

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων  
Μηχανικών  
**ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ**



**NATIONAL TECHNICAL**  
**UNIVERSITY OF ATHENS**  
School of Rural & Surveying  
Engineering  
**GEOINFORMATICS**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

POST-GRADUATE PROGRAMME

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ**  
**ΥΨΗΛΟΥ ΠΥΡΓΟΥ / ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΙΣΤΟΥ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**  
**ΕΝΑΝΤΙ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ**  
**ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**



**ΚΑΡΤΕΡΗΣ ΣΑΒΒΑΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΓΚΙΚΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

**ΑΘΗΝΑ 2015**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα αναπληρωτή καθηγητή μου, κύριο Βασίλειο Γκίκα, καταρχάς για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με την εκπόνηση αυτής της πολύ ενδιαφέρουσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, καθώς και για την κατανόηση και την υπομονή του.

Επίσης ευχαριστώ τους υποψήφιους διδάκτορες της ΣΑΤΜ, ΕΜΠ Γιώργο Πηνιώτη και τον Θανάση Μπίμη για τη συνεργασία και την πολύτιμη βοήθεια τους. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλονται στον κ. Ανδρέα Κουστούκη, ηλεκτρονικό της ΕΡΤ για την υποστήριξη της εργασίας σε θέματα της ειδικότητάς του. Την διεύθυνση Τεχνικής υποστήριξης και Υποδομών του Ο.Τ.Ε. και το προσωπικό του πύργου του Ο.Τ.Ε. Γερανείων για την εξυπηρετικότητά τους.

Τέλος για τις απαιτητικές εικοσιτετράωρες μετρήσεις πεδίου ευχαριστώ τους Χρήστο Γούναρη, Γιάννη Στασινό, Γιάννη Παπαγεωργίου, Νίκο Τσερνοτόπουλο, Θάνο Ηλιοδρομίτη, Θάνο Καλλιαμβάκο, και Τάκη Καζαμία για την συμπαράσταση τους, καθώς και την Μαρία Δουμεντζιάνου για την στήριξη και την υπομονή της κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αφορά τον πειραματικό έλεγχο της απόκρισης του υψηλού (88 m) πύργου τηλεπικοινωνιών ΟΤΕ/ΕΡΤ και του αυτοστήρικτου μεταλλικού ιστού έναντι μεταβολών της θερμοκρασίας περιβάλλοντος που βρίσκεται στα Γεράνεια Όρη, Μέγαρα Αττικής .

Η μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς έγινε με γεωδαιτικές μεθόδους και ειδικότερα με τη εφαρμογή της τεχνικής αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου με χρήση σύγχρονου ρομποτικού γεωδαιτικού σταθμού. Χρησιμοποιήθηκαν οι γεωδαιτικοί σταθμοί Leica TCA 1800, Leica TM30 και ο Leica TDA 5005 του Εργαστηρίου Γενικής Γεωδαισίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ.

Λόγω πρακτικών δυσκολιών που οφείλονται στο περιβάλλον και την τοποθεσία της κατασκευής, η πειραματική διαδικασία περιλαμβάνει μετρήσεις σε τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους, μία την καλοκαιρινή περίοδο (Ιούλιος 2014) και μία την χειμερινή περίοδο (Φεβρουάριος 2015) και οι τελικές μετρήσεις που έγιναν το Μάρτιο του 2015. Στην καλοκαιρινή περίοδο χρησιμοποιήθηκε το TM 30 της Leica, σε συνδυασμό με το RTS 1800, ενώ στη δεύτερη σειρά μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το TDA 5005 της ίδιας εταιρείας. Στις μετρήσεις του Μαρτίου χρησιμοποιήθηκε το Leica TM30 σε συνδυασμό με το λογισμικό Geomos.

Στον πύργο είχαν τοποθετηθεί δύο πρίσματα ένα στην οροφή (44 m) του και ένα στην απόληξη του μεταλλικού ιστού (88 m). Επίσης για τον καλύτερο έλεγχο των αποτελεσμάτων, τοποθετήθηκε ένα επιπλέον πρίσμα στη βάση του, στο επίπεδο του εδάφους (0 m). Επιπλέον τοποθετήθηκε μετεωρολογικός σταθμός, οποίος κατέγραφε ανά 5min, θερμοκρασία, ταχύτητα ανέμου, διεύθυνση ανέμου και υγρασία. Οι τιμές των μετατοπίσεων κυμαίνονται σε ένα εύρος 2-3cm για το άνω πρίσμα (απόληξη μεταλλικού ικριώματος), ενώ στο μεσαίο πρίσμα (απόληξη πύργου) παρατηρήθηκε μεγαλύτερη μετατόπιση (0.5cm) εγκάρσια συγκριτικά με την κατά μήκος συνιστώσα. Να σημειωθεί πως το εύρος της μεταβολής της θερμοκρασίας τον Ιούλιο ήταν 16°C (από 15°C έως 31°C), τον Φεβρουάριο ήταν μόλις 4°C (από 0°C έως 4°C), ενώ τον Μάρτιο ήταν 6°C (από 2°C έως 8°C).

## ABSTRACT

In this dissertation thesis we study the movement of the pillar of the high-rise telecommunications tower in Megara Attica under the effect of solar radiation.

The study of the dynamic behavior relied on geodetic techniques, particularly the method of automatic tracking and target recognition applied using robotic total stations (RTS). We used Total Stations Leica RTS 1800, in conjunction with data logging software on PC Leica Tracking Controller v.2.2.3 as well as the Leica TM30 and the Leica TDA 5005 of General Geodesy Laboratory, School of Rural and Surveying Engineering of NTUA. At an experimental stage were undertaken two campaigns, one during the summer period (July 2014), the other during the winter season (February 2015). In summer used the TM 30 of Leica, in conjunction with the RTS 1800, while winter time the Leica Geosystems TDA 5005 was used.

Two topographic, retro-reflective prisms were mounted on the tower, one at the top of it and the second at the top of the metallic antenna fix at the top of the tower at 44m and 88m from ground level respectively. Also, a third prism was placed on a topographic tripod on ground level to allow comparisons with movements on the structure. Moreover a weather station was used to record atmospheric parameters (temperature, wind speed, wind direction and humidity) during the trials.

To study the effect of solar radiation obtained on each prism, a 24 h long measurement campaign was undertaken in July 2014, a 14 h long campaign in February 2015 and a 22 h long one in March 2015. Followed statistical analysis of the measurements and production time series and showed the periodic nature of the movement of the prisms. The displacement values derived vary in a range of 2-3cm on the upper light. Note that the range of temperature change in July was 16 ° C (from 15 ° C to 31 ° C), while February was only 4 ° C (from 0 ° C to 4 ° C), and March was 6 ° C (from 2 ° C to 8 ° C).

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Εισαγωγή.....</b>	<b>9</b>
1.1 Γενικά.....	9
1.2 Αντικείμενο – Στόχοι εργασίας.....	9
1.3 Δομή της εργασίας.....	10
1.4 Είδη παραμορφώσεων.....	12
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Παρακολούθηση της «υγείας» των κατασκευών (SHM).....</b>	<b>13</b>
2.1 Εισαγωγή.....	13
2.2 Αρχές αναγνώρισης βλάβης ή ζημίας και παρεμφερείς μέθοδοι.....	14
2.3 Το στατιστικό μοντέλο αναγνώρισης προτύπων.....	17
2.3.1 Λειτουργική αξιολόγηση.....	17
2.3.2 Συλλογή δεδομένων.....	18
2.3.3 Ανάπτυξη του στατιστικού μοντέλου.....	18
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Μέθοδοι παρακολούθησης τεχνικών έργων.....</b>	<b>20</b>
3.1 Εισαγωγή.....	20
3.2 Έλεγχος συμπεριφοράς.....	20
3.3 Μέθοδοι - Τεχνικές – Όργανα παρακολούθησης.....	22
3.3.1 Τεχνικές πειραματικής μηχανικής.....	22
3.3.1α Επιταχυνσιόμετρα .....	22
3.3.1β Οπτικές Ίνες .....	23
3.3.2 Τοπογραφικές μέθοδοι.....	24
3.4 GPS και παρακολούθηση των κατασκευών.....	24
3.5 Γεωδαιτικοί σταθμοί αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου.....	26
3.5.1 Αρχές λειτουργίας.....	26
3.5.2 Σφάλματα.....	26

3.6 Παράδειγμα: Ο πύργος τηλεόρασης της Στουτγάρδης, μετακινήσεις της κορυφής του που προκαλούνται από ήλιο κι άνεμο.....	27
3.6.1 Γενικά.....	27
3.6.2 Μέθοδος που εφαρμόστηκε.....	30
3.6.3 Ημερήσια κίνηση του πύργου οφειλόμενη σε ηλιακή ακτινοβολία και μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα.....	31
3.6.4 Επιρροή του ανέμου.....	32
3.6.5 Εποχική κίνηση που οφείλεται στην ηλιακή ακτινοβολία και την διαφοροποίηση της θερμοκρασίας του αέρα.....	34
3.6.6 Συμπεράσματα.....	36

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Περιγραφή κύριου και βοηθητικού εξοπλισμού.....37**

4.1 Ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός Leica – Geosystems TCA 1800.....	37
4.1.1 Γενικά.....	37
4.1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	38
4.2 Λογισμικό καταγραφής.....	41
4.3 Ο Γεωδαιτικός σταθμός Leica TM30.....	42
4.3.1 Η λειτουργία ATR.....	43
4.4 Ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TDA 5005.....	44
4.5 Το λογισμικό GeoMOS.....	47

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Κατασκευή μελέτης και μετρήσεις πεδίου.....49**

5.1 Αρχικός σχεδιασμός.....	49
5.1.1 Μεθοδολογία εργασίας (αιτιολόγηση επιλογής).....	49
5.1.1.α Γενικά για τον πύργο του ΟΤΕ/ΕΡΤ.....	49
5.1.1.β Τεχνικά & Δομικά χαρακτηριστικά του πύργου.....	52
5.1.2 Καιρικές συνθήκες.....	53
5.1.3 Επιλογή θέσεων παρατήρησης .....	54
5.2 Προγραμματισμός.....	59

5.2.1 Προβλεπόμενες μέρες εργασίας.....	59
5.2.2 Όργανα – παρελκόμενα.....	60
5.3 Υλοποίηση μετρήσεων.....	61
5.3.1 Διαδικασία μετρήσεων.....	62
5.3.2 Μετεωρολογικές συνθήκες).....	64
5.3.3 Προβλήματα – Δυσκολίες.....	66
5.4 Πρωτογενή δεδομένα.....	67
5.5 Μετρήσεις με το GeoMOS.....	69

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Μελέτη κινηματικής συμπεριφοράς έναντι της Ηλιακής δραστηριότητας.....71**

6.1 Γενικά.....	71
6.1.1 Μετασχηματισμός συστήματος συντεταγμένων.....	72
6.2 Πορεία και ακτινοβολία του ήλιου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.....	73
6.3 Μετεωρολογικές συνθήκες.....	78
6.4 Συνοπτική παρουσίαση αποτελεσμάτων πρόδρομων μελετών.....	81
6.5 Οριστική Μελέτη, τρίτη σειρά μετρήσεων (3/3/2015).....	83
6.5.1 Χρονοσειρές πρωτογενών μετρήσεων.....	83
6.5.2 Οριζοντιογραφίες πρωτογενών μετρήσεων.....	91
6.5.3 Χρονοσειρές ανηγμένων μετρήσεων.....	92

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Συμπεράσματα – Προτάσεις.....97**

7.1 Γενικά.....	97
7.2 Συμπεριφορά έναντι των θερμοκρασιακών μεταβολών.....	97
7.3 Προτάσεις.....	98

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....100**

### **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

α) Ευρετήριο Σχημάτων.....	102
β) Ευρετήριο Πινάκων.....	105

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή**

## **1.1 Γενικά**

Η ανάπτυξη νέων μεθόδων παρακολούθησης τεχνικών έργων, σε συνδυασμό με την αλματώδη ανάπτυξη και εξέλιξη των γεωδαιτικών συμβατικών και δορυφορικών οργάνων, έχουν σαν αποτέλεσμα την ανίχνευση μετατοπίσεων και ταλαντώσεων με μεγάλες ακρίβειες.

Αν και η πιο διαδεδομένη παρακολούθηση υψηλών κατασκευών και γενικότερα τεχνικών έργων, γίνεται με τη χρησιμοποίηση δορυφορικών συστημάτων GPS, διαπιστώνεται πως σταδιακά, κερδίζουν έδαφος, 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).

Οι Γεωδαιτικοί σταθμοί, οι οποίοι κάνουν αυτόματη αναγνώριση και παρακολούθηση στόχου, έχουν δυνατότητα ανίχνευσης μετατοπίσεων υψηλών κατασκευών, καθώς και υψηλών και εύκαμπτων κατασκευών με συχνότητα καταγραφής έως και 10 Hz. Επίσης γεωδαιτικοί σταθμοί αυτής της κατηγορίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές δυναμικής παρακολούθησης, όπου συχνότητα ταλάντωσης είναι της τάξης 0.5 Hz και μικρότερη.

## **1.2 Αντικείμενο – Στόχοι εργασίας**

Η παρούσα εργασία, πραγματεύεται τον έλεγχο της δυναμικής συμπεριφοράς ψηλών κατασκευών, εξαιτίας της επίδρασης του ήλιου, με κλασική γεωδαιτική μέθοδο παρακολούθησης, αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου. Εξετάζουμε την απόκριση της κατασκευής έναντι θερμοκρασιακών μεταβολών σε εικοσιτετράωρη βάση.



Η εφαρμογή της μελέτης αυτής έγινε στον πύργο του ΟΤΕ στα Γεράνια Όρη, Βορειοδυτικά της πόλης των Μεγάρων. Ο εν λόγω πύργος τηλεπικοινωνιών του ΟΤΕ, είναι μια στιβαρή κατασκευή από μπετόν (οπλισμένο σκυρόδεμα), και στην κορυφή του έχει δικτύωμα της ελληνικής δημόσιας τηλεόρασης, όπου το συνολικό ύψος της κατασκευής φτάνει τα ενενήντα μέτρα.

Η εργασία αυτή επικεντρώνεται λοιπόν, στη μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς της παραπάνω κατασκευής, κάτω από περιβαλλοντικές φορτίσεις. Πρωτίστως υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου και δευτερευόντως υπό την επίδραση του ανέμου. Επίσης θα εξετασθεί η δυνατότητα εφαρμογής των μεθόδων και θα προσδιοριστούν οι τυχόν περιορισμοί.

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. Καθώς και το κατά πόσο αποτέλεσε η εφαρμοσθείσα μέθοδος, ένα οικονομικό εργαλείο για την δυναμική παρακολούθηση της κατασκευής.

### **1.3 Δομή της εργασίας**

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από επτά 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. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με τον έλεγχο της «υγείας» των κατασκευών, (Structural Health Monitoring) Αναφέρονται αρχές αναγνώρισης βλάβης με τη μέθοδο SHM καθώς και στοιχεία για το στατιστικό μοντέλο αναγνώρισης προτύπων.

Το Κεφάλαιο 3 αναφέρεται σε μεθόδους παρακολούθησης τεχνικών έργων, γίνεται μια αναφορά στα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. Επίσης παρουσιάζεται και ένα παράδειγμα από την παρακολούθηση μετακινήσεων λόγω περιβαλλοντικών φορτίσεων, στον πύργο τηλεόρασης της Στουτγάρδης στην Γερμανία.

Στο Κεφάλαιο 4, αναλύονται τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις, καθώς και ο τρόπος λειτουργίας τους. Αναφέρονται τα TCA 1800 της Leica και τα TM30 και TDA5005 της ίδιας εταιρείας.

Στο Κεφάλαιο 5, γίνεται αναφορά στην μελέτη περίπτωσης, που είναι ο πύργος του ΟΤΕ/ΕΡΤ στα Γεράνεια όρη των Μεγάρων και αναλύεται ο προγραμματισμός και οι προπαρασκευαστικές εργασίες των μετρήσεων.



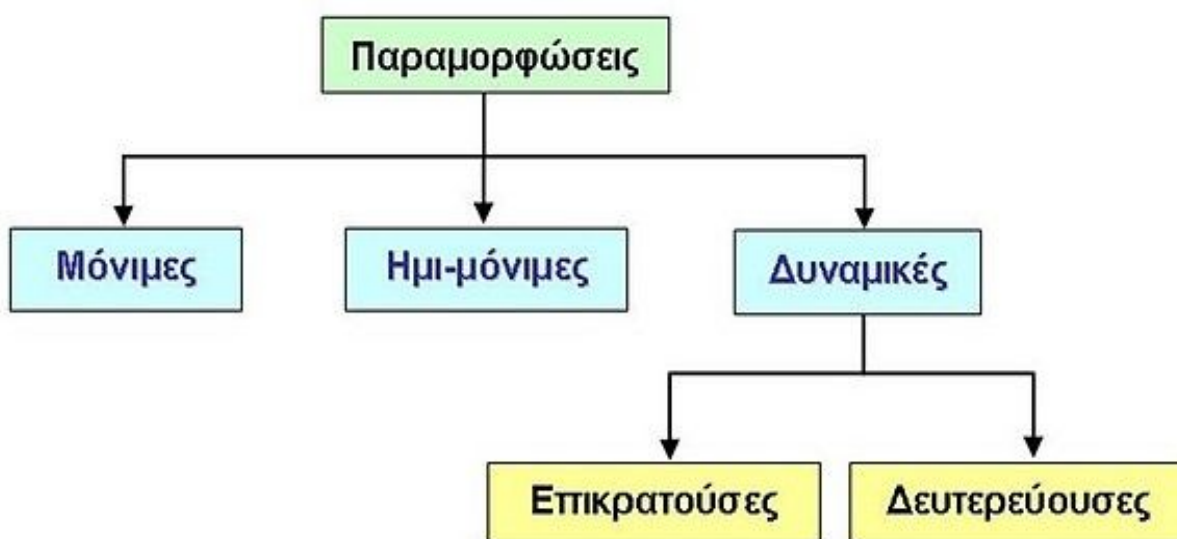
*Σχήμα.1 – Ο πύργος ΟΤΕ/ΕΡΤ στα Γεράνεια Όρη*

Στο Κεφάλαιο 6, γίνεται η μελέτη της κινηματικής συμπεριφοράς της κατασκευής έναντι της ηλιακής δραστηριότητας και έναντι του ανέμου. Αναλύονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων και παρουσιάζονται οι αντίστοιχες χρονοσειρές και διαγράμματα οριζοντιογραφίας για τους τρεις στόχους.

Τέλος στο Κεφάλαιο 7 αναφέρονται συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία και κατατίθενται προτάσεις.

## 1.4 Είδη παραμορφώσεων

Κάθε κατασκευή υπόκειται στην επίδραση εξωτερικών παραγόντων φόρτισης που οφείλονται κυρίως στη δύναμη του ανέμου, τις μεταβολές τις θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και τη σεισμική δράση. Τα φορτία αυτά, ανάλογα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τον τρόπο έδρασης και τα υλικά της κατασκευής έχουν ως αποτέλεσμα τη γένεση παραμορφώσεων, οι οποίες είναι συνδυασμός μόνιμων, ημι-μόνιμων και δυναμικών συνιστωσών.



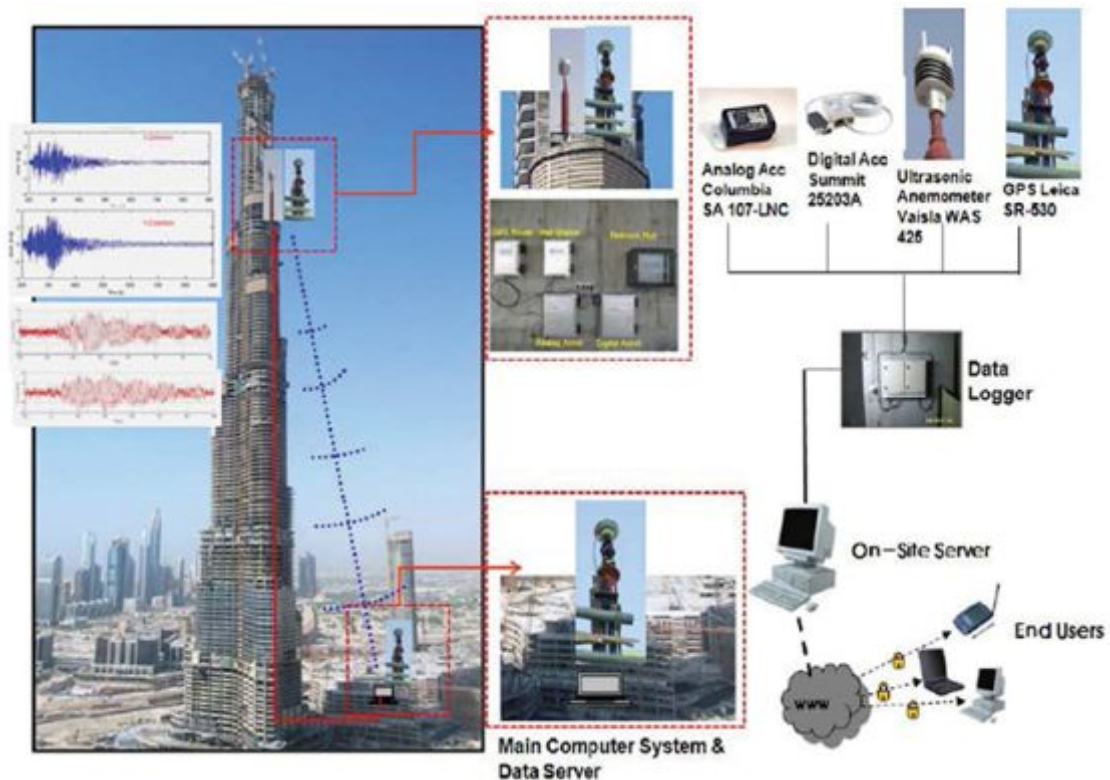
*Σχήμα2. - Είδη παραμορφώσεων μεταλλικών κατασκευών (πηγή:www.google.gr :paramorfwseis kataskewn/imagess)*

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Παρακολούθηση της «υγείας» των κατασκευών (SHM)**

### **2.1 Εισαγωγή**

Μία κατασκευή μπορεί να υποστεί απότομα μόνιμες παραμορφώσεις (π.χ. λόγω σεισμικής δράσης) οι οποίες ενδέχεται να έχουν ουσιαστική επίδραση στην στατική της επάρκεια. Αντίθετα, οι συνιστώσες παραμόρφωσης ημι-μόνιμου και δυναμικού χαρακτήρα προκαλούνται από μικρό-μεταβολές της γεωμετρίας της κατασκευής, οι οποίες συνίστανται σε παροδική στατική μετατόπιση τμήματος της κατασκευής συνήθως προς μία κατεύθυνση και ταλάντωση γύρω από μια μέση θέση. Οι παραμορφώσεις αυτές, εφόσον βρίσκονται εντός των ορίων μελέτης, είναι αναμενόμενες και επιθυμητές και είναι το αποτέλεσμα της απορρόφησης της ενέργειας των μεταβαλλόμενων εξωτερικών φορτίσεων (π.χ. της δράσης του ανέμου). Ειδικότερα, η ημι-μόνιμη (ή ημι-στατική) συνιστώσα παραμόρφωσης εκφράζει τη μέση εκτροπή από τη θέση ηρεμίας της κατασκευής για ένα χρονικό διάστημα και σχετίζεται με μια σταθερή συνιστώσα φόρτισης μεγάλης περιόδου. Αντίθετα, η δυναμική συνιστώσα αναφέρεται στις αποκρίσεις της κατασκευής με τη μορφή ταλαντώσεων και συχνότητες κοντά στην ιδιοσυχνότητά της κατασκευής και μπορεί να διακριθεί περαιτέρω σε επικρατούσες και δευτερεύουσες συνιστώσες. Η επικρατούσες συνιστώσες σχετίζονται με την απόκριση της κατασκευής κοντά στην κύρια συχνότητα ταλάντωσης, ενώ οι δευτερεύουσες εκφράζουν ένα πλήθος συχνοτήτων απορρόφησης και λαμβάνουν εν γένει μικρότερες τιμές από την τιμή της ιδιοσυχνότητας .

Η διαδικασία εφαρμογής μιας στρατηγικής αναγνώρισης βλαβών για την βιομηχανία, ή τα μεγάλα έργα υποδομής και τις μεγάλες κατασκευές αναφέρεται ως δομική παρακολούθηση της υγείας των κατασκευών, (SHM). Σαν ζημίες ορίζονται οι αλλαγές στο υλικό που έχουν σαν συνέπεια τις αλλαγές στις γεωμετρικές ιδιότητες των συστημάτων αυτών, συμπεριλαμβανομένων των αλλαγών στη συνδεσιμότητα του συστήματος, οι οποίες επηρεάζουν αρνητικά την απόδοση του συστήματος. Μια μεγάλη ποικιλία από εξαιρετικά αποτελεσματικά εργαλεία αξιολόγησης είναι



Σχήμα.3 – Μέθοδος SHM σε ψηλή κατασκευή

διαθέσιμα για την παρακολούθηση αυτή. Ωστόσο, η πλειοψηφία της έρευνας SHM που διεξάγεται τα τελευταία 30 χρόνια έχει προσπαθήσει να εντοπίσει τη ζημία στις δομές σε μια πιο παγκόσμια βάση. Τα τελευταία 10 χρόνια παρατηρείται μια ραγδαία αύξηση στην ποσότητα των ερευνών σχετικών με SHM όπως μετράται από τη σημαντική κλιμάκωση σε έγγραφα που δημοσιεύονται σε αυτό το θέμα. Το αυξημένο ενδιαφέρον για SHM και η σχετική δυναμική για σημαντικά οφέλη για τη ζωή της ασφάλειας και των οικονομικών έχει ως κίνητρο την ανάγκη για αυτό το θέμα.

## 2.2 Αρχές αναγνώρισης βλάβης ή ζημίας και παρεμφερείς μέθοδοι

Σε πιο γενικούς όρους, η ζημία μπορεί να οριστεί σαν «οι αλλαγές που εισήχθησαν μέσα σε ένα σύστημα που επηρεάζουν αρνητικά την τρέχουσα ή μελλοντική επίδοση του» (Worden & Dulieu-Barton 2004).

. Εξυπακούεται ότι σε αυτόν τον ορισμό η έννοια ζημία δεν έχει νόημα χωρίς μια σύγκριση ανάμεσα σε δύο διαφορετικές καταστάσεις του συστήματος, ένα από τα οποία θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει την αρχική, και συχνά ακέραια, κατάσταση. Αυτό το θέμα εστιάζεται στη μελέτη της αναγνώρισης βλάβης σε **δομικά** και **μηχανικά** συστήματα. Ως εκ τούτου, ο ορισμός των ζημιών θα πρέπει να περιορίζεται στις αλλαγές στο υλικό ή / και γεωμετρικές ιδιότητες των συστημάτων αυτών, συμπεριλαμβανομένων των αλλαγών στις οριακές συνθήκες και τη συνδεσιμότητα του συστήματος, οι οποίες επηρεάζουν αρνητικά την τρέχουσα ή μελλοντική απόδοση των συστημάτων αυτών.

Όσον αφορά τις κλίμακες διάρκειας, όλες οι ζημιές αρχίζουν στο επίπεδο του υλικού. Αν και δεν είναι κατ' ανάγκη μια καθολικά αποδεκτή ορολογία, η ζημία αυτή αναφέρεται ως ελάττωμα και είναι παρούσα σε κάποιο βαθμό σε όλα τα υλικά. Σύμφωνα με τα κατάλληλα σενάρια φόρτισης, τα ελαττώματα ή οι ατέλειες μεγαλώνουν και συγχωνεύονται σε διάφορα ποσοστά προκαλώντας συστατικές και στη συνέχεια ζημιές σε επίπεδο συστήματος. Ο όρος βλάβη δεν συνεπάγεται απαραίτητα και ολική απώλεια της λειτουργικότητας του συστήματος, αλλά μάλλον ότι το σύστημα δεν λειτουργεί πλέον με το βέλτιστο τρόπο του. Καθώς η ζημία μεγαλώνει, φθάνουμε σε ένα σημείο όπου επηρεάζεται η λειτουργία του συστήματος τόσο που δεν είναι πλέον αποδεκτή από το χρήστη. Αυτό το σημείο αναφέρεται ως αστοχία. Σε όρους χρονικών κλιμάκων, η ζημία μπορεί να συσσωρευτεί σταδιακά επί μακρές χρονικές περιόδους, όπως αυτή που σχετίζεται με τη συσσώρευση στην κόπωση ή διάβρωση.

Η διαδικασία εφαρμογής μιας στρατηγικής αναγνώρισης βλάβης για την αεροδιαστημική βιομηχανία, σε έργα πολιτικού μηχανικού και έργων υποδομής

αναφέρεται ως δομική παρακολούθηση της υγείας της κατασκευής (SHM). Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την παρατήρηση μιας δομής ή ενός μηχανικού συστήματος με την πάροδο του χρόνου, χρησιμοποιώντας μετρήσεις σε περιοδικά διαστήματα, την εξόρυξη χαρακτηριστικών ευαίσθητων σε ζημιές από αυτές τις μετρήσεις και τη στατιστική ανάλυση αυτών των χαρακτηριστικών για να προσδιοριστεί η τρέχουσα κατάσταση της υγείας του συστήματος. Για μακροχρόνια SHM, το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι περιοδικά ενημερωμένες πληροφορίες σχετικά με την ικανότητα της κατασκευής να συνεχίσει να επιτελεί την προβλεπόμενη λειτουργία της υπό το φως της αναπόφευκτης γήρανσης και των ζημιών που προκύπτουν από τη συσσώρευση των επιχειρησιακό περιβάλλον. Σύμφωνα με μια ακραία περίπτωση, όπως ένας σεισμός ή απρόβλεπτων έκρηξη φόρτωσης, SHM χρησιμοποιείται για την ταχεία εξέταση της κατάστασης. Αυτή η εξέταση έχει ως στόχο να παρέχει, σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, αξιόπιστες πληροφορίες σχετικά με τις επιδόσεις του συστήματος κατά τη διάρκεια τέτοιων ακραίων γεγονότων και την επακόλουθη ακεραιότητα του συστήματος. Μια πιο λεπτομερής περιγραφή του SHM μπορεί να βρεθεί στους Worden & Dulieu-Barton (2004).

Αναγνώριση ζημίας πραγματοποιείται σε συνεργασία με πέντε συναφείς αρχές που περιλαμβάνουν SHM, παρακολούθηση της κατάστασης (CM, Bentley & Hatch 2003), μη καταστρεπτική αξιολόγηση (MKE, Shull 2002), στατιστικός έλεγχος διεργασίας (SPC, Montgomery 1997) και την πρόγνωση βλάβης (DP, η οποία συνοψίζεται σε αυτό το θέμα στο Farrar & Lieven (2007), βλ. επίσης Farrar et al (2003). Συνήθως, η μέθοδος SHM σχετίζεται με την online-παγκόσμια αναγνώριση βλαβών σε δομικά συστήματα, όπως αεροσκάφη και κτίρια.



**Σχήμα.4** – εφαρμογές παλμικών αισθητήρων για την παρακολούθηση της υγείας κατασκευών

## **2.3 Το στατιστικό μοντέλο αναγνώρισης προτύπων**

Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους μπορεί κανείς να οργανώσει μια μέθοδο SHM. Ένας από αυτούς και ο πιο διαδεδομένος, διαχωρίζει την διαδικασία SHM σε τέσσερα στάδια που αφορούν την κατασκευή. Τα στάδια αυτά είναι τα κάτωθι:

- Λειτουργική αξιολόγηση.
- Η συλλογή δεδομένων, η στατιστική κανονικοποίηση τους και ο καθαρισμός τους (απαλοιφή ακραίων τιμών κτλ.)
- Επιλογή χαρακτηριστικών και συμπύκνωση των πληροφοριών.
- Δημιουργία μοντέλου ανάπτυξης στατιστικών στοιχείων.

### **2.3.1 Λειτουργική αξιολόγηση**

Η Λειτουργική αξιολόγηση επιχειρεί να απαντήσει σε τέσσερα ερωτήματα σχετικά με την εφαρμογή της ικανότητας αναγνώρισης βλάβης.

- α. Ποιος ο ρόλος της ασφάλειας και της οικονομίας για την εκτέλεση SHM;
- β. Πώς ορίζεται η ζημία για το σύστημα που ερευνάται και, για πολλαπλές δυνατότητες ζημίας, οποίες περιπτώσεις είναι οι πιο σημαντικές;
- γ. Ποιες είναι οι προϋποθέσεις, τόσο λειτουργικά όσο και του περιβάλλοντος, σύμφωνα με την οποία το σύστημα πρέπει να παρακολουθείται;
- δ. Ποιοι είναι οι περιορισμοί σχετικά με την απόκτηση των δεδομένων στο λειτουργικό περιβάλλον;

Η λειτουργική αξιολόγηση αρχίζει να θέτει τα όρια για το τι θα πρέπει να παρακολουθείται και με ποιον τρόπο θα επιτευχθεί η παρακολούθηση. Η αξιολόγηση αυτή αρχίζει να προσαρμόζει την διαδικασία αναγνώρισης βλάβης στα χαρακτηριστικά που είναι μοναδικά για το σύστημα που παρακολουθείται και προσπαθεί να επωφεληθεί από τα μοναδικά χαρακτηριστικά της ζημίας που πρόκειται να ανιχνευθεί.



### **2.3.2 Συλλογή δεδομένων**

Το τμήμα συλλογής δεδομένων της διαδικασίας SHM περιλαμβάνει την επιλογή των μεθόδων διέγερσης ή μέτρησης, τους τύπους αισθητήρων, αριθμό και θέσεις, καθώς και την απόκτηση δεδομένων / αποθήκευση / υλικό διαβίβασης. Σε μεγάλα έργα βέβαια οι οικονομικές εκτιμήσεις θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη λήψη αυτών των αποφάσεων. Το διάστημα στο οποίο θα πρέπει να συλλέγονται τα δεδομένα είναι άλλος ένας παράγοντας που πρέπει να συνυπολογιστεί. Δεδομένου ότι τα στοιχεία μπορεί να μετρηθούν υπό ποικίλες συνθήκες, η ικανότητα για την κανονικοποίηση των δεδομένων γίνεται πολύ σημαντική για τη διαδικασία αναγνώρισης βλάβης ή γενικότερα της συμπεριφοράς. Η διαδικασία καθαρισμού των δεδομένων γίνεται συνήθως με βάση τη γνώση που αποκτήθηκε από τα άτομα που εμπλέκονται άμεσα με την απόκτηση στοιχείων.

### **2.3.3 Ανάπτυξη του στατιστικού μοντέλου**

Το τμήμα της διαδικασίας του SHM που έχει λάβει την ελάχιστη προσοχή στην τεχνική βιβλιογραφία είναι η ανάπτυξη στατιστικών μοντέλων για την διάκριση μεταξύ των χαρακτηριστικών των ακέραιων και των «επιβαρυσμένων κατασκευών». Το στατιστικό μοντέλο ανάπτυξης ασχολείται με την εφαρμογή των αλγορίθμων που λειτουργούν στα επιμέρους χαρακτηριστικά για να ποσοτικοποιηθεί η κατάσταση βλάβης της κατασκευής. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη στατιστικού μοντέλου συνήθως εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες. Στην «κατάσταση εποπτευόμενης μάθησης», στην οποία είναι διαθέσιμα δεδομένα τόσο από την άθικτη όσο και την κατεστραμμένα δομή. Στην «μηχανική μάθηση» όπου γίνεται ή ομαδική ταξινόμηση και η ανάλυση παλινδρόμησης και στην «μάθηση χωρίς επίβλεψη» όπου αναφέρεται σε αλγορίθμους που εφαρμόζονται σε δεδομένα που δεν περιέχουν παραδείγματα από την κατεστραμμένη δομή. Όλοι οι αλγόριθμοι αναλύουν στατιστικές κατανομές των μετρούμενων στοιχείων οι οποίες ενισχύουν τη διαδικασία της αναγνώρισης της βλάβης.

Η κατάσταση βλάβης του συστήματος μπορεί να περιγραφεί με μια διαδικασία πέντε βημάτων. Τα πέντε αυτά βήματα τίθενται με την μορφή ερωτημάτων προς απάντηση και είναι τα κάτωθι:

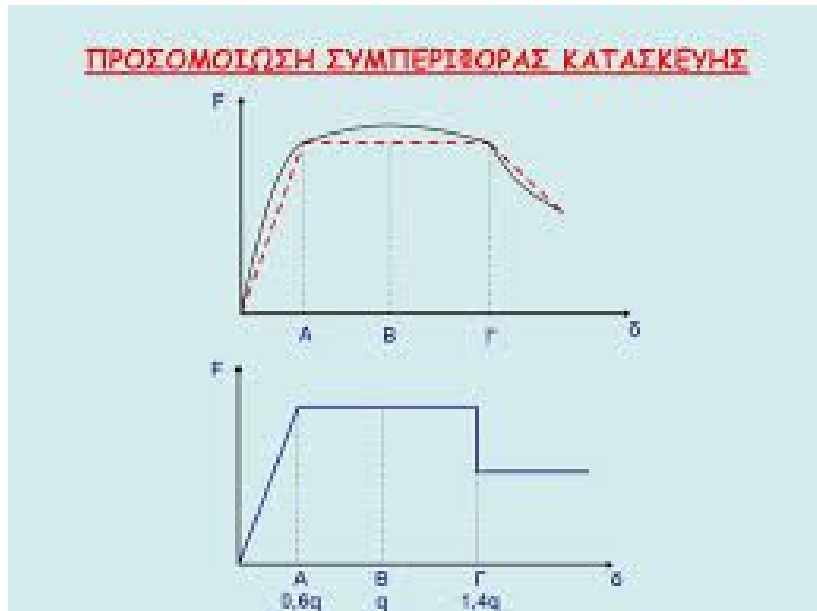
- α. Ύπαρξη. Υπάρχει βλάβη στο σύστημα;
- β. Θέση. Πού είναι η βλάβη στο σύστημα;
- γ. Τύπος. Τι είδους ζημιά είναι;
- δ. Έκταση. Πόσο σοβαρή είναι η ζημιά;
- ε. Πρόγνωση. Πόσο ωφέλιμη ζωή παραμένει;

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Μέθοδοι παρακολούθησης τεχνικών έργων

### 3.1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο 3 δίνονται οι βασικές αρχές, οι μέθοδοι, τα όργανα και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της δυναμικής συμπεριφοράς τεχνικών έργων. Επίσης έμφαση δίνεται και στους γεωδαιτικούς σταθμούς αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου καθώς και στη μέθοδο αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να γίνει η παρακολούθηση της στατικής και δυναμικής συμπεριφοράς του πύργου του ΟΤΕ/ΕΡΤ στην περιοχή των Γερανείων. Επίσης παρατίθεται ένα παράδειγμα παρακολούθησης που έγινε σε πύργο στην Γερμανία.

### 3.2 Έλεγχος δυναμικής συμπεριφοράς



Σχήμα.5 – προσομοίωση συμπεριφοράς

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, λόγω του κακού σχεδιασμού ή συσσώρευσης μικρών παραμορφώσεων που είχαν ή θα μπορούσαν να είχαν ανιχνευτεί και αντιμετωπιστεί έγκαιρα. 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.

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

- α) τη μελέτη των ταλαντώσεων των κατασκευών λόγω δυναμικών φορτίων που οφείλονται σε περιβαλλοντικές φορτίσεις
- β) τον προσδιορισμό των δυναμικών χαρακτηριστικών των κατασκευών (κυρίως ιδιοσυχνότητες και εύρος ταλάντωσης) για να προσδιοριστεί κατά πόσον έγινε εφαρμογή της μελέτης κατασκευής ή υπήρχαν αποκλίσεις από αυτή.

### **3.3 Μέθοδοι - Τεχνικές – Όργανα παρακολούθησης**

Οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί με στοιχεία αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά από την εταιρεία Geodimeter το 1990. Χαρακτηριστικό των οργάνων αυτής της γενιάς είναι ότι για πρώτη φορά συνδύασαν ένα σύνολο σερβομηχανισμών και εξελιγμένων αισθητήρων, οι οποίοι επέτρεψαν στους γεωδαιτικούς σταθμούς, να ανιχνεύουν και να παρακολουθούν αυτόνομα έναν στόχο σε κίνηση. Η βασική αρχή μέτρησης και καταγραφής των γωνιών και μηκών, είναι ίδια με αυτή για τους κοινούς γεωδαιτικούς σταθμούς. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι υπάρχει η δυνατότητα αυτόνομης κίνησης του συστήματος παρατήρησης του οργάνου κατά τον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα. Παράλληλα η εφαρμογή τεχνικών ασύρματης τεχνολογίας, επιτρέπει τον πλήρη χειρισμό του οργάνου εξ'αποστάσεως καθιστώντας το πλέον ρομποτικό (Robotic Total Station). Το χαρακτηριστικό αυτό ενίσχυσε σημαντικά την χρήση των γεωδαιτικών σταθμών σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών, τόσο στην κατασκευή και παρακολούθηση τεχνικών έργων, καθώς και σε άλλους τομείς όπως οι γεωργικές εφαρμογές (καθοδήγηση αγροτικών μηχανημάτων).

#### **3.3.1 Τεχνικές πειραματικής μηχανικής**

##### **3.3.1α Επιταχυνσιόμετρα**

Τα επιταχυνσιόμετρα, είναι μικρές (λίγα cm ή μικρότερες) ηλεκτρο-μηχανικές συσκευές, οι οποίες όπως δηλώνει και η ονομασία τους, μετρούν επιταχύνσεις σε έναν, δύο ή τρεις άξονες. Η λειτουργία τους βασίζεται στην αρχή της αδράνειας, ειδικότερα στη μεταβολή της θέσης μιας μάζας που βρίσκεται στο εσωτερικό τους κατά την εμφάνιση επιτάχυνσης. Η μεταβολή αυτή μετράται από ειδικούς, κατάλληλα βαθμονομημένους, ηλεκτρονικούς αισθητήρες και μετατρέπεται σε μονάδες επιτάχυνσης. Τα επιταχυνσιόμετρα συναντώνται σε πολλές μορφές ανάλογα την τεχνολογία κατασκευής τους (οπτικά, πιεζοηλεκτρικά, θερμικά, μαγνητικά, laser κ.α.), και η χρήση τους είναι ευρεία σε πολλές εφαρμογές.

Όσον αφορά την παρακολούθηση των τεχνικών έργων, υπάρχει δυνατότητα τοποθέτησης πλήθους επιταχυνσιομέτρων, σταθερά επάνω στην κατασκευή που μελετάται, σχηματίζοντας ουσιαστικά ένα δίκτυο και εξάγονται αποτελέσματα για μικροδονήσεις και επιταχύνσεις της κατασκευής.

### 3.3.1β Συστήματα οπτικών ινών

Οι αισθητήρες οπτικών ινών χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση μεταβολών κάποιας ποσότητας, όπως θερμοκρασία, μηχανική καταπόνηση, δονήσεις, επιταχύνσεις, πίεση κλπ. Η αρχή λειτουργίας τους, βασίζεται στην εκπομπή μιας ακτίνας laser μέσω της οπτικής ίνας που τοποθετείται στο αντικείμενο προς μελέτη. Η αλλαγή των χαρακτηριστικών της ακτίνας μετράται από έναν ευαίσθητο αισθητήρα και τα αποτελέσματα μετά από τις κατάλληλες μετατροπές, δίνουν τα επιθυμητά μεγέθη. Το κυριότερο πλεονέκτημα των αισθητήρων οπτικών ινών, είναι ότι εγγενώς δεν αλληλεπιδρούν με ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, κάτι το οποίο εφιστά δυνατή τη χρήση τους σε περιβάλλοντα υψηλής τάσης, εύφλεκτα περιβάλλοντα, θέσεις ευαίσθητες σε ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές, κ.α. Άλλα πλεονεκτήματα, είναι η μη διαβρωσιμότητα του υλικού κατασκευής τους από οξέα και το μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας τους, σε σύγκριση με άλλου τύπου ηλεκτρονικούς αισθητήρες και όργανα.



*Σχήμα.6 οπτικές ίνες, χρησιμοποιούμενες από την υπηρεσία συντήρησης μνημείων.*

### 3.3.2 Τοπογραφικές μέθοδοι

Οι νέες σύγχρονες σειρές γεωδαιτικών οργάνων, συνδυάζουν συμβατικούς γεωδαιτικούς σταθμούς με την τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών σε μια ενιαία πλατφόρμα. Το λειτουργικό περιβάλλον έχει αλλάξει και εμφανίζεται, είτε με την μορφή «παραθυρικού» περιβάλλοντος είτε άλλου λογισμικού. Το οποίο παρέχει τα πλεονεκτήματα του 'PC' interface, και των συστημάτων αφής.

Επίσης στα νέα όργανα έχει αυξηθεί η δυνατότητα μέτρησης απόστασης χωρίς πρίσμα αλλά και η ακρίβεια τους. Επιπλέον έχουν δυνατότητες συνεχόμενης παρακολούθησης και γρήγορης καταγραφής στόχου (tracking) που μπορεί να φτάσει τα 0.2 sec / παρατήρηση, αλλά και αυτόματου εντοπισμού στόχου (ATR), κάποια από αυτά έχουν την δυνατότητα και αυτόματης αναστροφής περιστροφής και μέτρησης σε δύο περιόδους.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό τους είναι η Bluetooth επικοινωνία, και η επικοινωνία με ειδικά προγράμματα παρακολούθησης μετακινήσεων, μέσω laptop. Η δυνατότητα αδιαβροχοποίησης τους έχει αυξηθεί αλλά και όπως και η δυνατότητες διόρθωσης λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών. Τέλος έχει αυξηθεί η αυτονομία τους με χρήση κατάλληλου τύπου και χωρητικότητας μπαταριών.

Εκτός των ανωτέρω τοπογραφικών μεθόδων, χρησιμοποιείται όλο και πιο πολύ σε ειδικές αποτυπώσεις, ο σαρωτής Laser, ο οποίος σαρώνει και παράγει νέφη σημείων σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, όπου μας δίνει καλύτερη εποπτεία τρισδιάστατων αποτυπώσεων.

Επίσης οι τεχνικές ανάλυσης εικόνας που έχουν αναπτυχθεί, αλλά και η φωτογραμμετρία όπως και η επίγεια συμβολομετρία αποτελούν σύγχρονες τοπογραφικές μεθόδους.

### 3.4 GPS και παρακολούθηση των κατασκευών

Το σύστημα GPS αναπτύχθηκε και λειτουργεί υπό τον έλεγχο του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ. Πρόκειται για ένα σύστημα τρισδιάστατου (X, Y, Z) προσδιορισμού θέσης, το οποίο έχει ως πλαίσιο αναφοράς το γεωκεντρικό σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων WGS 84. Στην αφετηρία του το σύστημα GPS χρησιμοποιήθηκε και αναπτύχθηκε για στρατιωτική χρήση. Με την πάροδο όμως των ετών το GPS άρχισε να χρησιμοποιείται και στην καθημερινότητα των πολιτών, σε μια σειρά από εφαρμογές και με όλο και πιο μεγάλες ακρίβειες οι οποίες φτάνουν και τον εντοπισμό θέσης με ακρίβεια καλύτερη του εκατοστού του μέτρου (<1cm).

Τα τμήματα που απαρτίζουν το σύστημα GPS, είναι τρία: το τμήμα διαστήματος, το τμήμα χρηστών και το τμήμα ελέγχου. Το τμήμα διαστήματος περιλαμβάνει δορυφόρους σε επιχειρησιακή λειτουργία καθώς και κάποιους εφεδρικούς. Στην πραγματικότητα στις μέρες μας οι επιχειρησιακοί δορυφόροι δεν ανήκουν μόνο στο δίκτυο GPS που είναι των Η.Π.Α. αλλά και στα δίκτυα GLONASS και GALILEO τα οποία είναι αντίστοιχα το Ρωσικό και Ευρωπαϊκό δίκτυο δορυφόρων. Οι δορυφόροι όλων των παραπάνω δικτύων περιστρέφονται γύρω από τη Γη σε ύψος περίπου 20000 km από την επιφάνεια της σε συνολικά έξι τροχιακά επίπεδα με κλίση 55° ως προς τον Ισημερινό και περίοδο περιστροφής 12 h. Οι δορυφόροι είναι εξοπλισμένοι με ατομικά χρονόμετρα ρουβιδίου και καισίου πολύ υψηλής ακρίβειας ( 10-12sec και 10-13sec αντίστοιχα) για την μέτρηση του χρόνου, ενώ διαθέτουν πομπούς και δέκτες για αφενός την εκπομπή του σήματος στους χρήστες και αφετέρου την αποστολή δεδομένων στους δορυφόρους από το τμήμα ελέγχου. Το τμήμα χρηστών περιλαμβάνει τους διάφορους χρήστες (δορυφορικούς δέκτες) του συστήματος προσδιορισμού θέσης, ενώ οι εφαρμογές που περιλαμβάνει είναι ναυσιπλοΐα, μέτρηση ταχύτητας, γεωδαιτικές εφαρμογές και πλήθος ακόμη χρήσεων και εφαρμογών. Το τμήμα ελέγχου είναι επίγειο και αποτελείται από σταθμούς παρακολούθησης, σταθμούς επικοινωνίας και ένα κεντρικούς σταθμούς ελέγχου. Το τμήμα αυτό είναι υπεύθυνο για την ομαλή λειτουργία των δορυφόρων, την διόρθωση της τροχιάς τους, την εκπομπή εφημερίδων κτλ.



Απαραίτητη προϋπόθεση για να γίνει εντοπισμός θέσης με την βοήθεια του συστήματος GPS, είναι ο δέκτης να λαμβάνει σήμα από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους ταυτόχρονα, έτσι ώστε να υπάρξει λύση του συστήματος το οποίο έχει τέσσερις αγνώστους (συντεταγμένες X, Y, Z και τον χρόνο t). Εξαιρέση αποτελεί ο απόλυτος προσδιορισμός θέσης στην επιφάνεια της θάλασσας, όπου το υψόμετρο θεωρείται γνωστό και ίσο με μηδέν, επομένως απαιτούνται κατ'ελάχιστον τρεις και όχι τέσσερις δορυφόροι.

Ο προσδιορισμός θέσης μπορεί να γίνει είτε με απόλυτο, είτε με σχετικό εντοπισμό θέσης. Στην περίπτωση του απόλυτου εντοπισμού γίνεται χρήση ενός μόνο δέκτη GPS, όπου μετρώνται οι ψευδοαποστάσεις προς τους διαθέσιμους δορυφόρους και από την τομή των σφαιρών με ακτίνα τις αποστάσεις αυτές, προκύπτει η θέση του παρατηρητή με συντεταγμένες στο σύστημα WGS84. Στον σχετικό εντοπισμό θέσης, χρησιμοποιούνται δυο δέκτες της μίας (L1) ή και των δύο συχνοτήτων (L1/L2). Συνήθως ο ένας δέκτης λειτουργεί ως δέκτης αναφοράς (base) και τοποθετείται σε σημείο του οποίου οι συντεταγμένες είναι γνωστές, ενώ ο δεύτερος δέκτης (rover) καταλαμβάνει διαδοχικά τα προς μέτρηση σημεία. Οι συντεταγμένες του δεύτερου δέκτη που είναι και το ζητούμενο, προσδιορίζονται από τον υπολογισμό του τρισδιάστατου διανύσματος (βάση) που συνδέει τα κέντρα των κεραιών των δύο δεκτών. Με αυτό τον τρόπο εξαλείφονται τα συστηματικά σφάλματα που προέρχονται από την αλλοίωση του σήματος λόγω της διέλευσης του από την ατμόσφαιρα της γης, τα σφάλματα μέτρησης του χρόνου που προέρχονται από τα χρονόμετρα των κοινών δορυφόρων και άλλα σφάλματα.

### **3.5 Γεωδαιτικοί σταθμοί αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου.**

#### **3.5.1 Αρχές λειτουργίας**

Η λειτουργία των ρομποτικών γεωδαιτικών σταθμών βασίζεται στην ενσωμάτωση τριών διαφορετικών χαρακτηριστικών:

1. στην αυτόματη περιστροφή του τηλεσκοπίου του οργάνου κατά τον πρωτεύοντα και δευτερεύοντα άξονα,
2. στην αυτόματη αναγνώριση και παρακολούθηση στόχων,
3. στον εξ'αποστάσεως τηλεχειρισμό του οργάνου.

### **3.5.2 Σφάλματα**

Όλα τα είδη σφαλμάτων που παρουσιάζονται κατά τις μετρήσεις με έναν απλό γεωδαιτικό σταθμό (σφάλματα οριζοντίωσης, κέντρωσης, διάθλασης, κατάφωτου, καμπυλότητας της Γης, κτλ), παρουσιάζονται και σε έναν ρομποτικό γεωδαιτικό σταθμό. Αυτά τα σφάλματα μέσω της μοντελοποίησης και των ειδικών τεχνικών μέτρησης μπορούν σε μεγάλο βαθμό να περιοριστούν. Ωστόσο στους ρομποτικούς γεωδαιτικούς σταθμούς εισάγονται σφάλματα στις μετρήσεις, τα οποία προέρχονται από τη λειτουργία των μηχανισμών αυτοματοποίησης της λειτουργίας του οργάνου (σερβομηχανισμοί, σύστημα αυτόματης αναγνώρισης στόχου). Το κυριότερο σφάλμα που παρουσιάζεται σε αυτά τα όργανα είναι κατά την λειτουργία TRK (TRacKing) και RTRK (Rapid TRacKing) όταν ο στόχος βρίσκεται σε συνεχή κίνηση. Τότε παρουσιάζεται μια καθυστέρηση στην μέτρηση και καταγραφή του μήκους, σε σχέση με την γωνία. Η αιτία αυτού του φαινομένου στηρίζεται στο γεγονός ότι η τιμή της γωνίας καταγράφεται “ακαριαία” από τους δίσκους του οργάνου, ενώ η μέτρηση της απόστασης και η καταγραφή της τιμής του μήκους απαιτεί περισσότερο χρόνο. Το αποτέλεσμα αυτής της καθυστέρησης είναι να καταγράφεται λανθασμένο ζεύγος γωνίας-σημείου και να προκύπτει τελικώς λανθασμένη θέση για το μετρηθέν σημείο. Ένα άλλο είδος σφάλματος προκύπτει από την ακρίβεια ταύτισης του σταυρονήματος με το κέντρο του στόχου και εξαρτάται τόσο από τις δυνατότητες των σερβομηχανισμών, όσο και από την απόδοση των αλγορίθμων που συμβάλουν στην λειτουργία αυτή. Τέλος σφάλματα και περιορισμοί στη λειτουργία του ρομποτικού συστήματος, παρουσιάζονται εξαιτίας:

1. της παρεμβολής εμποδίων ανάμεσα στο όργανο και στον στόχο, με αποτέλεσμα την “απώλεια” του στόχου από το όργανο,
2. της ηλεκτρονικής οριζοντίωσης και των εμπλεκόμενων αλγορίθμων,
3. της εξασθένησης του σήματος παρακολούθησης του στόχου, λόγω απόστασης.

### **3.6. Παράδειγμα: Ο πύργος τηλεόρασης της Στουτγάρδης, μετακινήσεις της κορυφής του που προκαλούνται από ήλιο κι άνεμο.**

#### **3.6.1 Γενικά**

Στο παράδειγμα αυτό εξετάζεται η περίπτωση μετακινήσεων στον πύργο τηλεόρασης της Στουτγάρδης που προκαλούνται από την επίδραση του ήλιου και του ανέμου. Οι μετρήσεις στον πύργο, έγιναν με δορυφορικές μεθόδους (μετρήσεις με GPS).

Η μετακίνηση του πύργου οφείλεται σε δύο παράγοντες. Σε ημι-στατικές μετακινήσεις που προκαλούνται από την συνδυασμένη επιρροή της ηλιακής ακτινοβολίας της καθημερινής εναλλαγής της θερμοκρασίας του αέρα κατά την διάρκεια διαφορετικών εποχών και συνθηκών, και σε Δυναμικές μετακινήσεις προκαλούνται από τον άνεμο.

Σε αυτό το παράδειγμα αναφέρονται οι μετρήσεις πεδίου που έγιναν στον πύργο, ώστε να προσδιοριστούν οι μετακινήσεις που προκαλούνται στην κορυφή του, από τον άνεμο και από τον συνδυασμό επιρροής της ηλιακής ακτινοβολίας και της διαφοράς θερμοκρασίας. Οι δοκιμές έδειξαν ότι δεν υπήρχε αξιόλογη μετακίνηση και καμία αλλαγή στην πρώτη φυσική συχνότητα από αυτή που υπολογίστηκε στην κατασκευή του.



*Σχήμα.7 ο πύργος τηλεόρασης στην Στουτγάρδη*

Το ύψος του πύργου είναι 212m. Από αυτά τα 161m είναι τσιμέντο και τα υπόλοιπα 51m απαρτίζουν την μεταλλική κεραία. Αρχικά υπολογίστηκε το 1953 η θεμελιώδης φυσική περίοδος δόνησης του πύργου με την υπόθεση ότι α) είναι σταθερά πακτωμένος στο έδαφος και β) με την υπόθεση ότι η βάση του επηρεάζεται από την ελαστικότητα του εδάφους. ( $T_1 = 4.71\text{sec}$  &  $T_1 = 6\text{ sec}$ ).

Οι μετρήσεις έγιναν με γεωδαιτικές μεθόδους το 1956. Μετρήθηκε η ημι-στατική μετακίνηση ενός σημείου του πύργου 125m από το έδαφος και 11m κάτω από την κεφαλή του πύργου. Βρέθηκε μια έλλειψη μετακίνησης με μεγάλο άξονα 8cm σε κατεύθυνση Α-Δ. Στην πάροδο των ετών δοκιμάστηκαν διάφοροι τρόποι ώστε να μετρηθούν οι δύο πρώτες φυσικές περίοδοι δονήσεων, σε συνδυασμό με την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου.

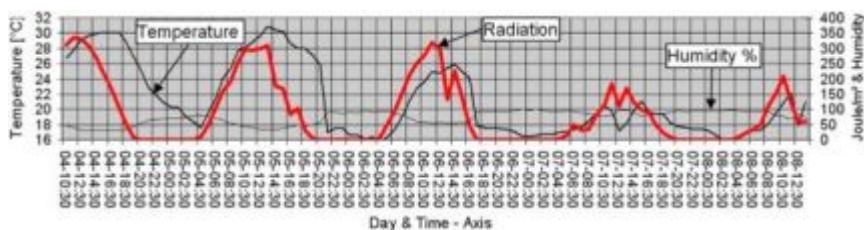


*Σχήμα.8* άποψη της Στουτγάρδης με τον πύργο.

Από το έτος 1998 και ύστερα, έχουμε μια συνεχή παρακολούθηση του πύργου. Τοποθετήθηκε μια rover κεραία όπως φαίνεται στο σχήμα 9 στην κουπαστή. Δεν παρατηρήθηκε ποτέ δόνηση της κουπαστής από τον άνεμο, παρά μόνο υποθετικά σε ισχυρούς ανέμους. Σε μετρήσεις βρέθηκε μια πρώτη φυσική συχνότητα 11 Hz για την κουπαστή, που δεν σχετίζεται με την όλη μετακίνηση του πύργου από τον άνεμο.



*Σχήμα.9 το gps στην κουπαστή*

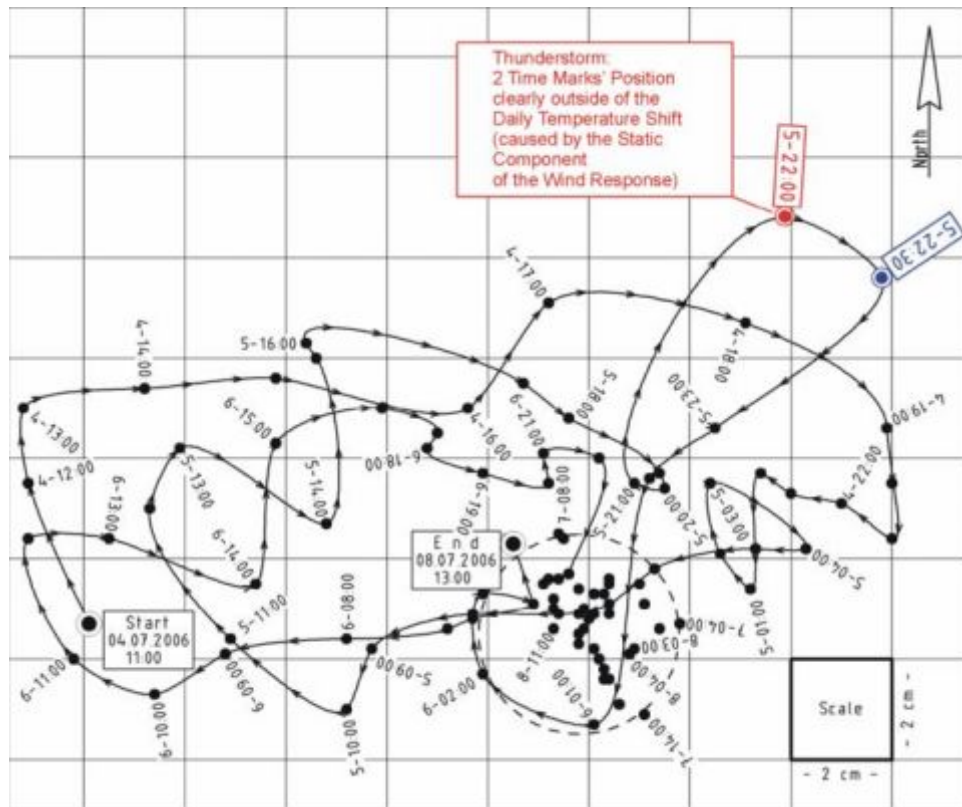


*Σχήμα.10 χρονοσειρά μετεωρολογικών συνθηκών*

### 3.6.2 Μέθοδος που εφαρμόστηκε

Οι μετακινήσεις στην κορυφή του πύργου μπορούν να μετρηθούν με παραδοσιακές γεωδαιτικές μεθόδους μόνο κατά την διάρκεια της ημέρας με επαρκή ορατότητα. Με χρήση GPS τα δεδομένα μπορούν να αποκτηθούν ανεξάρτητα από την ορατότητα ή τον καιρό. Η συχνότητα λήψης δεδομένων είναι ανά 0,05 sec που είναι ιδανικό για την καταγραφή δονήσεων με μεγάλη ακρίβεια. Έγιναν πάνω από 100 h μετρήσεων και επαναλήψεις για να εκμηδενιστούν τα σφάλματα.

Υποτέθηκε ότι για διαστήματα 10min ο πύργος δεν μετακινούνταν, ώστε να θεωρηθεί ότι έγιναν στατικές μετρήσεις. Όταν υπήρχαν μετακινήσεις λόγω αέρα, γίνονταν κινηματικές μετρήσεις από ένα σταθμό αναφοράς που είχε εγκατασταθεί κοντά. Κάθε μέτρηση έδινε μια τριάδα συντεταγμένων (x,y,h) στον στατικό εντοπισμό. Στον κινηματικό υπήρχαν περίπου 1000 μετρήσεις σε κάθε αρχείο.



*Σχήμα.11* ημερήσιες μετακινήσεις

Μετά το έτος 2006 χρησιμοποιήθηκε το GPS Leica 1200. Νωρίτερα είχαν χρησιμοποιηθεί άλλοι αντίστοιχοι σταθμοί. Έγιναν δοκιμές για την αναμενόμενη ακρίβεια των αποτελεσμάτων των μετρήσεων. Όπου για τις ανάγκες του των μετρήσεων σε αυτό το παράδειγμα έχει υποτεθεί μια μέγιστη ταλάντωση με ταχύτητα 8 cm/sec.

Η ακρίβεια της Z συνιστώσας είναι 2-3 φορές μικρότερη από αυτή των X, Y. Συνεπώς το ύψος θα ληφθεί υπ όψιν μόνο για να ελεγχθεί η γενική κατεύθυνση τις μεταβολής στο ύψος.

### 3.6.3 Ημερήσια κίνηση του πύργου οφειλόμενη σε ηλιακή ακτινοβολία και μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα

Η κατανομή της θερμοκρασίας στην επιφάνεια ενός εξωτερικού κονταριού (άξονα) ποικίλει ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Στο σχήμα 10 φαίνονται οι εγγραφές της θερμοκρασίας του αέρα που εξαρτώνται από τον χρόνο και η ένταση

της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια των 4 ημερών μετρήσεων. Στην ηλιόλουστη ημέρα η φωτιζόμενη επιφάνεια του πύργου υποβάλλεται σε θερμική επέκταση λόγω ασύμμετρης θέρμανσης.

Λόγω των βαθμιαίων μεταβολών της θερμοκρασίας μέσα στον άξονα του πύργου, εισάγονται επιπρόσθετες τάσεις και οριζόντιες παραμορφώσεις. Σε μια ηλιόλουστη ημέρα, η πορεία που διαγράφει η κορυφή του πύργου αποτελεί μια έλλειψη σχετιζόμενη με την θέση του ήλιου.

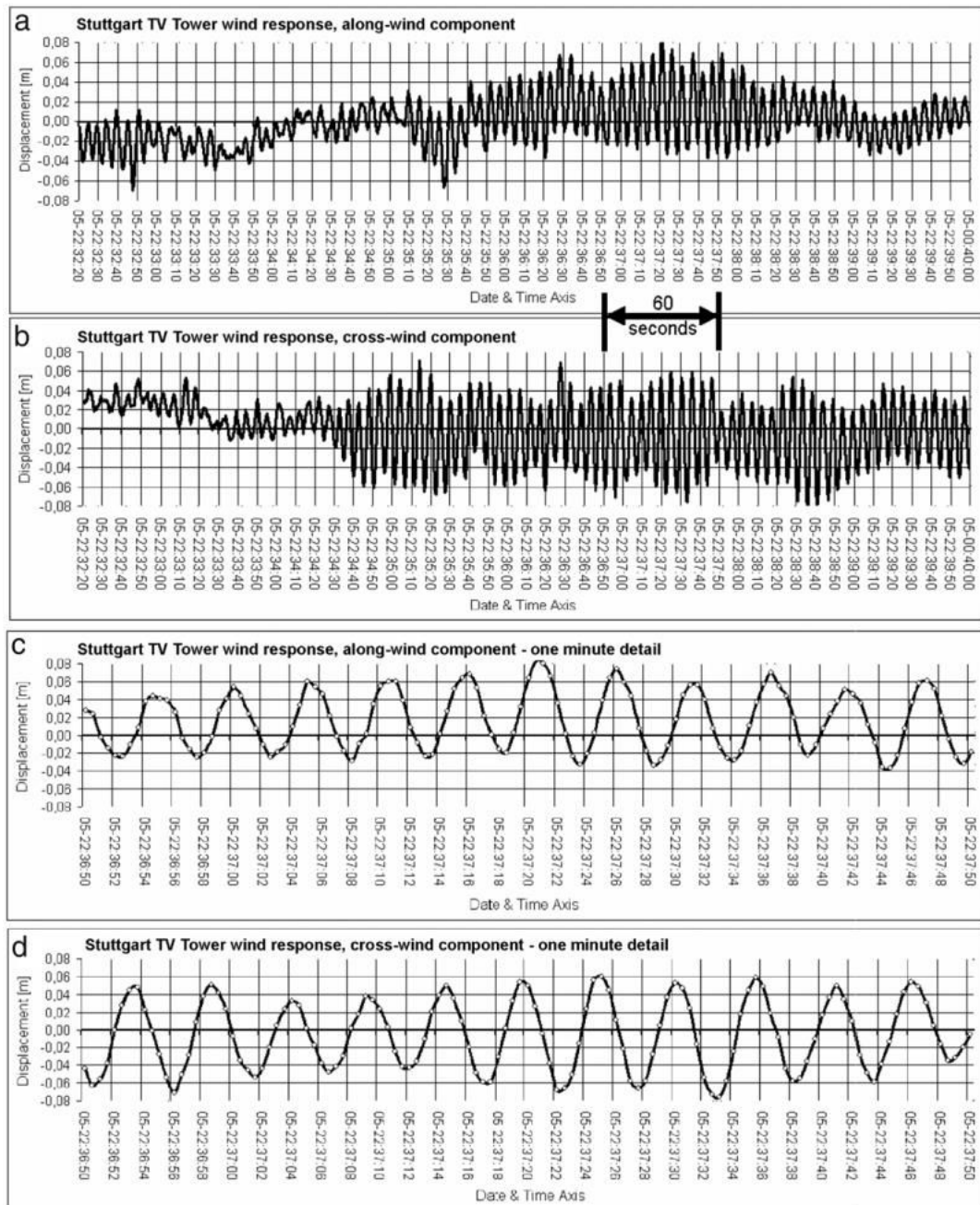
Η πλευρά που εκτίθεται στον ήλιο διαστέλλεται και η κορυφή του πύργου απομακρύνεται αντιδιαμετρικά από τον ήλιο. Αφού ο ήλιος πάει από την Ανατολή στην Δύση, η κορυφή διαγράφει ελλειπτική τροχιά Δυτικά, Βόρεια, Ανατολικά. Το μέγεθος της απομάκρυνσης από τον κατακόρυφο άξονα εξαρτάται από την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της πλευράς που εκτίθεται στον ήλιο και αυτής που είναι στην σκιά. Κατά την διάρκεια της νύχτας η θερμοκρασία είναι ίση παντού και ο πύργος επιστρέφει στην κατακόρυφη θέση του.

Για παράδειγμα ένας πύργος 160 m με διαφορά θερμοκρασίας 10°C στις δύο πλευρές, η ηλιόλουστη μπορεί να είναι 18.4 mm μακρύτερη, με αποτέλεσμα κλίση του πύργου με μη γραμμική γραμμή κλίσης. Όσο πιο ψηλός ο πύργος και ευέλικτο το υλικό του, τόσο μεγαλύτερη η μετατόπιση.

Στο σχήμα 11 φαίνεται η μετακίνηση της κορυφής του πύργου λόγω της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας όπως προέκυψε από τις μετρήσεις. Ελλειπτική τροχιά με μεγάλο άξονα 17 cm σε κατεύθυνση Δ – Α και μικρό άξονα 9 cm σε κατεύθυνση Ν – Β. Η τροχιά διαφοροποιείται λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας και ηλιακής διάρκειας μέρα με τη μέρα. Σαν κατακόρυφη θέση του πύργου ορίζεται η θέση της κατασκευής κατά τη διάρκεια τη νύχτας ή μιας συννεφιασμένης μέρας.

### **3.6.4 Επιρροή του ανέμου**

Κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων παρατηρήθηκε για κάποια χρονικά διαστήματα έντονος άνεμος. Οι μετρήσεις ταχύτητας του ανέμου και οι αντίστοιχες χρονικά



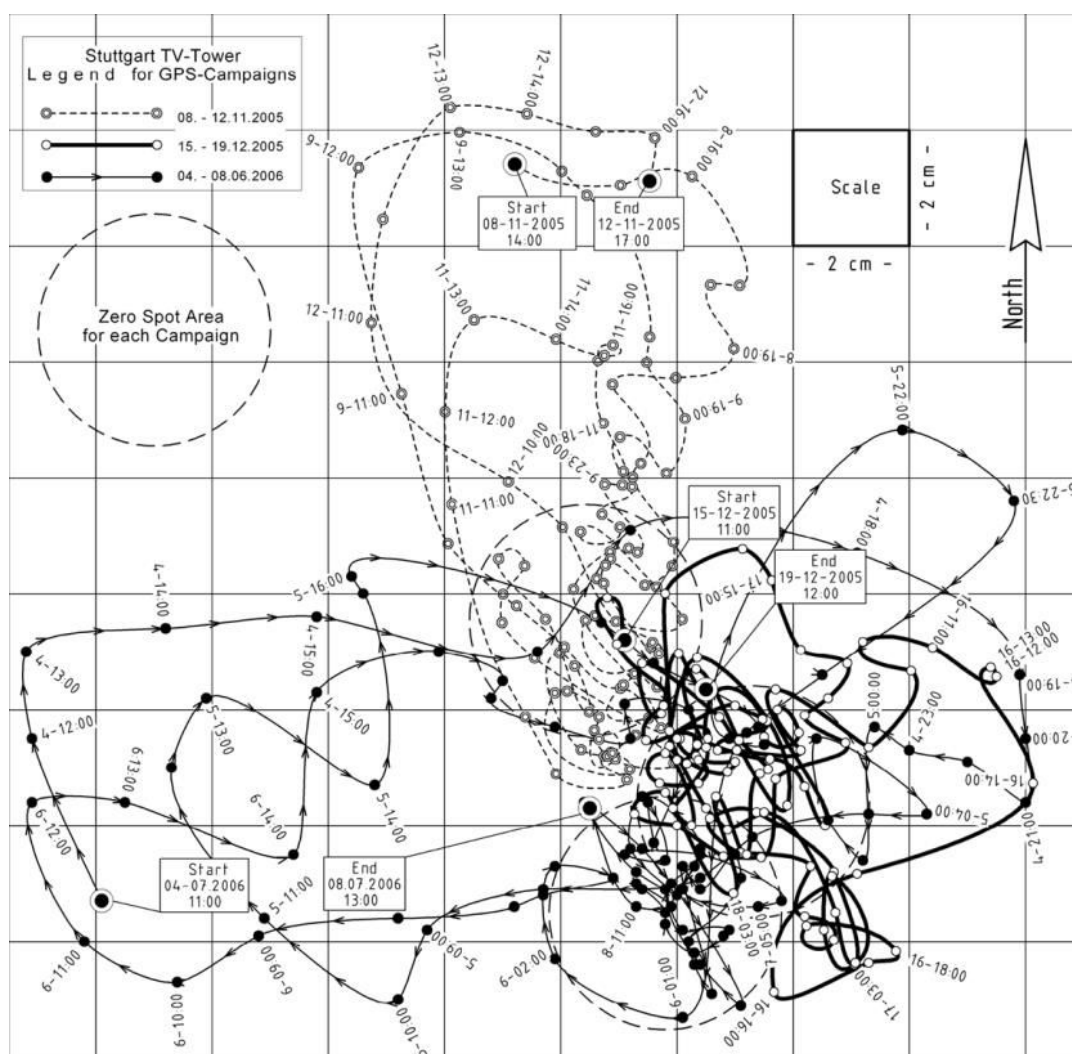
**Σχήμα.12** μετατόπιση στους δύο άξονες

μετακινήσεις του πύργου φαίνονται παρακάτω. Από την ανάλυση των μετρήσεων προέκυψε πως υπήρξε επιπλέον μετακίνηση 6 εκατοστά λόγω του ανέμου. Στην συνέχεια αναλύεται η συχνότητα των μετρήσεων που έγιναν προκειμένου να προσδιοριστεί η ταλάντωση που προκαλείται από τον άνεμο. Στο σχήμα 12 φαίνεται η μετατόπιση στους 2 άξονες την ώρα του φαινομένου.



### 3.6.5 Εποχική κίνηση που οφείλεται στην ηλιακή ακτινοβολία και την διαφοροποίηση της θερμοκρασίας του αέρα

Το σχήμα 11 δείχνει την ημερήσια κίνηση της κορυφής που οφείλεται στην ηλιακή ακτινοβολία και την διαφοροποίηση της θερμοκρασίας του αέρα κάθε ώρα για 4 μέρες το 2005. Το Σχήμα 13 δείχνει μετρήσεις σε 3 διαφορετικές εποχές. Το ημερήσιο ελλειπτικό μονοπάτι της κίνησης εκτείνεται κυρίως Α-Δ κατά την διάρκεια του καλοκαιριού και σε κατεύθυνση Β το χειμώνα. Η περιστροφή με την φορά των δεικτών του ρολογιού παύει κατά την διάρκεια της νύχτας. Ο πύργος επιστρέφει την



Σχήμα.13 μετακινήσεις σε τρεις διαφορετικές εποχές.

θέση μηδενικής μετακίνησής του η οποία διαφέρει για κάθε μια εποχή μετρήσεων. Για να βρεθεί μια κοινή θέση μηδενικής μετακίνησής υποθέτουμε ένα κύκλο με διάμετρο 8 εκατοστών μέσα στον οποίο θεωρούμε ότι η κορυφή του πύργου είναι ακίνητη όλο τον χρόνο.



Σχήμα.14 μετακινήσεις στην εποχή 15-19/12/2005

### 3.6.6 Συμπεράσματα

Γενικά η παρακολούθηση με GPS μπορεί να γίνει ένα εργαλείο παρακολούθησης της «υγείας» των κατασκευών. Αν παρατηρηθεί κάποια έντονη μετακίνηση θα μπορούν να ληφθούν αποφάσεις για περαιτέρω διερεύνηση για την ασφάλεια της κατασκευής. Επιπλέον:

- Μπορεί να μετρηθεί η ημι-στατική απόκριση (λόγω θερμοκρασίας) και η δυναμική απόκριση (λόγω του ανέμου) σε ψηλές κατασκευές χρησιμοποιώντας συσκευές GPS. Με τις μετρήσεις φαίνονται οι μετακινήσεις αλλά και οι αλλαγές στα χαρακτηριστικά των δονήσεων, τα οποία μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για πιθανή ζημιά στην κατασκευή.
- Για την μετακίνηση λόγω ανέμου και με ρυθμό δειγμάτων 2 /sec, το GPS μπόρεσε να μετρήσει μόνο την πρώτη φυσική συχνότητα του πύργου.
- Δεν υπάρχει εμφανής αλλαγή (μέσα στα όρια ακριβείας των δοκιμών) μεταξύ της πρώτης φυσικής συχνότητας που εκτιμήθηκε πειραματικά το 1959 και αυτή που μετρήθηκε το 2006. Ο πύργος συνεπώς είναι δομικά χωρίς ζημιές.
- Το GPS μπορεί να μετρήσει την ολική δυναμική απόκριση του αέρα, όχι μόνο την δυναμικά διακυμαινόμενη συνιστώσα αλλά και την στατική συνιστώσα. Αυτό είναι ένα πλεονέκτημα έναντι των μετρήσεων δονήσεων με επιταχυνσιόμετρα όπου η μέτρηση της στατικής συνιστώσας είναι πολύ δύσκολη.
- Οι οριζοντιογραφικές μετακινήσεις της κορυφής του πύργου που προκαλούνται από την συνδυασμένη επιρροή ηλιακής ακτινοβολίας και ημερήσιας μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα σε μια ηλιόλουστη μέρα, προσομοιάζονται με μια έλλειψη σε σχέση με την θέση του ήλιου. Η τροχιά δεν είναι ίδια κάθε μέρα, αφού η ηλιακή διάρκεια και η εξωτερική θερμοκρασία διαφέρουν σημαντικά σε διαφορετικές μέρες και εποχές.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Περιγραφή κύριου και βοηθητικού εξοπλισμού**

### **4.1 Ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός Leica-Geosystems TCA1800**

#### **4.1.1 Γενικά**

Ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TCA-1800 (Σχήμα29), ανήκει στην οικογένεια των σερβοκινούμενων γεωδαιτικών σταθμών με δυνατότητα αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου.



*Σχήμα.15 Ο ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός Leica TCA 1800*

Οι σερβομηχανισμοί που διαθέτει ο γεωδαιτικός σταθμός TCA 1800, του προσδίδουν την ικανότητα να περιστρέφεται αυτόματα γύρω από τον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα του. Η περιστροφή αυτή μπορεί να γίνει είτε εισάγοντας στο όργανο δεδομένα για την εκτέλεση προκαθορισμένων κινήσεων, είτε αντίστροφα, ενεργοποιώντας την λειτουργία ATR, με την οποία το όργανο μπορεί να παρακολουθήσει αυτόνομα και να καταγράψει την τροχιά ενός κινούμενου στόχου.

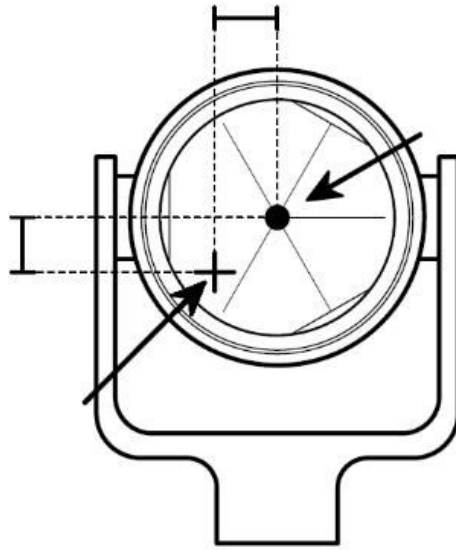
### 4.1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Η λειτουργία της αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου (ATR), είναι ενεργητικής φύσης και βασίζεται στην εκπομπή μιας αόρατης ακτίνας laser χαμηλής ισχύος (max 780μW) από τον γεωδαιτικό σταθμό, η οποία ανακλάται στο στόχο και επιστρέφει στο όργανο πάνω στον ίδιο άξονα εκπομπής της (ομοαξονικά).

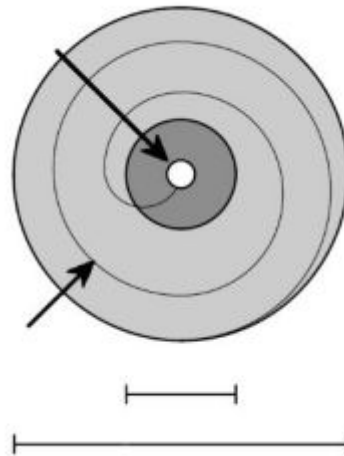
Στη συνέχεια, οι σερβομηχανισμοί, εκτελούν μικροδιορθώσεις στις γωνιακές θέσεις του οργάνου (οριζόντια και κατακόρυφη γωνία), έως ότου η απόκλιση του σκοπευτικού άξονα από το σταυρόνημα να μην ξεπερνά τα  $\pm 5$  mm. Σε αυτό το σημείο οι σερβομηχανισμοί σταματούν τις διορθώσεις για την ταχύτερη εκτέλεση των μετρήσεων.

Για την εξαγωγή των τελικών μεγεθών λαμβάνονται υπόψη: α) η εκκεντρότητα του ίχνους της δέσμης στην διάταξη CCD, β) η σχέση μεταξύ του σκοπευτικού άξονα και CCD διάταξης και γ) λοιπές διορθώσεις οριζοντίωσης, καθετότητας αξόνων, ατμοσφαιρικών συνθηκών κ.α.

Αρχικά για την ATR, απαιτείται ο αρχικός εντοπισμός του στόχου από το όργανο. Έτσι γίνεται τοποθέτηση του στόχου στο οπτικό πεδίο του τηλεσκοπίου. Στη συνέχεια το όργανο εκτελεί σπειροειδείς κινήσεις διάρκειας 2 έως 4 sec, απομακρυνόμενο από το κέντρο του άξονα σκόπευσης έως ότου μπορέσει να λάβει την ανακλώμενη από τον στόχο ακτίνα laser. Εάν κάτι τέτοιο δεν καταστεί εφικτό, δηλαδή εάν ο στόχος είναι εκτός του πεδίου του τηλεσκοπίου, τότε η διαδικασία αναγνώρισης στόχου ακυρώνεται.



*Σχήμα.16 Απόκλιση κέντρου πρίσματος-σταυρονήματος*



*Σχήμα.17 Σπειροειδής ανίχνευση στόχου Leica TCA 1800*

Κατά την λειτουργία παρακολούθησης στόχου η διαδικασία αναγνώρισης στόχου (ATR) επαναλαμβάνεται με μορφή βρόγχου, ενώ για τον ακριβέστερο αναλυτικό υπολογισμό των μετρημένων στοιχείων εμπλέκονται στη διαδικασία ειδικοί αλγόριθμοι παρεμβολής. Στην φάση αυτή, το όργανο παρέχει δύο επιλογές: την επιλογή TRK (TRacKing) και την επιλογή RTRK (Rapid TRacKing). Στην πρώτη περίπτωση (TRK) το όργανο λαμβάνει μετρήσεις ανά 0.3 sec, με ακρίβεια 5 mm + 5 ppm για την απόσταση, ενώ στην περίπτωση του RTRK, οι μετρήσεις εκτελούνται ανά 0.15 sec, με την ακρίβεια να μειώνεται αισθητά και να φτάνει τα 10 mm + 5 ppm (Leica TPS1100 Professional Series User Manual, Version 2.2, Leica Geosystems).

Άλλα αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά του οργάνου είναι:

Πλήρης προγραμματισμός για έλεγχο του οργάνου από H/Y, μέσω της γλώσσας προγραμματισμού GEObasic και του πρωτόκολλου GeoCOM της Leica Geosystems, Πληθώρα έτοιμων προγραμμάτων από την κατασκευαστική εταιρεία, για εξειδικευμένο χειρισμό και παραμετροποίηση του οργάνου, Δυνατότητα ελέγχου του σημείου σκόπευσης κατά την λειτουργία χωρίς πρίσμα με την εκπομπή ορατής ακτίνας laser στο σημείο σκόπευσης, Ατέρμονοι μηχανισμοί μικρορυθμίσεων, Ένδειξη με μεταβαλλόμενη φωτεινότητα ακτίνα laser, του σημείου κέντρωσης.

Είδος μέτρησης	Ακρίβεια μέτρησης	Χρονική διάρκεια μέτρησης
Τυπική (typical)	1 mm + 2 ppm	3 sec.
Γρήγορη (Fast)	3 mm + 2 ppm	1.5 sec.
Λειτουργία TRK	5 mm + 2 ppm	0.3 sec.
Λειτουργία RTRK	10 mm + 2 ppm	0.15 sec.
Ακριβής μέτρηση	1 mm + 2 ppm	3 sec.

*Πίνακας 1 Ακρίβειες μέτρησης και απόδοσης οργάνου Leica TCA 1800*

## 4.2 Λογισμικό καταγραφής

Τα βασικά δεδομένα που μετρήθηκαν από τον γεωδαιτικό σταθμό είναι η οριζόντια και κατακόρυφη γωνία, η απόσταση και ο χρόνος καταγραφής κάθε μέτρησης ως πρωτογενείς μετρήσεις, καθώς και οι συντεταγμένες των θέσεων του στόχου. Για τον σκοπό αυτό αναπτύχθηκε από τους Σ. Δασκαλάκη και Β. Γκίκα το λογισμικό “Leica TCA1800 Tracking Controller”. Το λογισμικό αναπτύχθηκε στη γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic 6.0 / C++, με βάση το πρωτόκολλο επικοινωνίας GeoCOM v1.07 της εταιρείας Leica.

Το όργανο και ο υπολογιστής, συνδέονται σειριακά και όταν αναγνωριστεί το όργανο από τον υπολογιστή, εμφανίζονται τρεις οθόνες επικοινωνίας του λογισμικού με τον χρήστη μέσω των οποίων γίνεται η εισαγωγή των αρχικών παραμέτρων, ο χειρισμός και η παρακολούθηση του οργάνου.



Σχήμα18 Οθόνη εισαγωγής αρχικών μετρήσεων



Σχήμα19 Οθόνη παρακολούθησης μετρήσεων



### 4.3 Ο Γεωδαιτικός σταθμός Leica TM30

Ο γεωδαιτικός σταθμός TM 30 κατασκευάζεται επίσης από την ελβετική εταιρεία Leica. Όπως και ο TCA1800 διαθέτει σερβομηχανισμό και αντίστοιχη δυνατότητα αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου (ATR). Η ακρίβεια μέτρησης γωνιών είναι 1'' (3cc) ενώ οι αποστάσεις μετρώνται ακρίβεια 0.6mm + 1ppm εφαρμόζοντας τη μέθοδο precise και 1mm + 1ppm εφαρμόζοντας τη μέθοδο standard. Διαθέτει 256 MB εσωτερική μνήμη αποθήκευσης ενώ δέχεται επιπλέον κάρτες μνήμης έως και 1 GB. Οι επιλογές συνδεσιμότητας που παρέχει είναι μέσω καλωδίου τύπου RS232 αλλά και Bluetooth Wireless.



Σχήμα.20 Γεωδαιτικός Σταθμός Leica TM 30

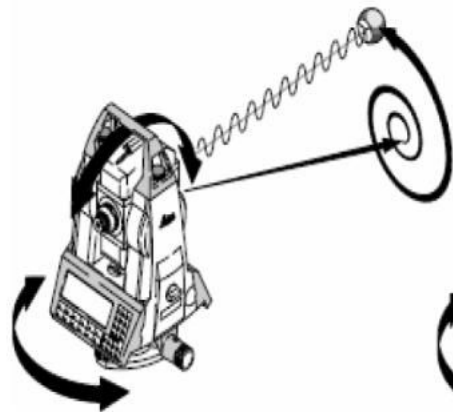
Απόδοση οριζόντιων & κατακόρυφων	3 cc
Ακρίβεια οριζόντιων & κατακόρυφων	1,5 cc
Ακρίβεια αποστάσεων (precise)	0.6 mm+ 2 ppm
Ακρίβεια αποστάσεων (standard)	1 mm+ 2 ppm
Μέγιστη απόσταση μέτρησης με πρίσμα	3500/5400 m (1 / 3 πρίσματα)
Μέγιστη απόσταση μέτρησης χωρίς πρίσμα	1200 m
Μέγιστη ακρίβεια ATR	1,5cc
Ικανότητα μεγέθυνσης	30x
Εύρος μέτρησης με ATR	έως 3000 m
Μνήμη	256 MB επεκτεινόμενη έως 1 GB

Πίνακας.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά TM30.

### 4.3.1 Η λειτουργία ATR

Το όργανο εκπέμπει την ακτίνα η οποία αντανακλάται στο στόχο με την προϋπόθεση αυτός να έχει τοποθετηθεί εντός ενός κύκλου με κέντρο το κέντρο του σταυρονήματος και ακτίνα 30' ώστε να εντοπιστεί. Αν ο στόχος βρίσκεται εκτός του κύκλου αυτού, το σύστημα δίνει εντολή εκτέλεσης σπειροειδούς περιστροφικής κίνησης διάρκειας 2-4 sec από μέσα προς τα έξω μέχρι τον εντοπισμό του στόχου. Εάν δεν εντοπιστεί ο στόχος η διαδικασία ακυρώνεται (σχήμα 21).

Ανάλογα με την εφαρμογή και το είδος μετρήσεων το όργανο διαθέτει δύο επιλογές λειτουργίας του συστήματος αυτόματης αναγνώρισης και εντοπισμού στόχου. Την απλή παρακολούθηση στόχου (TRK) που λαμβάνεται μια μέτρηση ανά 0.3 sec και με ακρίβεια 5mm+2ppm, και την ταχεία παρακολούθηση στόχου (RTRK) που λαμβάνεται μια μέτρηση ανά 0.15 sec και με ακρίβεια 10mm+2ppm.



*Σχήμα.21 σπειροειδής ανίχνευση στόχου*

#### **4.4 Ο Γεωδαιτικός σταθμός Leica TDA 5005**

Ο γεωδαιτικός σταθμός TDA 5005 αποτελεί μέρος της σειράς TPS 5000, κατασκευασμένη κυρίως για εφαρμογές βιομηχανική γεωδαισία. Τα υπόλοιπα όργανα που συμπληρώνουν την οικογένεια είναι το Total Station TDM 5005 και τα ψηφιακά θεοδόλχα TM 5005, TM 5100, TM 5100A. Και τα τρία όργανα είναι τα νεότερα μοντέλα των αρχικών TDM 5000, TDA 5000 και TM 5000. Η σειρά TPS 5000 περιλαμβάνει τα καλύτερα και ακριβέστερα όργανα.

Ο Leica TDA 5005 είναι σερβοκινούμενος γεωδαιτικός σταθμός μεγάλης ακρίβειας. Ξεχωρίζει για την ευχρηστία του και την παραγωγικότητα του ενώ αποτελεί το βασικό εργαλείο για πολυάριθμες εφαρμογές μέτρησης στην βιομηχανία. Έχει χρησιμοποιηθεί σε μετρήσεις ακριβείας και ευθυγραμμίσεων στην αεροναυπηγική

##### **Τα Βασικά Χαρακτηριστικά του είναι:**

- Όργανο βιομηχανικής χρήσης
- Υψηλή γωνιομετρική ακρίβεια 0,5" (0.15 mgon)
- Ακρίβεια μέτρησης αποστάσεων 1 mm + 1 ppm
- Ακρίβεια μέτρησης αποστάσεων με πρίσμα CCR  $\pm 0.2\text{mm}/120\text{m}$
- Εμβέλεια μέτρησης με πρίσμα CCR έως 600m
- Automatic Target Recognition (ATR) με ακρίβεια 1,5"
- Εμβέλεια αναγνώρισης στόχου (ATR) έως 1000m
- Λειτουργίες "Point-and-Shoot", "Step-and-Go"

Το TDA 5005 παρέχει υψηλή ακρίβεια στις μετρήσεις γωνιών και αποστάσεων, είναι πλήρως ψηφιακό και διαθέτει υψηλής ποιότητας οπτικά στοιχεία. Η απόδοση (ανάγνωση) των οριζόντιων και των κατακόρυφων γωνιών γίνεται με 0.1cc ενώ η ακρίβεια των οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών είναι 1.5cc (σύμφωνα με DIN 18723). Εάν θεωρήσουμε ως συνηθισμένες αποστάσεις της βιομηχανικής γεωδαισίας τα 10 m έως τα 60 m, η παραπάνω ακρίβεια μεταφράζεται σε γραμμικό σφάλμα 0.024 mm και 0.141 mm αντίστοιχα. Η ελάχιστη ανάγνωση στη μέτρηση αποστάσεων είναι

0.01 mm ενώ η ακρίβεια μέτρησης αποστάσεων είναι  $1 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$  (σύμφωνα με DIN 18723). Η μέγιστη απόσταση μέτρησης με άριστες συνθήκες είναι 3500/5000 m (1 ή 3 πρίσματα αντίστοιχα).



*Σχήμα.22* ο γεωδαιτικός σταθμός TDA5005

Επιπλέον μπορούν να οριστούν παράμετροι που μεταβάλλουν την απόσταση ώστε αυτή να διορθώνεται (όπως θερμοκρασία, πίεση, διάθλαση, χαρτογραφική παραμόρφωση, καμπυλότητα γης κ.α.). Υπάρχει η δυνατότητα ορισμού μέτρησης με μικρότερη ακρίβεια προκειμένου να μειώνεται ο χρόνος μέτρησης κάθε απόστασης.

Μπορεί να συνδεθεί με υπολογιστή μέσω θύρας RS232 ή να αποθηκεύσει τα μετρούμενα στοιχεία σε κάρτα PCMCIA (4500-36000 σημεία). Έχει τη δυνατότητα να εκτελεί διάφορα προγράμματα (οπισθοτομίας, χάραξης, έκκεντρης στάσης, κ.α.) ή να δημιουργήσει ο χρήστης δικά του προγράμματα. Οι κοχλίες μικρομετακίνησης είναι ατέρμονοι και ρυθμίζονται από το χρήστη. Διαθέτει επίσης σερβομηχανισμούς για τη ρομποτική του λειτουργία (μπορεί να εκτελεί την αλλαγή από I θέση σε II θέση τηλεσκοπίου χωρίς τη βοήθεια του χρήστη).

Μπορεί να συνδεθεί με συσκευή ραδιοζεύξης (*radio link*) και να λειτουργήσει από ένα μόνο χρήστη που θα βρίσκεται στο στυλεό του στόχου. Επίσης το TDA 5005 διαθέτει δυνατότητα αυτόματης αναγνώρισης στόχου (ATR). Με αυτή τη λειτουργία του και το αντίστοιχο κατάλληλο στόχο, το όργανο μπορεί να βρίσκει μόνο του την ακριβή θέση του στόχου εφ' όσον έχει οριστεί μια συγκεκριμένη περιοχή. Σε συνέχεια

αυτής της δυνατότητας, μπορεί να ακολουθεί ένα κινούμενο στόχο για ορισμένο εύρος ταχύτητας και να παίρνει μετρήσεις σε κάθε παύση κίνησης (stop & go). Η λειτουργία του ATR βασίζεται στην χρήση μιας κάμερας CCD στο όργανο. Η συσκευή στέλνει μια ακτίνα laser και κατά την επιστροφή της ελέγχει κατά πόσο αποκλίνει από το κέντρο της κάμερας CCD, επιβάλλοντας τις ανάλογες διορθώσεις ή κινώντας τους σερβομηχανισμούς. Η ακρίβεια του ATR στην επιφάνεια του στόχου είναι 1-3 mm από το κέντρο του στόχου και εξαρτάται από την απόσταση. Η ακρίβεια τοποθέτησης του ATR είναι 1.5cc, όσο δηλαδή η ακρίβεια του οργάνου που είναι και η ακρίβεια μετακίνησης των σερβομηχανισμών (αυτό ισχύει σε άριστες συνθήκες και για μήκος >200 m). Η ακρίβεια του ATR εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις εξωτερικές συνθήκες, την απόσταση του στόχου, το είδος και την κατάσταση του στόχου και από τη συχνότητα βαθμονόμησης του ATR. Στη συνέχεια δίνονται τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του γεωδαιτικού σταθμού TDA 5005.

Απόδοση οριζόντιων & κατακόρυφων	0,1 cc
Ακρίβεια οριζόντιων & κατακόρυφων	1,5 cc
Απόδοση αποστάσεων	0,01 mm
Ακρίβεια αποστάσεων	1 mm+ 2 ppm
Μέγιστη απόσταση μέτρησης	3500/5000 m (1 / 3 πρίσματα)
Εύρος διπλού αντισταθμιστή	7 c
Ευαισθησία κυκλικής αεροστάθμης	4'2 mm
Ακρίβεια διπλού αντισταθμιστή	1 c
Διάμετρος αντικειμενικού φακού	42 mm
Ευαισθησία ηλεκτρονικής αεροστάθμης	2"
Μέγιστη ακρίβεια ATR	1,5cc
Ικανότητα μεγέθυνσης	32x
Εύρος μέτρησης με ATR	έως 1000 m
Διάρκεια λειτουργίας με 1 μπαταρία	600 μετρήσεις γωνιών & αποστάσεων

**Πίνακας.3:** Τεχνικά χαρακτηριστικά TDA 5005.

## 4.5 Το λογισμικό GeoMOS

Το GeoMOS είναι ένα Λογισμικό παρακολούθησης μικρομετακινήσεων της εταιρείας Leica Geosystems, το οποίο έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί, συλλέγει και επεξεργάζεται πρωτογενείς μετρήσεις και υπολογίζει στοιχεία μεταβολών της γεωμετρίας (συντεταγμένες, κλίσεις, κ.α.) μιας περιοχής ή κατασκευής (όπως φράγματα, ψηλά κτίρια, πλαγιές κτλ.). Το GeoMOS ελέγχει τις μετρήσεις και τα αποτελέσματα σε σχέση με τις παραμέτρους που ορίζει ο χρήστης. Εάν μία μέτρηση έχει υπερβεί αυτό το όριο, τότε αποστέλλεται μήνυμα ειδοποίησης. Υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης διαφορετικών αισθητήρων (total stations, GNSS, μετεωρολογικών, γεωτεχνικές). Η θέση του συνολικού μέσου του σταθμού μπορεί να οριστεί μέσω GNSS ή σημείων αναφοράς.

Το λογισμικό Geomos αποτελείται από τις εφαρμογές: **Monitor**, **Analyzer** και **adjustment**.

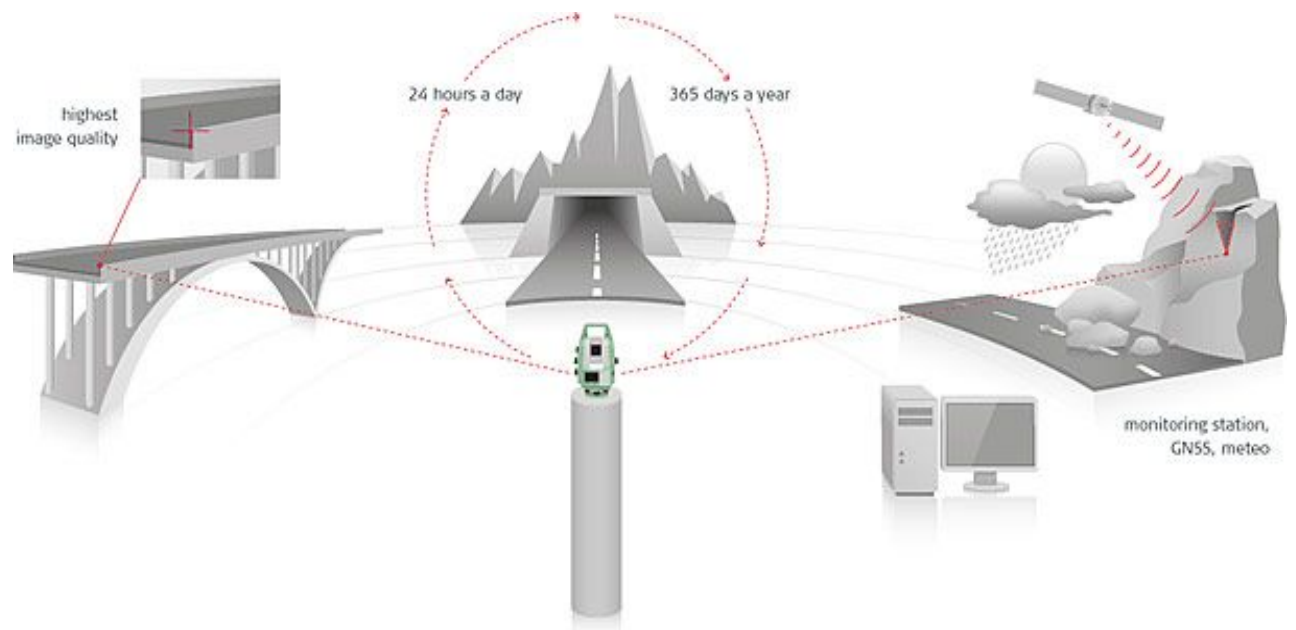
Η εφαρμογή **Monitor**, περιλαμβάνει την συλλογή-επεξεργασία και τον έλεγχο της πληροφορίας, ο οποίος γίνεται σε πραγματικό χρόνο.

Η εφαρμογή **Analyzer**, πραγματοποιεί την ανάλυση των δεδομένων και την επεξεργασία. Υπάρχει η δυνατότητα παρουσίασης των δεδομένων σε γραφήματα.

Η εφαρμογή **Adjustment**, εκτελεί τη συνόρθωση του δικτύου για τις εφαρμογές μικρομετακινήσεων και την προσομοίωση δικτύων.

Το GeoMOS συνεργάζεται με GPS, TPS, μετρολογικούς δέκτες, γεωτεχνικούς δέκτες, αλλά και δέκτες άλλων κατασκευαστών εκτός της Leica. Στα πλεονεκτήματά του είναι ο χειρισμός του συστήματος από απόσταση, ο προγραμματισμός του, ο οποίος μπορεί μερικώς να γίνει και από το γραφείο, πριν γίνουν οι μετρήσεις στο πεδίο δηλαδή, η υποστήριξη σε διακομιστές (server), η διαχείριση μηνυμάτων, η επικοινωνία με e-mail (status messages-email) αλλά και η δυνατότητα επικοινωνίας με ραδιοζεύξη (Radio Link), LAN, WAN, Internet.

Έχει πληθώρα εφαρμογών μεταξύ των οποίων είναι οι μετρήσεις παραμορφώσεων, ο έλεγχος κλίσεων, οι μικρομετακινήσεις, εφαρμογές ορυχείων, σηραγγοποιία κ.α.



*Σχήμα.23 εφαρμογές του λογισμικού Geomos*

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Κατασκευή μελέτης και μετρήσεις πεδίου**

### **5.1 Αρχικός Σχεδιασμός**

Θέλοντας να παρακολουθήσουμε τις επιδράσεις της ηλιακής ακτινοβολίας, σε μια μεγάλη κατασκευή, επιλέχθηκε ο Πύργος ΟΤΕ/ΕΡΤ στα Γεράνεια Όρη.

Η επιλογή αυτή έγινε γιατί στην συγκεκριμένη κατασκευή, είχαν ήδη τοποθετηθεί πρίσματα, στην μέση και την κορυφή της, από κάποιες παλαιότερες μετρήσεις πριν μερικά χρόνια. Αρχικά λοιπόν έπρεπε να εξακριβωθεί εάν τα πρίσματα έχουν παραμείνει στη θέση τους και είναι ακόμα λειτουργικά. Γι'αυτό το λόγο έγινε το Φεβρουάριο του 2014 η πρώτη αναγνωριστική εξόρμηση, η οποία απέτυχε λόγω της πυκνής ομίχλης και του πάγου που επικρατούσε στην περιοχή. Η επόμενη απόπειρα έγινε τον Μάρτιο του 2014, επιτυχώς, αφού διαπιστώθηκε πως τα πρίσματα υφίστανται και είναι λειτουργικά.

Στη συνέχεια αναμένοντας ιδανικές συνθήκες μετρήσεων (πλήρη άπνοια) ή το κατά το δυνατόν λιγότερο άνεμο, γινόταν έλεγχος των δελτίων πρόγνωσης καιρού, έτσι ώστε να βρεθεί το ιδανικό εικοσιτετράωρο.

#### **5.1.1 Μεθοδολογία εργασίας (αιτιολόγηση επιλογής)**

##### **5.1.1α Γενικά για τον πύργο του ΟΤΕ/ΕΡΤ**

Ο Πύργος του ΟΤΕ/ΕΡΤ Γερανείων βρίσκεται γεωγραφικά στα όρια των Νομών Αττικής και Κορινθίας, σε υψόμετρο 1355m. Ανεβαίνοντας στην κορυφή τους όρους Γεράνεια υπάρχει ορατότητα προς τον Κορινθιακό κόλπο, καθώς και προς τον Σαρωνικό κόλπο. Δηλαδή η θέση της κατασκευής είναι πάνω σε μια λωρίδα ξηράς που βρέχεται εκατέρωθεν, γεγονός πολύ σημαντικό για τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής.

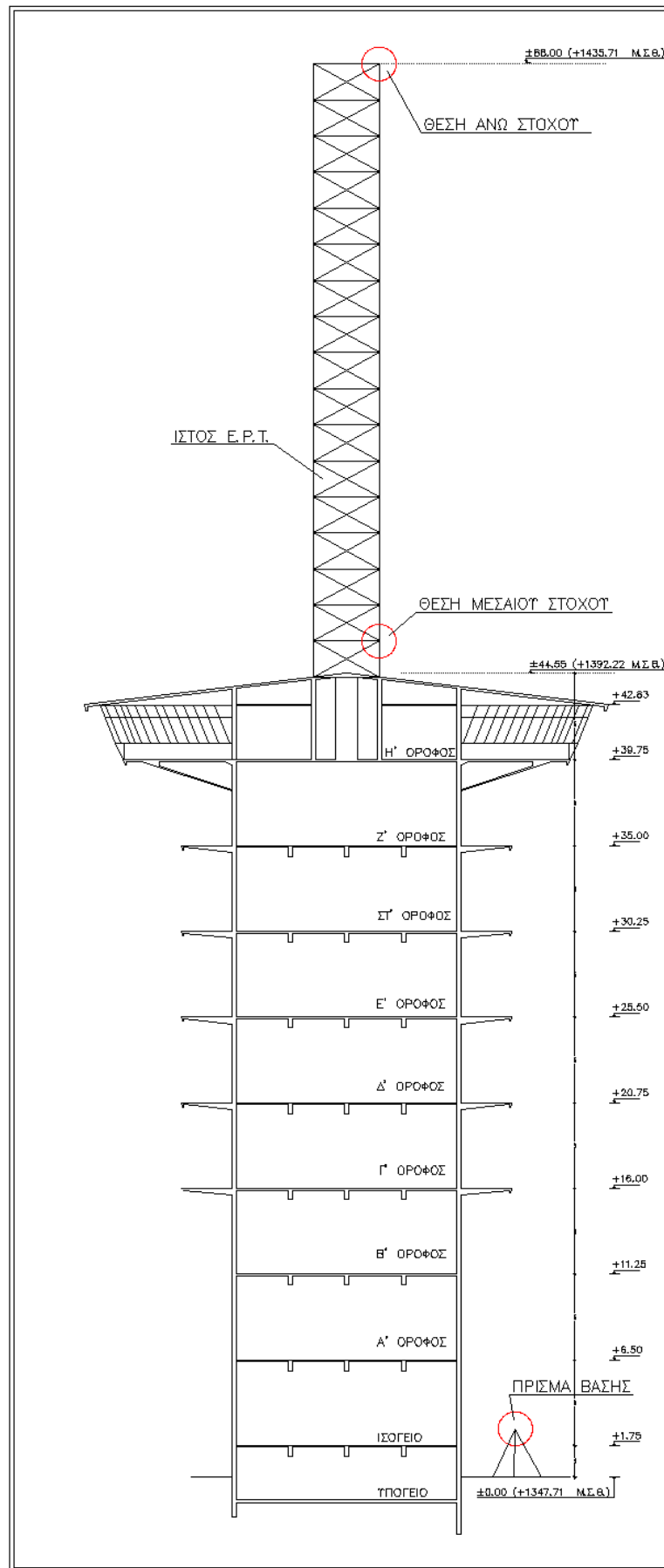




*Σχήμα.24- περιοχή μετρήσεων*

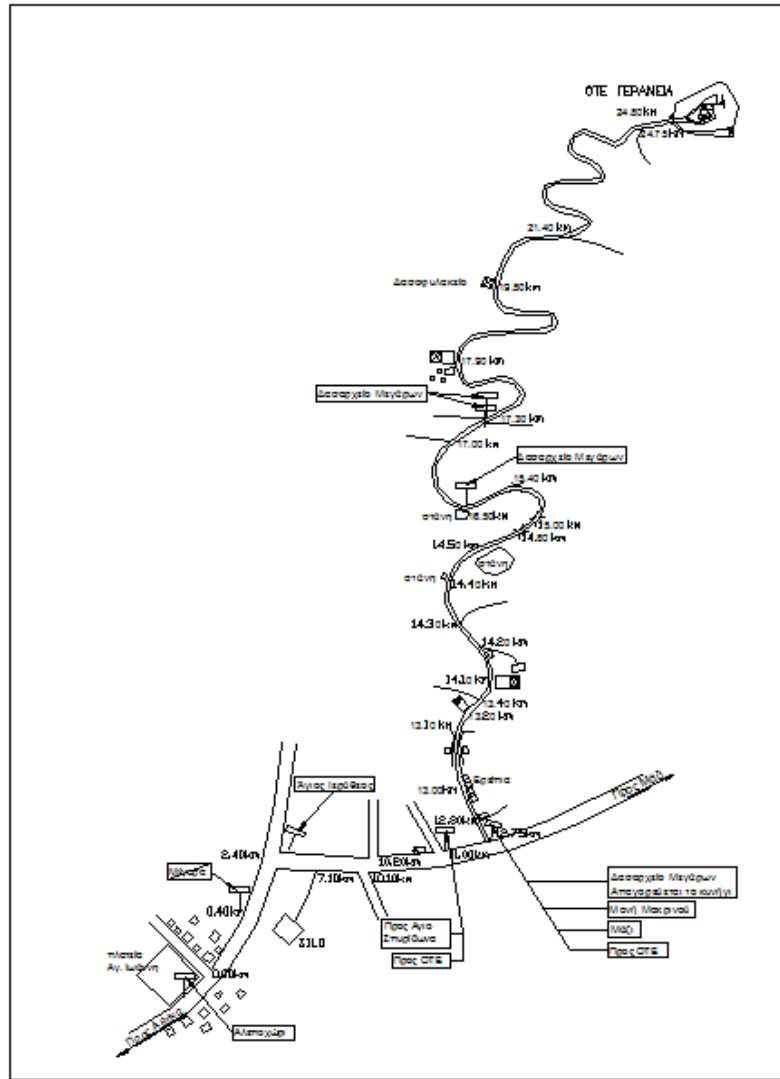
Η κατασκευή έχει ύψος 88m, από τα οποία τα 45m είναι κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα και στεγάζει τύμπανα τηλεπικοινωνιών του ΟΤΕ και τα υπόλοιπα 43m είναι μεταλλικό δικτύωμα της ραδιοφωνίας/τηλεόρασης ΕΡΤ. Ο πύργος αποτελείται από οκτώ ορόφους κυκλικού σχήματος. Ο όγδοος όροφος είναι μεγαλύτερων διαστάσεων και εξέχει του κυρίου σώματος της κατασκευής. (Σχήμα.15)

Να σημειωθεί πως η κατασκευή του πύργου, είναι ορατή από την Εθνική οδό Αθηνών -Κορίνθου. Από τον κόμβο δε των Μεγάρων για να φτάσουμε στην κατασκευή χρειαζόμαστε περίπου μία ώρα, και αυτό γιατί τα τελευταία 12km, είναι χωματόδρομος κακής κατάστασης. Στο κάτωθι οδοιπορικό σκαρίφημα αναπαριστάται η διαδρομή που πρέπει να ακολουθήσουμε από την πόλη των Μεγάρων για να προσεγγίσουμε τον πύργο.



Σχήμα.25 –καθ' ύψος τομή της κατασκευής

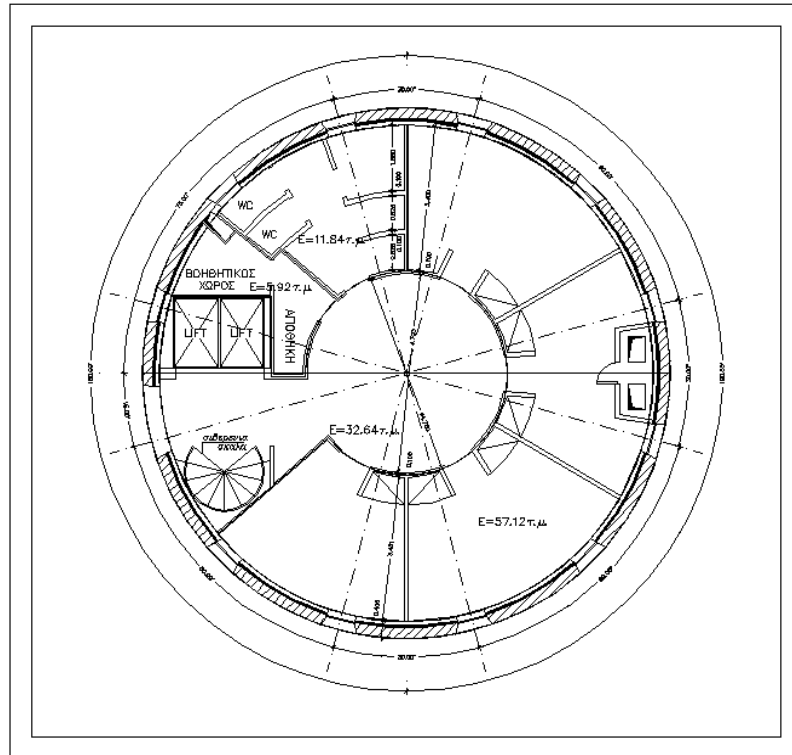
## ΟΔΟΠΟΡΙΚΟ ΣΧΗΜΑ



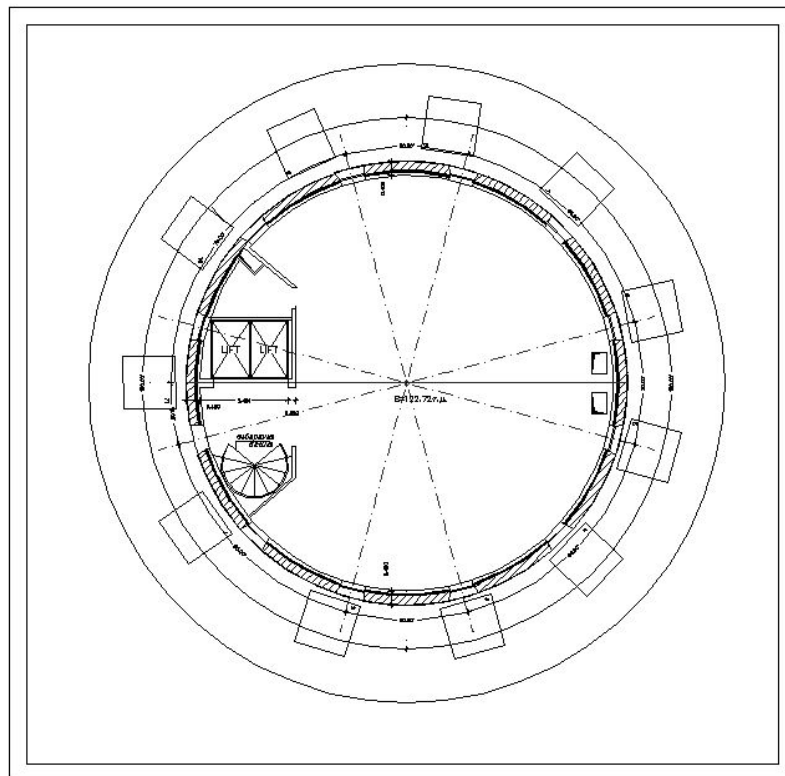
Σχήμα.26 –οδοπορικό διάγραμμα προσέγγισης πύργου μελέτης

### 5.1.1β Τεχνικά & Δομικά χαρακτηριστικά του πύργου

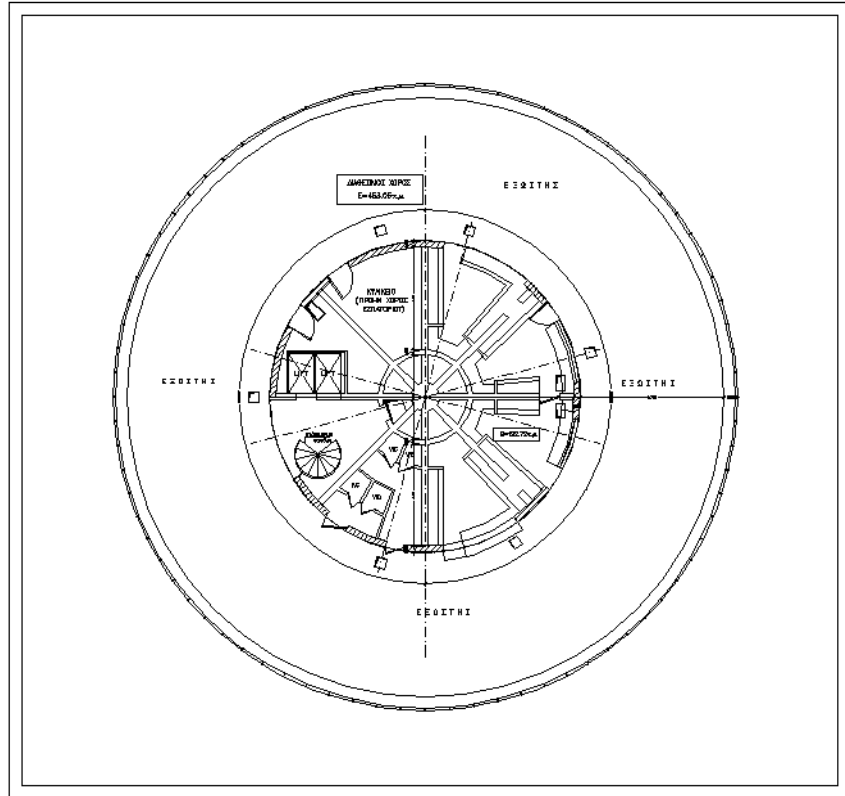
Στα παρακάτω σχήματα, απεικονίζονται κατόψεις ορόφων του πύργου. Συγκεκριμένα απεικονίζονται κατά σειρά η κάτοψη του ισογείου, ορόφου η κάτοψη του τετάρτου ορόφου, και η κάτοψη του ογδόου ορόφου, ο οποίος έχει εξώστη και ως εκ τούτου μεγαλύτερη διάμετρο από τους υπόλοιπους.



Σχήμα.27 –κάτοψη ισογείου



Σχήμα.28 –κάτοψη ενδιάμεσου ορόφου



Σχήμα.29 –κάτοψη 8<sup>ου</sup> ορόφου

### 5.1.2 Καιρικές συνθήκες

Οι καιρικές συνθήκες οι οποίες είναι ιδανικό να επικρατούν στην περιοχή της κατασκευής, είναι πλήρης άπνοια. Αυτό βέβαια δεν είναι εφικτό να συμβεί κατά την διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου, δηλαδή για έναν πλήρη κύκλο μετρήσεων. Ο άνεμος που μπορεί να επικρατεί, δημιουργεί ταλαντώσεις και επηρεάζει τις μικρομετακινήσεις των πρισμάτων, τα οποία δέχονται επιδράσεις από την ακτινοβολία του ήλιου (θερμικές επιδράσεις) δημιουργώντας στην κατασκευή συστολές ή διαστολές, οι οποίες ενισχύονται από την παρουσία του ανέμου.

Για αυτό το λόγο τοποθετήθηκε ψηφιακό ανεμόμετρο στη βάση του δικτύωματος της ΕΡΤ, στο πάνω μέρος του πύργου κοντά στο μεσαίο πρίσμα. Το ανεμόμετρο συνδέθηκε με φορητό Η/Υ, το οποίο είχε συνεχή τροφοδοσία και ήταν προφυλαγμένο μέσα στον πύργο του ΟΤΕ.

Παρόλα αυτά, οι μετρήσεις που έγιναν στις 24 και 25 Ιουλίου, ναι μεν είχαν στη μεγαλύτερη διάρκεια τους πλήρη άπνοια, αλλά κατά περιόδους τις βραδυνές κυρίως ώρες αλλά και κάποιες πρωινές, η ένταση του ανέμου ανέβηκε αισθητά. Επίσης η διαφορά θερμοκρασίας ημέρας και νύκτας ξεπέρασε τους 15°C. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως μετά την δύση του ήλιου άρχισε να σχηματίζεται υγρασία, με αποκορύφωμα τις ώρες 00:00 με 06:00 της 25<sup>ης</sup> Ιουλίου. Αν και στην αρχή χρησιμοποιήθηκαν νάιλον σακούλες για προστασία των οργάνων, επειδή η υγρασία διαπερνούσε τα πάντα και σχημάτιζε λίμνες νερού πάνω στα καθίσματα, και τα όργανα, αναγκαστήκαμε προληπτικά να μαζέψουμε το φορητό H/Y και κατά συνέπεια και το Leica TCA1800, το οποίο ήταν συνδεδεμένο μαζί του, τα οποία επανατοποθετήσαμε το πρωί μετά τις 08:00.

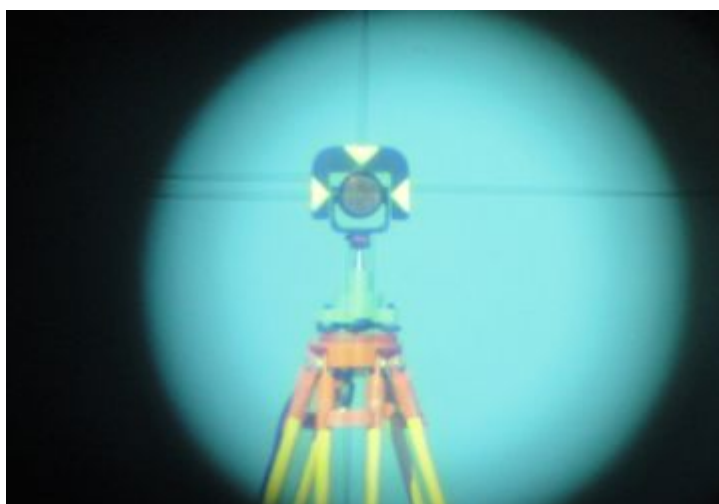
Στις μετρήσεις που έγιναν στις 7 Φεβρουαρίου 2015, ενώ από πλευράς ανέμου οι συνθήκες ήταν ικανοποιητικές, υπήρξε πυκνή ομίχλη κατά διαστήματα τις βραδυνές ώρες, ενώ τις πρωινές ώρες έγινε αδύνατος ο εντοπισμός των στόχων και η μέτρησή τους, για περίπου 4,5h . Αποτέλεσμα αυτών των καιρικών φαινομένων, ήταν να αποκτηθεί εν τέλει ένα συνεχόμενο φάσμα μετρήσεων της τάξης των 17h. Όσο αφορά την ηλιοφάνεια κατά την διάρκεια της ημέρας, ο ουρανός στο μεγαλύτερο μέρος της, ήταν καθαρός, η ηλιοφάνεια όμως χανόταν λόγω της ομίχλης η οποία άρχισε να υποχωρεί μετά τις 10:00 πμ.

### **5.1.3 Επιλογή θέσεων παρατήρησης**

Οι θέσεις παρατήρησης των πρισμάτων του πύργου και του δικτυώματος, επιλέχθηκαν με κριτήριο την ορατότητα των δύο πρισμάτων της κατασκευής αλλά και της βάσης του πύργου, όπου τοποθετήθηκε ένα τρίτο πρίσμα. Σημαντικό ρόλο έπαιξε ένας φυσικός βράχος, ο οποίος βρίσκεται στα 160m. Δυτικά της κατασκευής και εξασφαλίζει προστασία από τον άνεμο. Βέβαια για τις μετρήσεις μας με το TM30 δεν πρέπει να φυσάει καθόλου, πρέπει να επικρατεί άπνοια στην περιοχή.



*Σχήμα.30 –άνω πρίσμα*



*Σχήμα.31 –κάτω πρίσμα*

Αυτό όμως σε πραγματικές συνθήκες, ειδικά όταν οι μετρήσεις διαρκούν ένα ολόκληρο εικοσιτετράωρο, πρακτικά είναι αδύνατον να συμβεί. Επομένως η φυσική κάλυψη του βράχου, έδωσε προστασία από τον άνεμο στα όργανα μετρήσεων.



**Σχήμα.32** – Θέσεις παρατήρησης. Αριστερά διακρίνεται ο φυσικός σχηματισμός (βράχος) που εξασφάλισε προστασία του εξοπλισμού από τον άνεμο

Το πρίσμα βάσης τοποθετήθηκε σε ένα τρίποδα πλησίον της νότιας πλευράς του πύργου, ενώ το ανεμόμετρο τοποθετήθηκε στην βάση του δικτυώματος της ΕΡΤ στην οροφή δηλαδή του πύργου. Στις μετρήσεις της 7<sup>ης</sup> Φεβρουαρίου, αλλά και στις 3 Μαρτίου 2015 ο μετεωρολογικός σταθμός τοποθετήθηκε εξωτερικά του πύργου, με τον ηλιακό συλλέκτη στραμμένο στην πορεία του ήλιου από Ανατολή προς Δύση.

ΣΥΝΤ/ΝΕΣ ΣΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΕΓΣΑ '87			
ΣΤΑΣΗ	Χ	Υ	Η
Σ1	423739.787	4208146.593	1355.765
Σ2	423739.583	4208145.428	1355.593
Σ3	423830.817	4208161.192	1351.680
Σ4	423759.926	4208152.500	1352.893
Σ5	423772.760	4208149.989	1351.114

**Πίνακας.4** .συντ/νες στάσεων





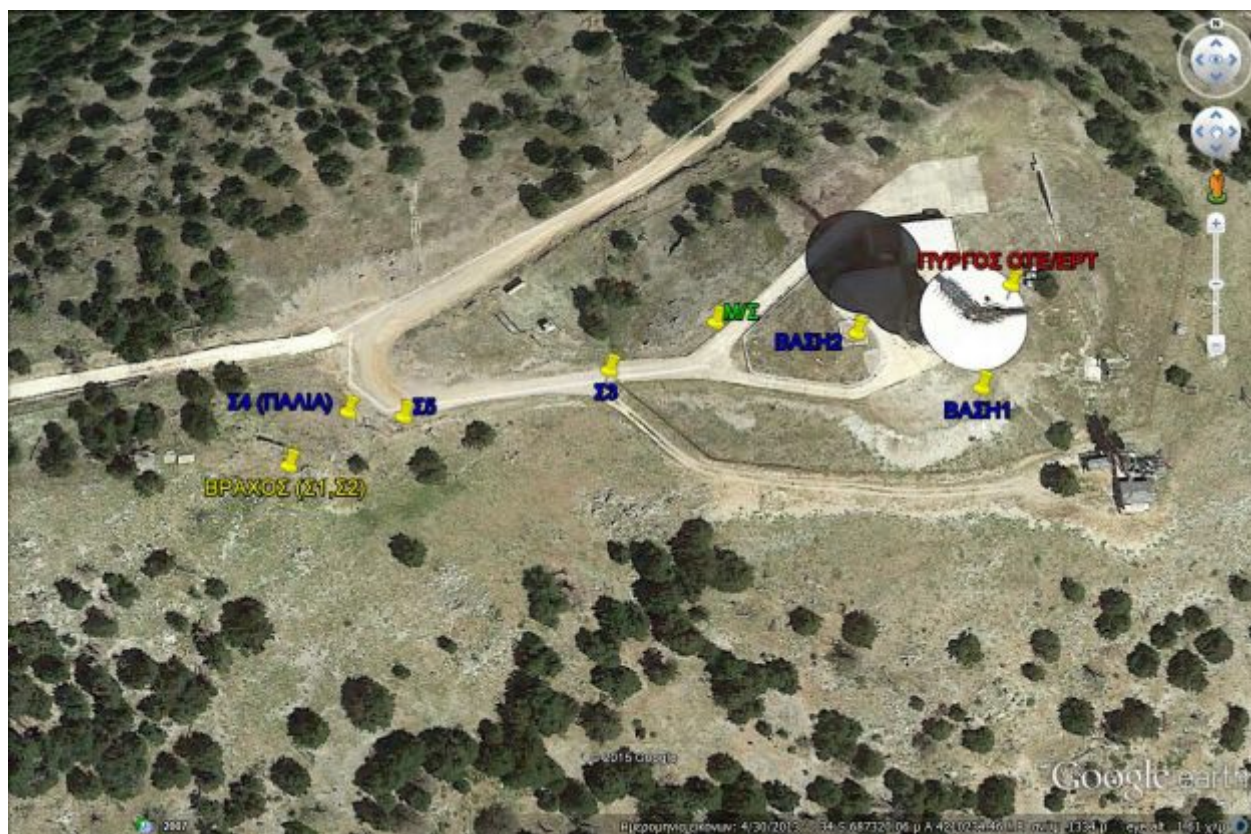
*Σχήμα.33 –πρίσμα βάσης*



*Σχήμα.34 –μετεωρολογικός σταθμός*

Στο Σχήμα 35 φαίνεται η περιοχή του πύργου με τις στάσεις που τοποθετήθηκαν, καθώς και η θέση του μετεωρολογικού σταθμού (Μ/Σ). Στις μετρήσεις της 27<sup>ης</sup> Ιουλίου, τοποθετήθηκαν τα όργανα (TM30 και RTS 1800), στις στάσεις Σ1 και Σ2 πλησίον του βράχου που διακρίνεται στην εικόνα και σε οριζόντια απόσταση 160 m. από τον πύργο. Η στάση Σ4 προϋπήρχε από παλαιότερες μετρήσεις, ενώ τοποθετήθηκε μια επιπλέον στάση (Σ3) μπροστά στην καγκελόπορτα εισόδου των εγκαταστάσεων.

Τοποθετήθηκε ένα πρίσμα βάσης στην νότια πλευρά του πύργου (ΒΑΣΗ1), το οποίο τοποθετήθηκε στο ίδιο σημείο και στις μετρήσεις της 7/2/15. Στις τελικές μετρήσεις στις 3/3/15 άλλαξε η θέση του πρίσματος βάσης για λόγους ορατότητας. Αυτό συνέβη επειδή άλλαξε η θέση παρατήρησης και το όργανο (TM30) στήθηκε στην Σ5.



*Σχήμα.35 –σχήμα οριζοντιογραφίας θέσεων ενδιαφέροντος*

## 5.2 Προγραμματισμός εργασιών πεδίου

### 5.2.1 Προβλεπόμενες μέρες εργασίας

Οι προβλεπόμενες ημέρες εργασίας περιλαμβάνουν μία δοκιμαστική σειρά μετρήσεων, λίγων ωρών και στη συνέχεια ένα πλήρες εικοσιτετράωρο μετρήσεων. Αυτό με την προϋπόθεση ότι δεν θα υπάρξουν προβλήματα. Σε αντίθετη περίπτωση, αυτές θα επαναληφθούν. Όπως και τελικώς συνέβη.

Η δοκιμαστική σειρά μετρήσεων είναι απαραίτητη για να τεθούν όλα τα όργανα σε λειτουργία σε πραγματικές συνθήκες πεδίου και να διαπιστωθεί αν όλα λειτουργούν κανονικά. Επίσης όταν ο παρατηρητής παραμένει για 24h στο ύπαιθρο, είναι προφανές, πως προς το τέλος του εικοσιτετράωρου, η κόπωση είναι αυξημένη, κρίνεται λοιπόν απαραίτητη μια σειρά δοκιμών στο Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π. αλλά και στο ύπαιθρο σε πραγματικές συνθήκες, έτσι ώστε να δημιουργηθούν οι απαραίτητοι αυτοματισμοί και η αναγκαία τυποποίηση των εργασιών πεδίου, ώστε να αποφευχθούν πιθανά σφάλματα ή παραλείψεις από τον παρατηρητή κατά τη διάρκεια της πλήρους σειράς μετρήσεων.

Από όλα αυτά προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα που αφορούν τους χρόνους μετάβασης από και προς το πεδίο εργασίας, το έντυπο των μετρήσεων και τη μορφή που εξυπηρετεί να είναι φτιαγμένο, τις στάσεις μηδενισμού των οργάνων, τις ορατότητες, την τυποποίηση στις νυχτερινές παρατηρήσεις με τη βοήθεια της λειτουργίας ATR του γεωδαιτικού σταθμού TM30 της Leica, τον εξοπλισμό βεβαίως και τα παρελκόμενα που χρειάζονταν, την ποσότητα νερού και τροφής, αλλά και την εξασφάλιση φόρτισης για τις συσκευές μας, κυρίως για τα κινητά τηλέφωνα τα οποία εξασφαλίζουν την επικοινωνία με τον επιβλέποντα καθηγητή και τους βοηθούς του για την λήψη οδηγιών και την επίλυση τυχόν προβλημάτων.

## 5.2.2 Όργανα – Παρελκόμενα

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις είναι ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TM30, ο οποίος έχει την δυνατότητα ATR, ο TCA1800 της Leica ο οποίος έχει τη δυνατότητα συνεχόμενης παρακολούθησης στόχου, αλλά και ο TDA5005.

Οι λειτουργίες και οι δυνατότητες των παραπάνω οργάνων αναλύονται στη συνέχεια. Εκτός από τα όργανα μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκαν και μια σειρά από παρελκόμενα, όπως φορτιστές, τρεις ξύλινους τρίποδες, έναν για το TM30, έναν για το TCA1800 και έναν για το πρίσμα που τοποθετήσαμε στη βάση του πύργου. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν δύο πρίσματα, ένα τρικόχλιο και ένα στυλεουδάκι και ένας στυλεός. Το μεν ένα πρίσμα μαζί με το τρικόχλιο και το στυλεουδάκι τοποθετήθηκαν πάνω στον τρίποδα της βάσης ενώ το δεύτερο πρίσμα με το στυλεό το χρησιμοποιήσαμε για τους μηδενισμούς. Χρειάστηκαν και δύο ομπρέλες, για την προστασία των οργάνων, ένας φορητός Η/Υ με τον οποίο συνδέσαμε το TCA1800, ένα GPS χειρός από το οποίο βλέπαμε την ώρα GPS κάθε φορά που αρχίζαμε ένα κύκλο μετρήσεων με το tracking TCA1800 αλλά και κατά την έναρξη των μετρήσεων με το TM30.

Επίσης κατά τη διάρκεια της νύχτας χρειάστηκαν φακοί μεγάλης εμβέλειας τύπου maglite, με ένα εφεδρικό σετ μπαταριών για να μας εξασφαλίσουν πλήρη αυτονομία στο φωτισμό, αλλά και τον εντοπισμό των στόχων. Απαραίτητη ήταν και η φωτογραφική μηχανή, η οποία απαθανάτισε τις διάφορες φάσεις της δουλειάς και έδωσε μια σαφή οπτική περιγραφή της περιοχής αλλά και της μετρούμενης κατασκευής.

Στην δεύτερη σειρά μετρήσεων το μόνο επιπλέον που τοποθετήθηκε εκτός πύργου, ήταν ο μετεωρολογικός σταθμός, για τον οποίο χρειάστηκαν εργαλεία για να ανοίξουν και να στερεωθούν σωστά τα πόδια του.

Τέλος στην τρίτη σειρά μετρήσεων χρειάστηκε μια εξωτερική πηγή τροφοδοσίας, μια μπαταρία αυτοκινήτου, φορητός Η/Υ και καλώδια σύνδεσης μπαταρίας – οργάνου και φορητού Η/Υ.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ - ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΩΝ		
A/A	ΣΕΙΡΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ-ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΑ
1	1η - 2η - 3η	3-5 Τρίποδες (ανάλογα τη σειρά μετρήσεων)
2	1η - 2η - 3η	Πρίσματα Leica
3	1η - 2η - 3η	Στυλεουδάκι
4	1η - 2η - 3η	Τρικόχλιο
5	1η & 3η	Leica TM 30
6	1η - 2η - 3η	Μετροταινία
7	2η & 3η	Μετεωρολογικός σταθμός
8	1η - 2η - 3η	Ομπρέλες
9	1η - 2η - 3η	Φακοί
10	2η	Leica TDA 5005
11	1η	Leica TCA 1800
12	3η	Λογισμικό Geomos
13	1η & 3η	Μπαταρία αυτοκινήτου
14	1η & 3η	Φορητό Η/Υ
15	1η - 2η - 3η	κοντάρι
16	1η - 2η - 3η	ψυγειακι με τρόφιμα και νερά
17	1η - 2η - 3η	καπέλο η σκούφο
18	1η - 2η - 3η	γραφική ύλη
19	1η - 2η - 3η	τετράδιο σημειώσεων
20	1η - 2η - 3η	gps χειρός

*Πίνακας.5 πίνακας εξοπλισμού – παρελκομένων ανά σειρά μετρήσεων*

### 5.3. Υλοποίηση μετρήσεων

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε πριν την έναρξη των μετρήσεων ήταν, η εγκατάσταση του γεωδαιτικού σταθμού Leica TCA 1800, η σύνδεσή του με τον φορητό υπολογιστή και με το συσσωρευτή (μπαταρία τύπου αυτοκινήτου, 12V), και η σκόπευση του σημείου προσανατολισμού. Οι μετρήσεις ολοκληρώθηκαν με την λήψη τεσσάρων πακέτων μετρήσεων διάρκειας 30 min για το πρίσμα στην κορυφή της κεραίας (άνω πρίσμα) και διάρκειας 3h για το μεσαίο πρίσμα.

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για το Leica TM30 στην τελευταία σειρά μετρήσεων , ενώ στην πρώτη σειρά μετρήσεων δεν συνδέθηκε σε laptop παρά μόνο, έγινε κέντρωση, οριζοντίωση και σκόπευση σημείου προσανατολισμού. Επίσης στην δεύτερη σειρά μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκε το Leica TDA5005 ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία.

Όσον αφορά τις παρατηρήσεις με το Leica TM30 και το Leica TDA5005, αυτές έγιναν ανά 15 min σε πρώτη και δεύτερη περίοδο, για τις δύο πρώτες σειρές μετρήσεων. Ενώ στην τελική σειρά μετρήσεων έγιναν σε μία περίοδο με συχνότητα δέκα λεπτών.

### **5.3.1 Διαδικασία μετρήσεων**

Η πειραματική διαδικασία στην πρώτη σειρά μετρήσεων προέβλεπε ταυτόχρονες μετρήσεις από δύο γεωδαιτικούς σταθμούς, (Leica TCA 1800 και Leica TM30), κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Για το Leica TCA 1800 σε επιλεγμένα χρονικά διαστήματα ενώ για το Leica TM30 όλο το εικοσιτετράωρο.

Στην δεύτερη σειρά μετρήσεων προέβλεπε μετρήσεις με το Leica TDA5005 σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου όλο το εικοσιτετράωρο, ενώ στην τελική σειρά μετρήσεων προβλέφθηκε διαδικασία μετρήσεων με το Leica TM30 με βοήθεια λογισμικού που επέτρεπε την μη συμμετοχή παρατηρητή στις μετρήσεις. Για τον κάθε στόχο ο σχεδιασμός προέβλεπε λήψη ζεύγους μετρήσεων ανά 15min στις δύο πρώτες σειρές μετρήσεων για τον κάθε στόχο ενώ στην τελική σειρά μετρήσεων, λήψη παρατηρήσεων ανά 10min.

Η μια μέτρηση γίνεται σκοπεύοντας πρίσμα τοποθετημένο σε τρίποδα δίπλα στη βάση της κατασκευής, η δεύτερη στο στόχο (τοποθετημένο πρίσμα), στην μέση της κατασκευής και η τρίτη στο στόχο (τοποθετημένο πρίσμα), στο άνω μέρος της κατασκευής που είναι η κορυφή του δικτυώματος.

Η πρώτη μέτρηση των πειραμάτων, δηλαδή η αφετηρία των μετρήσεων, δεν είχε οριστεί εκ των προτέρων σε κάποια συγκεκριμένη ώρα της ημέρας. Όμως από την χρονική στιγμή που θα άρχιζε η διαδικασία των μετρήσεων, την ίδια ώρα μετά από ένα πλήρες χρονικό εικοσιτετράωρο έπρεπε να τελειώσει.

Αυτό κατέστη δυνατόν μόνο στην πρώτη σειρά μετρήσεων, τον Ιούλιο του 2014, ενώ στην δεύτερη και τρίτη σειρά (τελική), οι μετρήσεις διήρκεσαν χρονικά εικοσιτέσσερις ώρες αλλά δεν ήταν πλήρεις, λόγω πυκνής ομίχλης που επικρατούσε στην περιοχή. Έτσι στην δεύτερη σειρά υπήρξε ένα κενό μετρήσεων, διάρκειας έξι ωρών, και στην τελική σειρά οι μετρήσεις διήρκεσαν περίπου είκοσι δύο ώρες.



*Σχήμα.36 –εικόνα του πύργου σε συνθήκες ομίχλης*



*Σχήμα.37 –ομίχλη στη δεύτερη σειρά μετρήσεων*



*Σχήμα.38 –νυχτερινές παρατηρήσεις*



### 5.3.2 Μετεωρολογικές συνθήκες

Οι καιρικές συνθήκες που αναζητούσαμε στην περιοχή ήταν όσο το δυνατόν λιγότερος άνεμος και να προσεγγίζει τις συνθήκες πλήρης άπνοιας. Για το σκοπό αυτό στήθηκε μετεωρολογικός σταθμός, στην πρώτη φάση πάνω στην κατασκευή και στις άλλες δύο φάσεις εξωτερικά αυτής και σε σημείο που να μην έχει εμπόδια.

Στην πρώτη φάση λόγω τεχνικών προβλημάτων, ο σταθμός δεν κατέστη δυνατόν να μετρήσει, επομένως τα μόνα μετεωρολογικά δεδομένα που υπάρχουν, προέρχονται από τους σταθμούς της E.M.Y. παρόλα αυτά υπάρχουν αποκλίσεις, τόσο στον άνεμο

Αρχείο: SavvasOte3									
Date and Time	Solar Rad wat/ m2	RH (%)	Temperature (*F)	Rainfall (In)	Wind Dir (deg)	Wind Gust (mph)	Wind Speed (mph)	Dew Point (*F)	Temperature (*C)
	SRD	HMD	TMP	RNF	WND	WNG	WNS	DEW	TMP (*C)
3/3/2015 19:40	0	78.7	42.4	0	210	38	24	36.3	5.8
3/3/2015 19:45	0	83.1	42.1	0	208	27	22	37.3	5.6
3/3/2015 19:50	0	85.2	42.1	0	187	25	22	37.9	5.6
3/3/2015 19:55	0	86.1	42.1	0	199	33	25	38.2	5.6
3/3/2015 20:00	0	86.6	42.1	0	139	34	15	38.3	5.6
3/3/2015 20:05	0	87.3	42.1	0	223	27	19	38.5	5.6
3/3/2015 20:10	0	87.8	42.1	0	200	32	25	38.7	5.6
3/3/2015 20:15	0	89	42.1	0	197	30	17	39	5.6
3/3/2015 20:20	0	89.8	42.1	0	221	34	17	39.3	5.6
3/3/2015 20:25	0	90.8	41.9	0	187	35	17	39.4	5.5
3/3/2015 20:30	0	91.5	41.9	0	207	32	25	39.6	5.5
3/3/2015 20:35	0	91.8	41.9	0	221	38	30	39.6	5.5
3/3/2015 20:40	0	91.9	41.9	0	278	28	24	39.7	5.5
3/3/2015 20:45	0	91.9	41.9	0	223	30	19	39.7	5.5
3/3/2015 20:50	0	92.3	41.7	0	223	33	25	39.6	5.4

*Πίνακας.6 -Αρχείο μετεωρολογικού σταθμού*

όσο και στην θερμοκρασία, την οποία καταγράψαμε από το θερμόμετρο του αυτοκινήτου.

Στην δεύτερη και την τρίτη φάση ο μετεωρολογικός σταθμός μέτρησε κανονικά και μας έδωσε δεδομένα ανά 5min (θερμοκρασία, ταχύτητα ανέμου, διεύθυνση ανέμου, φωτεινότητα κτλ.) Παραπάνω φαίνονται ενδεικτικά μετεωρολογικά δεδομένα από

την τελική σειρά μετρήσεων στις 3/3/2015. Διαγράμματα ανέμου και θερμοκρασίας, παραθέτονται στο Κεφάλαιο 6 μαζί με την ανάλυση των μετρήσεων.

### **5.3.3 Προβλήματα – Δυσκολίες**

Οι συνθήκες στο πεδίο είναι ιδιαίτερες και παρουσιάζουν διαφόρων ειδών προβλήματα στις εργασίες. Είτε λόγω ζέστης, είτε λόγω κρύου ή ανέμου, ή υγρασίας, το περιβάλλον των εργασιών γίνεται πολλές φορές επίπονο. Για να περιοριστεί η πιθανότητα να παρουσιαστούν διαφόρων ειδών προβλήματα, (τεχνικά, κτλ.), θα πρέπει να γίνεται προσεχτικός σχεδιασμός.

Στις μετρήσεις της παρούσας εργασίας, τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν ήταν ποικίλης φύσεως. Στην πρώτη σειρά μετρήσεων, κατά τη διάρκεια των νυκτερινών παρατηρήσεων η ένταση του ανέμου ήταν μεγάλη. Αυτό όμως δεν κατέστη δυνατόν να μετρηθεί γιατί ο μετεωρολογικός σταθμός που τοποθετήθηκε στον πύργο δεν λειτούργησε.

Μια πολύ σημαντική δυσκολία που σηματοδότησε την εξέλιξη των μετρήσεων ήταν η παρουσία πυκνής ομίχλης, στην δεύτερη και τρίτη σειρά μετρήσεων. Με αποτέλεσμα να μην ολοκληρωθούν συνεχείς παρατηρήσεις εικοσιτετραώρου που ήταν το ζητούμενο.

Η μη χρησιμοποίηση ομπρέλας προστασίας στην πρώτη σειρά μετρήσεων έδωσε υπερβολικές εγκάρσιες μετακινήσεις, οι οποίες οφείλονται στις μετρούμενες γωνίες, με αποτέλεσμα οι μετρήσεις να επαναληφτούν.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το TDA 5005, οι μπαταρίες εξαντλήθηκαν γρήγορα, αυτό οφείλεται στην δυνατότητα αυτόματης αναστροφής περιστροφής που έχει το όργανο, η οποία απαιτεί μεγαλύτερη ενέργεια.

Ώρες	1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η	8η	9η	10η	11η	12η
1η σειρά μετρήσεων												
2η σειρά μετρήσεων												
3η σειρά μετρήσεων												
Ώρες	13η	14η	15η	16η	17η	18η	19η	20η	21η	22η	23η	24η
1η σειρά μετρήσεων												
2η σειρά μετρήσεων												
3η σειρά μετρήσεων												

*Πίνακας.7 Ώρες που είχαμε διακοπή παρατηρήσεων λόγω ομίχλης στις τρεις σειρές μετρήσεων*

Στον πίνακα 7 διακρίνονται οι ώρες που έγινε διακοπή των παρατηρήσεων λόγω ομίχλης. Με κίτρινο χρώμα φαίνονται οι ώρες που έγινε διακοπή και με μπλε οι ώρες που οι μετρήσεις έγιναν κανονικά. Το μεγαλύτερο πρόβλημα το είχαμε στην δεύτερη σειρά μετρήσεων όπου δεν κατέστη δυνατόν να γίνουν παρατηρήσεις περίπου για τις εννιά ώρες του εικοσιτετράωρου. Στην τρίτη σειρά μετρήσεων, οι μετρήσεις εξελίχθηκαν ομαλά (εξαιρώντας δύο μισάωρα τις πρώτες ώρες), μέχρι την 22η ώρα από τις 24h. Οπότε μπορούμε να πούμε πως αν και η σειρά αυτή των μετρήσεων, είναι προσεγγιστικά πλήρης.

## 5.4 Πρωτογενή δεδομένα

Ο σταθμός Leica TCA 1800 συνδέθηκε με φορητό υπολογιστή για την διαχείριση και καταγραφή των μετρήσεων, οι σταθμοί Leica TM30 και TDA5005 διαθέτουν εσωτερική κάρτα μνήμης στην οποία έγινε αποθήκευση των πρωτογενών μετρήσεων. Από τις κάρτες έγινε η μεταφορά των δεδομένων σε Η/Υ, σε μορφή πινάκων. Στις μετρήσεις της οριστικής μελέτης που χρησιμοποιήθηκε ο σταθμός TM30, η σύνδεση έγινε με φορητό υπολογιστή, καθώς χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Geomos καθ'όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.

Microsoft Excel - Middle.xls

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

Times New Roman 12

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	State	Point ID	Time	H <sub>z</sub> [grad]	V [grad]	D [m]	Target Easting [m]	Target Northing [m]	Target Elevation [m]	Horz Distance [m]
2	1	Middle	3/3/2015 20:25	263.2561	76.7211	150.6182	-117.8737	-76.7515	53.858	140.6592
3	1	Middle	3/3/2015 20:35	263.27472	76.7213	150.6181	-117.8962	-76.7171	53.857	140.6592
4	1	Middle	3/3/2015 20:45	263.27433	76.72104	150.6181	-117.8935	-76.7177	53.858	140.659
5	1	Middle	3/3/2015 20:55	263.27434	76.72112	150.618	-117.8955	-76.7177	53.858	140.659
6	1	Middle	3/3/2015 21:25	263.27404	76.72095	150.6182	-117.8952	-76.7183	53.858	140.659
7	1	Middle	3/3/2015 21:45	263.27436	76.72088	150.6179	-117.8953	-76.7175	53.858	140.6587
8	1	Middle	3/3/2015 22:15	263.2742	76.72088	150.6185	-117.8956	-76.7181	53.858	140.6593
9	1	Middle	3/3/2015 23:25	263.27376	76.72094	150.6178	-117.8945	-76.7185	53.858	140.6587
10	1	Middle	3/3/2015 23:45	263.27431	76.72111	150.6177	-117.8952	-76.7176	53.858	140.6587
11	1	Middle	3/3/2015 23:55	263.27496	76.72097	150.6178	-117.896	-76.7163	53.858	140.6587
12	1	Middle	3/4/2015 0:05	263.27509	76.72097	150.6179	-117.8962	-76.7162	53.858	140.6588
13	1	Middle	3/4/2015 0:15	263.2754	76.72085	150.6178	-117.8964	-76.7155	53.858	140.6586
14	1	Middle	3/4/2015 0:25	263.27556	76.72088	150.6177	-117.8966	-76.7151	53.858	140.6585
15	1	Middle	3/4/2015 0:35	263.27609	76.72094	150.6176	-117.8972	-76.7141	53.858	140.6585
16	1	Middle	3/4/2015 0:45	263.27622	76.72105	150.6174	-117.8973	-76.7138	53.858	140.6584
17	1	Middle	3/4/2015 0:55	263.27691	76.72111	150.6173	-117.8981	-76.7125	53.858	140.6583
18	1	Middle	3/4/2015 1:05	263.27608	76.72121	150.6175	-117.8973	-76.7142	53.857	140.6586
19	1	Middle	3/4/2015 1:15	263.27548	76.72109	150.6177	-117.8966	-76.7154	53.858	140.6587
20	1	Middle	3/4/2015 1:25	263.27582	76.72105	150.6178	-117.8971	-76.7148	53.858	140.6588
21	1	Middle	3/4/2015 1:35	263.27544	76.72117	150.6175	-117.8965	-76.7154	53.857	140.6586
22	1	Middle	3/4/2015 1:45	263.2757	76.72106	150.6177	-117.8969	-76.715	53.858	140.6587
23	1	Middle	3/4/2015 1:55	263.27598	76.721	150.6176	-117.8971	-76.7144	53.858	140.6585
24	1	Middle	3/4/2015 2:05	263.27604	76.72145	150.6174	-117.8973	-76.7144	53.857	140.6587
25	1	Middle	3/4/2015 2:15	263.27544	76.72096	150.6174	-117.8963	-76.7152	53.858	140.6583
26	1	Middle	3/4/2015 2:25	263.27534	76.72112	150.6174	-117.8962	-76.7155	53.858	140.6584
27	1	Middle	3/4/2015 2:35	263.2758	76.72112	150.6176	-117.897	-76.7147	53.858	140.6586
28	1	Middle	3/4/2015 2:45	263.27625	76.7209	150.6176	-117.8974	-76.7138	53.858	140.6584
29	1	Middle	3/4/2015 3:15	263.27663	76.72438	150.6177	-117.9004	-76.7148	53.850	140.6615
30	1	Middle	3/4/2015 3:45	263.27536	76.72106	150.6178	-117.8965	-76.7156	53.858	140.6588

Πίνακας,8 Απόσπασμα πρωτογενών μετρήσεων Leica TM30

Ανω\_Πρισμο4.txt - Notepad

```

File Edit Format View Help
***** NEW SESSION *****
Session : -
Date/Time: 25/7/2014 1:36:11 μμ
Station : (100,100,0) 1.538m 0.0000gon
Reflector: 0m -0.03m
Atm Data : 0.00000085 1013.25 12 8.26428360509726
Refr Data: 1 6378000 0.16
Time Data: 20ms 30sec
Inc Corr : 0 0 0
Meas Mode: GETCOORD RTRK=True AUTO
***** MEASUREMENTS *****
13526.836,0,100.906,-75.191,87.629
13527.028,0,100.907,-75.192,87.630
13527.202,0,100.908,-75.190,87.629
13527.364,0,100.906,-75.191,87.629
13527.548,0,100.906,-75.193,87.628
13527.714,0,100.906,-75.193,87.629
13527.900,0,100.906,-75.193,87.632
13528.072,0,100.908,-75.195,87.629
13528.242,0,100.907,-75.189,87.629
13528.414,0,100.909,-75.189,87.630
13528.584,0,100.909,-75.191,87.629
13528.760,0,100.907,-75.193,87.628
13528.952,0,100.907,-75.193,87.628
13529.114,0,100.907,-75.192,87.630
13529.284,0,100.907,-75.193,87.631
13529.456,0,100.907,-75.194,87.631
13529.630,0,100.909,-75.196,87.629
13529.802,0,100.908,-75.194,87.632
13529.988,0,100.907,-75.195,87.630
13530.162,0,100.908,-75.189,87.629
13530.344,0,100.906,-75.189,87.630
13530.508,0,100.908,-75.190,87.630
13530.676,0,100.906,-75.189,87.631
13530.862,0,100.910,-75.191,87.630
13531.036,0,100.907,-75.191,87.631
13531.206,0,100.909,-75.191,87.631
13531.376,0,100.907,-75.192,87.628
13531.550,0,100.906,-75.193,87.628
13531.720,0,100.908,-75.194,87.628

```

Σχήμα 39 Απόσπασμα πρωτογενών μετρήσεων TCA1800

## 5.5 Μετρήσεις με το GeoMOS

Στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας το GeoMOS χρησιμοποιήθηκε στην οριστική μελέτη στις 3/3/15, σε συνδυασμό με το Leica TM30. Ο αρχικός σχεδιασμός έγινε στο γραφείο και η διαδικασία προγραμματισμού συνεχίστηκε στο πεδίο με την επί τόπου αναγνώριση και «εκμάθηση» των τριών στόχων που είχαν τοποθετηθεί (άνω, μεσαίος και πρίσμα στη βάση του πύργου).

Στη συνέχεια αφού δόθηκε ο προσανατολισμός, και πάρθηκε η πρώτη σειρά μετρήσεων, το λογισμικό συνέχισε την εργασία του παρατηρητή χωρίς αυτόν και έπαιρνε σειρές μετρήσεων ανά δέκα λεπτά, όπως είχε προγραμματιστεί. Επειδή το TM30 έπρεπε να είναι συνδεδεμένο με Laptop και με εξωτερική μπαταρία αυτοκινήτου, μεριμνήσαμε να προφυλαχθεί το όλο σύστημα από τη νυχτερινή υγρασία, ιδρύοντας μια καινούρια στάση (Σ5), σε σημείο το οποίο να έχει ορατότητα και στους τρεις στόχους αλλά και να μπορεί να μπει δίπλα στο όργανο, αυτοκίνητο. Έτσι το Laptop και η μπαταρία προφυλάχθηκαν μέσα στο αυτοκίνητο και τα καλώδια σύνδεσης βγήκαν από το παράθυρο.



*Σχήμα.40 Τρίτη σειρά μετρήσεων*





*Σχήμα.41 Διακρίνεται το καλώδιο σύνδεσης με laptop που βρίσκεται εντός του αυτοκινήτου*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Μελέτη κινηματικής συμπεριφοράς έναντι της Ηλιακής Δραστηριότητας.

### 6.1 Γενικά

Στην μελέτη αυτή παρουσιάζονται στη συνέχεια οι αναλύσεις που βασίζονται στη συλλογή δεδομένων που έγινε στις 3 και 4 Μαρτίου 2015. Αυτή είναι και η οριστική μελέτη. Πριν από αυτή είχαν ακολουθήσει και άλλες δύο σειρές μετρήσεων στις 25/7/14 και στις 7/2/15. Αυτές είναι οι πρόδρομες μελέτες και θα παρουσιαστούν συνοπτικά.

Στην πρόδρομη μελέτη της 25/7/14 χρησιμοποιήθηκαν τα όργανα TM30 και TCA1800, τοποθετήθηκε και μετεωρολογικός σταθμός πάνω στον πύργο, ο οποίος τελικά δεν λειτούργησε και τα δεδομένα θερμοκρασίας που έχουμε προέρχονται από τον κοντινότερο σταθμό της EMY που βρίσκεται στα Βίλια Αττικής. Σε αυτές τις μετρήσεις εκτός από τα μετεωρολογικά δεδομένα, παρατηρήθηκε και το φαινόμενο να έχουμε μεγάλες αποκλίσεις στον άξονα Y για όλα τα πρίσματα ακόμα και για το κάτω πρίσμα. Αυτό εξηγήθηκε με την μη χρησιμοποίηση ομπρέλας για τα όργανα.

ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΕΙΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ				
A/A	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΕΣ	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΣΗΜΕΙΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ
1η σειρά μετρήσεων	24-25 Ιουλίου 2014	24 h (από 15:30 της 24ης έως 15:30 της 25ης)	Leica TCA 1800, Leica TM 30	Σ1, Σ2
2η σειρά μετρήσεων	7 Φεβρουαρίου 2015	περίπου 17 h	Leica TDA 5005	Σ2
3η σειρά μετρήσεων	03-04 Μαρτίου 2015	21.5 h	Leica TM 30, GeoMOS	Σ5

*Πίνακας.9 Βασικά χαρακτηριστικά σειρών μετρήσεων*

Στην επόμενη μελέτη που έγινε στις 7/2/15, χρησιμοποιήθηκε το TDA5005, και ο μετεωρολογικός σταθμός που αυτή τη φορά τοποθετήθηκε εξωτερικά του πύργου, λειτούργησε κανονικά. Δυστυχώς όμως λόγω πυκνής ομίχλης που υπήρχε στην περιοχή δεν κατέστη δυνατόν να έχουμε μια πλήρη σειρά μετρήσεων. Τα δεδομένα που συλλέχτηκαν έχουν μεγάλα κενά μεταξύ τους αφού σε πολλές ώρες της ημέρας δεν κατέστη δυνατόν να εξασφαλιστεί η περιοδικότητα των μετρήσεων ανά τέταρτο της ώρας. Με αποκορύφωμα τις πρωινές ώρες που υπήρξε κενό διάστημα στις μετρήσεις, διάρκειας περίπου πέντε ωρών.

Τέλος στις 3/3/15 έγινε μια τελική σειρά μετρήσεων, η οποία δεν είναι πλήρης καθώς τις δύο τελευταίες ώρες των μετρήσεων, πυκνή ομίχλη εμπόδισε ξανά την λήψη δεδομένων. Παρόλα αυτά έχουμε στην διάθεση μας 22 συνεχόμενες ώρες παρατηρήσεων. Η συλλογή των δεδομένων έγινε με την βοήθεια του οργάνου TM30 και του λογισμικού Geomos.

### **6.1.1 Μετασχηματισμός συστημάτων συντεταγμένων**

Για τις ανάγκες περαιτέρω επεξεργασίας των μετρήσεων και την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων, είναι απαραίτητο η κίνηση του στόχου να περιγραφεί σε ένα άξονα για όλες τις ομάδες πειραμάτων, κατά συνέπεια τα υπόλοιπα στον κάθετο άξονα θα περιγράφουν την απόκλιση των δεδομένων από τα ονομαστικά στοιχεία της κίνησης. Επομένως, πρέπει να εφαρμοστεί μια διαδικασία στροφής των μετρήσεων και οι νέες συντεταγμένες που θα προκύψουν από αυτή την διαδικασία, θα αναφέρονται ως διαμήκεις ( x across) και εγκάρσιες (y along). Ενώ οι πρωτογενείς σαν Eastings και Northings.

Έτσι τα δεδομένα υπέστησαν στροφή γύρω από τα κέντρα τους, έτσι ώστε ο άξονας x του παλαιού συστήματος, να συμπίπτει με τον άξονα x' του νέου (σχ.37)

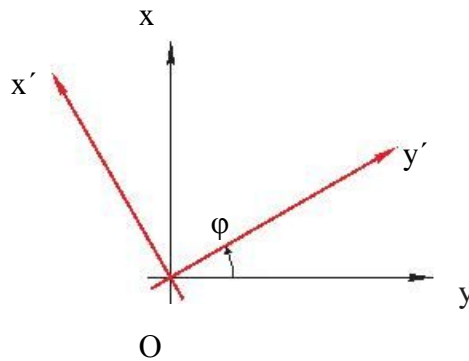
Η στροφή στην μελέτη μας είναι **αριστερόστροφη**

Οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

$$\eta = (x - x5)\cos\varphi + (y - y5)\sin\varphi$$

$$\xi = (y - y5)\cos\varphi - (x - x5)\sin\varphi$$





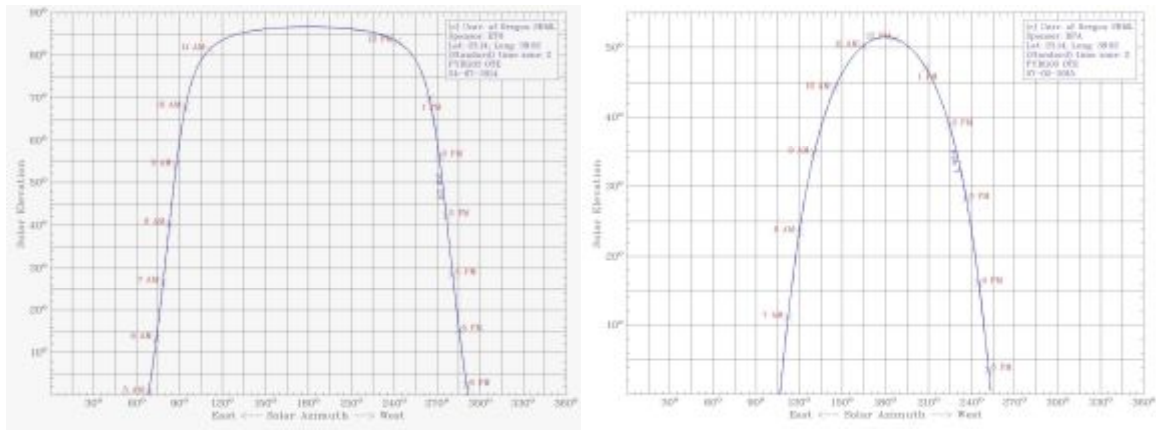
*Σχήμα.42* στροφή συστήματος

Όπου  $x_5, y_5$ , οι συντεταγμένες της στάσης Σ5 που ήταν τοποθετημένο το TM30,  $\varphi$  η αριστερόστροφη γωνία στροφής μεταξύ των δύο συστημάτων,  $x, y$  οι πρωτογενείς συντεταγμένες και  $\eta, \xi$  οι συντεταγμένες που θα προκύψουν στο καινούριο σύστημα, δηλαδή τα along, across. Να σημειωθεί πως ο ορισμός του νέου συστήματος αναφοράς αποσκοπεί στην απεικόνιση της κίνησης κατά μήκος της διεύθυνσης σκόπευσης, η οποία επηρεάζεται άμεσα από τις μετρήσεις μηκών και στην απεικόνιση της κίνησης κάθετα (εγκάρσια) στη διεύθυνση σκόπευσης, η οποία επηρεάζεται περισσότερο από τις μετρήσεις γωνιών.

Στο οριζόντιο επίπεδο μία στροφή καθορίζεται μονάχα από μια γωνία  $\varphi$ , που αντιστοιχεί στην γωνία στροφής του συστήματος συντεταγμένων. Κατά σύμβαση, θετικές γωνίες αναπαριστούν στροφή σε κατεύθυνση αντίθετα με την φορά των δεικτών του ρολογιού, ενώ αρνητικές στην αντίθετη κατεύθυνση.

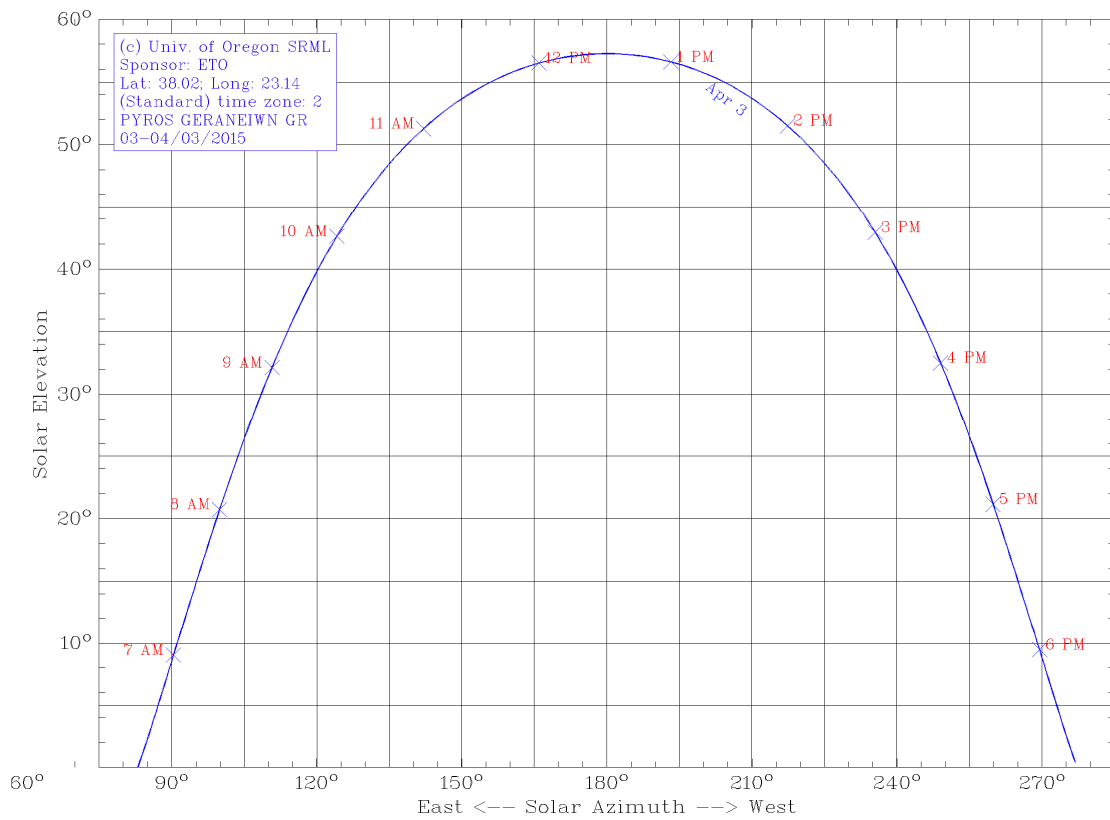
## **6.2 Πορεία και ακτινοβολία του ήλιου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.**

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθούν κάποια πράγματα σχετικά με την φαινόμενη κίνηση του ήλιου κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζεται η γωνία ανύψωσης και το αζιμούθιο ηλιοτροχιάς κατά την 1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> σειρά μετρήσεων που ήταν Ιούλιο, δηλαδή καλοκαιρινό μήνα με μεγάλη διάρκεια ημέρας και τον Φεβρουάριο, δηλαδή μήνα με μικρή διάρκεια ημέρας.

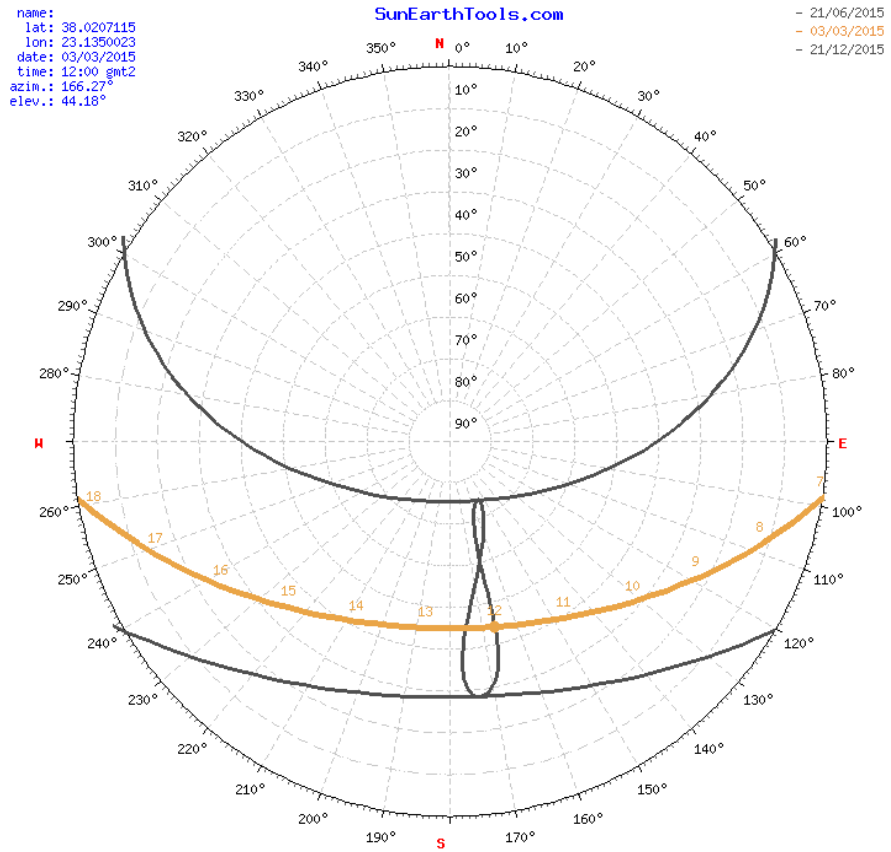


**Σχήμα.43** πορεία του ήλιου κατά τη διάρκεια της πρώτης και δεύτερης σειράς μετρήσεων

Στην τελευταία σειρά μετρήσεων η καταγραφή των δεδομένων άρχισε στις 3/3/15 αλλά αφού είχε δύσει ο ήλιος, οπότε το γράφημα που μας ενδιαφέρει είναι αυτό της 4/3/15.



**Σχήμα.44** πορεία του ήλιου κατά τη διάρκεια της τρίτης σειράς μετρήσεων



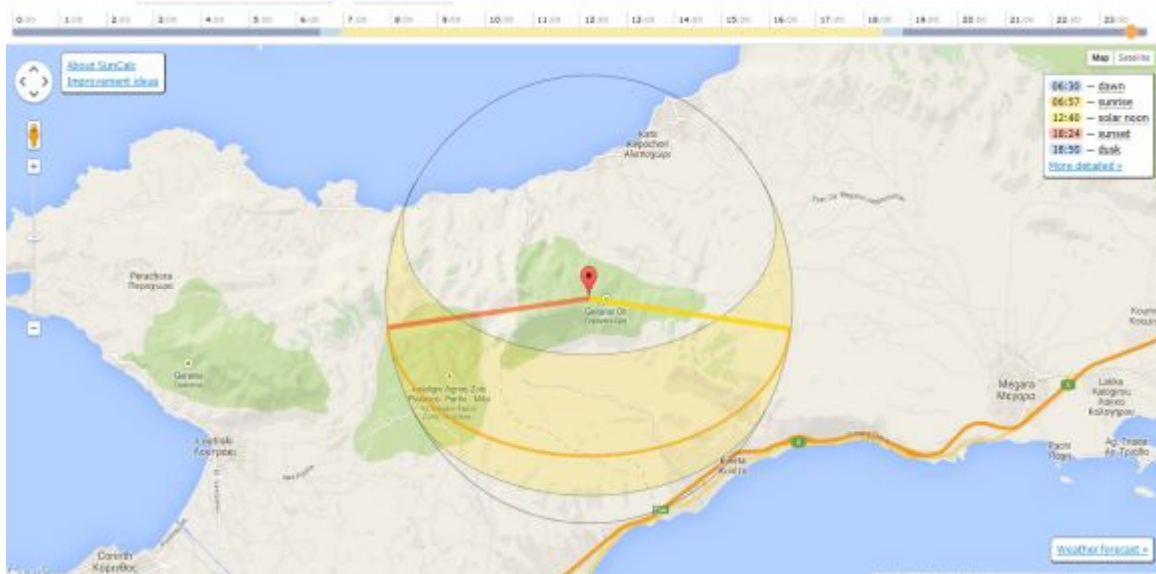
*Σχήμα.45* αζιμούθιο και γωνία ύψους ηλίου στην τρίτη σειρά μετρήσεων

Επίσης πρέπει να σημειωθεί πως οι ημερομηνίες που επιλέχθηκαν να γίνουν οι μετρήσεις πέφτουν περίπου στο μέσο των δύο ισημεριών, δηλαδή η διάρκεια ημέρας και νύχτας είναι σχετικά εξισορροπημένη.

Η σχετική θέση του ήλιου έναντι της κατασκευής διακρίνεται στις παρακάτω εικόνες



*Σχήμα.46* σχετική θέση του ήλιου έναντι της κατασκευής

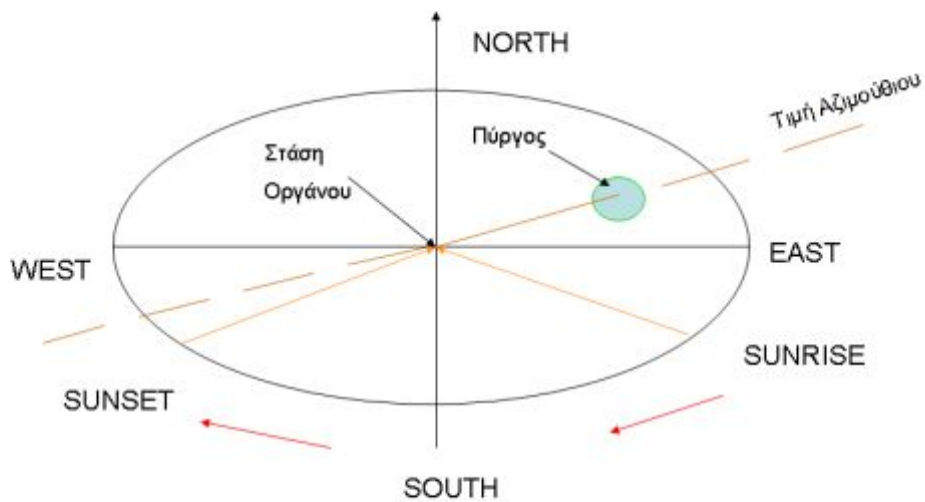


*Σχήμα.47* απεικόνιση φαινόμενης κίνησης του ήλιου στην περιοχή μελέτης κατά την διάρκεια των παρατηρήσεων

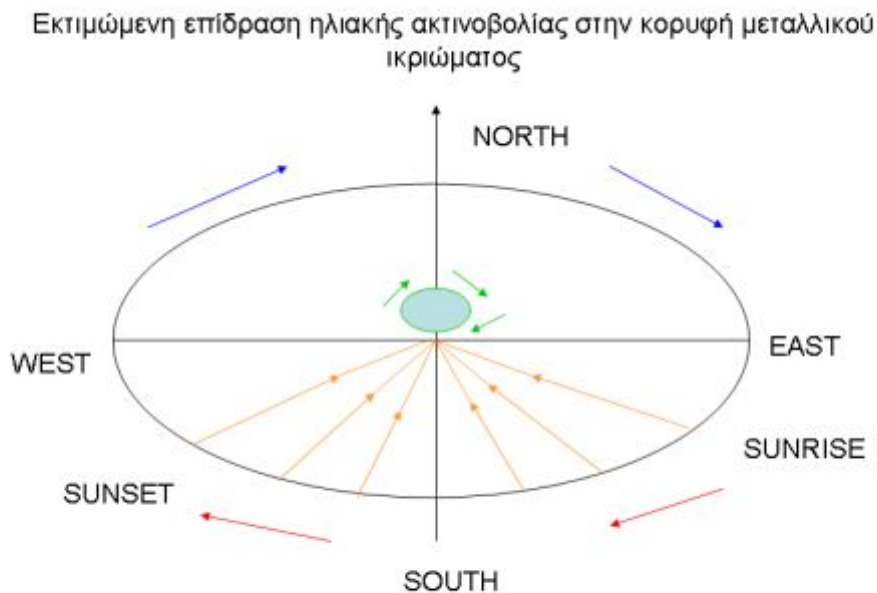


*Σχήμα.48* απεικόνιση φαινόμενης κίνησης του ήλιου στην περιοχή μελέτης κατά την διάρκεια των παρατηρήσεων στις 12:00το μεσημέρι.

Εικονική απεικόνιση φαινόμενης κίνησης του ήλιου και θέση παρατήρησης κατά την διάρκεια των μετρήσεων



*Σχήμα.49* εικονική απεικόνιση φαινόμενης κίνησης του ήλιου και θέση παρατήρησης κατά την διάρκεια των μετρήσεων



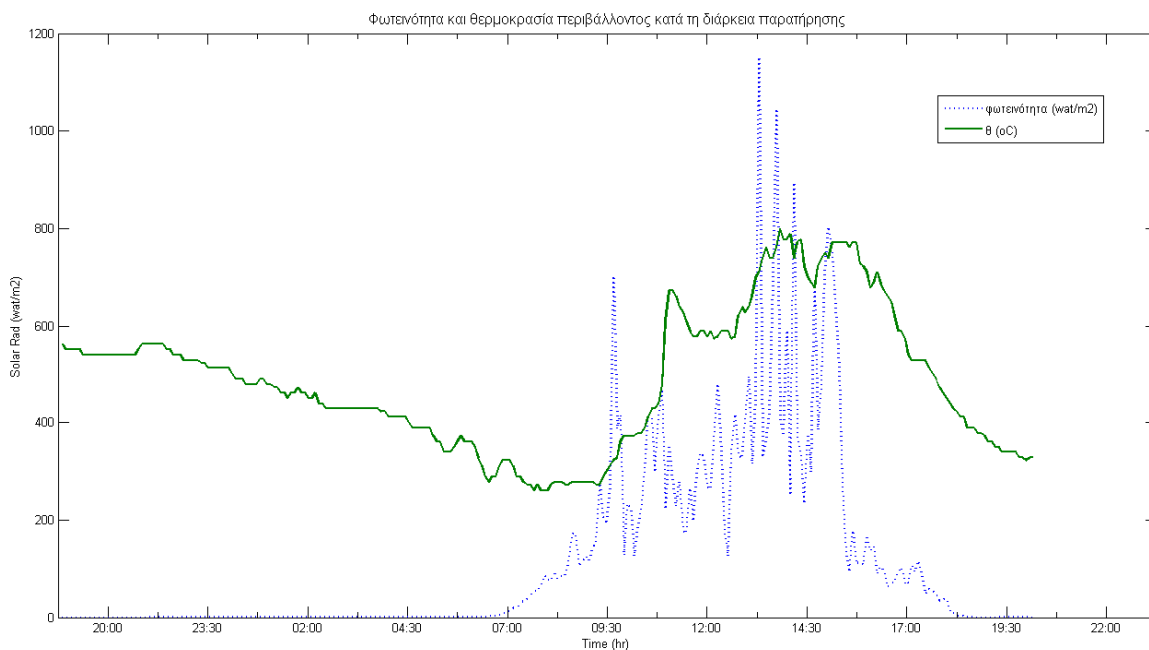
*Σχήμα.50* εκτιμώμενη επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας στην κορυφή μεταλλικού ικριώματος

### 6.3 Μετεωρολογικές συνθήκες

Από την πρώτη στιγμή του σχεδιασμού των μετρήσεων, ήταν δεδομένο πως οι μετεωρολογικές συνθήκες στην περιοχή θα παίζανε πρωτεύοντα ρόλο. Άλλωστε αναζητήθηκε μεθοδικά και με συνεχή παρακολούθηση των δελτίων καιρού, μια μέρα η οποία να έχει ηλιοφάνεια και όσο το δυνατόν πλήρη άπνοια, και αυτό για να θεωρήσουμε τον παράγοντα άνεμο αμελητέο και να εστιαστεί η προσοχή μας στη μελέτη των ηλιακών επιδράσεων.

Ποτέ όμως όταν είσαι στο πεδίο δεν θα έχεις τις ιδανικές συνθήκες. Έτσι με την βοήθεια του μετεωρολογικού σταθμού που τοποθετήθηκε, εξασφαλίστηκαν για όλη

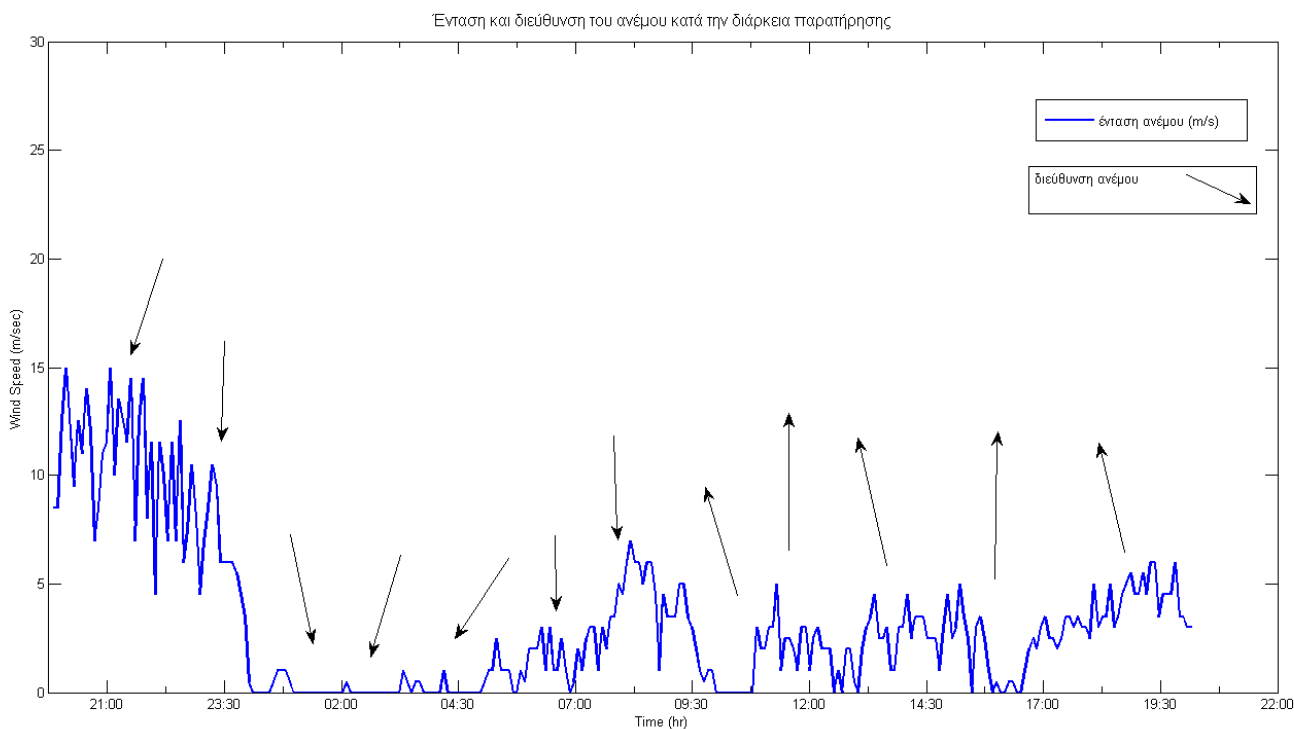
την διάρκεια των παρατηρήσεων, δεδομένα για την θερμοκρασία, την φωτεινότητα, την ένταση του ανέμου, την υγρασία, την διεύθυνση του ανέμου, τη βροχόπτωση κ.τ.λ.



**Σχήμα51** Φωτεινότητα και θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια παρατήρησης

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα.51 την μέγιστη φωτεινότητα κατά την διάρκεια των μετρήσεων την είχαμε το διάστημα 13:00 – 16:00, και για μικρό διάστημα περί τις 09:30. Στην φωτεινότητα παρατηρήθηκε αύξηση, τις ώρες που αυξήθηκε και η θερμοκρασία.





**Σχήμα.52** Ένταση και διεύθυνση του ανέμου κατά την διάρκεια παρατήρησης

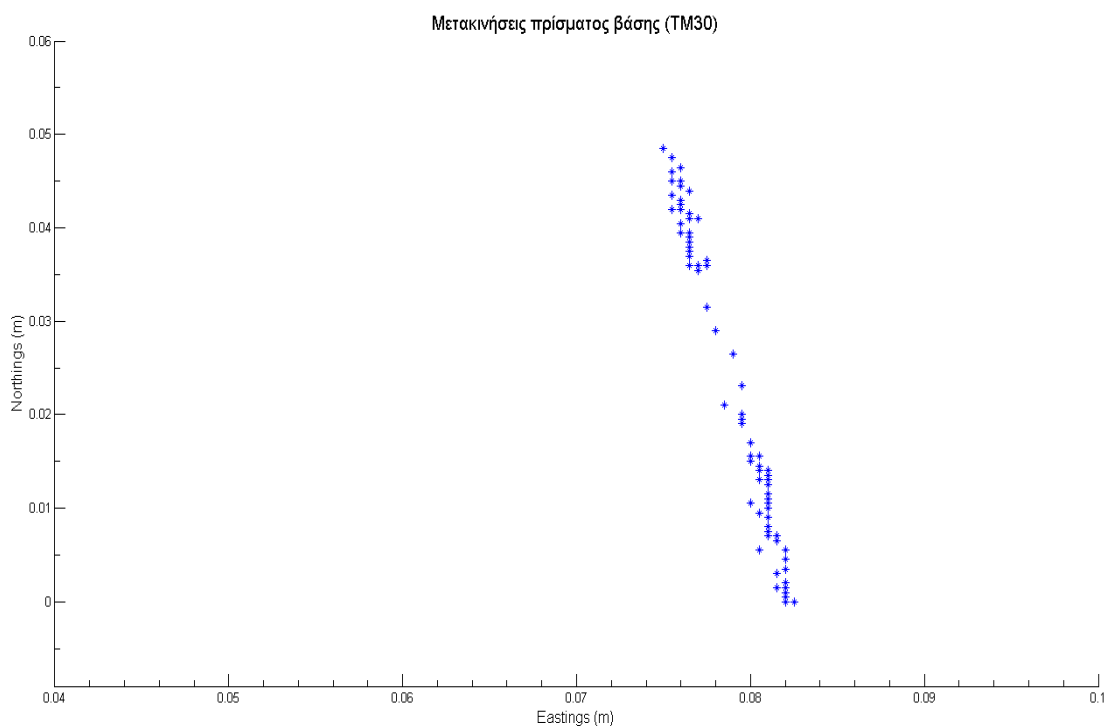
Παράλληλα η θερμοκρασία στο πρώτο διάστημα έφτασε στις μέγιστες τιμές της, και οι διακυμάνσεις αυτές στη φωτεινότητα οφείλονται στο γεγονός πως υπήρξαν διαστήματα με συννεφιά, κυρίως τα διαστήματα 08:00-09:00 και 11:00-12:00.

Στο γράφημα του σχήματος 52 απεικονίζονται η ένταση και η διευθύνσεις του ανέμου κατά την διάρκεια των παρατηρήσεων. Διαπιστώνεται πως στην αρχή των παρατηρήσεων έπνεαν άνεμοι έντασης που έφτανε και τα 15m/sec. Η κατάσταση αυτή διήρκεσε έως τις 23:30, όπου από εκεί και ύστερα, η ένταση έπεσε σε χαμηλά επίπεδα, τα οποία διατηρήθηκαν καθ'όλη την διάρκεια των μετρήσεων. Αξιοσημείωτο δε, είναι το γεγονός πως η κύρια διεύθυνση του ανέμου ήταν Βορινή (Από Βορά προς Νότο), η οποία μέσα σε διάστημα είκοσι min άλλαξε άρδην, γύρω στις 10:00 πμ σε Νότια (προερχόμενη από Νότο με κατεύθυνση το Βορά). Αυτή η κατάσταση σε συνδυασμό με την σχετική άπνοια (άνεμοι περίπου 1-3 m/sec) έφερε ξαφνικά πυκνή ομίχλη, σε σημείο να μην διακρίνεται τίποτα πέρα από τα 1-2m, μετά τις 18:30 μμ και είχε σαν αποτέλεσμα, να μην πραγματοποιηθεί το τελευταίο δίωρο των προγραμματισμένων μετρήσεων.

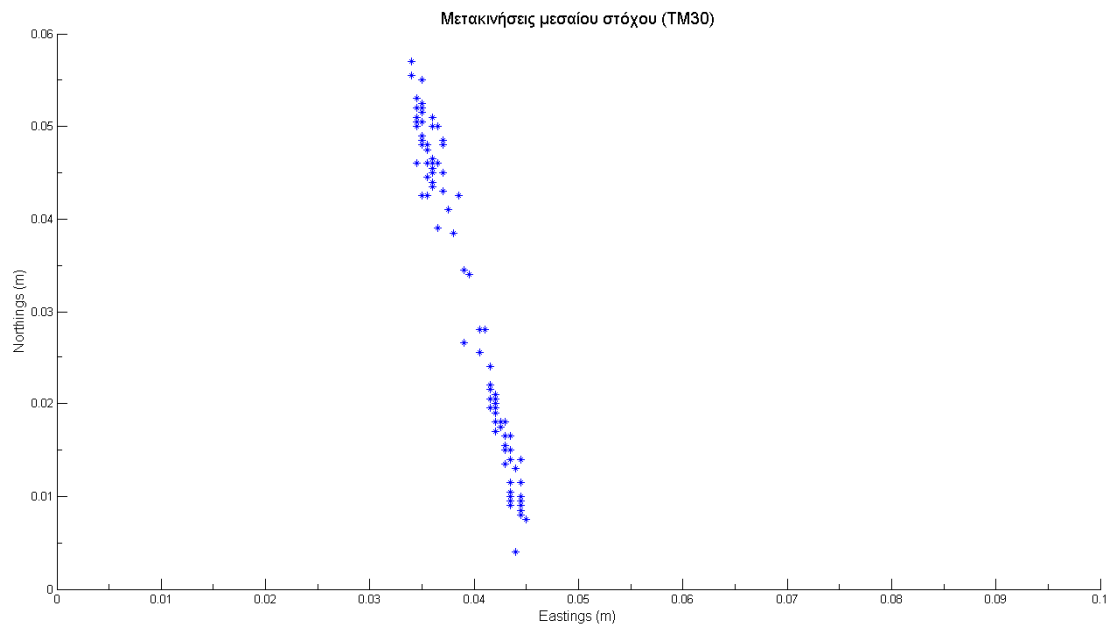


## 6.4 Συνοπτική παρουσίαση αποτελεσμάτων πρόδρομων μελετών

Όπως προαναφέρθηκε, πραγματοποιήθηκαν τρεις σειρές μετρήσεων και εξηγήθηκαν οι λόγοι για τους οποίους επαναλήφθηκαν. Αν και τα αποτελέσματα της δεύτερης σειράς, δεν είναι ολοκληρωμένα, λόγω της επαναλαμβανόμενης διακοπής των παρατηρήσεων λόγω ομίχλης, δεν διαφέρουν σημαντικά από αυτά της πρώτης σειράς. Για αυτό στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποια γραφήματα από της παρατηρήσεις της πρώτης σειράς των μετρήσεων.



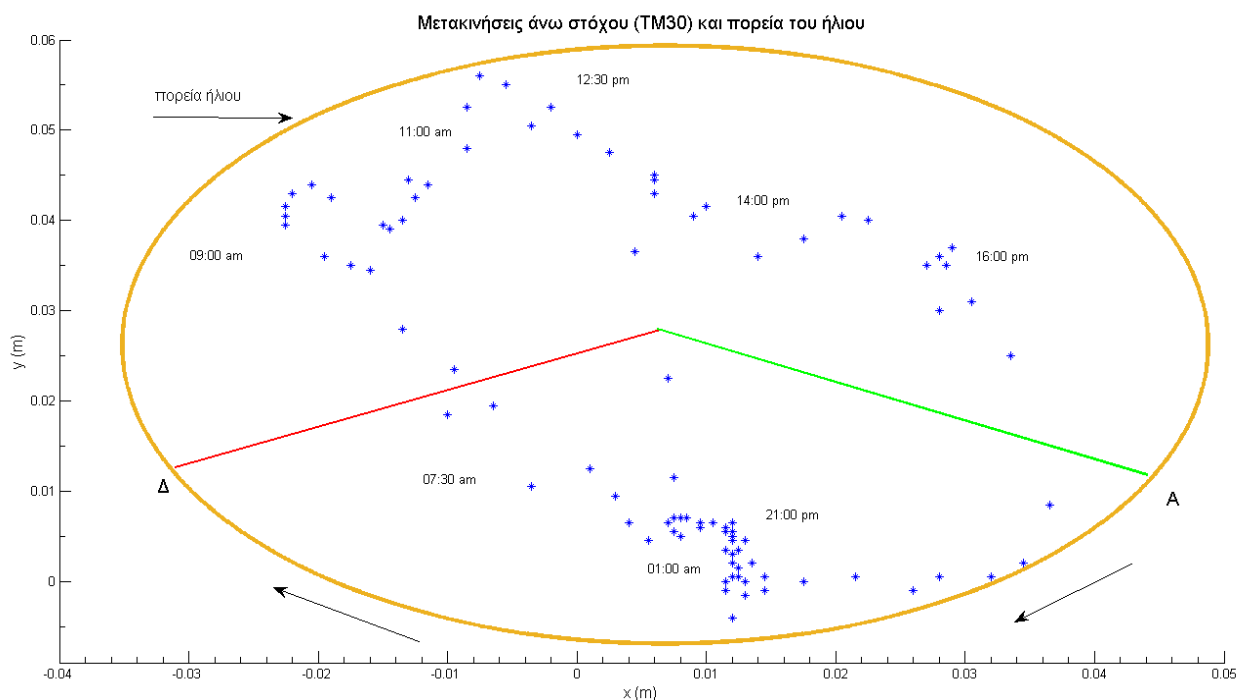
**Σχήμα.53** μετακινήσεις πρίσματος βάσης (1<sup>η</sup> σειρά μετρήσεων)



**Σχήμα.54** μετακινήσεις μεσαίου στόχου (1<sup>η</sup> σειρά μετρήσεων)

Παρατηρούμε , από τα σχήματα 53 και 54, πως υπάρχει μεγαλύτερη μετακίνηση στον άξονα των γωνιών από ότι στον άξονα των μηκών, η οποία είναι μη αναμενόμενη. Η ίδια μετακίνηση που παρουσιάζεται στο πρίσμα της βάσης του πύργου παρατηρείται και στο μεσαίο πρίσμα.

Από το σχήμα55 παρατηρείται μία αντίστροφη μετακίνηση του άνω πρίσματος προς την πορεία του ήλιου. Δηλαδή, όσο ο ήλιος πηγαίνει από την ανατολή προς την δύση, τόσο ο στόχος μετακινείται αντίθετα στην πορεία αυτή.



**Σχήμα.55** μετακινήσεις άνω στόχου (1<sup>η</sup> σειρά μετρήσεων) και πορεία του ήλιου

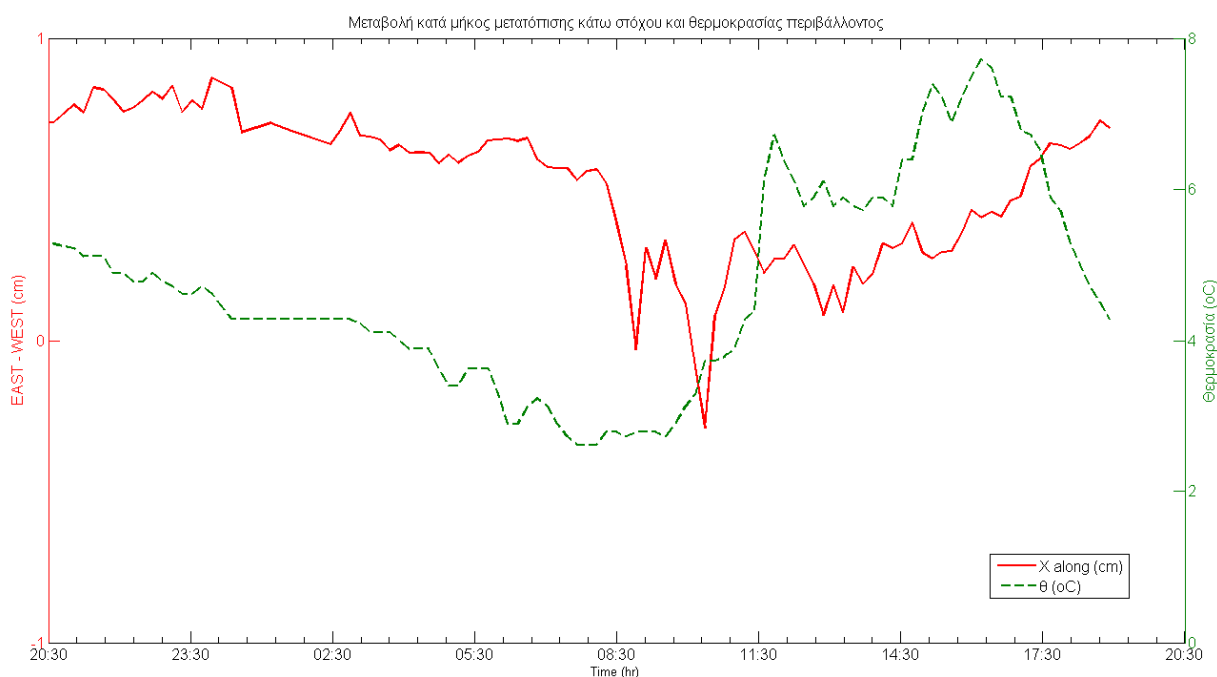
## 6.5 Οριστική μελέτη (3<sup>η</sup> σειρά μετρήσεων)

Η οριστική μελέτη πραγματοποιήθηκε στις 3-4/3/2015, για χρονικό διάστημα περίπου 22 ωρών. Στη διάρκεια των μετρήσεων και για το διάστημα 22:35 με 23: 15, δεν έχουμε δεδομένα λόγω ομίχλης που επικρατούσε στην περιοχή, και για το διάστημα αυτό έχει γίνει γραμμική παρεμβολή.

### 6.5.1 Χρονοσειρες πρωτογενών μετρήσεων.

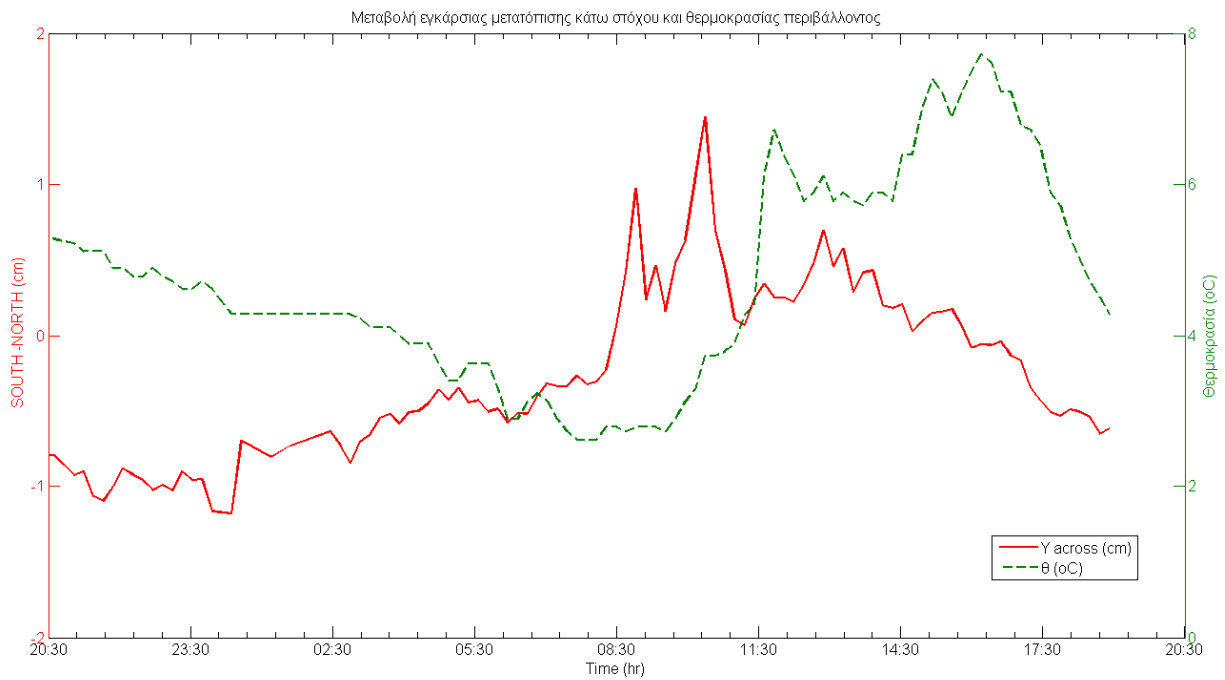
Όταν αναφερόμαστε σε πρωτογενείς μετρήσεις εννοούμε τις καρτεσιανές συντεταγμένες που προκύπτουν μετά από την τρίτη σειρά μετρήσεων έχοντας εφαρμόσει στροφή του συστήματος σύμφωνα με τους τύπους που είδαμε παραπάνω. Τα δεδομένα αυτά τα ονομάζουμε μετακινήσεις κατά μήκος (along) για τον x-άξονα και εγκάρσιες μετακινήσεις για τον y-άξονα (across). Οι μετατοπίσεις αυτές (along και across) αναφέρονται σε καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων με αφητηρία την

στάση Σ5 που ήταν τοποθετημένο το όργανο. Ο χ-άξονας είναι ο άξονας Δύση – Ανατολή και ο γ-άξονας είναι ο άξονας Βορράς – Νότος.



**Σχήμα.56** μεταβολή κατά μήκος μετατόπισης κάτω στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος

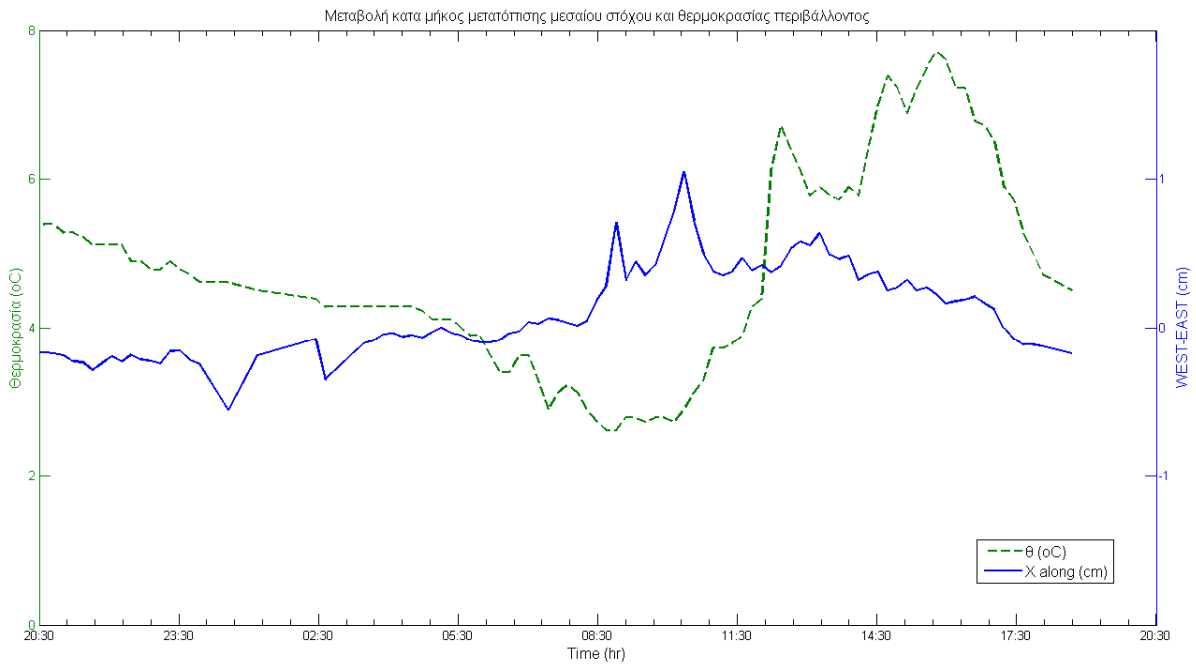
Από τα σχήματα 56 και 57 παρατηρούμε πως η εγκάρσια μετατόπιση στον κάτω στόχο, είναι μεγαλύτερη από την κατά μήκος μετατόπιση. Επιπλέον οι δύο μετατοπίσεις είναι αναμενόμενες, με την κατά μήκος να είναι της τάξης του 1cm και της εγκάρσιας να κινείται στο +/- 1cm. Επίσης η μέγιστη τιμή της εγκάρσιας συμπίπτει σε χρόνο με την ελάχιστη της κατά μήκος μετατόπισης και σημειώνονται στις 10:45π.μ.



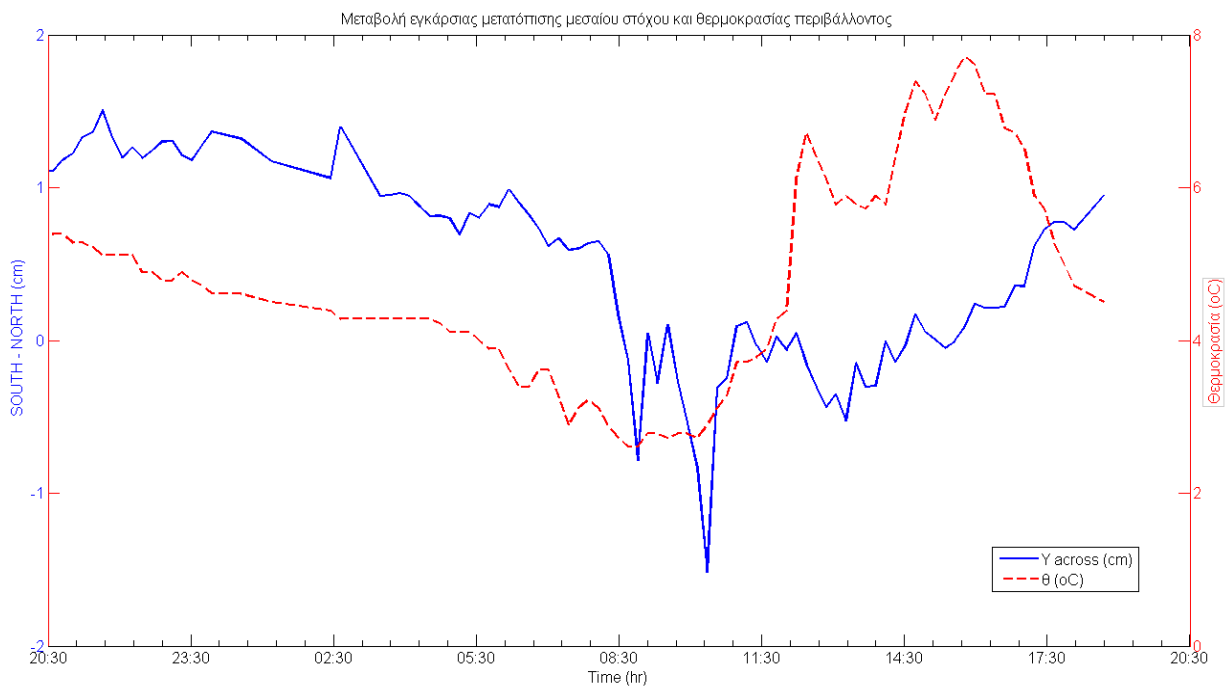
**Σχήμα.57** μεταβολή εγκάρσιας μετατόπισης κάτω στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Όσον αφορά τον μεσαίο στόχο, παρατηρούμε ότι σημειώνει πάλι την ίδια ώρα τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές, αλλά αντίστροφα με τον κάτω στόχο. Δηλαδή η κατά μήκος μετατόπιση είναι η μέγιστη και η εγκάρσια η ελάχιστη.

Οι μετακινήσεις είναι επίσης οι αναμενόμενες σε μέγεθος και κυμαίνονται από -0.6 – 1cm οι κατά μήκος και -1.5 – 1.5 cm οι εγκάρσιες.

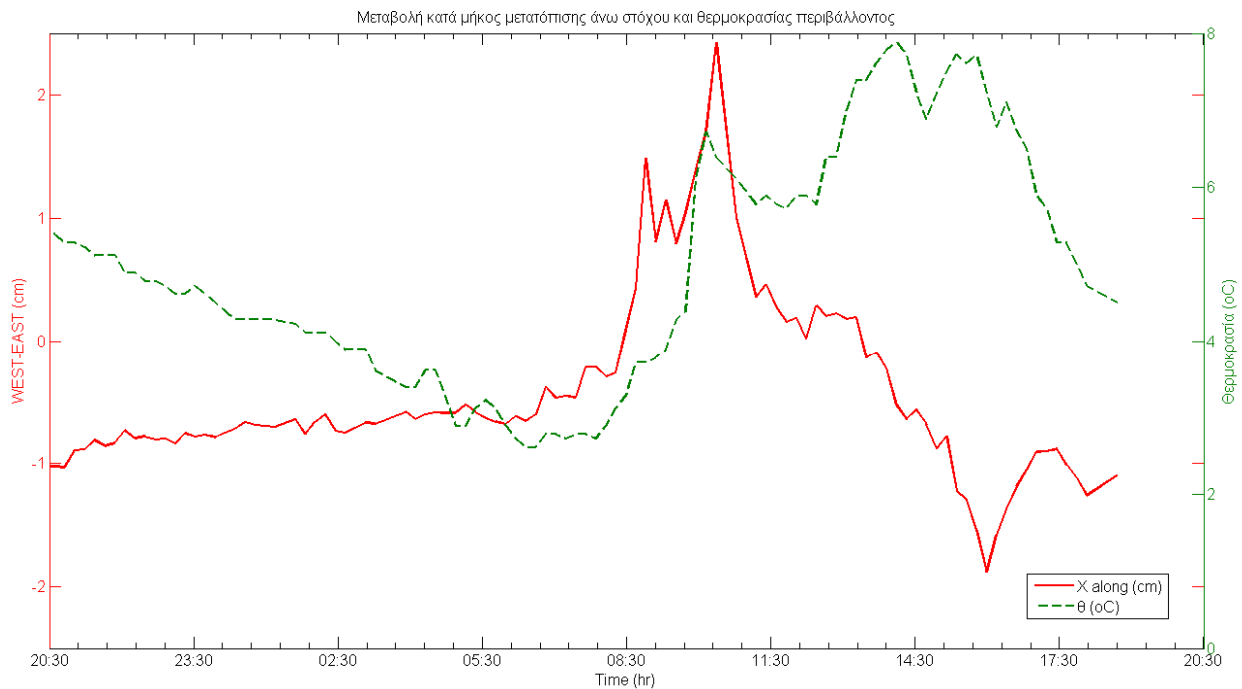


**Σχήμα.58** μεταβολή κατά μήκος μετατόπισης μεσαίου στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος

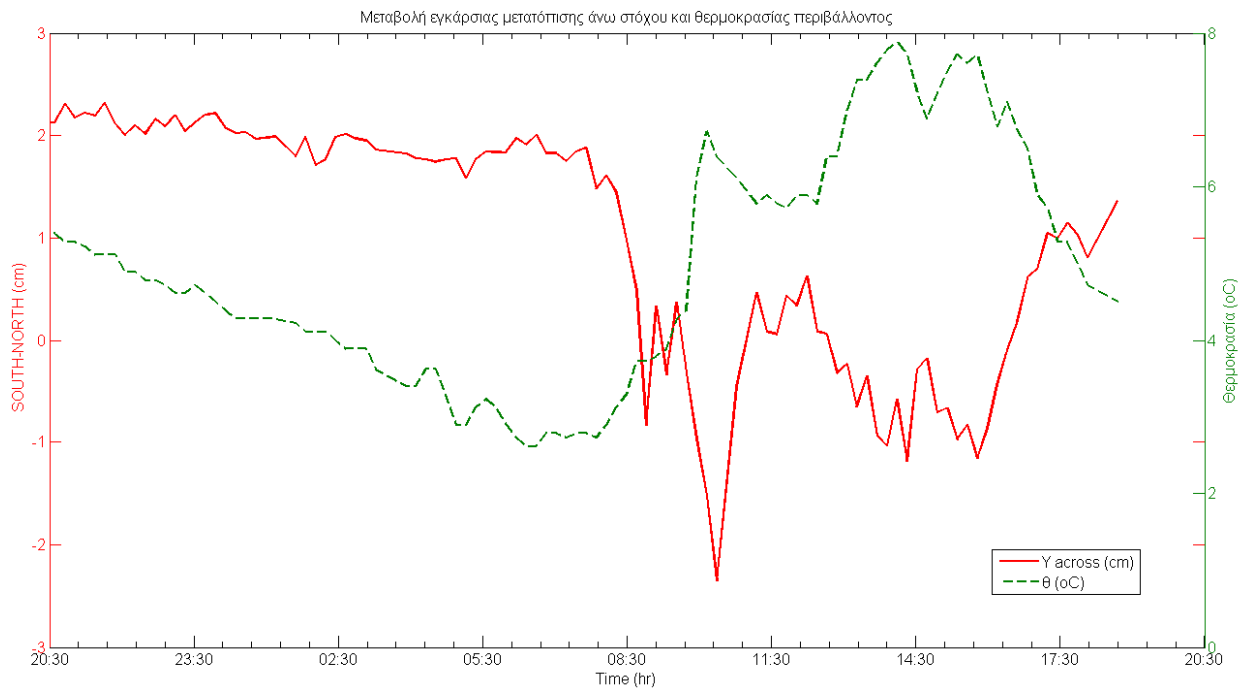


**Σχήμα.59** μεταβολή εγκάρσιας μετατόπισης μεσαίου στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Ο άνω στόχος παρουσιάζει τις μεγαλύτερες σε εύρος μετατοπίσεις στο ίδιο χρονικό σημείο, κατά τη διάρκεια των εικοσιτετράωρων παρατηρήσεων. Οι μετακινήσεις αυτές κυμαίνονται από -2 έως +2.4 cm για τις κατά μήκος μετατοπίσεις και από -2.5 έως 2.2cm οι εγκάρσιες.



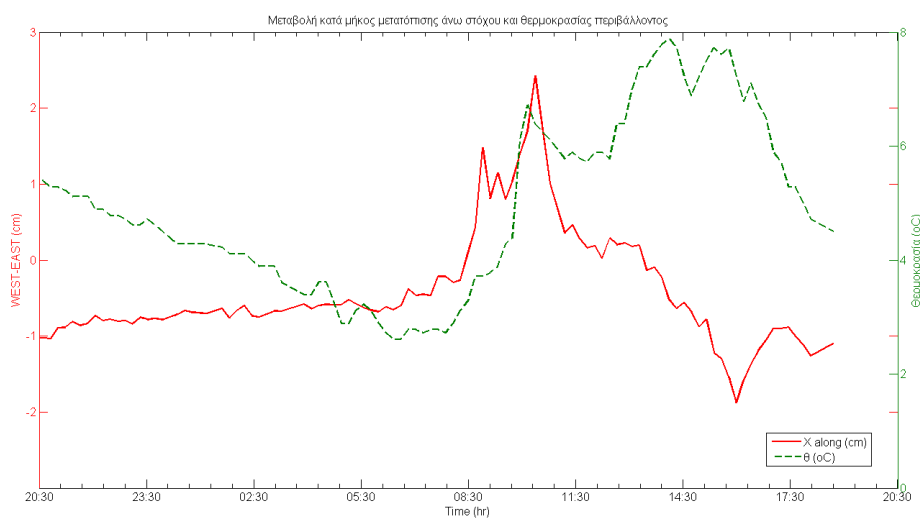
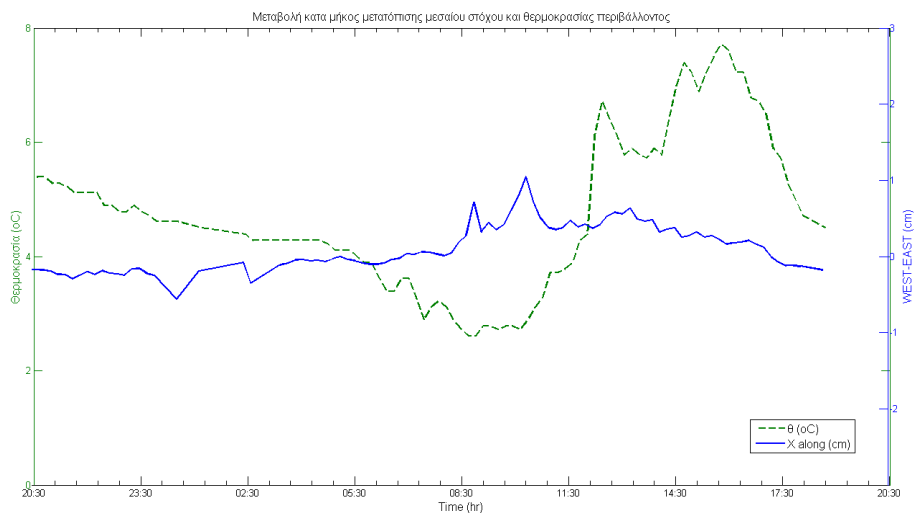
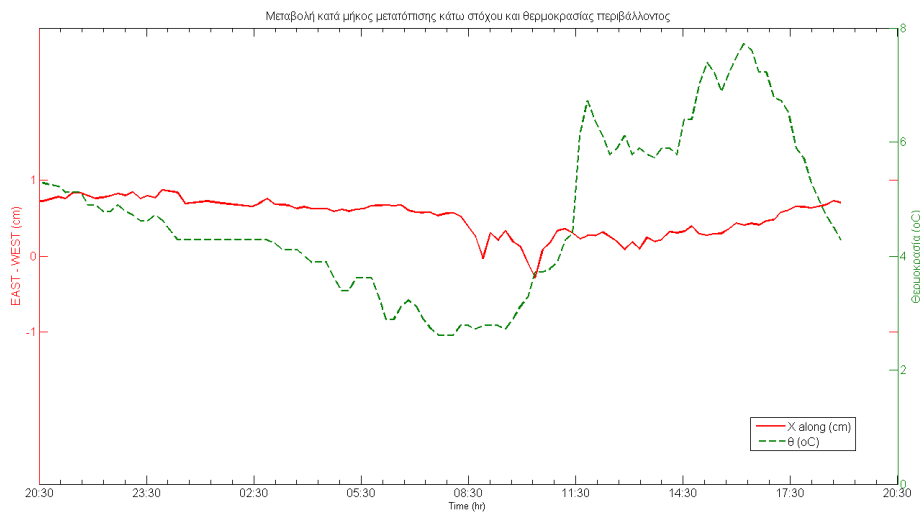
**Σχήμα.60** μεταβολή κατά μήκος μετατόπισης άνω στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος



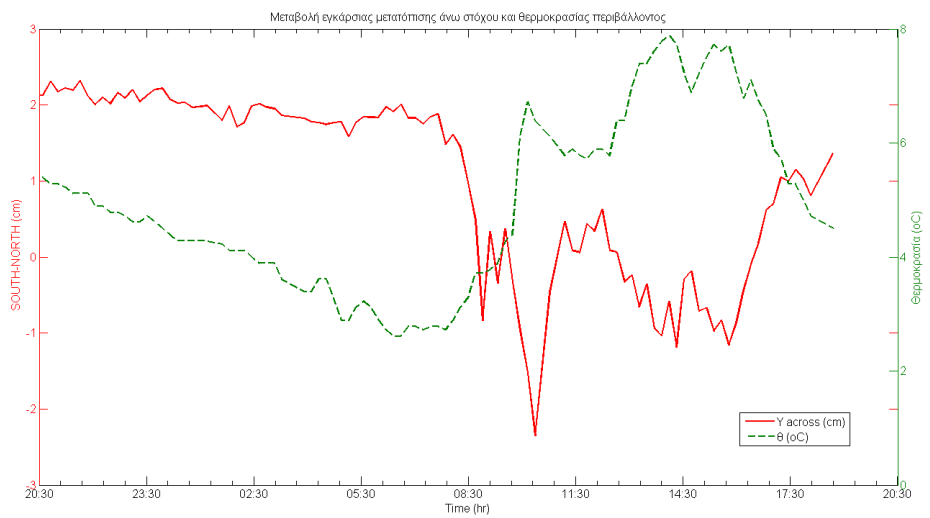
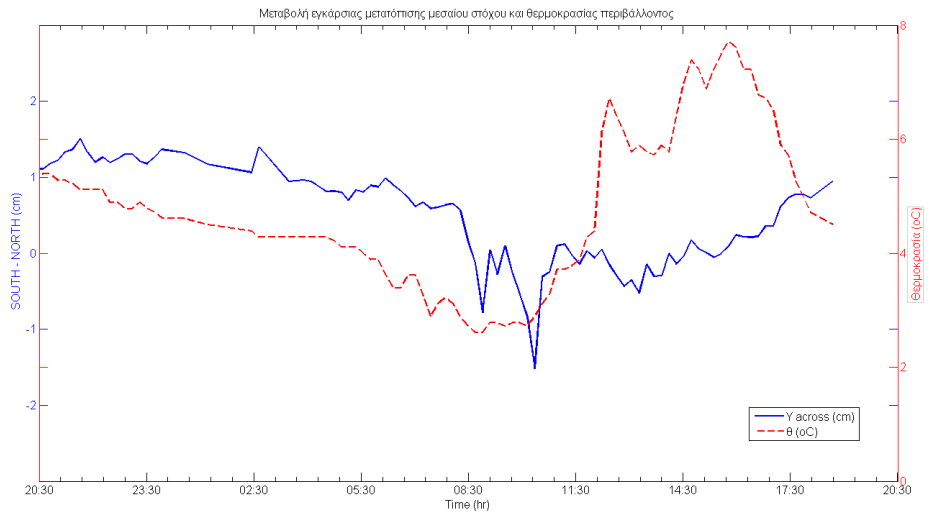
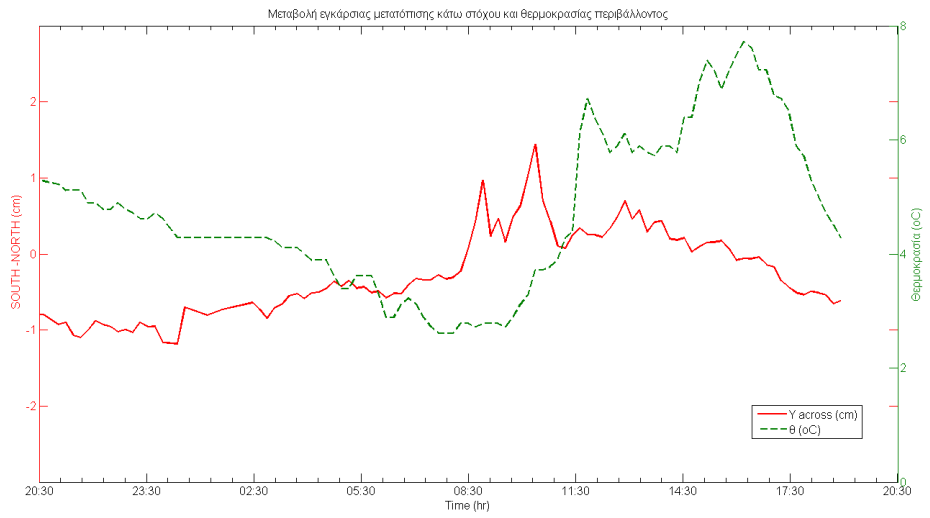
**Σχήμα.61** μεταβολή εγκάρσιας μετατόπισης άνω στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Για την καλύτερη εποπτεία των μετακινήσεων των στόχων καθ' ύψος της κατασκευής, στα σχήματα 62 και 63 απεικονίζονται οι κατά μήκος και οι εγκάρσιες μετατοπίσεις των τριών στόχων στην ίδια κλίμακα.





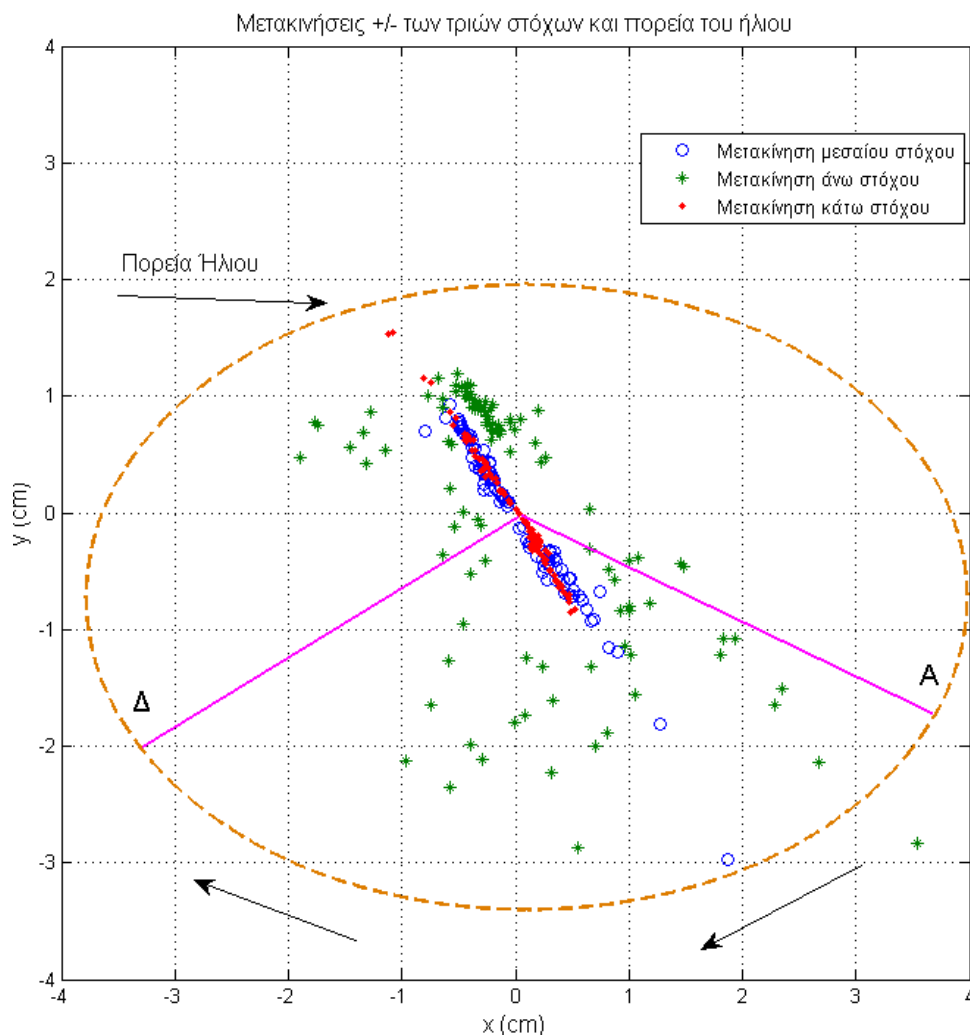
Σχήμα.62 μεταβολή κατά μήκος μετατόπισης στόχων στην ίδια κλίμακα



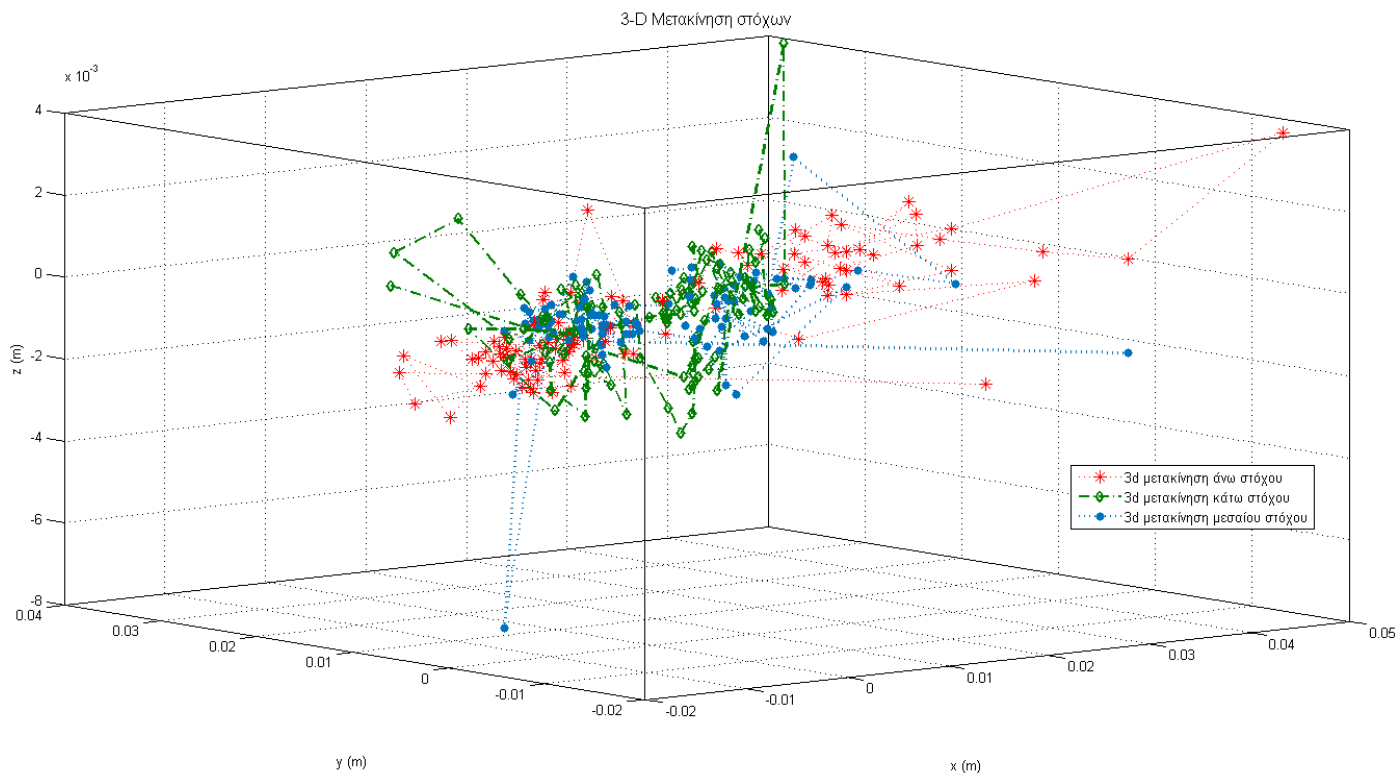
Σχήμα.63 μεταβολή εγκάρσιας μετατόπισης στόχων στην ίδια κλίμακα

## 6.5.2 Οριζοντιογραφίες πρωτογενών μετρήσεων

Από το σχήμα 64 διακρίνεται πως οι μετακινήσεις του πρίσματος βάσης και του μεσαίου στόχου, ταυτίζονται ως προς το εύρος τους αλλά και ως προς την διεύθυνση τους. Είναι δε πολύ μικρές της τάξης του +/- 1cm. Οι μετακινήσεις του άνω στόχου είναι μεγαλύτερες, της τάξης των 4-5cm που οφείλεται στην ευκαμψία του δικτυώματος. Επιπλέον κατά την διάρκεια της πορείας του ήλιου από Ανατολή προς Δύση, οι μετακινήσεις των στόχων ακολουθούν αντίθετη πορεία.



Σχήμα.64 Μετακινήσεις των τριών στόχων και πορεία ήλιου



**Σχήμα.65** Τρισδιάστατες Μετακινήσεις των τριών στόχων.

Στο σχήμα 65 διακρίνονται κάποιες ακραίες τιμές, οι οποίες είναι χονδροειδή σφάλματα.

### 6.5.3 Χρονοσειρες ανηγμένων μετρήσεων.

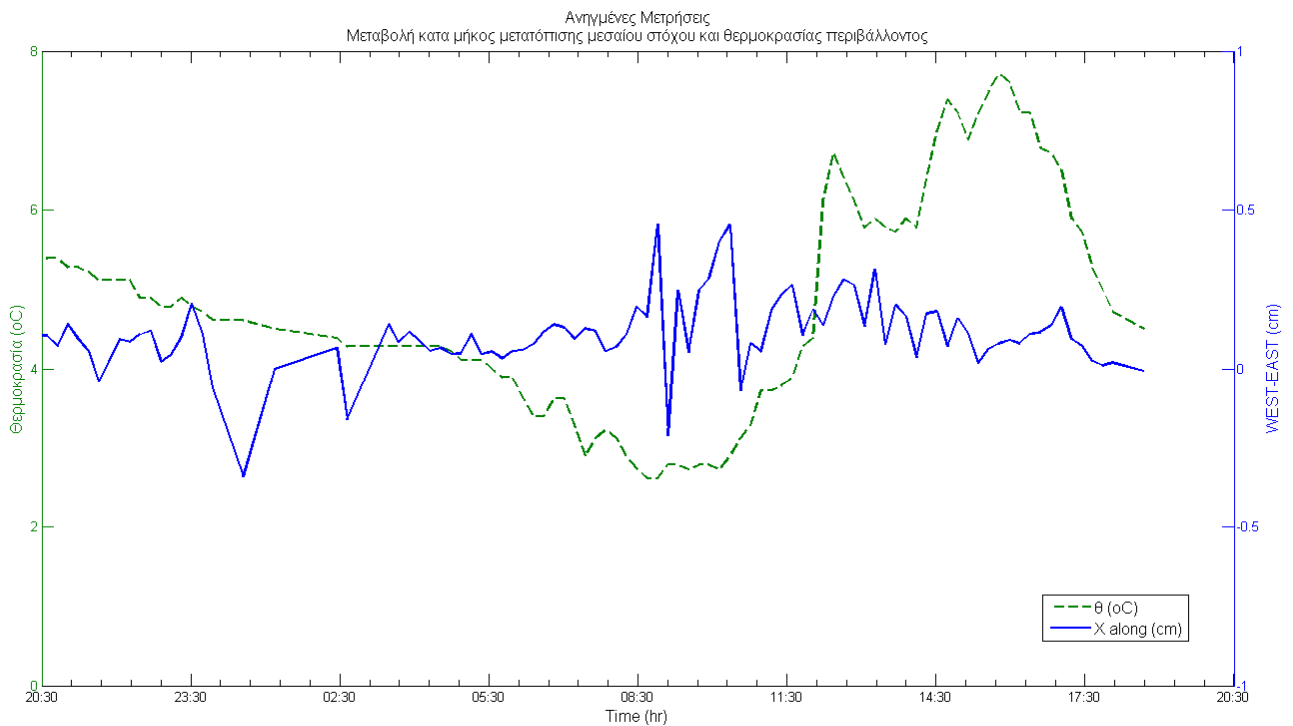
Παρήχθησαν και παρουσιάζονται διαγράμματα χρονοσειρών για κάθε στόχο αλλά και συγκριτικά μεταξύ τους. Ο  $\chi$ -άξονας όπως φαίνεται στα διαγράμματα, είναι περίπου παράλληλος με τη διεύθυνση Ανατολής – Δύσης του ηλίου. Παρατηρούμε στις χρονοσειρές τόσο των ανηγμένων όσο και των πρωτογενών μετρήσεων πως η μεταβολή τους είναι αρμονική σε συνάρτηση της θερμοκρασίας.

Οι ανηγμένες μετρήσεις αναφέρονται στον μεσαίο και στον άνω στόχο και προέκυψαν από την αφαίρεση των αντίστοιχων μετακινήσεων του κάτω στόχου.

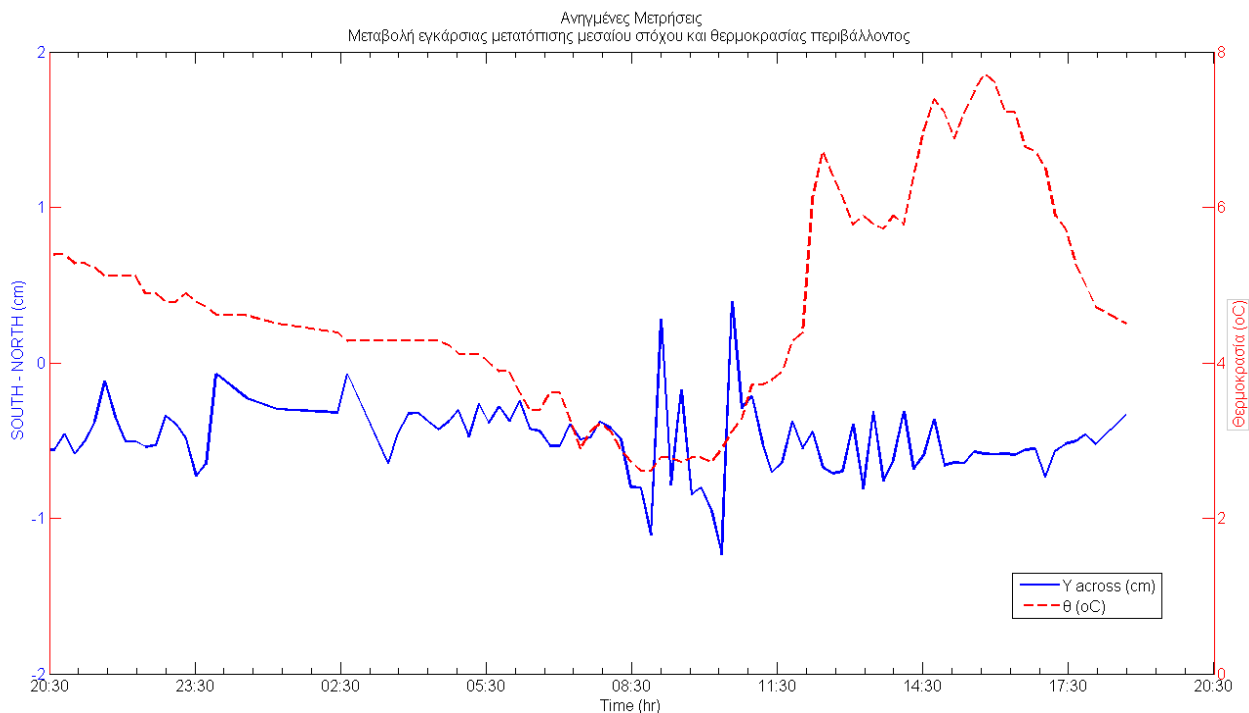
$$\chi(\text{νέο}) = \chi(1) - \chi(\text{κάτω})$$

$$y(\text{νέο}) = y(1) - y(\text{κάτω})$$

όπου  $\chi(\text{νέο})$ ,  $y(\text{νέο})$  οι ανηγμένες τιμές,  $\chi(1)$ ,  $y(1)$  οι πρωτογενείς συντεταγμένες και  $\chi(\text{κάτω})$ ,  $y(\text{κάτω})$  τα αντίστοιχα ζεύγη συντεταγμένων του κάτω στόχου.



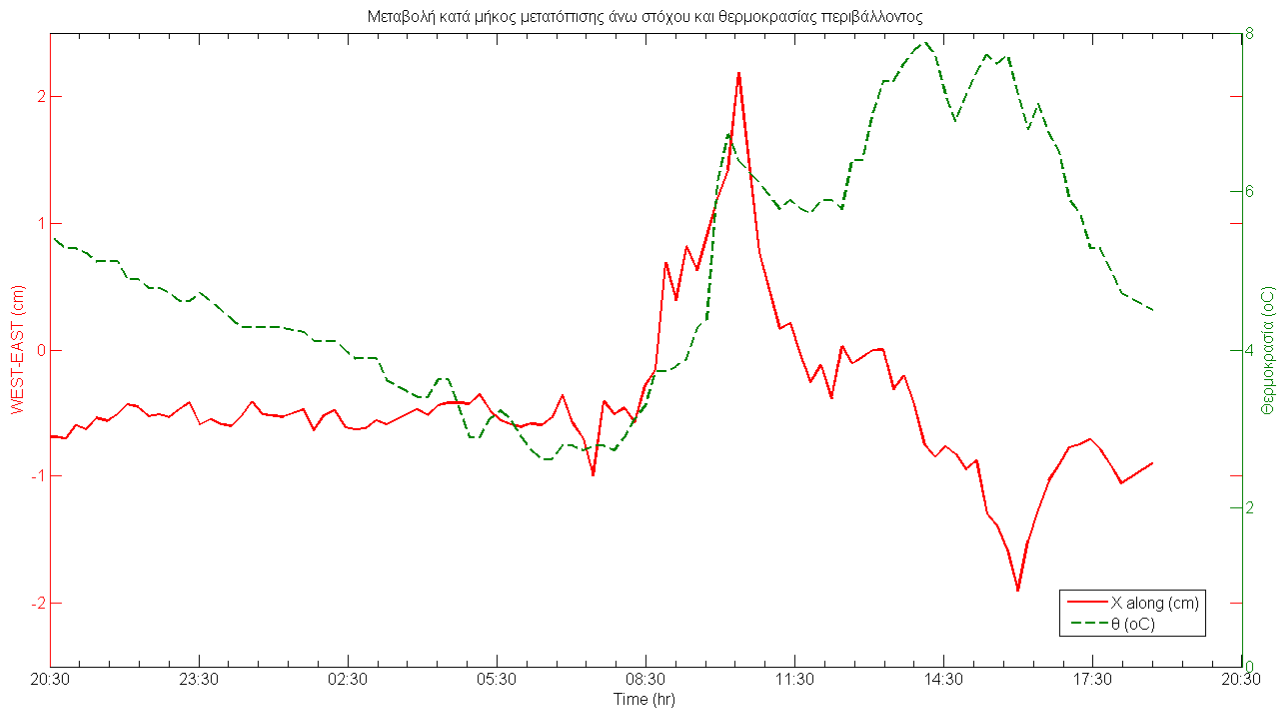
**Σχήμα.66** μεταβολή κατά μήκος μετατόπισης μεσαίου στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος.



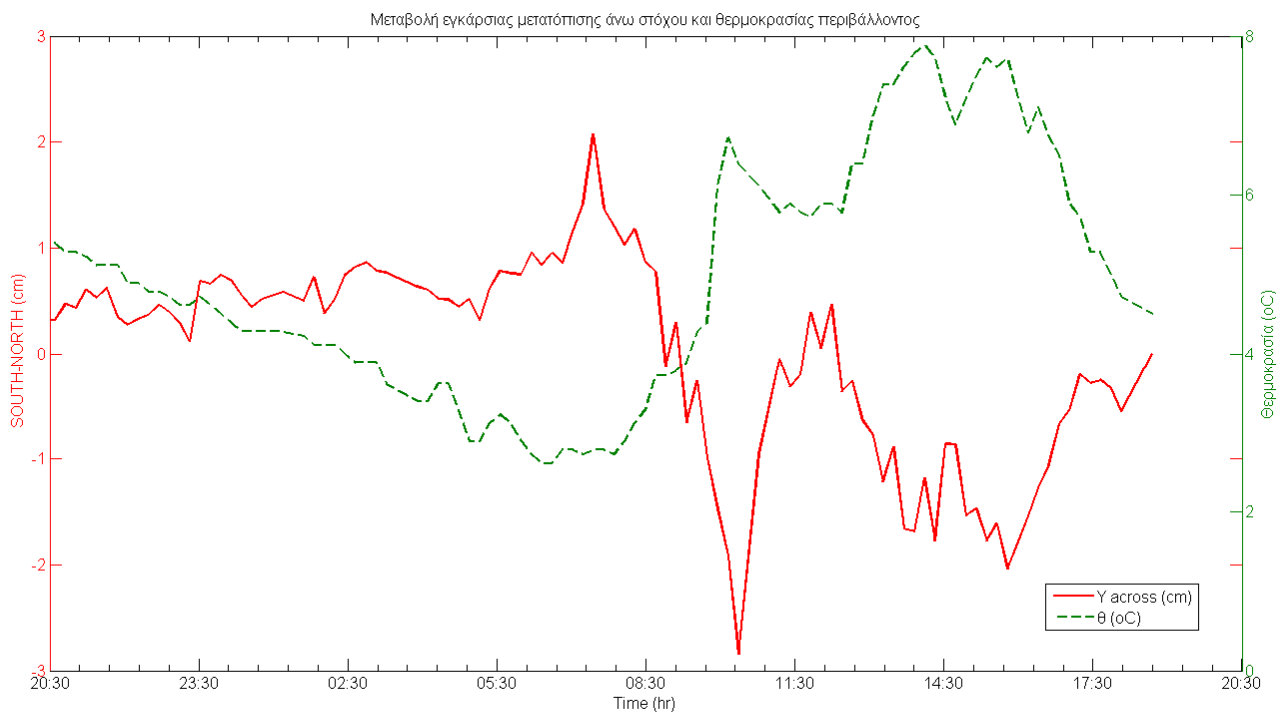
**Σχήμα.67** μεταβολή εγκάρσιας μετατόπισης μεσαίου στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Όπως παρατηρούμε στα σχήματα 66 και 67 στις ανηγμένες παρατηρήσεις οι μετακινήσεις του μεσαίου στόχου, μειώνονται. Τόσο οι κατά μήκος μετακινήσεις που κυμαίνονταν στα  $\pm 0.5\text{cm}$  τόσο και οι εγκάρσιες που κυμαίνονται στα  $\pm 0.8\text{cm}$ .

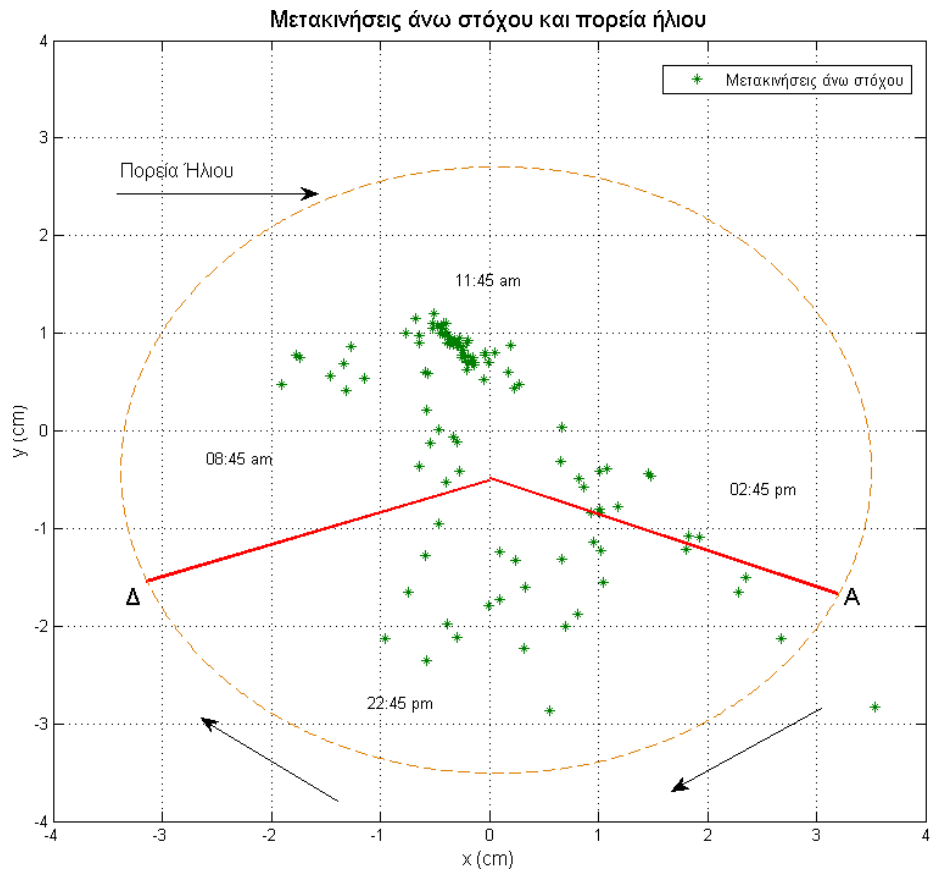
Το ίδιο παρατηρείται και για τον άνω στόχο, σε μικρότερη κλίμακα όμως, αφού οι κατά μήκος μετατοπίσεις κυμαίνονται από  $\pm 2\text{cm}$  και οι εγκάρσιες από  $-2.5\text{cm}$  έως  $2\text{cm}$ .



**Σχήμα.68** μεταβολή κατά μήκος μετατόπισης άνω στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος



**Σχήμα.69** μεταβολή εγκάρσιας μετατόπισης άνω στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος



**Σχήμα.70** μετακινήσεις άνω στόχου και πορεία του ήλιου

Από το σχήμα 70 προκύπτει πως ο άνω στόχος ακολουθεί αντίθετη πορεία από αυτή του ήλιου, δηλαδή κατά τη διαδρομή του ήλιου από Ανατολή προς Δύση, ο στόχος μετακινείται Βορειοδυτικά προς Βορειοανατολικά.



## **Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα – Προτάσεις**

### **7.1 Γενικά**

Σε αυτή την εργασία, χρειάστηκε να γίνουν τρεις σειρές μετρήσεων. Οι μετρήσεις αυτές γίνανε με όργανα τα οποία έχουν εξειδικευμένες δυνατότητες, όπως συνεχής παρακολούθηση στόχου (tracking), αυτόματο εντοπισμό στόχου και στόχευση στο κέντρο του πρίσματος (ATR), αυτόματη αναστροφή περιστροφή και εντοπισμός, και χρησιμοποιήθηκε και λογισμικό προγραμματισμού και αυτόματων μετρήσεων στο πεδίο (Geomos), χωρίς παρατηρητή.

Η αναγκαιότητα των οργάνων αυτών κρίνεται απαραίτητη σε αντίστοιχου τύπου μετρήσεις, είτε για την δυνατότητα εντοπισμού που μας επιτρέπει να έχουμε μεγάλο πλήθος δεδομένων σε σύντομο χρονικό διάστημα, αλλά κυρίως για την ικανότητα τους να μετρούν σε συνθήκες χαμηλού ή καθόλου φωτισμού. Κάνοντας τα ιδανικά για νυχτερινές παρατηρήσεις. Επίσης η ακρίβεια των οργάνων ήταν υψηλότερη από τις μετακινήσεις που παρατηρήθηκαν, οι οποίες ήταν της τάξης μερικών εκατοστών.

Η επιλογή κατάλληλης ημέρας για τις παρατηρήσεις, έπαιξε το ρόλο της αφού το κύριο μέλημα ήταν οι όσο το δυνατόν ασθενέστεροι άνεμοι. Παρόλα αυτά θα πρέπει να συνυπολογίζονται και άλλοι μετεωρολογικοί παράγοντες, έτσι ώστε να αποφεύγονται δυσμενή καιρικά φαινόμενα όπως η ομίχλη ή η υγρασία τα οποία σε τέτοιο υψόμετρο δεν είναι εύκολο να προβλεφτούν.

### **7.2 Συμπεριφορά έναντι των θερμοκρασιακών μεταβολών**

Όσον αφορά το τμήμα της κατασκευής που είναι κατασκευασμένο από σκυρόδεμα, έχει σαφώς μικρότερο μέτρο ελαστικότητας από το μεταλλικό δικτύωμα της EPT, και ως εκ τούτου εμφανίζει μικρότερες παραμορφώσεις συγκριτικά, λόγω των θερμοκρασιακών μεταβολών.

Παρόλα αυτά παρατηρείται μία μετακίνηση του πύργου κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων με κατεύθυνση νοτιοανατολική. Αυτό συμβαίνει γιατί ο ήλιος κατά

την πορεία που ακολουθεί, θερμαίνει περισσότερο τη μία πλευρά της κατασκευής με αποτέλεσμα να την «σπρώχνει» προς την αντίθετη διεύθυνση της πορείας του. Το φαινόμενο αυτό της διαστολής έχει σαν αποτέλεσμα την τοξοειδή παραμόρφωση του πύργου με τέτοιο τρόπο ώστε η προβολή της κορυφής του στο επίπεδο του εδάφους να βρίσκεται σε απόσταση από τη βάση του και σε αντίθετη κατεύθυνση από αυτή του ήλιου. Η απόσταση αυτή αυξάνεται έως τη μέγιστη τιμή της που ταυτίζεται με τη μέγιστη τιμή της εγκάρσιας συνιστώσας.

Επίσης η μετατόπιση στην κορυφή της κατασκευής, ήταν υψηλότερη από αυτή της μέσης, και το εύρος της μετατόπισης κυμάνθηκε από τα +/- 2.8cm στην κορυφή και τα +/- 2cm στην μέση.

Τέλος ένα πρόβλημα που διερευνάται είναι η μετακίνηση της βάσης. Η βάση του πύργου αναμένεται να έχει ανεπαίσθητες μετακινήσεις, αλλά και οι τρεις σειρές μετρήσεων έδειξαν μια περιοδικότητα στην μετακίνηση κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου των παρατηρήσεων. Στην τρίτη σειρά μετρήσεων, η μετακίνηση αυτή είναι σαφώς μικρότερη από τις δύο πρώτες αλλά είναι υπαρκτή.

### **7.3 Προτάσεις**

Η υλοποίηση της υπόψη εργασίας οδήγησε σε χρήσιμα αλλά προκαταρκτικά συμπεράσματα για την δυναμική συμπεριφορά της κατασκευής λόγω των πρακτικών δυσκολιών που προέκυψαν όπως αναλύθηκε προηγούμενα. Η ανάλυση των μετρημένων στοιχείων και η λήψη επιπρόσθετων θα μπορούσε να βοηθήσει σε πληρέστερη εικόνα για την απόκριση της κατασκευής έναντι περιβαλλοντικών φορτίων.

Ειδικότερα, προτείνεται:

- Διεξοδικότερη ανάλυση δεδομένων θερμοκρασίας και μετατοπίσεων καθώς και η συσχέτιση της θέσης του ήλιου με αυτές,

- Η μελέτη της απόκρισης της κατασκευής έναντι του ανέμου μέσω λήψης κατάλληλων μετρήσεων υψηλής δειγματοληψίας και ακρίβειας,
- Πειραματικός υπολογισμός των ιδιομορφικών χαρακτηριστικών της κατασκευής,
- Σύγκριση των αποτελεσμάτων πειραματικού ελέγχου με εκείνα που θα προκύψουν από την ανάπτυξη αριθμητικού μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ, ΤΜΗΜΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ, «Ενόργανη παρακολούθηση δομικής κατάστασης σημαντικών έργων με σκοπό την πληρέστερη συντήρησή τους» , Λεκίδης Β., Πανέτσος Π., Καρακώστας Χ., Διαμαντουλάκη Ι., Θεσσαλονίκη 2009
2. (Leica TPS1100 Professional Series User Manual, Version 2.2, Leica Geosystems).
3. Παρακολούθηση της δυναμικής συμπεριφοράς μεταλλικών κατασκευών με χρήση ρομποτικού γεωδαιτικού σταθμού (RTS) Β. Γκίκας Ηλεκτρονικό περιοδικό: Γεωδαισίας Δείγματα και Παραδείγματα, Τεύχος 5 – Ιούλιος/Αύγουστος 2011
4. Μπαλοδήμος Δ. – Σταθάς Δ. , Γεωδαιτικά Όργανα και Μέθοδοι Μέτρησης Γωνιών και Μηκών, Αθήνα 1993
5. Αγατζά – Μπαλοδήμου Α. Μ. , Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις Ι, Αθήνα 2004
6. Νησιωτάκης Γεώργιος, Διερεύνηση λειτουργίας του γεωδαιτικού σταθμού Leica TCA□1800 για την παρακολούθηση κατασκευών σε συνθήκες ταλάντωσης με χρήση σεισμικής τράπεζας ακριβείας και μεθόδων φασματικής ανάλυσης, Δ.Ε., Αθήνα 2008
7. Μαριτσούδης Δημήτριος, Παρακολούθηση δυναμικής συμπεριφοράς της υψηλής καπνοδόχου ΑΗΣ Λαυρίου της ΔΕΗ Α.Ε., Δ.Ε., Αθήνα 2008
8. Χατζίνας Δημήτριος, Συγκριτική μελέτη μετακινήσεων πυλώνων ανεμογεννητριών, εξαιτίας της επίδρασης του ανέμου και του ήλιου, Δ.Ε., Αθήνα 2013.
9. Charles Farrar, Keith Worden, An Introduction to structural health monitoring, Phil. Trans. R. Soc. A 365, 303–315, December 2006

10. Jose R. Celaya, Abhinav Saxena, Sankalita Saha and Kai F. Goebel, Prognostics of Power MOSFETs under Thermal Stress Accelerated Aging using Data-Driven and Model-Based Methodologies, NASA Ames Research Center, Prognostics Center of Excellence, Moffett Field, CA, 94035, USA 2011

10. Γκουντινάκος Γ., Ο Γεωδαιτικός σταθμός Leica TDA 5005 – Εργαστηριακοί έλεγχοι – Συνδυασμένη χρήση με το λογισμικό Βιομηχανικής Γεωδαισίας Axyz, Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Αθήνα, 2004.

11. Μαρίτσα Κασσιώπη, Έλεγχος κατακορυφότητας κτιρίων κατά τη διάρκεια της κατασκευής – παρακολούθηση παραμορφώσεων τεχνικών έργων, Μεταπτυχιακή εργασία ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 2014.

12. Peter Breuer, Tadeusz Chmielewski, Piotr Górski, Eduard Konopka, Lesław Tarczynski, The Stuttgart TV Tower — displacement of the top caused by the effects of sun and wind, University of Applied Sciences, Stuttgart, Germany, Opole University of Technology, Opole, Poland, 2008.

[www.metrica.gr](http://www.metrica.gr)

[www.suncalc.net](http://www.suncalc.net)

[www.sunearthtools.com](http://www.sunearthtools.com)

[www.sunposition.info/](http://www.sunposition.info/)

<http://nisida.civil.auth.gr/asproge/index.htm>

[www.leica-geosystems.com](http://www.leica-geosystems.com)

<http://www.advancedconverter.com>

<http://forecast.uoa.gr/greek>

<http://www.meteo.gr/>

<http://www.poseidon.hcmr.gr>

<http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.html>

<http://rsta.royalsocietypublishing.org/>

<http://www.elsevier.com/locate/engstruct>

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

<i>Σχήμα.1</i> Ο πύργος ΟΤΕ/ΕΡΤ στα Γεράνεια Όρη.....	10
<i>Σχήμα.2.</i> Είδη παραμορφώσεων μεταλλικών κατασκευών.....	11
<i>Σχήμα.3</i> Μέθοδος SHM σε ψηλή κατασκευή.....	13
<i>Σχήμα.4</i> Εφαρμογές παλμικών αισθητήρων για την παρακολούθηση της υγείας κατασκευών.....	15
<i>Σχήμα.5</i> προσομοίωση συμπεριφοράς.....	19
<i>Σχήμα.6</i> οπτικές ίνες, χρησιμοποιούμενες από την υπηρεσία συντήρησης μνημείων.....	22
<i>Σχήμα.7</i> ο πύργος τηλεόρασης στην Στουτγάρδη.....	27
<i>Σχήμα.8</i> άποψη της Στουτγάρδης με τον πύργο.....	28
<i>Σχήμα.9</i> το gprs στην κουπαστή.....	28
<i>Σχήμα.10</i> χρονοσειρά μετεωρολογικών συνθηκών.....	28
<i>Σχήμα.11</i> ημερήσιες μετακινήσεις.....	30
<i>Σχήμα.12</i> μετατόπιση στους δύο άξονες.....	32
<i>Σχήμα.13</i> μετακινήσεις σε τρεις διαφορετικές εποχές.....	33
<i>Σχήμα.14</i> μετακινήσεις στην εποχή 15-19/12/2005.....	34
<i>Σχήμα.15</i> Ο ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός Leica TCA 1800 .....	36
<i>Σχήμα.16</i> Απόκλιση κέντρου πρίσματος-σταυρονήματος.....	38
<i>Σχήμα.17</i> Σπειροειδής ανίχνευση στόχου Leica TCA 1800 .....	38
<i>Σχήμα.18</i> Οθόνη εισαγωγής αρχικών στοιχείων.....	40
<i>Σχήμα.19</i> Οθόνη επικοινωνίας οργάνου και παρακολούθησης μετρήσεων.....	40
<i>Σχήμα.20</i> Γεωδαιτικός Σταθμός Leica TM 30.....	41
<i>Σχήμα.21</i> σπειροειδής ανίχνευση στόχου.....	43
<i>Σχήμα.22</i> ο γεωδαιτικός σταθμός TDA5005.....	44
<i>Σχήμα.23</i> εφαρμογές του λογισμικού Geomos.....	47
<i>Σχήμα.24</i> περιοχή μετρήσεων.....	49

<i>Σχήμα.25</i> καθ' ύψος τομή της κατασκευής.....	50
<i>Σχήμα.26</i> οδοιπορικό διάγραμμα προσέγγισης πύργου μελέτης.....	51
<i>Σχήμα.27</i> κάτοψη ισογείου.....	52
<i>Σχήμα.28</i> κάτοψη ενδιάμεσου ορόφου.....	52
<i>Σχήμα.29</i> κάτοψη 8 <sup>ο</sup> ορόφου.....	53
<i>Σχήμα.30</i> άνω πρίσμα.....	55
<i>Σχήμα.31</i> κάτω πρίσμα.....	55
<i>Σχήμα.32</i> Θέσεις παρατήρησης. Αριστερά διακρίνεται ο φυσικός σχηματισμός (βράχος) που εξασφάλισε προστασία του εξοπλισμού από τον άνεμο.....	56
<i>Σχήμα.33</i> πρίσμα βάσης.....	57
<i>Σχήμα.34</i> μετεωρολογικός σταθμός.....	57
<i>Σχήμα.35</i> σχήμα οριζοντιογραφίας θέσεων ενδιαφέροντος.....	58
<i>Σχήμα.36</i> εικόνα του πύργου σε συνθήκες ομίχλης.....	63
<i>Σχήμα.37</i> ομίχλη στη δεύτερη σειρά μετρήσεων.....	64
<i>Σχήμα.38</i> νυχτερινές παρατηρήσεις.....	64
<i>Σχήμα.39</i> Απόσπασμα πρωτογενών μετρήσεων TCA1800.....	68
<i>Σχήμα.40</i> Τρίτη σειρά μετρήσεων.....	69
<i>Σχήμα.41</i> Διακρίνεται το καλώδιο σύνδεσης με laptop που βρίσκεται εντός του αυτοκινήτου.....	69
<i>Σχήμα.42</i> στροφή συστήματος.....	72
<i>Σχήμα.43</i> πορεία του ήλιου κατά τη διάρκεια της πρώτης και δεύτερης σειράς μετρήσεων..	73
<i>Σχήμα.44</i> πορεία του ήλιου κατά τη διάρκεια της τρίτης σειράς μετρήσεων.....	73
<i>Σχήμα.45</i> αζιμούθιο και γωνία ύψους ηλίου στην τρίτη σειρά μετρήσεων.....	74
<i>Σχήμα.46</i> σχετική θέση του ήλιου έναντι της κατασκευής.....	76
<i>Σχήμα.47</i> εικονική απεικόνιση φαινόμενης κίνησης του ήλιου στην περιοχή μελέτης κατά την διάρκεια των παρατηρήσεων.....	76

<i>Σχήμα.48</i> εικονική απεικόνιση φαινόμενης κίνησης του ήλιου στην περιοχή μελέτης κατά την διάρκεια των παρατηρήσεων στις 12:00το μεσημέρι.....	77
<i>Σχήμα.49</i> εικονική απεικόνιση φαινόμενης κίνησης του ήλιου και θέση παρατήρησης κατά την διάρκεια των μετρήσεων.....	77
<i>Σχήμα.50</i> εκτιμώμενη επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας στην κορυφή μεταλλικού ικριώματος	78
<i>Σχήμα.51</i> Φωτεινότητα και θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια παρατήρησης...	79
<i>Σχήμα.52</i> Ένταση και διεύθυνση του ανέμου κατά την διάρκεια παρατήρησης.....	80
<i>Σχήμα.53</i> μετακινήσεις πρίσματος βάσης (1 <sup>η</sup> σειρά μετρήσεων).....	81
<i>Σχήμα.54</i> μετακινήσεις μεσαίου στόχου (1 <sup>η</sup> σειρά μετρήσεων).....	82
<i>Σχήμα.55</i> μετακινήσεις άνω στόχου (1 <sup>η</sup> σειρά μετρήσεων) και πορεία του ήλιου.....	83
<i>Σχήμα.56</i> μεταβολή κατά μήκος μετατόπισης κάτω στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος..	84
<i>Σχήμα.57</i> μεταβολή εγκάρσιας μετατόπισης κάτω στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος...85	
<i>Σχήμα.58</i> μεταβολή κατά μήκος μετατόπισης μεσαίου στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος.....	86
<i>Σχήμα.59</i> μεταβολή εγκάρσιας μετατόπισης μεσαίου στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος.....	86
<i>Σχήμα.60</i> μεταβολή κατά μήκος μετατόπισης άνω στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος.....	87
<i>Σχήμα.61</i> μεταβολή εγκάρσιας μετατόπισης άνω στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος.....	88
<i>Σχήμα.62</i> μεταβολή κατά μήκος μετατόπισης στόχων στην ίδια κλίμακα.....	89
<i>Σχήμα.63</i> μεταβολή εγκάρσιας μετατόπισης στόχων στην ίδια κλίμακα.....	90
<i>Σχήμα.64</i> Μετακινήσεις των τριών στόχων και πορεία ήλιου.....	91
<i>Σχήμα.65</i> Τρισδιάστατες Μετακινήσεις των τριών στόχων.....	92
<i>Σχήμα.66</i> μεταβολή κατά μήκος μετατόπισης μεσαίου στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος.....	93
<i>Σχήμα.67</i> μεταβολή εγκάρσιας μετατόπισης μεσαίου στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος	94
<i>Σχήμα.68</i> μεταβολή κατά μήκος μετατόπισης άνω στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος.	95
<i>Σχήμα.69</i> μεταβολή εγκάρσιας μετατόπισης άνω στόχου και θερμοκρασίας περιβάλλοντος...	95
<i>Σχήμα.70</i> μετακινήσεις άνω στόχου και πορεία του ήλιου.....	96



## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ**

<i>Πίνακας.1</i> Ακρίβειες μέτρησης και απόδοσης οργάνου <i>Leica TCA 1800</i> .....	39
<i>Πίνακας.2:</i> Τεχνικά χαρακτηριστικά <i>TM30</i> .....	42
<i>Πίνακας.3:</i> Τεχνικά χαρακτηριστικά <i>TDA 5005</i> .....	46
<i>Πίνακας.4</i> Συντ/νες στάσεων .....	56
<i>Πίνακας.5</i> πίνακας εξοπλισμού – παρελκομένων ανά σειρά μετρήσεων.....	61
<i>Πίνακας.6</i> Αρχείο μετεωρολογικού σταθμού.....	65
<i>Πίνακας.7</i> Ώρες που είχαμε διακοπή παρατηρήσεων λόγω ομίχλης στις τρεις σειρές μετρήσεων.....	67
<i>Πίνακας.8</i> Απόσπασμα πρωτογενών μετρήσεων <i>Leica TM30</i> .....	68
<i>Πίνακας.9</i> Βασικά χαρακτηριστικά σειρών μετρήσεων.....	71