

**ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ****Σταμάτης Δασκαλάκης**

Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ
Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ
Αθήνα, Ελλάδα
e-mail: stamdask@gmail.com

Βασίλης Γκίκας

Λέκτορας ΕΜΠ
Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ
Αθήνα, Ελλάδα
e-mail: vgikas@central.ntua.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συστηματική παρακολούθηση και ανάλυση της δυναμικής συμπεριφοράς των μεταλλικών κατασκευών έναντι σεισμικής δράσης, των εναλλασσόμενων φορτίσεων του ανέμου, του χιονιού και των μεταβολών της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ασφαλή λειτουργία τους. Παραδοσιακά, ο προσδιορισμός των κινηματικών χαρακτηριστικών μιας κατασκευής επιτυγχάνεται με έμμεσο τρόπο με χρήση αισθητήρων, όπως επιταχυνσιόμετρα και κλισίμετρα. Τα τελευταία χρόνια η εφαρμογή του συστήματος GPS (Global Positioning System) σε σχετικές εφαρμογές κατέδειξε τις δυνατότητες και τη συνεισφορά των γεωδαιτικών μεθόδων στην παρακολούθηση της δυναμικής συμπεριφοράς των μεταλλικών έργων. Παράλληλα, οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία των σύγχρονων γεωδαιτικών σταθμών αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου (Tracking Total Stations) καθιστούν τις συμβατικές γεωδαιτικές μεθόδους μια αξιόπιστη, εναλλακτική μέθοδο για την καταγραφή των κινηματικών χαρακτηριστικών αντίστοιχων κατασκευών. Σε αυτή την εργασία μελετάται διεξοδικά η εφαρμογή δορυφορικών και επίγειων γεωδαιτικών μεθόδων για την καταγραφή και ανάλυση της δυναμικής συμπεριφοράς των μεταλλικών κατασκευών. Παρουσιάζεται η βασική αρχή λειτουργίας τους, οι δυνατότητες και οι περιορισμοί τους. Η καταλληλότητα των μεθόδων αυτών τεκμηριώνεται με την παράθεση αποτελεσμάτων από την εφαρμογή τους σε πραγματικές κατασκευές.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη φάση σχεδιασμού μιας μεταλλικής κατασκευής η προεκτίμηση της απόκρισής της σε εξωτερικούς παράγοντες φορτίσεων στηρίζεται, είτε στην εφαρμογή κατάλληλων αριθμητικών μοντέλων τα οποία προϋποθέτουν γνώση των αναμενόμενων φορτίσεων που

επενεργούν στην κατασκευή και των φυσικών παραμέτρων της (υλικό, γεωμετρία, γήρανση), είτε στην πειραματική μέτρηση των αποκρίσεων ομοιωμάτων πολύ μικρότερης κλίμακας μέσω προσομοιωτών (π.χ. σεισμική τράπεζα, ανεμοσήραγγα). Ωστόσο, στην περίπτωση ειδικών έργων (όπως ευμεγέθεις, υψηλές, εύκαμπτες ή ιδιόμορφες κατασκευές) τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις δύο μεθόδους δεν μπορούν να περιγράψουν με πληρότητα και αξιοπιστία τη δυναμική συμπεριφορά των κατασκευών, εξ' αιτίας της πολυπλοκότητας τους, των χαρακτηριστικών του υπόβαθρου έδρασης, των μεταβαλλόμενων συνθηκών φόρτισής τους και των εργαστηριακών παραδοχών. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι επιβεβλημένη η παρακολούθηση των παραμορφώσεων (full-scale deformation monitoring) της κατασκευής. Η διαδικασία περιλαμβάνει καταγραφή των μεταβολών της γεωμετρίας του έργου στο χρόνο με τη λήψη μετρήσεων από αισθητήρες που εγκαθίστανται σε χαρακτηριστικά σημεία της κατασκευής. Η συγκριτική ανάλυση των υπολογισμένων (εκτιμώμενων από αριθμητικά μοντέλα) και μετρημένων μετατοπίσεων μπορεί να συμβάλλει ουσιαστικά στην ασφάλεια, στον έλεγχο των παραμέτρων σχεδιασμού και ενδεχομένως, να συνεισφέρει στην πληρέστερη κατανόηση του μηχανισμού παραμόρφωσης της κατασκευής.

Παραδοσιακά, η συστηματική παρακολούθηση και καταγραφή των παραμορφώσεων μιας μεταλλικής κατασκευής επιτυγχάνεται με μεθόδους πειραματικής μηχανικής που στηρίζονται στη λήψη μετρήσεων από επιταχυνσιόμετρα, κλισίμετρα και πιο πρόσφατα από αισθητήρες οπτικών ινών. Τα συστήματα αυτά μπορούν να προσδιορίσουν ικανοποιητικά τις συνιστώσες της δυναμικής συμπεριφοράς (συχνότητες ταλάντωσης) της κίνησης που παρουσιάζει μια κατασκευή – ωστόσο, υστερούν στον προσδιορισμό του εύρους της ταλάντωσης και των χαρακτηριστικών της ημι-μόνιμης (σταθερής ή σταδιακά μεταβαλλόμενης) παραμόρφωσης που συνεπάγεται η συνεχής φόρτιση της κατασκευής εξ' αιτίας του ανέμου και των βραδέων μεταβολών της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.

Σε αντίθεση με τις μεθόδους πειραματικής μηχανικής, οι γεωδαιτικές μέθοδοι παρέχουν άμεσα τη θέση (συντεταγμένες) των σημείων παρακολούθησης σε προκαθορισμένο σύστημα αναφοράς και με γνωστή χρονική αναφορά. Κατά συνέπεια, είναι δυνατός ο προσδιορισμός των μετατοπίσεων (displacements) στα σημεία καταγραφής της κατασκευής, καθώς και των κινηματικών χαρακτηριστικών τους (ταχύτητα, επιτάχυνση). Ιδιαίτερα σήμερα, με την εξέλιξη της τεχνολογίας των γεωδαιτικών οργάνων και μεθόδων είναι δυνατός ο προσδιορισμός των παραμέτρων ταλάντωσης μιας κατασκευής σε πραγματικό χρόνο με ακρίβεια καλύτερη από 0,01 Hz και 0,01 m.

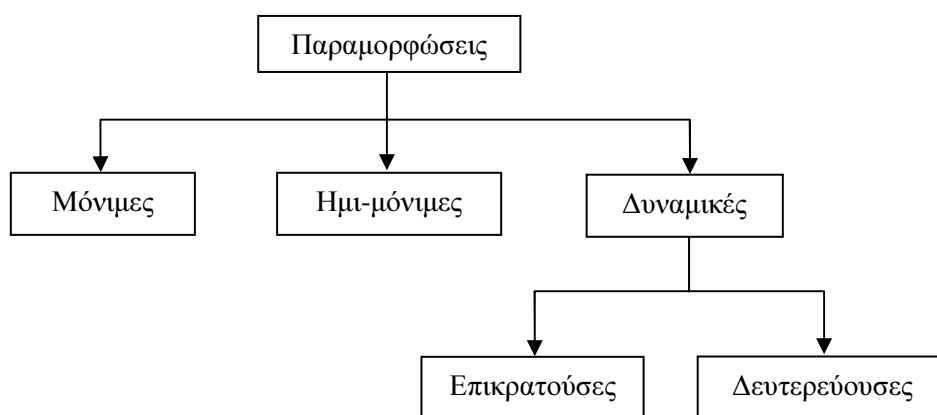
Η εργασία αυτή επικεντρώνεται σε δύο σύγχρονες γεωδαιτικές μεθόδους παρακολούθησης της κινηματικής συμπεριφοράς των κατασκευών. Ειδικότερα, εξετάζονται το δορυφορικό σύστημα εντοπισμού GPS και συστήματα γεωδαιτικών σταθμών αυτόματης αναγνώρισης και παρακολούθησης στόχου. Παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας κάθε συστήματος, οι δυνατότητες / περιορισμοί και οι προϋποθέσεις εφαρμογής τους. Έμφαση δίνεται στη διαδικασία υπολογισμού των παραμέτρων ταλάντωσης υψηλών μεταλλικών κατασκευών από πρωτογενείς μετρήσεις, καθώς και στις μετρήσεις ποιότητας (ακρίβεια, αξιοπιστία) που τις συνοδεύουν.

2. ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

Κάθε μεταλλική κατασκευή υπόκειται στην επίδραση εξωτερικών παραγόντων φόρτισης που οφείλονται κυρίως στη δύναμη του ανέμου, τις μεταβολές της θερμοκρασίας του

περιβάλλοντος και τη σεισμική δράση. Τα φορτία αυτά, ανάλογα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τον τρόπο έδρασης και τα υλικά της κατασκευής έχουν ως αποτέλεσμα τη γένεση παραμορφώσεων, οι οποίες είναι συνδυασμός μόνιμων, ημι-μόνιμων και δυναμικών συνιστωσών.

Μόνιμες παραμορφώσεις μπορεί να προκληθούν σε μία κατασκευή απότομα (π.χ. λόγω σεισμικής δράσης) ή προοδευτικά και ενδέχεται να έχουν ουσιαστική επίδραση στην στατική της επάρκεια. Αντίθετα, οι συνιστώσες παραμορφώσης ημι-μόνιμου και δυναμικού χαρακτήρα προκαλούνται από μικρο-μεταβολές της γεωμετρίας της κατασκευής, οι οποίες συνίστανται σε παροδική στατική μετατόπιση τμήματος της κατασκευής συνήθως προς μία κατεύθυνση και ταλάντωση γύρω από μια μέση θέση. Οι παραμορφώσεις αυτές, εφόσον βρίσκονται εντός των ορίων μελέτης, είναι αναμενόμενες και επιθυμητές και είναι το αποτέλεσμα της απορρόφησης της ενέργειας των μεταβαλλόμενων εξωτερικών φορτίσεων (π.χ. της δράσης του ανέμου). Ειδικότερα, η ημι-μόνιμη (ή ημι-στατική) συνιστώσα παραμόρφωσης εκφράζει τη μέση εκτροπή από τη θέση ηρεμίας της κατασκευής για ένα χρονικό διάστημα και σχετίζεται με μια σταθερή συνιστώσα φόρτισης μεγάλης περιόδου [1]. Αντίθετα, η δυναμική συνιστώσα αναφέρεται στις αποκρίσεις της κατασκευής με τη μορφή ταλαντώσεων και συχνότητες κόντα στην ιδιοσυχνότητά της κατασκευής και μπορεί να διακριθεί περαιτέρω σε επικρατούσες και δευτερεύουσες συνιστώσες. Η επικρατούσες συνιστώσες σχετίζονται με την απόκριση της κατασκευής κοντά στην ιδιοσυχνότητα ταλάντωσης, ενώ οι δευτερεύουσες εκφράζουν ένα πλήθος συχνοτήτων απορρόφησης και λαμβάνουν εν γένει μικρότερες τιμές από την τιμή της ιδιοσυχνότητας (Σχ. 1) [1].



Σχ. 1. Είδη παραμορφώσεων μεταλλικών κατασκευών

Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στη μέτρηση και τον προσδιορισμό των ημι-μόνιμων και κυρίως των δυναμικών συνιστωσών της παραμόρφωσης μεταλλικών κατασκευών οι οποίες εκτίθενται / επηρεάζονται έντονα από τις εξωτερικές φορτίσεις της δράσης του ανέμου και των θερμοκρασιακών μεταβολών του περιβάλλοντος. Η απόκριση κάθε κατασκευής στα αίτια αυτά εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι οποίοι μεταξύ άλλων σχετίζονται με τα ίδια χαρακτηριστικά της κατασκευής – κυρίως το μέγεθος, τα υλικά, τη γεωμετρική διάταξη κατασκευής, τον τρόπο έδρασης / στήριξης, το είδος των συνδέσμων. Στα αντικείμενα μελέτης και εφαρμογής περιλαμβάνονται κατασκευές όπως μεταλλικοί ιστοί, μεταλλικοί καπνοδόχοι, υψηλοί στύλοι φωτισμού, πυλώνες μεταφοράς υψηλής τάσης, γέφυρες, δικτυώματα, εναέρια δίκτυα καλωδίων, κ.α.

3.0 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Παραδοσιακά, η μελέτη του δυναμικού σκέλους των παραμορφώσεων μιας κατασκευής στηρίζεται στη χρήση επιταχυνσιόμετρων (accelerometers). Οι συσκευές αυτές παρέχουν με αξιοπιστία το φάσμα συχνοτήτων κίνησης μιας κατασκευής – ωστόσο, υστερούν στον υπολογισμό του εύρους της μετατόπισης, δεδομένου ότι η μετατροπή των μετρημένων επιταχύνσεων σε μετατοπίσεις απαιτεί την εφαρμογή διπλής ολοκλήρωσης. Μια εναλλακτική μέθοδος παρακολούθησης μεταλλικών κατασκευών βασίζεται στη χρήση κλισίμετρων (inclinometers). Ο προσδιορισμός της κλίσης στηρίζεται στη μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης μεταξύ ηλεκτροδίων στην ελεύθερη επιφάνεια αγωγίμου υγρού το οποίο ισορροπεί σε ειδική μικρο-κάψουλα στο εσωτερικό περίβλημα του οργάνου. Τα σύγχρονα κλισίμετρα για την παρακολούθηση των κατασκευών έχουν μικρό μέγεθος και βάρος και παρέχουν τη δυνατότητα μέτρησης σε δύο άξονες με ακρίβεια της τάξης του 0,001 mrad. Τα κλισίμετρα, όπως και τα επιταχυνσιόμετρα, μπορούν να τοποθετηθούν χωρίς καμία ουσιαστική επίδραση στην κατασκευή σε μεμονωμένα σημεία ενδιαφέροντος ανιχνεύοντας παραμορφώσεις και δημιουργώντας διασυνδεδεμένες συστοιχίες με κοινό καταγραφικό κέντρο. Η μεγάλη ευαισθησία του κλισιμέτρων στις θερμοκρασιακές μεταβολές καθώς και η αδυναμία λήψης αξιόπιστων μετρήσεων σε υψηλές συχνότητες (> 5 Hz) λόγω της αδράνειας του υγρού, τα καθιστούν μη ικανοποιητικά για την παρακολούθηση δυναμικών παραμορφώσεων υψηλής συχνότητας. Αντίθετα, δεδομένης της γεωμετρίας της κατασκευής, μπορούν να αποδώσουν ικανοποιητικά στον προσδιορισμό μόνιμων ή ημι-μόνιμων παραμορφώσεων. Εκτός από τις προηγούμενες μεθόδους, τα τελευταία χρόνια έχει διαδοθεί ευρέως η χρήση οπτικών ινών (optical fibre sensors). Στην περίπτωση αυτή ο υπολογισμός της παραμόρφωσης στηρίζεται στη μεταβολή της φυσικής κατάστασης (μήκος) του αισθητήρα παρατήρησης.

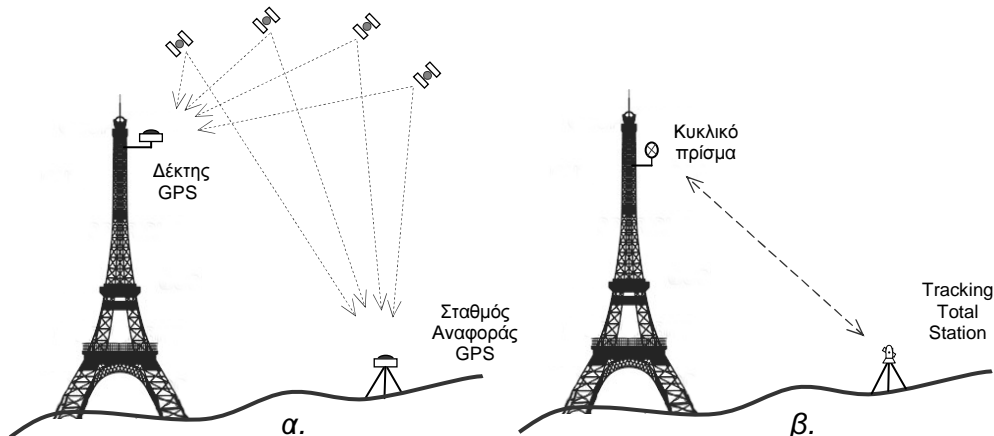
4.0 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ (GPS) ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ (TOTAL STATION) ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

4.1 Πρωτογενείς Παρατηρήσεις, Μεθοδολογία Μετρήσεων και Ακρίβεια Εντοπισμού

Σε αντιδιαστολή με τις μεθόδους πειραματικής μηχανικής, σύμφωνα με τις οποίες τα χαρακτηριστικά της κίνησης προσδιορίζονται από μετρήσεις μονοδιάστατων (μη χωρικών) μεγεθών, οι γεωδαιτικές μέθοδοι παρέχουν πρωτογενώς τη θέση του αισθητήρα μέτρησης ως προς κάποιο γνωστό σύστημα αναφοράς. Το δορυφορικό σύστημα εντοπισμού GPS βασίζεται σε μετρήσεις της φάσης του φέροντος σήματος, το οποίο λαμβάνουν δύο επίγειοι δέκτες από τους δορυφόρους του συστήματος. Ο ένας δέκτης (σταθμός αναφοράς) τοποθετείται σε σταθερό σημείο εκτός της κατασκευής και ο δεύτερος (κινούμενος) σε σημείο ελέγχου της κατασκευής, χωρίς ωστόσο να απαιτείται οπτική επαφή μεταξύ τους (Σχ. 2). Με την τεχνική του σχετικού κινηματικού εντοπισμού, τόσο με εκ των υστέρων ανάλυση των παρατηρήσεων (PPK-GPS), όσο και με τη δυνατότητα επεξεργασίας τους σε πραγματικό χρόνο (RTK-GPS), προσδιορίζεται η θέση του κινούμενου δέκτη ως προς το σταθερό με ακρίβεια της τάξης των μερικών χιλιοστών, ανεξάρτητα από τις συνθήκες του περιβάλλοντος ή άλλους εξωγενείς παράγοντες [2]. Βασικοί εγγενείς περιορισμοί του συστήματος που υποβαθμίζουν την ακρίβεια της μεθόδου είτε την καθιστούν ολοκληρωτικά ανεφάρμοστη αποτελεί η απαίτηση “ανοικτού ορίζοντα” (ώστε να εξασφαλίζεται η αδιάλειπτη λήψη του δορυφορικού σήματος από τουλάχιστον τέσσερις κοινούς δορυφόρους), η απουσία ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, καθώς και συνθήκες

που προκαλούν πολλαπλές διαδρομές στο σήμα GPS (multipath). Επίσης, σε εφαρμογές παρακολούθησης μεταλλικών κατασκευών πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πρακτικοί περιορισμοί εγκατάστασης των δεκτών / κεραιών και των παρελκόμενων τους, καθώς και ο περιορισμένος αριθμός των υποψήφιων σημείων ελέγχου. Επισημαίνεται ότι, για τις ανάγκες παρακολούθησης των κατασκευών, ορισμένα συστήματα σύγχρονων δεκτών GPS παρέχουν τη δυνατότητα μέτρησης με υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας (έως 20 Hz), χαρακτηριστικό που καλύπτει τις συχνότητες απόκρισης των περισσότερων μεταλλικών κατασκευών.

Η χρήση των γεωδαιτικών σταθμών στη δυναμική παρακολούθηση των κατασκευών βασίζεται στην δυνατότητα αυτόματης αναγνώρισης, παρακολούθησης και εκτέλεσης μετρήσεων προς κινούμενο στόχο. Η αρχή εντοπισμού σημείων στο χώρο με πολικές συντεταγμένες επιτυγχάνεται μέσω μετρήσεων αποστάσεων και γωνιών και τη βοήθεια ειδικής διάταξης κάμερας CCD. Η διαδικασία εκτελείται επαναλαμβανόμενα με αυτοματοποιημένο τρόπο και μεγάλη συχνότητα καταγραφής (έως 10 Hz), χωρίς να δημιουργείται ανάγκη χειροκίνητης σκόπευσης-μέτρησης ή άλλης παρέμβασης του παρατηρητή [2]. Ως στόχος χρησιμοποιείται ένα τοπογραφικό κυκλικό, το οποίο τοποθετείται σε επιλεγμένα σημεία της κατασκευής (Σχ.2). Το μετρητικό σύστημα λειτουργεί παθητικά, είναι απλό και εύχρηστο, δεν επιβαρύνει την κατασκευή και δεν απαιτεί ειδική εγκατάσταση πολύπλοκου μόνιμου εξοπλισμού δεδομένου ότι δεν περιλαμβάνει ηλεκτρομηχανικά μέρη. Βασικός περιορισμός της μεθόδου είναι η απαίτηση ανεμπόδιστης οπτικής επαφής μεταξύ οργάνου και στόχου και μεταξύ τους απόσταση να μην υπερβαίνει τα 500 m - 700 m.



Σχ. 2. Σχηματική αρχή λειτουργίας δορυφορικών και επίγειων γεωδαιτικών μεθόδων παρακολούθησης μεταλλικών κατασκευών.

Σημαντικοί παράγοντες υποβάθμισης της ακρίβειας της μεθόδου αποτελούν το μέγεθος της απόστασης οργάνου – στόχου, οι συνθήκες στο μέσο διάδοσης (ατμοσφαιρική διάθλαση), καθώς και τα χαρακτηριστικά του διανύσματος κίνησης του στόχου (διεύθυνση, ταχύτητα) σε σχέση με τη θέση του οργάνου. Εν γένει, το σφάλμα στον προσδιορισμό της θέσης κυμαίνεται από 0,005 m έως 0,01 m.

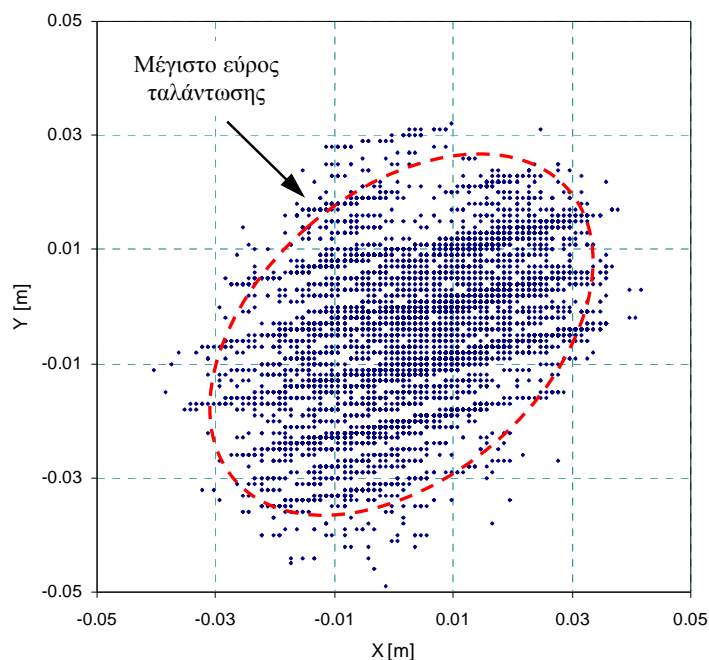
4.2 Υπολογισμός Παραμέτρων Κίνησης

Ο προσδιορισμός των παραμέτρων κίνησης της κατασκευής προκύπτει από τις υπολογισμένες θέσεις στα σημεία ελέγχου για τη χρονική περίοδο παρατήρησης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται καταρχήν τα διαγράμματα οριζοντιογραφίας, δηλαδή οι

προβολές των μετρημένων σημείων ελέγχου στο οριζόντιο επίπεδο, καθώς και οι χρονοσειρές των συνιστωσών μετατόπισής τους – συνήθως σε αυθαίρετο, τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς.

Με την μελέτη των διαδοχικών θέσεων που διέγραψε το σημείο ελέγχου της κατασκευής μπορεί να αναπαραχθεί και να αναλυθεί η κίνησή του, τόσο σε οριζοντιογραφία, όσο και στο χώρο. Με βάση τα διαγράμματα οριζοντιογραφίας μπορούν εύκολα να προσδιοριστούν για δεδομένο χρονικό διάστημα το εύρος της κίνησης του σημείου ελέγχου (μέγιστες μετακινήσεις από τη μέση θέση), η βασική διεύθυνση της μετατόπισης (κλίση βέλτιστα προσαρμοζόμενης ευθείας στο οριζόντιο επίπεδο), καθώς και οι συνιστώσες των ημι-μόνιμων μετακινήσεων (μέσες τιμές για δεδομένα χρονικά διαστήματα). Επιπρόσθετα, από την επεξεργασία των χρονοσειρών μετατόπισης στο πεδίο των συχνοτήτων και τη δημιουργία του περιοδογράμματος απόκρισης είναι δυνατός ο εντοπισμός των βασικών συχνοτήτων της κατασκευής και ο ποσοτικός συσχετισμός τους με τις δευτερεύουσες συχνότητες απορρόφησης. Παράλληλα δίδεται η δυνατότητα διασυσχέτισης των χρονοσειρών του αίτιου των παραμορφώσεων (π.χ. ανεμολογικά δεδομένα) με το αποτέλεσμα (χρονοσειρές μετακινήσεων).

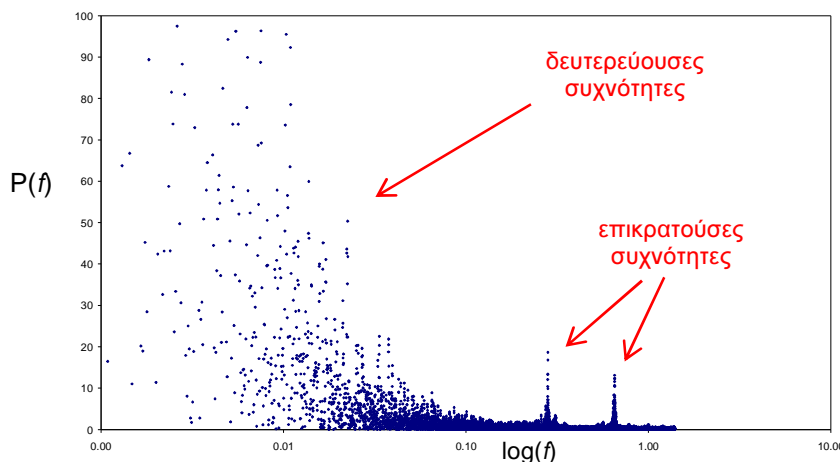
Στα πλαίσια της διερεύνησης των ακριβειών των δύο προαναφερθέντων γεωδαιτικών μεθόδων, στην εργασία [3] πραγματοποιήθηκε μεγάλος αριθμός πειραμάτων με τη βοήθεια ειδικής διάταξης παραγωγής ελεγχόμενων ταλαντώσεων (σεισμική τράπεζα) για διάφορες χαρακτηριστικές τιμές ταλάντωσης (συχνότητες 0,1 Hz – 2 Hz και εύρος $\pm 0,01$ m - $\pm 0,05$ m). Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων και τη σύγκριση τους με τις ονομαστικές τιμές διαπιστώθηκε ότι το ονομαστικό πλάτος της ταλάντωσης ($\Delta A/A\%$) μπορεί να προσδιοριστεί με μία μέση ακρίβεια μεταξύ 5% -15%, ενώ η ονομαστική συχνότητα με σχετική ακρίβεια ($\Delta f/f\%$) 4% και 0,4% για την επίγεια και τη δορυφορική μέθοδο αντίστοιχα.



Σχ. 3. Οριζοντιογραφία μετακινήσεων μεταλλικής κατασκευής λόγω φορτίσεων ανέμου

4.3 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων από Μετρήσεις Μεταλλικής Κατασκευής

Στην ενότητα αυτή παρατίθενται προκαταρκτικά αποτελέσματα και συμπεράσματα από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με εφαρμογή της επίγειας γεωδαιτικής μεθόδου και σκοπό την καταγραφή της απόκρισης υψηλής μεταλλικής κατασκευής σε έντονες φορτίσεις λόγω της δράσης του ανέμου. Ο στόχος (κατάφωτο) τοποθετήθηκε στην κορυφή της κατασκευής, ενώ οι μετρήσεις, συνολικής διάρκειας περίπου 30 min, αναφέρονται σε χαμηλής έντασης ανεμολογικές συνθήκες (~ 6 m/sec). Όπως γίνεται φανερό στο διάγραμμα οριζοντιογραφίας (Σχ. 3) το μέγιστο εύρος της ταλάντωσης είναι περίπου $\pm 0,03$ m, ενώ προκύπτει σαφώς μια κυρίαρχη διεύθυνση κίνησης. Στο λογαριθμικό διάγραμμα του φάσματος συχνότητας απόκρισης (περιοδόγραμμα) που ακολουθεί (Σχ. 4), γίνονται εμφανείς οι επικρατούσες συχνότητες της κατασκευής καθώς και το αναμενόμενο πλήθος δευτερευουσών συχνοτήτων απορρόφησης.



Σχ. 4. Φάσμα συχνοτήτων απόκρισης μεταλλικής κατασκευής λόγω φορτίσεων ανέμου

5.0 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία εξετάζει τη δυνατότητα προσδιορισμού των βασικών παραμέτρων της δυναμικής συμπεριφοράς μεταλλικών κατασκευών με τη χρήση επίγειων και δορυφορικών γεωδαιτικών μεθόδων. Σε συνδυασμό με τις μεθόδους τεχνικής μηχανικής, οι γεωδαιτικές μέθοδοι μπορούν να συνεισφέρουν αποτελεσματικά στον προσδιορισμό των στοιχείων της κινηματικής συμπεριφοράς των μεταλλικών έργων που οφείλονται σε εξωγενείς παράγοντες φόρτισης όπως ο άνεμος, η σεισμική δράση και οι μεταβολές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Βασικό πλεονέκτημα των γεωδαιτικών μεθόδων αποτελεί η δυνατότητα άμεσου υπολογισμού των μετατοπίσεων μιας κατασκευής. Το γεγονός αυτό επιτρέπει εκτός από τον προσδιορισμό των συχνοτήτων κίνησης και τον προσδιορισμό του εύρους της ημι-στατικής και δυναμικής συνιστώσας παραμόρφωσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Glanville M.J. and Kwok K.C.S. “Wind-Induced Deflections of Free-Standing Lattice Towers, *Engineering Structures*, Vol.19, No.1, 1997, pp. 79-91.
- [2] Schofield W. and Breach M. “Engineering Surveying”, Elsevier, Six Edition, Oxford, 2007, p. 622.
- [3] Gikas V. and Daskalakis S. “Comparative Testing and Analysis of RTS versus GPS for Structural Monitoring Using Calibration Measurements upon Sinusoidal Excitation”, 13th Symposium on Deformation Measurement and Analysis, Lisbon, 2008.

DEFORMATION MONITORING AND DYNAMIC BEHAVIOR ANALYSIS OF METALLIC STRUCTURES USING GEODETIC METHODOLOGY

Stamatis Daskalakis

Surveying Engineer

School of Rural and Surveying Engineering NTUA

Athens Greece

e-mail: stamdask@gmail.com

Vassilis Gikas

Lecturer NTUA

School of Rural and Surveying Engineering NTUA

Athens Greece

e-mail: vgikas@central.ntua.gr

1. ABSTRACT

Dynamic deformation monitoring of civil engineering works is indispensable to ensure their structural integrity, durability and reliability. Also, monitoring of structural dynamics can reveal their actual performance under severe loading (e.g. due to earthquakes, wind loads), which can provide extremely useful information for improving future design code. Such measurements are particularly critical for large, flexible steel structures and metallic structures of unusual design. Traditionally, the dynamic behavior of this type of structures has relied on instruments such as accelerometers, inclinometers and more recently fibre optical sensors. However, depending on the application, the response data provided by these methods impose two major limitations. Firstly, they normally require an integration process in order to compute relative displacements and secondly, they cannot measure accurately the swing of the total vibration which refers to the quasi-static component of motion in the case of complex kinematics. As opposed to mechanical measurement techniques, geodetic (surveying engineering) methods can compute directly the displacements and the kinematics of a structure. In the past, satellite (GPS - Global Positioning System) positioning methods have been applied successfully for the monitoring of tall buildings and bridges. More recently, with the advance in the technology (precision measurement and track recording frequency) of modern Total Stations the use of geodetic methods is further exploited.

In the first part of this paper a brief outline of the conventional mechanical methods for measuring the structural vibration and displacements of metallic structures is given. Then, the operating principles and the methodology of monitoring such structures by using GPS and Tracking Total Stations are reviewed. Also, some cases of monitoring data and analysis results of the motion / vibration parameters of metallic structures are given. The article concludes with a summary of the benefits / limitations and the potential of geodetic methodologies in deformation monitoring of metallic structures.