



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ**

---

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΠΥΛΩΝΩΝ  
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΙ  
ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΧΑΤΖΙΝΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**  
**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΓΚΙΚΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.**

---

**ΑΘΗΝΑ 2013**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα επίκουρο καθηγητή κ. Γκίκα Βασίλειο για την ουσιαστική βοήθεια, το ενδιαφέρον και την υπομονή του.

Επίσης ευχαριστώ το Γιώργο Πηνιώτη και τον Θανάση Μπίμη για τη συνεργασία και την πολύτιμη βοήθειά τους.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετάται η μετακίνηση του πυλώνα των ανεμογεννητριών υπό την επίδραση φορτίου λόγω του ισχυρού ανέμου και της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς έγινε με γεωδαιτική μέθοδο και ειδικότερα με τη μέθοδο της αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου που εφαρμόζεται με τη χρήση ρομποτικού γεωδαιτικού σταθμού. Χρησιμοποιήθηκαν οι γεωδαιτικοί σταθμοί Leica TCA 1800, σε συνδυασμό με το λογισμικό καταγραφής δεδομένων σε Η/Υ Leica Tracking Controller v.2.2.3 όπως επίσης και οι Trimble VX και Leica TM30 του εργαστηρίου Γενικής Γεωδαισίας της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ. Στην πειραματική διαδικασία περιελήφθησαν μετρήσεις από δύο διαφορετικές ανεμογεννήτριες του Αιολικού Πάρκου του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) που βρίσκεται στην περιοχή της Κερατέας Αττικής. Στην κάθε μία ανεμογεννήτρια τοποθετήθηκε ένα κυκλικό πρίσμα πάνω στον πυλώνα της κατασκευής. Μελετήθηκαν δύο τύποι ανεμογεννητριών: η NEG-Micon NM 750/48 και η Enercon E40-500. Για τη μελέτη της επίδρασης του φορτίου λόγω ανέμου ελήφθησαν για την κάθε μηχανή δύο πακέτα δεδομένων διάρκειας 20 min το καθένα υπό την επίδραση θυελλώδους ανέμου (17~19m/sec). Για τη μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας ελήφθη για την κάθε μηχανή ένα πακέτο μετρήσεων διάρκειας 14 h κατά προσέγγιση.

Ακολουθήθηκε στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων και παραγωγή χρονοσειρών και προέκυψε ο περιοδικός χαρακτήρας της κίνησης των ανεμογεννητριών. Με την εφαρμογή κατάλληλου μετασχηματισμού Fourier υπολογίστηκε η βασική συχνότητα ταλάντωσης της κάθε κατασκευής. Παρατηρήθηκε ότι υπό την επίδραση ισχυρού ανέμου η κάθε μηχανή διαγράφει μια περιοδική κίνηση. Η βασικές συχνότητες της ταλάντωσης τους είναι 0,62 Hz και 0,54 Hz ενώ οι τιμές της μετατόπισης κυμαίνονται σε ένα εύρος 9 cm και 21 cm για την NEG-Micon NM 750/48 και την Enercon E40-500 αντίστοιχα. Οι τιμές της αποχής των στόχων από τη θέση ισορροπίας υπό την επίδραση της μεταβολής της θερμοκρασίας που παρατηρήθηκαν, κυμάνθηκαν σε ένα εύρος 8 cm και 13 cm για την NEG-Micon NM 750/48 και την Enercon E40-500 αντίστοιχα ενώ η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 7C° έως 16C°

## ABSTRACT

This diploma thesis studies the displacement pattern of the Wind Energy Turbines (WET) tower under the influence of strong wind and solar radiation.

The study of WET dynamic behavior was undertaken based on geodetic methodology and more specifically the technology of automatic recognition and tracking facility of Robotic Total Station. We used the total station Leica TCA 1800, in conjunction with the inhouse data logging and visualization software (Leica Tracking Controller v.2.2.3). In addition, total station Trimble VX and Leica TM30 were used for the study of the structures against solar radiation. The experimental procedure included measurements from the pylon of two different WETs which are located at the Keratea Wind Farm of the Centre for Renewable Energy Sources (CRES), in the Attica. Two types of WET were considered; a NEG-Micon NM 750/48 and an Enercon E40-500. For every WET examined in this work, a circular was placed at the top of the pillar. Two data packets of 20 min each were received under the influence of strong wind (17 ~ 19m/sec). Besides, regarding the study of the influence of solar radiation, one data packet of approximately 14 h was received from each machine. Statistical analysis followed the measurement campaigns revealed the periodic nature of their movement.

By applying appropriate Fourier transformation based on the Lomb periodogram due to the non-equitant sampling the basic oscillation frequency of each construction was computed.

It was observed that each one of the WETs exhibits a movement of periodic. The values of the dominant frequencies were calculated 0,62 Hz and 0,54 Hz and the displacement values ranged in a width of 9 cm and 21 cm respectively for the NEG-Micon NM 750/48 and Enercon E40-500 respectively. The pillar top displacement values observed under the influence of the temperature variation, ranged in a width of 8 cm and 13 cm respectively for the NEG-Micon NM 750/48 and Enercon E40-500 WET for a total variation  $\gamma$  in air temperature ranging from 7C° to 16C°.

|   |             |
|---|-------------|
| <b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....</b>   | <b>II</b>   |
| <b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>  | <b>III</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>   | <b>III</b>  |
| <b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....</b>  | <b>IV</b>   |
| <b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ .....</b>   | <b>viii</b> |
| <b>DIAGRAM INDEX.....</b>   | <b>ix</b>   |
| <b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ .....</b>  | <b>xi</b>   |
| <b>PICTURE INDEX .....</b>  | <b>xiii</b> |
| <b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.....</b>   | <b>xiv</b>  |
| <b>TABLE INDEX .....</b>  | <b>xv</b>   |
| <b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....</b>   | <b>xv</b>   |
| <b>FIGURE INDEX .....</b>   | <b>xv</b>   |
| <b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>   | <b>1</b>    |
| <b>1 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ .....</b>  | <b>3</b>    |
| <b>1.1 Συμπεριφορά εύκαμπτων κατασκευών .....</b>                                     | <b>3</b>    |
| 1.1.1 Εισαγωγή .....  | 3           |
| 1.1.2 Είδη παραμορφώσεων .....  | 3           |
| <b>1.2 Ανάλυση της συμπεριφοράς των ανεμογεννητριών .....</b>                         | <b>4</b>    |
| 1.2.1 Τύποι ανεμογεννητριών .....   | 4           |
| 1.2.2 Περιγραφή γρήγορης αιολικής μηχανής .....                                       | 6           |
| 1.2.3 Συμπεριφορά ανεμογεννητριών σε εξωτερικές φορτίσεις.....                        | 8           |
| 1.2.4 Τύποι αστοχιών ανεμογεννήτριας.....   | 10          |
| <b>2 ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ .....</b>                      | <b>13</b>   |
| <b>2.1 Εισαγωγή .....</b>   | <b>13</b>   |
| <b>2.2 Γεωδαιτικοί σταθμοί αυτόματης παρακολούθησης (Tracking Total Stations). 13</b> |             |
| 2.2.1 Παρακολούθηση γέφυρας προεντεταμένου σκυροδέματος.....                          | 13          |
| <b>2.3 GPS.....</b>   | <b>16</b>   |
| 2.3.1 Οι καλωδιωτές γέφυρες Tsing Ma και Kap Shui Mun στο Hong Kong.....              | 17          |
| 2.3.2 Παρακολούθηση κτιρίου μεγάλου ύψους στη Μαλαισία .....                          | 20          |
| <b>2.4 Επιταχυνσιόμετρα.....</b>  | <b>22</b>   |
| 2.4.1 Δυναμική συμπεριφορά υψηλής καπνοδόχου στην Ιταλία .....                        | 22          |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>2.5</b> | <b>Επίγειος σαρωτής laser (Laser Scanner) .....</b>   | <b>25</b> |
| 2.5.1      | <i>Παρακολούθηση ανεμογεννητριών στη Γερμανία με Laser Scanner. ....</i>                            | 25        |
| <b>3</b>   | <b>ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ.....</b>                              | <b>31</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Περιγραφή αντικειμένου .....</b>   | <b>31</b> |
| 3.1.1      | <i>Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) .....</i>  | 31        |
| 3.1.2      | <i>Τεχνική περιγραφή Α/Γ.....</i>   | 32        |
| <b>3.2</b> | <b>Εξοπλισμός και παρελκόμενα .....</b>   | <b>35</b> |
| 3.2.1      | <i>Γεωδαιτικός Σταθμός Leica TCA 1800 .....</i>   | 35        |
|            | <i>Λειτουργία ATR - Εντοπισμός στόχου .....</i>   | 36        |
|            | <i>Επιπρόσθετες λειτουργίες .....</i>   | 36        |
|            | <i>Πεδία εφαρμογών του Leica TCA 1800.....</i>  | 37        |
| 3.2.2      | <i>Λογισμικό " Leica Tracking Controller" .....</i>   | 37        |
| 3.2.3      | <i>Γεωδαιτικός Σταθμός Leica TM 30 .....</i>  | 38        |
| 3.2.4      | <i>Γεωδαιτικός Σταθμός Trimble VX .....</i>   | 39        |
| 3.2.5      | <i>Όργανα μέτρησης ανέμου και θερμοκρασίας .....</i>  | 40        |
| <b>3.3</b> | <b>Προπαρασκευαστικές Εργασίες.....</b>   | <b>40</b> |
| 3.3.1      | <i>Επιλογή θέσεων παρατήρησης και τοποθέτηση στόχων.....</i>  | 40        |
| 3.3.2      | <i>Επιδιωκόμενες καιρικές συνθήκες.....</i>   | 42        |
| <b>4</b>   | <b>ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΕΔΙΟΥ .....</b>   | <b>45</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Πείραμα I – Μελέτη της Δυναμικής Συμπεριφοράς Α/Γ έναντι μεταβολών του ανέμου.....</b>           | <b>45</b> |
| 4.1.1      | <i>Διαδικασία πεδίου και προβλήματα .....</i>   | 45        |
| 4.1.2      | <i>Καιρικές συνθήκες.....</i>   | 46        |
| 4.1.3      | <i>Περιγραφή πρωτογενών δεδομένων .....</i>   | 47        |
| <b>4.2</b> | <b>Πείραμα II – Μελέτη της Ημι-Στατικής Συμπεριφοράς Α/Γ έναντι μεταβολών της θερμοκρασίας.....</b> | <b>48</b> |
| 4.2.1      | <i>Εισαγωγή .....</i>   | 48        |
| 4.2.2      | <i>Διαδικασία πεδίου και προβλήματα .....</i>   | 48        |
| 4.2.3      | <i>Καιρικές συνθήκες.....</i>   | 51        |
| 4.2.4      | <i>Περιγραφή πρωτογενών δεδομένων .....</i>   | 52        |
| <b>5</b>   | <b>ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΕΔΙΟΥ .....</b>  | <b>55</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Πείραμα I – Μελέτη της Δυναμικής Συμπεριφοράς Α/Γ έναντι μεταβολών του ανέμου.....</b>           | <b>55</b> |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| 5.1.1      | Εισαγωγή .....   | 55        |
| 5.1.2      | Ανάλυση χρονοσειρών και οριζοντιογραφιών .....   | 55        |
| 5.1.3      | Φασματική ανάλυση .....  | 57        |
| 5.1.4      | Περιοδόγραμμα Lomb .....   | 58        |
| <b>5.2</b> | <b>Πείραμα II – Μελέτη της Ημι-Στατικής Συμπεριφοράς Α/Γ έναντι μεταβολών της θερμοκρασίας .....</b> | <b>59</b> |
| 5.2.1      | Εισαγωγή .....   | 59        |
| 5.2.2      | Αναγωγές λόγω διάθλασης.....   | 59        |
| 5.2.3      | Ανάλυση χρονοσειρών και οριζοντιογραφιών .....   | 61        |
| <b>6</b>   | <b>ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....</b>   | <b>63</b> |
| <b>6.1</b> | <b>Πείραμα I – Μελέτη της Δυναμικής Συμπεριφοράς Α/Γ έναντι μεταβολών του ανέμου.....</b>            | <b>63</b> |
| 6.1.1      | Υπολογισμός μετακινήσεων στο χώρο .....  | 63        |
|            | Ανεμογεννήτρια NEG .....   | 64        |
|            | Ανεμογεννήτρια ENERCON.....  | 65        |
|            | Συγκριτικά διαγράμματα οριζοντιογραφίας.....   | 65        |
| 6.1.2      | Υπολογισμός μετακινήσεων στο χρόνο .....   | 67        |
| 6.1.3      | Φασματική ανάλυση δεδομένων .....  | 70        |
| <b>6.2</b> | <b>Πείραμα II – Μελέτη της Ημι-Στατικής Συμπεριφοράς Α/Γ έναντι μεταβολών της θερμοκρασίας.....</b>  | <b>73</b> |
| 6.2.1      | Υπολογισμός μετακινήσεων στο χώρο .....  | 73        |
| 6.2.2      | Υπολογισμός μετακινήσεων στο χρόνο .....   | 74        |
|            | Ανεμογεννήτρια NEG - Micon .....   | 75        |
|            | Ανεμογεννήτρια ENERCON.....  | 76        |
|            | Συγκριτικά διαγράμματα χρονοσειρών .....   | 77        |
| <b>7</b>   | <b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>  | <b>79</b> |
| 7.1        | Εισαγωγή .....   | 79        |
| 7.2        | Σχεδιασμός της μεθόδου .....   | 79        |
| 7.3        | Συμπεριφορά των ανεμογεννητριών .....  | 80        |
| 7.3.1      | Συμπεριφορά υπό την επίδραση ισχυρού ανέμου .....  | 80        |
| 7.3.2      | Συμπεριφορά έναντι μεταβολών της θερμοκρασίας περιβάλλοντος .....                                    | 80        |
| 7.4        | Προτάσεις.....   | 81        |
|            | <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>   | <b>82</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| Ξενόγλωσση .....                            | 82        |
| Ελληνική .....                              | 82        |
| Διαδίκτυο.....                              | 83        |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - ΕΝΤΥΠΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....</b> | <b>84</b> |
| <b>ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ .....</b>                | <b>84</b> |
| <b>ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ .....</b>  | <b>87</b> |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β .....</b>                    | <b>93</b> |

## **ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ**

|  |    |
|--|----|
| Γράφημα 1: Διαστάσεις στατικού μοντέλου της γέφυρας.....   | 14 |
| Γράφημα 2: Χρονοσειρές μετακινήσεων πρισμάτων 1 και 2.....   | 16 |
| Γράφημα 3: Θέσεις των δεκτών GPS στη γέφυρα Tsing Ma και χρονοσειρές των μετρήσεων.....  | 19 |
| Γράφημα 4: Θέσεις των δεκτών GPS στη γέφυρα Kap Shui Mun και χρονοσειρές των μετρήσεων.....  | 19 |
| Γράφημα 5: Μετακινήσεις της καπνοδόχου κατά τη διάρκεια της ημέρας κατά Ανατολή – Δύση (δεξιά) και κατά Βορρά – Νότο (αριστερά)..... | 23 |
| Γράφημα 6: Μετακινήσεις και ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διεύθυνση Ανατολή – Δύση.....   | 23 |
| Γράφημα 7: Χρονοσειρά των τιμών ανά τμήμα στα 51.8m ύψους .....  | 28 |
| Γράφημα 8: Φάσμα πλάτους του Τμήματος 1 .....  | 28 |
| Γράφημα 9: Φάσμα πλάτους στα τμήματα ύψους 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36, 41, 46, 51 μέτρων.....   | 29 |
| Γράφημα 10: Χρονοσειρά της γωνίας $\alpha$ .....   | 30 |
| Γράφημα 11: Ενδεικτικά διαγράμματα χρονοσειρών.....  | 55 |
| Γράφημα 12: Ενδεικτικό διάγραμμα οριζοντιογραφίας .....  | 56 |
| Γράφημα 13: Εντοπισμός χονδροειδών σφαλμάτων στην οριζοντιογραφία .....  | 56 |
| Γράφημα 14: Ανάλυση σήματος σε συνιστώσες.....   | 57 |
| Γράφημα 15: Μετάβαση από τη χρονοσειρά στο διάγραμμα συχνοτήτων μέσω του μετασχηματισμού Fourier. ....                               | 58 |
| Γράφημα 16: Ενδεικτικά παραδείγματα περιοδογραμμάτων Lomb .....  | 59 |
| Γράφημα 17: Διακύμανση κεκλιμένης απόστασης A/Γ NEG - Micon.....   | 60 |
| Γράφημα 18: Διακύμανση κεκλιμένης απόστασης A/Γ Enercon.....   | 61 |
| Γράφημα 19: Διάγραμμα οριζοντιογραφίας ανεμογεννήτριας NEG .....   | 64 |



|  |    |
|--|----|
| Γράφημα 20: Διάγραμμα οριζοντιογραφίας ανεμογεννήτριας ENERCON .....                             | 65 |
| Γράφημα 21: Συγκριτικό διάγραμμα οριζοντιογραφίας των δύο ανεμογεννητριών διάρκειας 10 min ..... | 66 |
| Γράφημα 22: Συγκριτικά διαγράμματα οριζοντιογραφίας διάρκειας 60 sec .....                       | 67 |
| Γράφημα 23: Οριζοντιογραφία 3 περιόδων 2 sec ανεμογεννήτριας NEG .....                           | 67 |
| Γράφημα 24: Χρονοσειρά συνιστώσας Χ διάρκειας 20 min (NEG) .....                                 | 68 |
| Γράφημα 25: Χρονοσειρά συνιστώσας Χ διάρκειας 20 min (ENERCON) .....                             | 68 |
| Γράφημα 26: Χρονοσειρά συνιστώσας Υ διάρκειας 20 min (NEG) .....                                 | 68 |
| Γράφημα 27: Χρονοσειρά συνιστώσας Υ διάρκειας 20 min (ENERCON) .....                             | 69 |
| Γράφημα 28: Χρονοσειρά συνιστώσας Χ διάρκειας 60 sec (NEG) .....                                 | 69 |
| Γράφημα 29: Χρονοσειρά συνιστώσας Χ διάρκειας 60 sec (ENERCON) .....                             | 69 |
| Γράφημα 30: Χρονοσειρά συνιστώσας Υ διάρκειας 60 sec (NEG) .....                                 | 70 |
| Γράφημα 31: Χρονοσειρά συνιστώσας Υ διάρκειας 60 sec (ENERCON) .....                             | 70 |
| Γράφημα 32: Περιοδόγραμμα Lomb πρώτου πακέτου μετρήσεων ανεμογεννήτριας NEG .....                | 71 |
| Γράφημα 33: Περιοδόγραμμα Lomb δεύτερου πακέτου μετρήσεων ανεμογεννήτριας NEG .....              | 71 |
| Γράφημα 34: Περιοδόγραμμα Lomb πρώτου πακέτου μετρήσεων ανεμογεννήτριας Enercon .....            | 72 |
| Γράφημα 35: Περιοδόγραμμα Lomb δεύτερου πακέτου μετρήσεων ανεμογεννήτριας Enercon .....          | 72 |
| Γράφημα 36: Συγκριτικό διάγραμμα οριζοντιογραφίας των δύο ανεμογεννητριών .....                  | 74 |
| Γράφημα 37: Χρονοσειρά Συνιστώσας Χ και θερμοκρασίας ανεμογεννήτριας NEG .....                   | 75 |
| Γράφημα 38: Χρονοσειρά Συνιστώσας Υ και θερμοκρασίας ανεμογεννήτριας NEG .....                   | 75 |
| Γράφημα 39: Χρονοσειρά Συνιστώσας Χ και θερμοκρασίας ανεμογεννήτριας Enercon ...                 | 76 |
| Γράφημα 40: Χρονοσειρά Συνιστώσας Υ και θερμοκρασίας ανεμογεννήτριας Enercon ...                 | 76 |
| Γράφημα 41: Συγκριτική χρονοσειρά συνιστώσας Χ των δύο ανεμογεννητριών.....                      | 77 |
| Γράφημα 42: Συγκριτική χρονοσειρά συνιστώσας Υ των δύο ανεμογεννητριών.....                      | 77 |

## **DIAGRAM INDEX**

|  |    |
|--|----|
| Diagram 1: The bridge static model dimensioning.....   | 14 |
| Diagram 2: Displacement timelines of prisms 1 and 2 .....                                    | 16 |
| Diagram 3: GPS receivers' locations on Tsing Ma bridge and measurements' timelines ...       | 19 |
| Diagram 4: GPS receivers' locations on Kap Shui Mun bridge and measurements' timelines ..... | 19 |

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Diagram 5: Chimney displacements during the day on the East- West direction (right) and North – South direction (left).....</i> | <i>23</i> |
| <i>Diagram 6: Displacements and solar radiation on the East – West direction.....</i>  | <i>23</i> |
| <i>Diagram 7: Partial value timeline at 51.8m height .....</i>   | <i>28</i> |
| <i>Diagram 8: Part 1 range spectrum .....</i>  | <i>28</i> |
| <i>Diagram 9: Range spectrum at the part of 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36, 41, 46, 51 meters height.....</i>                           | <i>29</i> |
| <i>Diagram 10: Angle <math>\alpha</math> timeline .....</i>  | <i>30</i> |
| <i>Diagram 11: Pilot timeline diagrams.....</i>  | <i>55</i> |
| <i>Diagram 12: Pilot horizontal displacement diagram .....</i>   | <i>56</i> |
| <i>Diagram 13: Spotting outliers at the horizontal displacement diagram.....</i>   | <i>56</i> |
| <i>Diagram 14: Signal analysis.....</i>  | <i>57</i> |
| <i>Diagram 15: Transition from the timeline to the frequency diagram through the Fourier transformation.....</i>                   | <i>58</i> |
| <i>Diagram 16: Lomb frequency diagrams samples .....</i>   | <i>59</i> |
| <i>Diagram 17: Slope distance variation of NEG - Micon .....</i>   | <i>60</i> |
| <i>Diagram 18: Slope distance variation of Enercon .....</i>   | <i>61</i> |
| <i>Diagram 19: NEG wind generator’s timeline diagram .....</i>   | <i>64</i> |
| <i>Diagram 20: ENERCON wind generator’s timeline diagram .....</i>   | <i>65</i> |
| <i>Diagram 21: 10 minute duration comparison timeline diagram for the two wind generators .....</i>                                | <i>66</i> |
| <i>Diagram 22: 60 seconds duration comparison timeline diagrams .....</i>  | <i>67</i> |
| <i>Diagram 23: 3 periods of 2 sec duration timeline of the NEG wind generator .....</i>  | <i>67</i> |
| <i>Diagram 24: 20 min duration X direction timeline (NEG).....</i>   | <i>68</i> |
| <i>Diagram 25: 20 min duration X direction timeline (ENERCON).....</i>   | <i>68</i> |
| <i>Diagram 26: 20 min duration Y direction timeline (NEG).....</i>   | <i>68</i> |
| <i>Diagram 27: 20 min duration Y direction timeline (ENERCON).....</i>   | <i>69</i> |
| <i>Diagram 28: 60 sec duration X direction timeline (NEG).....</i>   | <i>69</i> |
| <i>Diagram 29: 60 sec duration X direction timeline (ENERCON).....</i>   | <i>69</i> |
| <i>Diagram 30: 60 sec duration Y direction timeline (NEG).....</i>   | <i>70</i> |
| <i>Diagram 31: 60 sec duration Y direction timeline (ENERCON).....</i>   | <i>70</i> |
| <i>Diagram 32: NEG wind generator’s first data set Lomb frequency diagram .....</i>  | <i>71</i> |
| <i>Diagram 33: NEG wind generator’s second data set Lomb frequency diagram .....</i>   | <i>71</i> |
| <i>Diagram 34: Enercon wind generator’s first data set Lomb frequency diagram .....</i>  | <i>72</i> |
| <i>Diagram 35: Enercon wind generator’s second data set Lomb frequency diagram .....</i>   | <i>72</i> |
| <i>Diagram 36: Comparison displacement diagram for the wind generators.....</i>  | <i>74</i> |

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Diagram 37: NEG wind generator's X direction and temperature timeline diagram .....</i>   | <i>75</i> |
| <i>Diagram 38: NEG wind generator's Y direction and temperature timeline diagram.....</i>    | <i>75</i> |
| <i>Diagram 39: Enercon wind generator's X direction and temperature timeline diagram ...</i> | <i>76</i> |
| <i>Diagram 40: Enercon wind generator's Y direction and temperature timeline diagram....</i> | <i>76</i> |
| <i>Diagram 41: Two wind generators X direction comparison timeline diagram .....</i>         | <i>77</i> |
| <i>Diagram 42: Two wind generators Y direction comparison timeline diagram .....</i>         | <i>77</i> |

## **ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ**

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Εικόνα 1: Παραδοσιακός ανεμόμυλος και αργή αιολική μηχανή .....</i>   | <i>5</i>  |
| <i>Εικόνα 2: Γρήγορη αιολική μηχανή και αιολική μηχανή κατακόρυφου άξονα τύπου Darrieus .....</i>  | <i>5</i>  |
| <i>Εικόνα 3: Ηλεκτρομηχανολογική διάταξη στο εσωτερικό της ατράκτου .....</i>  | <i>7</i>  |
| <i>Εικόνα 4: Αστοχία του πτερυγίου .....</i>   | <i>10</i> |
| <i>Εικόνα 5: Αστοχία του πτερυγίου .....</i>   | <i>10</i> |
| <i>Εικόνα 6: Ολική κατάρρευση ανεμογεννήτριας .....</i>  | <i>11</i> |
| <i>Εικόνα 7: Αποκόλληση των στρωμάτων των πτερυγίων .....</i>  | <i>11</i> |
| <i>Εικόνα 8: Ολική καταστροφή ανεμογεννήτριας από πυρκαγιά .....</i>   | <i>11</i> |
| <i>Εικόνα 9: Η γέφυρα Ρίο Πελότας στη Βραζιλία .....</i>   | <i>14</i> |
| <i>Εικόνα 10: Ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TCRA 1205 .....</i>  | <i>14</i> |
| <i>Εικόνα 11: Η γέφυρα Tsing Ma .....</i>  | <i>17</i> |
| <i>Εικόνα 12: Η γέφυρα Kap Shui Mun. ....</i>  | <i>17</i> |
| <i>Εικόνα 13: Δέκτης GPS τοποθετημένος στην κορυφή ενός πυλώνα της γέφυρας Tsing Ma. Στο βάθος η γέφυρα Kap Shui Mun .....</i>                   | <i>18</i> |
| <i>Εικόνα 14: Δέκτης GPS τοποθετημένος στη γέφυρα Tsing Ma .....</i>   | <i>18</i> |
| <i>Εικόνα 15: Δέκτης GPS τοποθετημένος στη γέφυρα Tsing Ma .....</i>   | <i>20</i> |
| <i>Εικόνα 16: Το ζεύγος δεκτών GPS της Leica με τον σταθμό αναφοράς σε σταθερό σημείο και τον κινητό δέκτη πάνω στην οροφή του κτιρίου .....</i> | <i>21</i> |
| <i>Εικόνα 17: Ο κινητός δέκτης (rover) της Trimble τοποθετημένος πάνω στην οροφή του κτιρίου .....</i>   | <i>21</i> |
| <i>Εικόνα 18: Όψη των καπνοδόχων με τις θέσεις του GPS και των επιταχυνσιομέτρων.....</i>  | <i>22</i> |
| <i>Εικόνα 19: Laser Scanner της εταιρείας Leica .....</i>  | <i>25</i> |
| <i>Εικόνα 20: Ανεμογεννήτρια στο Schliekum, στη Γερμανία .....</i>   | <i>26</i> |
| <i>Εικόνα 21: Το αιολικό πάρκο ΚΑΠΕ (Google Earth).....</i>  | <i>31</i> |
| <i>Εικόνα 22: Οι θέσεις των Α/Γ του πειράματος στο αιολικό πάρκο ΚΑΠΕ (Google Earth) ..</i>  | <i>32</i> |

|  |    |
|--|----|
| Εικόνα 23: Διαστάσεις ανεμογεννητριών και ύψος θέσης στόχου .....  | 32 |
| Εικόνα 24: Η ανεμογεννήτρια NEG-Micon NM 750/48.....   | 33 |
| Εικόνα 25: Η ανεμογεννήτρια Enercon E40-500 .....  | 33 |
| Εικόνα 26: Γεωδαιτικός Σταθμός Leica TCA1800 .....   | 35 |
| Εικόνα 27: Οθόνη αρχικών ρυθμίσεων του λογισμικού Leica Tracking Controller v.2.2.3                                      | 37 |
| Εικόνα 28: Οθόνη μετρήσεων του λογισμικού.....   | 38 |
| Εικόνα 29: Γεωδαιτικός Σταθμός Leica TM 30 .....   | 38 |
| Εικόνα 30: Γεωδαιτικός Σταθμός Trimble VX .....  | 39 |
| Εικόνα 31: Θέση του στόχου στην NEG-Micon.....   | 40 |
| Εικόνα 32: Θέση του στόχου στην NEG-Micon.....   | 41 |
| Εικόνα 33: Πρίσμα και βάση.....  | 41 |
| Εικόνα 34: Θέση του στόχου στην Enercon .....  | 41 |
| Εικόνα 35: Θέση του στόχου στην Enercon .....  | 42 |
| Εικόνα 36: Πρόγνωση ανέμου της ιστοσελίδας <a href="http://forecast.uoa.gr">forecast.uoa.gr</a> στην περιοχή της Αττικής | 43 |
| Εικόνα 37: Πρόγνωση ανέμου της ιστοσελίδας <a href="http://www.meteo.gr">www.meteo.gr</a> στην περιοχή του Λαυρίου ..... | 43 |
| Εικόνα 38: Ο Γεωδαιτικός Σταθμός Leica TCA1800 σε σύνδεση με φορητό Η/Υ κατά τη διάρκεια μετρήσεων.....                  | 45 |
| Εικόνα 39: Ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου ανά 10 min. ....  | 46 |
| Εικόνα 40: Ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου ανά 3-4 sec (Enercon). ....   | 47 |
| Εικόνα 41: Ενδεικτικό πρωτογενές αρχείο με επικεφαλίδα καταγραφής (Leica TCA 1800) .....                                 | 47 |
| Εικόνα 42: Ο γεωδαιτικός σταθμός TM30 στοχεύοντας προς την NEG – Micon.....  | 49 |
| Εικόνα 43: Ο γεωδαιτικός σταθμός TM30 .....  | 49 |
| Εικόνα 44: Το πρίσμα στη βάση της Α/Γ NEG – Micon.....   | 50 |
| Εικόνα 45: Ο γεωδαιτικός σταθμός Trimble VX .....  | 50 |
| Εικόνα 46: Το πρίσμα στη βάση της Α/Γ Enercon.....   | 51 |
| Εικόνα 47: Το ηλιακό διάγραμμα της ημέρας του πειράματος .....   | 52 |
| Εικόνα 48: Πρωτογενείς μετρήσεις Leica TM30.....   | 53 |
| Εικόνα 49: Πρωτογενείς μετρήσεις Trimble VX (Αρ. σημείου, Ορ. Γωνία, Κατ. Γωνία, Κεκλ. Απόσταση) .....                   | 53 |
| Εικόνα 50: Συνεχής παρακολούθηση συμπεριφοράς σήραγγας σιδηροδρομικής γραμμής (Hong Kong Airport Express Line) .....     | 94 |
| Εικόνα 51: Παρακολούθηση δυναμικής συμπεριφοράς τεχνικών έργων αυτοκινητόδρομου (Lucerne, Switzerland).....              | 94 |
| Εικόνα 52: Παρακολούθηση εκσκαφής λατομείου (British Columbia, Canada) .....   | 95 |

|  |    |
|--|----|
| Εικόνα 53: Παρακολούθηση μικρομετακινήσεων κτιριακών εγκαταστάσεων (Manhattan, New York) ..... | 95 |
| Εικόνα 54: Παρακολούθηση μικρομετακινήσεων κτιριακών εγκαταστάσεων (Manhattan, New York) ..... | 96 |

## **PICTURE INDEX**

|  |    |
|--|----|
| <i>Picture 1: Traditional windmill and slow wind machine</i> .....   | 5  |
| <i>Picture 2: Fast windmill and vertical axis wind machine Darrieus type</i> .....   | 5  |
| <i>Picture 3: Helectomechanical configuration in the nacelle</i> .....   | 7  |
| <i>Picture 4: Blade failure</i> .....  | 10 |
| <i>Picture 5: Blade failure</i> .....  | 10 |
| <i>Picture 6: Total collapse of the wind generator</i> .....   | 11 |
| <i>Picture 7: Detachment of the blade layers</i> .....   | 11 |
| <i>Picture 8: Total destruction of a wind generator caused by fire</i> .....   | 11 |
| <i>Picture 9: Rio Pelotas bridge, Brasil</i> .....   | 14 |
| <i>Picture 10: Leica TCRA 1205 total station</i> .....   | 14 |
| <i>Picture 11: Tsing Ma bridge</i> .....   | 17 |
| <i>Picture 12: Kap Shui Mun bridge</i> .....   | 17 |
| <i>Picture 13: GPS receiver located on the top of a pylon of Tsing Ma bridge. In the background Kap Shui Mun bridge</i> .....  | 18 |
| <i>Picture 14: GPS receiver located on Tsing Ma bridge</i> .....   | 18 |
| <i>Picture 15: GPS receiver located on Tsing Ma bridge</i> .....   | 20 |
| <i>Picture 16: Leica GPS receivers, the reference station on a static point and the rover on the top of the building</i> ..... | 21 |
| <i>Picture 17: Trimble rover receiver located on the top of the building</i> .....   | 21 |
| <i>Picture 18: View of the chimneys including the GPS receivers' and the accelerometers' locations</i> .....                   | 22 |
| <i>Picture 19: Leica Laser Scanner</i> .....   | 25 |
| <i>Picture 20: Wind generator at Schliekum, Germany</i> .....  | 26 |
| <i>Picture 21: CRES Wind Farm (Google Earth)</i> .....   | 31 |
| <i>Picture 22: The wind generators' locations at CRES Wind Farm (Google Earth)</i> .....                                       | 32 |
| <i>Picture 23: Wind generators' dimensioning and targets' height location</i> .....  | 32 |
| <i>Picture 24: NEG-Micon NM 750/48 wind generator</i> .....  | 33 |
| <i>Picture 25: Enercon E40-500 wind generator</i> .....  | 33 |
| <i>Picture 26: Leica TCA1800 Total station</i> .....   | 35 |

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Picture 27: Leica Tracking Controller v.2.2.3 software initial registration screenshot.....</i>     | <i>37</i> |
| <i>Picture 28: Measurements' software screenshot.....</i>  | <i>38</i> |
| <i>Picture 29: Leica TM 30 total station.....</i>  | <i>38</i> |
| <i>Picture 30: Trimble VX total station.....</i>   | <i>39</i> |
| <i>Picture 31: The NEG-Micon target location.....</i>  | <i>40</i> |
| <i>Picture 32: The NEG-Micon target location.....</i>  | <i>41</i> |
| <i>Picture 33: Prism and prism holder.....</i>   | <i>41</i> |
| <i>Picture 34: The Enercon target location.....</i>  | <i>41</i> |
| <i>Picture 35: The Enercon target location.....</i>  | <i>42</i> |
| <i>Picture 36: Wind forecast of the forecast.uoa.gr website at the Attica area.....</i>                | <i>43</i> |
| <i>Picture 37: Wind forecast of the www.meteo.gr website at the Lavrion area.....</i>                  | <i>43</i> |
| <i>Picture 38: Leica TCA1800 total station connected to the laptop during measurement process.....</i> | <i>45</i> |
| <i>Picture 39: Wind speed and direction every 10 min.....</i>  | <i>46</i> |
| <i>Picture 40: Wind speed and direction every 3-4 sec (Enercon). .....</i>                             | <i>47</i> |
| <i>Picture 41: Pilot raw file with a recording header (Leica TCA 1800).....</i>                        | <i>47</i> |
| <i>Picture 42: TM30 total station aiming NEG – Micon.....</i>  | <i>49</i> |
| <i>Picture 43: TM30 Total station.....</i>   | <i>49</i> |
| <i>Picture 44: The prism configuration next to the NEG – Micon wind generator.....</i>                 | <i>50</i> |
| <i>Picture 45: Trimble VX total station.....</i>   | <i>50</i> |
| <i>Picture 46: The prism configuration next to the Enercon wind generator.....</i>                     | <i>51</i> |
| <i>Picture 47: The experiment process day solar diagram.....</i>                                       | <i>52</i> |
| <i>Picture 48: Leica TM30 raw data.....</i>  | <i>53</i> |
| <i>Picture 49: Trimble VX raw data (Point number, Hor. Angle, Ver. Angle, Slope Distance).....</i>     | <i>53</i> |

## **ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Πίνακας 1: Τυπική απόκλιση και πλάτος της μετακίνησης στις τρεις διαστάσεις.....</b>               | <b>15</b> |
| <b>Πίνακας 2: Αποτελέσματα επεξεργασίας των παρατηρήσεων.....</b>                                     | <b>22</b> |
| <b>Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών Enercon E40-500 και NEG-Micon NM 750/48.....</b> | <b>34</b> |
| <b>Πίνακας 4: Χαρακτηριστικές τιμές ανά πακέτο μετρήσεων.....</b>                                     | <b>64</b> |
| <b>Πίνακας 5: Χαρακτηριστικές τιμές ανά ανεμογεννήτρια.....</b>                                       | <b>73</b> |
| <b>Πίνακας 6: Τεχνικά χαρακτηριστικά Leica TCA 1800.....</b>  | <b>97</b> |
| <b>Πίνακας 7: Τεχνικά χαρακτηριστικά Trimble VX.....</b>  | <b>98</b> |

## TABLE INDEX

|  |    |
|--|----|
| Table 1: Standard deviation and displacement range at three directions .....         | 15 |
| Table 2: Data processing results .....   | 22 |
| Table 3: Enercon E40-500 and NEG-Micon NM 750/48 wind generators' specifications ... | 34 |
| Table 4: Specific values for each data set .....                                     | 64 |
| Table 5: Specific values for each wind generator .....                               | 73 |
| Table 6: Leica TCA 1800 specifications .....   | 97 |
| Table 7: Trimble VX specifications .....   | 98 |

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

|   |    |
|---|----|
| Σχήμα 1: Σχηματική απεικόνιση οριζόντιου άξονα Α/Γ .....  | 6  |
| Σχήμα 2: Λεπτομέρεια της στήριξης των πτερυγίων και οι άξονες περιστροφής .....   | 7  |
| Σχήμα 3: Κύρια μέρη ενός πτερυγίου ανεμογεννήτριας .....  | 8  |
| Σχήμα 4: Βαθμοί ελευθερίας της ανεμογεννήτριας .....  | 9  |
| Σχήμα 5: Διανύσματα της ταχύτητας του ανέμου, της ταχύτητας περιστροφής και των δυνάμενων που δρουν στο κάθε πτερύγιο ..... | 9  |
| Σχήμα 6: Θέσεις του σταθμού αναφοράς (RTS) και των κινητών σταθμών (P1,P2).....   | 15 |
| Σχήμα 7: Οι δορυφόροι του συστήματος GPS .....  | 16 |
| Σχήμα 8: Οριζόντιες μετατοπίσεις της καπνοδόχου [m] λόγω του θερμικού φορτίου .....   | 24 |
| Σχήμα 9: Οριζόντιες μετατοπίσεις της καπνοδόχου [m] και κύριες μέγιστες τάσεις λόγω του ανέμου. ....                        | 24 |
| Σχήμα 10: Διάταξη μετρήσεων με επίγειο laser scanner (κάτοψη) .....   | 27 |
| Σχήμα 11: Διάταξη μετρήσεων με επίγειο laser scanner (πλάγια όψη) .....   | 27 |
| Σχήμα 12: Διάταξη τρόπου μετρήσεων .....  | 30 |
| Σχήμα 13: Λειτουργία ATR - Σπειροειδής περιστροφική κίνηση για τον εντοπισμό του στόχου. ....                               | 36 |

## FIGURE INDEX

|  |   |
|--|---|
| Figure 1: Figural depiction of a wind generators horizontal axis ..... | 6 |
| Figure 2: Principle of a teetered hub and rotation axis .....          | 7 |
| Figure 3: Main parts of a wind generator blade .....                   | 8 |

|  |    |
|--|----|
| <i>Figure 4: Degrees of freedom of the wind generator</i> .....  | 9  |
| <i>Figure 5: Wind speed, rotation speed and forces vectors acting on each blade</i> .....              | 9  |
| <i>Figure 6: Reference stations (RTS) and rovers locations (P1,P2)</i> .....                           | 15 |
| <i>Figure 7: GPS satellites</i> .....  | 16 |
| <i>Figure 8: Horizontal displacements of the chimney [m] due to the thermal load</i> .....             | 24 |
| <i>Figure 9: Horizontal displacements of the chimney [m] and main max loads due to the wind.</i> ..... | 24 |
| <i>Figure 10: Measurements configuration with a laser scanner (top view)</i> .....                     | 27 |
| <i>Figure 11: Measurements configuration with a laser scanner (side view)</i> .....                    | 27 |
| <i>Figure 12: Measurements configuration</i> .....   | 30 |
| <i>Figure 13: ATR function – Target recognition spiral rotating movement.</i> .....                    | 36 |



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τεχνικά έργα στη σύγχρονη εποχή μελετώνται και κατασκευάζονται με την χρήση των πλέον εξελιγμένων εφαρμογών όλων των τομέων της επιστήμης. Παρέχεται έτσι η δυνατότητα του ευκολότερου σχεδιασμού μεγάλων διαστάσεων και ιδιόμορφων σχημάτων κατασκευών και τεχνικών έργων ειδικότερα, ανάλογα με τη χρήση τους.

Εκτός όμως από το στάδιο του σχεδιασμού ενός τεχνικού έργου, και ιδιαίτερα στην περίπτωση μεγάλων και ιδιόμορφων κατασκευών, είναι απαραίτητη η παρακολούθηση των φαινομένων που επηρεάζουν τη σωστή λειτουργία του και κατά το στάδιο της κατασκευής του αλλά και αφού ολοκληρωθεί και τεθεί σε χρήση, ώστε να παρακολουθηθεί η δυναμική συμπεριφορά και η απόκρισή του στις εξωτερικές φορτίσεις. Αυτό κρίνεται απαραίτητο για την ακεραιότητα της κατασκευής και την ασφάλεια των χρηστών της.

Είναι αναγκαίος επομένως ο καθορισμός και η συστηματική μελέτη των παραμέτρων που συνθέτουν ένα τέτοιο φυσικό φαινόμενο με σκοπό τη δημιουργία ενός εξειδικευμένου αριθμητικού μοντέλου που η εφαρμογή του θα εξυπηρετεί στο σχεδιασμό και ενδεχομένως στη συντήρηση μιας κατασκευής.

Η εργασία αυτή περιλαμβάνει μια πειραματική διαδικασία που διεξήχθη για την μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς μιας ανεμογεννήτριας η οποία λόγω της μορφής, του υλικού κατασκευής και των γεωμετρικών διαστάσεών της κατασκευής επηρεάζεται σημαντικά από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως ο άνεμος και η ηλιακή ακτινοβολία.

Παρουσιάζονται αρχικά κάποια γενικά στοιχεία για τη συμπεριφορά των τεχνικών έργων και αναφέρονται ενδεικτικά από τη διεθνή βιβλιογραφία και το διαδίκτυο κάποια παραδείγματα πειραμάτων παρακολούθησης που διεξήχθησαν για τη μελέτη της απόκρισης των κατασκευών σε διάφορα είδη φορτίσεων. Στη συνέχεια γίνεται μια αναφορά στις μεθόδους παρακολούθησης που εφαρμόζονται και ιδιαίτερα στις γεωδαιτικές μεθόδους. Ακολουθεί η περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας συμπεριλαμβανομένων της διαδικασίας λήψης δεδομένων από το χώρο του πειράματος και της ανάλυσης των αποτελεσμάτων. Παρατίθεται στη συνέχεια ένα παράρτημα με συγκεντρωμένα κάποια τεχνικά στοιχεία και έντυπα σχετικά με την πειραματική διαδικασία.



# 1

## ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

### 1.1 Συμπεριφορά εύκαμπτων κατασκευών

#### 1.1.1 Εισαγωγή

Η λειτουργία των τεχνικών έργων επηρεάζεται από περιβαλλοντικούς παράγοντες οι οποίοι τα υποβάλλουν σε εξωτερικές φορτίσεις που σε συνδυασμό με τη μορφή και τις διαστάσεις της κατασκευής μπορεί να είναι ισχυρότατες και επικίνδυνες για την ακεραιότητά της. Ο άνεμος, η ηλιακή ακτινοβολία, η σεισμική δράση είναι κάποιοι από τους παράγοντες που μπορούν να δημιουργήσουν δυσμενείς καταστάσεις φόρτισης για ένα τεχνικό έργο και να επιφέρουν σε αυτό διαφόρων μορφών παραμορφώσεις. Το αποτέλεσμα της πρόκλησης παραμορφώσεων είναι η ανάπτυξη τάσεων στο εσωτερικό του φέροντος οργανισμού της κατασκευής με ενδεχομένως απρόβλεπτες συνέπειες για την ασφαλή λειτουργία της.

#### 1.1.2 Είδη παραμορφώσεων

Σε μια κατασκευή μπορούν να παρουσιαστούν διάφορες μορφές παραμορφώσεων ή μικρομετακινήσεων κάποιων από τα δομικά στοιχεία που τις αποτελούν. Ειδικότερα στην περίπτωση των μεταλλικών κατασκευών οι παραμορφώσεις που προκαλούνται μπορεί να είναι μόνιμες, ημιμόνιμες ή δυναμικές.

Μόνιμες όταν παραμένουν και μετά την παύση της επιβολής της φόρτισης και έχουν ουσιαστική επίδραση στη στατική επάρκεια της κατασκευής. Μπορεί να προκληθούν απότομα ή προοδευτικά.

Ημιμόνιμες είναι όταν συνίστανται από παροδική μετατόπιση ενός τμήματος της κατασκευής προς μια κατεύθυνση και ταλάντωση γύρω από μια μέση θέση. Οι ημιμόνιμες παραμορφώσεις είναι αναμενόμενες και επιθυμητές εφόσον βρίσκονται εντός προμελετημένων ορίων και είναι αποτέλεσμα απορρόφησης ενέργειας από την κατασκευή.

Δυναμικές παραμορφώσεις εμφανίζονται με τη μορφή ταλαντώσεων και με συχνότητες κοντά στην ιδιοσυχνότητα της κατασκευής. Οι παραμορφώσεις αυτές μπορούν να διακριθούν σε επικρατούσες και δευτερεύουσες συνιστώσες. Οι επικρατούσες σχετίζονται με την απόκριση της κατασκευής κοντά στην ιδιοσυχνότητα ταλάντωσης ενώ οι δευτερεύουσες συνιστώσες λαμβάνουν γενικά μικρότερες τιμές από την τιμή της ιδιοσυχνότητας.

## **1.2 Ανάλυση της συμπεριφοράς των ανεμογεννητριών**

### **1.2.1 Τύποι ανεμογεννητριών**

Η ανάγκη για την βέλτιστη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας και τη μετατροπή της σε άλλο είδος ενέργειας οδήγησε στο σχεδιασμό διαφόρων τύπων ανεμογεννητριών. Παρουσιάζονται ενδεικτικά οι κυριότεροι τύποι ανεμογεννητριών που κατασκευάζονται.

#### **Παραδοσιακοί ανεμόμυλοι**

- Μήκος πτερυγίων: 5-15m
- Πλάτος πτερυγίων:  $\sim 0.2 \cdot \text{μήκος}$
- Ταχύτητα περιστροφής: 10-40 στροφές ανά λεπτό

#### **Αργές αιολικές μηχανές**

- Αριθμός πτερυγίων: 12-24
- Διάμετρος πτερωτής: 6-8m (max:15m)
- Χρήση ανεμοδείκτη για τον προσανατολισμό της μηχανής
- Λειτουργία σε χαμηλές ταχύτητες του ανέμου ( $U_{in}=2-3\text{m/sec}$ )
- Χρήση: συνήθως για άντληση νερού

#### **Γρήγορες αιολικές μηχανές**

- Αριθμός πτερυγίων: 2-4
- Λειτουργία σε υψηλές ταχύτητες του ανέμου ( $U_{in}=5\text{m/sec}$ )
- Συχνά χρησιμοποιείται ανεμοδείκτης ή είναι αυτοπροσανατολιζόμενες

Οι προαναφερθέντες τύποι εντάσσονται σε μια γενικότερη κατηγορία αιολικών μηχανών **οριζοντίου άξονα**. Αντίστοιχα συναντώνται και αιολικές μηχανές κατακόρυφου άξονα.



**Εικόνα 1: Παραδοσιακός ανεμόμυλος και αργή αιολική μηχανή**  
**Picture 1: Traditional windmill and slow wind machine**



**Εικόνα 2: Γρήγορη αιολική μηχανή και αιολική μηχανή κατακόρυφου άξονα τύπου Darrieus**  
**Picture 2: Fast windmill and vertical axis wind machine Darrieus type**

### 1.2.2 Περιγραφή γρήγορης αιολικής μηχανής

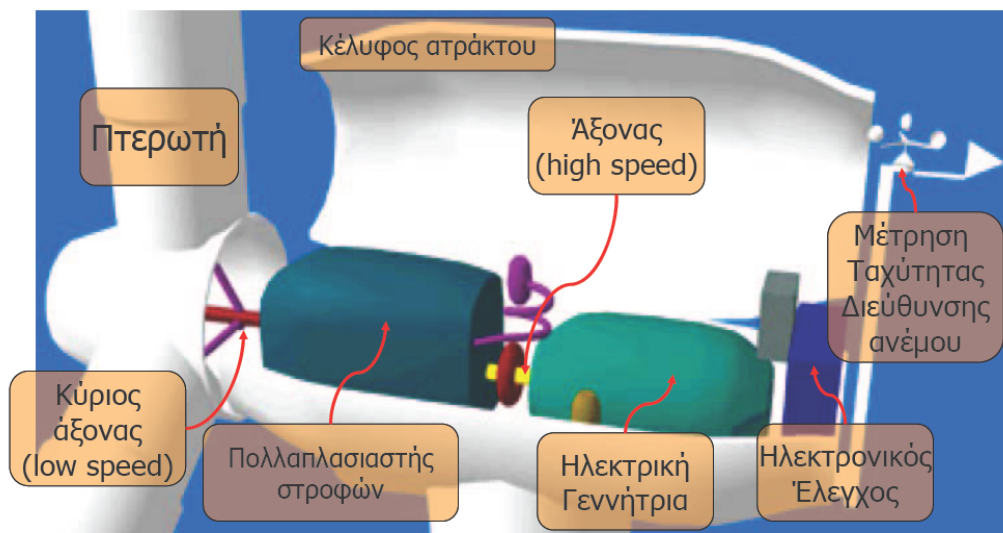
Τα κύρια μέρη που αποτελούν μια γρήγορη αιολική μηχανή (ανεμογεννήτρια) είναι ο πύργος, η άτρακτος και η πτερωτή.

#### Πύργος

Ο πύργος (tower) είναι κυλινδρικός, ελαφρά κωνικός. Επιμεταλλώνεται και βάφεται συνήθως με λευκή βαφή. Κατασκευάζεται συνήθως σε 3 ή περισσότερα τμήματα με εσωτερικές φλάντζες σύνδεσης. Πάνω στον πύργο εδράζεται η άτρακτος η οποία έχει τη δυνατότητα περιστροφής γύρω από τον κατακόρυφο άξονα.

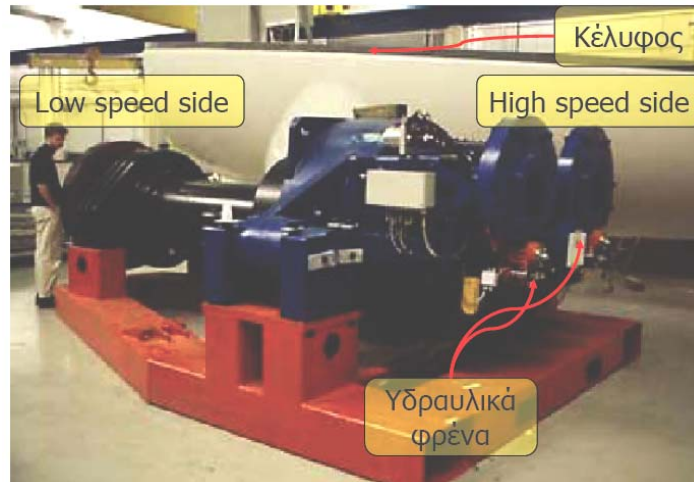
#### Άτρακτος

Το κέλυφος της ατράκτου (nacelle) είναι συνήθως από πολυεστερικό υλικό ενισχυμένο με υαλοβάμβακα και προστατεύει τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό της Α/Γ. Εντός της ατράκτου, ο κύριος άξονας (low speed) συνδέει και μεταφέρει την περιστροφική κίνηση από την πτερωτή στον πολλαπλασιαστή στροφών (gear box) ο οποίος μέσω ενός δεύτερου άξονα (low speed) περιστρέφει μια ηλεκτρική γεννήτρια. Επίσης εντός της διάταξης στο εσωτερικό της ατράκτου υπάρχει υδραυλικό σύστημα πέδησης. Στην άτρακτο υπάρχει η δυνατότητα πρόσβασης που επιτυγχάνεται από κεντρικό άνοιγμα από τον πύργο



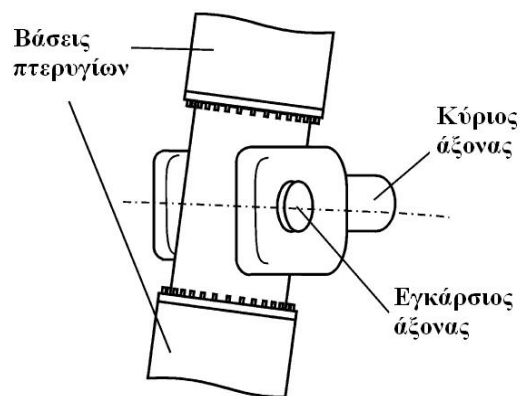
Σχήμα 1: Σχηματική απεικόνιση οριζόντιου άξονα Α/Γ

Figure 1: Figural depiction of a wind generators horizontal axis



Εικόνα 3: Ηλεκτρομηχανολογική διάταξη στο εσωτερικό της ατράκτου

Picture 3: Helectromechanical configuration in the nacelle



Σχήμα 2: Λεπτομέρεια της στήριξης των πτερυγίων και οι άξονες περιστροφής

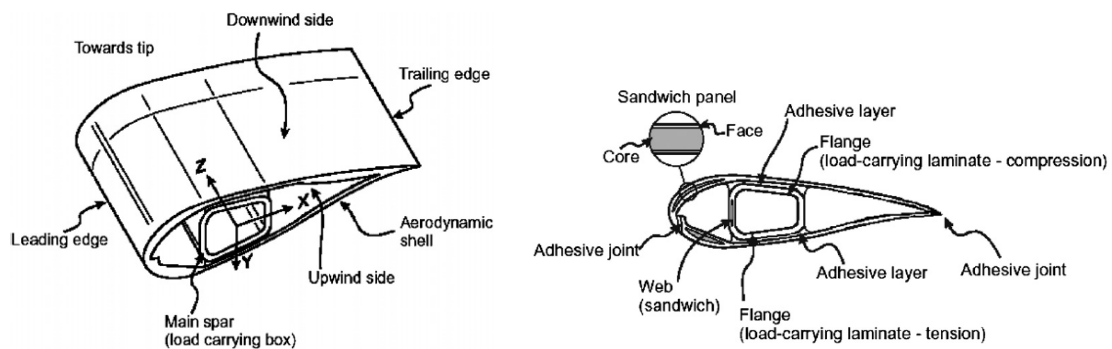
Figure 2: Principle of a teetered hub and rotation axis

### Πτερωτή

Ανάλογα με την εφαρμογή οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται σε **πολυπτέρυγες** που στο παρελθόν βρήκαν πλατιά εφαρμογή για άντληση νερού, και **με λίγα πτερύγια** που έχουν μορφή των ελίκων των αεροσκαφών. Ο τρίπτερος δρομέας είναι ~5% αποδοτικότερος από τον δίπτερο και με μικρότερα φορτία, αλλά ακριβότερος. Ο μονόπτερος είναι οικονομικότερος αλλά με 10% μικρότερη ενεργειακή απόδοση από τον δίπτερο. Η διάμετρος της πτερωτής εξαρτάται από την ονομαστική ισχύ της Α/Γ και το αιολικό δυναμικό της περιοχής εγκατάστασης. Η διάμετρος της πτερωτής εξαρτάται από το

μέγεθος της ανεμογεννήτριας. Η πτερωτή μιας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος (μέχρι 20kW) έχει διάμετρο έως 10m περίπου. Αντίστοιχα για μέσης ισχύος (20-250kW) διάμετρος μέχρι 25m και μεγάλης ισχύος (μεγαλύτερη από 250kW και γενικά 500-2500kW) η διάμετρος είναι μέχρι 80m. Σε μία μοντέρνα Α/Γ 600kW η διάμετρος μπορεί να φτάσει τα 40m.

Όπως προαναφέρθηκε, για τον προσανατολισμό των ανεμογεννητριών χρησιμοποιείται ανεμοδείκτης ή είναι αυτοπροσανατολιζόμενες. Στις μικρού ή μεσαίου μεγέθους ανεμογεννήτριες χρησιμοποιείται καθοδηγητικό πτερύγιο, ενώ στις ανεμογεννήτριες μεγάλου μεγέθους χρησιμοποιείται σερβοκινητήρας ο οποίος ελέγχεται από τον ανεμοδείκτη του ανεμογράφου. Ο δρομέας προσανατολίζεται (yaw control) με δύο ηλεκτροκίνητους οδοντωτούς τροχούς προσανατολισμού που εφαρμόζουν σε μια οδοντωτή κορώνα τοποθετημένη στην κορυφή του πύργου.



**Σχήμα 3: Κύρια μέρη ενός πτερυγίου ανεμογεννήτριας**

**Figure 3: Main parts of a wind generator blade**

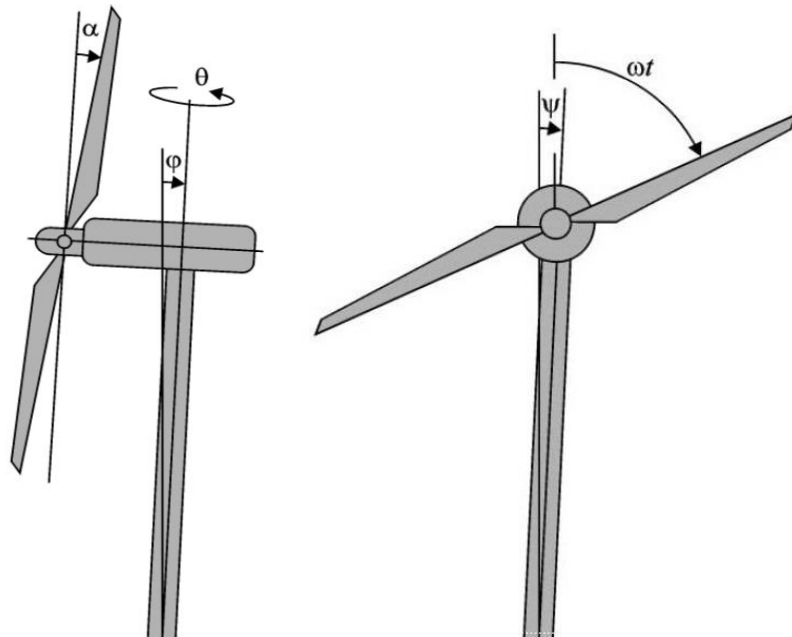
### 1.2.3 Συμπεριφορά ανεμογεννητριών σε εξωτερικές φορτίσεις

Ο σχεδιασμός μιας ανεμογεννήτριας γίνεται έτσι ώστε να είναι αναμενόμενη η εμφάνιση κάποιων παραμορφώσεων στους κύριους φορείς της. Οι παραμορφώσεις αυτές είναι αποτέλεσμα απορρόφησης από την κατασκευή ποσού από την ενέργεια που της μεταβιβάζεται μέσω των πιέσεων και των δυσμενών φορτίσεων στις οποίες υποβάλλεται.

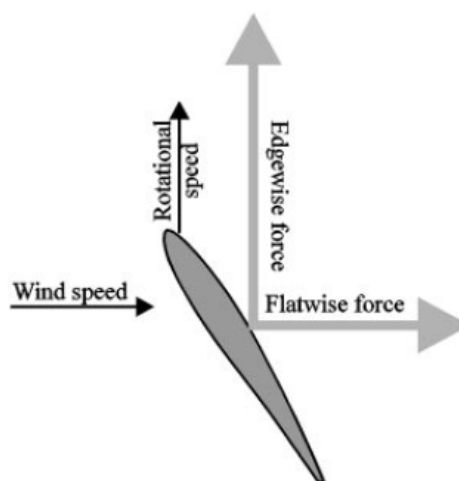
Ο πύργος (πυλώνας) της ανεμογεννήτριας έχει τη δυνατότητα κάμψης με τη μορφή απόκλισης από τον διαμήκη (κατακόρυφο) άξονά του κατά μια πολύ μικρή γωνία προς



όλες τις διευθύνσεις. Επίσης η πτερωτή η οποία ενώ είναι κάθετη στον άξονα περιστροφής της σε κατάσταση ηρεμίας, μπορεί όταν περιστρέφεται να αποκλίνει με μια μικρή γωνία από την καθετότητα. Οι παραπάνω παραμορφώσεις είναι ελεγχόμενες και αναμενόμενες αλλά παρουσιάζει ενδιαφέρον η παρακολούθηση τους ιδιαίτερα σε συνθήκες εξαιρετικά δυσμενών φορτίσεων για την κατασκευή.



**Σχήμα 4: Βαθμοί ελευθερίας της ανεμογεννήτριας**  
**Figure 4: Degrees of freedom of the wind generator**



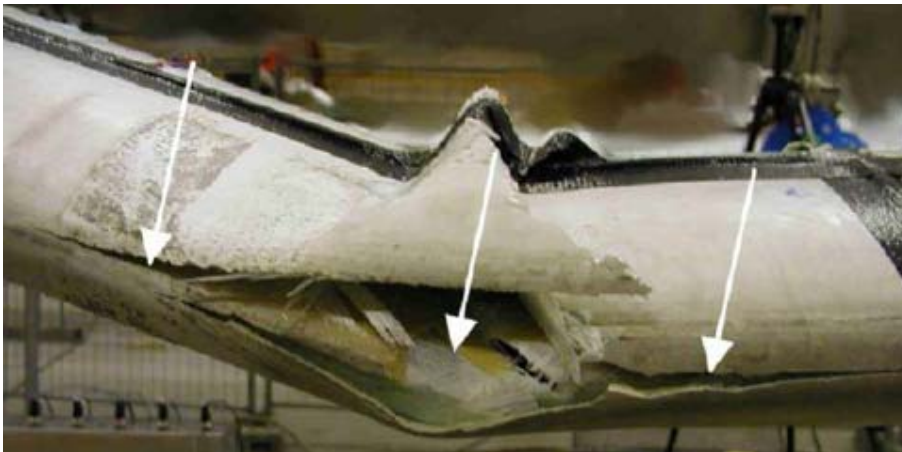
**Σχήμα 5: Διανύσματα της ταχύτητας του ανέμου, της ταχύτητας περιστροφής και των δυνάμενων που δρουν στο κάθε πτερύγιο**

**Figure 5: Wind speed, rotation speed and forces vectors acting on each blade**

#### 1.2.4 Τύποι αστοχιών ανεμογεννήτριας

Όταν οι εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες και ειδικά η ταχύτητα του ανέμου έχει υπερβεί τις αναμενόμενες τιμές σχεδιασμού και αντοχής της ανεμογεννήτριας υπάρχει σοβαρός κίνδυνος για την ακεραιότητα της κατασκευής.

Έχουν παρατηρηθεί διάφοροι τύποι αστοχιών όπως απόσχιση ή αποκόλληση των στρωμάτων που αποτελούν το πτερύγιο, ολική αστοχία του πτερυγίου αλλά και ολική κατάρρευση της ανεμογεννήτριας λόγω αστοχίας του πυλώνα της. Παρουσιάζονται ενδεικτικά ανάλογοι τύποι αστοχιών στις εικόνες που ακολουθούν.



*Εικόνα 4: Αστοχία του πτερυγίου*

*Picture 4: Blade failure*



*Εικόνα 5: Αστοχία του πτερυγίου*

*Picture 5: Blade failure*



**Εικόνα 6: Ολική κατάρρευση ανεμογεννήτριας**  
**Picture 6: Total collapse of the wind generator**



**Εικόνα 7: Αποκόλληση των στρωμάτων των πτερυγίων**  
**Picture 7: Detachment of the blade layers**



**Εικόνα 8: Ολική καταστροφή ανεμογεννήτριας από πυρκαγιά**  
**Picture 8: Total destruction of a wind generator caused by fire**



# 2

## ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

### **2.1 Εισαγωγή**

Για την παρακολούθηση της δυναμικής συμπεριφοράς των τεχνικών έργων και ιδιαίτερα μεγάλων και εύκαμπτων κατασκευών εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι και τεχνικές. Στην εφαρμογή κάποιων από αυτές γίνεται χρήση γεωδαιτικών οργάνων και χαρακτηρίζονται γεωδαιτικές μέθοδοι. Στο παρόν κεφάλαιο αναφέρονται κάποιες, όπως επίσης και συνδυασμοί τους καθώς και παραδείγματα εφαρμογής τους σε κατασκευές.

### **2.2 Γεωδαιτικοί σταθμοί αυτόματης παρακολούθησης (*Tracking Total Stations*)**

Η εφαρμογή βασίζεται στη χρήση ρομποτικού γεωδαιτικού σταθμού αυτόματης παρακολούθησης. Ο συγκεκριμένος τύπος οργάνου παρέχει τη δυνατότητα λήψης δεδομένων και ειδικότερα μετρήσεων, πολικών ή καρτεσιανών συντεταγμένων με αυτόματο εντοπισμό στόχου (αναλκαστήρας).

Στην παρούσα εργασία έγινε χρήση ενός ρομποτικού γεωδαιτικού σταθμού για την αρχή λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά του οποίου γίνεται αναλυτική αναφορά σε επόμενο κεφάλαιο.

Παρουσιάζεται στη συνέχεια ένα πείραμα παρακολούθησης μιας γέφυρας.

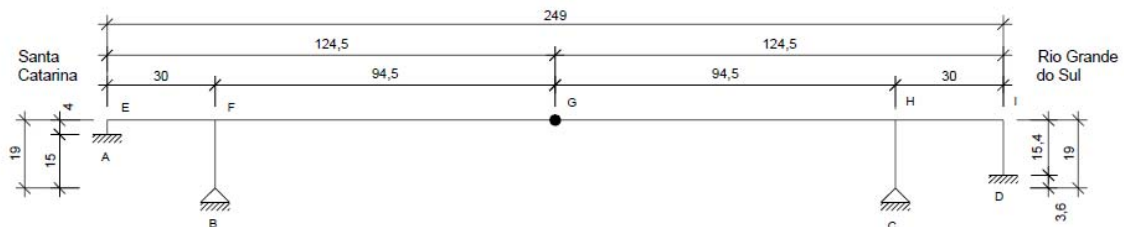
#### **2.2.1 Παρακολούθηση γέφυρας προεντεταμένου σκυροδέματος**

Στη Νότια Βραζιλία βρίσκεται η γέφυρα Rio Pelotas μήκους 250 μέτρων. Η γέφυρα είναι κατασκευασμένη από προεντεταμένο σκυρόδεμα και το κύριο άνοιγμά της είναι 189 μέτρα. Το πλάτος του φορέα της είναι 7.5 μέτρα.



**Εικόνα 9: Η γέφυρα Ρίο Πελότας στη Βραζιλία**

**Picture 9: Rio Pelotas bridge, Brasil**



**Γράφημα 1: Διαστάσεις στατικού μοντέλου της γέφυρας**

**Diagram 1: The bridge static model dimensioning**

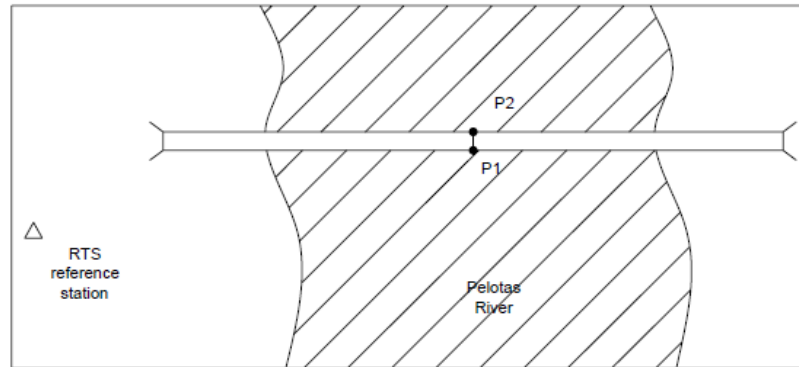
Ο σκοπός του πειράματος που σχεδιάστηκε ήταν η παρακολούθηση της δυναμικής συμπεριφοράς του φορέα με γεωδαιτική μέθοδο κάτω από δυσμενείς συνθήκες κυκλοφοριακού φόρτου. Για την εφαρμογή του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ο ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός (RTS) TCRA 1205 της εταιρίας Leica.



**Εικόνα 10: Ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TCRA 1205**

**Picture 10: Leica TCRA 1205 total station**

Ο γεωδαιτικός σταθμός τοποθετήθηκε σε βάση από σκυρόδεμα σε απόσταση 180 μέτρων από τη γέφυρα. Στα δύο σημεία παρακολούθησης του φορέα της γέφυρας τοποθετήθηκαν δύο πρίσματα (P1, P2).



**Σχήμα 6: Θέσεις του σταθμού αναφοράς (RTS) και των κινητών σταθμών (P1,P2)**

**Figure 6: Reference stations (RTS) and rovers locations (P1,P2)**

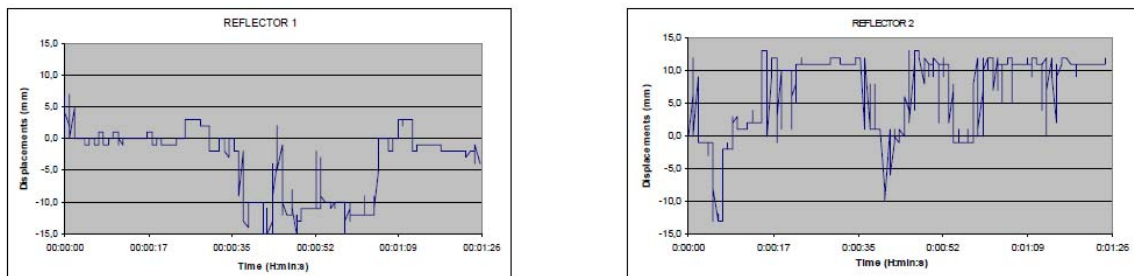
Πραγματοποιήθηκαν δύο πακέτα λήψης δεδομένων διάρκειας 85 δευτερολέπτων το καθένα, με συχνότητα λήψης 10Hz.

Από τις χρονοσειρές που παρήχθησαν με την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων είναι εμφανές ότι παρατηρείται διαφορετική παραμόρφωση ανάλογα με το σημείο παρατήρησης (P1,P2). Αυτό εξηγείται με την εφαρμογή διαφορετικών φορτίων σε κάθε πακέτο παρατηρήσεων. Στην πρώτη περίπτωση (πρίσμα P1) τα φορτία προκλήθηκαν από διέλευση μικρών επιβατικών οχημάτων, ενώ στην δεύτερη περίπτωση (πρίσμα P2) από φορτηγά επομένως είναι λογική η διαφορά στο πλάτος της παραμόρφωσης.

| Prism | Standard Deviations (mm) |            |            | Displacement Amplitudes (mm) |      |      |
|-------|--------------------------|------------|------------|------------------------------|------|------|
|       | $\sigma_N$               | $\sigma_E$ | $\sigma_Z$ | N                            | E    | Z    |
| P1    | 0,5                      | 1,0        | 5,4        | 3,0                          | 5,0  | 18,0 |
| P2    | 2,6                      | 1,2        | 6,2        | 13,0                         | 11,0 | 26,0 |

**Πίνακας 1: Τυπική απόκλιση και πλάτος της μετακίνησης στις τρεις διαστάσεις**

**Table 1: Standard deviation and displacement range at three directions**



**Γράφημα 2: Χρονοσειρές μετακινήσεων πρισμάτων 1 και 2**

**Diagram 2: Displacement timelines of prisms 1 and 2**

### 2.3 GPS

Η χρήση του GPS είναι επίσης συχνή στα πειράματα παρακολούθησης τεχνικών έργων. Το GPS παρέχει τη δυνατότητα λήψης δεδομένων με δύο μεθόδους, τη μέθοδο Στατικού Εντοπισμού (Static) και τη μέθοδο Κινηματικού Εντοπισμού (Kinematic).



**Σχήμα 7: Οι δορυφόροι του συστήματος GPS**

**Figure 7: GPS satellites**

Κατά την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων χρησιμοποιείται ένα ζεύγος δεκτών. Ο ένας (base) τοποθετείται σε ένα σταθερό σημείο, γνωστών συντεταγμένων, και ο δεύτερος (rover) σε σημείο πάνω στην προς παρακολούθηση κατασκευή. Πραγματοποιούνται ταυτόχρονες μετρήσεις και από τους δύο δέκτες και στη συνέχεια γίνεται επεξεργασία των δεδομένων ανάλογα με τη μέθοδο επίλυσης.



### 2.3.1 Οι καλωδιωτές γέφυρες Tsing Ma και Kap Shui Mun στο Hong Kong

Η γέφυρα Tsing Ma είναι μια καλωδιωτή γέφυρα με το μεγαλύτερο άνοιγμα στον κόσμο που φέρει στο κατάστρωμά της δρόμο διπλής κατεύθυνσης και σιδηρόδρομο. Το μήκος της είναι 1377 μέτρα και το ύψος της 206 μέτρα. Όπως και οι διάφορες καλωδιωτές γέφυρες μεγάλων ανοιγμάτων, μπορεί να μετακινηθεί από μερικά εκατοστά έως μερικά μέτρα, ανάλογα το είδος και το μέγεθος της φόρτισης στην οποία υποβάλλεται. Αν και οι μετακινήσεις και οι παραμορφώσεις αυτές δεν επιφέρουν κινδύνους στην κυκλοφορία, επηρεάζουν σημαντικά την κατασκευαστική ακεραιότητα της γέφυρας και τις ανάγκες συντήρησης της.



**Εικόνα 11: Η γέφυρα Tsing Ma.**

**Picture 11: Tsing Ma bridge.**



**Εικόνα 12: Η γέφυρα Kap Shui Mun.**

**Picture 12: Kap Shui Mun bridge.**

Οι γέφυρες Tsing Ma και Kap Shui Mun παρακολουθούνται από το σύστημα WASHMS (Wind and Structural Health Monitoring System) και για το σκοπό αυτό έχουν τοποθετηθεί σε διάφορα σημεία τους αισθητήρες και όργανα παρακολούθησης και λήψης δεδομένων. Σε καθορισμένες θέσεις έχουν τοποθετηθεί δέκτες GPS για την παρακολούθηση της κίνησης των γεφυρών στις τρεις διαστάσεις όταν υποβάλλονται σε φορτίσεις από τον άνεμο, τη μεταβολή της θερμοκρασίας και του κυκλοφοριακού φόρτου. Οι δέκτες αυτοί που έχουν τοποθετηθεί στις κορυφές κάποιων από τους πυλώνες και σε κάποια σημεία των καταστρωμάτων, λειτουργούν σαν κινητοί σταθμοί (rover), ενώ έχουν εγκατασταθεί στην περιοχή και δύο σταθμοί αναφοράς (reference stations). Η συχνότητα καταγραφής τους είναι 10 Hz.



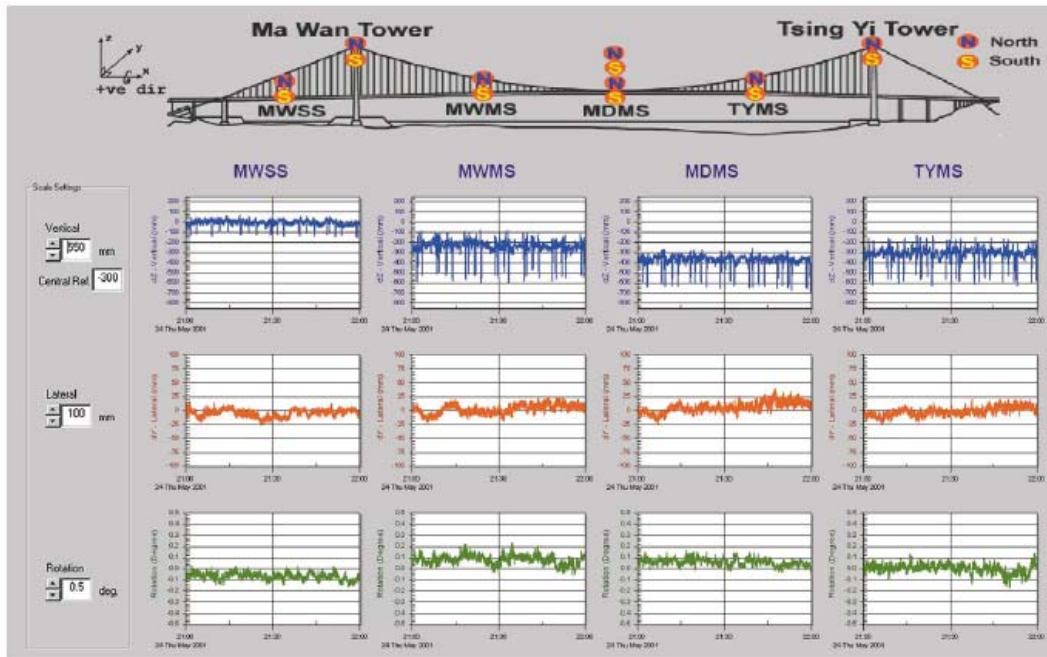
**Εικόνα 13: Δέκτης GPS τοποθετημένος στην κορυφή ενός πυλώνα της γέφυρας Tsing Ma. Στο βάθος η γέφυρα Kap Shui Mun**

**Picture 13: GPS receiver located on the top of a pylon of Tsing Ma bridge. In the background Kap Shui Mun bridge**

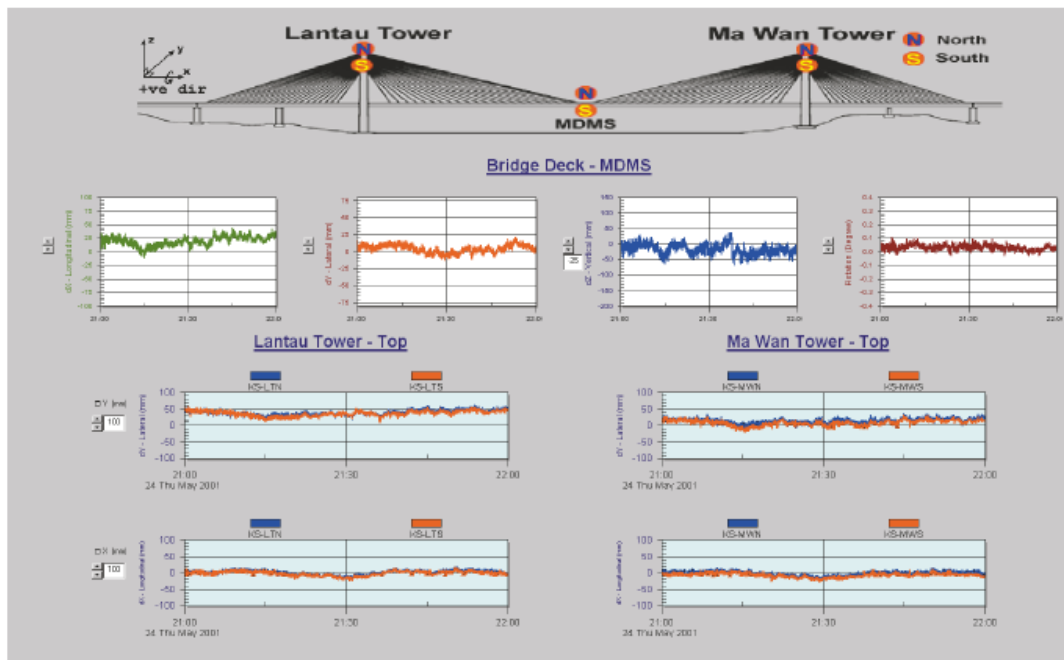


**Εικόνα 14: Δέκτης GPS τοποθετημένος στη γέφυρα Tsing Ma.**

**Picture 14: GPS receiver located on Tsing Ma bridge.**



Γράφημα 3: Θέσεις των δεκτών GPS στη γέφυρα Tsing Ma και χρονοσειρές των μετρήσεων  
 Diagram 3: GPS receivers' locations on Tsing Ma bridge and measurements' timelines



Γράφημα 4: Θέσεις των δεκτών GPS στη γέφυρα Kap Shui Mun και χρονοσειρές των μετρήσεων  
 Diagram 4: GPS receivers' locations on Kap Shui Mun bridge and measurements' timelines



*Εικόνα 15: Δέκτης GPS τοποθετημένος στη γέφυρα Tsing Ma.*

*Picture 15: GPS receiver located on Tsing Ma bridge.*

Με την επεξεργασία των δεδομένων και τη συσχέτισή τους με δεδομένα άλλων αισθητήρων επιτυγχάνεται μια ρεαλιστική απεικόνιση των παραμορφώσεων και των μικρομετακινήσεων των φερόντων στοιχείων της κάθε κατασκευής. Έτσι είναι δυνατός ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός αντιμετώπισης τυχόν προβλημάτων και συντήρησης των κατασκευών αυτών.

### **2.3.2 Παρακολούθηση κτιρίου μεγάλου ύψους στη Μαλαισία**

Στη Johor Bahru της Μαλαισίας βρίσκεται το κτίριο Menara Sarawak Enterprise ύψους 120 μέτρων που αποτελείται από 30 ορόφους με χρήση κυρίως γραφείων. Τέθηκε ο στόχος της παρακολούθησης της δυναμικής συμπεριφοράς του κτιρίου με γεωδαιτική μέθοδο και συγκεκριμένα με τη χρήση GPS.

Χρησιμοποιήθηκαν δύο ζεύγη δεκτών, ένα ζεύγος της εταιρίας Leica και ένα της Trimble και για το κάθε ζεύγος χρησιμοποιήθηκε ένα σταθερό σημείο όπου τοποθετήθηκε ο

σταθμός αναφοράς και ένα σημείο πάνω στο κτίριο όπου τοποθετήθηκε ο κινητός σταθμός (rover).



**Εικόνα 16:** Το ζεύγος δεκτών GPS της Leica με τον σταθμό αναφοράς σε σταθερό σημείο και τον κινητό δέκτη πάνω στην οροφή του κτιρίου

**Picture 16:** Leica GPS receivers, the reference station on a static point and the rover on the top of the building



**Εικόνα 17:** Ο κινητός δέκτης (rover) της Trimble τοποθετημένος πάνω στην οροφή του κτιρίου

**Picture 17:** Trimble rover receiver located on the top of the building

Πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονες μετρήσεις διάρκειας μιας ώρας και για τα δυο ζεύγη και αυτό είχε σαν σκοπό να επαληθεύεται η ανίχνευση κάποιας ενδεχόμενης δόνησης και από τα δύο ζεύγη δεκτών. Συλλέχθηκαν δύο πακέτα δεδομένων, το ένα επιλύθηκε με τη μέθοδο Στατικού Εντοπισμού (Static) και το δεύτερο με τη μέθοδο Κινηματικού Εντοπισμού (RTK).

| Point            | $\Delta N$        | $\Delta E$        | $\Delta h$        | Results                             | Program                                   | Observations       |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------|---|--------------------|
| 1<br>2<br>3<br>4 | -                 | -                 | -                 | Stable<br>(Report in<br>Appendix A) | GPS<br>Deformation<br>Analysis<br>Program | Static             |
| 3                | -0.3420<br>(mean) | 0.2999<br>(mean)  | 0.0713<br>(mean)  | Stable                              | KFilter                                   | C.RTK<br>(Epoch 1) |
| 4                | 0.3040<br>(mean)  | 0.2240<br>(mean)  | 0.1114<br>(mean)  | Stable                              | KFilter                                   | C.RTK<br>(Epoch 1) |
| 3                | 0.0118<br>(mean)  | -0.4586<br>(mean) | -1.2793<br>(mean) | Stable                              | KFilter                                   | C.RTK<br>(Epoch 2) |
| 4                | 0.7824<br>(mean)  | 0.7896<br>(mean)  | 0.2638<br>(mean)  | Stable                              | KFilter                                   | C.RTK<br>(Epoch 2) |

**Πίνακας 2: Αποτελέσματα επεξεργασίας των παρατηρήσεων**

**Table 2: Data processing results**

## 2.4 Επιταχυνσιόμετρα

### 2.4.1 Δυναμική συμπεριφορά υψηλής καπνοδόχου στην Ιταλία

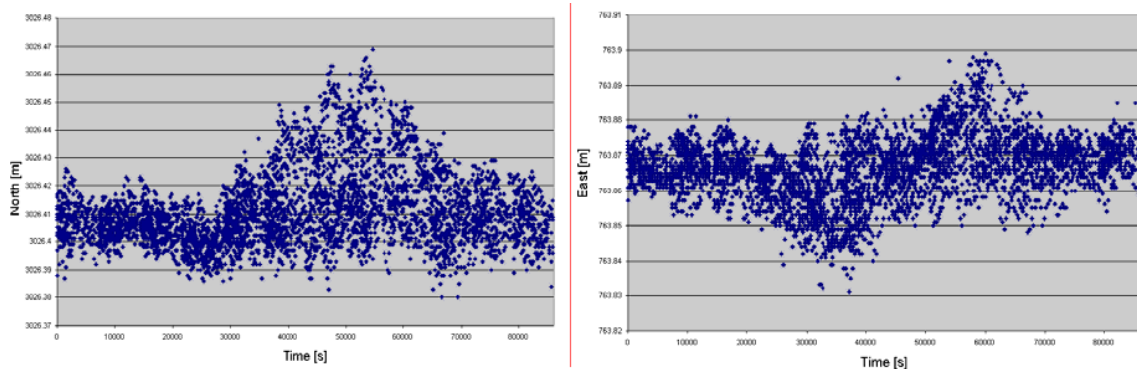
Στην Piacenza της Ιταλίας βρίσκεται ένα ενεργειακό πάρκο. Στις εγκαταστάσεις του περιλαμβάνεται ένας θερμοηλεκτρικός σταθμός με δύο μια υψηλές καπνοδόχους. Το πείραμα εφαρμόστηκε σε μια από τις κατασκευές αυτές. Το ύψος της είναι 120 m και η εξωτερική της ακτίνα μειώνεται σταδιακά προς τα πάνω από τα 4.24 m στα 3.52m. Είναι κατασκευασμένη από ενισχυμένο σκυρόδεμα και η θεμελίωσή της έχει σχήμα κόλουρου κώνου διαμέτρου 20m. Ο σκοπός του πειράματος ήταν η παρακολούθηση της δυναμικής συμπεριφοράς της καπνοδόχου λόγω του ανέμου και του θερμικού φορτίου που προκαλείται από την ηλιακή ακτινοβολία.



**Εικόνα 18: Όψη των καπνοδόχων με τις θέσεις του GPS και των επιταχυνσιόμετρων**

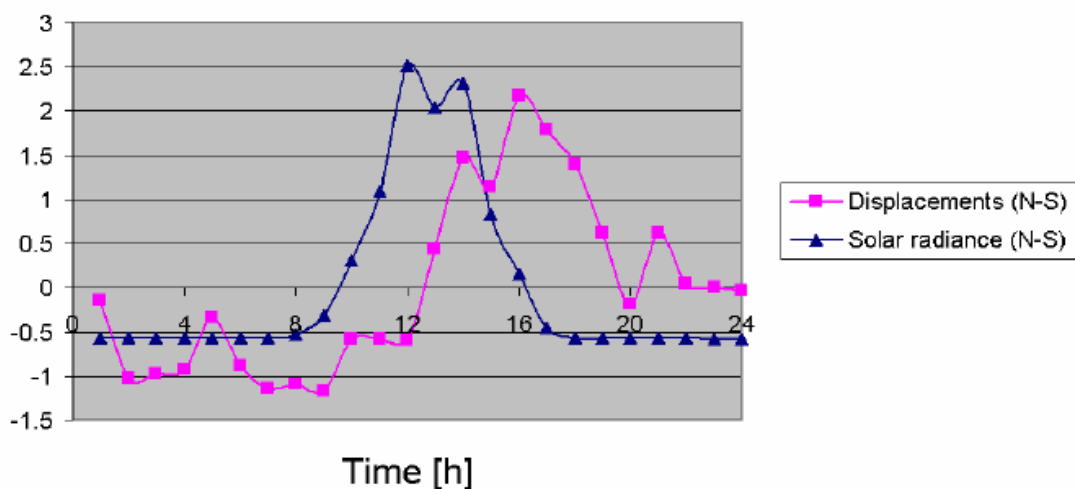
**Picture 18: View of the chimneys including the GPS receivers' and the accelerometers' locations**

Το πείραμα έγινε με συνδυασμό γεωδαιτικής μεθόδου, με σύστημα δεκτών γεωδαιτικού GPS Leica διπλής συχνότητας, και χρήση επιταχυνσιόμετρων. Ένας δέκτης GPS τοποθετήθηκε στην κορυφή (rover) και δύο στο έδαφος (σταθμοί αναφοράς). Η συχνότητα λήψης και καταγραφής δεδομένων τέθηκε στα 10 Hz. Επιπλέον, η καπνοδόχος εφοδιάστηκε με τέσσερα επιταχυνσιόμετρα (CFX US4), τοποθετημένα σε ορθογωνικές θέσεις σε κάτοψη, στην κορυφή και στη μέση της καπνοδόχου, για την καταγραφή των οριζόντιων συνιστωσών της επιτάχυνσης κατά τις διευθύνσεις Βορράς – Νότος και Ανατολή – Δύση. Η καταγραφή των δεδομένων έγινε με συχνότητα 125 Hz. Για την μεταφορά των πρωτογενών δεδομένων GPS και των επιταχυνσιόμετρων από την κατασκευή προς την κεντρική μονάδα αποθήκευσης χρησιμοποιήθηκε μια σύνδεση Wi-Fi με δύο σημεία πρόσβασης τύπου Ethernet.



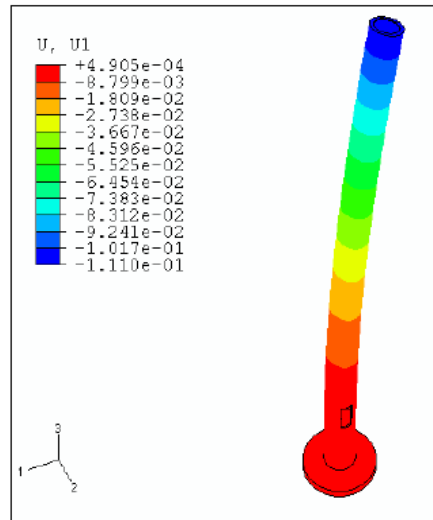
**Γράφημα 5: Μετακινήσεις της καπνοδόχου κατά τη διάρκεια της ημέρας κατά Ανατολή – Δύση (δεξιά) και κατά Βορρά – Νότο (αριστερά)**

**Diagram 5: Chimney displacements during the day on the East- West direction (right) and North – South direction (left)**



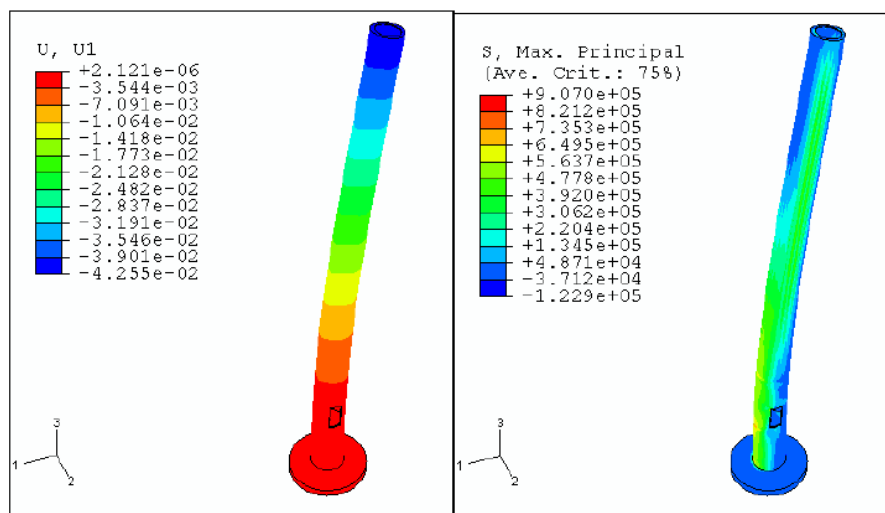
**Γράφημα 6: Μετακινήσεις και ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διεύθυνση Ανατολή – Δύση.**

**Diagram 6: Displacements and solar radiation on the East – West direction.**



**Σχήμα 8: Οριζόντιες μετατοπίσεις της καπνοδόχου [m] λόγω του θερμικού φορτίου**

**Figure 8: Horizontal displacements of the chimney [m] due to the thermal load**



**Σχήμα 9: Οριζόντιες μετατοπίσεις της καπνοδόχου [m] και κύριες μέγιστες τάσεις λόγω του ανέμου.**

**Figure 9: Horizontal displacements of the chimney [m] and main max loads due to the wind.**

Η ανάλυση της δυναμικής συμπεριφοράς της κατασκευής, η οποία εκτελέστηκε λαμβάνοντας υπόψη τις παρατηρούμενες φυσικές συχνότητες και τις κατάλληλες στατιστικές φόρμες που παρήχθησαν από το σύστημα παρακολούθησης, έγινε με επεξεργασία των δεδομένων που καταγράφηκαν από τα επιταχυνσιόμετρα. Το σύστημα GPS δεν ήταν ικανό να παρέχει επαρκή δεδομένα συχνότητων διότι, κάτω από περιβαλλοντικά φορτία, οι μετατοπίσεις της καπνοδόχου ήταν πολύ συχνά αρκετά μικρές και μικρότερες από την ακρίβεια σε πραγματικό χρόνο που παρέχεται από το GPS (1cm).



## 2.5 Επίγειος σαρωτής laser (Laser Scanner)

Μια μέθοδος που κερδίζει συνεχώς έδαφος για την παρακολούθηση συμπεριφοράς κατασκευών είναι η χρήση Laser Scanner.



*Εικόνα 19: Laser Scanner της εταιρείας Leica*

*Picture 19: Leica Laser Scanner*

### 2.5.1 Παρακολούθηση ανεμογεννητριών στη Γερμανία με Laser Scanner.

Το παρακάτω πείραμα αναφέρεται στην παρακολούθηση δύο ανεμογεννητριών με επίγειο laser scanner. Σαν παράδειγμα εφαρμογής, επιλέχθηκαν δύο ανεμογεννήτριες στο Schliekum και στο Gohl της Γερμανίας για την εκτέλεση του πειράματος.

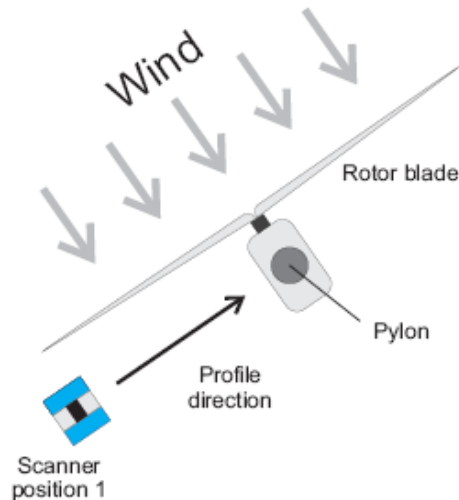
Η ανεμογεννήτρια στο Schliekum είναι τύπου Tascke 1.5 S και έχει έναν πυλώνα ύψους 77 μέτρων. Ο κωνικός χαλύβδινος πυλώνας κατασκευάστηκε σε βάση από σκυρόδεμα και αποτελείται από τρία τμήματα με ύψη 25.9, 25.9 και 25 μέτρων που συνδέονται με κυκλικά κολάρα. Το πάχος του χάλυβα ξεκινά από 22mm στη βάση και μειώνεται φτάνοντας τα 8mm στην κορυφή. Για την βελτιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας, ο στρόβιλος μπορεί να λειτουργεί με ταχύτητες 12, 18 και 21 περιστροφές ανά λεπτό (rpm).



**Εικόνα 20: Ανεμογεννήτρια στο Schliekum, στη Γερμανία**

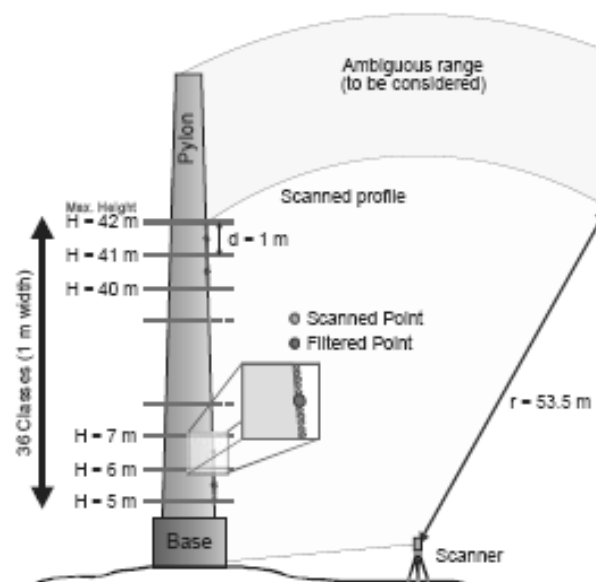
**Picture 20: Wind generator at Schliekum, Germany**

Το scanner που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα ήταν ένα Leica HDS 4500 laser scanner γνωστό και ως Z+F Imager 5003. Το scanner αυτό χρησιμοποιεί τη μέθοδο μέτρησης φάσης για να προσδιορίσει την κεκλιμένη απόσταση από την επιφάνεια του αντικειμένου. Έχει ένα σημαντικό εύρος μετρήσεων των 53.5m. Αυτό σημαίνει ότι έξω από το εύρος αυτό γίνεται εκτίμηση. Ο μέγιστος ρυθμός λήψης δεδομένων είναι τα 625000 Hz για τον προσδιορισμό του εύρους. Στις προκαθορισμένες ρυθμίσεις του έχει απενεργοποιηθεί η κίνηση του κατακόρυφου άξονα ώστε να δημιουργείται ένα δισδιάστατο μοντέλο 310°. Ο ρυθμός καταγραφής εξαρτάται από την πυκνότητα των σημείων και την ακρίβεια του εύρους και διαφέρει από 12 Hz έως 33 Hz. Επιδιώχθηκε παράλληλη θέση του scanner με τη διεύθυνση του ανέμου για να αποδοθεί η μέγιστη παραμόρφωση του πυλώνα. Το ογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τις σαρώσεις ήταν το Z+F Laser Control 6.6.0.0 με παραμέτρους σάρωσης ‘SuperHigh’ ανάλυσης (ισοδύναμες με την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των σημείων), ‘LowNoise’ ακρίβειας και ‘Far’ – mode για την απόσταση.



**Σχήμα 10: Διάταξη μετρήσεων με επίγειο laser scanner (κάτοψη)**

**Figure 10: Measurements configuration with a laser scanner (top view)**



**Σχήμα 11: Διάταξη μετρήσεων με επίγειο laser scanner (πλάγια όψη)**

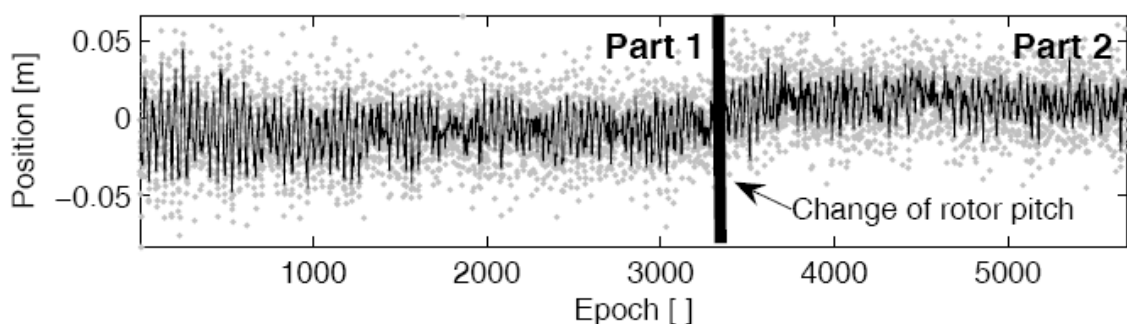
**Figure 11: Measurements configuration with a laser scanner (side view)**

Η σάρωση που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση αυτή έχει ένα συνολικό αριθμό 60.2 εκατομμυρίων σημείων. Κατά μήκος της κατακόρυφης επιφάνειας του πυλώνα ορίστηκαν διάφορα τμήματα ίσου πλάτους (2m, 1m, 0.5m και 0.2m). Η κατακόρυφη μέση τιμή του κάθε τμήματος καθορίστηκε από τη θέση του και την κατακόρυφη έκτασή του, ενώ η οριζόντια τιμή διέφερε λόγω της μετακίνησης του αντικειμένου και έπρεπε να

οριστεί μέσω μιας μέσης τιμής των σημείων σάρωσης που ανήκαν σε ένα σταθερό τμήμα. Έτσι ο μέσος όρος αντιπροσώπευε μια εποχή για το αντίστοιχο τμήμα του.

Η τελική χρονοσειρά προαιρετικά εξομαλύνθηκε με ένα φίλτρο κινούμενου μέσου όρου .

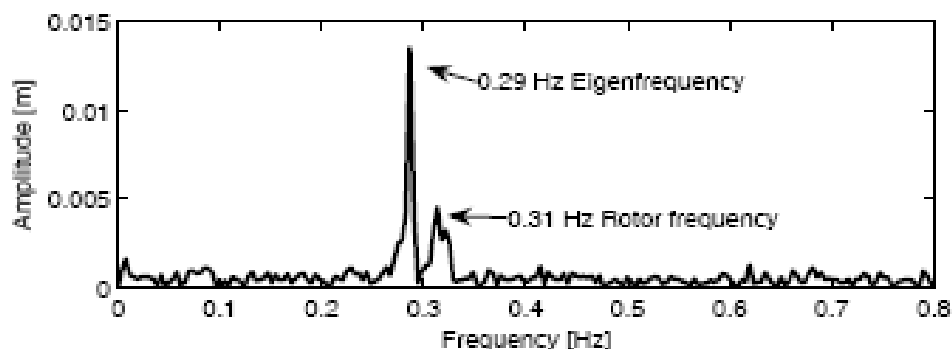
Η χρονοσειρά διαιρέθηκε σε ένα πρώτο και ένα δεύτερο τμήμα. Μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου τμήματος η ανεμογεννήτρια μετέβαλλε την κλίση του συστήματος περιστροφής για καλύτερη απόδοση. Ο προσανατολισμός του θαλάμου και η συχνότητα περιστροφής παρέμειναν αμετάβλητα.



Γράφημα 7: Χρονοσειρά των τιμών ανά τμήμα στα 51.8m ύψους

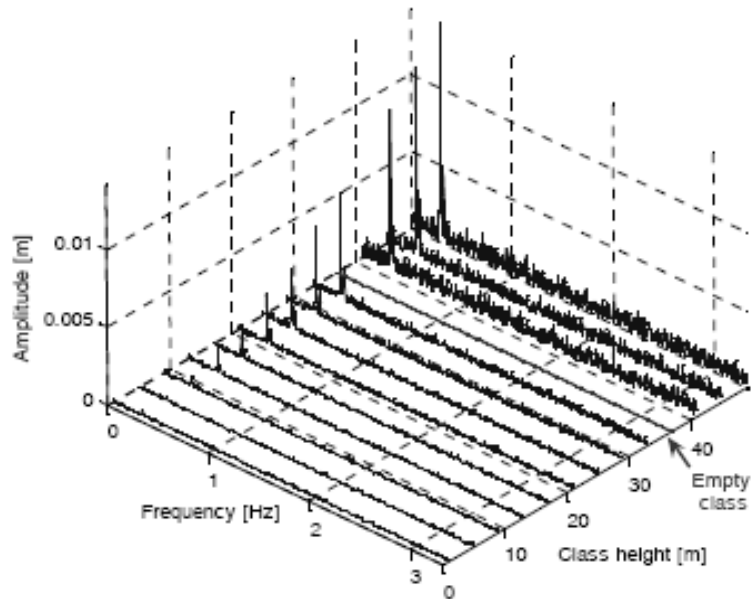
Diagram 7: Partial value timeline at 51.8m height

Είναι προφανές ότι το πλάτος ταλάντωσης του πυλώνα αυξάνεται σε μεγαλύτερα ύψη. Το κενό τμήμα στα 41m είναι αποτέλεσμα της υπέρβασης του βεληνεκούς του σαρωτή αφού στο ύψος αυτό η κεκλιμένη απόσταση είναι υπερβαίνει τα 53.5m. Αν και το βεληνεκές μπορεί να επεκταθεί από το λογισμικό επεξεργασίας, δεν υπάρχουν μετρήσεις μεταξύ των 53.5 και των 54.0 μέτρων.



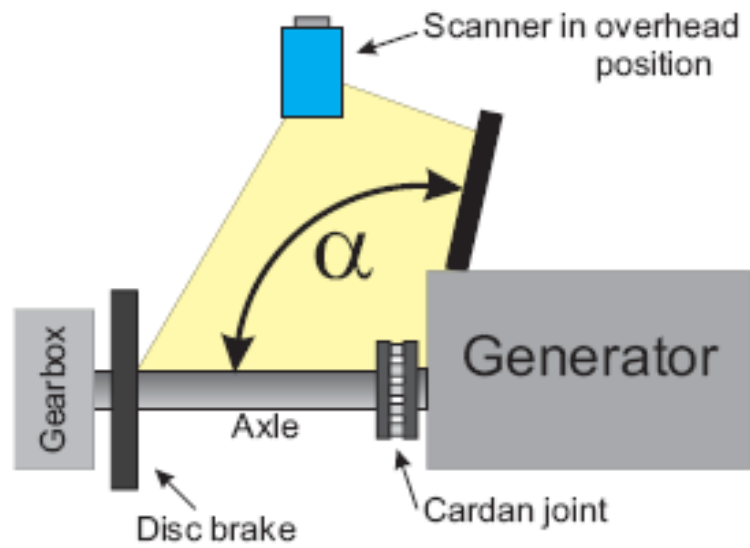
Γράφημα 8: Φάσμα πλάτους του Τμήματος 1

Diagram 8: Part 1 range spectrum



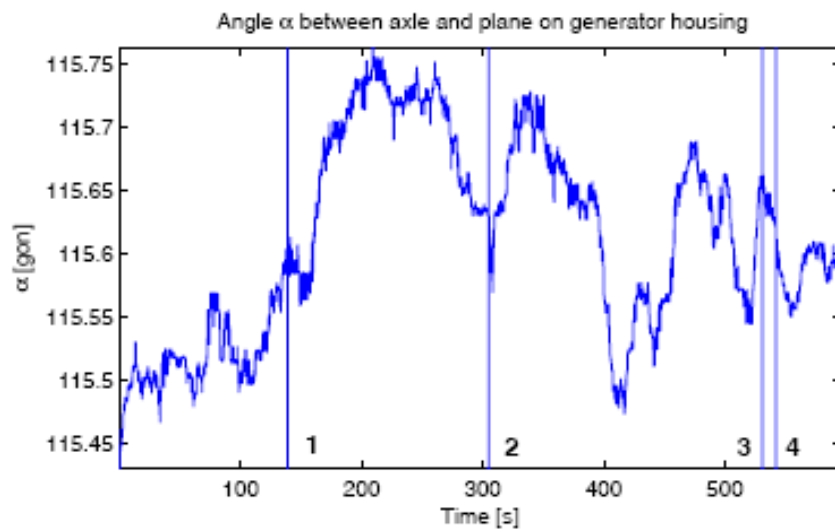
**Γράφημα 9: Φάσμα πλάτους στα τμήματα ύψους 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36, 41, 46, 51 μέτρων**  
**Diagram 9: Range spectrum at the part of 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36, 41, 46, 51 meters height**

Η δεύτερη μέτρηση πραγματοποιήθηκε σε μια ανεμογεννήτρια στο Gohl, δίπλα στο Lubeck (Γερμανία). Ο σκοπός του πειράματος αυτού ήταν ο υπολογισμός των μεταβολών στην κλίση του πολύστροφου άξονα μεταξύ του κιβωτίου ταχυτήτων και της γεννήτριας ο οποίος είναι τμήμα της διάταξης παραγωγής ενέργειας. Αυτό έγινε σε ανεμογεννήτρια που βρίσκεται ανατολικά του Lubeck (Βόρεια Γερμανία). Σε κατάσταση λειτουργίας ο άξονας περιστρέφεται με ταχύτητα έως και 1500 rpm. Ο άξονας και η γεννήτρια συνδέονται με μια άρθρωση για την απορρόφηση των μικροκραδασμών. Η χρονοσειρά αποτελείται από 10061 διατομές (615 sec). Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων η διαδικασία διακόπηκε χειροκίνητα τέσσερις φορές. Μετά από 139 sec η ανεμογεννήτρια περνάει στην κατάσταση των 800 rpm και στα 305 sec στην μέγιστη ταχύτητα περιστροφής των 1500 rpm. Στα 531 sec ξεκίνησε μια διαδικασία έκτακτης ανάγκης με την περιστροφή των άκρων των πτερυγίων σε κάθετη θέση. Στα 542 sec χρησιμοποιήθηκε η πέδηση του δίσκου περιστροφής για τον πλήρη τερματισμό. Εφόσον η γεννήτρια δεν έχει σταθερή επιφάνεια, τοποθετήθηκε μια επίπεδη πλατφόρμα στην κορυφή του θαλάμου που αντιπροσώπευε την κλίση της γεννήτριας. Η θέση και η κλίση του άξονα όπως επίσης και της πλατφόρμας καθορίστηκαν με γραμμική μείωση. Η γωνία μεταξύ του άξονα και της πλατφόρμας μεταβαλλόταν σε ένα πλάτος γωνίας των 0.25 βαθμών.



Σχήμα 12: Διάταξη τρόπου μετρήσεων

Figure 12: Measurements configuration



Γράφημα 10: Χρονοσειρά της γωνίας  $\alpha$

Diagram 10: Angle  $\alpha$  timeline

# 3

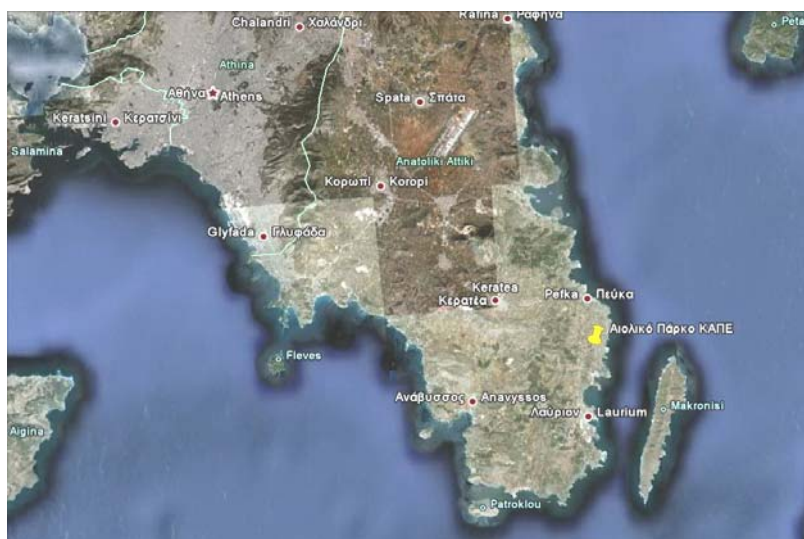
## ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

### 3.1 Περιγραφή αντικειμένου

Το πείραμα διεξήχθη στο Αιολικό Πάρκο του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). Συγκεκριμένα έγιναν περιοδικές μετρήσεις σε στόχους (πρίσματα) που τοποθετήθηκαν στους πυλώνες δύο ανεμογεννητριών με χρήση των ρομποτικού γεωδαιτικών σταθμών TCA 1800 και TM30 της εταιρείας Leica και του γεωδαιτικού σταθμού Trimble VX.

#### 3.1.1 Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ)

Το επιδεικτικό Αιολικό Πάρκο του ΚΑΠΕ ισχύος 3,01MW βρίσκεται στην περιοχή της Λαυρεωτικής στην Αττική και αποτελείται από πέντε Α/Γ, εκ των οποίων οι τρεις αγοράστηκαν από το εξωτερικό (NEG-Micon 750kW, Enercon E-40 500kW και Vestas V47/660kW) και οι δύο είναι ελληνικής προέλευσης (ΑΟΑ 500kW και ΑΟΑ 600kW, κατασκευής ΠΥΡΚΑΛ) . Το Α/Π χρηματοδοτήθηκε από το Β'ΚΠΣ στα πλαίσια του ΕΠΕ-3.3. Σε πλήρη λειτουργία αναμένεται να παράγει 7.9GWh/έτος.



Εικόνα 21: Το αιολικό πάρκο ΚΑΠΕ (Google Earth)

Picture 21: CREC Wind Farm (Google Earth)

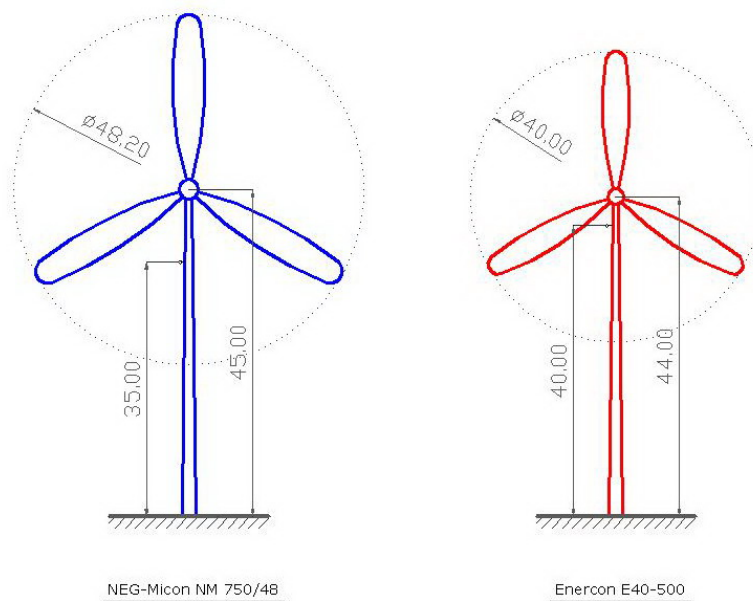


**Εικόνα 22: Οι θέσεις των Α/Γ του πειράματος στο αιολικό πάρκο ΚΑΠΕ (Google Earth)**

**Picture 22: The wind generators' locations at CREC Wind Farm (Google Earth)**

### 3.1.2 Τεχνική περιγραφή Α/Γ

Οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα είναι η NEG-Micon NM 750/48 και η Enercon E40-500 με ύψος πυλώνα 45 και 44 μέτρων και διάμετρο κύκλου περιστροφής 48,2 και 40 μέτρων αντίστοιχα. Η μεταξύ τους απόσταση είναι 150 μέτρα περίπου.



**Εικόνα 23: Διαστάσεις ανεμογεννητριών και ύψος θέσης στόχου**

**Picture 23: Wind generators' dimensioning and targets' height location**





**Εικόνα 24: Η ανεμογεννήτρια NEG-Micon NM 750/48**

**Picture 24: NEG-Micon NM 750/48 wind generator**



**Εικόνα 25: Η ανεμογεννήτρια Enercon E40-500**

**Picture 25: Enercon E40-500 wind generator**

|                     | <b>Enercon E40-500</b>   | <b>NEG-Micon NM 750/48</b> |
|---------------------|--|----------------------------|
| <b>Rotor</b>        |  |                            |
| Diameter            | 40m  | 48.2m                      |
| Area swept          | 1275m <sup>2</sup>   | 1824m <sup>2</sup>         |
| Speed of revolution | variable, 18-38 rpm  | 22/14 rpm                  |
| Number of blades    | 3  | 3                          |
| Length of blades    | 19m  |                            |
| Blade material      | fiberglass (reinforced epoxy) with integral lightning protection |                            |
| Tip speed           | 38-80 m/s  |                            |
| Type                | upwind rotor with active pitch control                           | upwind rotor               |
| <b>Tower</b>        |  |                            |

|                             |   |   |
|-----------------------------|---|---|
| Type                        |   | Conical, steel,painted  |
| Hub height (approx.)        | 44m   | 45m   |
| <b>Generator</b>            |   |   |
| Type                        | direct-driven ENERCON ring generator (with drive train)   | Asynchronous, 4/6 pole  |
| Name plate rating           | 500 kW  | 750/200kW   |
| Nominal Voltage             |   | 690V  |
| Nominal Frequency           | 50 Hz   | 50 Hz   |
| Hub                         | rigid   |   |
| Cooling                     |   | Liquid-cooled with pump   |
| <b>Operational Data</b>     |   |   |
| Nominal output              | 500kW   | 750kW   |
| Cut-in wind speed           | 2.5 m/s   | 4m/s  |
| Cut-out wind speed          |   | 25m/s   |
| Nominal wind speed          | 12 m/s  | 16m/s   |
| Power regulation            | Variable Speed + Pitch  | Stall   |
| <b>Gearbox</b>              |   |   |
| Type                        |   | Planetary - parallel axle   |
| Ratio                       |   | 1:68:2  |
| Main shaft                  |   | Forced shaft and flange   |
| Main bearing                | double-row tapered roller bearings  | Spherical roller bearing  |
| Cooling                     |   | Liquid-cooled with pump   |
| <b>Control</b>              |   |   |
| Braking system              | 3 independentpitch-control systems with emergency supply rotor brake rotor lock for service and maintenance | Blade tip air brake: Hydraulic,fail-safe<br>Disc brake: Hydraulic,fail-safe   |
| Yaw control                 | active through adjustment gears, friction damping   | Type: Ball bearing Yaw Brake: 3 Friction brake/motor brake<br>Drive mechanism: 4 electrical planetary gears                         |
| Type                        |   | Type: Computer controlling<br>Computer controlling: Soft by thyristors Capacitor bank: No-load compensated Remote control: By modem |
| <b>Sensors</b>              |   |   |
| RPM sensors                 |   | Rotor, generator,yaw system   |
| Temperature sensors         |   | Gear, generator, controller   |
| Thermal sensors/warning     |   | Main switch, engine protection  |
| Vibration sensor            |   | Nacelle,rotor   |
| Meteorology                 |   | Anemometer, wind vanes,thermometer  |
| Hydraulic systems           |   | Pressure sensitive switches, pressure transducer  |
| <b>Lightning protection</b> |   |   |
| Type                        |   | According to standard IEC 1024  |
| Blades                      |   | Receptor in the blade tips  |
| Nacelle                     |   |   |

Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών Enercon E40-500 και NEG-Micon NM 750/48

Table 3: Enercon E40-500 and NEG-Micon NM 750/48 wind generators' specifications

## 3.2 Εξοπλισμός και παρελκόμενα

### 3.2.1 Γεωδαιτικός Σταθμός Leica TCA 1800

Ο γεωδαιτικός σταθμός TCA 1800 είναι μέλος της σειράς οργάνων TPS 2000 που κατασκευάζει η ελβετική εταιρεία Leica. Είναι ένα όργανο σχετικά υψηλής ακρίβειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εξειδικευμένες γεωδαιτικές εφαρμογές. Είναι εφοδιασμένο με σερβομηχανισμό ο οποίος περιστρέφει αυτόματα το όργανο γύρω από τον πρωτεύοντα (κατακόρυφο) άξονά του και επιπλέον με μηχανισμό αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου. Τα χαρακτηριστικά αυτά βρίσκουν εξαιρετική εφαρμογή σε εξειδικευμένα πειράματα παρακολούθησης συμπεριφοράς κατασκευών που περιλαμβάνουν πακέτα μετρήσεων αντίστοιχα με την παρούσα εργασία. Επιπλέον χαρακτηριστικό του οργάνου είναι η δυνατότητα σύνδεσης και επικοινωνίας με Η/Υ μέσω του οποίου μπορεί να ελέγχεται ο σταθμός κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Διαθέτει επίσης εσωτερική μνήμη (3MB), αποσπώμενη κάρτα μνήμης έως 4MB αλλά παρέχει και τη δυνατότητα απευθείας καταγραφής και αποθήκευσης των δεδομένων στη μνήμη του Η/Υ.

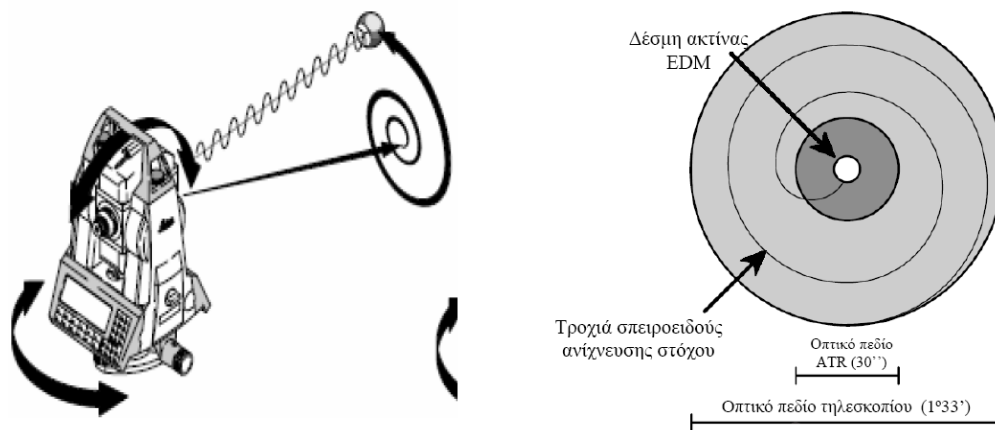


*Εικόνα 26: Γεωδαιτικός Σταθμός Leica TCA1800*

*Picture 26: Leica TCA1800 Total station*

### Λειτουργία ATR - Εντοπισμός στόχου

Το σύστημα αυτόματου εντοπισμού στόχου που διαθέτει το TCA1800 βασίζεται στη γνωστή λειτουργία των EDM με την εκπομπή μιας μη ορατής ακτίνας laser. 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 δευτερολέπτων από μέσα προς τα έξω μέχρι τον εντοπισμό του στόχου. Εάν δεν εντοπιστεί ο στόχος η διαδικασία ακυρώνεται.



Σχήμα 13: Λειτουργία ATR - Σπειροειδής περιστροφική κίνηση για τον εντοπισμό του στόχου.

Figure 13: ATR function – Target recognition spiral rotating movement.

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.

### Επιπρόσθετες λειτουργίες

Εκτός από τη λειτουργία ATR το όργανο έχει και τις λειτουργίες LINT και RCS:

LINT: Η λειτουργία διακόπτει το ATR για μια μέτρηση απόστασης και χρησιμοποιείται για μετρήσεις σε στόχους που υπερβαίνουν το εύρος της ATR

RCS: Με τη λειτουργία αυτή απαιτείται μόνο ένα άτομο για την εκτέλεση των τοπογραφικών εργασιών. Στο στυλέο του κατάφωτου είναι τοποθετημένο ένα modem και ένα χειριστήριο από το οποίο ελέγχονται όλες οι λειτουργίες του οργάνου.

### **Πεδία εφαρμογών του Leica TCA 1800**

Οι γεωδαιτικές εφαρμογές στις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο TCA1800 είναι υψηλών σχετικά απαιτήσεων και προδιαγραφών. Συνίσταται η χρήση του ενδεικτικά σε αποτυπώσεις και χαράξεις υψηλής ακρίβειας όπως η κατασκευή υπογείων έργων, η καθοδήγηση μηχανημάτων τεχνικών έργων όπως χωματουργικών, οδοποιίας, η παρακολούθηση δυναμικής συμπεριφοράς κατασκευών κλπ. Το κόστος αγοράς του οργάνου είναι σχετικά υψηλό και κατά συνέπεια δεν συνηθίζεται η χρήση του σε απλούστερες τοπογραφικές εργασίες.

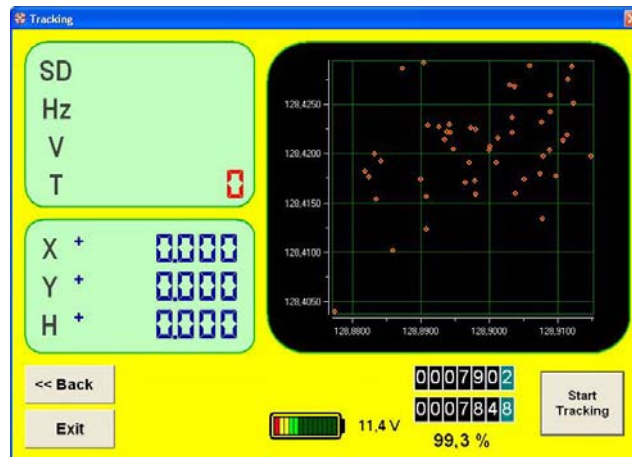
### **3.2.2 Λογισμικό "Leica Tracking Controller"**

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ο έλεγχος του γεωδαιτικού σταθμού TCA 1800 έγινε "on line" από τον φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη βοήθεια του λογισμικού Leica Tracking Controller v.2.2.3. Τη στιγμή που συνδεθεί το όργανο με τον υπολογιστή μέσω σειριακού καλωδίου ο χειρισμός του γίνεται μόνο μέσω του υπολογιστή. Αρχικά εισάγονται οι συντεταγμένες της στάσης που έχει τοποθετηθεί ο σταθμός, το ύψος οργάνου, το ύψος στόχου και σκοπεύεται το σημείο προσανατολισμού. Αφού ολοκληρωθεί ο προσανατολισμός σκοπεύεται χειροκίνητα ο στόχος, επιλέγεται η επιθυμητή μέθοδος παρακολούθησης και ξεκινά η διαδικασία λήψης μετρήσεων.



**Εικόνα 27: Οθόνη αρχικών ρυθμίσεων του λογισμικού Leica Tracking Controller v.2.2.3**

**Picture 27: Leica Tracking Controller v.2.2.3 software initial registration screenshot**



Εικόνα 28: Οθόνη μετρήσεων του λογισμικού

Picture 28: Measurements' software screenshot

### 3.2.3 Γεωδαιτικός Σταθμός Leica TM 30

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.



Εικόνα 29: Γεωδαιτικός Σταθμός Leica TM 30

Picture 29: Leica TM 30 total station

### 3.2.4 Γεωδαιτικός Σταθμός Trimble VX

Ο σταθμός Trimble VX ενσωματώνει γεωδαιτικό σταθμό και τρισδιάστατο σαρωτή σε μία μονάδα. Διαθέτει δυνατότητα τρισδιάστατης σάρωσης, τεχνολογία ψηφιακής απεικόνισης ώστε να συλλέγει ακριβείς συντεταγμένες σημείων και χωρική πληροφορία για λεπτομερή απόδοση σε απαιτητικές εφαρμογές. Η ακρίβεια μέτρησης γωνιών είναι 1'' (3<sup>cc</sup>). Οι αποστάσεις μετρώνται με την ίδια ακρίβεια (2mm + 2ppm) για μέτρηση με πρίσμα ή χωρίς, ενώ με τη μέθοδο tracking επιτυγχάνεται ακρίβεια 4mm + 2ppm. Ο σταθμός Trimble VX συλλέγει δεδομένα τοπογραφικής ακρίβειας με επίγεια μέθοδο, όπως ένας συμβατικός γεωδαιτικός σταθμός. Επιπλέον χρησιμοποιεί την τεχνολογία laser, για την σάρωση του αντικειμένου, συλλέγοντας μεγάλο όγκο δεδομένων για την πιστή απόδοση αυτού. Τέλος διαθέτει ενσωματωμένη video camera για την απόδοση της πραγματικής υφής του αντικειμένου. Οι τρεις τεχνολογίες (γεωδαιτικός σταθμός, σαρωτής laser και ψηφιακή video camera) χρησιμοποιούνται παράλληλα, ελέγχονται από ένα και μόνο χειριστήριο, με ένα και μόνο λογισμικό πεδίου σε περιβάλλον Windows.



Εικόνα 30: Γεωδαιτικός Σταθμός Trimble VX

Picture 30: Trimble VX total station

### 3.2.5 Όργανα μέτρησης ανέμου και θερμοκρασίας

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικό θερμόμετρο του εργαστηρίου, ενώ τα ανεμολογικά δεδομένα συλλέχθηκαν από όργανα του μετεωρολογικού σταθμού του αιολικού πάρκου σε συνεννόηση με τη διεύθυνση του ΚΑΠΕ

## 3.3 Προπαρασκευαστικές Εργασίες

### 3.3.1 Επιλογή θέσεων παρατήρησης και τοποθέτηση στόχων

Σε συνεννόηση με τη διεύθυνση του ΚΑΠΕ έγινε η τοποθέτηση των στόχων στις δύο ανεμογεννήτριες. Ο στόχος της ανεμογεννήτριας NEG-Micon τοποθετήθηκε στον πυλώνα της και σε ύψος 35 μέτρων από το έδαφος.



Εικόνα 31: Θέση του στόχου στην NEG-Micon

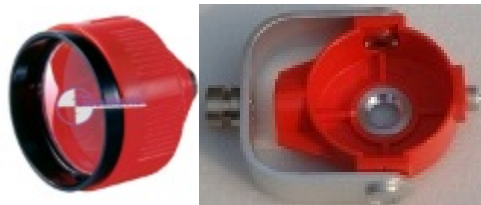
Picture 31: The NEG-Micon target location





**Εικόνα 32: Θέση του στόχου στην NEG-Micon**

**Picture 32: The NEG-Micon target location**



**Εικόνα 33: Πρίσμα και βάση**

**Picture 33: Prism and prism holder**

Στην ανεμογεννήτρια Enercon ο στόχος τοποθετήθηκε στη βάση της γέφυρας επίσκεψης η οποία βρίσκεται στην κορυφή του πυλώνα της και σε ύψος 40 μέτρων από το έδαφος.



**Εικόνα 34: Θέση του στόχου στην Enercon**

**Picture 34: The Enercon target location**

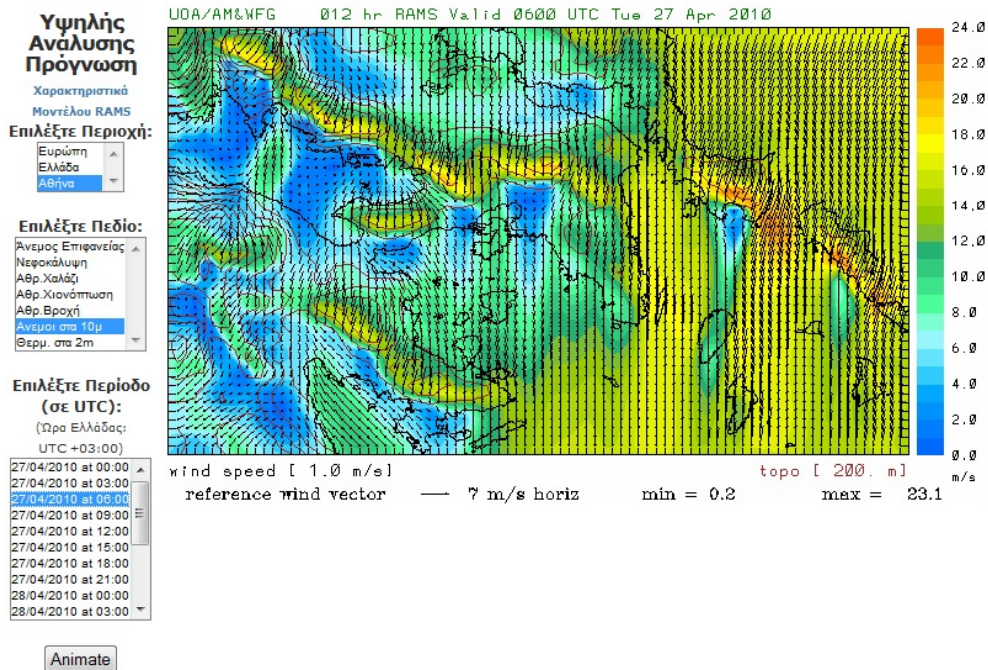


*Εικόνα 35: Θέση του στόχου στην Enercon*

*Picture 35: The Enercon target location*

### **3.3.2 Επιδιωκόμενες καιρικές συνθήκες**

Η πραγματοποίηση των μετρήσεων του πειράματος για την επίδραση της ανεμοπίεσης προϋπέθετε την επικράτηση κατάλληλων καιρικών συνθηκών στην περιοχή του αιολικού πάρκου, οι οποίες ήταν θυελλώδεις άνεμοι κατά το δυνατόν. Η επιδιωκόμενη ταχύτητα του ανέμου ορίστηκε μεταξύ των 18 έως 20m/s. Για την πραγματοποίηση του πειράματος για τη μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν επιθυμητή η ηλιοφάνεια σε όλη τη διάρκεια της ημέρας με ταυτόχρονη τη μηδενική κατά το δυνατόν ταχύτητα ανέμου. Επίσης ήταν επιθυμητή μια μεγάλη διακύμανση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για την επιλογή της ημέρας με τις επιθυμητές καιρικές συνθήκες χρησιμοποιήθηκαν οι προγνώσεις των ιστοσελίδων <http://forecast.uoa.gr> του Πανεπιστημίου Αθηνών και [www.meteo.gr](http://www.meteo.gr).



Εικόνα 36: Πρόγνωση ανέμου της ιστοσελίδας forecast.uoa.gr στην περιοχή της Αττικής

Picture 36: Wind forecast of the forecast.uoa.gr website at the Attica area

| ΛΑΥΡΙΟ                |       |          |         |                       |                    |  |
|-----------------------|-------|----------|---------|-----------------------|--------------------|--|
| Ημερομηνία            | Ωρα   | Θερμ/σία | Υγρασία | Διεύθ. ανέμου- Ένταση | Καιρός - φαινόμενα |  |
| Τρίτη<br>27/04/2010   | 03:00 | 14 °C    | 77%     | 7 Μποφόρ Β            | ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ      |  |
| Τρίτη<br>27/04/2010   | 09:00 | 13 °C    | 77%     | 7 Μποφόρ Β            | ΑΣΘΕΝΗΣ ΒΡΟΧΗ      |  |
| Τρίτη<br>27/04/2010   | 15:00 | 14 °C    | 68%     | 7 Μποφόρ Β            | ΣΥΝΝΕΦΙΑΣΜΕΝΟΣ     |  |
| Τρίτη<br>27/04/2010   | 21:00 | 15 °C    | 58%     | 6 Μποφόρ Β            | ΛΙΓΑ ΣΥΝΝΕΦΑ       |  |
| Τετάρτη<br>28/04/2010 | 03:00 | 13 °C    | 68%     | 6 Μποφόρ Β            | ΚΑΘΑΡΟΣ            |  |
| Τετάρτη<br>28/04/2010 | 09:00 | 12 °C    | 68%     | 7 Μποφόρ Β            | ΛΙΓΑ ΣΥΝΝΕΦΑ       |  |
| Τετάρτη<br>28/04/2010 | 15:00 | 17 °C    | 40%     | 6 Μποφόρ Β            | ΑΡΚΕΤΑ ΣΥΝΝΕΦΑ     |  |
| Τετάρτη<br>28/04/2010 | 21:00 | 14 °C    | 48%     | 5 Μποφόρ Β            | ΚΑΘΑΡΟΣ            |  |
| Πέμπτη<br>29/04/2010  | 03:00 | 12 °C    | 65%     | 5 Μποφόρ Β            | ΚΑΘΑΡΟΣ            |  |
| Πέμπτη<br>29/04/2010  | 09:00 | 13 °C    | 62%     | 7 Μποφόρ Β            | ΚΑΘΑΡΟΣ            |  |

Εικόνα 37: Πρόγνωση ανέμου της ιστοσελίδας www.meteo.gr στην περιοχή του Λαυρίου

Picture 37: Wind forecast of the www.meteo.gr website at the Lavrion area



# 4

## ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΕΔΙΟΥ

### 4.1 Πείραμα I – Μελέτη της Δυναμικής Συμπεριφοράς Α/Γ έναντι μεταβολών του ανέμου

#### 4.1.1 Διαδικασία πεδίου και προβλήματα

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε πριν την έναρξη των μετρήσεων ήταν, αρχικά, η κέντρωση και οριζοντίωση του γεωδαιτικού σταθμού, η σύνδεσή του με τον φορητό υπολογιστή και με το συσσωρευτή (μπαταρία τύπου αυτοκινήτου) 12V, και η σκόπευση του σημείου προσανατολισμού. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας έγινε μια δοκιμαστική λήψη μετρήσεων διάρκειας περίπου 5min. Στη συνέχεια ξεκίνησε η λήψη του πρώτου πακέτου μετρήσεων. Η διαδικασία διακόπηκε δύο φορές λόγω διακοπής της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας NEG – Micon. Τα ημιτελή αρχεία των μετρήσεων που δημιουργήθηκαν ακυρώθηκαν και η διαδικασία επαναλήφθηκε και ολοκληρώθηκε με τη λήψη δύο πακέτων μετρήσεων διάρκειας 20 έως 25 min για κάθε ανεμογεννήτρια.



Εικόνα 38: Ο Γεωδαιτικός Σταθμός Leica TCA1800 σε σύνδεση με φορητό Η/Υ κατά τη διάρκεια μετρήσεων

Picture 38: Leica TCA1800 total station connected to the laptop during measurement process

#### 4.1.2 Καιρικές συνθήκες

Με βάση τις προγνώσεις των καιρικών συνθηκών όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ορίστηκε η ημέρα διεξαγωγής του πρώτου πειράματος στη διάρκεια της οποίας η ένταση του ανέμου ξεπερνούσε τοπικά τα 20m/s και επικρατούσε ηλιοφάνεια.

Σε συνεννόηση με τη διεύθυνση του ΚΑΠΕ έγινε συλλογή ανεμολογικών δεδομένων από τις δύο ανεμογεννήτριες παράλληλα με τη διαδικασία των μετρήσεων. Από το ΚΑΠΕ συλλέγονται δύο τύποι ανεμολογικών δεδομένων. Ο ένας τύπος είναι τιμές της διεύθυνσης και της ταχύτητας του ανέμου ανά 10 min, ενώ ο δεύτερος, τιμές της διεύθυνσης και της ταχύτητας ανά 3-4 sec. Οι τιμές της διεύθυνσης και της ταχύτητας δίνονται σε μοίρες (deg) και m/sec αντίστοιχα.

| Date_Time       | NEG-Micon |       | Enercon |       |
|-----------------|-----------|-------|---------|-------|
|                 | U         | DIR   | U       | DIR   |
| 27/4/10 3:40:00 | 18.6      | 173.8 | 17.9    | 2.6   |
| 27/4/10 3:50:00 | 17.4      | 170.6 | 18.4    | 3     |
| 27/4/10 4:00:00 | 19.2      | 171.4 | 19.3    | 2.4   |
| 27/4/10 4:10:00 | 19.8      | 171.0 | 19.2    | 2.7   |
| 27/4/10 4:20:00 | 18.2      | 173.8 | 18.8    | 2.4   |
| 27/4/10 4:30:00 | 18.8      | 167.9 | 20.4    | 2.1   |
| 27/4/10 4:40:00 | 17.8      | 167.6 | 20.1    | 2.1   |
| 27/4/10 4:50:00 | 16.8      | 163.4 | 18.1    | 1.4   |
| 27/4/10 5:00:00 | 16.7      | 159.0 | 17.8    | 357   |
| 27/4/10 5:10:00 | 15.9      | 159.7 | 17.5    | 357.4 |
| 27/4/10 5:20:00 | 15.7      | 160.1 | 16.3    | 357.9 |
| 27/4/10 5:30:00 | 16.8      | 155.2 | 19.2    | 356.3 |
| 27/4/10 5:40:00 | 16.8      | 156.0 | 18.2    | 356   |
| 27/4/10 5:50:00 | 16.1      | 162.0 | 18.8    | 1.3   |
| 27/4/10 6:00:00 | 16.2      | 159.3 | 18.6    | 0.4   |
| 27/4/10 6:10:00 | 15.5      | 156.5 | 17.6    | 0.9   |
| 27/4/10 6:20:00 | 16.0      | 160.2 | 18.9    | 359   |
| 27/4/10 6:30:00 | 15.0      | 156.1 | 17.6    | 358.6 |
| 27/4/10 6:40:00 | 16.4      | 160.1 | 18.6    | 358.4 |
| 27/4/10 6:50:00 | 15.5      | 158.7 | 18.5    | 358.4 |
| 27/4/10 7:00:00 | 15.7      | 159.0 | 18.4    | 0     |

Εικόνα 39: Ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου ανά 10 min.

Picture 39: Wind speed and direction every 10 min.

| Time     | ID     | Dir | Spd  | Dir | Spd | Spd  |
|----------|--------|-----|------|-----|-----|------|
| 27042010 | 080006 | 504 | 38.2 |     |     | 20.2 |
| 27042010 | 080010 | 500 | 37.7 |     |     | 20.3 |
| 27042010 | 080014 | 520 | 38.2 |     |     | 16.4 |
| 27042010 | 080017 | 512 | 39.4 |     |     | 18.3 |
| 27042010 | 080021 | 509 | 38.6 |     |     | 23.3 |
| 27042010 | 080025 | 523 | 38.2 |     |     | 23.3 |
| 27042010 | 080029 | 503 | 37.6 |     |     | 20.1 |
| 27042010 | 080032 | 512 | 38.3 |     |     | 17.5 |
| 27042010 | 080036 | 503 | 38.8 |     |     | 18.2 |
| 27042010 | 080039 | 490 | 38.7 |     |     | 19.6 |
| 27042010 | 080043 | 507 | 37.9 |     |     | 16.4 |
| 27042010 | 080047 | 495 | 38.2 |     |     | 18.7 |
| 27042010 | 080051 | 510 | 39   |     |     | 18.8 |
| 27042010 | 080054 | 516 | 38.7 |     |     | 20.1 |
| 27042010 | 080058 | 506 | 38   |     |     | 20.1 |
| 27042010 | 080102 | 498 | 38.7 |     |     | 22.4 |
| 27042010 | 080105 | 505 | 37.6 |     |     | 21   |
| 27042010 | 080108 | 495 | 37.9 |     |     | 16.9 |
| 27042010 | 080112 | 506 | 38.5 |     |     | 18.2 |
| 27042010 | 080116 | 506 | 38.6 |     |     | 19.3 |
| 27042010 | 080120 | 523 | 37.9 |     |     | 16.4 |
| 27042010 | 080124 | 513 | 38.8 |     |     | 17.5 |
| 27042010 | 080128 | 510 | 38   |     |     | 20.4 |
| 27042010 | 080131 | 520 | 38.5 |     |     | 20.5 |
| 27042010 | 080135 | 512 | 38.8 |     |     | 20.3 |
| 27042010 | 080138 | 502 | 38   |     |     | 22.3 |
| 27042010 | 080142 | 499 | 37.8 |     |     | 21.8 |
| 27042010 | 080145 | 508 | 38.3 |     |     | 21.1 |
| 27042010 | 080150 | 501 | 39.1 |     |     | 22.9 |
| 27042010 | 080153 | 519 | 37.8 |     |     | 19.4 |
| 27042010 | 080157 | 492 | 38.2 |     |     | 23.2 |
| 27042010 | 080201 | 515 | 37.8 |     |     | 20.8 |
| 27042010 | 080204 | 471 | 37   |     |     | 19.9 |
| 27042010 | 080208 | 500 | 39   |     |     | 19.9 |
| 27042010 | 080212 | 501 | 38.2 |     |     | 20.3 |
| 27042010 | 080215 | 518 | 38.1 |     |     | 20.8 |
| 27042010 | 080219 | 510 | 38.9 |     |     | 18.3 |

Εικόνα 40: Ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου ανά 3-4 sec (Enercon).

Picture 40: Wind speed and direction every 3-4 sec (Enercon).

#### 4.1.3 Περιγραφή πρωτογενών δεδομένων

Τα πρωτογενή δεδομένα καταγράφονται σε αρχεία ASCII στα οποία καταγράφονται επίσης και εμφανίζονται σε σχετική επικεφαλίδα, δεδομένα όπως ημερομηνία, ώρα, συντεταγμένες σημείου στάσης, ατμοσφαιρική πίεση, θερμοκρασία κλπ.

```

***** NEW SESSION *****
Session : 27_4_10
Date/Time : 27/4/2010 10:51:52 πμ
Station : (100,100,0) 1347m 0,000gon
Reflector : 0m -0,03m
Atm Data : 0,0000085 1013,25 12 8,26428360509726
Refr Data : 1 6378000 0,13
Time Data : 20ms 30sec
Inc Corr : 0 0 0 0
Meas Mode: GETCOORD RTRK=True AUTO
***** MEASUREMENTS *****
416,808,0,128,789,128,061,1381,293
416,982,0,128,809,128,063,1381,294
417,152,0,128,815,128,052,1381,303
417,324,0,128,808,128,071,1381,295
417,498,0,128,830,128,052,1381,297
417,616,0,128,835,128,043,1381,300
417,748,0,128,828,128,041,1381,297
417,956,0,128,813,128,050,1381,299
418,378,0,128,809,128,061,1381,282
418,540,0,128,801,128,062,1381,293
418,646,0,128,809,128,057,1381,296
418,862,0,128,823,128,051,1381,296
419,030,0,128,819,128,061,1381,294
419,196,0,128,828,128,043,1381,301
419,302,0,128,827,128,044,1381,300
419,448,0,128,825,128,043,1381,298
419,636,0,128,813,128,054,1381,299
419,800,0,128,813,128,054,1381,297
419,986,0,128,801,128,064,1381,298
420,232,0,128,809,128,052,1381,296
420,346,0,128,816,128,057,1381,296
420,534,0,128,823,128,056,1381,292
420,698,0,128,821,128,048,1381,298
420,880,0,128,829,128,041,1381,294
421,046,0,128,813,128,045,1381,297
421,216,0,128,808,128,052,1381,295
421,380,0,128,804,128,058,1381,295
421,548,0,128,806,128,063,1381,295
421,716,0,128,809,128,060,1381,296

```

Εικόνα 41: Ενδεικτικό πρωτογενές αρχείο με επικεφαλίδα καταγραφής (Leica TCA 1800)

Picture 41: Pilot raw file with a recording header (Leica TCA 1800)

## **4.2 Πείραμα II – Μελέτη της Ημι-Στατικής Συμπεριφοράς Α/Γ έναντι μεταβολών της θερμοκρασίας**

### **4.2.1 Εισαγωγή**

Στην περίπτωση της συμπεριφοράς των ανεμογεννητριών έναντι μεταβολών της θερμοκρασίας αναμένονται σταδιακές μεταβολές από τη θέση ισορροπίας της κατασκευής κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επομένως δεν είναι αναγκαία η χρήση της εφαρμογής παρακολούθησης στόχου (tracking) και λήψης μεγάλου πλήθους μετρήσεων σε ελάχιστο χρόνο αλλά η λήψη σειρών μετρήσεων ανά μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και η επανάληψη της διαδικασίας περιοδικά κατά τη διάρκεια μιας ημέρας.

### **4.2.2 Διαδικασία πεδίου και προβλήματα**

Η πειραματική διαδικασία προέβλεπε ταυτόχρονες μετρήσεις από δύο γεωδαιτικούς σταθμούς, έναν για κάθε ανεμογεννήτρια, κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Προβλέφθηκε για την κάθε μια ανεμογεννήτρια λήψη ζεύγους μετρήσεων ανά 15min. Η μια μέτρηση σκοπεύοντας πρίσμα τοποθετημένο σε τρίποδα δίπλα στη βάση της ανεμογεννήτριας και η δεύτερη στο στόχο (τοποθετημένο πρίσμα) προς παρακολούθηση στο άνω μέρος της μηχανής. Το ζεύγος μετρήσεων προβλέφθηκε για την απαλοιφή των σφαλμάτων λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας. Ο γεωδαιτικός σταθμός TM30 θα χρησιμοποιούνταν για τις μετρήσεις προς την ανεμογεννήτρια NEG – Micon, ενώ ο Trimble VX προς την Enercon.

Η πρώτη μέτρηση του πειράματος είχε προγραμματισθεί να ληφθεί στις 6:00 πμ. της καθορισμένης ημέρας και δεδομένου ότι η ανατολή του ηλίου έγινε στις 6:55 η ορατότητα στην περιοχή ήταν περιορισμένη. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα καθυστέρηση στην τοποθέτηση των οργάνων και τελικά στην εκκίνηση του πειράματος η οποία πραγματοποιήθηκε τελικά στις 6:20 πμ. Τη χρονική στιγμή της εκκίνησης η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 7,19°C. Η διαδικασία διήρκεσε 14 ώρες και έληξε στις 20:20 μμ, δύο ώρες μετά τη δύση του ηλίου και επομένως υπό συνθήκες σχεδόν μηδενικής ορατότητας. Το γεγονός αυτό δεν επηρέασε τη σκόπευση των πρισμάτων δεδομένου ότι και οι δύο γεωδαιτικοί σταθμοί παρέχουν τη δυνατότητα αυτόματου εντοπισμού στόχου (ATR).



Εντός του χρονικού διαστήματος παρατήρησης (14h) η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε ομαλά, χωρίς καμία διακοπή και στις δύο ανεμογεννήτριες. Στον σταθμό Trimble VX, που χρησιμοποιήθηκε στην Enercon, έγινε μια αλλαγή μπαταρίας στις 17:10 ενώ στον Leica TM30 έγινε αλλαγή στις 18:15.

Ταυτόχρονα με την κάθε μέτρηση πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της θερμοκρασίας, η οποία θεωρήθηκε σταθερή μεταξύ των δύο ανεμογεννητριών, χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρονικό θερμόμετρο.



**Εικόνα 42: Ο γεωδαιτικός σταθμός TM30 στοχεύοντας προς την NEG – Micon**

**Picture 42: TM30 total station aiming NEG – Micon**



**Εικόνα 43: Ο γεωδαιτικός σταθμός TM30**

**Picture 43: TM30 Total station**



**Εικόνα 44: Το πρίσμα στη βάση της Α/Γ ΝΕΓ – Micon**

**Picture 44: The prism configuration next to the NEG – Micon wind generator**



**Εικόνα 45: Ο γεωδαιτικός σταθμός Trimble VX**

**Picture 45: Trimble VX total station**



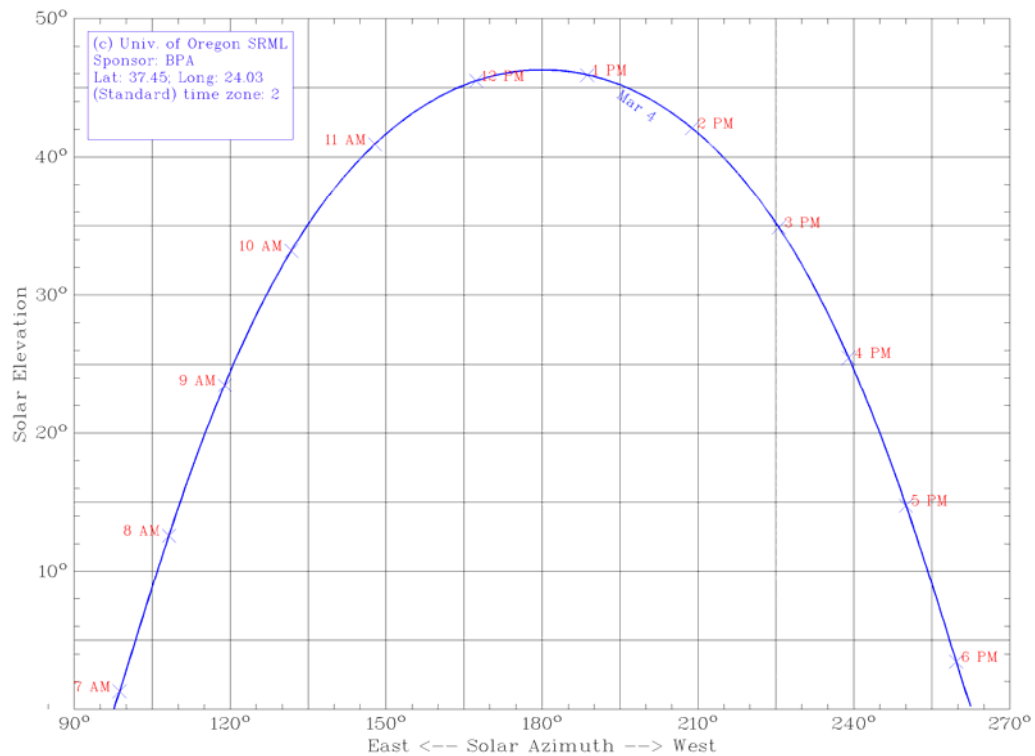
*Εικόνα 46: Το πρίσμα στη βάση της Α/Γ Enercon*

*Picture 46: The prism configuration next to the Enercon wind generator*

#### **4.2.3 Καιρικές συνθήκες**

Κατά τη διάρκεια της ημέρας του πειράματος (4-3-2013) επικρατούσε πολύ ασθενής άνεμος σχεδόν μηδενικής ταχύτητας και γενικά αίθριος καιρός με κατά περιόδους πολύ αραιές νεφώσεις. Η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 7°C το πρωί έως 16°C το μεσημέρι η μέγιστη τιμή.

Η ανατολή του ήλιου έγινε στις 06:58 πμ. και η δύση στις 18:15 μμ. Στο παρακάτω ηλιακό διάγραμμα απεικονίζεται και η θέση του ήλιου σε συνάρτηση με την τοπική ώρα. Ο οριζόντιος άξονας του διαγράμματος απεικονίζει το αζιμούθιο του ήλιου και ο κατακόρυφος το ύψος του στο οριζόντιο, τοπικό σύστημα αναφοράς, και τα δύο μεγέθη μετρώνται σε μοίρες.



**Εικόνα 47: Το ηλιακό διάγραμμα της ημέρας του πειράματος**

**Picture 47: The experiment process day solar diagram**

#### 4.2.4 Περιγραφή πρωτογενών δεδομένων

Σε αντίθεση με τον Leica TCA 1800 ο οποίος συνδέθηκε με φορητό υπολογιστή για την διαχείριση και καταγραφή των μετρήσεων, οι σταθμοί Leica TM30 και Trimble VX 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 για τον Leica TM30 και σε μορφή κειμένου για τον Trimble VX.

|    | A        | B              | C       | D        | E             | F             | G                  | H        | I              | J           | K        | L           | M            | N            | O |
|----|----------|----------------|---------|----------|---------------|---------------|--------------------|----------|----------------|-------------|----------|-------------|--------------|--------------|---|
| 1  | Point Id | Date/Time      | Easting | Northing | Ortho. Height | Target Height | Reflector Type     | Azimuth  | H <sub>z</sub> | Angle Right | V        | Slope Dist. | Horiz. Dist. | Height Diff. |   |
| 2  | 1        | 3/4/2013 9:30  | 0       | 39.4875  | -1.4334       |               | 0 Leica Circ Prism | 0        | 0              | 0           | 102.3101 | 39.5135     | 39.4875      | -1.4334      |   |
| 3  | 3        | 3/4/2013 9:47  | -0.0006 | 39.4876  | -1.4333       |               | 0 Leica Circ Prism | 399.999  | 399.999        | 399.999     | 102.3099 | 39.5136     | 39.4876      | -1.4333      |   |
| 4  | 4        | 3/4/2013 9:48  | 3.0501  | 40.1481  | 34.064        |               | 0 Leica Circ Prism | 4.8272   | 4.8272         | 4.8272      | 55.2981  | 52.7403     | 40.2638      | 34.064       |   |
| 5  | 5        | 3/4/2013 10:01 | -0.0009 | 39.4876  | -1.4332       |               | 0 Leica Circ Prism | 399.9985 | 399.9985       | 399.9985    | 102.3098 | 39.5136     | 39.4876      | -1.4332      |   |
| 6  | 6        | 3/4/2013 10:02 | 3.0525  | 40.1462  | 34.0648       |               | 0 Leica Circ Prism | 4.8312   | 4.8312         | 4.8312      | 55.2961  | 52.7395     | 40.2621      | 34.0648      |   |
| 7  | 7        | 3/4/2013 10:15 | -0.0012 | 39.4877  | -1.4332       |               | 0 Leica Circ Prism | 399.998  | 399.998        | 399.998     | 102.3097 | 39.5137     | 39.4877      | -1.4332      |   |
| 8  | 8        | 3/4/2013 10:16 | 3.0523  | 40.1495  | 34.065        |               | 0 Leica Circ Prism | 4.8305   | 4.8305         | 4.8305      | 55.2984  | 52.7421     | 40.2653      | 34.065       |   |
| 9  | 9        | 3/4/2013 10:31 | -0.0014 | 39.4874  | -1.4331       |               | 0 Leica Circ Prism | 399.9977 | 399.9977       | 399.9977    | 102.3096 | 39.5134     | 39.4874      | -1.4331      |   |
| 10 | 10       | 3/4/2013 10:32 | 3.0465  | 40.1463  | 34.064        |               | 0 Leica Circ Prism | 4.8217   | 4.8217         | 4.8217      | 55.2965  | 52.7387     | 40.2617      | 34.064       |   |
| 11 | 11       | 3/4/2013 10:47 | -0.002  | 39.4875  | -1.4328       |               | 0 Leica Circ Prism | 399.9968 | 399.9968       | 399.9968    | 102.3092 | 39.5135     | 39.4875      | -1.4328      |   |
| 12 | 12       | 3/4/2013 10:47 | 3.0461  | 40.1618  | 34.0649       |               | 0 Leica Circ Prism | 4.8192   | 4.8192         | 4.8192      | 55.3077  | 52.7511     | 40.2772      | 34.0649      |   |
| 13 | 13       | 3/4/2013 11:01 | -0.0024 | 39.4878  | -1.4328       |               | 0 Leica Circ Prism | 399.9962 | 399.9962       | 399.9962    | 102.3092 | 39.5138     | 39.4878      | -1.4328      |   |
| 14 | 14       | 3/4/2013 11:02 | 3.0435  | 40.1628  | 34.0656       |               | 0 Leica Circ Prism | 4.8151   | 4.8151         | 4.8151      | 55.3077  | 52.7521     | 40.2779      | 34.0656      |   |
| 15 | 15       | 3/4/2013 11:15 | -0.0026 | 39.4878  | -1.4328       |               | 0 Leica Circ Prism | 399.9958 | 399.9958       | 399.9958    | 102.3091 | 39.5138     | 39.4878      | -1.4328      |   |
| 16 | 16       | 3/4/2013 11:16 | 3.0394  | 40.1942  | 34.0651       |               | 0 Leica Circ Prism | 4.8049   | 4.8049         | 4.8049      | 55.3324  | 52.7755     | 40.309       | 34.0651      |   |
| 17 | 17       | 3/4/2013 11:31 | -0.0036 | 39.4877  | -1.4326       |               | 0 Leica Circ Prism | 399.9942 | 399.9942       | 399.9942    | 102.3089 | 39.5137     | 39.4877      | -1.4326      |   |
| 18 | 18       | 3/4/2013 11:31 | 3.03    | 40.19    | 34.0649       |               | 0 Leica Circ Prism | 4.7906   | 4.7906         | 4.7906      | 55.3287  | 52.7716     | 40.3041      | 34.0649      |   |
| 19 | 19       | 3/4/2013 11:46 | -0.0036 | 39.4876  | -1.4324       |               | 0 Leica Circ Prism | 399.9941 | 399.9941       | 399.9941    | 102.3085 | 39.5136     | 39.4876      | -1.4324      |   |
| 20 | 20       | 3/4/2013 11:46 | 3.0305  | 40.2001  | 34.067        |               | 0 Leica Circ Prism | 4.7901   | 4.7901         | 4.7901      | 55.3346  | 52.7807     | 40.3141      | 34.067       |   |
| 21 | 21       | 3/4/2013 12:00 | -0.0042 | 39.4877  | -1.4323       |               | 0 Leica Circ Prism | 399.9933 | 399.9933       | 399.9933    | 102.3082 | 39.5137     | 39.4877      | -1.4323      |   |
| 22 | 22       | 3/4/2013 12:01 | 3.0243  | 40.1995  | 34.0661       |               | 0 Leica Circ Prism | 4.7804   | 4.7804         | 4.7804      | 55.3346  | 52.7793     | 40.3131      | 34.0661      |   |
| 23 | 23       | 3/4/2013 12:15 | -0.0041 | 39.4876  | -1.4325       |               | 0 Leica Circ Prism | 399.9933 | 399.9933       | 399.9933    | 102.3087 | 39.5136     | 39.4876      | -1.4325      |   |
| 24 | 24       | 3/4/2013 12:16 | 3.0217  | 40.1961  | 34.0654       |               | 0 Leica Circ Prism | 4.7768   | 4.7768         | 4.7768      | 55.3325  | 52.7761     | 40.3095      | 34.0654      |   |
| 25 | 25       | 3/4/2013 12:31 | -0.0037 | 39.4876  | -1.4323       |               | 0 Leica Circ Prism | 399.9941 | 399.9941       | 399.9941    | 102.3084 | 39.5136     | 39.4876      | -1.4323      |   |
| 26 | 26       | 3/4/2013 12:32 | 3.0199  | 40.2017  | 34.0661       |               | 0 Leica Circ Prism | 4.7732   | 4.7732         | 4.7732      | 55.3361  | 52.7807     | 40.315       | 34.0661      |   |
| 27 | 27       | 3/4/2013 12:47 | -0.003  | 39.4876  | -1.4324       |               | 0 Leica Circ Prism | 399.9951 | 399.9951       | 399.9951    | 102.3084 | 39.5136     | 39.4876      | -1.4324      |   |
| 28 | 28       | 3/4/2013 12:47 | 3.026   | 40.2104  | 34.0666       |               | 0 Leica Circ Prism | 4.7818   | 4.7818         | 4.7818      | 55.3428  | 52.788      | 40.3241      | 34.0666      |   |
| 29 | 29       | 3/4/2013 13:01 | -0.0024 | 39.4875  | -1.4324       |               | 0 Leica Circ Prism | 399.9962 | 399.9962       | 399.9962    | 102.3085 | 39.5135     | 39.4875      | -1.4324      |   |
| 30 | 30       | 3/4/2013 13:02 | 3.0247  | 40.2137  | 34.0643       |               | 0 Leica Circ Prism | 4.7794   | 4.7794         | 4.7794      | 55.3473  | 52.789      | 40.3273      | 34.0643      |   |
| 31 | 31       | 3/4/2013 13:15 | -0.003  | 39.4876  | -1.4324       |               | 0 Leica Circ Prism | 399.9951 | 399.9951       | 399.9951    | 102.3084 | 39.5136     | 39.4876      | -1.4324      |   |
| 32 | 32       | 3/4/2013 13:16 | 3.0254  | 40.2097  | 34.0648       |               | 0 Leica Circ Prism | 4.781    | 4.781          | 4.781       | 55.3438  | 52.7863     | 40.3234      | 34.0648      |   |
| 33 | 33       | 3/4/2013 13:30 | -0.0032 | 39.4874  | -1.4328       |               | 0 Leica Circ Prism | 399.9949 | 399.9949       | 399.9949    | 102.3092 | 39.5134     | 39.4874      | -1.4328      |   |
| 34 | 34       | 3/4/2013 13:31 | 3.0271  | 40.2088  | 34.0666       |               | 0 Leica Circ Prism | 4.7838   | 4.7838         | 4.7838      | 55.3416  | 52.7869     | 40.3226      | 34.0666      |   |
| 35 | 35       | 3/4/2013 13:45 | -0.0038 | 39.4875  | -1.4325       |               | 0 Leica Circ Prism | 399.9938 | 399.9938       | 399.9938    | 102.3086 | 39.5135     | 39.4875      | -1.4325      |   |
| 36 | 36       | 3/4/2013 13:46 | 3.0219  | 40.204   | 34.0665       |               | 0 Leica Circ Prism | 4.7762   | 4.7762         | 4.7762      | 55.3376  | 52.7828     | 40.3174      | 34.0665      |   |
| 37 | 37       | 3/4/2013 14:01 | -0.0045 | 39.4873  | -1.4326       |               | 0 Leica Circ Prism | 399.9927 | 399.9927       | 399.9927    | 102.3088 | 39.5133     | 39.4873      | -1.4326      |   |
| 38 | 38       | 3/4/2013 14:01 | 3.0229  | 40.2033  | 34.0636       |               | 0 Leica Circ Prism | 4.7778   | 4.7778         | 4.7778      | 55.3398  | 52.7805     | 40.3168      | 34.0636      |   |

Εικόνα 48: Πρωτογενείς μετρήσεις Leica TM30

Picture 48: Leica TM30 raw data

ENERCON\_RAW.txt - Notepad

```

File Edit Format View Help
112, 2.0254, 58.1101, 71.441
111, 0.0456, 96.7026, 55.992
110, 2.0296, 58.1114, 71.445
109, 0.0453, 96.7027, 55.992
108, 2.0331, 58.1114, 71.445
107, 0.0452, 96.7030, 55.992
106, 2.0445, 58.1084, 71.441
105, 0.0454, 96.7027, 55.992
104, 2.0464, 58.1091, 71.442
103, 0.0455, 96.7031, 55.992
102, 2.0439, 58.1083, 71.443
101, 0.0456, 96.7017, 55.992
100, 2.0415, 58.1088, 71.442
99, 0.0457, 96.7037, 55.992
98, 2.0372, 58.1110, 71.444
97, 0.0404, 96.7048, 55.990
96, 2.0400, 58.1102, 71.445
95, 0.0402, 96.7036, 55.992
94, 2.0408, 58.1203, 71.464
93, 0.0382, 96.7025, 55.992
92, 2.0219, 58.1225, 71.467
91, 0.0381, 96.7029, 55.994
90, 2.0231, 58.1290, 71.476
89, 0.0389, 96.7044, 55.993
88, 2.0253, 58.1291, 71.478
87, 0.0360, 96.7035, 55.993
86, 2.0236, 58.1363, 71.487
85, 0.0412, 96.7053, 55.990
84, 2.0157, 58.1323, 71.484
83, 0.0343, 96.7031, 55.992

```

Εικόνα 49: Πρωτογενείς μετρήσεις Trimble VX (Αρ. σημείου, Ορ. Γωνία, Κατ. Γωνία, Κεκλ. Απόσταση)

Picture 49: Trimble VX raw data (Point number, Hor. Angle, Ver. Angle, Slope Distance)



# 5

## ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΕΔΙΟΥ

### 5.1 Πείραμα 1 – Μελέτη της Δυναμικής Συμπεριφοράς Α/Γ έναντι μεταβολών του ανέμου

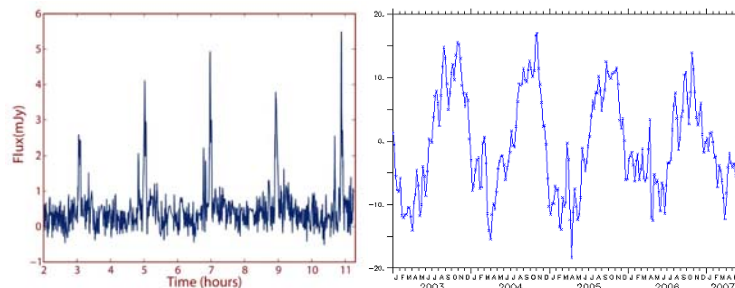
#### 5.1.1 Εισαγωγή

Σε οποιαδήποτε γεωδαιτική εφαρμογή προκειμένου να αντληθούν τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα, απαιτείται επεξεργασία των μετρήσεων σε διάφορα στάδια.

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται προσπάθεια να δοθεί μια λιτή επεξήγηση των βασικών μεθοδολογιών που θα χρησιμεύσουν έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η επεξεργασία των παρατηρηθέντων δεδομένων. Αρχικά λοιπόν αναφέρονται κάποια στοιχεία όσον αφορά τη φύση των μετρήσεων, και ορισμένους εκ των προτέρων υπολογισμούς. Η αναγκαιότητα για μια βαθιά και πλήρη κατανόηση του φαινομένου που μελετάται επιτάσσει την εφαρμογή υπολογιστικών διαδικασιών οι οποίες υλοποιούνται μέσω της στατιστικής και φασματικής επεξεργασίας των μετρήσεων.

#### 5.1.2 Ανάλυση χρονοσειρών και οριζοντιογραφιών

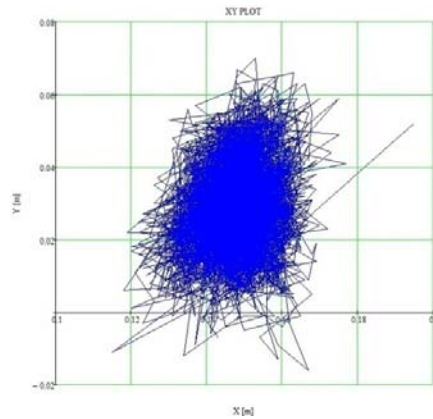
Στα διαγράμματα χρονοσειρών απεικονίζεται η τιμή του μεγέθους σε συνάρτηση με τη μονάδα χρόνου. Τα μεγέθη που μεταβάλλονται στο πείραμα είναι οι συνιστώσες X και Y της θέσης του κάθε κατάφωτου.



Γράφημα 11: Ενδεικτικά διαγράμματα χρονοσειρών

Diagram 11: Pilot timeline diagrams

Στα διαγράμματα οριζοντιογραφίας απεικονίζεται με σαφές τρόπο η θέση του αντικειμένου που παρακολουθείται στο οριζόντιο επίπεδο, το οποίο στο παρόν πείραμα ήταν το πρίσμα που τοποθετήθηκε σε κάθε μια ανεμογεννήτρια. Παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα οριζοντιογραφίας ενώ στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται ειδικότερη αναφορά και στις δύο ανεμογεννήτριες.

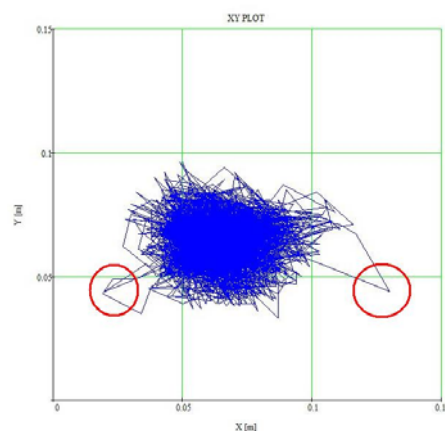


**Γράφημα 12: Ενδεικτικό διάγραμμα οριζοντιογραφίας**

**Diagram 12: Pilot horizontal displacement diagram**

Πριν από την επεξεργασία των δεδομένων για την εξαγωγή οποιουδήποτε ασφαλούς συμπεράσματος προηγείται η διαδικασία εντοπισμού και απόρριψης χονδροειδών σφαλμάτων από τα πακέτα των δεδομένων. Ο εντοπισμός των σφαλμάτων αυτών είναι σχετικά εύκολος καθώς αποκλίνουν αρκετά από τις αναμενόμενες τιμές των δεδομένων.

Στο παρόν πείραμα εντοπίστηκαν τρεις περιπτώσεις τέτοιων τιμών οι οποίες απορρίφθηκαν από το πακέτο των δεδομένων.



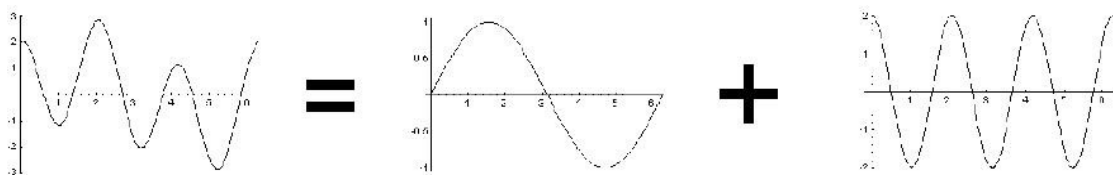
**Γράφημα 13: Εντοπισμός χονδροειδών σφαλμάτων στην οριζοντιογραφία**

**Diagram 13: Spotting outliers at the horizontal displacement diagram**



### 5.1.3 Φασματική ανάλυση

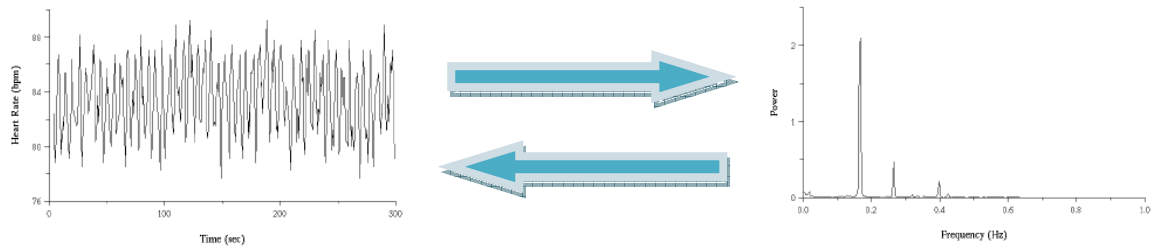
Όπως αναφέρθηκε, μια περιοδική κίνηση μπορεί να αναλυθεί σε επιμέρους συνιστώσες. Τα δεδομένα που συλλέγονται παρατηρώντας την κίνηση αυτή αποτελούν ένα σήμα, το οποίο μπορεί αντίστοιχα να αναλυθεί σε βασικές συνιστώσες οι οποίες συντιθέμενες παράγουν το αρχικό σήμα. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η ανάλυση ενός σήματος και συγκεκριμένα μιας χρονοσειράς σε επιμέρους συνιστώσες :



**Γράφημα 14: Ανάλυση σήματος σε συνιστώσες**

**Diagram 14: Signal analysis**

Για να μπορεί να αναγνωρισθεί άμεσα η επικρατούσα συνιστώσα κάποιου σήματος απαιτείται κάποια επεξεργασία όπως η προσαρμογή του στην καμπύλη μιας συνάρτησης. Για τον υπολογισμό βασικών παραμέτρων της κίνησης που περιγράφεται από το σήμα εφαρμόζονται επομένως φασματικές μέθοδοι επεξεργασίας, δηλαδή ουσιαστικά ψηφιακή επεξεργασία των δεδομένων. Συνήθως η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιείται με μετασχηματισμούς Fourier. Οι σειρές Fourier χρησιμοποιούνται για τη μελέτη περιοδικών σημάτων και στην ανάλυσή τους σε συχνότητες. Οι τύποι σημάτων που μπορούν να επεξεργαστούν οι σειρές Fourier είναι: α) σήματα συνεχούς χρόνου, στα οποία η ανεξάρτητη μεταβλητή (συνήθως χρόνος) είναι συνεχής, β) σήματα διακριτού χρόνου, τα οποία ορίζονται μόνο για συγκεκριμένες τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής, και η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχής γ) σήματα διακριτού χρόνου διακριτού πλάτους, όπου η εξαρτημένη μεταβλητή παίρνει διακριτές τιμές.



**Γράφημα 15: Μετάβαση από τη χρονοσειρά στο διάγραμμα συχνοτήτων μέσω του μετασχηματισμού Fourier.**

**Diagram 15: Transition from the timeline to the frequency diagram through the Fourier transformation.**

Τα περιοδικά σήματα που λαμβάνουν οι σειρές Fourier ικανοποιούν ορισμένες συνθήκες και τα αναλύουν σε αθροίσματα συναρτήσεων ημιτόνων και συνημίτονων διαφορετικών συχνοτήτων. Μέσω μιας απλής αντικατάστασης, η διαδικασία αυτή εκφράζεται μέσω του τριγωνομετρικού αναπτύγματος των σειρών και μπορεί να απεικονισθεί και με εκθετική μορφή.

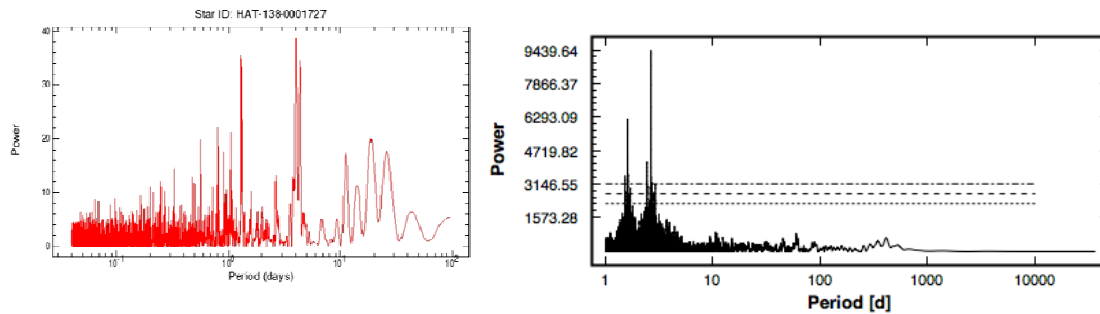
#### 5.1.4 Περιοδόγραμμα Lomb

Η πιο ευρέως εφαρμοζόμενη μέθοδος για την φασματική ανάλυση χρονοσειρών με μη ισαπέχοντα χρονικά σημεία είναι το περιοδόγραμμα Lomb. Το βασικό χαρακτηριστικό του περιοδόγραμματος Lomb είναι η παραδοχή ότι όλες οι μετρήσεις είναι ισοβαρείς. Η φασματική ανάλυση (υπολογισμός ισχύος για κάθε συχνότητα  $f$ ) με το κανονικοποιημένο περιοδόγραμμα Lomb μίας χρονοσειράς που αποτελείται από  $N$  σημεία υπολογίζεται με βάση την μέση τιμή του  $x$  και την τυπική απόκλιση  $\sigma^2$  της χρονοσειράς και την σχέση:

$$P_N(\omega) = \frac{1}{2\sigma^2} \left[ \frac{[\sum_{t=1}^N (x_t - \bar{x}) \cos\omega(t_1 - \tau)]^2}{\sum_{t=1}^N \cos^2\omega(t_1 - \tau)} + \frac{[\sum_{t=1}^N (x_t - \bar{x}) \sin\omega(t_1 - \tau)]^2}{\sum_{t=1}^N \sin^2\omega(t_1 - \tau)} \right]$$

με την οποία υπολογίζεται το εύρος που αντιστοιχεί στην συχνότητα  $\omega$  ενώ η σταθερά  $\tau$  δίνεται από τη σχέση :

$$\tan(2\omega\tau) = \frac{\sum_{t=1}^N \sin 2\omega t_1}{\sum_{t=1}^N \cos 2\omega t_1}$$



**Γράφημα 16: Ενδεικτικά παραδείγματα περιοδογραμμάτων Lomb**

**Diagram 16: Lomb frequency diagrams samples**

## **5.2 Πείραμα II – Μελέτη της Ημι-Στατικής Συμπεριφοράς Α/Γ έναντι μεταβολών της θερμοκρασίας**

### **5.2.1 Εισαγωγή**

Για την ανάλυση της συμπεριφοράς των ανεμογεννητριών στο πείραμα II παράγονται διαγράμματα χρονοσειρών και οριζοντιογραφιών, μεμονωμένα αλλά και συγκριτικά για τις δύο μηχανές. Στο παρόν πείραμα μελετάται η σταδιακή αποχή σημείου παρατήρησης από τη θέση ισορροπίας. Επομένως, δεν είναι αναγκαία η φασματική ανάλυση κάποιου φαινομένου εφόσον οι ανεμογεννήτριες δεν εξαναγκάζονται σε κάποια δυναμική ταλάντωση εντός του χρονικού διαστήματος που διεξάγεται η συλλογή δεδομένων.

### **5.2.2 Αναγωγές λόγω διάθλασης**

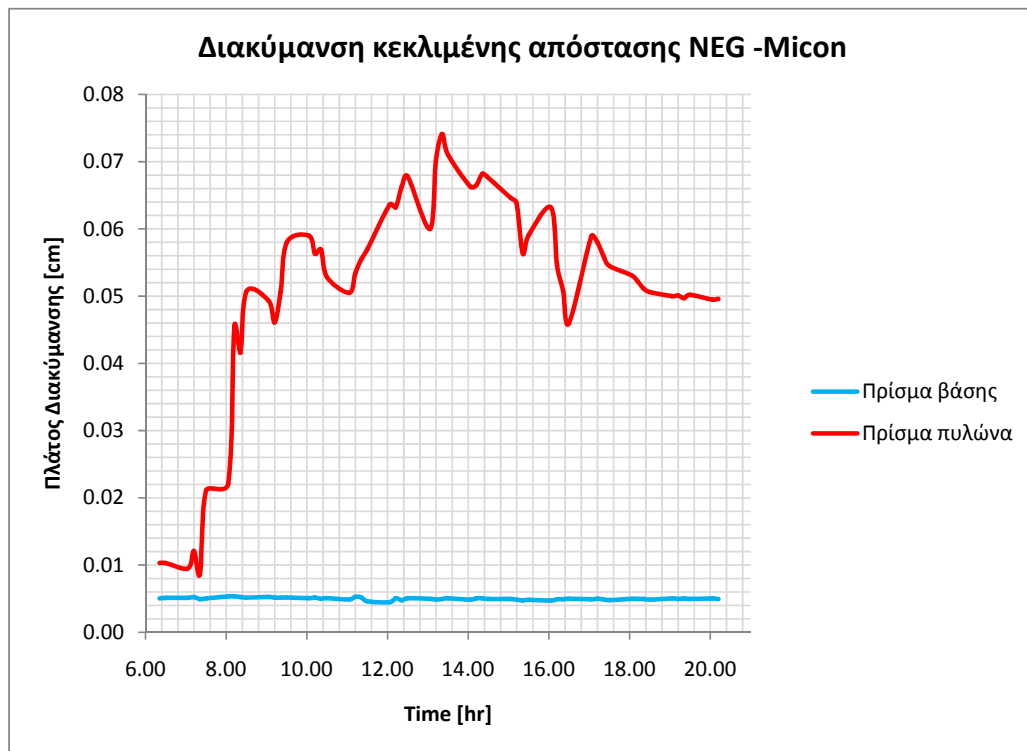
Πραγματοποιήθηκαν όπως αναφέρθηκε ζεύγη μετρήσεων, που αποτελούνταν από μία σκόπευση στο τοποθετημένο σε τρίποδα πρίσμα στη βάση της κάθε ανεμογεννήτριας και μία σκόπευση στο προς παρακολούθηση πρίσμα στον πυλώνα της. Τα πρωτογενή δεδομένα των μετρήσεων, κεκλιμένη απόσταση και οριζόντια γωνία, επεξεργάστηκαν κατάλληλα για την αναγωγή λόγω διάθλασης. Η διορθωμένη οριζόντια γωνία κάθε μέτρησης προέκυψε αφαιρώντας την οριζόντια γωνία σκόπευσης του πρίσματος βάσης από την οριζόντια γωνία σκόπευσης του πρίσματος του πυλώνα.

$$H_{z_i} = H_{z_{\text{πυλώνα}}} - H_{z_{\text{βάσης}}}$$

Για την κεκλιμένη απόσταση του πρίσματος βάσης υπολογίστηκε η μέση τιμή της και η τυπική απόκλιση της κάθε μέτρησης από τη μέση τιμή. Η τυπική απόκλιση της κάθε τιμής αφαιρέθηκε από την κεκλιμένη απόσταση του πρίσματος του πυλώνα.

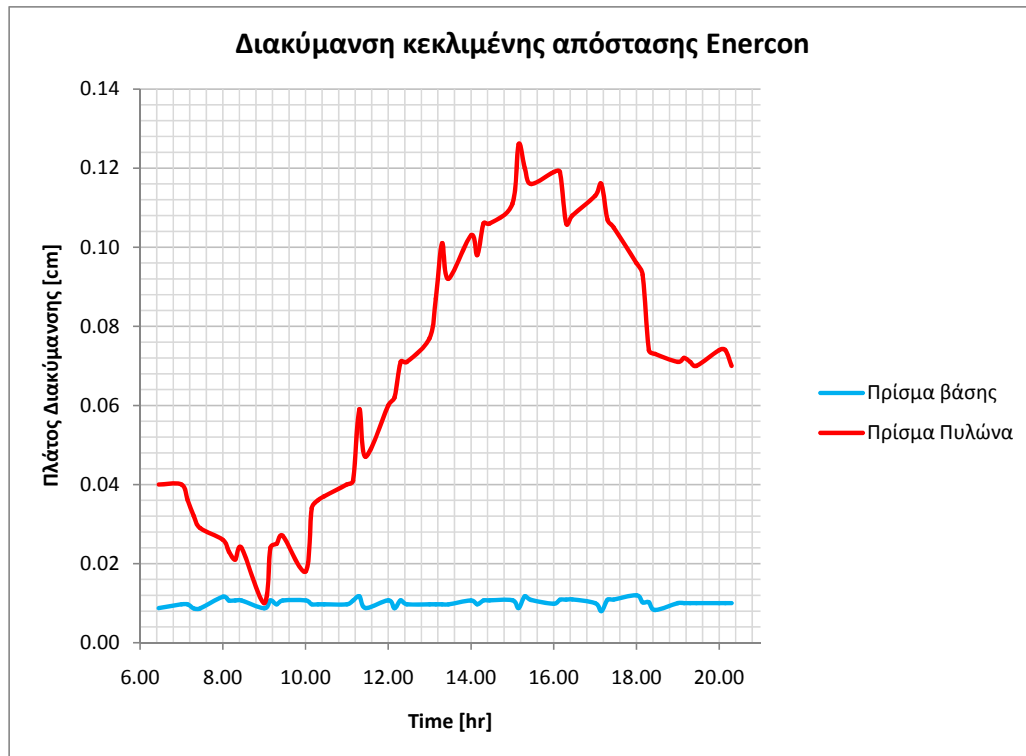
$$SD_i = SD_{\text{πυλώνα}} - \sigma_{\text{βάσης}}$$

Η διακύμανση της τιμής της κεκλιμένης απόστασης του πρίσματος βάσης ήταν περίπου 0.01 m για την ανεμογεννήτρια NEG – Micon ενώ για την Enercon περίπου 0.02 m



**Γράφημα 17: Διακύμανση κεκλιμένης απόστασης Α/Γ NEG - Micon**

**Diagram 17: Slope distance variation of NEG - Micon**



**Γράφημα 18: Διακύμανση κεκλιμένης απόστασης Α/Γ Enercon**

**Diagram 18: Slope distance variation of Enercon**

### 5.2.3 Ανάλυση χρονοσειρών και οριζοντιογραφιών

Στις χρονοσειρές που παρήχθησαν για τη μελέτη της συμπεριφοράς έναντι μεταβολών της θερμοκρασίας απεικονίζεται η τιμή της συνιστώσας της μετακίνησης στην οποία αναφέρεται το διάγραμμα σε συνάρτηση με το χρόνο, οι μονάδες μέτρησης του οποίου είναι ο ώρες. Οι συνιστώσες της κίνησης για τις οποίες παράγονται χρονοσειρές είναι δύο για κάθε ανεμογεννήτρια, η μια παράλληλη με τον άξονα Χ (διεύθυνση Ανατολής – Δύσης) και μία παράλληλη με τον άξονα Υ (Βορράς – Νότος). Στις χρονοσειρές που παρήχθησαν για κάθε μια ανεμογεννήτρια απεικονίζεται και η τιμή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος σε συνάρτηση με το χρόνο ώστε να γίνεται άμεση η συσχέτιση της μεταβολής της με τη μεταβολή του πλάτους της παραμόρφωσης ανά άξονα. Στα συγκριτικά διαγράμματα χρονοσειρών απεικονίζεται η τιμή της μετακίνησης στον ίδιο άξονα και για τις δύο μηχανές σε συνάρτηση με το χρόνο.

Παρήχθησαν επίσης και διαγράμματα οριζοντιογραφίας στα οποία απεικονίζεται η τροχιά που διαγράφει το κατάφωτο της κάθε ανεμογεννήτριας υπό την επίδραση μεταβολών

της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος διεξαγωγής του πειράματος.

# 6

## ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### **6.1 Πείραμα 1 – Μελέτη της Δυναμικής Συμπεριφοράς Α/Γ έναντι μεταβολών του ανέμου**

#### **6.1.1 Υπολογισμός μετακινήσεων στο χώρο**

Στα διαγράμματα οριζοντιογραφίας απεικονίζεται η θέση του αντικειμένου που παρακολουθείται στο οριζόντιο επίπεδο. Παρήχθησαν διαγράμματα για κάθε πακέτο μετρήσεων, της κάθε ανεμογεννήτριας αλλά και συγκριτικά μεταξύ τους διαφορετικής χρονικής διάρκειας, κάποια από τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Σημειώνεται εδώ ότι ο άξονας των  $Y$  όπως φαίνεται στα διαγράμματα, είναι σε κάθε περίπτωση παράλληλος με τη διεύθυνση του ανέμου, η οποία απεικονίζεται γραφικά με βέλος. Επίσης για την ευκολότερη εξαγωγή συμπερασμάτων στη σύγκριση των δύο ανεμογεννητριών τα διαγράμματα παρήχθησαν στο ίδιο σύστημα αναφοράς.

Για την κάθε μια ανεμογεννήτρια του πειράματος συλλέχθηκαν δύο πακέτα μετρήσεων, επομένως συνολικά τέσσερα πακέτα. Όπως αναφέρονται και αναλυτικά στον Πίνακα 4, οι τιμές του  $X$  για την Α/Γ NEG κυμαίνονται σε ένα εύρος 0,090 m περίπου. Οι αντίστοιχες τιμές  $X$  για την Α/Γ ENERCON κυμαίνονται σε ένα εύρος περίπου 0,100. Οι τιμές του  $Y$  κυμαίνονται σε ένα εύρος 0,060 m για την Α/Γ NEG, ενώ για την ENERCON κυμαίνονται σε ένα εύρος 0,210 m.

Τη χρονική στιγμή  $t=969,704$  sec του πρώτου πακέτου μετρήσεων της Α/Γ NEG παρατηρήθηκε η μέγιστη στιγμιαία μεταβολή του  $X$  ( $\max\Delta X$ ) η οποία ήταν 0,056m. Στο ίδιο πακέτο παρατηρήθηκε η μέγιστη στιγμιαία μεταβολή του  $Y$  ( $\max\Delta Y$ ) η οποία ήταν 0,032 m και εμφανίστηκε σε δύο χρονικές στιγμές ( $t_1=853,318$ sec,  $t_2=1082,694$ sec).

Για την Α/Γ ENERCON η μέγιστη στιγμιαία μεταβολή του  $X$  παρατηρήθηκε στο πρώτο πακέτο μετρήσεων τη στιγμή  $t=1111,690$  sec και ήταν 0,066 m. Ομοίως στο πρώτο

πακέτο παρατηρήθηκε και η μέγιστη στιγμιαία μεταβολή του  $Y$  που ήταν 0,080 m τη χρονική στιγμή  $t= 1112,298\text{sec}$ .

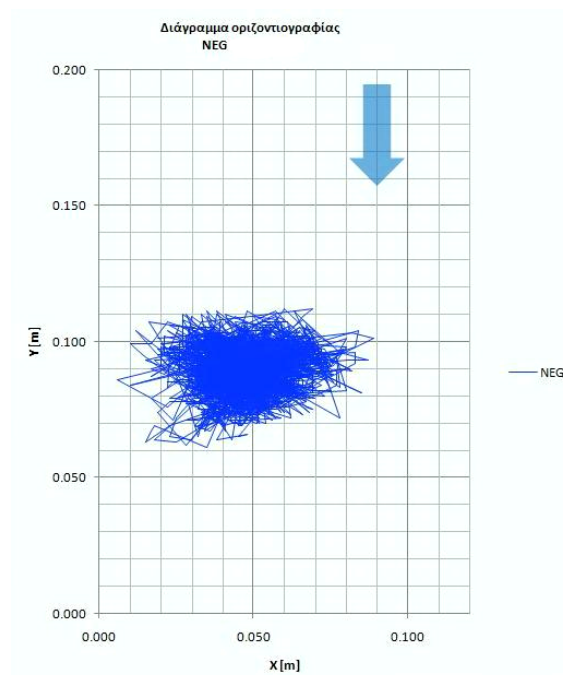
| Α/Γ         | NEG-Micon           |                     | ENERCON             |                     |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|             | 1ο πακέτο μετρήσεων | 2ο πακέτο μετρήσεων | 1ο πακέτο μετρήσεων | 2ο πακέτο μετρήσεων |
| max X [m]   | 0.107               | 0.089               | 0.145               | 0.126               |
| min X [m]   | 0.009               | 0.006               | 0.050               | 0.016               |
| max Y [m]   | 0.066               | 0.065               | 0.243               | 0.249               |
| min Y [m]   | 0.003               | 0.011               | 0.042               | 0.026               |
| εύρος X [m] | 0.098               | 0.083               | 0.095               | 0.110               |
| εύρος Y [m] | 0.063               | 0.054               | 0.201               | 0.223               |

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικές τιμές ανά πακέτο μετρήσεων

Table 4: Specific values for each data set

### Ανεμογεννήτρια NEG

Παρατηρώντας τα διαγράμματα οριζοντιογραφίας εξάγονται αρκετά συμπεράσματα. Στην περίπτωση της Α/Γ NEG, ο στόχος κινήθηκε στο εσωτερικό έλλειψης της οποίας ο μεγάλος άξονας μήκους 9 cm περίπου, είναι παράλληλος με τον άξονα X ενώ ο μικρός άξονας έχει μήκος περίπου 6 cm.



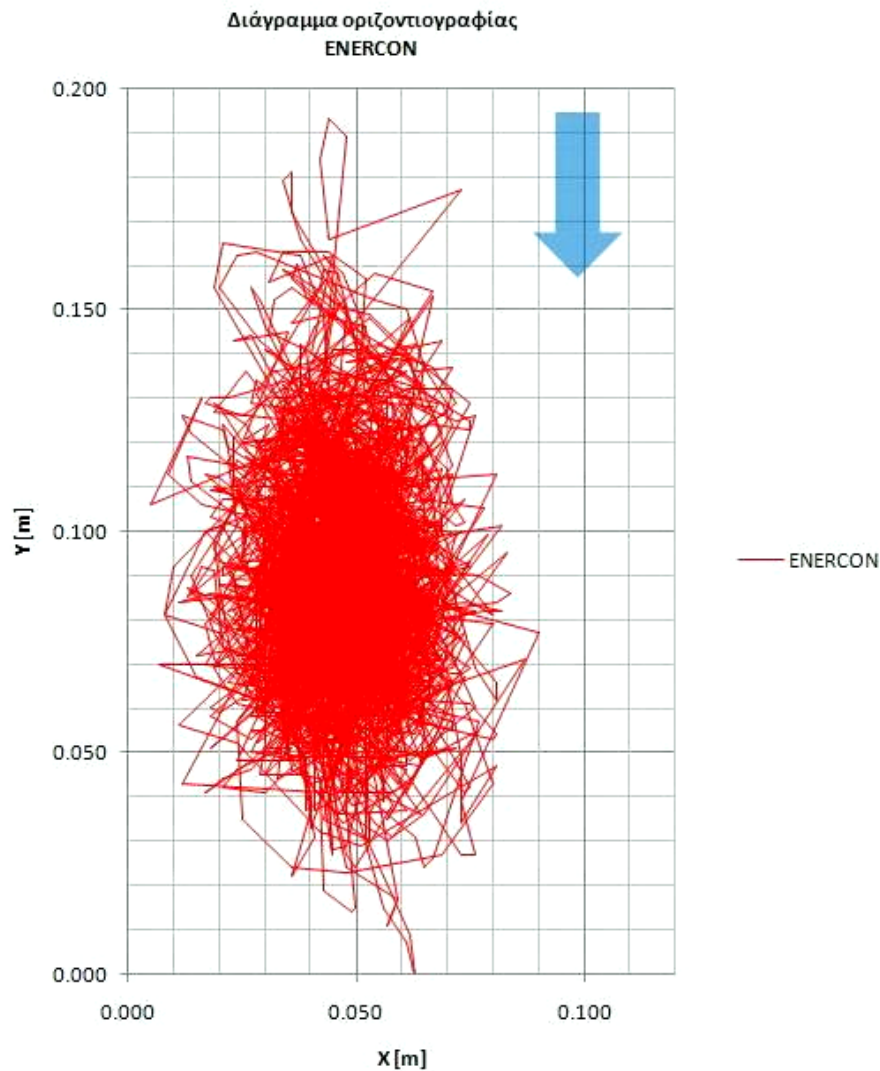
Γράφημα 19: Διάγραμμα οριζοντιογραφίας ανεμογεννήτριας NEG

Diagram 19: NEG wind generator's timeline diagram



### Ανεμογεννήτρια ENERCON

Ο στόχος της ENERCON κινήθηκε ομοίως στο εσωτερικό έλλειψης μεγαλύτερης όμως εκκεντρότητας της οποίας ο μεγάλος άξονας έχει μήκος 21 cm και είναι παράλληλος με τον άξονα Y του διαγράμματος. Ο μικρός άξονας έχει μήκος περίπου 10 cm.

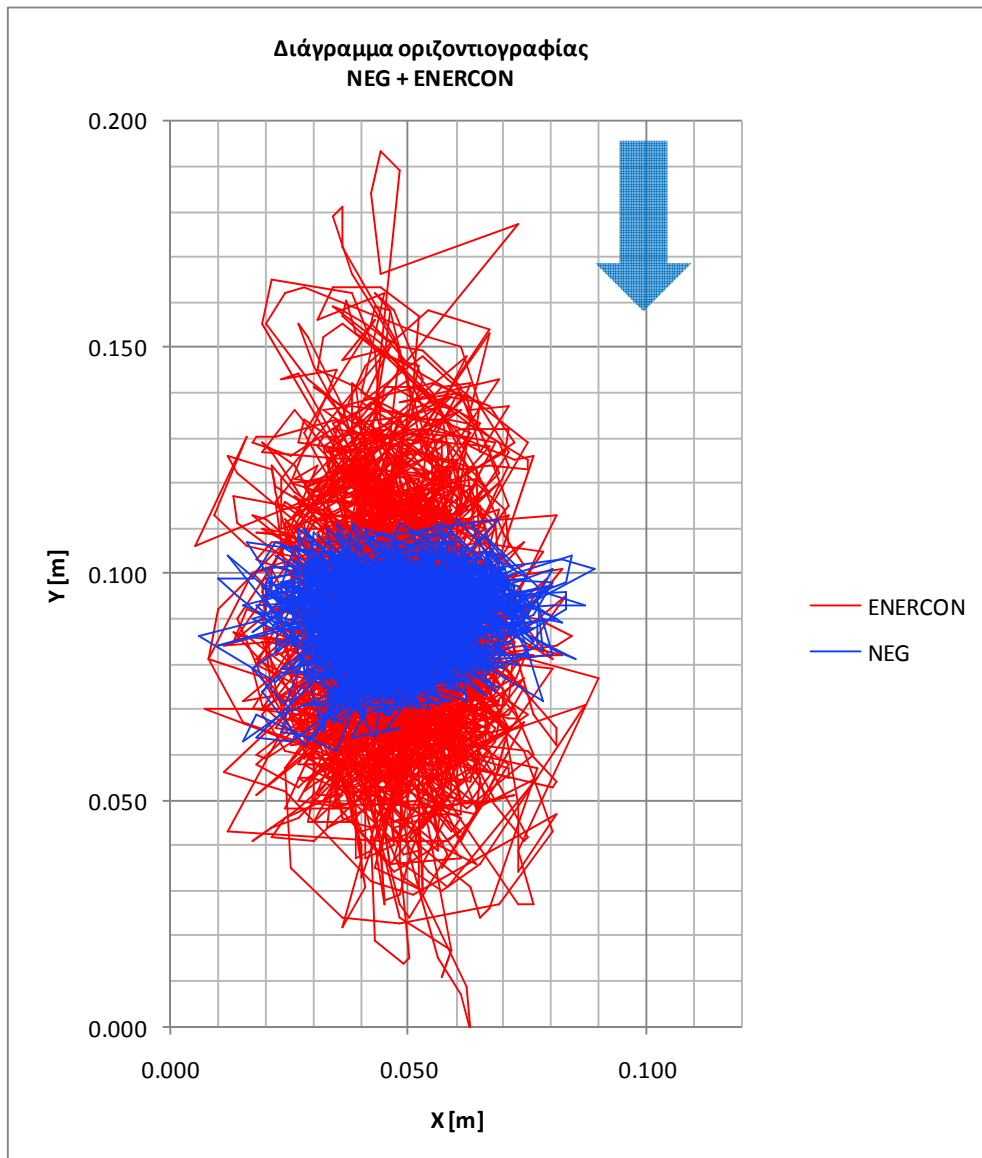


**Γράφημα 20: Διάγραμμα οριζοντιογραφίας ανεμογεννήτριας ENERCON**

**Diagram 20: ENERCON wind generator's timeline diagram**

### Συγκριτικά διαγράμματα οριζοντιογραφίας

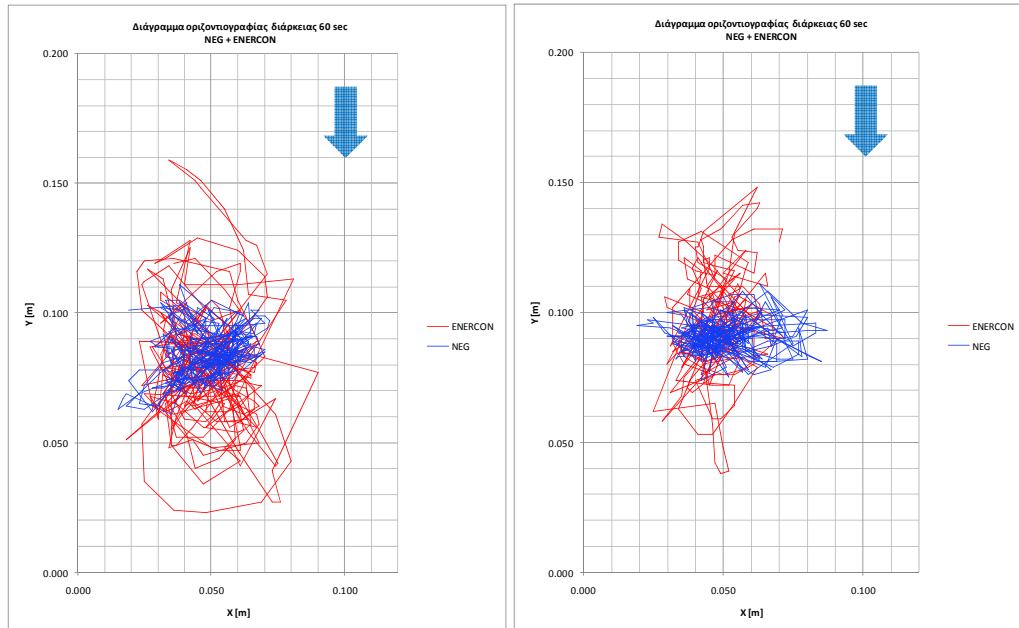
Παρουσιάζεται ένα συγκριτικό διάγραμμα όπου απεικονίζεται η κίνηση και των δύο στόχων. Επίσης δύο ενδεικτικά διαγράμματα διάρκειας 60 sec το καθένα σε τυχαία επιλεγμένα χρονικά διαστήματα.



**Γράφημα 21: Συγκριτικό διάγραμμα οριζοντιογραφίας των δύο ανεμογεννητριών διάρκειας 10 min**

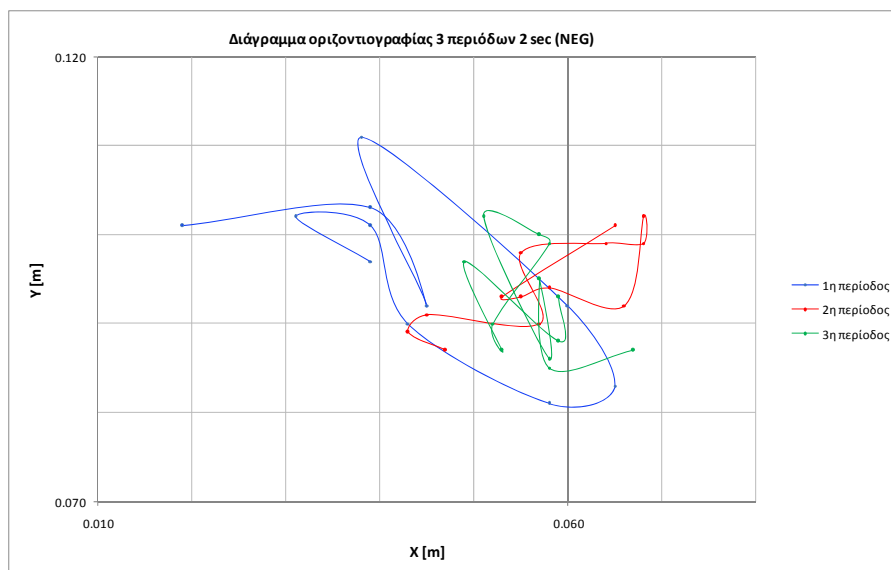
**Diagram 21: 10 minute duration comparison timeline diagram for the two wind generators**

Από τα διαγράμματα οριζοντιογραφίας διάρκειας 60 sec συμπεραίνουμε ότι μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα ο στόχος της ανεμογεννήτριας NEG παίρνει θέσεις σε όλο το εύρος της κίνησής της. Ο στόχος της NEG αντίστοιχα, στη μία ενδεικτική περίπτωση καταλαμβάνει όλο το εύρος της κίνησής της ενώ στη δεύτερη όχι, ειδικά στη διεύθυνση του άξονα Y.



**Γράφημα 22: Συγκριτικά διαγράμματα οριζοντιογραφίας διάρκειας 60 sec**

**Diagram 22: 60 seconds duration comparison timeline diagrams**



**Γράφημα 23: Οριζοντιογραφία 3 περιόδων 2 sec ανεμογεννήτριας NEG**

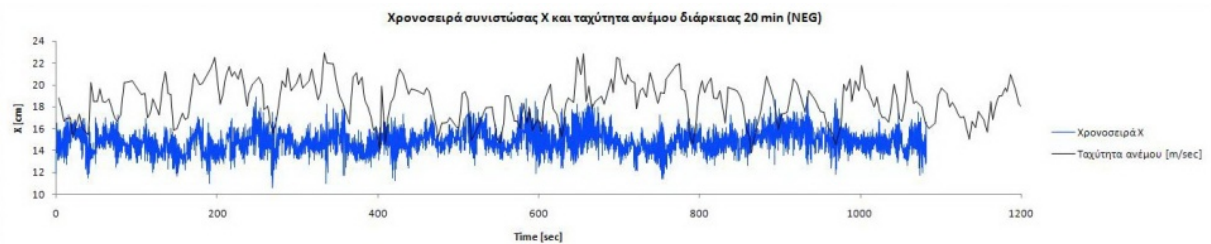
**Diagram 23: 3 periods of 2 sec duration timeline of the NEG wind generator**

### 6.1.2 Υπολογισμός μετακινήσεων στο χρόνο

Η παραγωγή χρονοσειρών αποσκοπεί στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη μεταβολή της κάθε συνιστώσας της κίνησης σε σχέση με το χρόνο. Έτσι γενικά, στο

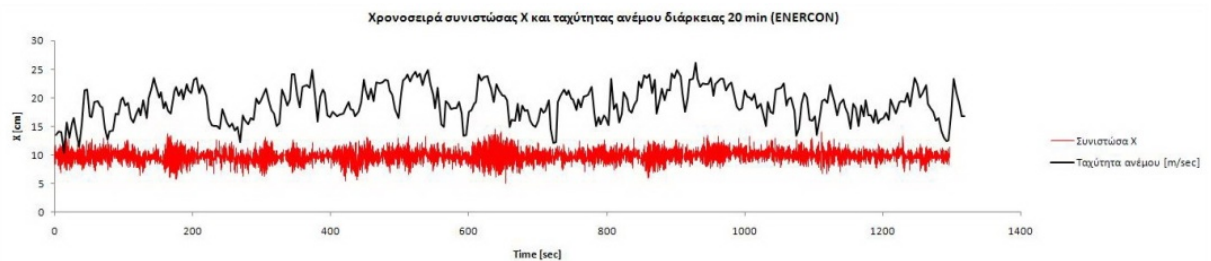
παρόν πείραμα, παρήχθησαν χρονοσειρές για την κίνηση στον άξονα X και στον άξονα Y για κάθε πακέτο μετρήσεων των δύο ανεμογεννητριών.

Παρουσιάζονται παρακάτω χρονοσειρές διάρκειας 20 min για την κάθε συνιστώσα της κίνησης κάθε ανεμογεννήτριας σε αντιπαραβολή με το μέτρο της ταχύτητας του ανέμου. Και από αυτά τα διαγράμματα είναι εμφανής η διαφορά του εύρους των τιμών της συνιστώσας X με το αντίστοιχο εύρος των τιμών της συνιστώσας Y ιδιαίτερα στην ανεμογεννήτρια Enercon.



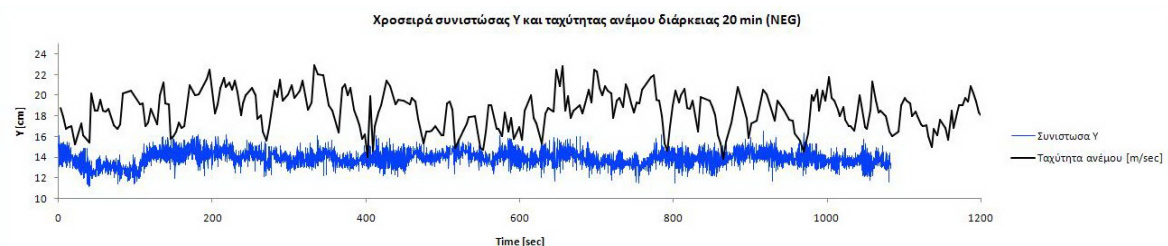
**Γράφημα 24: Χρονοσειρά συνιστώσας X διάρκειας 20 min (NEG)**

**Diagram 24: 20 min duration X direction timeline (NEG)**



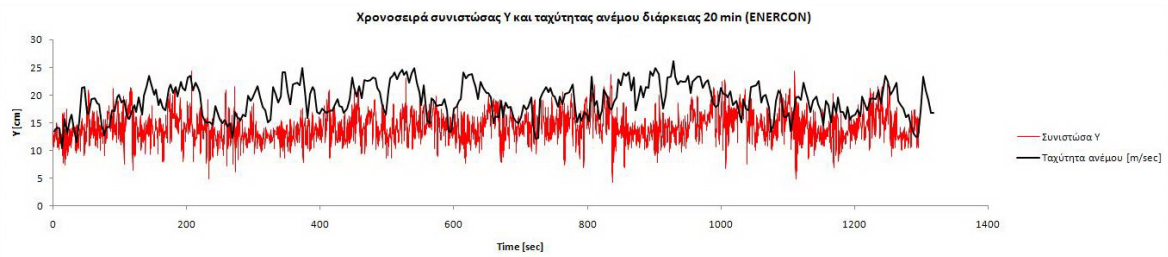
**Γράφημα 25: Χρονοσειρά συνιστώσας X διάρκειας 20 min (ENERCON)**

**Diagram 25: 20 min duration X direction timeline (ENERCON)**



**Γράφημα 26: Χρονοσειρά συνιστώσας Y διάρκειας 20 min (NEG)**

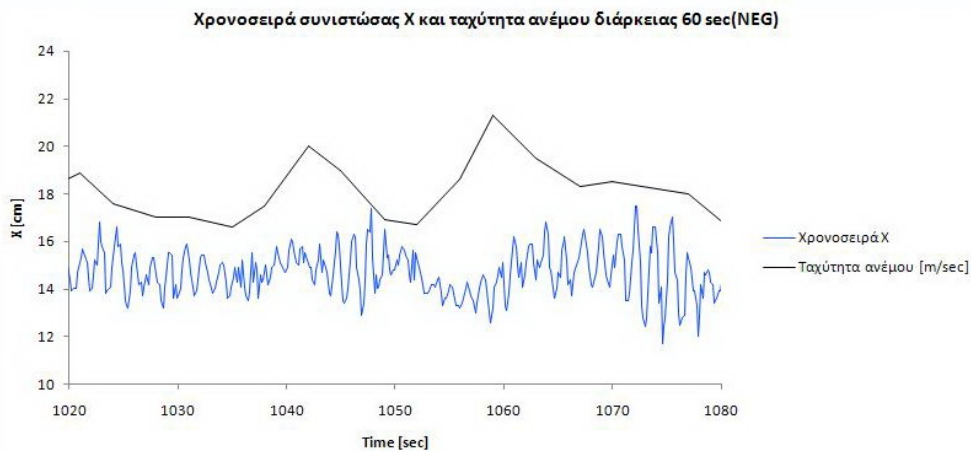
**Diagram 26: 20 min duration Y direction timeline (NEG)**



**Γράφημα 27: Χρονοσειρά συνιστώσας Y διάρκειας 20 min (ENERCON)**

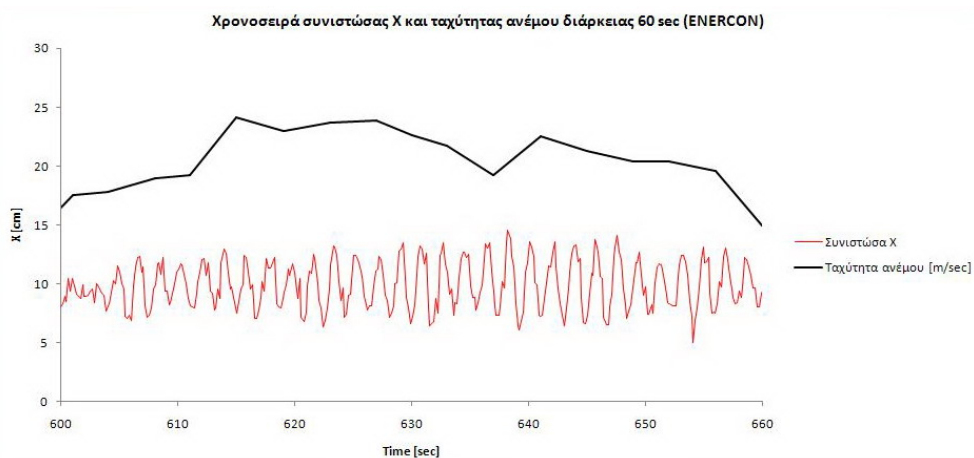
**Diagram 27: 20 min duration Y direction timeline (ENERCON)**

Παρήχθησαν επίσης χρονοσειρές από τυχαία επιλεγμένα χρονικά διαστήματα διάρκειας 60 sec. Στις χρονοσειρές αυτές είναι εμφανής η επίδραση της στιγμιαίας μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου στην μετακίνηση του παρατηρούμενου στόχου.



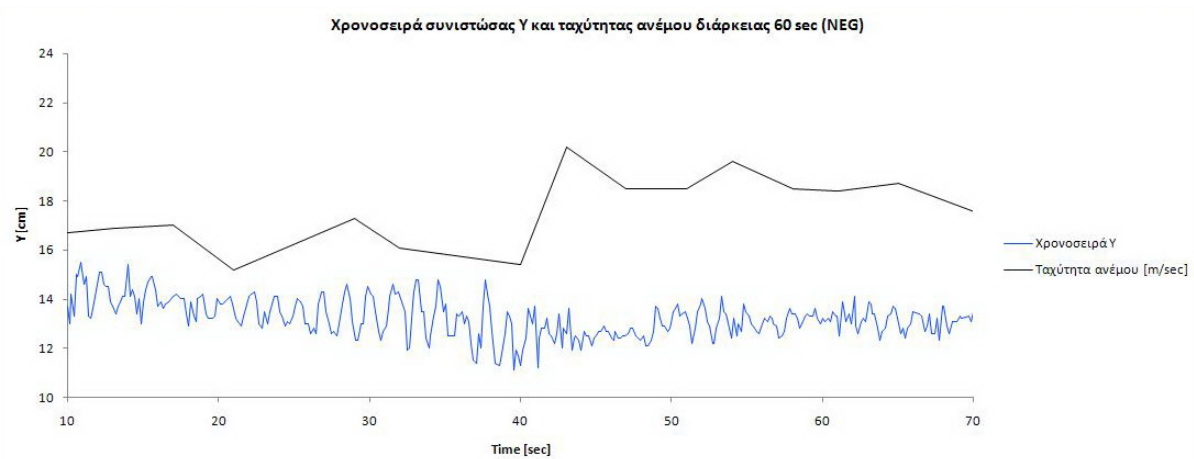
**Γράφημα 28: Χρονοσειρά συνιστώσας X διάρκειας 60 sec (NEG)**

**Diagram 28: 60 sec duration X direction timeline (NEG)**



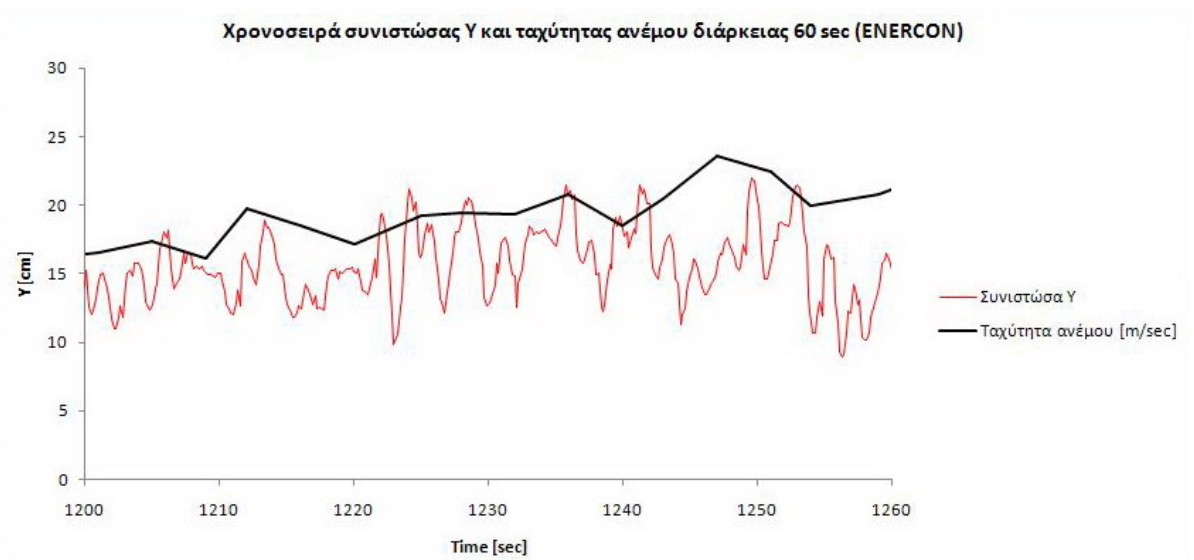
**Γράφημα 29: Χρονοσειρά συνιστώσας X διάρκειας 60 sec (ENERCON)**

**Diagram 29: 60 sec duration X direction timeline (ENERCON)**



**Γράφημα 30: Χρονοσειρά συνιστώσας Y διάρκειας 60 sec (NEG)**

**Diagram 30: 60 sec duration Y direction timeline (NEG)**

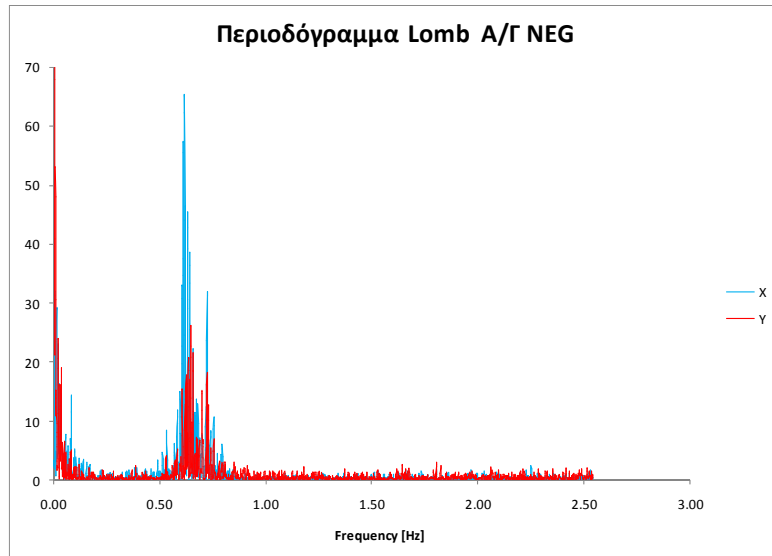


**Γράφημα 31: Χρονοσειρά συνιστώσας Y διάρκειας 60 sec (ENERCON)**

**Diagram 31: 60 sec duration Y direction timeline (ENERCON)**

### 6.1.3 Φασματική ανάλυση δεδομένων

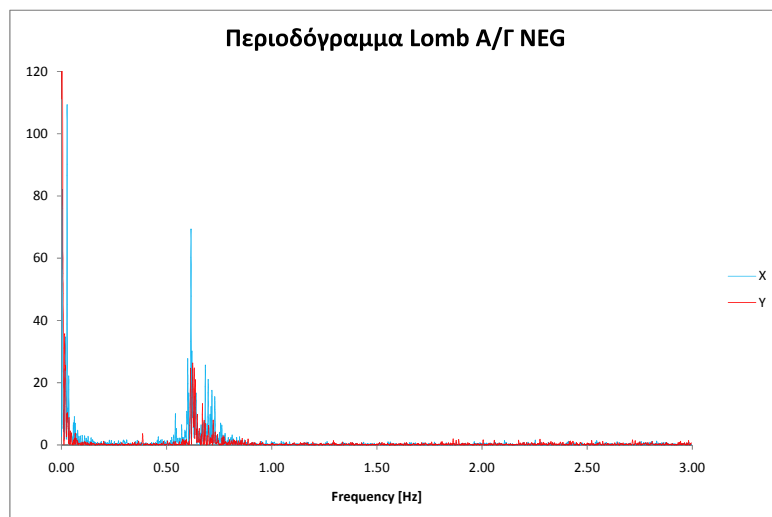
Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο η φασματική ανάλυση των δεδομένων έγινε με την παραγωγή περιοδογραμμάτων Lomb. Σκοπός της διαδικασίας αυτής ήταν ο προσδιορισμός της βασικής συχνότητας της ταλάντωσης της κάθε ανεμογεννήτριας. Παρήχθησαν δύο διαγράμματα για την κάθε μηχανή, ένα για κάθε πακέτο μετρήσεων.



**Γράφημα 32: Περιοδόγραμμα Lomb πρώτου πακέτου μετρήσεων ανεμογεννήτριας NEG**

**Diagram 32: NEG wind generator's first data set Lomb frequency diagram**

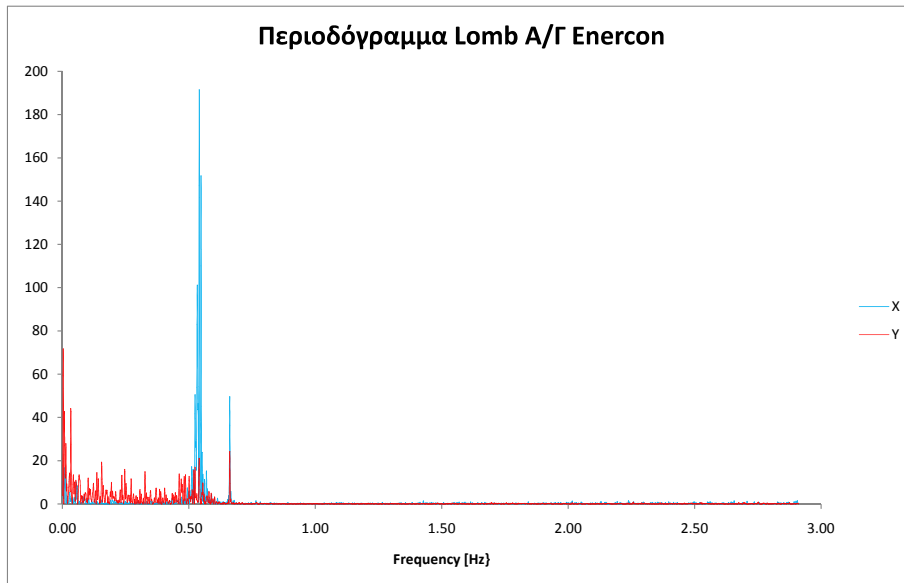
Η βασική συχνότητα της ταλάντωσης της ανεμογεννήτριας NEG – Micon ίση με  $F = 0,62$  Hz, όπως υπολογίστηκε και στα δύο πακέτα μετρήσεων και αντιστοιχεί σε περίοδο ίση με  $T = 1,61$  sec.



**Γράφημα 33: Περιοδόγραμμα Lomb δεύτερου πακέτου μετρήσεων ανεμογεννήτριας NEG**

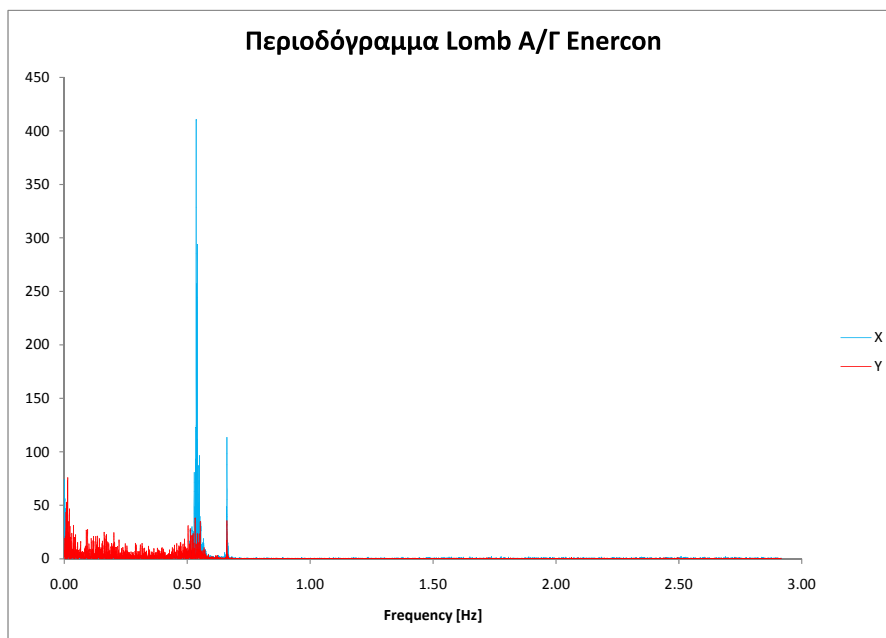
**Diagram 33: NEG wind generator's second data set Lomb frequency diagram**

Στην περίπτωση της ανεμογεννήτριας Enercon η βασική συχνότητα της ταλάντωσης της είναι ίση με  $F = 0,54$  Hz και για τα δύο πακέτα μετρήσεων και η περίοδος της ίση με  $T = 1,85$  sec αντίστοιχα



**Γράφημα 34: Περιοδόγραμμα Lomb πρώτου πακέτου μετρήσεων ανεμογεννήτριας Enercon**

**Diagram 34: Enercon wind generator's first data set Lomb frequency diagram**



**Γράφημα 35: Περιοδόγραμμα Lomb δεύτερου πακέτου μετρήσεων ανεμογεννήτριας Enercon**

**Diagram 35: Enercon wind generator's second data set Lomb frequency diagram**



## 6.2 Πείραμα II – Μελέτη της Ημι-Στατικής Συμπεριφοράς Α/Γ έναντι μεταβολών της θερμοκρασίας

### 6.2.1 Υπολογισμός μετακινήσεων στο χώρο

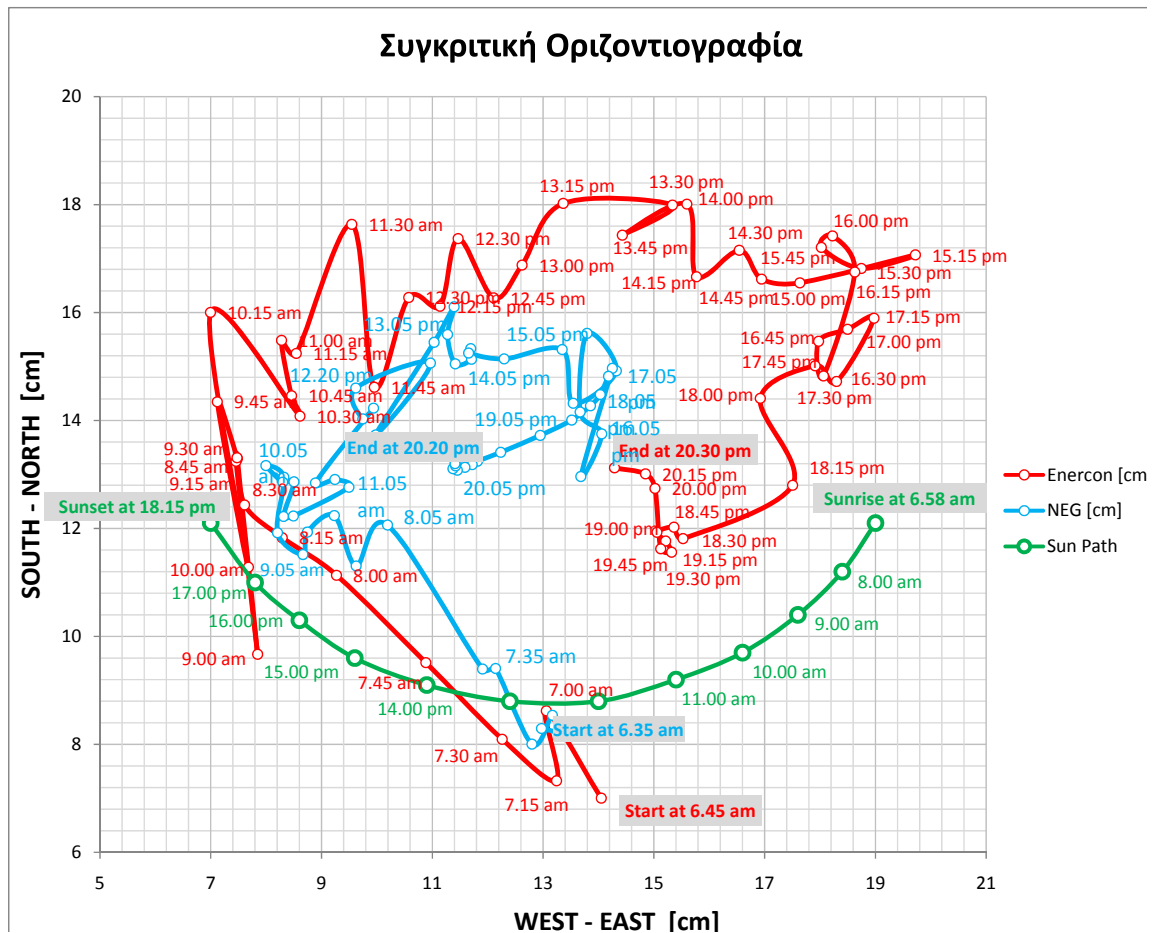
Αντίστοιχη ανάλυση των μετακινήσεων στο χώρο μπορεί να γίνει και στην περίπτωση των θερμοκρασιακών μεταβολών. Όπως αναφέρονται και αναλυτικά στον Πίνακα 5, οι τιμές της συνιστώσας X για την Α/Γ NEG κυμαίνονται σε ένα εύρος 0,063 m. Οι αντίστοιχες τιμές της συνιστώσας X για την Α/Γ ENERCON κυμαίνονται σε ένα εύρος 0,127m. Οι τιμές της συνιστώσας Y κυμαίνονται σε ένα εύρος 0,081 m για την Α/Γ NEG, ενώ για την ENERCON κυμαίνονται σε ένα εύρος 0,110 m.

| A/Γ         | NEG - MICON | ENERCON |
|-------------|-------------|---------|
| max X [m]   | 0.063       | 0.127   |
| min X [m]   | 0.000       | 0.000   |
| max Y [m]   | 0.081       | 0.110   |
| min Y [m]   | 0.000       | 0.000   |
| εύρος X [m] | 0.063       | 0.127   |
| εύρος Y [m] | 0.081       | 0.110   |

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικές τιμές ανά ανεμογεννήτρια

Table 5: Specific values for each wind generator

Τα δεδομένα του Πίνακα 5 απεικονίζονται αναλυτικά στο συγκριτικό διάγραμμα οριζοντιογραφίας.



**Γράφημα 36: Συγκριτικό διάγραμμα οριζοντιογραφίας των δύο ανεμογεννητριών**

**Diagram 36: Comparison displacement diagram for the wind generators**

### 6.2.2 Υπολογισμός μετακινήσεων στο χρόνο

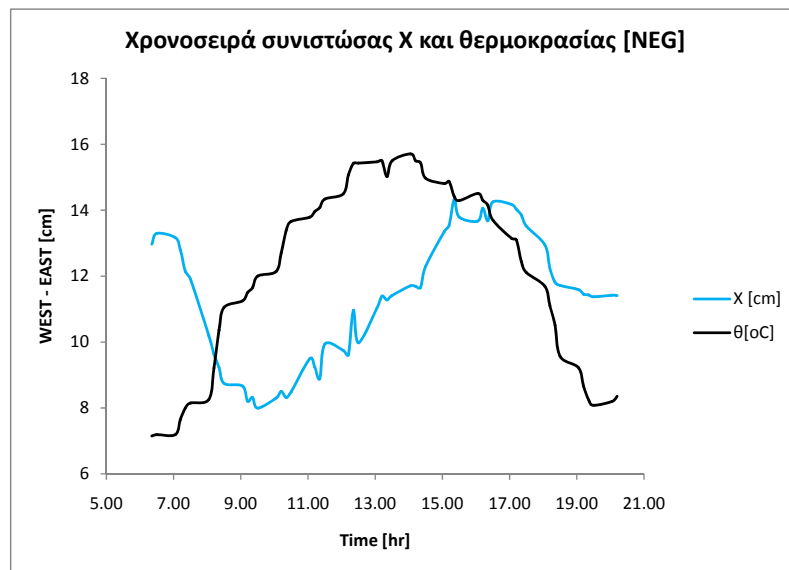
Παρήχθησαν και παρουσιάζονται διαγράμματα χρονοσειρών για κάθε ανεμογεννήτρια αλλά και συγκριτικά μεταξύ τους. Ο άξονας των Χ όπως φαίνεται στα διαγράμματα, είναι παράλληλος με τη διεύθυνση Ανατολής – Δύσης του ηλίου. Για την ευκολότερη εξαγωγή συμπερασμάτων στη σύγκριση των δύο ανεμογεννητριών τα διαγράμματα παρήχθησαν στο ίδιο σύστημα αναφοράς.

Παρατηρώντας τις χρονοσειρές γίνεται αντιληπτό ότι η επίδραση της θερμοκρασίας είναι εμφανής και η μεταβολή της είναι αρμονική με τη μεταβολή στις τιμές των συνιστωσών της κίνησης που διαγράφει ο στόχος. Η χρονική στιγμή που η συνιστώσα Υ λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της ταυτίζεται και για τις δύο ανεμογεννήτριες με τη χρονική στιγμή που μετρήθηκε η μέγιστη θερμοκρασία. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει στις 14:00

μμ. Κατά τον άξονα X παρατηρείται μια ημιτονοειδής κίνηση με σημείο καμπής τη χρονική στιγμή κατά την οποία η θερμοκρασία λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της.

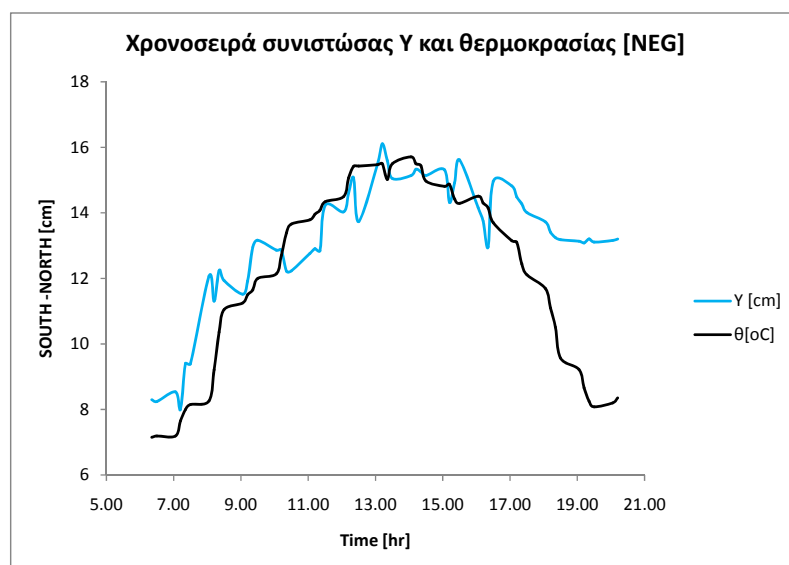
Η μετατόπιση του κατάφωτου από τη θέση ισορροπίας είναι εμφανώς μεγαλύτερη στην ανεμογεννήτρια Enercon όπου παρατηρείται μια διακύμανση έως και 12cm στον άξονα X. τους.

### Ανεμογεννήτρια NEG - Micon



Γράφημα 37: Χρονοσειρά Συνιστώσας X και θερμοκρασίας ανεμογεννήτριας NEG

Diagram 37: NEG wind generator's X direction and temperature timeline diagram

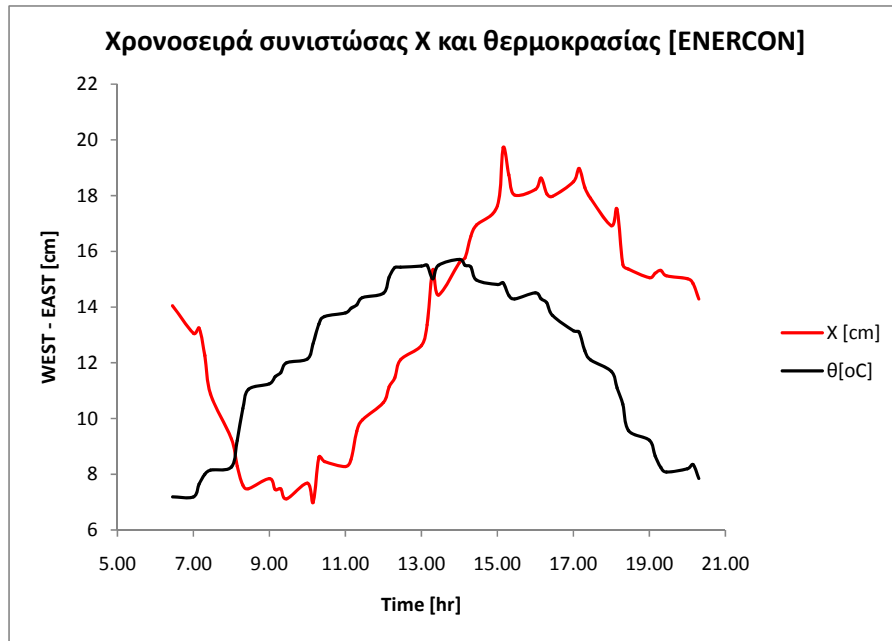


Γράφημα 38: Χρονοσειρά Συνιστώσας Y και θερμοκρασίας ανεμογεννήτριας NEG

Diagram 38: NEG wind generator's Y direction and temperature timeline diagram

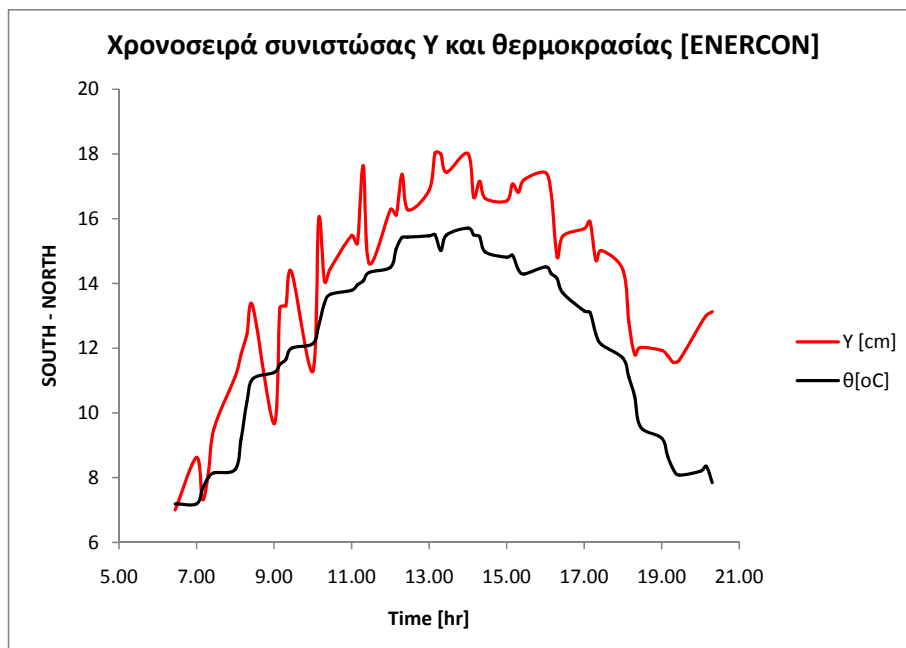
### Ανεμογεννήτρια ENERCON

Στην ανάλυση των χρονοσειρών της ανεμογεννήτριας Enercon παρατηρούνται αντίστοιχα φαινόμενα με τη διαφορά ότι οι τιμές των μετακινήσεων είναι εμφανώς μεγαλύτερες και ειδικά κατά τον άξονα Χ όπως αναφέρθηκε.



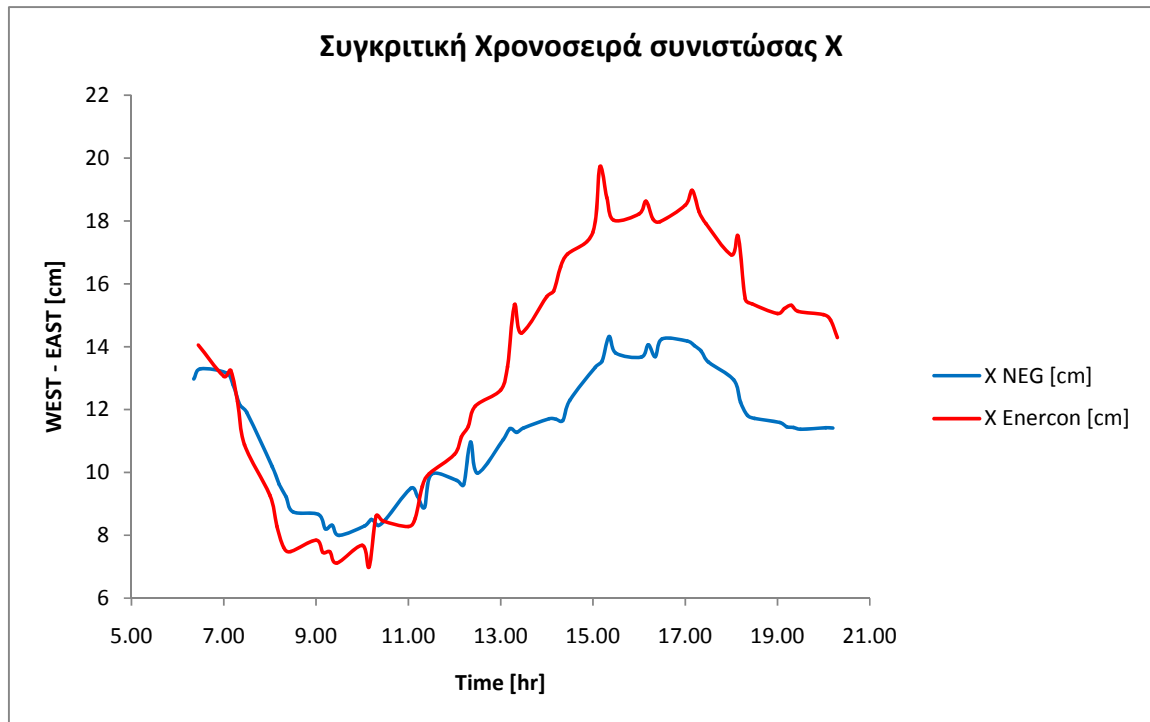
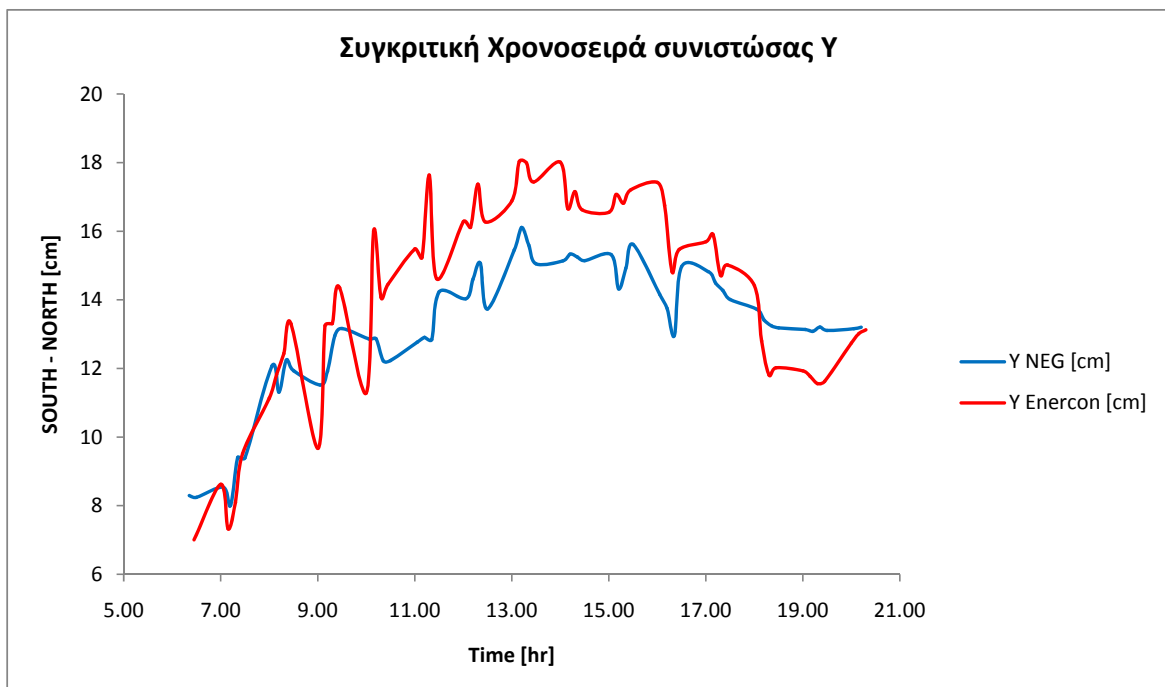
Γράφημα 39: Χρονοσειρά Συνιστώσας Χ και θερμοκρασίας ανεμογεννήτριας Enercon

Diagram 39: Enercon wind generator's X direction and temperature timeline diagram



Γράφημα 40: Χρονοσειρά Συνιστώσας Υ και θερμοκρασίας ανεμογεννήτριας Enercon

Diagram 40: Enercon wind generator's Y direction and temperature timeline diagram

**Συγκριτικά διαγράμματα χρονοσειρών****Γράφημα 41: Συγκριτική χρονοσειρά συνιστώσας X των δύο ανεμογεννητριών****Diagram 41: Two wind generators X direction comparison timeline diagram****Γράφημα 42: Συγκριτική χρονοσειρά συνιστώσας Y των δύο ανεμογεννητριών****Diagram 42: Two wind generators Y direction comparison timeline diagram**



# 7

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 7.1 Εισαγωγή

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας και της ανάλυσης των αποτελεσμάτων της, είναι δυνατή η εξαγωγή αρκετών συμπερασμάτων. Επίσης κρίνεται απαραίτητη η διατύπωση προτάσεων σχετικών με το αντικείμενο της δυναμικής παρακολούθησης κατασκευών το οποίο ήδη αποτελεί πεδίο ενδιαφέροντος και ενασχόλησης ενός Τοπογράφου Μηχανικού.

### 7.2 Σχεδιασμός της μεθόδου

Η επιλογή των γεωδαιτικών σταθμών με τη δυνατότητα αυτόματου εντοπισμού και παρακολούθησης στόχου (ATR) κρίνεται απαραίτητη και επιτυχής όπως αποδείχθηκε, λόγω της αναγκαιότητας για λήψη μεγάλου πλήθους μετρήσεων σε ελάχιστο χρονικό διάστημα, στη μελέτη της επίδρασης του ισχυρού ανέμου. Επίσης στην περίπτωση του πολύωρης πειραματικής διαδικασίας σχετικά με την επίδραση της θερμοκρασίας, όπου επικράτησαν και συνθήκες μηδενικής ορατότητας, η δυνατότητα αυτόματου εντοπισμού στόχου ήταν απολύτως απαραίτητη. Επιπλέον, η ακρίβεια των οργάνων ήταν πολύ υψηλότερη από τις μετατοπίσεις της τάξης έως και 20 cm που παρατηρήθηκαν με την εξαγωγή των αποτελεσμάτων του πειράματος.

Σχετικά με την επιλογή των κατάλληλων καιρικών συνθηκών για τη διεξαγωγή του πειράματος, οι συνθήκες κατά τη διάρκεια της ημέρας λήψης των μετρήσεων για τη μελέτη της επίδρασης του ανέμου ήταν οι επιδιωκόμενες, με την επικράτηση ισχυρών ανέμων στην περιοχή. Στην περίπτωση της επίδρασης της θερμοκρασιακής μεταβολής, το εύρος των τιμών που μετρήθηκαν για τη θερμοκρασία ήταν 8 °C κατά προσέγγιση. Με την επιλογή διαφορετικής ημέρας, ενδεχομένως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, να επιτυχανόταν μεγαλύτερη διακύμανση της θερμοκρασίας.

### **7.3 Συμπεριφορά των ανεμογεννητριών**

#### **7.3.1 Συμπεριφορά υπό την επίδραση ισχυρού ανέμου**

Παρατηρήθηκε γενικά ότι υπό την επίδραση ισχυρού ανέμου η κάθε μηχανή διαγράφει μια περιοδική κίνηση. Η βασική συχνότητα της ταλάντωσής τους, όπως αναφέρθηκε στη μελέτη των αποτελεσμάτων, είναι ίση με 0,62 Hz για τη NEG – Micon και 0,54 Hz για την Enercon. Οι συχνότητες αυτές αντιστοιχούν σε περίοδο ίση με 1,61 και 1,85 sec αντίστοιχα.

Αναλύοντας την κάθε κίνηση σε δύο συνιστώσες, μία κατά τη διεύθυνση του ανέμου και μία κάθετη σε αυτή, και παρατηρώντας το πλάτος της κάθε μιας, εξάγονται κάποια επιπλέον συμπεράσματα. Η ανεμογεννήτρια NEG – Micon εμφανίζει μεγαλύτερη μετατόπιση στον άξονα X ο οποίος είναι κάθετος στη διεύθυνση του ανέμου ενώ η Enercon εμφανίζει μεγαλύτερη παραμόρφωση στον άξονα Y. Το φαινόμενο αυτό είναι συνέπεια της συνδυασμένης επίδρασης δύο πιθανών παραμέτρων. Αφενός του ενδεχομένως διαφορετικού μέτρου ελαστικότητας του πύργου (tower) της κάθε ανεμογεννήτριας και αφετέρου την επίδραση της περιστροφικής κίνησης της κάθε πτερωτής σε αυτόν. Όπως έχει αναφερθεί σε αντίστοιχο κεφάλαιο η πτερωτή της ανεμογεννήτριας NEG – Micon έχει διάμετρο 48,20 m ενώ της Enercon 40,00m.

#### **7.3.2 Συμπεριφορά έναντι μεταβολών της θερμοκρασίας περιβάλλοντος**

Ως μεταλλικές κατασκευές οι ανεμογεννήτριες και ειδικά οι υψίκορμοι πυλώνες τους, έχουν σχετικά μεγάλο μέτρο ελαστικότητας και είναι δυνατόν να εμφανίζουν παραμορφώσεις όταν υπόκεινται σε θερμοκρασιακές μεταβολές.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα του πειράματος διατυπώνονται αντίστοιχα συμπεράσματα. Το νότιο τμήμα του κάθε πυλώνα έρχεται σε άμεση επαφή με την ηλιακή ακτινοβολία και απορροφώντας θερμότητα διαστέλλεται σε μεγαλύτερο βαθμό από το βόρειο τμήμα που βρίσκεται υπό σκιά. Το φαινόμενο της διαστολής έχει σαν αποτέλεσμα την τοξοειδή παραμόρφωση του πυλώνα 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 συνιστώσας Y.



## 7.4 Προτάσεις

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η μετακίνηση της κορυφής του πυλώνα δύο ανεμογεννητριών εξαιτίας της επίδρασης ισχυρού ανέμου και ηλιακής ακτινοβολίας. Με βάση τα συμπεράσματα της μελέτης προτείνονται σχετικά θέματα με την δυναμική παρακολούθηση κατασκευών για περαιτέρω έρευνα.

- Εκτέλεση πειραματικής διαδικασίας για την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας για περίοδο διάρκειας 24 ωρών. Με την εφαρμογή αυτής της διαδικασίας θα μελετηθεί η συμπεριφορά της κατασκευής σε μεγαλύτερο εύρος διακύμανσης της τιμής της θερμοκρασίας με ασφαλή συμπεράσματα.
- Μελέτη μετακίνησης καθ' ύψος του πυλώνα. Χρήση επίγειου σαρωτή ή εφαρμογή διαφορετικής μεθοδολογίας
- Μελέτη συμπεριφοράς ατράκτου και φτερωτής της ανεμογεννήτριας. Ανάλυση της επίδρασης της περιστροφικής κίνησης της φτερωτής στην περιοδική κίνηση του πυλώνα και υπολογισμός δευτερευουσών συχνοτήτων της κίνησης. Εφαρμογή γεωδαιτικής ή εναλλακτικής μεθόδου.
- Συγκριτική μελέτη συμπεριφοράς πυλώνα με γεωδαιτική μέθοδο και μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων. Εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με στοιχεία αντοχής υλικών και ελαστικότητας των κατασκευών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ξενόγλωσση

1. George B. Moody, The Fourier Transform, the Lomb Periodogram, and Other Methods, Boston 2006
2. Noemi Emanuela Cazzaniga, Livio Pinto, Franco Bettinali, Antonella Frigerio, Structural Monitoring with GPS and accelerometers: The chimney of the power plant in Piacenza, Italy, Baden 2006
3. Kai-yuen Wong, King-leung Man, Wai-yee Chan, Monitoring Hong Kong's Bridges, 2001
4. Christian Hesse, Rainer Heer, Sebastian Horst, Hans Neuner, Geodetic Institute, University of Hanover, Monitoring Wind Energy Turbines with geodetic techniques, Baden 2006
5. Thommy Ekelund, Yaw control for reduction of structural dynamic loads in wind turbines, Sweden 2000
6. Chia Chen Ciang, Jung-Ryul Lee, Hyung-Joon Bang, Structural health monitoring for a wind turbine system: a review of damage detection methods, Korea 2008
7. M. Drewry, G. Georgiou, A review of NDT techniques for wind turbines, Insight Journal 2007
8. Gheorghe – Mugurel Rădulescu and Corina – Michaela Rădulescu, Tall Structures Behaviour Under the Action of Irregular Heat of the Wind of Cumulated Loadings, Fig Working Week, Cairo 2005
9. Peter Breuer, Tadeusz Chmielewski, Piotr Górski, Eduard Konopka, Leslaw Tarczynski, The Stuttgart TV Tower - Displacement of the top caused by the effects of sun and wind, 2008

### Ελληνική

1. Παραδείσης Δ., Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας, Αθήνα, Νοέμβριος 2000
2. Μπαλοδήμος Δ. – Σταθάς Δ. , Γεωδαιτικά Όργανα και Μέθοδοι Μέτρησης Γωνιών και Μηκών, Αθήνα 1993
3. Τσακίρη Μ., Γεωδαισία III, Σημειώσεις Μαθήματος - Δίκτυα GPS, Αθήνα 2003
4. Αγατζά – Μπαλοδήμου Α. Μ. , Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις I, Αθήνα 2004
5. 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
6. Μαριτσούδης Δημήτριος, Παρακολούθηση δυναμικής συμπεριφοράς της υψηλής καπνοδόχου ΑΗΣ Λαυρίου της ΔΕΗ Α.Ε., Δ.Ε., Αθήνα 2008

## **Διαδίκτυο**

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

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

<http://freemeteo.com/>

<http://www.cres.gr/kape>

<http://www.creswindfarm.gr>

<http://www.leica.com>

<http://www.trimble.com>

<http://www.google.com/earth/index.html>

<http://www.profsurv.com/magazine>

<http://www.elci.tuc.gr>

<http://www.fig.net/>

<http://www.gim-international.com/>

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

<http://www.suncalc.net>

[http://pveducation.org/sites/default/files/PVCDROM/Properties-of-Sunlight/Animations/Sun\\_Calculator.swf](http://pveducation.org/sites/default/files/PVCDROM/Properties-of-Sunlight/Animations/Sun_Calculator.swf)

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - ΕΝΤΥΠΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

### ***ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ***

Φύλλο : .... *NEG - Micou*

Ημερομηνία : .....

| α/α          | όνομα αρχείου        | έναρξη       | λήξη         | ατμοσφαιρικές συνθήκες |
|--------------|----------------------|--------------|--------------|------------------------|
| 1            | <i>NEG-L</i>         | <i>09:09</i> | <i>09:13</i> | <i>ΣΥΝΝΕΦΙΑ</i>        |
| παρατηρήσεις | <i>ΔΟΚΙΜΗ - TEST</i> |              |              |                        |

| α/α          | όνομα αρχείου   | έναρξη       | λήξη | ατμοσφαιρικές συνθήκες |
|--------------|---|--------------|------|------------------------|
| 2            | <i>NEG_2</i>  | <i>09:27</i> |      |                        |
| παρατηρήσεις | <i>κ.ο = 1,285      ΜΕΤΡΗΣΙΣ από 9:27 ~ 9:32<br/>9:32 σταμάτησε η Α/Γ</i> |              |      |                        |

| α/α          | όνομα αρχείου      | έναρξη       | λήξη         | ατμοσφαιρικές συνθήκες |
|--------------|--------------------|--------------|--------------|------------------------|
| 3            | <i>NEG-3</i>       | <i>09:54</i> | <i>10:15</i> | <i>ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ</i>      |
| παρατηρήσεις | <i>κ.ο = 1,285</i> |              |              |                        |

| α/α          | όνομα αρχείου      | έναρξη       | λήξη         | ατμοσφαιρικές συνθήκες |
|--------------|--------------------|--------------|--------------|------------------------|
| 4            | <i>NEG-4</i>       | <i>10:54</i> | <i>11:17</i> | <i>ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ</i>      |
| παρατηρήσεις | <i>κ.ο = 1,347</i> |              |              |                        |

| α/α          | όνομα αρχείου | έναρξη | λήξη | ατμοσφαιρικές συνθήκες |
|--------------|---------------|--------|------|------------------------|
|              |               |        |      |                        |
| παρατηρήσεις |               |        |      |                        |

| α/α          | όνομα αρχείου | έναρξη | λήξη | ατμοσφαιρικές συνθήκες |
|--------------|---------------|--------|------|------------------------|
|              |               |        |      |                        |
| παρατηρήσεις |               |        |      |                        |

| α/α          | όνομα αρχείου | έναρξη | λήξη | ατμοσφαιρικές συνθήκες |
|--------------|---------------|--------|------|------------------------|
|              |               |        |      |                        |
| παρατηρήσεις |               |        |      |                        |

Φύλλο : .... ENERCON

Ημερομηνία : .....

| α/α          | όνομα αρχείου | έναρξη | λήξη  | ατμοσφαιρικές συνθήκες |
|--------------|---------------|--------|-------|------------------------|
| 1            | ENER_1        | 12:04  | 12:26 | ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ             |
| παρατηρήσεις | V.O. = 1,321  |        |       |                        |

| α/α          | όνομα αρχείου | έναρξη | λήξη  | ατμοσφαιρικές συνθήκες |
|--------------|---------------|--------|-------|------------------------|
| 2            | ENER_2        | 12:34  | 12:57 | ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ             |
| παρατηρήσεις | V.O. = 1,321  |        |       |                        |

| α/α          | όνομα αρχείου | έναρξη | λήξη | ατμοσφαιρικές συνθήκες |
|--------------|---------------|--------|------|------------------------|
|              |               |        |      |                        |
| παρατηρήσεις |               |        |      |                        |

| α/α          | όνομα αρχείου | έναρξη | λήξη | ατμοσφαιρικές συνθήκες |
|--------------|---------------|--------|------|------------------------|
|              |               |        |      |                        |
| παρατηρήσεις |               |        |      |                        |

| α/α          | όνομα αρχείου | έναρξη | λήξη | ατμοσφαιρικές συνθήκες |
|--------------|---------------|--------|------|------------------------|
|              |               |        |      |                        |
| παρατηρήσεις |               |        |      |                        |

| α/α          | όνομα αρχείου | έναρξη | λήξη | ατμοσφαιρικές συνθήκες |
|--------------|---------------|--------|------|------------------------|
|              |               |        |      |                        |
| παρατηρήσεις |               |        |      |                        |

| α/α          | όνομα αρχείου | έναρξη | λήξη | ατμοσφαιρικές συνθήκες |
|--------------|---------------|--------|------|------------------------|
|              |               |        |      |                        |
| παρατηρήσεις |               |        |      |                        |

## **ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**

page 1

| Α/Γ: ENERCON              |       | Όργανο: Trimble VX      |                                |
|---------------------------|-------|-------------------------|--------------------------------|
| Αρχείο: ENERCON           |       | Ύψος Οργάνου: 1,460     | Ύψος Στόχου: 1,630             |
| Κατάφωτο Εδάφους:         |       | H <sub>z</sub> = 0,0000 | V = 96,7049                    |
| Κατάφωτο Ανεμογεννήτριας: |       | H <sub>z</sub> = 2,0350 | V = 58,0920                    |
| Point I/D                 | Ώρα   | Θερμοκρασία [oC]        | ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ                   |
| 1                         | 6:45  | 7,19                    | Αιθριος καιρος - Αεθλις ανεμος |
| 3                         | 7:00  | 7,19                    | " "                            |
| 5                         | 7:15  | 7,65                    | " "                            |
| 7                         | 7:30  | 8,00                    | " - battery 70%                |
| 9                         | 7:45  | 8,15                    |                                |
| 11                        | 8:00  | 8,26                    | battery 60%                    |
| 13                        | 8:15  | 9,21                    | " "                            |
| 15                        | 8:30  | 10,36                   | " "                            |
| 17                        | 8:45  | 11,05                   | " "                            |
| 18                        | 9:00  | 11,25                   | " "                            |
| 21                        | 9:15  | 11,50                   | " - battery 50%                |
| 23                        | 9:30  | 11,65                   | " "                            |
| 25                        | 9:45  | 12,00                   | " "                            |
| 27                        | 10:00 | 12,14                   | " "                            |
| 29                        | 10:15 | 12,70                   | " "                            |
| 31                        | 10:30 | 13,39                   | Αιθριος καιρος - Αεθλις ανεμος |
| 33                        | 10:45 | 13,66                   | " "                            |
| 35                        | 10:00 | 13,79                   | " - battery 50%                |
| 37                        | 11:15 | 13,96                   | " "                            |
| 39                        | 11:30 | 14,08                   | " "                            |
| 41                        | 11:45 | 14,34                   | " - battery 40%                |
| 43                        | 12:00 | 14,50                   | " "                            |
| 45                        | 12:15 | 15,07                   | " "                            |
| 47                        | 12:30 | 15,42                   | " "                            |
| 49                        | 12:45 | 15,43                   | " "                            |
| 51                        | 13:00 | 15,47                   | " - battery 30%                |
| 53                        | 13:15 | 15,50                   |                                |



Page 2

| Α/Γ: ENERCON              |       | Όργανο: Trimble VX  |                             |
|---------------------------|-------|---------------------|-----------------------------|
| Αρχείο: ENERCON           |       | Ύψος Οργάνου: 1,460 | Ύψος Στόχου: 1,630          |
| Κατάφωτο Εδάφους:         |       | Hz = 0,0000         | V = 96,7049                 |
| Κατάφωτο Ανεμογεννήτριας: |       | Hz = 2,0350         | V = 58,0920                 |
| Point I/D                 | Ωρα   | Θερμοκρασία [oC]    | ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ                |
| 55                        | 13:30 | 15,02               | Αδρανής ανέμος battery 30%  |
| 57                        | 13:45 | 15,50               | " "                         |
| 59                        | 14:00 | 15,71               | " "                         |
| 61                        | 14:15 | 15,50               | " "                         |
| 63                        | 14:30 | 15,44               | " "                         |
| 65                        | 14:45 | 14,97               | " "                         |
| 67                        | 15:00 | 14,81               | " "                         |
| 69                        | 15:15 | 14,87               | " battery 20%               |
| 71                        | 15:30 | 14,42               | Απνοια " "                  |
| 73                        | 15:45 | 14,29               | " "                         |
| 75                        | 16:00 | 14,51               | " "                         |
| 77                        | 16:15 | 14,30               | " "                         |
| 79                        | 16:30 | 14,15               | " "                         |
| 81                        | 16:45 | 13,70               | " "                         |
| 83                        | 17:00 | 13,15               | battery 10%                 |
| 85                        | 17:15 | 13,10               | Αλλαγη προταπίας - Νέα: 70% |
| 87                        | 17:30 | 12,44               | " "                         |
| 89                        | 17:45 | 12,11               | " battery 60%               |
| 91                        | 18:00 | 11,69               | " "                         |
| 93                        | 18:15 | 11,10               | battery 50%                 |
| 95                        | 18:30 | 10,51               | " "                         |
| 97                        | 18:45 | 9,57                | battery 40%                 |
| 99                        | 19:00 | 9,22                | " "                         |
| 101                       | 19:15 | 8,66                | " "                         |
| 103                       | 19:30 | 8,25                | battery 30%                 |
| 105                       | 19:45 | 8,08                | " "                         |
| 107                       | 20:00 | 8,20                | battery 20%                 |

109 20:15 8,35

111 20:30 7,85

page 1

| Α/Γ: ΝΕΓ-ΜΙCΟΝ            |                            | Όργανο: Λείκα Τ430       |                              |
|---------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Αρχείο: ΜΙCΟΝ             |                            | Ύψος Οργάνου: 1,590      | Ύψος Στόχου: 1,460           |
| Κατάφωτο Εδάφους:         |                            | H <sub>z</sub> = 0,00000 | V = 102,30992                |
| Κατάφωτο Ανεμογεννήτριας: |                            | H <sub>z</sub> = 4,83320 | V = 55,30.922                |
| Point I/D                 | Ωρα                        | Θερμοκρασία [oC]         | ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ                 |
| 1-2                       | 6:19                       |                          |                              |
| 3-4                       | 6:37                       |                          |                              |
| 5-6                       | 6:50                       |                          |                              |
| 7-8                       | 7:05                       |                          |                              |
| 9-10                      | 7:20                       |                          | battery 91%                  |
| 11-12                     | 7:35                       |                          |                              |
| 13-14                     | 7:50                       |                          |                              |
| 15-16                     | 8:05                       |                          | 8:08 επιβραδυνότα            |
| 17-18                     | 8:20                       |                          | battery 92%                  |
| 19-20                     | 8:35                       |                          |                              |
| 21-22                     | 8:50                       |                          |                              |
| 23-24                     | 9:05                       |                          |                              |
| 25-26                     | 9:20                       |                          |                              |
| 27-28                     | 9:35                       |                          |                              |
| 29-30                     | 9:50                       |                          | battery 80%                  |
| 31-32                     | 10:05                      |                          |                              |
| 33-34                     | 10:20                      |                          | battery 76%                  |
| 35-36                     | 10:35                      |                          |                              |
| 37-38                     | 10:50                      |                          |                              |
| 39-40                     | 11:05                      |                          |                              |
| 41-42                     | 11:20                      |                          | battery 69%                  |
| 43 -                      | 11:23                      |                          | Καταργώφιν 43-100 (tracking) |
| 101 → 102                 | 11:30<br>Κατάφωτο (έδαφος) |                          | tracking                     |
| 103 - 104                 | 11:36                      |                          |                              |
| 105 - 106                 | 11:40                      |                          | tracking - test              |
| 111-112                   | 11:50                      |                          |                              |
| 113-114                   | 12:05                      |                          |                              |

Page 2

| Α/Γ: NEG-MICON            |       | Όργανο: Leica TM30       |                    |
|---------------------------|-------|--------------------------|--------------------|
| Αρχείο:                   |       | Ύψος Οργάνου: 1,590      | Ύψος Στόχου: 1,460 |
| Κατάφωτο Εδάφους:         |       | H <sub>z</sub> = 0,0000  | V = 102,30992      |
| Κατάφωτο Ανεμογεννήτριας: |       | H <sub>z</sub> = 4,83320 | V = 55,30972       |
| Point I/D                 | Ώρα   | Θερμοκρασία [oC]         | ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ       |
| 115-116                   | 12:20 |                          |                    |
| 117-118                   | 12:35 |                          |                    |
| 119-120                   | 12:50 |                          |                    |
| 121-122                   | 13:05 |                          |                    |
| 123-124                   | 13:20 |                          | battery 52%        |
| 125-126                   | 13:35 |                          |                    |
| 127-128                   | 13:50 |                          |                    |
| 129-130                   | 14:05 |                          |                    |
| 131-132                   | 14:20 |                          | battery 45%        |
| 133-134                   | 14:35 |                          |                    |
| 135-136                   | 14:50 |                          |                    |
| 137-138                   | 15:05 |                          |                    |
| 139-140                   | 15:20 |                          | battery 38%        |
| 141-142                   | 15:35 |                          |                    |
|                           | 15:39 |                          | ακινητοποίηση      |
| 144-145                   | 15:50 |                          |                    |
|                           | 15:54 |                          | Επανεκκίνηση       |
| 146                       | 15:58 |                          | Κατάφωτο Α/Γ       |
| 147-148                   | 16:05 |                          |                    |
| 149-150                   | 16:20 |                          | battery 29%        |
| 151-152                   | 16:35 |                          |                    |
|                           | 16:37 |                          | Ακινητοποίηση      |
| 153-154                   | 16:50 |                          |                    |
| 155-156                   | 17:05 |                          |                    |
| 157-158                   | 17:20 |                          | battery 21%        |
| 159-160                   | 17:35 |                          |                    |
| 161-162                   | 17:50 |                          |                    |



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β



**Εικόνα 50: Συνεχής παρακολούθηση συμπεριφοράς σήραγγας σιδηροδρομικής γραμμής (Hong Kong Airport Express Line)**



**Εικόνα 51: Παρακολούθηση δυναμικής συμπεριφοράς τεχνικών έργων αυτοκινητόδρομου (Lucerne, Switzerland)**



Εικόνα 52: Παρακολούθηση εκσκαφής λατομείου (British Columbia, Canada)



Εικόνα 53: Παρακολούθηση μικρομετακινήσεων κτιριακών εγκαταστάσεων (Manhattan, New York)



Εικόνα 54: Παρακολούθηση μικρομετακινήσεων κτιριακών εγκαταστάσεων (Manhattan, New York)



| <b>LEICA TCA 1800 – Τεχνικά χαρακτηριστικά</b>             |              |
|--|--------------|
| <b>Μέτρηση γωνιών</b>                                      |              |
| Ακρίβεια οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών                 | ±3cc (1'')   |
| <b>Μέτρηση Αποστάσεων ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες</b> |              |
| Άσχημες  | 1200 – 1500m |
| Μέτριες  | 2500 – 3500m |
| Άριστες  | 3500 – 5000m |
| <b>Τρόποι μέτρησης αποστάσεων</b>                          |              |
| <b>Standard</b>  |              |
| Τυπικό Σφάλμα  | ±2mm ±2ppm   |
| Χρόνος μέτρησης  | 3 sec        |
| <b>Tracking</b>  |              |
| Τυπικό Σφάλμα  | ±5mm ±2ppm   |
| Χρόνος μέτρησης  | 0.3 sec      |
| <b>Rapid Tracking</b>                                      |              |
| Τυπικό Σφάλμα  | ±10mm ±2ppm  |
| Χρόνος μέτρησης  | 0.15 sec     |
| <b>Τηλεσκόπιο</b>  |              |
| Μεγέθυνση/Εικόνα   | 32x Ορθή     |
| <b>Μπαταρία (Εσωτερική)</b>                                |              |
| Τύπος/Volt   | NiCd/12V     |
| Χωρητικότητα   | 1.1Ah        |
| Χρόνος φόρτισης (ώρες)                                     | 14h          |
| Άλλες μπαταρίες  | Αυτοκινήτου  |
| <b>Βάρος</b>   | 5.9Kg        |

Πίνακας 6: Τεχνικά χαρακτηριστικά Leica TCA 1800

Table 6: Leica TCA 1800 specifications

**PERFORMANCE**

Scanning (not enabled on all models)

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Range <sup>1</sup> .....       | from 1 m up to 250 m (3.28 ft–820 ft)     |
| Speed <sup>2</sup> .....       | up to 15 points/sec, typical 5 points/sec |
| Minimum point spacing .....    | 10 mm (0.032 ft)                          |
| Standard deviation .....       | 3 mm @ ±150 m (0.0098 ft @ ±492 ft)       |
| Single 3D point accuracy ..... | 10 mm @ ±150 m (0.032 ft @ ±492 ft)       |
| Angle accuracy .....           | 1° (0.3 mgon)                             |
| Sensor type .....              | Absolute encoder with diametrical reading |

Automatic level compensator

|                |                    |
|----------------|--------------------|
| Type .....     | Centered dual-axis |
| Accuracy ..... | .05° (0.15 mgon)   |
| Range .....    | ±5.4' (±100 mgon)  |

Other distance measurement

Accuracy (RMSE)

|  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| Prism mode                                       |                                   |
| Standard .....                                   | .2 mm + 2 ppm (0.0065 ft + 2 ppm) |
| Standard deviation according to ISO17123-4 ..... | .1 mm + 2 ppm (0.003 ft + 2 ppm)  |
| Tracking .....                                   | .4 mm + 2 ppm (0.013 ft + 2 ppm)  |
| DR mode  |                                   |
| Standard .....                                   | .2 mm + 2 ppm (0.0065 ft + 2 ppm) |
| Tracking .....                                   | .4 mm + 2 ppm (0.013 ft + 2 ppm)  |

Measuring time

|                |         |
|----------------|---------|
| Prism mode     |         |
| Standard ..... | 1.2 sec |
| Tracking ..... | 0.4 sec |
| DR mode        |         |
| Standard ..... | 1–5 sec |
| Tracking ..... | 0.4 sec |

Range

Prism mode (under standard clear conditions<sup>3,4</sup>)

|                               |                                  |
|-------------------------------|----------------------------------|
| 1 prism .....                 | 2,500 m (8,202 ft)               |
| 1 prism Long Range mode ..... | 5,500 m (18,044 ft) (max. range) |
| Shortest possible range ..... | 0.2 m (0.65 ft)                  |

DR mode

|  | Good<br>(Good visibility, low ambient light) | Normal<br>(Normal visibility, moderate sunlight,<br>some heat shimmer) | Difficult<br>(Haze, object in direct sunlight,<br>turbulence) |
|--|--|--|---|
| White card (90% reflective) <sup>5</sup> | 1,300 m (4,265 ft)                           | 1,300 m (4,265 ft)   | 1,200 m (3,937 ft)  |
| Gray card (18% reflective) <sup>5</sup>  | 600 m (1,969 ft)                             | 600 m (1,969 ft)   | 550 m (1,804 ft)  |

Shortest possible range .....

DR Ranges (typically)

|                             |                            |
|-----------------------------|----------------------------|
| Concrete .....              | 600–800 m (1,968–2,624 ft) |
| Wood construction .....     | 400–800 m (1,312–2,624 ft) |
| Metal construction .....    | 400–500 m (1,312–1,640 ft) |
| Light rock .....            | 400–600 m (1,312–1,968 ft) |
| Dark rock .....             | 300–400 m (984–1,312 ft)   |
| Reflective foil 20 mm ..... | 1,000 m (3,280 ft)         |

Extended Range Mode

|  |                                  |
|--|----------------------------------|
| White Card (90% reflective) <sup>5</sup> ..... | 2,000–2,200 m                    |
| Gray Card (18% reflective) <sup>5</sup> .....  | 900–1,000 m                      |
| Accuracy .....                                 | 10 mm + 2 ppm (0.033 ft + 2 ppm) |

**ROBOTIC OPERATION**

Range<sup>6</sup>

|                                 |                            |
|---------------------------------|----------------------------|
| Passive prisms .....            | 500–700 m (1,640–2,297 ft) |
| Trimble MultiTrack Target ..... | .800 m (2,625 ft)          |

Autolock pointing precision at 200 m (656 ft) (Standard deviation)<sup>6</sup>

|                                 |                   |
|---------------------------------|-------------------|
| Passive prisms .....            | <.2 mm (0.007 ft) |
| Trimble MultiTrack Target ..... | <.2 mm (0.007 ft) |

Shortest search distance .....

Type of radio Internal/external .....

Search time (typical)<sup>6</sup> .....

Πίνακας 7: Τεχνικά χαρακτηριστικά Trimble VX

Table 7: Trimble VX specifications