

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΙΣΤΟΥ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΜΕ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟ ΣΤΟΧΟ ΤΗΝ ΕΙΚΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΤΟΠΙΟ

Ανδρέας Σπηλιόπουλος¹

Μαρία-Ελένη Δασίου¹

¹Πολιτικοί Μηχανικοί, Υποψήφιοι Διδάκτορες

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ

Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, ΤΚ 15780, Αθήνα, Ελλάδα

e-mail: spiliopa@central.ntua.gr, medasiou@mail.ntua.gr

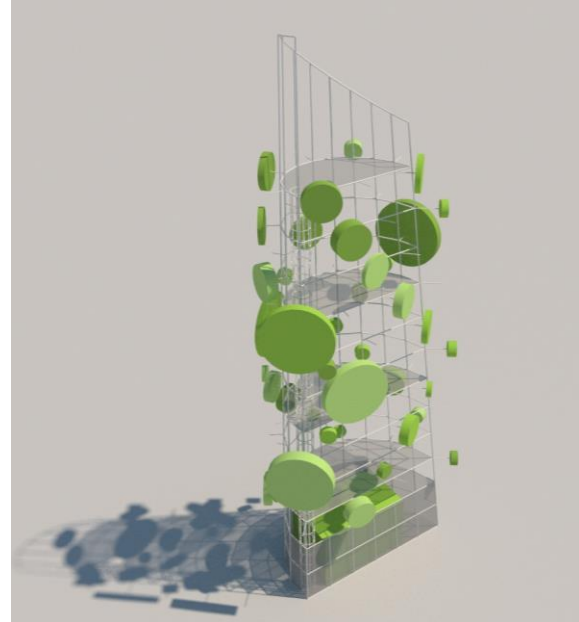
1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο παρόν άρθρο παρουσιάζεται η μελέτη και κατασκευή του ιστού τηλεπικοινωνιών της εταιρείας Cosmote στα νέα κτίρια γραφείων στην Παιανία. Στόχος και επιθυμία της εταιρείας για την συγκεκριμένη κατασκευή δεν αποτελούσε μόνο η κάλυψη των τηλεπικοινωνιακών αναγκών της περιοχής αλλά και η δημιουργία ενός «εικαστικού» έργου – συμβόλου των νέων εγκαταστάσεων της. Στο πλαίσιο αυτό αποφασίστηκε να μην χρησιμοποιηθεί η κλασική μορφή του δικτυωτού πύργου, που συναντάται στο σύνολο των σταθμών του δικτύου της, αλλά ενός ιστού μορφής ελλειπτικής σπείρας από κοίλες κυκλικές διατομές.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα πλαίσια μεταστέγασης της εταιρείας κινητής τηλεφωνίας Cosmote σε νέα κτίρια γραφείων στην Παιανία και με δεδομένη την ανάγκη δημιουργίας ενός σταθμού βάσης για την κάλυψη των αναγκών τους, αναπτύχθηκε η ιδέα της σχεδίασης και κατασκευής ενός ιστού τηλεπικοινωνιών, εναρμονισμένου με την λιτή και σύγχρονη αρχιτεκτονική σχεδίαση του κτιριακού συγκροτήματος, ο οποίος θα αποτελούσε ταυτόχρονα το έμβλημα των εγκαταστάσεων. Οι συνήθεις μορφές τέτοιου τύπου κατασκευών (Σχ.1α) ήταν προφανές ότι από αισθητικής απόψεως δεν κάλυπταν τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου έργου. Η λύση δόθηκε από το αρχιτεκτονικό γραφείο 'Κοκκίνου + Κούρκουλας και συνεργάτες' με τη σύλληψη μιας μορφής που διαφοροποιείται πλήρως από τα τετριμμένα ακολουθώντας το σχήμα μισής ελλειπτικής σπείρας μειούμενης καθ' ύψος και ελαφρώς κεκλιμένης σε σχέση με το κατακόρυφο επίπεδο. Η βασική μορφή συμπληρώνεται με την ένταξη στο εικαστικό αποτέλεσμα των απαραίτητων για τη λειτουργία του σταθμού κεραιών και των κατόπτρων, ο αριθμός και η θέση των οποίων αλλάζει ανάλογα των αναγκών, μεταβάλλοντας με την πάροδο του χρόνου το εικαστικό αποτέλεσμα και

δίνοντας ζωή, κατά μια έννοια, στο έργο (Σχ.1β). Τέλος πρέπει να αναφερθεί και η ένταξη του οικίσκου, που φιλοξενεί τον Η/Μ εξοπλισμό του σταθμού, στο σύνολο της κατασκευής ο οποίος εν αντιθέσει με την συνήθη πρακτική έχει τοποθετηθεί εντός του περιγράμματος του ιστού επί της βάσης του παρακάμπτοντας ταυτόχρονα με αυτόν τον τρόπο κανονιστικά προβλήματα το οικοδομικού κανονισμού.



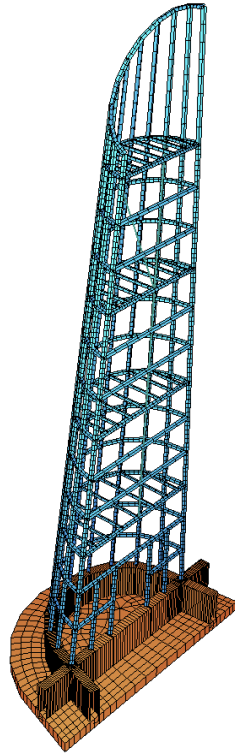
Σχ. 1 (α). Τυπική μορφή ιστού τηλεπικοινωνιών. Σχ. 1 (β). Φωτορεαλιστική απεικόνιση του ιστού.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ - ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

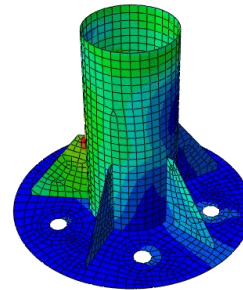
Ο ιστός είναι αυτοστήρικτος με συνολικό ύψος 22,00m, που αποτελεί και το μέγιστο επιτρεπόμενο στην περιοχή, φέρει διάσπαρτες κεραιές κινητής τηλεφωνίας και κάτοπτρα με διαστάσεις που ποικίλουν. Η κατασκευή αποτελείται από ημικυκλικό θεμέλιο ωπλισμένου σκυροδέματος επί του οποίου εδράζεται ο μεταλλικός φορέας της ανωδομής που συντίθεται από κοίλες κυκλικές διατομές διαμορφωμένες εν θερμώ. Στον ιστό προβλέπονται τέσσερα επίπεδα εργασίας με δάπεδο από μεταλλική εσχάρα στα οποία η πρόσβαση θα γίνεται από κλίμακα ανόδου με κατάλληλο σύστημα ασφαλείας. Οι κυματοδηγοί των κεραιών ακολουθούν προβλεπόμενη καθ' ύψος διαδρομή και καταλήγουν, στον στατικά ανεξάρτητο οικίσκο, που βρίσκεται τοποθετημένος στο επίπεδο του εδάφους και εντός του περιγράμματος του μεταλλικού ιστού. Ο προαναφερθείς οικίσκος, ο οποίος ακολουθεί το ελλειπτικό σχήμα λόγω της θέσης του, στεγάζει τον απαραίτητο για την λειτουργία του σταθμού μηχανολογικό εξοπλισμό και έχει μεταλλικό φέροντα οργανισμό και επικάλυψη – πλαγιοκάλυψη από πάνελ πολυουρεθάνης.

Η ανάλυση του φορέα έγινε μέσω του χωρικού προσομοιώματος που περιγράφεται αναλυτικά πιο κάτω με χρήση των προγραμμάτων της SofistiK GmbH. Λόγω της ιδιαιτερότητας της κατασκευής και με σκοπό να ληφθούν υπόψη τα φαινόμενα 2^{ης} τάξεως πραγματοποιήθηκε μη γραμμική ανάλυση, τόσο ως προς τη γεωμετρία όσο και ως προς τη συμπεριφορά των υλικών. Ο μεταλλικός φορέας της ανωδομής προσομοιώθηκε με γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία και στοιχεία καλωδίου, ενώ το θεμέλιο ωπλισμένου σκυροδέματος με τετρακομβικά επιφανειακά στοιχεία. Για την ακριβέστερη προσομοίωση της συμπεριφοράς της θεμελίωσης του ιστού και με σκοπό να ληφθεί υπόψη η

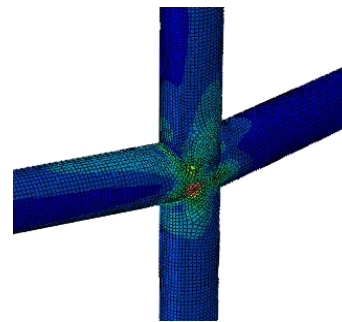
αλληλεπίδραση εδάφους - ανωδομής η έδραση των τετρακομβικών επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων υλοποιήθηκε μέσω μη γραμμικών ελατηρίων. Τα προαναφερθέντα ελατήρια παραλαμβάνουν μόνο θλιπτικές δυνάμεις και η δυσκαμψία τους υπολογίστηκε με βάση τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Στο σχήμα 2α παρουσιάζεται άποψη του τρισδιάστατου προσομοιώματος του συνόλου ανωδομής - θεμελίωσης.



Σχ. 2(α). Απεικόνιση του τρισδιάστατου προσομοιώματος της ανάλυσης.



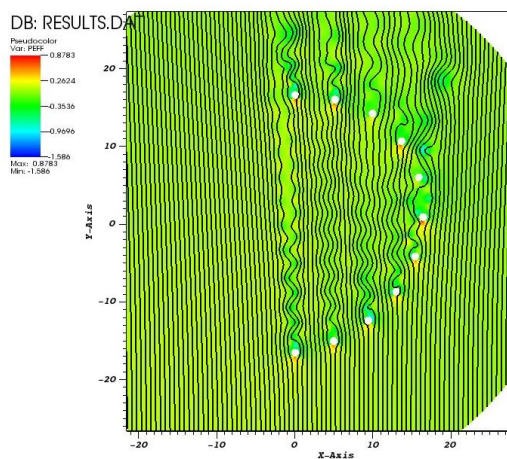
Σχ. 2(β). Προσομοίωμα Π.Σ. της έδρασης των ορθοστατών .



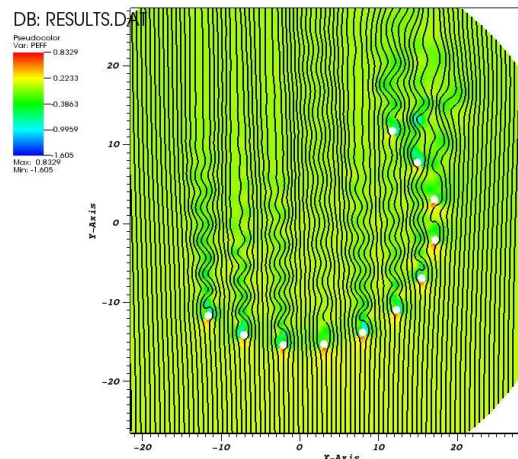
Σχ. 2(γ). Προσομοίωμα Π.Σ. τυπικού κόμβου ορθοστάτη - οριζοντίων δοκών .

4. ΦΟΡΤΙΑ ANEMOY

Εκτός των λοιπών φορτίων που ελήφθησαν υπόψη και αφορούν τα ίδια βάρη, τα ωφέλιμα φορτία, τις σεισμικές δράσεις και τις θερμοκρασιακές μεταβολές η φόρτιση του ανέμου χρήζει ιδιαίτερης αναφοράς. Αυτό διότι η συγκεκριμένη μορφή κατασκευής δεν καλύπτεται σαφώς από τους [4] και [7] ενώ επιπλέον η διάταξη των κεραιών δεν είναι δεδομένη τόσο ως προς τον αριθμό όσο και ως προς τη γεωμετρία. Για το λόγο αυτό έγινε μια παραμετρική διερεύνηση της συμπεριφοράς της κατασκευής εξετάζοντας την επιρροή των κεραιών τόσο ως θέση όσο και ως ποσότητα, με βάση τα δεδομένα που έδωσε ο κύριος του έργου. Από την παραπάνω διερεύνηση προέκυψαν οι δυσμενέστερες περιπτώσεις φόρτισης οι οποίες συνδυάστηκαν με τον άνεμο που δρα επί των μελών του φορέα. Λόγω του σχήματος του ιστού τόσο σε κάτοψη όσο και καθ' ύψος ο υπολογισμός των φορτίων του ανέμου επί των μελών δεν εμπίπτει πλήρως στα προβλεπόμενα των παραπάνω κανονισμών, αλλά ούτε και στη βιβλιογραφία [8,9] από την οποία προκύπτει ότι το βασικό κριτήριο ελέγχου του ποσοστού αλληλεπίδρασης των μελών τέτοιων κατασκευών είναι ο λόγος απόστασης/διάμετρο (L/D). Το όριο για την μετάβαση από σχετικά ομαλή σε τυρβώδη ροή είναι η τιμή 3,6 με τον ιστό να έχει τιμές από 6,7 έως 4,2 αναλόγως με τη στάθμη. Με σκοπό την ακριβέστερη προσέγγιση του αεροδυναμικού συντελεστή πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD) σε επίπεδα προσομοιώματα για διαφορετικές γωνίες προσβολής του ανέμου (Σχ. 3α και β)



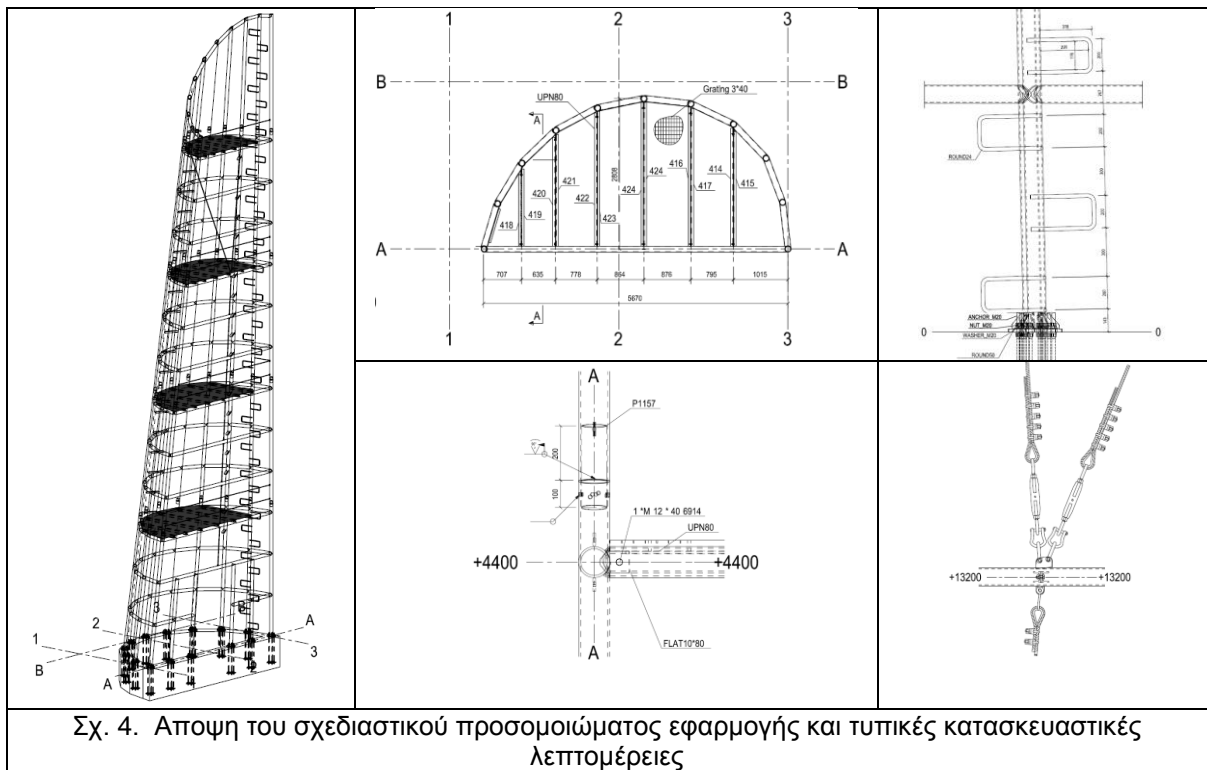
Σχ. 3 (α). Αποτελέσματα ανάλυσης για γωνία προσβολής 90° .



Σχ. 1 (β). Αποτελέσματα ανάλυσης για γωνία προσβολής 45° .

5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ

Όπως προαναφέρθηκε ο συγκεκριμένος ιστός, με διαστάσεις κάτοψης 6,3 μέτρα μήκος, 3,3 μέτρα πλάτος και 22,0 μέτρα ύψος, εκτός του πρακτικού μέρους της στήριξης των κεραιών κινητής τηλεφωνίας έπρεπε να πληροί και τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις του εικαστικού σκέλους του έργου, πράγμα μη σύνηθες για τέτοιου είδους κατασκευή. Οι περιορισμοί που έπρεπε να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό και την ανάλυση του φέροντος οργανισμού αφορούσαν αφενός τον τύπο και το μέγεθος των διατομών που θα συνθέταν τον φορέα, τον τύπο των συνδέσεων, την διατήρηση του οπτικού αποτελέσματος χωρίς αυτή να επηρεάζει και να επηρεάζεται από την λειτουργία του σταθμού. Έτσι λοιπόν ο ιστός θα έπρεπε να κατασκευαστεί από κοίλη κυκλική διατομή με σταθερή διάμετρο για όλα τα μέλη του ανεξάρτητα αν αυτά θα ήταν ορθοστάτες οι οριζόντιες δοκοί. Επίσης τα δάπεδα εργασίας θα έπρεπε να έχουν συνολικό πάχος (διαδοκίδωση και επικάλυψη) ίσο με τη διάμετρο των κυρίων μελών. Η συνέχεια του φορέα δεν θα έπρεπε να διακόπτεται από συνδέσεις τόσο στα κατακόρυφα όσο και στα οριζόντια μέλη του κελύφους ενώ οι κεραιές θα έπρεπε να στηρίζονται απευθείας επάνω του χωρίς την συνηθισμένη προσθήκη μηχανισμού στήριξης ο οποίος προσδίδει δυσανάλογο όγκο. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός προέβλεπε ως διάμετρο διατομής τα 100mm σε συνδυασμό με τις εγγύς διαμέτρους του εμπορίου οι οποίες είναι 101,6mm ή 114,3mm επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η διατομή $\varnothing 114,3\text{mm}$ με το πάχος να διαφοροποιείται κατά περίπτωση. Στην επιλογή αυτή συντέλεσαν δύο παράγοντες. Πρώτον βρίσκεται διαθέσιμη στο εμπόριο σε μεγαλύτερα πάχη από την $\varnothing 101,6\text{mm}$ και δεύτερον αποτελεί τη βασική διάμετρο βάση της οποίας κατασκευάζονται οι τυποποιημένες στηρίξεις των κεραιών, πράγμα που επιτρέπει την απ'ευθείας στήριξη τους στα μέλη του ιστού. Όσον αφορά τις συνδέσεις επιλέχθηκε ο ιστός να είναι συγκολλητός με περιορισμό των εργοταξιακών συγκολλήσεων στο ελάχιστο. Στο ευρύτερο πνεύμα της σχεδίασης εντάσσεται και η λύση που εφαρμόστηκε στην κατασκευή της κλίμακας ανόδου, με σκοπό την πρόσβαση στα επίπεδα εργασίας, μέσω κοίλων διατομών μικρής διαμέτρου συγκολλημένων σε έναν από τους ορθοστάτες (Σχ.4).



Σχ. 4. Αποψη του σχεδιαστικού προσομοιώματος εφαρμογής και τυπικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες

Λόγω της ασυμμετρίας του φορέα τόσο σε κάτοψη όσο και καθ' ύψος αλλά και της μεγάλης διαφοράς στην κατανομή των δυσκαμψιών ανά πλευρά η εντατική κατάσταση διαφοροποιείται σημαντικά τόσο εντός όσο και μεταξύ των μελών της κατασκευής. Με δεδομένη τη διάμετρο ($\varnothing 114,3\text{mm}$) των διατομών και με σκοπό την οικονομία της κατασκευής επιλέχθηκαν τα πάχη των μελών κατά περίπτωση με την μεγαλύτερη κατά το δυνατόν ομαδοποίηση. Παραταύτα οι διατομές των δύο οριζόντιων κύριων δοκών στα κατώτερα επίπεδα εργασίας, μήκους 5,7 και 5,10 μέτρων, και των δύο ακραίων ορθοστατών στα σημεία σύνδεσης με αυτές, ήταν ανεπαρκείς για το μεγαλύτερο διαθέσιμο πάχος που κατασκευάζονται. Η λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα δόθηκε μέσω της ανάρτησης της κύριας δοκού των δαπέδων εργασίας με σύστημα προεντεταμένων καλωδίων τα οποία ξεκινούν από το δάπεδο της στάθμης +4,40 και ακυρώνονται κάτω από το τελευταίο δάπεδο στη στάθμη +17,60. Ο έλεγχος των συνδέσεων έγινε επί το πλείστον μα βάση τον [10]. Ο έλεγχος επάρκειας της έδρασης των ορθοστατών αλλά και κάποιων από τους κόμβους των κοίλων κυκλικών διατομών, οι οποίοι ήταν εκτός των κατασκευαστικών ορίων που προβλέπει ο κανονισμός, πραγματοποιήθηκαν μέσω της ανάλυσης τρισδιάστατου προσομοιώματος επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων με το πρόγραμμα Abaqus (Σχ. 2β και γ).

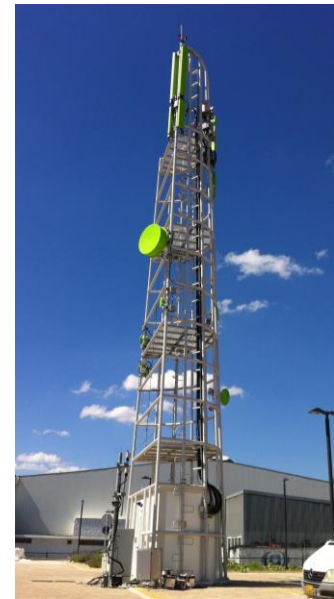
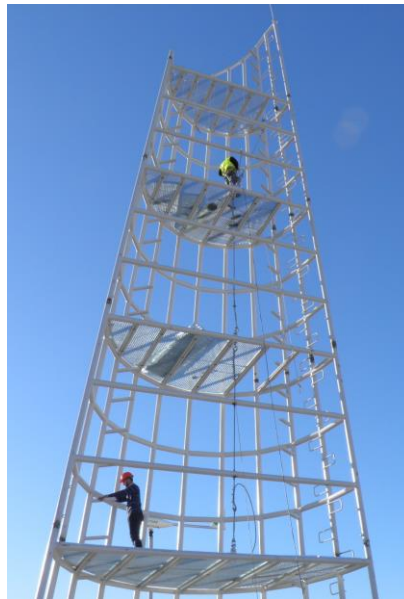
6. ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ - ΑΝΕΓΕΡΣΗ

Λόγω της ιδιαιτερότητας του σχήματος του ιστού ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε τόσο στην βιομηχανοποίηση όσο και στη μεθοδολογία ανέγερσης του φορέα. Ως βασική παράμετρος ορίστηκε η ελαχιστοποίηση του αριθμού των εργοταξιακών συγκολλήσεων και η εξασφάλιση της ορθής γεωμετρίας της κατασκευής. Για τους παραπάνω λόγους αποφασίστηκε η κατασκευή να αποτελείται από τον ελάχιστο αριθμό προκατασκευασμένων τμημάτων με διαστάσεις τέτοιες που να καθίσταται εφικτή η

μεταφορά τους στο χώρο του έργου. Έτσι λοιπόν ο ιστός χωρίστηκε σε τέσσερα καθ' ύψος προκατασκευασμένα συγκροτήματα των οποίων η συνέχεια θα αποκαθίστατο στο εργοτάξιο. Η ανέγερση του ιστού πραγματοποιήθηκε με την χρήση τηλεσκοπικού γερανού μικρής σχετικά ανυψωτικής ικανότητας (25tn). Μετά την κατασκευή του οικίσκου, πρώτο τοποθετήθηκε το τμήμα του ιστού που εδράζεται στο θεμέλιο και φτάνει μέχρι το ύψος των 4.40m. Μετά την τοποθέτηση του και την οριζοντίωση του προστίθενται τα δύο επόμενα τμήματα των οποίων έχει προηγηθεί η συναρμολόγηση, επί του εδάφους, σε παρακείμενη του ιστού θέση. Αμέσως μετά, έγινε η αποκατάσταση της συνέχειας των τεσσάρων από τα δεκαπέντε υποστυλώματα με εσωραφές πλήρους διείσδυσης ενώ τα υπόλοιπα 11 απλώς θα συνδεθούν προσωρινά με σκοπό να εξασφαλιστεί η γεωμετρία του ιστού για το υπόλοιπο της ανέγερσης.



Σχ. 5 (α). Απόψεις του ιστού στη φάση κατασκευής.



Σχ. 5 (β). Αποψη του ολοκληρωμένου ιστού.

Η διαδικασία επαναλήφθηκε ακόμα μια φορά με την οποία ολοκληρώθηκε η ανέγερση του ιστού. Ακολούθησε η ολοκλήρωση των συγκολλήσεων σε όλες τις θέσεις αποκατάστασης των υποστυλωμάτων οι οποίες ελέγχθηκαν ως προς την ποιότητα τους μέσω διεισδυτικών υγρών [11],[12]. Σημειώνεται ότι η τοποθέτηση των δαπέδων εργασίας έγινε στο έδαφος πριν την ανέγερση του εκάστοτε τμήματος. Η κατασκευή της ανωδομής ολοκληρώθηκε με την τοποθέτηση και η προένταση των καλωδίων ανάρτησης στις κύριες δοκούς των δαπέδων εργασίας. Οι εργασίες ολοκληρώθηκαν με έγχυση μη συρρικνούμενης τσιμεντοκονίας μεταξύ των πλακών έδρασης και του εξ οπλισμένου σκυροδέματος θεμελίου (Σχ. 5α και 5β).

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εναλλακτική προσέγγιση στο σχεδιασμό ακόμα και κατασκευών προσανατολισμένων πλήρως στην εξυπηρέτηση τεχνολογικών εφαρμογών επιτρέπει την μετατροπή τους σε εικαστικά έργα τα οποία μπορούν να ενταχθούν αρμονικά η ακόμα και να αναδείξουν το εγγύς περιβάλλον.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΕΚΩΣ 2000. Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος-έκδοση 2000
- [2] Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000 - ΕΑΚ-2000, ΦΕΚ 781-18/6/2003, ΦΕΚ1154-12/8/2003
- [3] EN 1090-2: Execution of steel structures and aluminium structures
- [4] EN 1991-1-4 ,Eurocode 1: Actions on structures-Part 1-4: General actions- Wind actions, CEN, European Committee for Standardisation, 2005.
- [5] EN 1991-1-5 ,Eurocode 1: Actions on structures-Part 1-5: General actions- Thermal actions, CEN, European Committee for Standardisation, 2003.
- [6] EN 1993-1-1 ,Eurocode 3: Design of steel structures-Part 1-1: General rules and rules for buildings, CEN, European Committee for Standardisation, 2003.
- [7] EN 1993-3-1 ,Eurocode 3: Design of steel structures-Part 3-1: Part 3.1 : Towers, masts and chimneys – Towers and masts , CEN, European Committee for Standardisation, 2005.
- [8] P. Catalano, Meng Wang, G. Iaccarino, P. Moin, ‘Numerical simulation of the flow around a circular cylinder at high Reynolds numbers’, International Journal of Heat and Fluid Flow 24 (2003) 463–469
- [9] Z. Han, D. Zhou , X. Gui, ‘Flow past two tandem circular cylinders using Spectral element method’, The Seventh International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications, Shanghai, China; September 2-6, 2012
- [10] EN 1993-1-8: Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints
- [11] BS EN 1011-1998:Welding. Recommendations for welding of metallic materials, General guidance for arc welding.
- [12] EN 1289-1998: Non destructive examination of welds – Penetrant testing of welds – Acceptance levels.

ALTERNATIVE DESIGN OF TELECOMMUNICATION MAST WITH ARTISTIC INTERVENTIONS IN THE URBAN LANDSCAPE

Andreas Spiliopoulos¹

Maria-Eleni Dasiou¹

¹Civil Engineers, PhD Candidates

Institute of Steel Structures, School of Civil Engineering, National Technical University of Athens, Zografou Campus, 15780, Greece

e-mail: spiliopa@central.ntua.gr, medasiou@mail.ntua.gr

ABSTRACT

In the current paper the study and construction of the telecommunication mast of 'Cosmote' company at the new office buildings in Paiania, Athens is presented. The main aim and aspiration of the project was not only to meet the telecommunications needs of the region but to create a form of artwork - symbol for their new facilities. Therefore it was decided to avoid the use of the classic lattice tower shapes and create an elliptical spiral mast composed of circular hollow sections.