοχή ο σκοπός των οποίων αναλύεται στην συνέχεια. Τέλος αναφέρεται ότι πριν λάβει χώρα οποιαδήποτε εργασία υπαίθρου γίνονταν και οι απαραίτητες προεργασίες στο γραφείο.

5.2 Συλλογή Δεδομένων Πεδίου

5.2.1 Πρώτη επίσκεψη (20/01/2007)

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, η πρώτη επίσκεψη στις εγκαταστάσεις του ΑΗΣ Λαυρίου πραγματοποιήθηκε στις 20 -01- 2007. Βασικός στόχος αυτής της επίσκεψης ήταν η αναγνώριση και εξοικείωση με την κατασκευή και το περιβάλλον των μετρήσεων. Κατά την αναγνώριση επιλέχθηκε η θέση του φυλακίου της δεξαμενής (Σχήμα 3.6-3.7 Κεφ. 3) για την εγκατάσταση του γεωδαιτικού σταθμού. Προηγήθηκε ένας έλεγχος και η επιβεβαίωσή μας για την ύπαρξη και την καθαρότητα του κατόπτρου στην κατασκευή με κιάλια υψηλής ευκρίνειας που φέραμε μαζί μας. Στη συνέχεια ακολούθησε η λήψη μιας σειράς μετρήσεων 30 min περίπου που σαν σκοπό είχε αφενός την προσωπική εξοικείωση όσον αφορά τη μέθοδο και αφετέρου τη βεβαίωση καλής λειτουργίας λογισμικού, του οργάνου και της σύνδεσής του με τον Η/Υ.

5.2.2 Δεύτερη επίσκεψη (21/09/2007)

Η δεύτερη επίσκεψη πραγματοποιήθηκε με καθυστέρηση αρκετών μηνών λόγω αντικειμενικών δυσκολιών που δεν σχετίζονται με την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Κατά τη δεύτερη επίσκεψη την Παρασκευή 21-09-2007 οι εργασίες υπαίθρου περιελάμβαναν τη λήψη μετρήσεων. Αρχικά ο προγραμματισμός των μετρήσεων προέβλεπε η κύρια καταγραφή να γίνει σε μια 12ωρη βάση, έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς της κατασκευής καθ' όλη τη διάρκεια μιας ημέρας. Ωστόσο, αυτό δεν κατέστη δυνατό δεδομένου ότι το ποσοστό επιτυχίας των μετρήσεων που καταγράφονταν ήταν ασυνήθιστα χαμηλό. Παρόλα αυτά οι μετρήσεις διήρκεσαν γύρω στις 7 1/2 ώρες (11:20π.μ. έως 18:40 μ.μ.) και σε αυτές κατεγράφησαν 23 ομάδες μετρήσεων από τις οποίες οι 10 πρώτες πραγματοποιήθηκαν ανά 10 min και ήταν 10λεπτης διάρκειας ενώ οι τελευταίες 13 πραγματοποιήθηκαν ανά 5 min και είχαν 5λεπτη διάρκεια.



Σχήμα 5.1 Μέτρηση Θερμοκρασίας (02-10-2007)

Figure 5.1 Temperature Measurement (02-10-2007)

Παράλληλα, σε κάθε ομάδα μετρήσεων μετρήθηκε η θερμοκρασία και η θερμοκρασία υγρού αέρα ενώ καταγράφονταν κάθε φορά οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και τυχόν άλλες σημαντικές παρατηρήσεις. Τα δεδομένα των μετρήσεων της συγκεκριμένης ημέρας στον οποίο

συμπεριλαμβάνονται όλα τα παραπάνω, καθώς και τα ποσοστά επιτυχίας παρατίθεται στον Πίνακα 5.1.

	Time	Temperature (°C)	Humidity (%)	Percentage (%)	Conditions
α/α	Χρόνος	Θερμοκρασία (°C)	Θερμοκρασία-Υγρού	Ποσοστό επιτυχίας των μετρήσεων(%)	Συνθήκες
1	11:25:00	25.2	19.9	27	Ηλιοφάνεια
2	11:45:00	25.1	19.2	22.8	Αραιή Νέφωση
3	12:05:00	24.8	19	48.1	Νέφωση
4	12:25:00	25.6	19.4	97.3	Αραιή Νέφωση
5	12:45:00	25.2	20.2	31	Ηλιοφάνεια
6	13:05:00	24.6	20	96.6	Αραιή Νέφωση
7	13:25:00	23.4	20.4	49.3	Νέφωση
8	13:45:00	25.2	20.2	96.9	Νέφωση
9	14:05:00	24.2	18.6	69.9	Αραιή Νέφωση
10	14:25:00	25.2	19.2	17.5	Νέφωση
11	14:37:30	25	19.2	9.9	Ηλιοφάνεια
12	14:47:30	24.8	20.4	39.9	Ηλιοφάνεια
13	14:57:30	24.5	19.6	19.2	Αραιή Νέφωση
14	15:07:30	24.2	18.8	83	Αραιή Νέφωση
15	15:17:30	24.5	18.6	30.6	Αραιή Νέφωση
16	15:27:30	25	19	31.7	Ηλιοφάνεια
17	15:37:30	24.8	20	15.5	Ηλιοφάνεια
18	15:47:30	24	19.8	26.9	Ηλιοφάνεια
19	15:57:30	24	19.6	0	Αραιή Νέφωση
20	17:02:30	23	19.2	0	Ηλιοφάνεια
21	17:12:30	23.1	19	23.1	Ηλιοφάνεια
22	17:22:30	22.9	18.9	1.8	Ηλιοφάνεια
23	17:37:30	23	19	1	ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ

Πίνακας 5.1 Στοιχεία των μετρήσεων της 21-09-2007, οι χρόνοι αναφέρονται στο μεσοδιάστημα της 10λεπτης (για τις 10 πρώτες) και 5λεπτης (υπόλοιπες 13) διάρκειας των μετρήσεων. Table 5.1 Measurement Data 21-09-2007, time corresponds to the middle time of each 10 min (the first 10) and 5min (last 13) sets.

Εξαιτίας του υπερβολικά χαμηλού ποσοστού επιτυχίας των μετρήσεων οι συγκεκριμένες ομάδες δεν

χρησιμοποιήθηκαν καθόλου στην ανάλυση και την επεξεργασία των παρατηρήσεων για την αποφυγή λανθασμένων συμπερασμάτων. Ωστόσο, αναφέρονται εδώ δεδομένοι ότι αποτελούν μέρος της δουλειάς που πραγματοποιήθηκε.

5.2.3 Τρίτη επίσκεψη (02-10-2007)

Την Τρίτη, 02-10-2007 έγινε μια δεύτερη προσπάθεια καταγραφής ενός ικανού 12ωρου δείγματος παρατηρήσεων στην υψηλή καπνοδόχο. Ήταν η τρίτη επίσκεψη στην περιοχή και η τελευταία, μιας και επιτεύχθηκε το ζητούμενο αποτέλεσμα.

Συνοπτικά, αφού συλλέχθηκε και πάλι ο απαραίτητος εξοπλισμός και έγινε η μετάβασή μας εκεί γύρω στις 11:30 π.μ., άρχισε η καταγραφή μιας νέας σειράς δεδομένων. Η διαδικασία της καταγραφής αυτής διήρκεσε 12 h, με την έναρξη των παρατηρήσεων να γίνεται στις 12:00 π.μ. και τη λήξη της στις 00:00 της 02/10 προς 03/10. Σε αυτή την χρονική περίοδο πραγματοποιήθηκαν 36 ομάδες μετρήσεων κυμαινόμενης χρονικής διάρκειας ανάλογα κάθε φορά με τις επιβαλλόμενες συνθήκες. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η πλειονότητα των σετ είναι 10λεπτες και 20λεπτες μετρήσεις ενώ ξεχωρίζουν μια 40λεπτη, μια 30 λεπτή και ορισμένες 15λεπτες καταγραφές παρατηρήσεων.

Όλες οι παραπάνω καταγραφές πραγματοποιούνταν με ενδιάμεσα κενά διαστήματα. Παράλληλα, στο μεσοδιάστημα κάθε ομάδας μετρήσεων πραγματοποιούνταν μετρήσεις θερμοκρασίας, υγρασίας, πίεσης καθώς επίσης καταγράφονταν οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και όποιες άλλες παρατηρήσεις κρίνονταν ως σημαντικές. Τα δεδομένα των μετρήσεων παρατίθενται στον Πίνακα 5.2.

	Time	Duration(min)	Temperature (°C)	Humidity (%)	Pressure (mb)	Percentage(%)	Conditions
a/a	Χρόνος	Διάρκεια (min)	Θερμοκρασία (°C)	Υγρασία (%)	Πίεση (mb)	Ποσοστό επ/χιας	Συνθήκες
1	12:05:00	10	23.3	17	1015.9	90.7	Ηλιοφάνεια
2	12:20:00	10	23.1	17	1016.2	91.5	Ηλιοφάνεια
3	12:35:00	10	23.0	21	1016.2	87.8	Ηλιοφάνεια
4	12:50:00	10	22.8	21	1015.9	91.3	Ηλιοφάνεια
5	13:05:00	10	24.7	16	1015.5	86.2	Ηλιοφάνεια
6	13:30:00	30	24.8	16	1015.7	98.2	Ηλιοφάνεια
7	13:52:30	5	24.1	19	1015.5	52.3	Ηλιοφάνεια
8	14:05:00	10	23.4	22	1015.3	96.9	Ηλιοφάνεια
9	14:35:00	40	22.9	20	1015.1	98.5	Ηλιοφάνεια
10	15:05:00	10	25.7	13	1014.7	85.7	Ηλιοφάνεια
11	15:20:00	10	24.9	12	1014.9	86.3	Ηλιοφάνεια
12	15:35:00	10	25.2	14	1014.8	93.6	Ηλιοφάνεια
13	15:55:00	10	25.1	12	1014.1	94.1	Ηλιοφάνεια
14	16:10:00	10	25.1	14	1014.2	94.1	Ηλιοφάνεια
15	16:22:30	5	24.3	13	1015.0	81.4	Ηλιοφάνεια
16	16:32:30	5	24.2	14	1014.6	77.1	ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ
17	16:45:00	10	24.1	15	1015.1	34.3	ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ
18	17:25:00	10	23.2	15	1014.2	38.3	ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ
19	17:50:00	10	23.5	17	1014.5	-	Αίθριος
20	18:22:30	15	21.8	20	1015.5	96.9	Αίθριος
21	18:37:30	5	21.7	17	1015.7	70	Αίθριος
22	18:52:30	15	21.0	24	1015.2	99.5	Αίθριος
23	19:10:00	15	20.8	25	1015.5	99.5	Αίθριος
24	19:25:00	10	21.5	23	1014.8	99.7	Αίθριος
25	19:40:00	10	21.3	21	1015.1	99.6	Αίθριος
26	19:55:00	10	21.3	16	1015.4	99.4	Σκοτάδι
27	20:10:00	10	21.4	15	1015.5	98	Σκοτάδι
28	20:30:00	20	21.3	10	1015.4	99.1	Σκοτάδι
29	20:55:00	20	21	13	1015.5	99.2	Σκοτάδι
30	21:20:00	20	21	13	1015.6	98.8	Σκοτάδι
31	21:45:00	20	21.2	14	1015.9	99.2	Σκοτάδι
32	22:10:00	20	20.1	15	1015.1	99.5	Σκοτάδι
33	22:35:00	20	20.7	17	1015.5	99.5	Σκοτάδι
34	23:00:00	20	20.8	17	1015.8	98.8	Σκοτάδι
35	23:25:00	20	20.6	17	1015.1	99.4	Σκοτάδι
36	23:50:00	20	20.7	19	1014.9	98.2	

Πίνακας 5.2 Στοιχεία των μετρήσεων της 02-10-2007, οι χρόνοι αναφέρονται στο μεσοδιάστημα της κάθε διάρκειας των μετρήσεων. Table 5.2 Measurement Data 02-10-2007, time corresponds to the middle time of each set duration.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις εξαιτίας του υψηλού ποσοστού επιτυχίας των μετρήσεων αποτέλεσαν το βασικό κορμό τόσο της στατιστικής όσο και της φασματικής ανάλυσης και επεξεργασίας που ακολούθησε.

5.3 Ανεμολογικά Δεδομένα και Δεδομένα Θερμοκρασίας

Ο σχεδιασμός των πειραμάτων προέβλεπε τη λήψη μετρήσεων σε συγκεκριμένες συνθήκες ως προς τον άνεμο και κατά δεύτερο λόγο τη θερμοκρασία. Έτσι λοιπόν αφού τέθηκε ως ελάχιστο όριο έντασης του άνεμου στην περιοχή τα 7 μποφόρ (Beaufort) επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένες ημερομηνίες (που προαναφέρθηκαν) για την πραγματοποίηση των παρατηρήσεων, μιας και η λήψη προγνωστικών καιρικών συνθηκών έγινε μέσω του διαδικτύου (www.meteo.gr). Η ένταση του άνεμου καθ' όλη τη διάρκεια εκείνων των ημερών άγγιζε και ξεπερνούσε ορισμένες στιγμές το ελάχιστο όριο. Το γεγονός της αυξημένης έντασης του άνεμου επιδιώχθηκε έτσι ώστε να εξαχθούν όσο το δυνατόν πολυτιμότερα αποτελέσματα όσον αφορά την ταλάντωση της κατασκευής που μελετάται. Η επίσκεψη στην συγκεκριμένη ιστοσελίδα ήταν αν όχι σε καθημερινή βάση, αρκετά συχνή και τα δεδομένα του άνεμου όπως αυτά εμφανίζονταν εκεί τις συγκεκριμένες ημέρες φαίνονται στον Πίνακα 5.3.

ΛΑΥΡΙΟ									
Ημερομηνία	Ώρα	Θερμ/σία	Υγρασία	Διεύθ. ανέμου- Ένταση		Καιρός - φαινόμενα			
Πέμπτη 20/09/2007	15:00	28 °C	50%	5 Μποφόρ			ΚΑΘΑΡΟΣ		
Πέμπτη 20/09/2007	21:00	23 °C	78%	6 Μποφόρ			ΑΡΚΕΤΑ ΣΥΝΝΕΦΑ		
Παρασκευή 21/09/2007	03:00	22 °C	78%	6 Μποφόρ			ΣΥΝΝΕΦΙΑΣΜΕΝΟΣ		
Παρασκευή 21/09/2007	09:00	21 °C	80%	7 Μποφόρ			ΣΥΝΝΕΦΙΑΣΜΕΝΟΣ		
Παρασκευή 21/09/2007	15:00	22 °C	66%	7 Μποφόρ			ΑΡΚΕΤΑ ΣΥΝΝΕΦΑ		
Παρασκευή 21/09/2007	21:00	20 °C	58%	7 Μποφόρ			ΚΑΘΑΡΟΣ		

(α)

ΛΑΥΡΙΟ								
Ημερομηνία	Ώρα	Θερμ/σία	Υγρασία	Διεύθ. ανέμου- Ένταση	Καιρός - φαινόμενα			
Δευτέρα 01/10/2007	15:00	23 °C	62%	7 Μποφόρ Β	ΛΙΓΑ ΣΥΝΝΕΦΑ			
Δευτέρα 01/10/2007	21:00	21 °C	69%	7 Μποφόρ Β	ΚΑΘΑΡΟΣ			
Τρίτη 02/10/2007	03:00	20 °C	71%	7 Μποφόρ Β	ΚΑΘΑΡΟΣ			
Τρίτη 02/10/2007	09:00	20 °C	74%	7 Μποφόρ Β	ΑΡΚΕΤΑ ΣΥΝΝΕΦΑ			
Τρίτη 02/10/2007	15:00	22 °C	59%	7 Μποφόρ Β	ΚΑΘΑΡΟΣ			
Τρίτη 02/10/2007	21:00	20 °C	68%	6 Μποφόρ Β	ΚΑΘΑΡΟΣ			

(β)

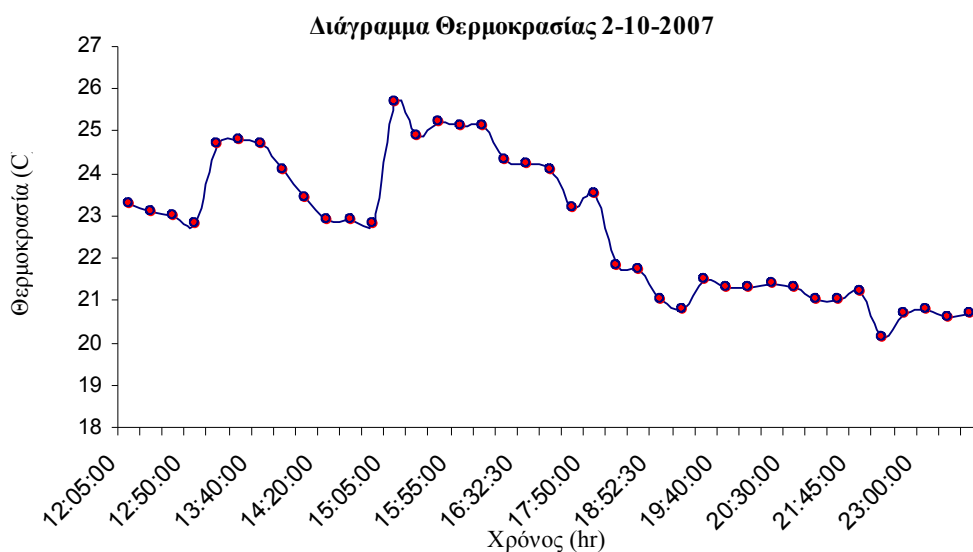
Πίνακας 5.3α-5.3β Δεδομένα ανέμου για την περιοχή τις ημέρες των μετρήσεων (www.meteo.gr).

Table 5.3a-5.3b Lavrion Wind data during the days of measurements (www.meteo.gr).

Σημειώνεται ότι, τα πλήρη δεδομένα όσον αφορά τη θερμοκρασία περιλαμβάνονται στους συνοπτικούς πίνακες των μετρήσεων σε προηγούμενες ενότητες του κεφαλαίου ενώ διαγραμματικά εμφανίζονται στο Σχήμα 5.2α-5.2β.



(α)



(β)

Σχήμα 5.2α-5.2β Διαγράμματα Μεταβολής Θερμοκρασίας

Figure 5.2a-5.2b Temperature Variation Diagrams

Πέραν των όσων συλλέχθηκαν πριν αλλά και κατά διάρκεια των παρατηρήσεων έγινε προσπάθεια να αποκτηθούν κάποια συμπληρωματικά και πιο έγκυρα δεδομένα όσον αφορά τις συνθήκες του άνεμου. Έτσι από την ιστοσελίδα του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Αιολικό Πάρκο Λαυρίου) αποκτήθηκαν κάποια διαγράμματα ταχύτητας του άνεμου των τελευταίων 48 ωρών στα οποία συμπεριλαμβάνεται η χρονική περίοδος των παρατηρήσεων. Η ταχύτητα αυτή προκύπτει με τη βοήθεια των Ανεμόμετρων που βρίσκονται εγκατεστημένες στο Λόφο του Σταυραετού στην περιοχή του Δήμου Λαυρεωτικής ενώ τα διαγράμματα αυτής ανανεώνονται σε καθημερινή βάση. Παράλληλα σε συνεννόηση με τη διεύθυνση του κέντρου επιτεύχθηκε η απόκτηση αναλυτικότερων δεδομένων έντασης του άνεμου κάθε χρονική στιγμή για τις ημέρες των μετρήσεών μας και παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3.

Α/Γ ΩΡΑ	Enercon500		NEG-Micon 750	
	U	DIR	U	DIR
	ΕΝΤΑΣΗ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ	ΕΝΤΑΣΗ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ
12:00:00	14.9	21	13.9	353.0
12:10:00	13.2	20	14.6	357.2
12:20:00	15.2	19	13.5	353.8
12:30:00	14.7	19	13.9	352.7
12:40:00	14.7	20	13.4	353.0
12:50:00	14.6	24	13.4	353.0
13:00:00	13.7	24	13.2	353.0

13:10:00	12.9	25	12.8	353.0
13:20:00	13.5	24	14.3	356.4
13:30:00	15.0	24	14.3	356.0
13:40:00	14.9	24	13.5	356.0
13:50:00	14.4	24	12.9	357.6
14:00:00	14.3	24	13.9	356.4
14:10:00	15.5	24	13.7	358.3
14:20:00	16.1	24	14.8	358.7
14:30:00	15.9	24	14.1	356.0
14:40:00	15.5	24	14.3	356.0
14:50:00	15.2	23	14.1	356.5
15:00:00	14.3	17	14.8	356.0
15:10:00	13.8	15	14.5	356.0
15:20:00	15.1	15	15.5	354.6
15:30:00	15.5	17	13.5	359.1
15:40:00	14.8	19	13.1	358.1
15:50:00	15.4	19	13.1	357.4
16:00:00	15.8	19	12.6	356.0
16:10:00	14.3	19	12.0	356.1
16:20:00	14.2	19	12.8	354.9
16:30:00	14.5	19	11.5	353.0
16:40:00	14.2	19	12.0	356.2
16:50:00	14.5	19	12.1	2.0
17:00:00	14.4	19	11.7	2.0
17:10:00	11.7	19	11.7	0.2
17:20:00	12.7	17	10.9	356.7
17:30:00	12.0	15	11.5	356.0
17:40:00	11.6	10	11.4	353.0
17:50:00	11.1	10	10.1	353.0
18:00:00	12.2	11	11.2	353.0
18:10:00	12.5	11	12.6	353.0
18:20:00	12.7	8	12.7	347.3
18:30:00	13.9	6	12.5	347.8
18:40:00	13.5	6	12.9	347.0
18:50:00	13.6	6	13.7	347.0
19:00:00	13.4	6	13.2	347.0
19:10:00	14.6	6	14.1	347.0
19:20:00	13.3	5	12.8	343.2
19:30:00	11.7	3	11.0	338.0
19:40:00	13.3	1	11.8	344.1
19:50:00	12.8	2	10.9	344.0
20:00:00	14.3	2	12.2	344.5
20:10:00	13.9	2	12.7	346.9
20:20:00	12.1	2	11.2	345.1
20:30:00	11.0	2	10.3	344.0
20:40:00	11.3	2	9.3	339.6
20:50:00	11.1	358	10.5	335.0
21:00:00	11.8	357	9.6	335.0
21:10:00	11.5	353	10.6	335.0
21:20:00	11.9	353	10.7	331.2
21:30:00	11.7	354	9.4	330.1
21:40:00	11.0	354	10.0	333.9
21:50:00	12.1	352	10.1	338.0
22:00:00	12.5	353	10.7	338.0
22:10:00	13.1	353	10.7	336.1
22:20:00	12.1	353	10.6	335.0

22:30:00	11.2	355	10.8	338.4
22:40:00	11.3	357	11.0	339.5
22:50:00	11.5	360	11.0	339.3
23:00:00	10.9	1	9.9	338.0
23:10:00	12.5	0	11.1	338.0
23:20:00	11.8	0	10.3	338.0
23:30:00	12.0	7	10.0	342.5
23:40:00	13.0	8	10.9	341.2
23:50:00	11.6	3	10.1	338.5
0:00:00	12.3	1	10.9	338.2

Πίνακας 5.3 Δεδομένα έντασης και κατεύθυνσης ανέμου βάση δυο διαφορετικού τύπου ανεμομέτρων την 02-10-2007, (Κ.Α.Π.Ε. – Αιολικό πάρκο Λαυρίου). Table 5.3 Wind direction data based on two different types of anemometers during 02-10-2007, (Κ.Α.Π.Ε.– Lavrion Aeolian park)

Τα συγκεκριμένα δεδομένα προέκυψαν από 2 Α/Γ με ύψος πύργου 45m. Οι διαφορές στις διευθύνσεις τους είναι συστηματικές και οφείλονται σε πραγματικά διαφορετικό προσανατολισμό (λόγω τοπογραφίας) και σε λάθος στόχευση με πυξίδα (από διαφορετικά άτομα).

5.4 Προβλήματα Πριν και Κατά τη Διάρκεια των Μετρήσεων

Τόσο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων όσο και πριν από αυτές δημιουργήθηκαν αρκετά προβλήματα:

- όπως προαναφέρθηκε το διάστημα που μεσολάβησε μεταξύ της πρώτης (20-01-2007) και της δεύτερης επίσκεψης (21-09-2007) στην περιοχή όταν και ξεκίνησαν οι μετρήσεις ήταν πράγματι αρκετά μεγάλο με αποτέλεσμα να καθυστερήσει η εκπόνηση της εργασίας. Εκτός από αντικειμενικούς λόγους που δεν σχετίζονται με την εκπόνηση της εργασίας βασικός λόγος είναι ότι δεν υπήρχε η απαιτούμενη ένταση του ανέμου στην περιοχή έτσι ώστε να υπάρξουν οι αναγκαίες προϋποθέσεις για τη λήψη των δεδομένων.
- αναφορικά με τη λήψη των μετρήσεων υπήρξε ένα πρακτικό πρόβλημα με την αποφόρτιση των μπαταριών του φορητού Η/Υ και του οργάνου λόγω της μεγάλης διάρκειας λήψης των παρατηρήσεων. Το πρώτο λύθηκε με την τροφοδοσία ρεύματος από ρευματοδότη που υπάρχει στο φυλάκιο, ενώ το δεύτερο με αντικατάσταση της μπαταρίας του οργάνου με μπαταρία αυτοκινήτου (μέσω ειδικού καλωδίου σύνδεσης – Βλ. Σχήμα 4.6 / Κεφ. 4).

- στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις 21-09-2007 υπήρξε ένα πολύ χαμηλό ποσοστό επιτυχίας αυτών σε όλες τις ομάδες που πιθανότατα προέκυψε από την δημιουργία μιας ομιχλώδους κατάστασης μπροστά από το κατόπτρο.
- τέλος, χαμηλό ποσοστό επιτυχίας υπήρξε και στη δεύτερη φορά των μετρήσεων αλλά όχι σε όλες τις ομάδες. Πρόβλημα δημιουργήθηκε μόνο στις ομάδες 17, 18 και 19 το χρονικό διάστημα από τις 16:30 μ.μ. έως τις 18:00 μ.μ. εξαιτίας του ότι εκείνη



Σχήμα 5.3 Ο ήλιος επί της σκοπευτικής γραμμής

Figure 5.3 The sun on the sight line

τη χρονική στιγμή ο ήλιος άρχιζε σιγά-σιγά να δύει και βρισκόταν ακριβώς πάνω από την καπνοδόχο και επί της σκοπευτικής γραμμής, επηρεάζοντας έτσι σε σημαντικό βαθμό την ορατότητα του κατόπτρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

6.1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο 5 έγινε μια λεπτομερής αναφορά και περιγραφή στις εργασίες πεδίου. Είναι φανερό ότι όσες μετρήσεις και να πραγματοποιηθούν σε οποιαδήποτε γεωδαιτική εφαρμογή δεν μπορούν από μόνες τους να δώσουν ασφαλή συμπεράσματα για το σκοπό για τον οποίο επιτελούνται. Χρειάζεται επομένως επεξεργασία σε διάφορα στάδια προκειμένου να αντληθούν τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται προσπάθεια να δοθεί μια λιτή επεξήγηση των βασικών μεθοδολογιών που θα χρησιμεύσουν έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η επεξεργασία των παρατηρηθέντων δεδομένων. Αρχικά λοιπόν αναφέρονται κάποια στοιχεία όσον αφορά τη φύση των μετρήσεων, και ορισμένους εκ των προτέρων υπολογισμούς. Η αναγκαιότητα για μια βαθιά και πλήρη κατανόηση του φαινομένου που μελετάται επιτάσσει την εφαρμογή υπολογιστικών διαδικασιών οι οποίες υλοποιούνται μέσω της στατιστικής και φασματικής επεξεργασίας των μετρήσεων.

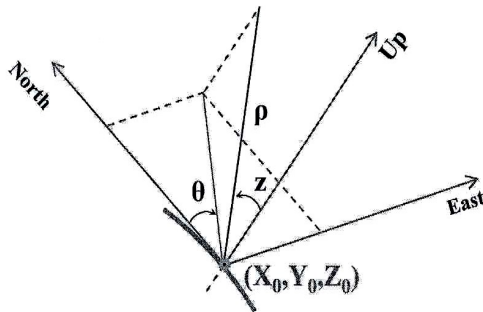
6.2 Προεπεξεργασία των Μετρήσεων

6.2.1 Συστήματα αναφοράς

Προκειμένου να υπολογισθεί η ακριβής θέση του καταφώτου για κάθε μέτρηση προηγείται μια διαδικασία μετατροπής συντεταγμένων. Ο γεωδαιτικός σταθμός και το λογισμικό εφαρμογής είναι δομημένα κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να καθίσταται δυνατή η επί τόπου αυτή μετατροπή.

Αναλυτικότερα, ο γεωδαιτικός σταθμός είναι ορισμένος στο να καταγράφει τις πολικές συντεταγμένες του κινουμένου πρίσματος στην κορυφή της καπνοδόχου οι οποίες στην συνέχεια μετατρέπονται σε καρτεσιανές. Εμμέσως λοιπόν, η θέση του καταφώτου εκφράζεται σε σύστημα πολικών και καρτεσιανών συντεταγμένων. Η θέση του καταφώτου προσδιορίζεται σε τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς. Οι πολικές συντεταγμένες στην ουσία είναι οι μετρήσεις απόστασης (ρ), οριζόντιας (θ) και κατακόρυφης (v) γωνίας συναρτήσει πάντα του χρόνου (t).

Το καρτεσιανό σύστημα, είναι ένα τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων (X,Y,Z) το οποίο υλοποιείται με την εισαγωγή των παραμέτρων στάσης (X=1000, Y=1000, Z=100) στο λογισμικό και είναι προσανατολισμένο στην θέση της κατασκευής. Οι σχέσεις που δίνουν τον μετασχηματισμό των πολικών σε καρτεσιανές συντεταγμένες είναι οι εξής:



$$X=X_0 + \Delta X$$

$$Y=Y_0 + \Delta Y$$

$$H=H_0 + \Delta Z \text{ με}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta H \end{bmatrix} = \rho * \begin{bmatrix} \sin z \cos \theta \\ \sin z \sin \theta \\ \cos z \end{bmatrix}$$

Σχήμα 6.1 Μετατροπή πολικών συντεταγμένων σε καρτεσιανές (Gikas, 2007)

Figure 6.1 Polar to cartesian coordinates conversion (Gikas,2007)

Τέλος, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι ο παραπάνω μετασχηματισμός εφαρμόζεται όπως προαναφέρθηκε μέσω του λογισμικού “Leica TCA1800 Tracking Controller”. Χαρακτηριστικά, στην απλή μέθοδο παρακολούθησης (RTK) η συνάρτηση VB_TMC_GetCoordinate επιστρέφει τις ορθογώνιες συντεταγμένες με βάση πάντα την ιδρυόμενη στάση ενώ στη μέθοδο της ταχείας παρακολούθησης στόχου (RRTK) η συνάρτηση VB_TMC_QuickDisk σε αντίθεση με την προηγούμενη επιστρέφει πρωτογενείς μετρήσεις απόστασης και γωνιών οι οποίες στην συνέχεια μετατρέπονται σε τρισδιάστατες X,Y,Z.

6.2.2 Βασικά χαρακτηριστικά κίνησης

Σύμφωνα με παρόμοιες μελέτες (Cazzaniga et al, 2006), η κίνηση της καπνοδόχου λόγω άνεμου αναμένεται να έχει περιοδική μορφή. Περιοδικά φαινόμενα είναι τα φαινόμενα που εξελίσσονται και επαναλαμβάνονται σε σταθερά χρονικά διαστήματα. Κάθε περιοδικό φαινόμενο χαρακτηρίζεται από την περίοδο του (T), το χρόνο δηλαδή που απαιτείται για να ολοκληρωθεί. Αν σε χρόνο t γίνονται N επαναλήψεις του φαινομένου η περίοδος τότε είναι ίση με το πηλίκο $T= t/N$ (6.1). Το αντίστροφο πηλίκο N/t που εκφράζει τον αριθμό των επαναλήψεων του φαινομένου προς τον αντίστοιχο χρόνο

αποτελεί τη *συχνότητα* f του περιοδικού φαινομένου. Από τον ορισμό τους, τα μεγέθη περίοδος και συχνότητα είναι φανερό ότι είναι αντίστροφα και συνδέονται με τη σχέση $f=1/T$ (6.2). Ένα τρίτο μέγεθος, πολύ σημαντικό για όλα τα περιοδικά φαινόμενα, είναι η *γωνιακή συχνότητα* (ω) για την οποία ισχύει $\omega = (2\pi)/T= 2\pi f$ (6.3). Ωστόσο, επισημαίνεται ότι στη γενικότητα τους, τα περιοδικά φαινόμενα στη φύση τους είναι σύνθετα με αποτέλεσμα κάθε περιοδική κίνηση να χαρακτηρίζεται από ένα φάσμα συχνοτήτων. Σε αυτές τις περιπτώσεις λέγεται ότι ένα φαινόμενο είναι έντονα περιοδικό όταν υπερισχύει μια τιμή συχνότητας η οποία καλείται κύρια συχνότητα.

Η περιοδική κίνηση της καπνοδόχου εκφράζεται μέσα από έναν αριθμό απλών αρμονικών ταλαντώσεων σε διαφορετικές και τυχαίες διευθύνσεις λόγω της επίδρασης του άνεμου. Απλή αρμονική ταλάντωση είναι μια ειδική περίπτωση παλινδρομικής κίνησης που εξελίσσεται πάνω σε ευθεία τροχιά. Στη περίπτωση της καπνοδόχου η κίνησή της πραγματοποιείται σε πολλές τέτοιες ευθείες τροχιές ανάλογα με τη φορά του άνεμου κάθε χρονική στιγμή. Η ύπαρξη συνεπώς όλων αυτών των επιμέρους απλών αρμονικών ταλαντώσεων οδηγεί την κατασκευή σε μια σύνθετη ταλάντωση γύρω από κάποιο σημείο ισορροπίας.

Τα κινηματικά χαρακτηριστικά της κατασκευής σε περίοδο αυξημένης έντασης του άνεμου ακολουθούν την περιοδικότητα του φαινομένου και των επιμέρους απλών αρμονικών ταλαντώσεων καθεμία από τις οποίες εκφράζεται από μια Σχέση ημιτονοειδούς μορφής:

$$y = A \sin (\omega t) = A \sin(2\pi f t) \quad (6.4)$$

όπου, A το εύρος της ταλάντωσης (η μέγιστη απόσταση από το σημείο ισορροπίας). Σε περίπτωση τώρα που η έναρξη μιας άλλης ταλάντωσης (σε διαφορετική ευθεία τροχιά) ξεκίνησε σε χρονική στιγμή κατά την οποία η κατασκευή βρισκόταν σε σημείο απομάκρυνσης ($y=d$) διαφορετικό του σημείου ισορροπίας ($y=0$) η Σχέση (6.1) παίρνει τη μορφή:

$$y = A \sin (\omega t+\varphi) = A \sin(2\pi f t+\varphi) \quad (6.5)$$

Η γωνία φ δίνεται από τη σχέση $\sin\varphi=d/\lambda$ και ονομάζεται αρχική φάση ενώ η γωνία $(\omega t+\varphi)$ ονομάζεται φάση της ταλάντωσης .

6.3 Στατιστική Επεξεργασία των Μετρήσεων

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων εκφράζονται με τις καρτεσιανές συντεταγμένες X, Y, H σε τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς. Κάθε θέση λαμβάνει χρονική αναφορά (t) . Τα δεδομένα, πριν περάσουν το στάδιο της φασματικής ανάλυσης υποβάλλονται σε στατιστική επεξεργασία. Η υπόψη διαδικασία συνίσταται στην απεικόνιση και μελέτη των δεδομένων για κάθε μεταβλητή με στατιστικούς δείκτες και διαγράμματα. Αυτή η ανάλυση βοηθά στον εντοπισμό και την κατανόηση σημαντικών χαρακτηριστικών των δεδομένων και διευκολύνει στη φασματική επεξεργασία και εξαγωγή συμπερασμάτων.

6.3.1 Βασικές στατιστικές παράμετροι

Αν x_1, x_2, \dots, x_n είναι οι τιμές των ισοβαρών παρατηρήσεων ενός δείγματος μιας μεταβλητής x (π.χ. συντεταγμένη X), η μέση αριθμητική τιμή (ή μέση τιμή) του δείγματος ορίζεται από τη Σχέση:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6.6)$$

Η δειγματική διάμεσος ορίζεται ως η κεντρική τιμή όταν διατάξουμε τα δεδομένα σε αύξουσα σειρά. Αν ο αριθμός n των δεδομένων είναι περιττός τότε αυτή, είναι η τιμή στη θέση $(n+1)/2$ ενώ αν το n είναι άρτιος τότε το ημιάθροισμα των τιμών στις θέσεις $n/2$ και $n/2 + 1$.

Διαφορετικά δείγματα από τον ίδιο πληθυσμό μπορεί να έχουν την ίδια η παραπλήσια μέση τιμή αλλά να διασκορπίζονται περισσότερο ή λιγότερο γύρω από αυτή. Κύρια μέτρα διασποράς των δεδομένων είναι η μεταβλητότητα (σ^2), και η τυπική απόκλιση (σ). Η δειγματική διασπορά ή διακύμανση μετράει τη μεταβλητότητα των παρατηρήσεων γύρω από τη αριθμητική μέση τιμή και ορίζεται ως:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (6.7)$$

Η διασπορά σ^2 απορρέει από την αρχή των ελαχίστων τετραγώνων και περιγράφει την κατανομή των τυχαίων σφαλμάτων. Συνήθως, αντί της διασποράς χρησιμοποιείται η τυπική απόκλιση (σ) που είναι απλά η θετική ρίζα της δειγματική διασποράς σ^2 , μετριέται στην ίδια μονάδα με το εξεταζόμενο μέγεθος και εκφράζει πιθανότητα 68% μια τιμή του δείγματος να απέχει από τη μέση τιμή.

Η ύπαρξη χονδροειδών σφαλμάτων στις μετρήσεις δυσκολεύει τη στατιστική περιγραφή και ανάλυση. Στο πλαίσιο της στατιστικής ανάλυσης οι μετρήσεις αρχικά φιλτράρονται για χονδροειδή σφάλματα.

6.3.2 Διαγράμματα οριζοντιογραφίας

Τα διαγράμματα οριζοντιογραφίας απεικονίζουν την κατανομή της θέσης του καταφώτου στο οριζόντιο επίπεδο κάθε χρονική στιγμή t . Η παραγωγή τους αποσκοπεί στην γραφική αναπαράσταση και αναγνώριση της φύσης του φαινομένου που μελετάται, καθώς και στην μελέτη της χωρικής κατανομής των συντεταγμένων. Από την τελευταία είναι δυνατό να εξαχθούν συμπεράσματα όσον αφορά την τάση (trend) και την μορφή (pattern) της κίνησης. Επίσης με την παραγωγή τέτοιων διαγραμμάτων καθίσταται εξαιρετικά εύκολη η εκτίμηση της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής των συντεταγμένων και κατά συνέπεια το εύρος αυτών.

6.3.3 Διαγράμματα πλήθους εμφανίσεων

Τα διαγράμματα πλήθους εμφανίσεων είναι περισσότερο γνωστά ως ιστογράμματα συχνότητας και απεικονίζουν την κατανομή μιας σειράς μετρήσεων. Τα ιστογράμματα αυτά προκύπτουν αν στον άξονα των τεταγμένων τεθούν οι τιμές των μετρήσεων με κάποιο βήμα δx (π.χ. 0.005m) και στον άξονα των τεταγμένων οι συχνότητες εμφάνισης των τιμών που βρίσκονται στα διαστήματα $x_i - (\delta x / 2) < x < x_i + (\delta x / 2)$. Η κατασκευή τους αποσκοπεί στην μελέτη του τρόπου της δειγματοληψίας. Από τα διαγράμματα πλήθους εμφανίσεων είναι δυνατόν:

- να εξαχθούν συμπεράσματα για το κατά πόσο οι μετρήσεις παρουσιάζουν συμμετρία ως προς κάποια κεντρική τιμή, όπως για παράδειγμα η μέση τιμή,
- να προκύψουν ποιοτικά συμπεράσματα ως προς τη διασπορά των μετρήσεων,
- να υπολογισθεί η συχνότητα εμφάνισης των διάφορων τιμών του μεγέθους, και
- να προκύψουν μέτρα των μετρήσεων.

Επίσης, προσαρμόζοντας σε αυτά μια συνάρτηση πυκνοτήτων (π.χ. της κανονικής κατανομής) που αντιστοιχεί στην ίδια σειρά μετρήσεων δίνεται η δυνατότητα να διαπιστώσουμε αν πράγματι η σειρά αυτή των μετρήσεων ακολουθεί το συγκεκριμένο μοντέλο.

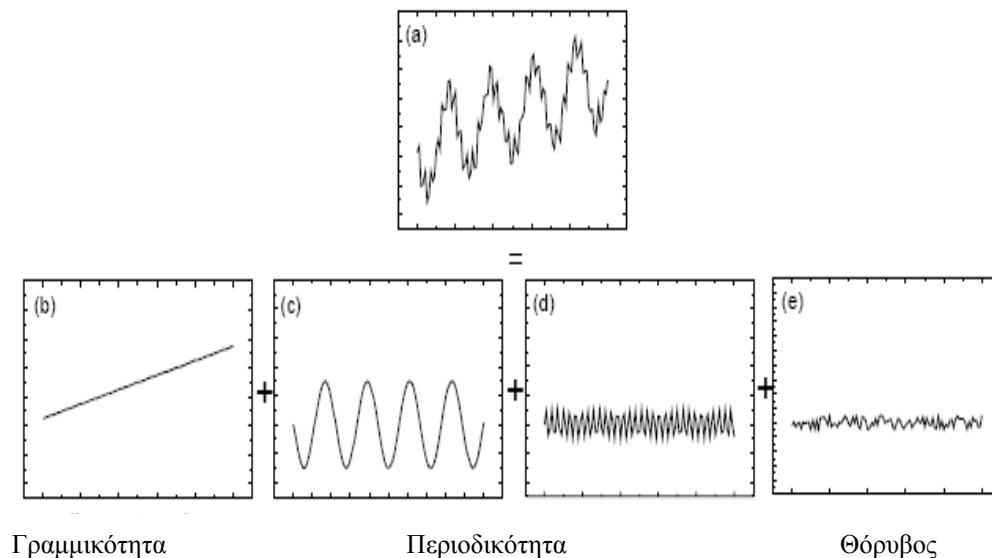
6.4 Φασματική Επεξεργασία των Μετρήσεων

6.4.1 Εισαγωγή

Κάθε σήμα που εμφανίζει περιοδικά χαρακτηριστικά, ανάλογα με το φαινόμενο που παρατηρείται, μπορεί να αναλυθεί σε επιμέρους συνιστώσες οι οποίες συντιθέμενες παράγουν το αρχικό σήμα. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.2 η χρονοσειρά (α) που παρατηρείται πρωτογενώς από κάποιο όργανο αναλύεται σε τέσσερις επιμέρους συνιστώσες οι οποίες εκφράζουν:

- γραμμική μεταβολή ή τάση (b)
- περιοδική διακύμανση ημιτονοειδούς μορφής της κύριας συχνότητας (c)
- περιοδική διακύμανση δευτερεύουσας συχνότητας (d)
- θόρυβο των μετρήσεων (e).

Παρατηρηθείσα χρονοσειρά



Σχήμα 6.2 Ανάλυση παρατηρηθέντος σήματος (Pytharouli et al,2004)

Figure 6.2 The form of time series (Pytharouli et al,2004)

Σε ορισμένες περιπτώσεις ένα σήμα υπάρχει πιθανότητα να είναι το επικρατέστερο και να μπορεί εύκολα να αναγνωρισθεί χρησιμοποιώντας απλές τεχνικές, όπως για παράδειγμα η προσαρμογή μιας πολυωνμικής καμπύλης. Σε αντίθεση όμως η εφαρμογή μεθόδων φασματικής ανάλυσης είναι δυνατόν να αναλύσει και να απομονώσει τέτοιου είδους σήματα ούτως ώστε να υπολογισθούν με σαφήνεια διάφοροι παράμετροι της κίνησης και να εξαχθούν ασφαλέστερα και πληρέστερα αποτελέσματα.

Έτσι, όταν μιλάμε για φασματική ανάλυση αναφερόμαστε στην ψηφιακή επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων και στην ανάλυση της πληροφορίας που εμπεριέχουν. Η παραπάνω διαδικασία επιτυγχάνεται με την ευρέως διαδεδομένη μέθοδο των μετασχηματισμών Fourier.

Είναι γνωστό από τη βιβλιογραφία ότι οι σειρές Fourier μελετούν περιοδικά σήματα. Η εφαρμογή τους συνίσταται στην ανάλυση ενός σήματος σε αρμονικές συχνότητες για περιοδικά σήματα τόσο σε συνεχή όσο και σε διακριτό χρόνο. Εδώ, θα αναφερθούμε στους μετασχηματισμούς διακριτού χρόνου (DFT – FFT) λόγω των αναγκών που απορρέουν από την διπλωματική εργασία. Πριν δοθούν κάποια περαιτέρω στοιχεία για τα παραπάνω, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια αναφορά στους διάφορους τύπους σημάτων που θα μπορούσαν να εμφανιστούν και είναι οι εξής:

- *σήματα συνεχούς χρόνου*: ονομάζονται εκείνα στα οποία η ανεξάρτητη μεταβλητή (συνήθως χρόνος) είναι συνεχής,
- *σήματα διακριτού χρόνου*: αυτά τα οποία ορίζονται μόνο για συγκεκριμένες τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής, και η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχής
- *σήματα διακριτού χρόνου διακριτού πλάτους*: περίπτωση κατά την οποία η εξαρτημένη μεταβλητή παίρνει διακριτές τιμές.

6.4.2 Σειρές Fourier

Οι σειρές Fourier παρέχουν εξ' ορισμού ένα διαφορετικό τρόπο αναπαράστασης των δεδομένων. Σε αντίθεση με τις χρονοσειρές το ίδιο σήμα εκφράζεται ως ένα μέγεθος της πληροφορίας που εμπεριέχεται σε διαφορετικές συχνότητες. Η παραπάνω μετατροπή του σήματος που υλοποιείται μέσω των σειρών αυτών και είναι γνωστή ως ανάλυση Fourier. Η ανάλυση αυτή οδηγεί δηλαδή στη συχνοτική περιγραφή των σημάτων μέσω της πολύ χρήσιμης συνάρτησης μεταφοράς (transfer

function). Η τελευταία περιγράφει τη λειτουργία του συστήματος στο πεδίο των συχνοτήτων (frequency domain) και δίνει πληροφορίες για το πώς επιδρά στις διάφορες συχνοτικές συνιστώσες που απαρτίζουν το σήμα εισόδου.

Οι σειρές Fourier μαθηματικά, λαμβάνουν περιοδικά σήματα που ικανοποιούν ορισμένες συνθήκες (συνθήκες Dirichlet) και τα αναλύουν σε αθροίσματα συναρτήσεων ημιτόνων και συνημιτόνων διαφορετικών συχνοτήτων. Η διαδικασία αυτή εκφράζεται μέσω του τριγωνομετρικού ανάπτυγματος των σειρών το οποίο είναι δυνατόν μέσω μιας απλής αντικατάστασης να απεικονισθεί και με εκθετική μορφή.

Αναλυτικότερα το τριγωνομετρικό ανάπτυγμα ενός σήματος $x(t)$ γράφεται:

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} a_m \cos(2\pi m f_0 t) + \sum_{m=1}^{\infty} b_m \sin(2\pi m f_0 t) \quad (6.8)$$

Οι συχνότητες των ημιτονοειδών όρων είναι πολλαπλάσιες της θεμελιώδους συχνότητας. Το m -οστό πολλαπλάσιο της θεμελιώδους συχνότητας (για θετικές τιμές του m) καλείται m -οστή αρμονική. Το πρόβλημα έγκειται στον υπολογισμό των συντελεστών a_0 , a_m , και b_m . Ο όρος a_0 ισούται με τη μέση χρονική τιμή του:

$$\frac{a_0}{2} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (6.5)$$

Οι όροι a_m και b_m προκύπτουν από κατάλληλους αλγεβρικούς υπολογισμούς και ολοκλήρωση της σχέσης $x(t)$ με ημιτονοειδής και συνημιτονοειδής όρους αντίστοιχα. Η τιμή τους είναι ίση προς:

$$a_m = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos(2\pi m f_0 t) dt \quad (6.9)$$

$$b_m = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin(2\pi m f_0 t) dt \quad (6.10)$$

Η εκθετική μορφή των σειρών Fourier, προκύπτει με τη χρήση θεωρίας μιγαδικών αριθμών. Πρόκειται για μια γενικευμένη μορφή, η οποία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη κατά τον μετασχηματισμό του Fourier που θα δοθεί στην συνέχεια.

Έτσι λοιπόν από την τριγωνομετρική μορφή αν αντικατασταθούν οι συναρτήσεις τα ημιτόνων και συνημιτόνων με τις σχέσεις (ταυτότητες Euler):

$$\cos(2\pi m f_0 t) = \frac{1}{2} (e^{i2\pi f_0 m t} + e^{-i2\pi f_0 m t}) \quad , \quad (6.11)$$

και

$$\sin(2\pi m f_0 t) = \frac{1}{2i} (e^{i2\pi f_0 m t} - e^{-i2\pi f_0 m t}) \quad (6.12)$$

Η εκθετική μορφή των σειρών Fourier προκύπτει ως εξής:

$$x(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} c_m e^{i2\pi f_0 m t} \quad (6.13)$$

Οι συντελεστές c_m του παραπάνω αναπτύγματος είναι γενικά μιγαδικοί αριθμοί οι οποίοι υπολογίζονται από τη σχέση:

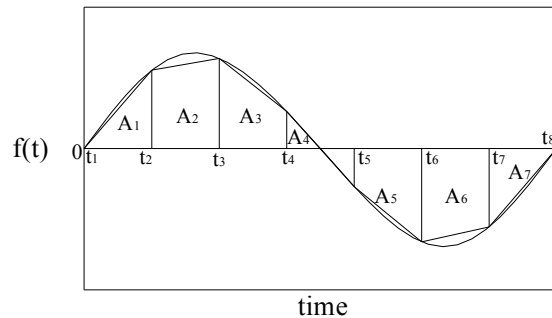
$$C_m = \frac{1}{2} (a_m - i b_m) \quad (6.14)$$

Οι ημιτονοειδής συναρτήσεις παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις εκθετικές όσον αφορά στην απευθείας σύνδεση τους με την έννοια της φυσικής συχνότητας. Σε εφαρμογές μηχανικού το πλήθος των όρων (συχνότητες) μιας σειράς Fourier καθορίζεται από τη φύση του προβλήματος και την επιδιωκόμενη ακρίβεια (αναπαράσταση φυσικού φαινομένου).

6.4.3 Διακριτός μετασχηματισμός Fourier (Discrete Fourier Transform- DFT)

Η πειραματική διαδικασία στηρίχθηκε σε δεδομένα τα οποία κατεγράφησαν για δεδομένες χρονικές στιγμές στο σκληρό δίσκο ενός φορητού Η/Υ. Κατά συνέπεια οι μετρήσεις συνθέτουν ένα διακριτό σήμα και όχι μια συνάρτηση συνεχούς χρόνου. Εκ τούτου εφαρμόστηκε ο μετασχηματισμός Fourier διακριτού χρόνου που προέρχεται από τις Σχέσεις (6.5 -6.6 -6.7).

Η αρχή της μεθόδου στηρίζεται στην εφαρμογή του κανόνα των τραπεζίων. Βάση αυτού είναι δυνατό να διασπαστεί μια συνάρτηση σε άπειρο πλήθος διαστημάτων με αποτέλεσμα τη δημιουργία απείρων τραπεζίων και τη μετέπειτα άθροισή των εμβαδών τους



Σχήμα 6.3 Σχηματική απεικόνιση του κανόνα του τραπεζίου σε 8 σημεία στη συνάρτηση $f(t) = \sin(2\pi t)$ (Computing Fourier series, Brian Storey). Figure 6.3 Trapezoidal rule applied to the function $f(t) = \sin(2\pi t)$ sampled at 8 points. (Computing Fourier series, Brian Storey)

Στο Σχήμα 6.3 παρατηρούνται επτά τμήματα τραπεζίων μεταξύ των οκτώ χρονικών στιγμών. Συνεπώς το συνολικό εμβαδά A_j δίνεται από τη Σχέση:

$$A_j = \frac{f(t_j) + f(t_{j+1})}{2} (t_{j+1} - t_j) \quad (6.15)$$

Αν υποθεθεί ότι τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαθέσιμων τιμών είναι τα ίδια και ίσα με Δt , η παραπάνω σχέση γενικεύεται ως εξής:

$$\int f(t) dt = \Delta t [f(t_1) / 2 + f(t_n) / 2 + \sum_{j=2}^{N-1} f(t_j)] \quad (6.16)$$

Ο κανόνας των τραπεζίων παρέχει ένα γενικό μηχανισμό προσέγγισης των ολοκληρωμάτων. Προκειμένου να υπολογισθεί ο αντίστοιχος συντελεστής Fourier χρειάζεται να εφαρμοσθεί αυτός σε

συνάρτηση πολλαπλασιασμένη με τον όρο $\sin(2\pi mt)$, δηλαδή:

$$a_m = \Delta t [\sin(2\pi m t_1) f(t_1) + \sin(2\pi m t_N) f(t_N) + 2 \sum_{j=2}^{N-1} \sin(2\pi m t_j) f(t_j)] \quad (6.17)$$

Όλα τα παραπάνω αφορούν μια ποιοτική ανάλυση της μεθοδολογίας υπολογισμού του διακριτού μετασχηματισμού Fourier (DFT). Στην συνέχεια αναφέρεται η κατ' εξοχήν μεθοδολογία υπολογισμού του, με αναλυτικό τρόπο.

Ένα ημιτονοειδές σήμα διακριτού χρόνου συμβολίζεται ως $x(n)$ και πρόκειται για μια ακολουθία αριθμών που μπορεί να εκφραστεί και ως:

$$x(n) = A \cos(2\pi f n + \theta) \quad (6.18)$$

όπου n ακέραιος αριθμός που αντιπροσωπεύει τη θέση του δείγματος, A το πλάτος του σήματος, f η συχνότητα του σήματος και θ η φάση του. Έχει αποδειχθεί ότι ένα σήμα της παραπάνω μορφής είναι

μια συνεχής συνάρτηση $X(e^{i\omega})$. Ο μετασχηματισμός Fourier διακριτού χρόνου της ακολουθίας $x(n)$ πεπερασμένου μήκους N στο διάστημα $n < 0$ και $n \geq N$ ισούται με:

$$X(e^{i\omega}) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-i\omega n}, \quad 0 \leq \omega \leq 2\pi \quad (6.19)$$

Εάν τώρα στο ενδιάμεσο διάστημα $0 \leq n \leq N-1$ λάβουμε δείγματα της συνεχούς συνάρτησης $X(e^{i\omega})$ σε ισαπέχοντα διαστήματα στη συχνότητα $\omega_k = k \Delta\omega = k(2\pi/N)$, $k=0,1,\dots,N-1$ τότε προκύπτουν οι τιμές:

$$X(k) = X\left(\frac{2\pi k}{N}\right) = X(e^{i\omega})_{\omega=2k\pi/N} = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-i2\pi kn/N} \quad (6.20)$$

Δεδομένου ότι οι πιο πάνω τιμές προκύπτουν από τον υπολογισμό του μετασχηματισμού Fourier $X(e^{i\omega})$ σε N ισαπέχουσες διακριτές συχνότητες η Σχέση (6.20) είναι ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier (Discrete Fourier Transform) της ακολουθίας $x(n)$ και ο αντίστροφός (IDFT) του δίνεται από τη Σχέση:

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{i2\pi kn / N}, \quad n=0,1,\dots,N-1. \quad (6.21)$$

6.4.4 Ταχύς μετασχηματισμός Fourier (Fast Fourier Transform- FFT)

Ένα επίσης αρκετά διαδεδομένο εργαλείο φασματικής ανάλυσης χρονοσειρών αποτελεί και ο Ταχύς Μετασχηματισμός Fourier (FFT) ο οποίος αποτελεί έναν γρηγορότερο αλγόριθμο υπολογισμού του DFT. Ο Ταχύς Μετασχηματισμός Fourier προσδιορίζεται από την σχέση:

$$F_k = F\left(\frac{k}{NT}\right) = \sum_{n=0}^{N-1} f(nT_s) e^{-2\pi i n k / N}, \quad k=0,1,\dots,N-1 \quad (6.22)$$

όπου,

- F_k είναι το νέο σήμα που προκύπτει από τον μετασχηματισμό μιας χρονοσειράς που αποτελείται από N διακριτές τιμές,
- N το πλήθος των διακριτών τιμών της χρονοσειράς που μετασχηματίζεται και
- T_s είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο τιμών της χρονοσειράς.

Με το FFT προκύπτει ένα νέο σήμα N τιμών όπου κάθε τιμή αντιστοιχεί σε μία συχνότητα (δηλαδή όσο και το πλήθος των διακριτών τιμών της χρονοσειράς), οι οποίες απέχουν μεταξύ τους κατά μία συχνότητα ίση με:

$$f_s = \frac{1}{NT_s} \quad (6.23)$$

Η τιμή F_k που αντιστοιχεί σε κάθε συχνότητα είναι γνωστή στη διεθνή βιβλιογραφία σαν amplitude (εύρος). Το μέγεθος της κάθε συχνότητας εκφράζει την σημαντικότητα με την οποία συμμετέχει η αντίστοιχη συχνότητα στην χρονοσειρά (Press et al., 1992). Δηλαδή, μεγάλη τιμή του μεγέθους F_k σημαίνει μεγάλη συμμετοχή της συχνότητας στη χρονοσειρά. Άρα, αν μία χρονοσειρά παρουσιάζει μία περιοδικότητα τότε η αντίστοιχη συχνότητα θα παρουσιάζει μεγάλη τιμή μεγέθους.

Το πιο ουσιαστικό πλεονέκτημα του FFT είναι η σχετικά μικρή υπολογιστική πολυπλοκότητα με

άμεση συνέπεια το κέρδος τόσο σε πράξεις όσο και σε χρόνο υπολογισμού. Ωστόσο το γεγονός ότι το πλήθος των δειγμάτων που απαιτείται πρέπει να είναι δύναμη του δυο, σε αντίθεση με τον DFT (τυχαίο πλήθος σημείων), αποτελεί έναν σημαντικό περιοριστικό παράγοντα. Επίσης ένα μειονέκτημα του ταχέως μετασχηματισμού Fourier είναι ότι κύρια απαίτησή του είναι τα διακριτά σημεία της χρονοσειράς πρέπει να είναι χρονικά ισαπέχοντα. Όμως, στην περίπτωση μας οι καταγραφές των παρατηρήσεων του συστήματος παρακολούθησης έγινε με μη σταθερή συχνότητα η οποία κυμαίνονταν μεταξύ των 4.5Hz – 5.5Hz με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η φασματική ανάλυση των χρονοσειρών αυτών με την μέθοδο του μετασχηματισμού Fourier. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν φασματικές μέθοδοι οι οποίες μπορούν να αναλύσουν και χρονοσειρές των οποίων τα δεδομένα δεν είναι χρονικά ισαπέχοντα, όπως το περιοδόγραμμα Lomb.

6.4.5 Περιοδόγραμμα Lomb

Μία πιο απλοποιημένη μέθοδος για την φασματική ανάλυση χρονοσειρών με μη ισαπέχοντα χρονικά σημεία είναι το περιοδόγραμμα Lomb (Lomb 1976, Pytharouli et al., 2005). Σημαντικό χαρακτηριστικό της είναι ότι θεωρεί ισοβαρείς όλες τις μετρήσεις. Η φασματική ανάλυση (υπολογισμός ισχύος για κάθε συχνότητα f) με το κανονικοποιημένο περιοδόγραμμα Lomb μίας χρονοσειράς που αποτελείται από N σημεία υπολογίζεται με βάση την μέση τιμή \bar{x} και την τυπική απόκλιση σ^2 της χρονοσειράς και την Σχέση:

$$P_N(\omega) = \frac{1}{2\sigma^2} \left[\frac{\left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \cos \omega(t_i - \tau) \right]^2}{\sum_{i=1}^N \cos^2 \omega(t_i - \tau)} + \frac{\left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \sin \omega(t_i - \tau) \right]^2}{\sum_{i=1}^N \sin^2 \omega(t_i - \tau)} \right] \quad (6.24)$$

με την οποία υπολογίζεται το εύρος (amplitude) που αντιστοιχεί στην συχνότητα ω (Press et al., 1992 ; Pytharouli and Stiros, 2005). Η σταθερά (τ) δίνεται από τη σχέση

$$\tan(2\omega\tau) = \frac{\sum_{i=1}^N \sin 2\omega t_i}{\sum_{i=1}^N \cos 2\omega t_i} \quad (6.25)$$

και στην ουσία εισάγει έμμεσα την σχέση με την οποία θα υπολόγιζε κάποιος την αρμονική συνιστώσα μιας χρονοσειρά για συγκεκριμένη γωνιακή συχνότητα ω .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

7.1 Γενικά

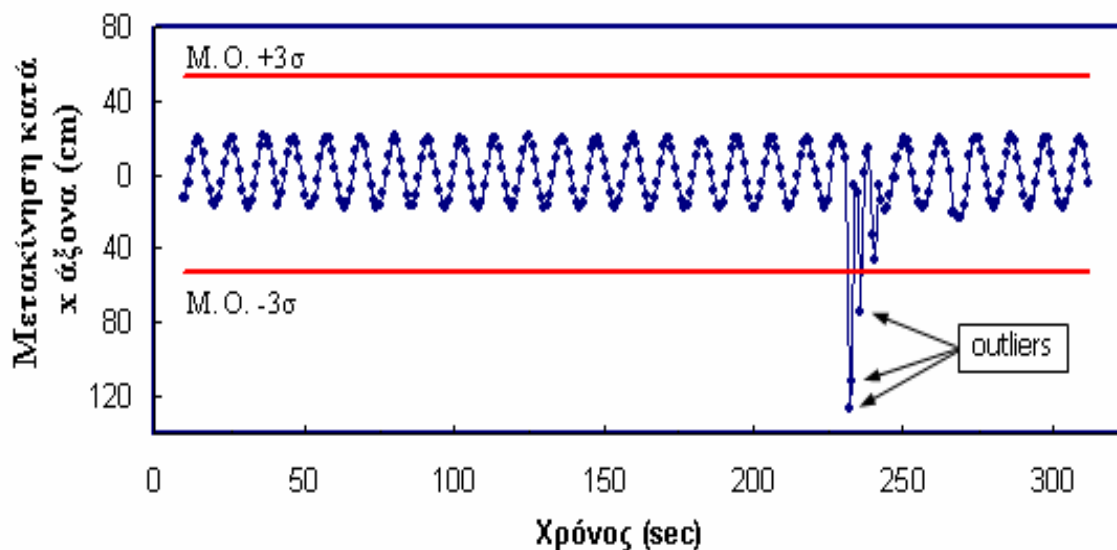
Στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των μετρήσεων. Η ανάλυση που ακολουθεί χωρίζεται σε τέσσερις βασικές ενότητες:

- προεπεξεργασία των μετρήσεων και βασικοί υπολογισμοί
- ανάλυση στο πεδίο χώρου / χρόνου
- ανάλυση στο πεδίο των συχνοτήτων
- συσχέτιση φαινομένου με άλλα μεγέθη.

7.2 Προεπεξεργασία των Μετρήσεων και Υπολογισμός Βασικών Στατιστικών Μεγεθών

7.2.1 Προεπεξεργασία των μετρήσεων

Προκειμένου να έχει νόημα η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων προηγήθηκε η εφαρμογή διαδικασιών ανίχνευσης, εντοπισμού και εξάλειψης χονδροειδών σφαλμάτων. Τα σφάλματα αυτής της κατηγορίας αφορούν συνήθως μετρήσεις που αποκλίνουν αρκετά από το μέσο όρο των μετρήσεων και δεν υπακούουν σε κάποιο μαθηματικό μοντέλο (outliers). Οφείλονται σε λάθη του παρατηρητή είτε σε απότομη μεταβολή των συνθηκών μέτρησης (π.χ. παρεμβολή εμποδίου σε μετρήσεις απόστασης με EDM). Γενικά, τα χονδροειδή σφάλματα εντοπίζονται σχετικά εύκολα καθώς αποτελούν σημαντικές αποκλίσεις από τις αναμενόμενες τιμές. Συνήθως, ως τέτοια θεωρούνται οι τιμές που έχουν απόκλιση από την μέση τιμή μεγαλύτερη του 3σ , όπου σ η τυπική απόκλιση των μετρήσεων (Σχήμα 7.1). Στην εργασία αυτή εφαρμόστηκε ο κανόνας 3σ με χρήση ενός $''$ κινούμενου παραθύρου $''$ στις μετρήσεις θέσης του πρίσματος.



Σχήμα 7.1 Τυπικό παράδειγμα χονδροειδών σφαλμάτων (outliers) σε μια χρονοσειρά παρατηρήσεων κινούμενου στόχου (Psimoulis,Stiros 2005) Figure 7.1 A case of outliers in a timeserie of a moving target (Psimoulis,Stiros 2005)

Στον Πίνακα 7.1 σημειώνεται το ποσοστό επί της εκατό των χονδροειδών σφαλμάτων στις συντεταγμένες X,Y,H της θέσης του κατόπτρου για κάθε ομάδα μετρήσεων. Από αυτό τον πίνακα προκύπτει ότι η συνιστώσα του υψομέτρου εμφανίζει μέγιστο ποσοστό χονδροειδών σφαλμάτων που

αγγίζει το 6 %. Αυτό οφείλεται σε υψηλό βαθμό χονδροειδών σφαλμάτων στις κατακόρυφες γωνίες οι οποίες επηρεάζονται περισσότερο από τη διάθλαση. Τέλος, παρατηρείται μείωση του πλήθους των χονδροειδών σφαλμάτων κατά τη διάρκεια απογευματινών και βραδινών παρατηρήσεων.

α/α	Χρόνος	Διάρκεια μετρήσεων(min)	Πλήθος Συντεταγμένων			Ποσοστό χονδροειδών σφαλμάτων(%)		
			X(m)	Y(m)	H(m)	X	Y	H
1	12:05:00	10	2828	2828	2828	0.7	0.5	5
2	12:20:00	10	3021	3021	3021	0.6	0.5	6
3	12:35:00	10	2996	2996	2996	0.4	0.5	3
4	12:50:00	10	2691	2691	2691	0.5	0.6	1
5	13:05:00	10	2763	2763	2763	0.6	0.4	1
6	13:30:00	15	10128	10128	10128	1	0.4	1
7	13:52:30	5	921	921	921	0.5	0.5	4
8	14:05:00	10	3166	3166	3166	0.5	0.6	1
9	14:35:00	10	13267	13267	13267	0.7	0.6	1
10	15:05:00	10	2462	2462	2462	0.6	0.7	3
11	15:20:00	10	2324	2324	2324	0.4	0.5	3
12	15:35:00	10	3017	3017	3017	0.7	0.5	1
13	15:55:00	10	2874	2874	2874	0.6	0.5	2
14	16:10:00	10	3815	3815	3815	0.6	0.6	1
15	16:22:30	5	1423	1423	1423	0.6	0.4	2
16	16:32:30	5	1478	1478	1478	0.5	0.5	1
17	16:45:00	10	422	422	422	0.8	0.9	6
18	17:25:00	10	380	380	380	0.9	0.8	2
20	18:22:30	15	5079	5079	5079	0.9	1	1
21	18:37:30	5	1236	1236	1236	0.4	0.4	2
22	18:52:30	15	4522	4522	4522	0.2	0.3	0.5
23	19:10:00	15	3944	3944	3944	0.01	0.01	0.01
24	19:25:00	10	3995	3995	3995	0.02	0.01	0.01
25	19:40:00	10	3806	3806	3806	0.01	0.01	0.02
26	19:55:00	10	3991	3991	3991	0.01	0.01	0.01
27	20:10:00	10	3598	3598	3598	0.01	0.02	0.01
28	20:30:00	20	6846	6846	6846	0.01	0.01	0.01
29	20:55:00	20	6566	6566	6566	0.02	0.01	0.02
30	21:20:00	20	6501	6501	6501	0.01	0.01	0.01
31	21:45:00	20	6559	6559	6559	0.01	0.02	0.02
32	22:10:00	20	6663	6663	6663	0.02	0.02	0.01
33	22:35:00	20	6692	6692	6692	0.01	0.01	0.02
34	23:00:00	20	6528	6528	6528	0.01	0.02	0.01
35	23:25:00	20	6458	6458	6458	0.01	0.01	0.01
36	23:50:00	20	7489	7489	7489	0.01	0.01	0.01

Πίνακας 7.1 Ποσοστά χονδροειδών σφαλμάτων για κάθε ομάδα δεδομένων

Table 7.1 Outliers percentage for each data set

Τα χονδροειδή σφάλματα στο υψόμετρο ήταν της τάξης έως και μερικών μέτρων σε αντίθεση με αυτά

των τετμημένων και τεταγμένων που άγγιζαν το επίπεδο μερικών δεκάδων εκατοστών. Πιο συγκεκριμένα, ενώ στο κατακόρυφο επίπεδο η μετακίνηση θα έπρεπε να είναι της τάξης των λίγων εκατοστών αυτή εμφανίζεται να είναι έως 2.5m. Τέλος, οριζοντιογραφικά, αναμενόμενη θα ήταν μια μετακίνηση κατά πολύ μικρότερη από αυτή των 70 cm που εμφανιζόταν σε ορισμένες περιπτώσεις χρονοσειρών.

7.2.2Υπολογισμός βασικών στατιστικών μεγεθών

Προκειμένου να μελετηθεί η συμπεριφορά της κατασκευής για όλη τη διάρκεια των παρατηρήσεων, έγινε ο υπολογισμός της μέσης θέσης της καπνοδόχου για κάθε ομάδα δεδομένων. Αναλυτικότερα υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές των συντεταγμένων της θέσης του πρίσματος. Οι τιμές που προέκυψαν και στις τρεις διαστάσεις, καθώς και ο χρόνος στον οποίο αναφέρονται, παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.3(α), 7.3(β), 7.3(γ) και στον Πίνακα 7.2 αντίστοιχα.

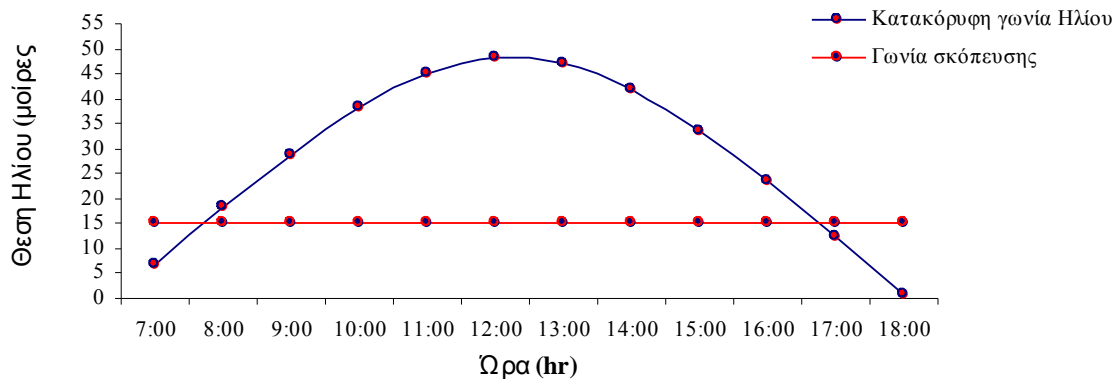
a/a	Time Χρόνος	Μέση τιμή Mean Position			Τυπική Απόκλιση Standard Deviation		
		X	Y	H	σ_x	σ_y	σ_h
1	12:05:00	999.994	1353.917	189.461	0.005	0.005	0.002
2	12:20:00	999.998	1353.918	189.461	0.005	0.006	0.002
3	12:35:00	1000.001	1353.916	189.460	0.007	0.006	0.002
4	12:50:00	999.997	1353.918	189.443	0.006	0.006	0.002
5	13:05:00	999.998	1353.918	189.443	0.007	0.007	0.002
6	13:30:00	999.999	1353.914	189.441	0.006	0.007	0.002
7	13:52:30	1000.001	1353.912	189.441	0.008	0.007	0.002
8	14:05:00	999.998	1353.915	189.417	0.006	0.006	0.002
9	14:35:00	1000.000	1353.912	189.407	0.010	0.007	0.013
10	15:05:00	999.994	1353.917	189.368	0.008	0.007	0.002
11	15:20:00	1000.002	1353.918	189.356	0.012	0.006	0.009
12	15:35:00	1000.013	1353.918	189.333	0.007	0.007	0.002
13	15:55:00	999.997	1353.919	189.322	0.006	0.005	0.001
14	16:10:00	999.986	1353.919	189.308	0.008	0.006	0.002
15	16:22:30	999.999	1353.918	189.308	0.009	0.006	0.002
16	16:32:30	999.987	1353.911	189.322	0.007	0.006	0.002
17	16:45:00	999.987	1353.905	189.323	0.006	0.006	0.002
18	17:25:00	1000.023	1353.899	189.336	0.006	0.005	0.002
19	17:50:00	Δεν πραγματοποιήθηκε μέτρηση					
20	18:22:30	999.976	1353.874	189.403	0.008	0.005	0.001
21	18:37:30	999.975	1353.877	189.403	0.005	0.005	0.001
22	18:52:30	999.989	1353.870	189.425	0.004	0.005	0.001
23	19:10:00	1000.001	1353.869	189.435	0.004	0.005	0.001
24	19:25:00	999.996	1353.870	189.436	0.004	0.004	0.001
25	19:40:00	999.995	1353.872	189.436	0.004	0.005	0.002
26	19:55:00	999.993	1353.874	189.436	0.005	0.006	0.002
27	20:10:00	999.991	1353.875	189.437	0.005	0.007	0.002
28	20:30:00	999.988	1353.876	189.437	0.004	0.005	0.002
29	20:55:00	999.988	1353.877	189.437	0.004	0.006	0.003
30	21:20:00	999.986	1353.879	189.437	0.004	0.005	0.003
31	21:45:00	999.987	1353.879	189.436	0.003	0.005	0.003
32	22:10:00	999.985	1353.880	189.435	0.003	0.006	0.003
33	22:35:00	999.984	1353.882	189.434	0.003	0.007	0.003
34	23:00:00	999.984	1353.882	189.434	0.003	0.007	0.003
35	23:25:00	999.981	1353.884	189.433	0.003	0.006	0.003
36	23:50:00	999.980	1353.888	189.434	0.003	0.005	0.002

Πίνακας 7.2 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση ομάδων δεδομένων της 02-10-2007. Table 7.2 Mean value and standard deviation of data sets, 02-10-2007.

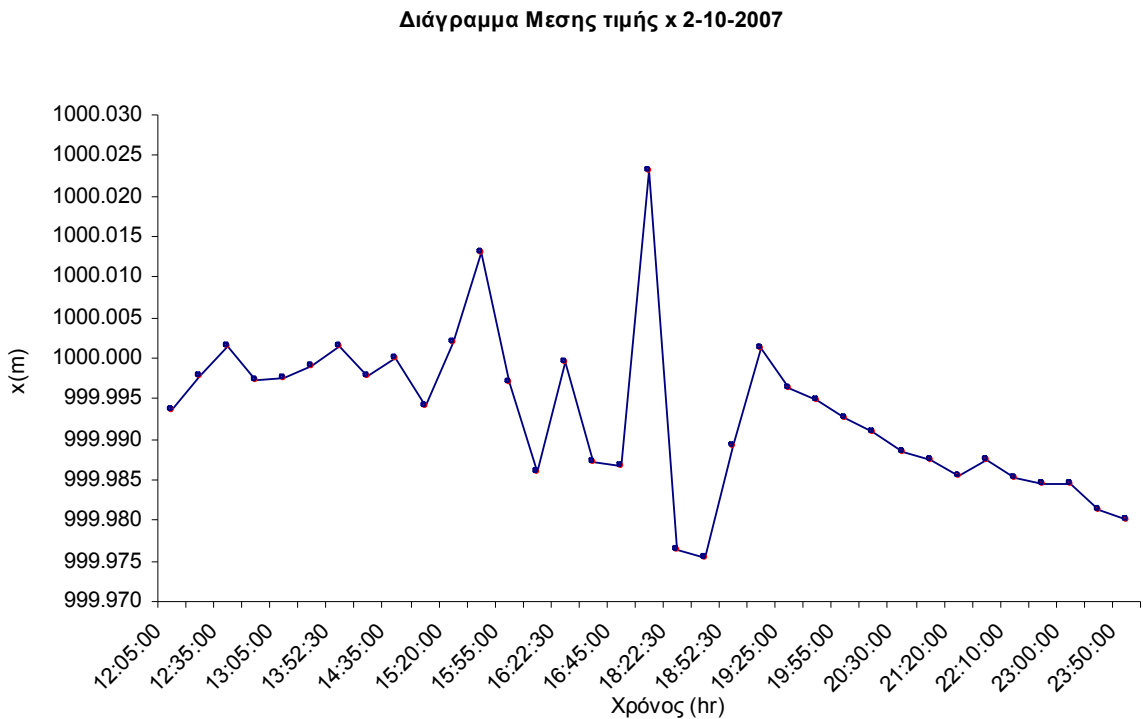
Στον Πίνακα 7.2, εκτός της μέσης τιμής παρουσιάζονται και οι τιμές της τυπικής απόκλισης που εκφράζουν τη διασπορά των μετρήσεων από τη μέση τιμή.

Ο προσδιορισμός της μέσης τιμής αποτελεί μια εκτίμηση της θέσης ισορροπίας της κατασκευής για κάποια χρονική διάρκεια και πραγματοποιήθηκε προκειμένου να υπάρξει μια αποφόρτιση από την πληθώρα των δεδομένων και μια πρώτη εκτίμηση για τον τρόπο ταλάντωσης της καπνοδόχου. Κατασκευάζοντας τα σχετικά διαγράμματα δίνεται μια πρώτη εντύπωση για την κίνηση της κατασκευής καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Έτσι, παρατηρώντας το διάγραμμα μέσης θέσης, αρχικά της τετημημένης X, διαπιστώνεται ότι η κατασκευή παρουσιάζει μια έντονη αλλαγή της θέσης της σε όλο το διάστημα παρακολούθησης και κυρίως τη χρονική διάρκεια από τις 15:20:00 έως τις 18:30:00, όπου το μέγιστο εύρος ταλάντωσης φθάνει τα 4.8 cm. Κάτι ανάλογο παρατηρείται και στα διαγράμματα της μέσης τεταγμένης Y και του υψόμετρου H όπου, στο μεν πρώτο παρουσιάζεται μια αξιοσημείωτη απότομη αλλαγή το διάστημα 16:20:00 -18:20:00 με μέγιστο εύρος ταλάντωσης της τάξης των 5 cm, στο δε υψόμετρο στο διάστημα 13:52:00-19:30:00 όπου το εύρος μεταβολής αγγίζει τα 15 cm. Οι αυξομειώσεις στο διάστημα 15:00:00 έως 18:00:00 ιδιαίτερα στο υψόμετρο είναι ιδιαίτερα έντονες και λαμβάνουν τιμές έξω από τις αναμενόμενες. Εκτιμάται ότι, οι έντονες μεταβολές οφείλονται στη σχετική θέση του ήλιου αναφορικά με τη διεύθυνση σκόπευσης (15°) όπως προκύπτει από το Σχήμα 7.2. Ο ήλιος βρίσκεται σχεδόν στο πάνω μέρος της καπνοδόχου (Βλ. Σχήμα 5.3) με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η διαδικασία μέτρησης των αποστάσεων. Τέλος, στον κατακόρυφο άξονα παρατηρείται μια τάση για σταθεροποίηση της μέσης θέσης της καπνοδόχου μετά τις 19:25:00 όπου σταθεροποιούνται οι συνθήκες περιβάλλοντος.

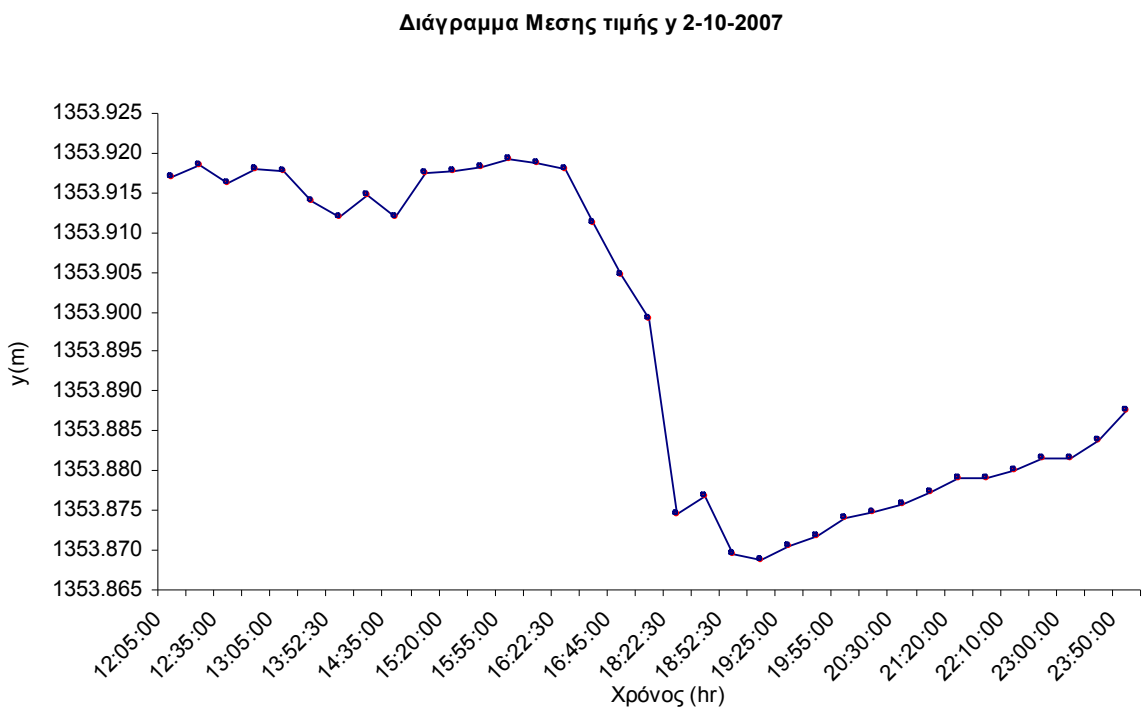
Θέση Ηλίου Λαύριο-Αθήνα, 02-10-2007



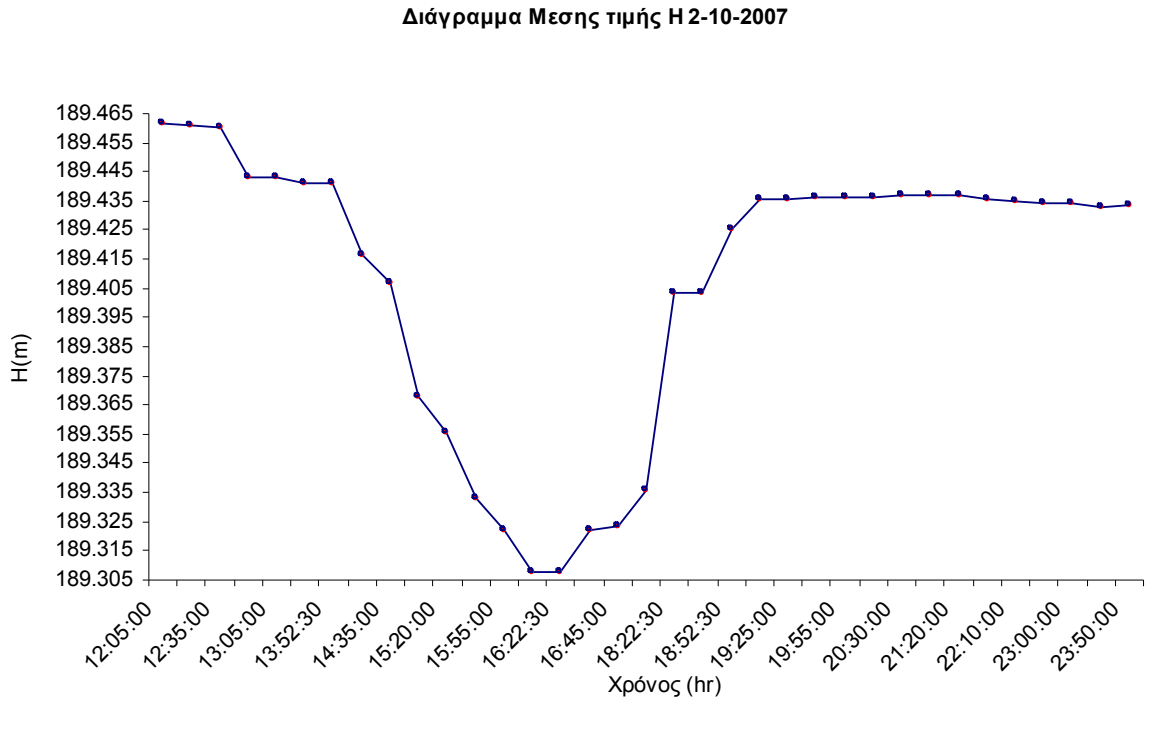
Σχήμα 7.2 Διάγραμμα θέσης του Ήλιου την 02-10-2007 σε σχέση με τη διεύθυνση σκόπευσης (διαδίκτυο).
Figure 7.2 Sun position 02-10-2007 with regard to sight line (internet).



Σχήμα 7.3 (α) Μέση τιμή της τετμημένης X για κάθε ομάδα παρατηρήσεων Figure 7.3 (a) Mean value of X-coordinate for each data set



Σχήμα 7.3 (β) Μέση τιμή της τεταγμένης Y για κάθε ομάδα παρατηρήσεων Figure 7.3 (b) Mean value of Y-coordinate for each data set



Σχήμα 7.3 (γ) Μέση τιμή του υψομέτρου H για κάθε ομάδα παρατηρήσεων Figure 7.3 (c) Mean value of H-coordinate for each data set

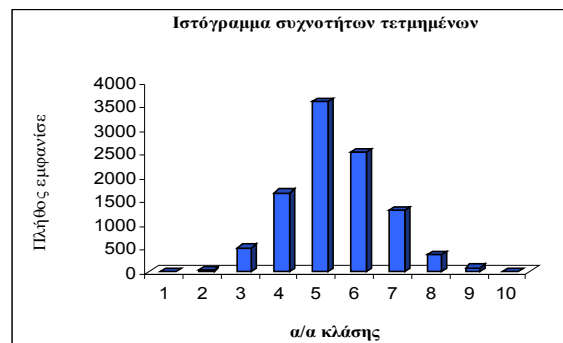
7.2.3 Ταξινόμηση των μετρήσεων ανάλογα με το μέγεθος τους

Το επόμενο στάδιο της στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων περιελάμβανε την κατασκευή και την μελέτη διαγραμμάτων πλήθους εμφανίσεων (διαγράμματα συχνοτήτων) των μετρήσεων. Διαγράμματα πλήθους εμφανίσεων δημιουργήθηκαν για ομάδες δεδομένων οι οποίες διήρκεσαν μεγάλο χρονικό διάστημα (άνω των 15min) και περιείχαν αρκετά μεγάλο αριθμό παρατηρήσεων. Αυτό έγινε προκειμένου να καταστεί δυνατή η καλύτερη απεικόνιση και περιγραφή της κατανομής των παρατηρήσεων του δείγματος. Στα Σχήματα 7.4(α), 7.4(β), 7.4(γ) που ακολουθούν παρουσιάζονται τα σχετικά αποτελέσματα για την τετμημένη-Χ, την τεταγμένη-Υ και το υψόμετρο-Η για την ομάδα δεδομένων 6. Οι τιμές των κλάσεων των συντεταγμένων και των συχνοτήτων τους, που εμφανίζονται στα διαγράμματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.3. Οι κλάσεις προσδιορίστηκαν με βήμα $\delta=0.005m$ και το πλήθος αυτών υπολογίστηκε έχοντας λάβει υπόψη τη διάφορα της μεγαλύτερης και της μικρότερης τιμής του δείγματος (εύρος).

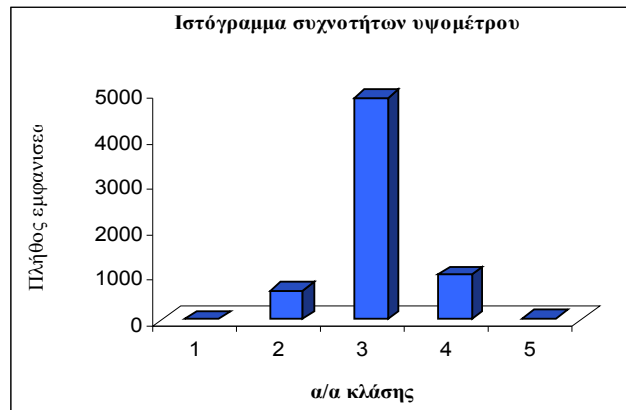
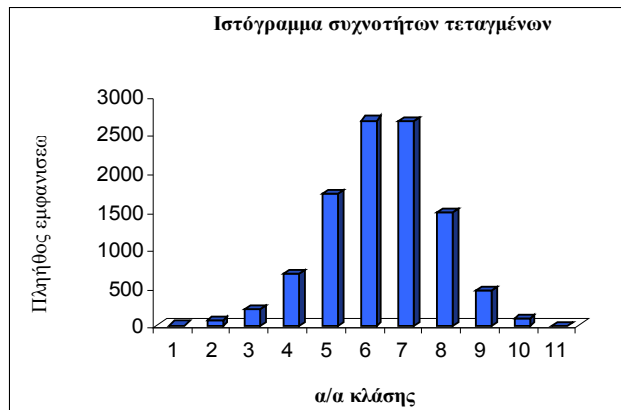
α/α	Χ		Υ		Η	
	ΚΛΑΣΕΙΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΚΛΑΣΕΙΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΚΛΑΣΕΙΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ
1	999.975-999.979	1	1353.885-135.889	11	189.421-189.425	0
2	999.980-999.984	48	1353.890-1353.894	65	189.426-189.430	630
3	999.985-999.989	502	1353.895-1353.899	226	189.431-189.435	4892
4	999.990-999.994	1666	1353.900-1353.904	674	189.436-189.440	984
5	999.995-999.999	3573	1353.905-1353.909	1714	189.441-189.445	22
6	1000.000-1000.004	2507	1353.910-1353.914	2674	-	-
7	1000.005-1000.009	1287	1353.915-1353.919	2664	-	-
8	1000.010-1000.014	367	1353.920-1353.924	1468	-	-
9	1000.015-1000.019	82	1353.925-1353.929	449	-	-
10	1000.020-1000.024	3	1353.930-1353.934	90	-	-
11	-	-	1353.935-1353.939	1	-	-

Πίνακας 7.3 Δεδομένα διαγραμμάτων πλήθους εμφανίσεων

Table 7.3 Histograms data



Σχήμα 7.4(α) Ιστόγραμμα τετμημένων
Figure 7.4 (a) Distribution of estimated X-coordinates



Σχήμα 7.4 (β) Ιστόγραμμα τεταγμένων και γ) ιστόγραμμα υψομετρου

Figure 7.4 (b) Distribution of estimated Y-coordinates and c) Distribution of estimated H-coordinates

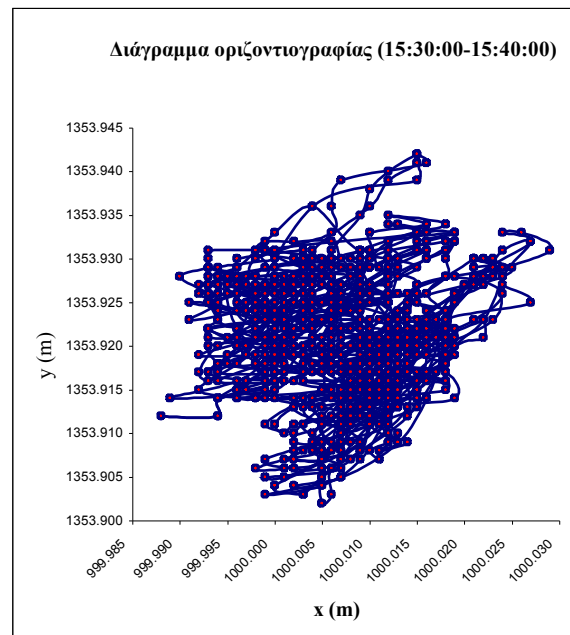
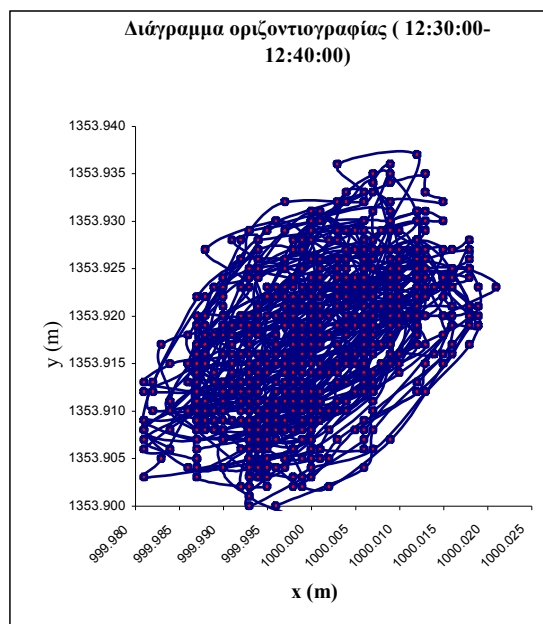
Από τα ιστογράμματα συχνοτήτων διακρίνεται μια ομοιόμορφη κατανομή των παρατηρήσεων γύρω από τη μέση τιμή. Επιπρόσθετα, στα διαγράμματα τετμημένων και τεταγμένων παρατηρείται μια διασπορά των μετρήσεων οι περισσότερες των οποίων εμφανίζονται σε δυο εκατέρωθεν γειτονικές κλάσεις της κλάσης με την υψηλότερη συχνότητα. Αντίστοιχα συμπεράσματα προκύπτουν και από το ιστόγραμμα υψόμετρου. Το συνολικό εύρος αυτών των τιμών των κλάσεων αντιστοιχεί σε ένα μέγεθος περίπου της τάξης των 2σ με 3σ , όπου σ η τυπική απόκλιση του πλήθους των παρατηρήσεων (Βλ. πίνακα 7.2,σελ 94). Ειδικότερα, αν μ είναι η μέση τιμή του δείγματος, για την τετμημένης X το ποσοστό των παρατηρήσεων που εντοπίζεται στο διάστημα $\{\mu-\sigma, \mu+\sigma\}$ μετά από υπολογισμούς προκύπτει περίπου ίσο προς 73% ενώ για την τεταγμένη Y και το υψόμετρο H ίσο προς 66% και 75% αντίστοιχα. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι μετρήσεις προσεγγίζουν τα πρότυπα μιας κανονικής κατανομής.

Τέλος, σημειώνεται ότι τα συμπεράσματα που εξήχθησαν για την ομάδα δεδομένων που μελετήθηκε αντιπροσωπεύουν κατά ένα μεγάλο ποσοστό όλες τις υπόλοιπες. Ωστόσο ήταν αδύνατο να παρουσιασθεί καθεμία από αυτές ξεχωριστά.

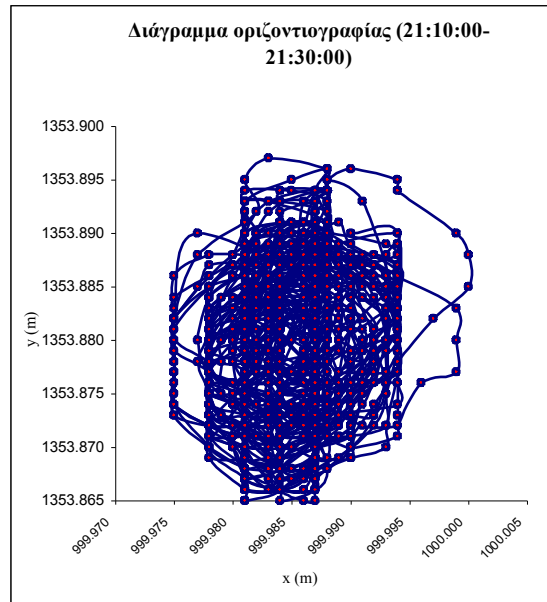
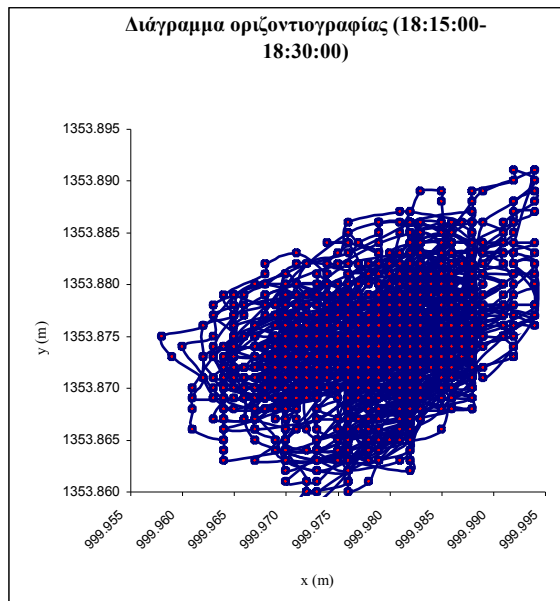
7.3 Ανάλυση στο Πεδίο του Χώρου / Χρόνου

7.3.1 Διαγράμματα οριζοντιογραφίας

Τα διαγράμματα οριζοντιογραφίας είναι ιδιαίτερα χρήσιμα δεδομένου ότι απεικονίζουν τη μεταβολή της θέσης της κατασκευής στο οριζόντιο επίπεδο. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, ο προσδιορισμός και η μελέτη αυτών των διαγραμμάτων πραγματοποιήθηκε για όλες τις ομάδες δεδομένων που συλλέχθηκαν στο πεδίο. Ωστόσο εδώ παρουσιάζονται τέσσερα τέτοια χαρακτηριστικά διαγράμματα (Σχήμα 7.5) που αντιπροσωπεύουν την κίνηση της καπνοδόχου τα χρονικά διαστήματα 12:30:00-12:40:00, 15:30-15:40:00, 18:15:00-18:30:00, και 21:10:00-21:30:00 αντίστοιχα. Επιλέχθηκε να παρουσιασθούν αυτά, πρώτον διότι θεωρητικά αντιπροσωπεύουν τέσσερις χαρακτηριστικές φάσεις της ημέρας (πρωί – μεσημέρι – απόγευμα - βράδυ) και δεύτερον εξαιτίας του ότι διακρίνονταν από αυξημένο ποσοστό επιτυχίας λήψης των μετρήσεων (Βλ. Πίνακα 5.2 Κεφ. 5). Σημειώνεται επίσης, ότι τα συγκεκριμένα διαγράμματα δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα όσον αφορά τα χαρακτηριστικά που μελετώνται.



Σχήμα 7.5 (α) Διαγράμματα οριζοντιογραφίας για τις χρονικές περιόδους 12:30:00-12:40:00 και 15:30:00-15:40:00. Figure 7.5 (a) X-Y diagrams for time periods 12:30:00-12:40:00 and 15:30:00-15:40:00



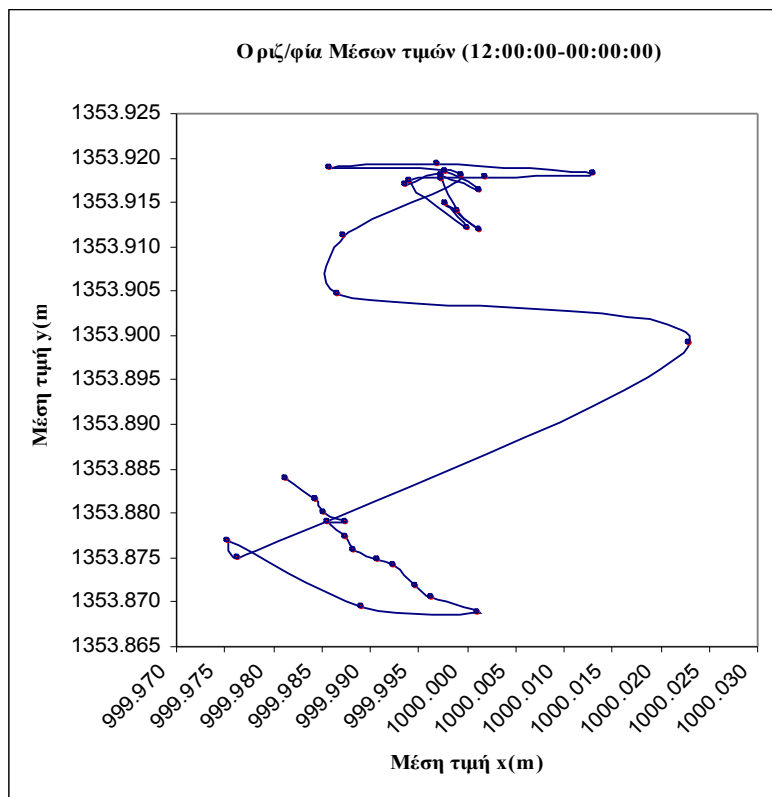
Σχήμα 7.5 (β) Διαγράμματα οριζοντιογραφίας για τις χρονικές περιόδους 18:15:00-18:30:00 και 21:10:00-21:30:00. Figure 7.5 (b) X-Y diagrams for time periods 18:15:00-18:30:00 and 21:10:00-21:30:00.

Με μια γρήγορη παρατήρηση των παραπάνω διαγραμμάτων διαπιστώνονται τα εξής: Αρχικά, το χρονικό διάστημα 12:30:00-12:40:00 η καπνοδόχος φαίνεται ότι πραγματοποίησε μια κίνηση στο εσωτερικό μιας έλλειψης, ο μεγάλος ημιάξονας της οποίας είναι στραμμένος δεξιόστροφα και προσεγγιστικά κατά μια γωνία 20-22°. Στον άξονα των τετημένων το εύρος της ταλάντωσης κυμάνθηκε από 2.5cm έως 4cm και στον άξονα των τεταγμένων από 3cm μέχρι 4cm. Στο χρονικό διάστημα 15:30:00-15:40:00 διάγραψε μια τροχιά, η συνολική μορφή της οποίας δεν παρουσίασε κάποιο συγκεκριμένο σχήμα. Παρόλα αυτά φαίνεται ότι η κατασκευή μετακινήθηκε παράλληλα προς τον άξονα των X σε ένα εύρος τιμών 4.2cm ενώ σταδιακή ήταν και η αυξομείωση της ταλάντωσης της στον άξονα των Y εντός εύρους 4.1cm. Το χρονικό τέταρτο μεταξύ 18:15:00-18:30:00 η καπνοδόχος εκτέλεσε μια ανομοιόμορφη συνολικά διαδρομή το εύρος της οποίας εκτάθηκε μεταξύ 4.1cm και 3cm στους άξονες x και y αντίστοιχα. Ωστόσο σε αυτό το διάστημα παρατηρείται μια σημαντική μείωση των τιμών τόσο της τετημένης όσο και της τεταγμένης. Αναλυτικότερα φαίνεται ότι οι τιμές κυμάνθηκαν οι μεν πρώτες στο πεδίο 999.950 m -999.975 m σε αντίθεση με τα προηγούμενα διαγράμματα όπου αυτές κυμάνθηκαν σε τιμές μεταξύ 999.980 m - 1000.030 m, οι δε δεύτερες κινήθηκαν στο πεδίο 1353.860 m -1353.890 m διαφορετικό του 1353.900 m -1353.945 m των δυο προηγούμενων. Είναι εμφανής λοιπόν η επίδραση του εξωτερικού παράγοντα του άνεμου, που στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα η τιμή της ταχύτητάς του είναι χαμηλότερη από ότι σε αυτά που προηγήθηκαν (Βλ. Πίνακα 5.3 Κεφ.5). Το ίδιο ισχύει και

για το διάστημα 21:10:00-21:30:00. Επιπρόσθετα, σε αυτό παρατηρήθηκε μια ομοιόμορφη κίνηση της καπνοδόχου εντός μιας προσεγγιστικής περιφέρειας κύκλου. Το εύρος μεταβολής της κατά X άγγιξε τα 2.5cm και κατά Y τα 3cm. Το τελευταίο διάγραμμα χαρακτηρίζεται έντονα από τα ελάχιστα στιγμιαία «περάσματα» της καπνοδόχου στο πεδίο τιμών τεμημένων 999.967cm-999.975cm κάτι που ενδεχομένως οφείλεται σε μια στιγμιαία ένταση του άνεμου (μερικών δευτερόλεπτων).

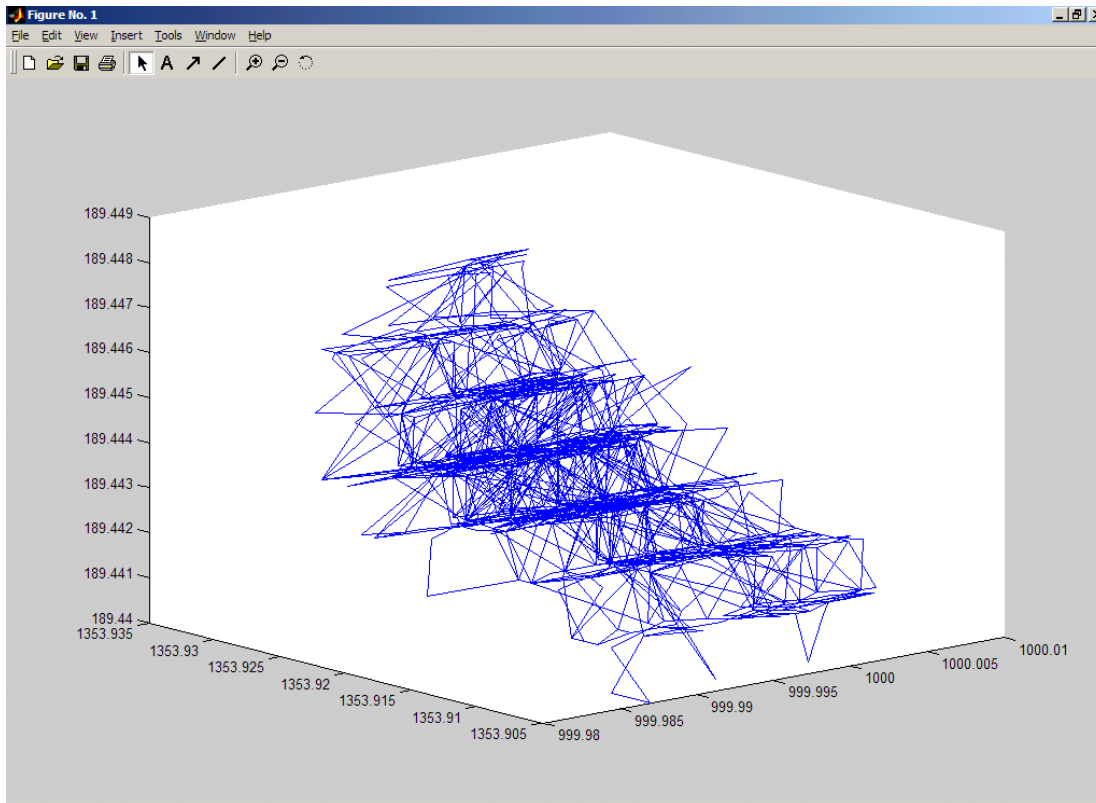
Παρατηρώντας πιο σχολαστικά τα ίδια διαγράμματα διακρίνεται σε όλα μια ομοιόμορφη τετραγωνική κατανομή των συντεταγμένων κυρίως γύρω από το κεντροβαρικό σημείο της κίνησης. Όλα αυτά τα τετραγωνάκια έχουν μήκος πλευράς 1mm η οποία αντιπροσωπεύει την ανάλυση του οργάνου στις καταγεγραμμένες συντεταγμένες, και κατά συνέπεια, η διάταξη αυτή να είναι απόλυτα φυσιολογική και αναμενόμενη.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οριζοντιογραφικά η μέση μετακίνηση της κατασκευής για όλη τη διάρκεια των παρατηρήσεων (Σχήμα 7.6) καθώς και η κίνηση της στις τρεις διαστάσεις ένα τυχαίο χρονικό διάστημα (Σχήμα 7.7).



Σχήμα 7.6 Μέση μετακίνηση της καπνοδόχου σε ολη τη διάρκεια των παρατηρήσεων.

Figure 7.6 Average position of the observed prism during whole day.

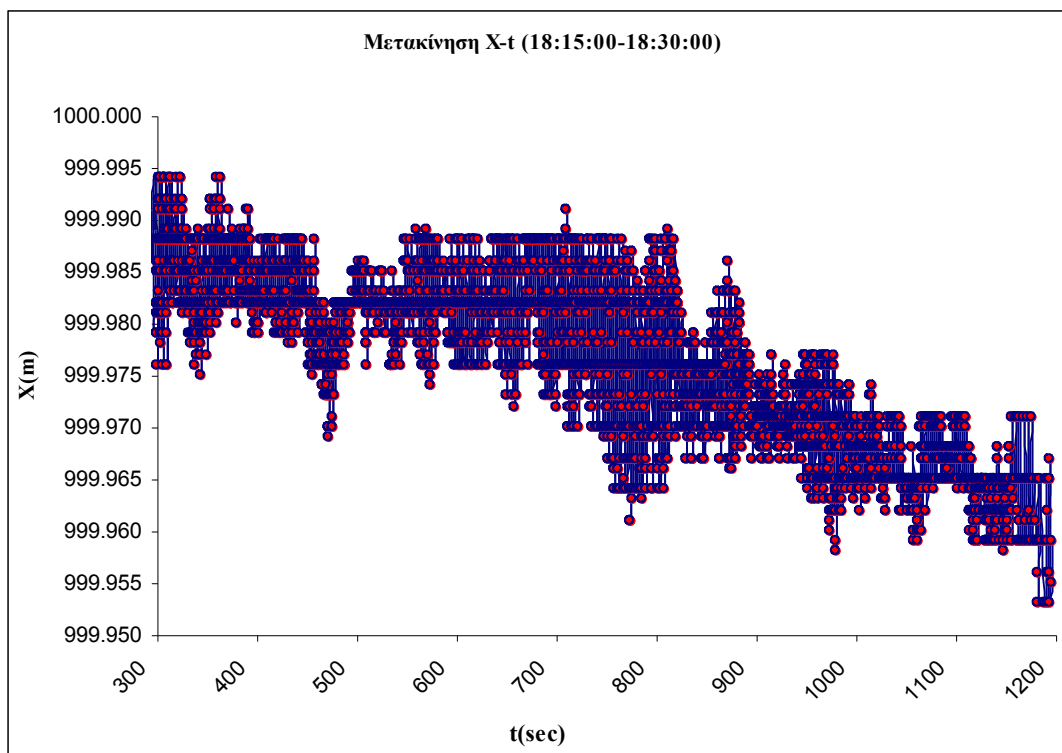


Σχήμα 7.7 Τρισδιάστατη απεικόνιση της κίνησης της καπνοδόχου για τυχαία χρονικό διάστημα.
 Figure 7.7 3-D view of chimney's movement for a time of observation period.

Στο σχήμα 7.6 διακρίνεται χαρακτηριστικά η μετάβαση της ταλάντωσης της κατασκευής από ένα πεδίο τιμών (τετμημένων και τεταγμένων) σε άλλο, ενδεχομένως εξαιτίας μεταβολής της ταχύτητας του άνεμου από κάποιο σημείο και μετά (γύρω μετά τις 17:30:00). Από την τρισδιάστατη απεικόνιση παρατηρείται μια κύρια ταλάντωση κάθετη στον άξονα των τεταγμένων που εκφράζεται από τον συνωστισμό αρκετών σημείων σε συγκεκριμένα εύροι τιμών του y . Ωστόσο η κίνηση της κατασκευής στον κατακόρυφο άξονα βρίσκεται μέσα στο θόρυβο των μετρήσεων.

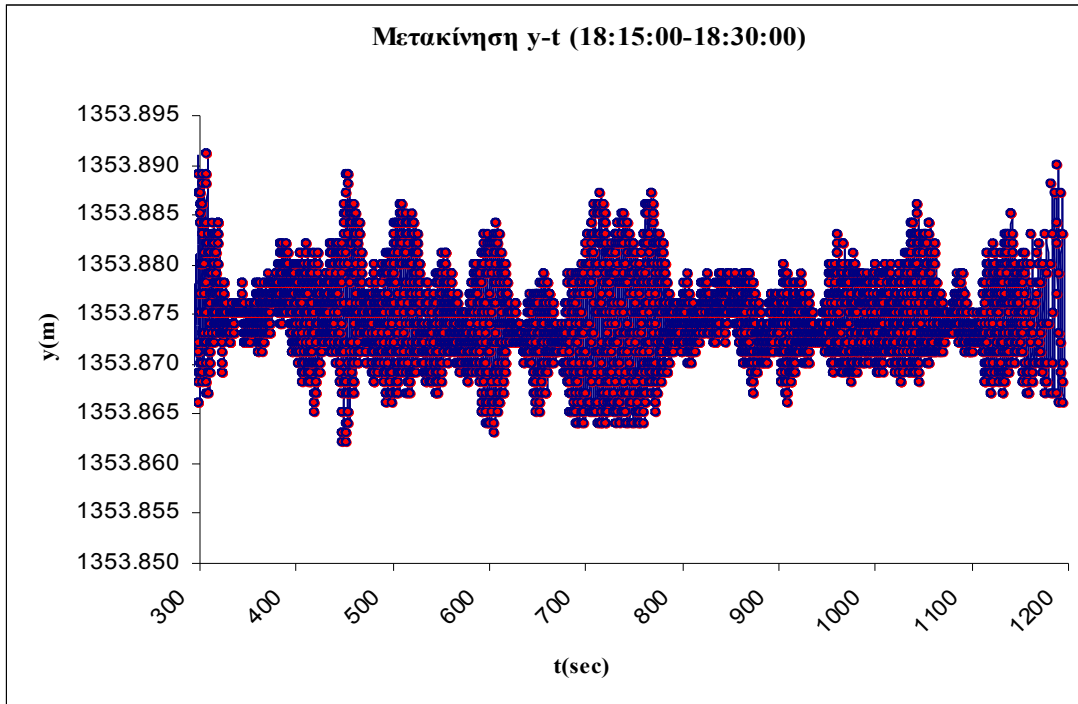
7.3.2 Ανάλυση χρονοσειρών

Η ανάλυση χρονοσειρών των μετρήσεων βοηθάει στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την συμπεριφορά της κατασκευής ως προς το χρόνο μεμονωμένα για κάθε συνιστώσα της κίνησης. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατόν να απομονωθούν τυχόν σφάλματα συστηματικού χαρακτήρα που οφείλονται σε μια συνιστώσα της κίνησης. Όπως στην περίπτωση των διαγραμμάτων οριζοντιογραφίας έτσι και εδώ η ανάλυση πραγματοποιήθηκε για όλες τις ομάδες δεδομένων που συλλέχθηκαν. Κατασκευάστηκαν τριάντα έξι διαγράμματα μετακίνησης τετμημένων, τεταγμένων και υψομέτρου. Ωστόσο, στη συνέχεια παρουσιάζονται τρία από αυτά τα οποία αποτελούν χαρακτηριστικά τμήματα της κίνησης της καπνοδόχου και κατά ένα μεγάλο ποσοστό αντιπροσωπεύουν τη μορφή όλων των υπολοίπων. Αναλυτικότερα, σε ότι αφορά τη μετακίνηση ως προς το χρόνο τόσο κατά τον άξονα X και Y όσο και κατά τον κατακόρυφο άξονα παρουσιάζονται τα διαγράμματα της ομάδας δεδομένων 20 που αντιστοιχεί στη χρονική διάρκεια 18:15:00-18:30:00.



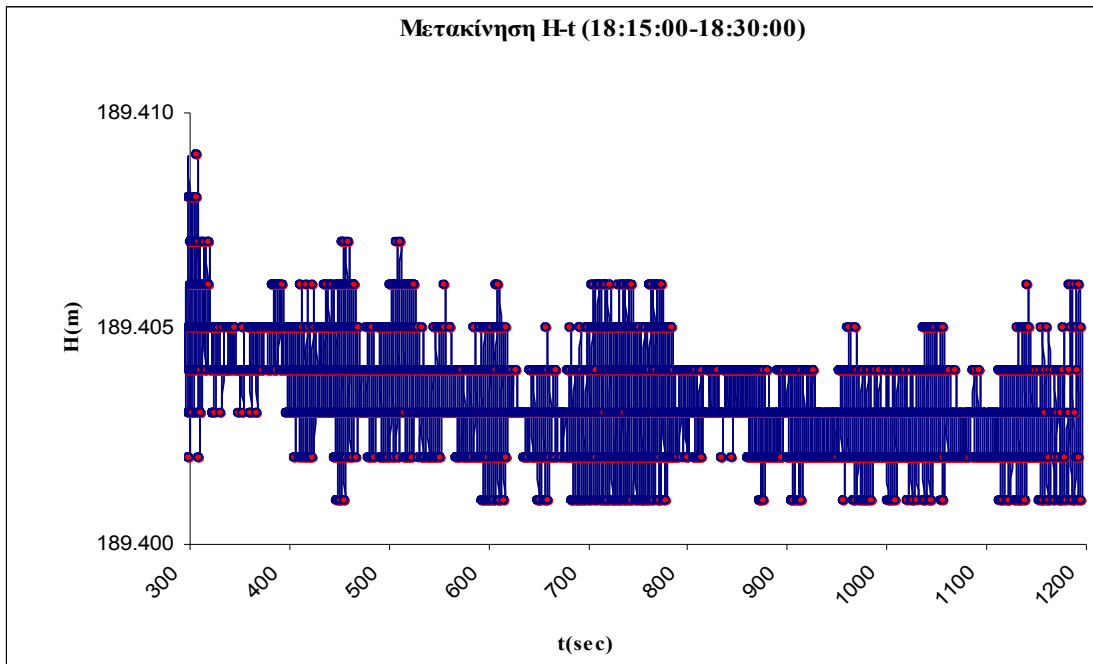
Σχήμα 7.8 (α) Μετακίνηση X-t το διάστημα 18:15:00-18:30:00.

Figure 7.8 (a) X-t diagram during 18:15:00-18:30:00



Σχήμα 7.8 (β) Μετακίνηση Y-t το διάστημα 18:15:00-18:30:00

Figure 7.8 (b) Y-t diagram du ring 18:15:00-18:30:00



Σχήμα 7.8 (γ) Μετακίνηση H-t το διάστημα 18:15:00-18:30:00

Figure 7.8 (c) H-t diagram during 18:15:00-18:30:00

Μελετώντας το διάγραμμα του Σχήματος 7.8 (α) παρατηρείται ένα σημαντικό στοιχείο που αφορά τη θέση της κατασκευής. Αρχικά, στα πρώτα 100 sec της κίνησης διαπιστώνεται ότι το εύρος της ταλάντωσης στον άξονα των τετμημένων κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 999.975 m και 999.995 m. Στη συνέχεια, και στα επόμενα 300-350 sec η ταλάντωση πραγματοποιήθηκε σε ένα αντίστοιχο εύρος οι ακραίες τιμές του οποίου μειώθηκαν κατά 5mm (999.970 m-999.990 m). Τέλος, και στα τελευταία 400-450 sec της κίνησης παρατηρείται μια αύξηση του εύρους ταλάντωσης αλλά εντός ενός ορίου με ακόμη μικρότερες ακραίες τιμές (999.953 m-999.978 m). Γενικά, παρατηρείται μια τάση συνεχούς μείωσης της τιμής της τετμημένης που οφείλεται πιθανόν στην πολύ μικρή αλλά σταδιακή αύξηση του άνεμου (από 12.5 m/sec σε 13.9 m/sec, Βλ. Πιν. 5.3 Κεφ5) το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Στο Σχήμα 7.8 (β) και στο διάγραμμα μετακίνησης y-t παρατηρείται εξίσου ένα φαινόμενο που έχει αρκετά μεγάλη σχέση με τη στιγμιαία μεταβολή της ταχύτητας του άνεμου. Πιο συγκεκριμένα σε αυτή τη διάσταση και καθ' όλη τη διάρκεια των παρατηρήσεων διακρίνονται αρκετά χαρακτηριστικά σημεία έντονης μετατόπισης της καπνοδόχου. Το πρώτο σημείο παρατηρείται στα πρώτα 24 sec μετά την έναρξη λήψης των μετρήσεων ενώ τρία ακόμη εμφανίζονται στα επόμενα 350sec (6min). Τα αυτά 3 σημεία αντιστοιχούν κατά σειρά στις χρονικές στιγμές 18:17:30, 18:18:30 και 18:20:30. Παράλληλα στο ίδιο διάγραμμα παρουσιάζεται μια εκτεταμένη έντονη μετατόπιση που ξεκινά στις 18:22:30. Η συγκεκριμένη μετατόπιση είναι διάρκειας περίπου 100 sec και το εύρος της αγγίζει τα 3 cm, ενώ στη συνέχεια η κατάσταση φαίνεται να ομαλοποιείται.

Συμπερασματικά, η μέγιστη συνολική μετακίνηση στον άξονα των τετμημένων το διάστημα 18:15:00-18:30:00 ανέρχεται στα 4.1 cm και των τεταγμένων στα 3.3 cm.

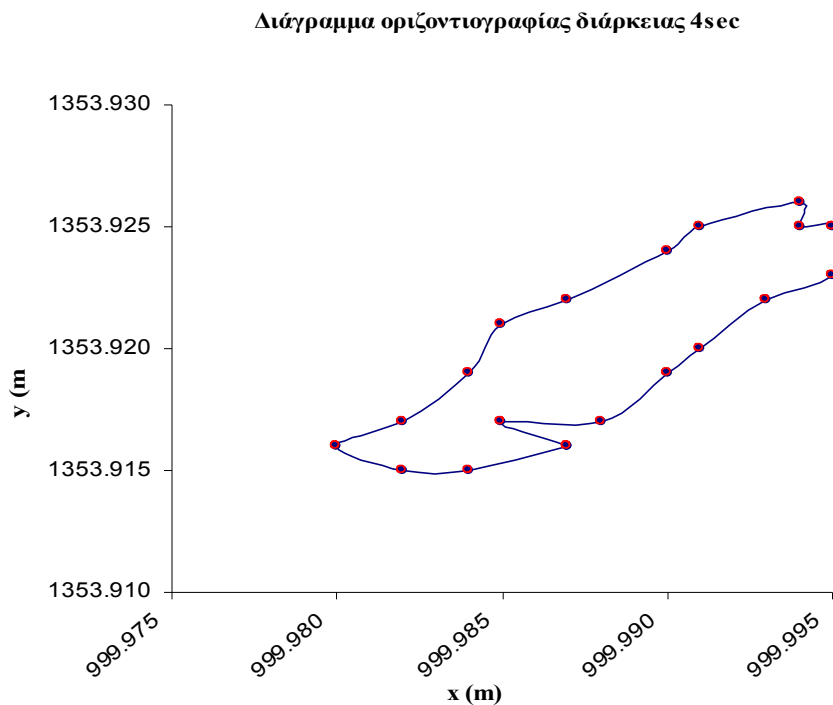
Σε ότι αφορά το διάγραμμα μετακίνησης H-t του Σχήματος 7.8 (γ) δεν παρατηρείται κάτι αξιοσημείωτο πέραν των όσων εκ των πρότερων αναμένονταν κυρίως λόγω της φύσεως της κατασκευής. Διαπιστώνεται ένα πλήθος ομοιόμορφα κατανεμημένων σημείων στο εσωτερικό ενός εύρους 1 cm το μεγαλύτερο μέρος του οποίου δεν αποκλείεται να αντιστοιχεί σε σφάλμα του οργάνου. Το διάγραμμα είναι κατασκευασμένο χωρίς να περιέχει τις συνηθισμένες λανθασμένες τιμές (outliers). Παρόλα αυτά αν και οι λιγοστές τιμές που εμφανίζονται στα υψόμετρα 189.408 m και 189.409 m θεωρηθούν σαν λανθασμένες τότε η μετακίνηση στον κατακόρυφο άξονα φθάνει τα 7mm και κρίνεται απόλυτα φυσιολογική.

7.4 Ανάλυση στο Πεδίο των Συχνοτήτων

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 6, η κίνηση της υψηλής καπνοδόχου αναμένεται να εμφανίζει περιοδικό χαρακτήρα. Η μελέτη των χαρακτηριστικών της ταλάντωσης είναι καθοριστική καθώς παρέχει την αναγκαία πληροφορία για την ανάλυση της δυναμικής συμπεριφοράς της κατασκευής ως προς τη στατική της επάρκεια. Η μελέτη περιοδικότητας της κίνησης γίνεται σε δύο επίπεδα όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια.

7.4.1 Μελέτη της περιοδικότητας της κίνησης από διαγράμματα οριζοντιογραφίας και χρονοσειρών

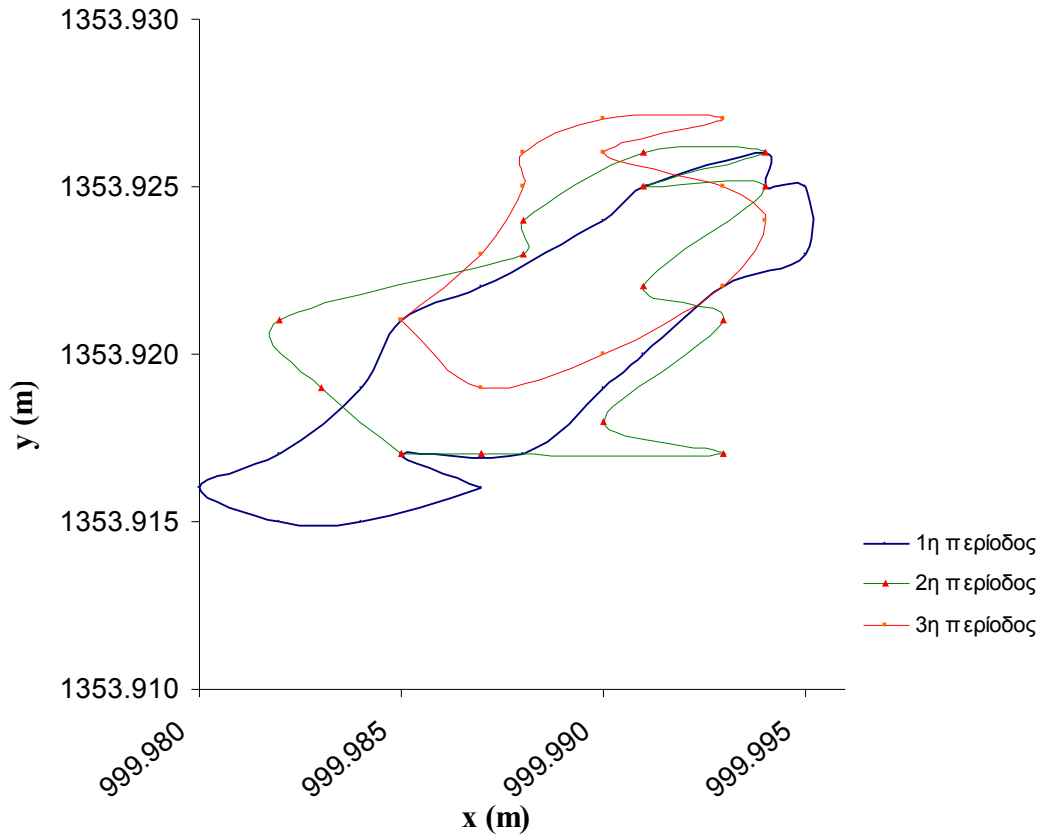
Μια αρχική ένδειξη των χαρακτηριστικών της ταλάντωσης μπορεί να προκύψει από τα διαγράμματα οριζοντιογραφίας. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν διεξοδικά τα διαγράμματα οριζοντιογραφίας της § 7.3.1 και διαπιστώθηκε ότι η κατασκευή διαγράφει την κίνηση που φαίνεται στο Σχήμα 7.9. Προφανώς, η τροχιά της κίνησης μεταβάλλεται με το χρόνο (Σχήμα 7.10). Ωστόσο, η βασική περίοδος κίνησης είναι της τάξης των 4 sec και είναι πρακτικά σταθερή.



Σχήμα 7.9 Διάγραμμα οριζοντιογραφίας 4sec

Figure 7.9 X-Y Diagram during a period of 4sec

Διάγραμμα οριζοντιογραφίας 3 περιόδων



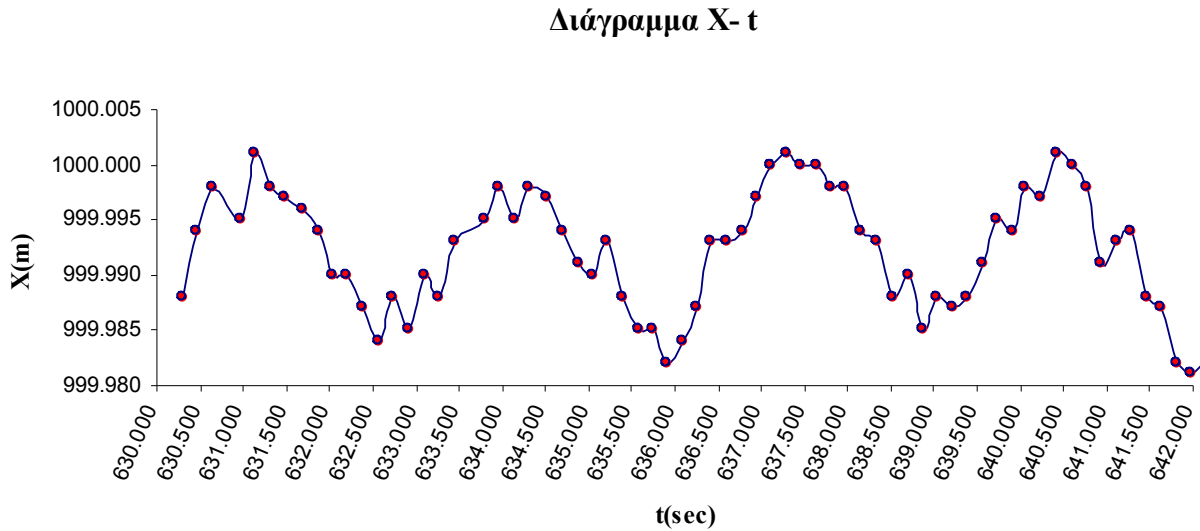
Σχήμα 7.10 Διάγραμμα οριζοντιογραφίας τριών περιόδων 12 sec

Figure7.10 X-Y Diagram of the prism movement for a time period of 12sec

Στο Σχήμα 7.10 παρατηρείται η διαφορετικότητα της τροχιάς της κίνησης της καπνοδόχου για ένα χρονικό διάστημα τριών περιόδων. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι η καπνοδόχος εμφανίζει σταδιακή μείωση του πλάτους ταλάντωσης της τόσο στον άξονα των τεταγμένων όσο και των τεταγμένων.

Στην § 6.2.2 του κεφαλαίου 6 αναφέρθηκε ότι η κίνηση της καπνοδόχου αναμένεται να ακολουθεί μια ημιτονοειδή συνάρτηση της μορφής $y = A \sin(\omega t + \varphi) = A \sin(2\pi f t + \varphi)$. Τα διαγράμματα μετακινήσεων με το χρόνο, είτε αυτά είναι X-t είτε Y-t είτε H-t, μπορούν να επαληθεύσουν αυτή την υπόθεση με

χαρακτηριστικό τρόπο. Απομονώνοντας ένα χρονικό διάστημα ίσο με τρεις φορές την βασική περίοδο T που ανιχνεύθηκε, δηλαδή 12sec, σε μια τυχαία χρονοσειρά τετμημένων (Σχήμα 7.11) διαπιστώνεται το εξής:



Σχήμα 7.11 Διάγραμμα μετακίνησης X-t διάρκειας 12sec

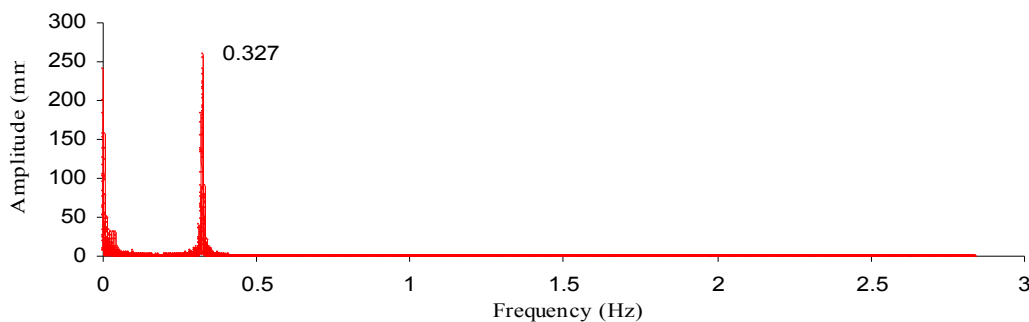
Figure 7.11 X-t diagram during for a time period of 12sec

Αρχικά, αποδεικνύεται το γεγονός ότι η ταλάντωση χαρακτηρίζεται από την ημιτονοειδή μορφή της εξίσωσης που προαναφέρθηκε και αυτό φαίνεται ξεκάθαρα με μια απλή οπτική παρατήρηση. Δεύτερον, κατά τη διάρκεια και των τριών αυτών χρονικών διαστημάτων ξεχωριστά παρατηρείται ένα περίπου σταθερό πλάτος ταλάντωσης και ίσο με 1.5 cm. Παρόλα αυτά σημειώνεται ότι η τιμή της περιόδου που προκύπτει είναι ενδεικτική.

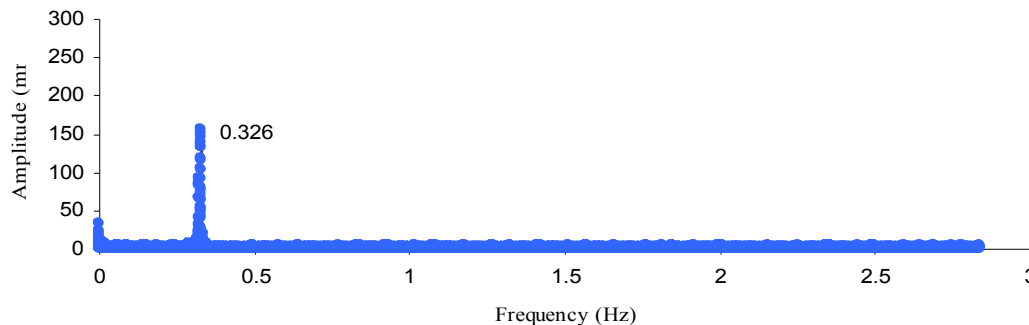
7.4.2 Μελέτη της περιοδικότητας της κίνησης με ανάλυση Fourier

Η ανίχνευση των χαρακτηριστικών της ταλάντωσης της κατασκευής όπως προκύπτει από τη μελέτη διαγραμμάτων οριζοντιογραφίας επιβεβαιώνεται από την εφαρμογή μεθόδου φασματικής ανάλυσης. Σε αυτή την ενότητα η εφαρμογή της μεθόδου στηρίζεται στην ανάλυση Fourier η οποία μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες τεχνικές όπως είναι ο διακριτός ή ταχύς μετασχηματισμός (Κεφ.6 § 6.4.3-6.4.4). Ωστόσο, στα πλαίσια αυτής της εργασίας η φασματική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή του περιοδογράμματος Lomb (Lomb, 1976) (Κεφ. 6 § 6.4.5), δεδομένου ότι τα δεδομένα συλλέχθηκαν με μεταβλητή συχνότητα δειγματοληψίας. Η μέθοδος εφαρμόστηκε για όλες τις ομάδες δεδομένων που κατεγράφησαν. Στα Σχήματα 7.12 και 7.13 παρουσιάζονται ενδεικτικά τα περιοδογράμματα τετμημένων και τεταγμένων για τις ομάδες δεδομένων 6 και 34 που αντιστοιχούν στα χρονικά διαστήματα 13:15:00-13:45:00 και 22:50:00-23:10:00.

ΠΕΡΙΟΔΟΓΡΑΜΜΑ

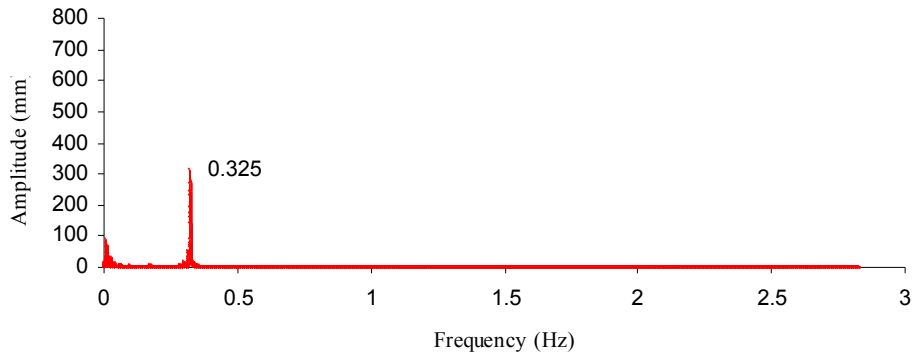


ΠΕΡΙΟΔΟΓΡΑΜΜΑ

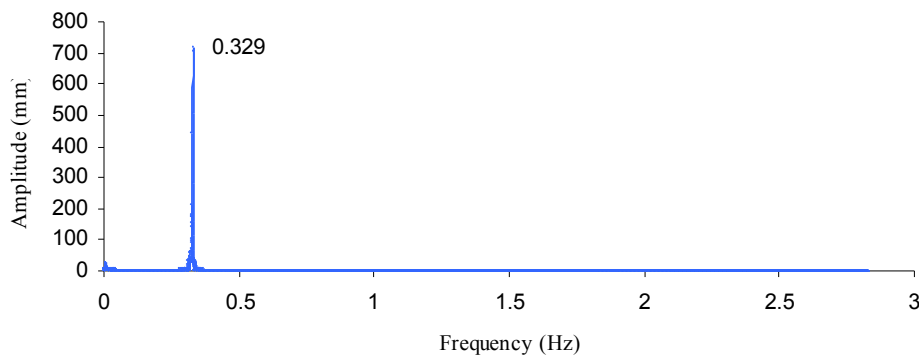


Σχήμα 7.12 Περιοδογράμματα για την συνιστώσα της τετμημένης (α) και της τεταγμένης (β) της ομάδας δεδομένων 6. Figure 7.12 Periodogram of X and Y-coordinates for data set with ID 6.

ΠΕΡΙΟΔΟΓΡΑΜΜΑ



ΠΕΡΙΟΔΟΓΡΑΜΜΑ



Σχήμα 7.13 Περιοδόγραμμα για την συνιστώσα της τετμημένης (α) και της τεταγμένης (β) της ομάδας δεδομένων 34. Figure 7.13 Periodogram of X and Y-coordinates for data set with ID 34.

Από τα αυτά διαγράμματα προκύπτει ότι η βασική συχνότητα ταλάντωσης της καπνοδόχου κυμαίνεται μέσα σε ένα εύρος της τάξης των 0.004 Hz. Η χαμηλότερη τιμή αυτής εντοπίζεται στο περιοδόγραμμα τετμημένων της ομάδας δεδομένων 34 (Σχήμα 7.13 (α)) ενώ η υψηλότερη σε αυτό των τεταγμένων της ίδιας ομάδας. Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα όλων των ομάδων δεδομένων για τα οποία πραγματοποιήθηκε η φασματική ανάλυση προέκυψε το συμπέρασμα ότι η τιμή της κύριας (δεσπόζουσας) συχνότητας ταλάντωσης της καπνοδόχου κυμάνθηκε στα επίπεδα του 0.33 Hz. Αυτή η τιμή συχνότητας ισοδυναμεί με περίοδο κίνησης της κατασκευής ίση προς $T=1/0.33 \approx 3 \text{ sec}$. Συνεπώς, παρατηρείται μια συμφωνία με την περίοδο που διαπιστώθηκε χονδρικά από την μελέτη των

διαγραμμάτων οριζοντιογραφίας (§7.4.1-- $T=4sec$).

Ομάδα	Διάρκεια	Κύρια Συχνότητα	Εύρος ταλάντωσης	Κύρια Συχνότητα	Εύρος ταλάντωσης
		Περιοδογράμματος	κύριας συχνότητας	Περιοδογράμματος	κύριας συχνότητας
δεδομένων		(Hz)	X (cm)	(Hz)	Y (cm)
2	12:15-12:25	0.327	2.990	0.326	1.450
6	13:15-13:45	0.327	2.600	0.326	1.570
11	15:15-15:25	0.326	5.360	0.330	1.408
15	16:20-16:25	0.323	3.810	0.327	1.700
20	18:15-18:30	0.325	1.500	0.325	0.360
25	19:35-19:45	0.327	5.500	0.327	5.250
29	20:45-21:05	0.327	3.220	0.328	8.110
34	22:50-23:10	0.325	3.150	0.329	7.150

Πίνακας 7.4 Κύρια συχνότητα και εύρος ταλάντωσης ορισμένων από τις ομάδες δεδομένων.

Table 7.4 Oscillation frequency and amplitude for certain data sets.

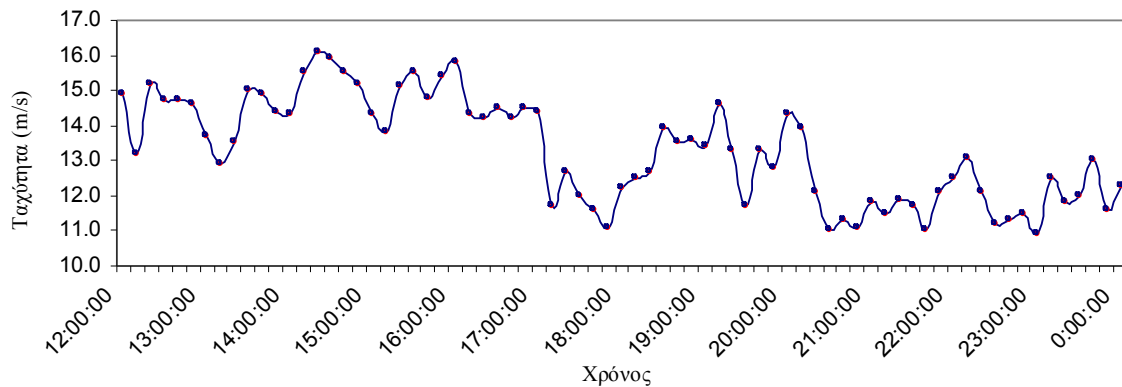
Αναφορικά με το εύρος της ταλάντωσης για πρακτικά σταθερή συχνότητα κίνησης παρατηρήθηκε διακύμανση από 1.0 cm έως 8.2 cm όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 7.4.

Τέλος, σημειώνεται ότι η σταθερή τιμή συχνότητας που προέκυψε από την ανάλυση που προηγήθηκε αποτελεί και θα έπρεπε να αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση κατασκευής της καπνοδόχου. Ταλάντωση σε διαφορετικές τιμές συχνοτήτων κατά τη διάρκεια ενός έντονου φαινομένου ενέχει σοβαρό βαθμό κινδύνου αστοχίας της κατασκευής.

7.5 Συσχέτιση Φαινομένου με άλλα Μεγέθη

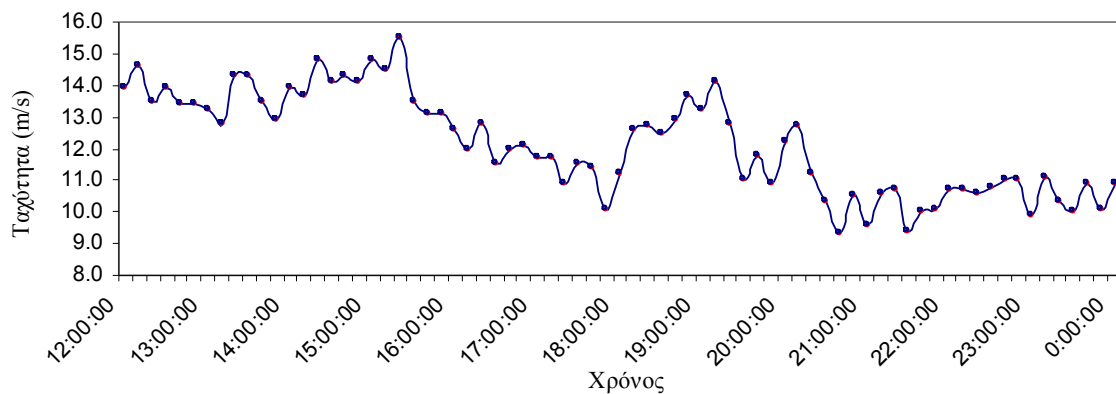
Προκειμένου να εξετασθεί η επίδραση του άνεμου σαν χαρακτηριστικό της κίνησης της καπνοδόχου έγινε προσπάθεια απόκτησης ανεμολογικών δεδομένων από τον υψηλό ιστό που βρίσκεται στο Αιολικό πάρκο του Κ.Α.Π.Ε. (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) στο Λαύριο. Οι σχετικές μετρήσεις προέρχονται από δυο ανεμόμετρα, (Enercon 500 και NEG-Micon 750) τα οποία είναι τοποθετημένα σε ύψος 45 m, και παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.14.

Διάγραμμα Ταχύτητας Ανέμου την 2-10-2007 (Enercon500)



(α)

Διάγραμμα Ταχύτητας Ανέμου την 2-10-2007 (NEG-Micon750)



(β)

Σχήμα 7.14 Δεδομένα ανέμου την 02-10-2007 από τα ανεμόμετρα (α) Enercon500 και (β) NEG-Micon750.

Figure 7.14 02-10-2007 Wind data from anemometers (a) Enercon500 και (b) NEG-Micon750.

Παρατηρώντας τα διαγράμματα του άνεμου διαπιστώνεται μια σχετική συμφωνία των καταγραφών των δυο ανεμόμετρων που συμπεραίνεται από τα εξής:

- το διάστημα 12:00:00-16:00:00 παρατηρείται και από τα δυο μια μεταβολή της ταχύτητας του άνεμου που κυμαίνεται κοντά στα 3 m/s,
- τα ανεμόμετρα Enercon500 και NEG-Micon750 καταγράφουν αρχικά μια σημαντική μείωση της ταχύτητας το διάστημα 16:00:00-18:00:00 και στην συνέχεια μια σταδιακή αύξηση αυτής από τις 18:00:00 έως τις 19:30:00,
- τέλος, και από τις δυο διαπιστώνεται μια μεταβολή της τάξης περίπου των 3.3 m/s στο διάστημα 20:00:00-21:00:00.

Τέλος, η μόνη αξιοσημείωτη διάφορα μεταξύ τους παρουσιάζεται το τρίωρο 21:00:00-00:00:00 εκεί όπου το όργανο NEG-Micon750 δείχνει μια τάση για σταθεροποίηση της ταχύτητας με τη μεταβολή της να κυμαίνεται κοντά στο 1m/s, ενώ το όργανο Enercon500 παρουσιάζει μια σημαντική αυξομείωση της ταχύτητας που αγγίζει μέχρι και τα 3m/s. Συνδυαστική μελέτη των δεδομένων της ταλάντωσης της κατασκευής με τα δεδομένα του άνεμου δεν δείχνουν κάποια εμφανή συσχέτιση μεταξύ τους. Πιθανό αίτιο για αυτή τη συμπεριφορά είναι ότι τα δεδομένα άνεμου έχουν ληφθεί σε μεγάλη απόσταση (λίγων km) από την θέση της καπνοδόχου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

8.1 Γενικά

Στο Κεφάλαιο 8 αναφέρονται τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν τόσο από την επεξεργασία των δεδομένων όσο και από την εργασία στο σύνολό της (σχεδιασμός πειράματος, εργασίες πεδίου κ.τ.λ). Τέλος, με γνώμονα τα συμπεράσματα που προκύπτουν απορρέουν και επισημάνσεις / προτάσεις οι οποίες θα μπορούσαν να εφαρμοσθούν για την περαιτέρω εξέλιξη του αντικειμένου της μελέτης.

8.2 Βασικές Επισημάνσεις – Συμπεράσματα

8.2.2 Αναφορικά με την Μέθοδο Παρακολούθησης του Φαινομένου

Η εφαρμογή της μεθόδου αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου με χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού στην παρούσα εργασία αποδείχθηκε επιτυχής δεδομένου ότι:

- η ακρίβεια προσδιορισμού θέσης (~1 cm) είναι υψηλότερη σε σχέση με το παρατηρούμενο φαινόμενο (μετατοπίσεις της τάξης των 1cm – 8 cm). Το γεγονός αυτό καθιστά την μέθοδο ελκυστική και ανταγωνιστική έναντι μεθόδων που απαιτούν τη χρήση δορυφορικής τεχνολογίας (GPS),
- η συχνότητα δειγματοληψίας της μεθόδου είναι υψηλότερη από την συχνότητα ταλάντωσης της κατασκευής. Με αυτό τον τρόπο καθίσταται δυνατή η παρακολούθηση και αναπαραγωγή του φαινομένου (ισχύς θεωρήματος Nyquist).
- η εφαρμογή της μεθόδου σε κανονικές συνθήκες παρέχει πρωτογενείς μετρήσεις με ιδιαίτερα περιορισμένο αριθμό χονδροειδών σφαλμάτων (~ 1%),
- το σύστημα καταγραφής αποδείχθηκε αξιόπιστο κατά την λειτουργία του στην διάρκεια της ημέρας και νύκτας,
- η εφαρμογή της μεθόδου δεν απαιτεί την τοποθέτηση δαπανηρών εγκαταστάσεων στην κατασκευή. Ειδικότερα, δημιουργείται ανάγκη για την τοποθέτηση ενός κυκλικού, τοπογραφικού πρίσματος (καταφώτου). Η λειτουργία του είναι παθητική – κατά συνέπεια, δεν τίθενται ζητήματα τροφοδοσίας

των οργάνων παρακολούθησης ή μεταφοράς δεδομένων.

Ωστόσο, αποδείχθηκε ότι η εφαρμοζόμενη μέθοδος είναι ευαίσθητη σε συνθήκες έντονου φωτισμού, όταν η θέση του ήλιου βρίσκεται στην διεύθυνση σκόπευσης του καταφώτου – οπότε, προτείνεται να αποφεύγεται η συλλογή μετρήσεων κατά τις αντίστοιχες ώρες.

8.2.3 Αναφορικά με την Δυναμική Συμπεριφορά της Κατασκευής

Από την επεξεργασία των μετρήσεων και την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι:

- τα κινηματικά χαρακτηριστικά της κατασκευής λόγω της επίδρασης του ανέμου εμφανίζουν έντονα περιοδικό χαρακτήρα,
- η βασική συχνότητα ταλάντωσης της κατασκευής υπολογίζεται ίση προς 0.33 Hz με τυπική απόκλιση η οποία δεν υπερβαίνει τα 0.004 Hz. Αυτό το συμπέρασμα είναι ιδιαίτερα σημαντικό για δύο λόγους. Αφενός, επιβεβαιώνεται ότι η συχνότητα ταλάντωσης της υψηλής καπνοδόχου είναι πρακτικά σταθερή, γεγονός που σημαίνει ότι η κατασκευή ανταποκρίνεται θετικά ως προς την στατική της επάρκεια. Αφετέρου, ιδιαίτερη σημασία έχει το γεγονός ότι η συχνότητα ταλάντωσης προσδιορίζεται με ακρίβεια και αξιοπιστία,
- το εύρος της ταλάντωσης κίνησης εξαρτάται κατά μείζονα λόγο από την ένταση και διεύθυνση του ανέμου και κυμαίνεται από 1.0 cm έως 8.0 cm. Κατ' αντιστοιχία με την συχνότητα της ταλάντωσης, η δυνατότητα ακριβούς υπολογισμού του εύρους κίνησης κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική για την μελέτη των χαρακτηριστικών κίνησης της κατασκευής,
- μικρή συσχέτιση του εύρους κίνησης της κατασκευής με τις διακυμάνσεις στην ένταση και διεύθυνση του ανέμου. Το συμπέρασμα αυτό, κατά μείζονα λόγο οφείλεται στο γεγονός ότι τα δεδομένα του ανέμου προέρχονται από τις εγκαταστάσεις του ΚΑΠΕ που βρίσκεται σε απόσταση λίγων χιλιομέτρων από την θέση της κατασκευής. Επιπρόσθετα, τα ανεμολογικά δεδομένα προέρχονται από ιστό συγκριτικά μικρότερου ύψους (~45 m) σε σχέση με τη θέση του καταφώτου (~150 m).

8.3 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Με βάση τα συμπεράσματα που συνοψίζονται στην Ενότητα 8.2, απορρέουν οι εξής προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση του θέματος:

- χρήση εναλλακτικών γεωδαιτικών μεθοδολογιών, οι οποίες στηρίζονται στις αρχές δορυφορικού

εντοπισμού (σύστημα GPS) και αδρανειακού εντοπισμού με σκοπό την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων και την συνδυαστική επεξεργασία των μετρήσεων.

- εκτέλεση παρατηρήσεων για περίοδο τουλάχιστον 24 ωρών – ούτως ώστε να μελετηθεί η συμπεριφορά της κατασκευής κατά την διάρκεια της ημέρας – νύκτας. Η σχετική μελέτη ενδέχεται να δώσει χρήσιμα συμπεράσματα για την περιοδική κίνηση λόγω μεταβολών της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.
- εγκατάσταση ανεμόμετρου στην κατασκευή προκειμένου να προκύψουν αξιόπιστα δεδομένα ανέμου τα οποία θα μπορούσαν να συγκριθούν – συσχετισθούν με τα δεδομένα κίνησης της κατασκευής.

Τέλος, επισημαίνεται η αναγκαιότητα προσομοίωσης και ανάλυσης των χαρακτηριστικών κίνησης της κατασκευής με εφαρμογή μεθόδων αριθμητικής ανάλυσης. Εκτιμάται ότι η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων μπορεί να δώσει αξιόλογα αποτελέσματα τα οποία συγκρινόμενα με αυτά που προκύπτουν από την παρούσα εργασία μπορούν να οδηγήσουν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την συντήρηση υφιστάμενων και τον σχεδιασμό νέων συναφών κατασκευών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

1. Noemi Emanuella Cazzaniga, Livio Pinto DILAR – sez. Rilevamento, Franco Bettinali, Antonella Frigeiro CESI Ricerca S.p.A. : Politecnico di Milano, Milan, Italy – 3rd IAg /12th FIG Symposium, Baden, May 22-24, 2006
2. Emily Cosser ,Gethin W Roberts, Xiaolin Meng, Alan H Dodson: Measuring the dynamic deformation of bridges using a total station- 11th FIG Symposium on Deformation Measurements, Santorini, Greece ,2003
3. Clement Oraga, Chris Rizos, Jingling Wang, James Brownjohn: GPS and Building Monitoring Case Study: Republic Plaza Building, Singapore
4. Vassilis Gikas, Stamatis Daskalakis: Full scale Validation of Tracking Total Stations Using a Long Stroke Electrodynamic Shaker – XXIII International FIG Congress, October 2006, Munich
5. S. Erol, B . Erol, T. Ayan: A General Review Of The Deformation Monitoring Techniques and a Case Study: Analysing Deformations using GPS /Levelling – Commission VII, WG VII/5
6. The Trimble S6 Total Station Brochure 0507: Europe Trimble GmbH Am Prime Parc 11 65479 Raunheim
7. Robert S. Radovanovic, William F. Teskey: Dynamic Monitoring Of Deforming Structures: GPS Versus Rovotic Tacheometry Systems
8. M.Celebi and A. Sanli: GPS Successfully Monitoring Dynamic Response of a Tall Building in San Francisco.

9. Penggen CHENG, China, Wenzhong John SHI ,Wanzing ZHENG , Hong Kong China: Large Structure Health Dynamic Monitoring Using GPS Technology . FIG XXII International Congress Washington , D.C. USA , April 19-26 2002
11. Paolo Casadei and Paul McCombie: University of Bath,UK – Nestore Galati And Antonio Nanni: University of Missouri, USA: NDT Monitoring of Bridges using Innovative High Precision Surveying System
12. University Of Southern Queensland , Faculty of Engineering and Surveying: Testing of Robotic Total Stations for Dynamic Tracking, Chun Siong Chua October,2004
13. Leica TPS1200 Series – TPS1200 Equipment List, Leica Industrial Theodolites and Total Stations, Leica Geosystems Deformation Monitoring – Trusted solutions for monitoring structures, Leica TCA1800-TCA2003-TC2003 Brochure: www.leica-geosystems.com
14. TPS NEWS 2002 Issue 2: Monthly Newsletter on Leica Geosystems TPS, March 4th 2002
15. P. Mendis, T. Ngo, N.Haritos, A. Hira –University of Melbourne, B. Samali- University of Technology Sydney, J. Cheung –Monash University: Wind loading on Tall Buildings *EJSE Special Issue: Loading on Structures (2007)*
16. TS1-Data Processing, Stella Pytharouli, Villy Kontogianni, Panos Psimoulis and Stathis Stiros: Spectral Analysis Techniques in Deformation Analysis Studies
17. Brian D. Srorey, Computing Fourier Series and Power Spectrum with MATLAB

Ελληνική

1. Α. Μπαντέλας, Π. Σαββαΐδης, Ι. Υφαντής, Ι. Δούκας: Τεχνική Γεωδαισία: Σύγχρονα Μετρητικά Συστήματα Και Πεδία Εφαρμογών, Εργαστήριο Γεωδαισίας - Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

2. JGO O.E. – ΑΣΤΡΟΛΑΒΟΣ ΤΕΧΝΙΚΗ Ο.Ε.: Παρακολούθηση Τεχνικών έργων Ortech IRLIS 36D – Polyworks
3. Συμβολή στη Διερεύνηση της Δυνατότητας καταγραφής ταλαντώσεων με τα Γεωδαιτικά Όργανα GPS-RTS: Διατριβή Παναγιώτη Ψιμούλη, Πανεπιστήμιο Πατρών – Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Εργαστήριο Γεωδαισίας και Γεωδαιτικών Εφαρμογών, Πάτρα 2005
4. Μπαλοδήμος, Δ.Δ. (1991). Σημειώσεις τεχνικής Γεωδαισίας, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Τομέας Τοπογραφίας, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.
5. Παραδείσης Δ. , (1992) .The Global Positioning System, Σημειώσεις του μαθήματος «Γεωδαιτικός Εντοπισμός ». Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, Τομέας Τοπογραφίας, ΕΜΠ Αθήνα, Ιανουάριος 2005.
6. Φώτη Μαρία (2001). Η Χρήση του GPS στην Παρακολούθηση του Φέροντα Οργανισμού Γεφυρών, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Τομέας Τοπογραφίας, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.
7. Α. ΣΚΟΔΡΑΣ & Β. ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΣ, Ψηφιακή επεξεργασία σήματος και εικόνας - κεφάλαια 1,2
8. Κ. Κωνσταντίνο Παπαγεωργίου, Τομεάρχη Βελτιώσεως και Τεχνικού Ελέγχου ΑΗΣ Λαυρίου , Προσωπική επικοινωνία.

Διαδίκτυο

1. GeoCom File Import: www.geocom.de
2. <http://www.geodetic.gov.hk/index.htm>
3. <http://www.meteo.gr>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΥ



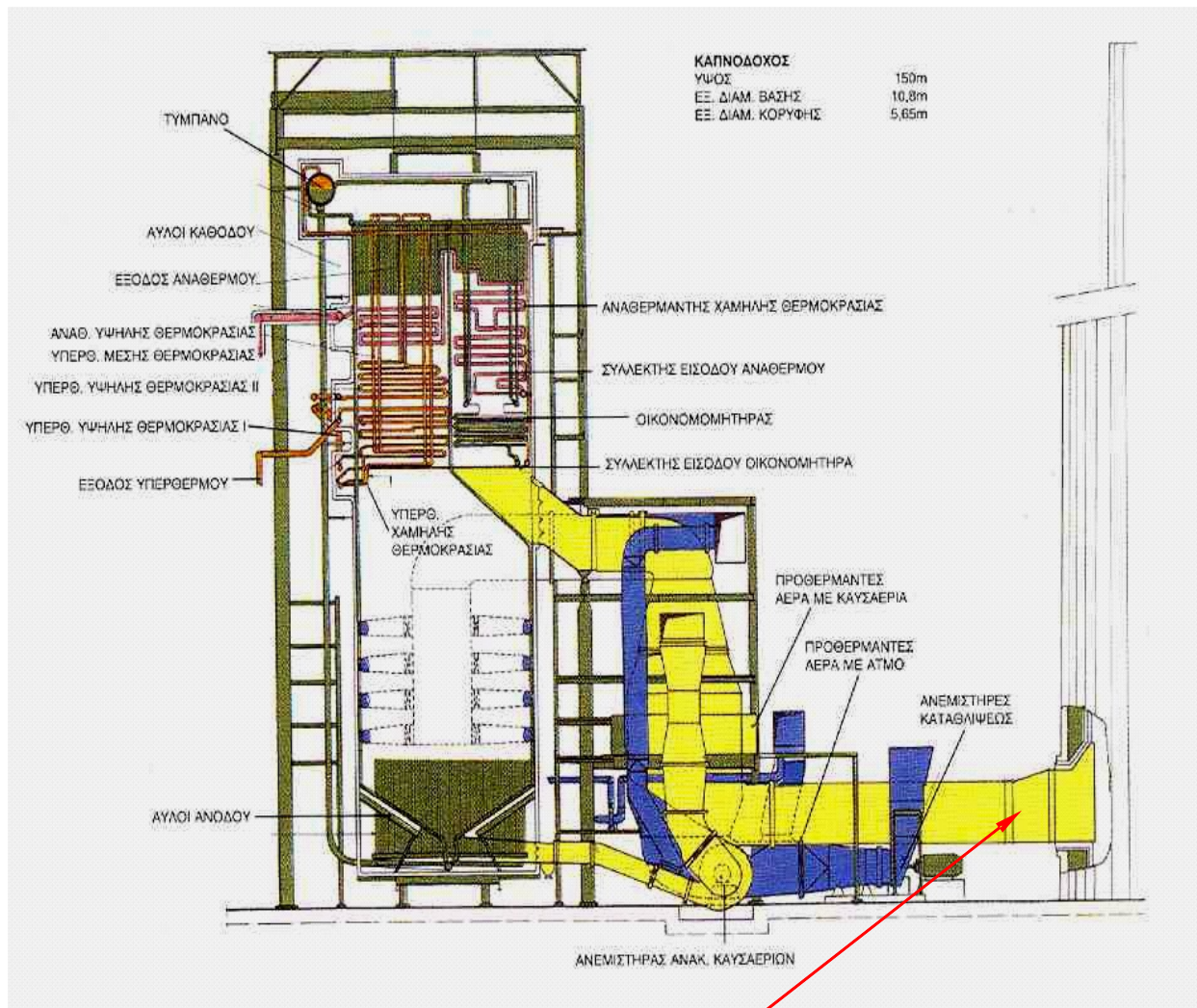
Αεροφωτογραφία τα εγκαταστάσεων του ΑΗΣ Λαυρίου, ΔΕΗ ΑΕ από όπου φαίνονται η θέση στάσης του οργάνου και η θέση του κατόπτρου, καθώς και η μεταξύ τους απόσταση.

Τοπογραφικό Διάγραμμα Σταθμού

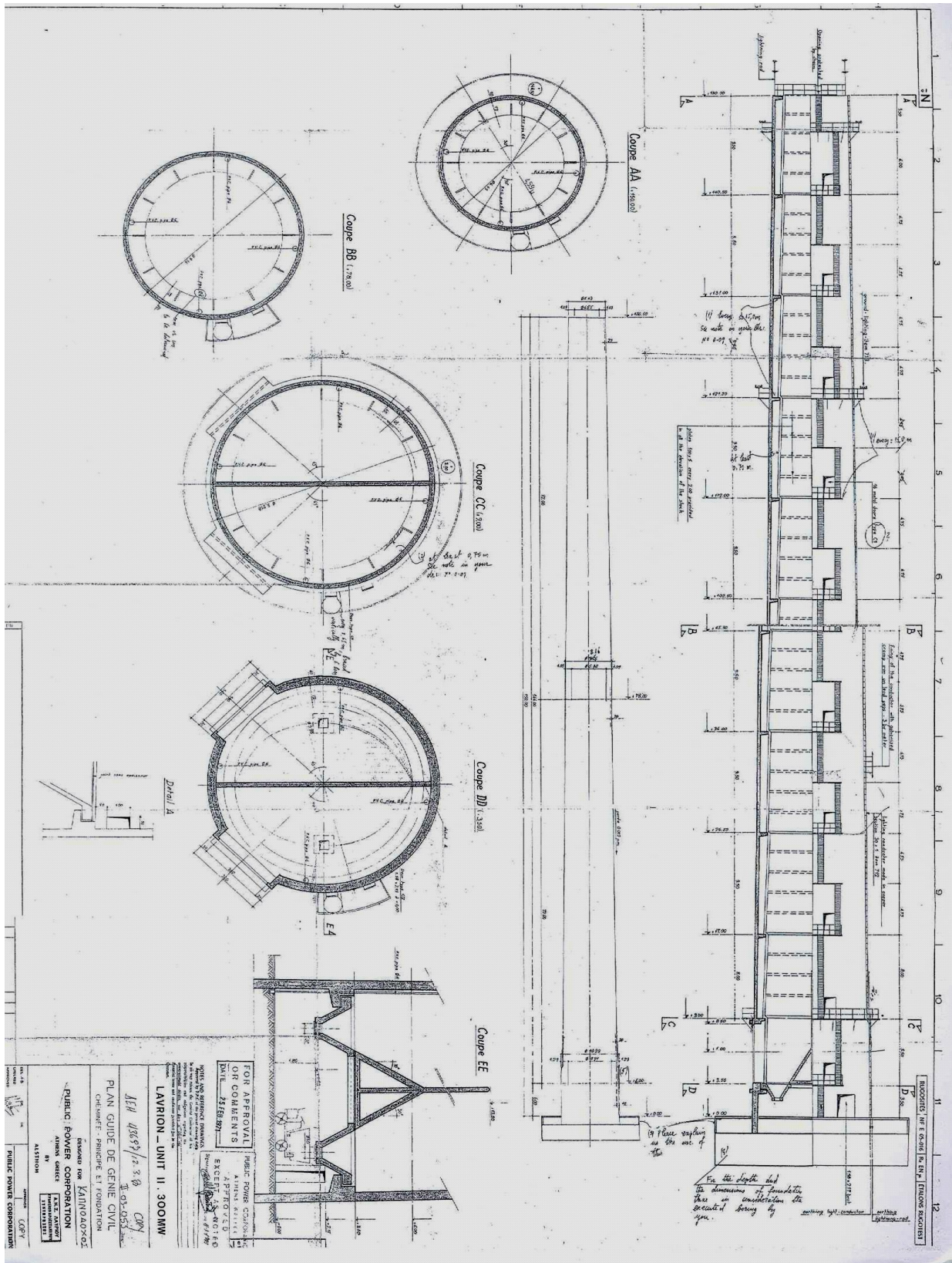
1. Μηχανοστάσιο Μονάδας I
2. Μηχανοστάσιο Μονάδας II
3. Λεβητοστάσιο Μονάδας I
4. Λεβητοστάσιο Μονάδας II
5. Καπνοδόχος Μονάδας I
6. Καπνοδόχος Μονάδας II
7. Ενδιάμεσος σταθμός περιούλλωνής βιομηχανικών αποβλήτων
8. Δεξαμενή (100 m³) και Αντλιοστάσιο Diesel
9. Αεροσυμπιεστές
10. Παραγωγή Υδρογόνου
11. Αντλιοστάσιο Νερού Ψύξης Μονάδων 1, 2, 3 & 4.
12. Ηλεκτρολόγικός χώρος υδροληψίας
13. Χλωριωτές - Δεξαμενές υποχλωριώδους Νατρίου
14. Παραγωγή χλωρίου - Δεξαμενή υποχλωριώδους Νατρίου
15. Κύριοι και Βοηθητικοί ΜΣ Μονάδας I
16. Κύριοι και Βοηθητικοί ΜΣ Μονάδας II
17. Υποσταθμός 150 kV
18. Υποσταθμός 400 kV
19. Υποσταθμός 20 kv τοπικής διανομής
20. Α-ΜΣ 400/150 kV
21. Κτίριο επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων
22. Αποθήκες
23. Κτίριο επεξεργασίας πετρελαίου καύσης
24. Αντλιοστάσιο Πετρελαίου
25. Δεξαμενές Diesel (I, II)
26. Δεξαμενές Μαζούτ (III - VII)
27. Απαχτευτική τάφρος ψυκτικού νερού
28. Διοικητήριο
29. Χώροι υγιεινής - Αποδυτήρια
30. Χημείο
31. Κτίριο αφρατάσεις νερού
32. Αποσπκτήρες θαλασσινού νερού
33. Δεξαμενές νερού
34. Δεξαμενή ασφαλισμένου νερού
35. Κτίριο διύλισης νερού
36. Κτίριο εγκαταστάσεων ασφαλίωσης
37. Αποθήκη
38. Μηχανογείο - Ηλεκτρολογείο
39. Αποθήκη
40. Αποθήκη
41. Συνεργείο Οχημάτων - Αποθήκη
42. Σιλυργείο - Βαρέο
43. Εστιατόριο - Καντίνα
44. Ξενώνας
45. Αποθήκη
46. Αρχαίο Χυτήριο Αργυρούχου Μολύβδου
47. Εγκατάσταση Βιολογικού Καθαρισμού
48. Προβλήτα
49. Δεξαμενές Νερού
50. Κτίριο γραφείων
51. Πάρκιν
52. Κτίριο Είσοδος
53. Αίθουσα Αεριοστρόβιλων Μονάδας IV
54. Αεριοστρόβιλος Νο 1
55. Αεριοστρόβιλος Νο 2
56. Αεριοστρόβιλος Νο 3
57. Κτίριο Ελέγχου Αεριοστρόβιλων
58. Αίθουσα Ατμοστρόβιλου - Μηχανοστάσιο
59. Κτίριο ελέγχου Μονάδας IV
60. Παρακαμψήτριοι Καπνοδόχοι
61. Λεβήτες ανακτήσεως θερμότητας (Α, Β, C)
62. Καπνοδόχοι Λεβητών
63. Κτίριο Γενήτηρας Ανάγκης (Black Start Diesel)
64. Κύριοι και Βοηθητικοί ΜΣ Μονάδας IV
65. Υποσταθμός κλειστού τύπου 400kV (GIS)
66. Αίθουσα Ατμοστρόβιλου - Μηχανοστασίου Μονάδας & Κτίριο Ελέγχου Μονάδας III
67. Λεβήτας Ανακτήσεως Θερμότητας Νο 1, Μονάδας III
68. Καπνοδόχος Λεβητα Νο 1 Μονάδας III
69. Αεριοστρόβιλος Νο 1, Μονάδας III
70. Αεριοστρόβιλος Νο2, Μονάδας III
71. Λεβήτας Ανακτήσεως Θερμότητας Νο 2, Μονάδας III
72. Καπνοδόχος Λεβητα Νο 2, Μονάδας III
73. Κύριοι και Βοηθητικοί ΜΣ Μονάδας III
74. Δεξαμενές Αφραλισμένου νερού
75. Δεξαμενές Diesel και Αντλιοστάσιο Diesel
76. Αντλιοστάσιο νερού αναπήρωσης, Water injection και Αντλίες διαβροχής ΜΣ
77. Αντλιοστάσιο Diesel
78. Κτίριο Μηχανολογικής Συντήρησης
79. Κτίριο σταθμού σύνδεσης με ΔΕΠΑ
80. Σταθμού Υποβιβασμού πίεσης - Μέτρησης Φυσικού Αερίου



Τοπογραφικό Διάγραμμα Σταθμού ΑΗΣ Λαυρίου, ΔΕΗ ΑΕ



Η ειδική σύνδεση της καπνοδόχου της Μονάδος II ΑΗΣ Λαυρίου, ΔΕΗ ΑΕ



Τεχνικά χαρακτηριστικά Καπνοδόχου Μονάδος II ΑΗΣ Λαυρίου, ΔΕΗ ΑΕ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β
ΕΝΤΥΠΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΕΝΤΥΠΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 21-09-2007

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
1	1_1120-1130	11:20	11:30	25,2°C	19,9	Ηλιοφάνεια.
Άλλες παρατηρήσεις						
Πλήθος κάσιων τερπίσεων. 27% (394/1472)						
2	2_1140-1150	11:40	11:50	25,1°C	19,2	Αρχική Νέφωση
Άλλες παρατηρήσεις						
Πλήθος κάσιων περπίσεων. Αλλάξι Η/Υ. 22,8% (750/3286)						
3	3_1200-1210	12:00	12:10	24,8°C	19	Νέφωση
Άλλες παρατηρήσεις						
Αλλάξι Inclination Correction : AUTO → PLANE 248,1% (1573/3272)						
4	4_1220-1230	12:20	12:31	25,6°C	19,4	Αρχική Νέφωση
Άλλες παρατηρήσεις						
Αλλάξι Θέση σε 32400 και 19200 (Com Settings) 97,3%						
5	5_1240-1250	12:40	12:52	25,2°C	20,2	Ηλιοφάνεια
Άλλες παρατηρήσεις						
2 φορές επανεισαγωγή 31%						
6	6_1300-1310	13:00	13:10	24,6°C	20	Αρχική Νέφωση
Άλλες παρατηρήσεις						
96,6%						

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
7	7_1320_1330	13:20	13:30	23,4°C	20,4	Νεφωδη

Άλλες παρατηρήσεις

49,3%

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
8	8_1340_1350	13:40	13:50	25,2°C	20,2	Νέφωδη

Άλλες παρατηρήσεις

96,9% (3303/3410)

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
9	9_1400_1410	14:00	14:10	24,2°C	18,8	Αρκία Νέφωδη

Άλλες παρατηρήσεις

2-3 φορές επικυρωτή.

69,9%

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
10	10_1420_1430	14:20	14:30	25,2°C	19,2	Νεφωδη

Άλλες παρατηρήσεις

2-3 φορές επικυρωτή

17,5% (413/2361)

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
11	11_1435_1440	14:35	14:40	25,0°C	19,2	Ηλιοφάνεια

Άλλες παρατηρήσεις

Κάτι τω εκκίνηση tracking → Μηνύτα: "Notarget detected",

9,9%

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
12	12_1445_1450	14:45	14:50	24,8°C	20,4	Ηλιοφάνεια

Άλλες παρατηρήσεις

1 φορά επικυρωτή. Ξεϊμωσ κατά, χαλάει τμήκ τις 200-250 λεπτά

39,9%

Φύλλο 3

Σημειώσεις
Ημ/μνία: 21 ~~Οκτωβρίου~~ 2007

a/a	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
13	13-1455-1500	14:55	15:00	24,5°C	19,6	Άραια Νέφωση

Άλλες παρατηρήσεις

19,2%

a/a	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
14	14-1505-1510	15:05	15:10	24,2°C	18,8	Άραια Νέφωση

Άλλες παρατηρήσεις

83% (1687/2032)

a/a	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
15	15-1515-1520	15:15	15:20	24,5°C	18,6	Άραια Νέφωση

Άλλες παρατηρήσεις

1 φορά επικίνδυνη
30,6% (492/1611)

a/a	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
16	16-1525-1530	15:25	15:30	25°C	19,0	Ηλιοφάνια

Άλλες παρατηρήσεις

2-3 φορές επικίνδυνη
31,7%

a/a	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
17	17-1535-1540	15:35	15:40	24,8°C	20,0	Ηλιοφάνια

Άλλες παρατηρήσεις

2-3 φορές επικίνδυνη
Μηνύτα "No target detecting", Ποσοστό 15,5%

a/a	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
18	18-1545-1550	15:45	15:50	24°C	11,8	Ηλιοφάνια

Άλλες παρατηρήσεις

26,9%

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
19	19_1555_1600	15:55	15:58	24,0°C	19,6	Άραιη Νέφωση

Άλλες παρατηρήσεις

2-3 φορές επανάληψη → Ξεκινώ κίνηση
 "Run time error 33" // Κλείβω το κεντρικό του αερόσου. 0%
 File already open // ενώ το αρχείο λειτουργεί


α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
20	20_1700_1705	17:00	17:05	23,0°C	19,2	Ηλιοφάνια.

Άλλες παρατηρήσεις

Λογμ επανάληψη του ολου βυθώματος → έγινε αλλαγή στα 19200 bit.
 Καρτεστηρίων → επανάληψη στα 32400 → No target detecting → ERROR → 0%.

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
21	21_1710_1715	17:10	17:15	23,1°C	19	Ηλιοφάνια.

Άλλες παρατηρήσεις

Σφάλμα κλειστή τσικκία → Error 
 23,1%.

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
22	22_1720_1725	17:20	17:25	22,9°C	18,9	Ηλιοφάνια.

Άλλες παρατηρήσεις

Ο ήλιος κερβώς στην εδρία του αερίου καταψύτου → Οπτικό πεδίο 0%
 1,8% (6/329) ERROR (οπω, πιν)

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
23	23_1735_1740	17:35	17:40	20°C	18,5	ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ ΕΝΤΟΝΗ

Άλλες παρατηρήσεις

Ξεκινώ στο 17:32.
 Αδυναμία η οπτική επαφή του καταψύτου 0%

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες

Άλλες παρατηρήσεις

ΕΝΤΥΠΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΡΙΤΗ 02-10-2007

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
	TEST	11:53	11:59	—	—	Ηλιοφάνεια

Άλλες παρατηρήσεις

TEST ελέγχου. Καλή λειτουργία.
86,6%.

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
1*	1-1200-1210	12:00	12:10	23,3 °C	17%	Ηλιοφάνεια.

Άλλες παρατηρήσεις

P=1005,9 mb.
Ποσοστό επιτυχίας 90,7% (2828/3117)

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
2*	2-1215-1225	12:15	12:25	23,1 °C	17%	Ηλιοφάνεια

Άλλες παρατηρήσεις

P=1016,2 mb.
Ποσοστό 91,5% (3021/3303)

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
3*	3-1230-1240	12:30	12:40	23 °C	21%	Ηλιοφάνεια

Άλλες παρατηρήσεις

P=1016,2 mb.
Ποσοστό 87,8% (2995/3412)

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
4*	4-1245-1255	12:45	12:55	22,8 °C	21%	Ηλιοφάνεια.

Άλλες παρατηρήσεις

P=1015,9 mb. 91,3% (2691/2917)
2 φορές επανάληψη λόγω κακής ποιότητας τετρίδων.

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
5*	5-1300-1310	13:00	13:10	24,7 °C	16%	Ηλιοφάνεια.

Άλλες παρατηρήσεις

2 φορές επανάληψη, Αλλαγή θύρας διατήρησης.
P=1015,5 mb. 86,2%.

* Τα αποθηκευτικά αρχεία στο P/C τα α/α από 1-5 έχουν ατομικά αρχεία που ξεκινάει με τον αριθμό 1. και όχι με τον α/α του καλιός λόγω λάθους κατά την αποθήκευση. Είναι η περίπτωση να σωθεί η ύλη των τετρίδων.

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
6	6-1315-1325	13:15	13:45	$\theta_1: 24,8^\circ\text{C}$ $\theta_2: 24,7^\circ\text{C}$	$\gamma_1: 14\%$ $\gamma_2: 18\%$	Ηλιοφάνεια.
Άλλες παρατηρήσεις						
$P_1 = 1015,7 \text{ mb.}$ $P_2 = 1015,4 \text{ mb.}$ // Λογμ κελύ, ποιότητας τυρίδων $98,2\% (10127/10310)$ κριτικα το βετ 30μιν κ'οχι 10μιν.						
7	7-1350-1400	13:50	13:55	—	—	Ηλιοφάνεια
Άλλες παρατηρήσεις						
Δικονημ υπηρκα λομ κελύ ποιότητα τυρίδων. $52,3\% (921/1766)$						
8	8-1400-1410	14:00	14:10	23,4°C	22%	Ηλιοφάνεια.
Άλλες παρατηρήσεις						
$P = 1015,3 \text{ mb.}$ (Αλλαη θεουμ υπηρκα) (1-2 φορες επικυρητη) $96,9\% (3166/3266)$						
9	9-1415-1425	14:15	14:55	$\theta_1: 23,1^\circ\text{C}$ $\theta_2: 22,8^\circ\text{C}$	$\gamma_1: 21\%$ $\gamma_2: 19\%$	Ηλιοφάνεια.
Άλλες παρατηρήσεις						
$P_1 = 1015,1 \text{ mb}$ $P_2 = 1015,3 \text{ mb.}$ $98,5\% (13010/13212)$ (1 φορε επικυρητη) Λομ κελύ ποιότητα κριτικα 40μιν.						
10	10-1500-1510	15:00	15:08	25,7°C	13%	Ηλιοφάνεια.
Άλλες παρατηρήσεις						
$P = 1014,1 \text{ mb.}$ Αλλαη θεουμ υπηρκα. $85,7\% (2401/2873)$ Δικονημ υπηρκα λομ κελύ τυρίδων.						
11	11-1515-1525	15:15	15:24	24,9°	12%	Ηλιοφάνεια.
Άλλες παρατηρήσεις						
$P = 1014,9 \text{ mb.}$ $86,3\% (2324/2693)$						

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
12	12_1530-1540	15:30	15:41	25,2°C	14%	Ηλιοφάνια

Άλλες παρατηρήσεις

Λίθος εκτετατων αποβιόκων, τοσακίο δρόμους ως επί "12-130-1540,,
(3-4 φορές επαναρτη) P = 1014,8 mb. 93,6% (3017/3224)

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
13	13_1550-1600	15:50	16:00	25,1°C	12%	Ηλιοφάνια.

Άλλες παρατηρήσεις

(1-2 φορές επαναρτη) P = 1014,1 mb.
94,1% (2714/3052)

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
14	14_1605-1615	16:05	16:17	25,1°C	14%	Ηλιοφάνια.

Άλλες παρατηρήσεις

P = 1014,2 mb. 94,1% (3814 / 4053)

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
15	15_1620-1630	16:20	16:25	24,3°C	13%	Ηλιοφάνια.

Άλλες παρατηρήσεις

Νωριότερη Δίκτονη λομυ εκών < κτίσεων.
81,4% (1422/1745) P = 1015,0 mb.

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
16	16_1630-1640	16:30	16:34	24,2°C	14%	Ηλιοφάνια

Άλλες παρατηρήσεις

Δίκτονη λομυ χτύπων νοσοσού. 77,1% (1477/1916)
P = 1014,6 mb.

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
17	17_1640-1650	16:40	16:48	24,1°C	15%	ΕΝΤΟΝ Η ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ

Άλλες παρατηρήσεις

Μικρή θολούρα επός τον τυλεσο πόν λομυ Ηλιου.

(4-5 φορές επαναρτη) Πολύ χαμηλό νοσοσού → ΠΙΘΑΝΟ Ν ΛΟΜΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑ
ΕΝΤΟΝΟΥ ΗΛΙΟΥ ΣΤΟΝ ΣΚΟΠΕΥΤΙΚΟ
ΑΦΟΝΑ.

Ποσοσού 34,3% (421/1220)

P = 1015,1 mb

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
18	18_1720_1730	17:20	17:30	23,2°C	15%	ΗΛΙΟΣ ΕΝΤΟΝΟΣ ΚΕΡΙΒΩΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.

Άλλες παρατηρήσεις

Προσπάθεια για λύση τερτίδων με επόμενη των υλιοφάνεια επί της σκοπευτικής οπτικής. Με τη βοήθεια TRACKING → ΜΑΝΥΜΑ "Return Code 18712-Bxd ενσωματωμένων Conditions, ΔΥΣΚΟΛΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ 1/sec.

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες

Άλλες παρατηρήσεις

P: 1014, 2 mb.
38,3% (379/989)

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
19	19_1745_1755	-	-	23,5°C	17%	ΕΝΤΟΝΟΤΑΤΗ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ ΠΑΝΩ

Άλλες παρατηρήσεις

P=1014, 5 mb. Προσπάθειες και κροτυχία τερτίδων χωρίς κατά τη βοήθεια "Set Orientation", → "Return Code 1290: No angle measurement" // Δεν έγινε τερτίδων "Δεν κροτυχίστηκαν ΚΕ στο PC.//

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
** 20	20_1815_1825	18:15	18:30	21,8°C	20%	ΣΤΑΔΙΑΙΑ Η ΥΠΟΚΡΗΣΗ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑΣ

Άλλες παρατηρήσεις

Κλίμα το ε' επάνω από λογιστικά // Μερική υποχώρηση ηλικίας κροτυχίας επί της εκπομπής. // Αλλάζει θετός θερμότητας. P=1015, 5 mb. // 96,9% 15 min διαρκείας λόγω καλής ποιότητας.

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
** 21	21_1835_1845	18:35	18:40	21,7°C	17%	Αίθριος

Άλλες παρατηρήσεις

P=1015, 7 mb. // ΚΑΠΝΟΣ επί της ΣΚΟΠΕΥΣΤΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ Μερική Αδωχία Μεταβίβων 70% (1241/1782) Δίκεση Νωρίτερα λόγω καλής ποιότητας.

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
22	22_1850_1900	18:46	19:00	21,0°C	24%	ΕΡΥΦΙΜΟ ΗΛΙΟΥ Αίθριος.

Άλλες παρατηρήσεις

Επανάληψη λογιστικά ⇒ βόρεια κλίμα κροτυχίας // Αλλάζει πορεία κροτυχίας // Σταδιακή βελτίωση ΑΕΤΩ. P=1015, 2 mb. , 99,5% (4522/4543)

* Κατά τη διάρκεια όλων των βετ των τερτίδων πραγματοποιήθηκε το ε' επί: Εξαρτήσεις εμφάνισης των αυτών οδήγησαν στη τιμή των % επαναλήψ. ** Κατά την επανάληψη των λογιστικών ε' οδήγησαν Χο=1000, Υο=1000 Ηο=0 (καμ οχι 100 όπως πρηνότατα).

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
23	23_1905_1915	19:03	19:15	20,8°C	25%	ΔΥΣΗ ΗΛΙΟΥ ΑΪΘΡΙΟΣ.
Άλλες παρατηρήσεις						
P = 1015,5 mb. Ετακθωνια κελου (Σταρωκί) // 99,5% (3944/3902)						
α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
24	24_1920_1930	19:20	19:30	21,5°C	23%	ΑΪΘΡΟΣ
Άλλες παρατηρήσεις						
P = 1014,8 mb. (ελαφρι σκοταδι) Ετακθωνια κελου // 99,7% (3795/4003)						
α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
25	25_1935_1945	19:33	19:45	21,3°C	21%	ΑΪΘΡΟΣ
Άλλες παρατηρήσεις						
ελαφρι σκοταδι P = 1015,1 mb. Ετακθωνια κελου // 99,6% (3806/3822)						
α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
26	26_1950_2000	19:48	20:00	21,3°C	16%	ΑΪΘΡΟΣ.
Άλλες παρατηρήσεις						
ΣΚΟΤΑΔΙ P: 1015,4 mb. Ετακθ. κελου // 99,4%						
α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
27	27_2005_2015	20:03	20:15	21,4°C	15%	ΣΚΟΤΑΔΙ ΑΪΘΡΟΣ
Άλλες παρατηρήσεις						
P = 1015,5 mb. λιγη αυτηση κελου. 98% (3598/3672)						
α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
28	28_2020_2040	20:20	20:40	21,3°C	10%	ΑΪΘΡΟΣ
Άλλες παρατηρήσεις						
Ελαφρα αυτηση κελου. // P: 1015,4 mb. (ΣΚΟΤΑΔΙ) 99,1% (6846/6909)						

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
29	29_2045_2105	20:45	21:05	21°C	13%	Αίθρας
Άλλες παρατηρήσεις						
P = 1015,5 mb. (Ελευφρά κούνη Αντλ) 99,2% (6656/6710)						
30	30_2110_2130	21:10	21:30	21°C	13%	Αίθρας
Άλλες παρατηρήσεις						
Εταθμοί Αντλ // P = 1015,6 mb. 98,8% (6501/6578)						
31	31_2135_2155	21:35	21:55	21,2°C	14%	Αίθρας
Άλλες παρατηρήσεις						
P = 1015,9 mb. (Αθδμιά Αντλ) 99,2% (6559/6614)						
32	32_2200_2220	22:00	22:20	20,1°C	15%	Αίθρας
Άλλες παρατηρήσεις						
P = 1015,1 mb. // (Αθδμιά Αντλ) 99,5% (6663/6699)						
33	33_2225_2245	22:25	22:45	20,7°C	17%	Αίθρας
Άλλες παρατηρήσεις						
P = 1015,5 mb. Αθδμιά Αντλ 99,5% (6692/6726)						
34	34_2250_2310	22:50	23:10	20,8°C	17%	Αίθρας
Άλλες παρατηρήσεις						
P = 1015,8 mb. (Αθδμιά Αντλ) 98,8% (6522/6605)						

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
35	35_2315-2335	23:15	23:35	20,6°C	17%	Αίθρας

Άλλες παρατηρήσεις

P = 1015,1 mb. (Αόθως, Αν401)
99,4% (6458/6500)

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες
36	36_2340-2400	23:37	24:00	20,7°C	19%	Αίθρας

Άλλες παρατηρήσεις

P = 1014,9 mb. (Αόθως, Αν405)
98,2% (7487/7629)

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες

Άλλες παρατηρήσεις

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες

Άλλες παρατηρήσεις

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες

Άλλες παρατηρήσεις

α/α	Όνομα αρχείου	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Θερμοκρασία (C)	Υγρασία	Ατμοσφαιρικές Συνθήκες

Άλλες παρατηρήσεις

