

ΙΣΤΟΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΜΕ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΑΠΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ**Ανδρέας Σπηλιόπουλος¹, Βασίλειος Κάρλος¹**¹Υποψήφιοι διδάκτορες

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Αθήνα, Ελλάδα

e-mail: spiliopa@central.ntua.gr**1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Το αλουμίνιο είναι ένα νέο σχετικά υλικό με εμπορική παραγωγή που δεν ξεπερνάει τα 153 έτη. Η ολοένα και πιο εκτεταμένη χρήση του υλικού παρείχε τη δυνατότητα να αρχίσει αυτό να χρησιμοποιείται σε πιο εξειδικευμένες περιπτώσεις κατασκευών. Μία από αυτές τις περιπτώσεις κατασκευών είναι και οι ιστοί τηλεπικοινωνιών. Η ιδιότητα του υλικού που συνδυάζει μεγάλη αντοχή με μικρότερο βάρος σε σχέση με τον χάλυβα παρείχε τη δυνατότητα κατασκευής ιστών με σημαντικές διευκολύνσεις στον τομέα της μεταφοράς και τοποθέτησης. Η ανάλυση των ιστών αυτών λόγω του ιδιαίτερου σχήματος που τους χαρακτηρίζει πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια πεπερασμένων στοιχείων, τα οποία παρείχαν τη δυνατότητα διεξαγωγής συμπερασμάτων ως προς την τελική αντοχή σε όρους τάσεων και παραμορφώσεων, βοηθώντας και στην βελτιστοποίηση της όλης κατασκευής. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η διαδικασία ελέγχου και βελτιστοποίησης διαφόρων τύπων ιστών που κατασκευάστηκαν με βάση των Ευρωκώδικα 9. Επίσης παρουσιάζεται η συμπεριφορά των ιστών σε διάφορες περιπτώσεις φορτίσεων που καθορίζονται από τον Ευρωκώδικα 3.1.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένας από τους μεγαλύτερους τομείς εφαρμογής των μεταλλικών κατασκευών παγκοσμίως είναι αυτός των τηλεπικοινωνιών. Οι επικοινωνίες σταθερής και κινητής τηλεφωνίας καθώς και οποιασδήποτε άλλης ζεύξης απαιτούν κεραίες οι οποίες τοποθετούνται είτε πάνω σε υπάρχοντα κτίρια, είτε σε αυτοστήρικτους ιστούς των οποίων η μορφή το ύψος και το στατικό σύστημα διαφέρει ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες. Τα βασικά κριτήρια σχεδιασμού τέτοιων συστημάτων είναι η απλότητα στην συναρμολόγηση και την τοποθέτηση με το μικρότερο δυνατό βάρος, το οποίο αποτελεί καθοριστικό παράγοντα καθώς η χρήση μηχανικών μέσων ανύψωσης αυξάνει σημαντικά το κόστος ενώ πολλές φορές είναι αδύνατη λόγω της θέσης του ιστού.

Μέχρι σήμερα η συντριπτική πλειοψηφία των αυτοστήρικτων ιστών έχει ως υλικό κατασκευής τον χάλυβα, πρακτική που οδηγεί συνήθως σε κατασκευές μεγάλου βάρους με τα δυσμενή επακόλουθα που προαναφέρθηκαν. Επιπλέον απαιτείται αντιδιαβρωτική προστασία και διαρκής συντήρηση, ειδικά σε ιστούς που βρίσκονται κοντά σε οξειδωτικό περιβάλλον (πχ. θάλασσα).

Αντίθετα, η ολοένα αυξανόμενη χρήση του αλουμινίου σε κατασκευές πολιτικού μηχανικού και η βελτίωση των μεθόδων κατεργασίας του άνοιξαν το δρόμο και για τη χρήση του στο συγκεκριμένο τομέα. Η χρήση του αλουμινίου έχει ευνοϊκά αποτελέσματα ως προς το βάρος της συνολικής κατασκευής και την ευκολία τοποθέτησης. Επιπλέον αυξάνεται η αντοχή στο χρόνο καθώς η ανθεκτικότητα του αλουμινίου στη διάβρωση είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του χάλυβα χωρίς ειδική επεξεργασία.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η συμπεριφορά διαφόρων μορφών ιστών τηλεπικοινωνίας από αλουμίνιο και γίνεται σύγκριση με αυτή των αντίστοιχων από χάλυβα. Η ανάλυση γίνεται με πεπερασμένα στοιχεία, με χρήση του προγράμματος ABAQUS λαμβάνοντας υπόψη τη μη γραμμικότητα του υλικού καθώς και την επίδραση των φαινομένων 2^{ας} τάξεως.

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων γίνεται προσπάθεια εξαγωγής συμπερασμάτων ως προς τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των δύο υλικών τόσο από τεχνικής όσο και οικονομικής απόψεως, ενώ γίνεται μια προσπάθεια θέσπισης κριτηρίων επιλογής καθενός εκ των δύο υλικών ανάλογα με τις απαιτήσεις σχεδιασμού του εκάστοτε φορέα.

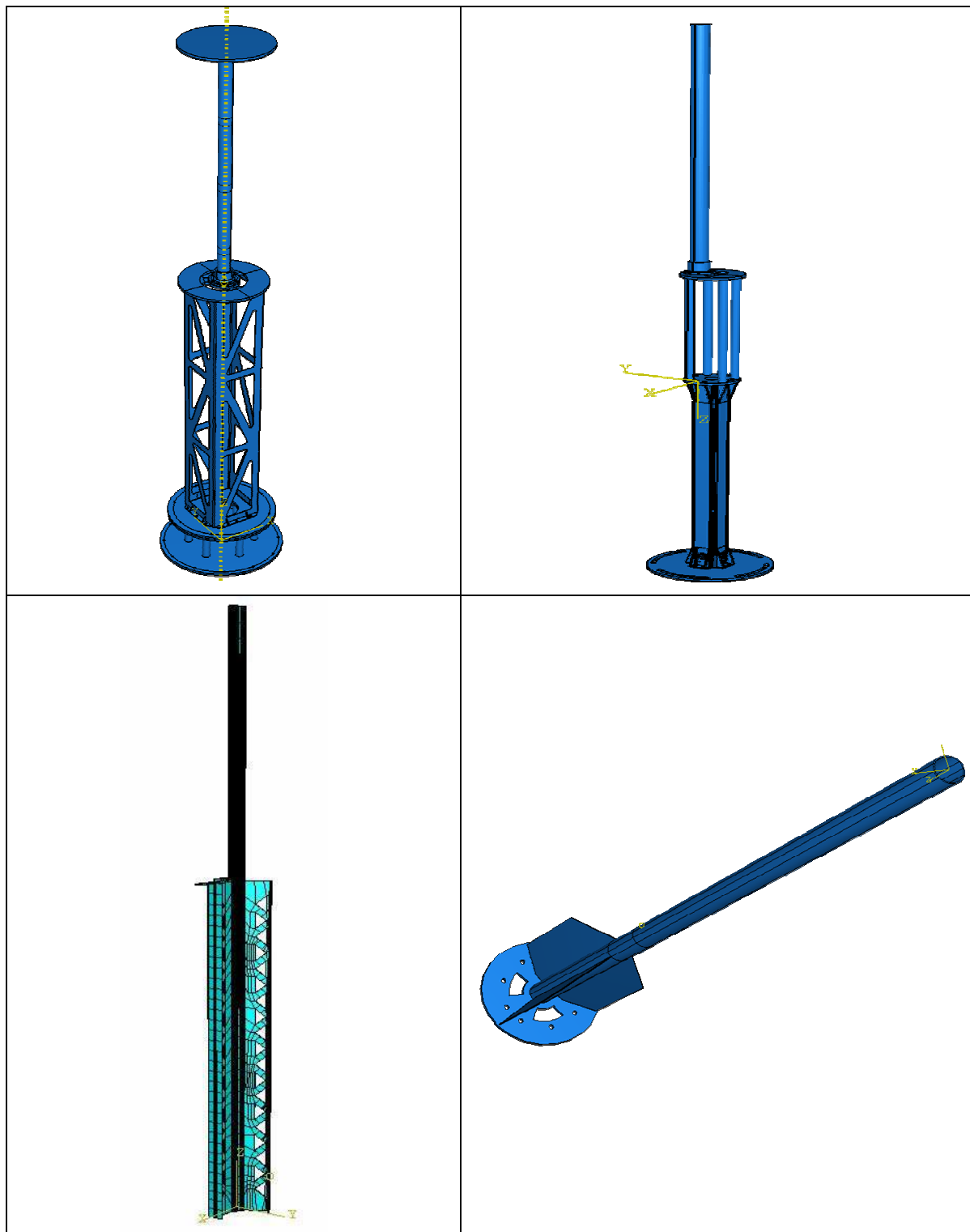
3. ΓΕΝΙΚΑ

Το αλουμίνιο είναι ένα νέο σχετικά υλικό με εμπορική παραγωγή που δεν ξεπερνάει τα 153 έτη. Βρίσκεται στη φύση και είναι το τρίτο εν αφθονία στοιχείο αυτής σε ποσοστό 8%. Είναι ανθεκτικό, ελαστικό, αδιαπέρατο, ελαφρύ με υψηλή αντοχή στη διάβρωση και 100% ανακυκλώσιμο. Παράγεται από την αλουμίνα η οποία με τη σειρά της προέρχεται από την επεξεργασία του βωξίτη. Είναι εξαιρετικά ‘πολύπλευρο’ υλικό και παίρνει διάφορες μορφές ανάλογα με την επεξεργασία που υπόκειται (χύτευση, εξέλαση κλπ.). Τα μηχανικά του χαρακτηριστικά ποικίλουν ανάλογα με την επιλεχθείσα ποιότητα. Στις κατασκευές που περιγράφονται στη συγκεκριμένη εργασία το κράμα αλουμινίου που χρησιμοποιείται είναι το 606350 του οποίου η τάση διαρροής είναι $f_y=200$ Mpa, η τάση θραύσης $f_u=230$ Mpa, η μήκυνση στη θραύση $\varepsilon_{ult} = 17\%$, το μέτρο ελαστικότητας $E=70$ Mpa και η πυκνότητα του $\rho= 2700\text{kg/m}^3$. Παρατηρούμε από τα παραπάνω ότι οι τιμές της αντοχής της τάσης διαρροής είναι συγκρίσιμη με αυτής του δομικού χάλυβα ποιότητας S235 ($f_y=235$ Mpa). Σε σύγκριση με την εν λόγω ποιότητα χάλυβα παρατηρείται μια σημαντική απόκλιση όσον αφορά την αντοχή σε τάση θραύσης καθώς και στην τιμή του μέτρου ελαστικότητας που είναι τρεις φορές μικρότερο, ενώ αντιθέτως η πυκνότητα του χάλυβα είναι περίπου τρεις φορές μεγαλύτερη $\rho= 7850\text{kg/m}^3$. Συνεπώς μια διατομή αλουμινίου θα αντέχει περίπου αντίστοιχο φορτίο ελαστικά με την ίδια χαλύβδινη θα ζυγίζει τρεις φορές λιγότερο και θα παραμορφωθεί τρεις φορές περισσότερο. Με τη χρήση λοιπόν του αλουμινίου μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν πέντε νέοι τύποι αυτοστήρικτων ιστών κινητής τηλεφωνίας με ύψη από 3,0 έως 5,5 μέτρα, οι οποίοι προβλέπεται να τοποθετούνται σε δώματα κτηρίων.

4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΟΡΕΩΝ - ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Η μορφή των φορέων ποικίλει όσον αφορά στην τελική εξωτερική διάμετρο του ιστού αλλά και όσον αφορά το στατικό τους σύστημα (Σχήμα 1). Οι ιστοί σχεδιάστηκαν ώστε να φέρουν από μία έως τρεις ηχοστήλες κινητής τηλεφωνίας και έως ένα κάτοπτρο διαμέτρου 60 εκ. έως 80 εκ. , ανάλογα με τον τύπο. Τα φορτία ανέμου προέκυψαν βασιζόμενοι σε ταχύτητα αναφοράς (v_{ref}) που ποικίλει από τα 150 km/h έως τα 200 km/h όσον αφορά τη λειτουργικότητα και από τα 185 km/h έως τα 200 km/h όσον αφορά την οριακή

κατάσταση αστοχίας. Για τα φορτία ανέμου χρησιμοποιήθηκε ως βάση ο Ευρωκώδικας 3 μέρος 3-1 σε συνδυασμό με τον Ευρωκώδικα 1. Όσον αφορά τα σεισμικά φορτία αυτά προέκυψαν από τον ΕΑΚ 2000 για σεισμική ζώνη ΙΙΙ και συντελεστή συμπεριφοράς $q=1,5$. Επίσης έχει προβλεφθεί φορτίο πάγου πάχους ίσου με 30mm περιμετρικά του ιστού. Βασική παράμετρος σχεδιασμού ήταν το μικρό βάρος των τμημάτων που τον αποτελούν και το οποίο δεν θα έπρεπε να ξεπερνά τα 30 kg ανά εξάρτημα.



Σχ. 1.: Τύποι ιστών.

Είναι προφανές ότι όσο λιγότερα εξαρτήματα αποτελούν ένα ιστό τόσο οικονομικότερος είναι αφού το κόστος συναρμολόγησης στο πεδίο μειώνεται δραματικά. Ο σχεδιασμός λοιπόν του φορέα έλαβε υπόψη τις λοιπές απαιτήσεις της κατασκευής (πρακτικές και λειτουργικές) πράγμα που είχε σαν αποτέλεσμα ο φέρων οργανισμός να αποτελεί και ενεργό τμήμα του συνόλου. Επιπλέον πολύ σημαντική παράμετρος είναι η ρύθμιση των ηλεκτρονικών στοιχείων του ιστού να γίνει στο εργαστήριο (που είναι και το ενδεδειγμένο) και όχι στο πεδίο. Αυτό προϋποθέτει το τμήμα του ιστού που φέρει τις ηχοστήλες να μην υπερβαίνει τα 40 kg μαζί με αυτές.

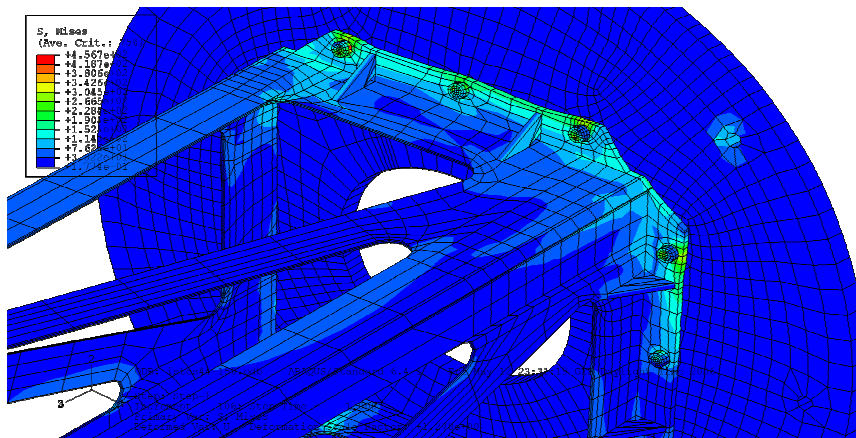
5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

5.1 Προσομοίωση

Για την ανάλυση των ιστών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ABAQUS ver. 6.5. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τρισδιάστατα εξαεδρικά οκτακομβικά πεπερασμένα στοιχεία, ενώ ελήφθησαν υπόψη φαινόμενα δευτέρας τάξεως προκειμένου να προσομοιωθούν τυχόν φαινόμενα λυγισμού. Σε κάθε μοντέλο που αναλύθηκε χρησιμοποιήθηκαν περισσότερα από 7000 στοιχεία, τα οποία είναι πυκνότερα στην περιοχή της των επαφών ανάμεσα στα μέλη του ιστού (Σχήμα 2). Αυτό έγινε για την πιο λεπτομερή αποτίμηση των κρίσιμων περιοχών που περιλαμβάνουν τους κοχλίες και οι οποίες είναι οι πιο επικίνδυνες να αστοχήσουν. Για τις επαφές μεταξύ των μελών αυτών χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία επαφής ώστε να αποτραπεί η εισχώρηση του ενός μέλους στο άλλο. Τα φορτία επιβλήθηκαν στις προβλεφθείσες, κατά το σχεδιασμό, θέσεις του ιστού ενώ και όλη η κατασκευή εδράστηκε, στο κάτω άκρο της, σε μεταλλική πλάκα το πάχος της οποίας βελτιστοποιήθηκε μέσω των αναλύσεων. Η στήριξη του συνόλου έγινε μέσω κατάλληλων συνοριακών συνθηκών οι οποίες προσομοίωσαν κατά τον καλύτερο τρόπο την πραγματική συμπεριφορά (αγκύρια με περικόχλια ρύθμισης σε πλάκα σκυροδέματος). Το πρόγραμμα παρέχει την δυνατότητα καταγραφής των τάσεων, παραμορφώσεων και μετακινήσεων σε κάθε κόμβο. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εφικτός ο άμεσος εντοπισμός των σημείων της κατασκευής που πιθανόν να έχουν διαρρεύσει ενώ εμφανίζονται οι περιπτώσεις όπου οι μετακινήσεις υπερβαίνουν τις απαιτούμενες από τον κανονισμό.

Ο νόμος του υλικού που χρησιμοποιήθηκε στο πρόγραμμα εισάγεται ως μια σειρά τιμών τάσεων-παραμορφώσεων που έχουν προκύψει από πειραματικά δεδομένα. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με την επιβολή στατικών φορτίσεων, οπότε δεν χρειάστηκε να εισαχθούν νόμοι υλικού που θα λαμβάνουν υπόψη τους την επιρροή των φαινομένων Bauschinger που συναντώνται σε ανακυκλιζόμενες φορτίσεις.

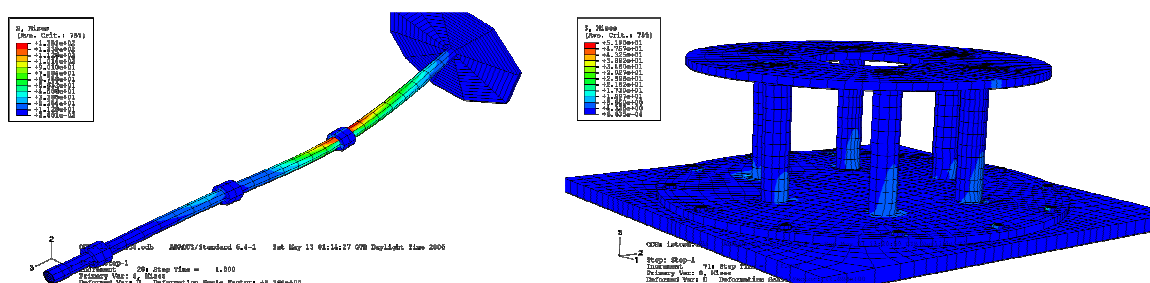
Σε περιπτώσεις όπου είχαμε μεγάλες τάσεις και παραμορφώσεις στους κοχλίες χρησιμοποιήθηκε η τεχνική των υπομοντέλων που παρέχεται από το πρόγραμμα των πεπερασμένων στοιχείων. Μετά την ανάλυση του καθολικού μοντέλου κατασκευαζόταν ένα νέο το οποίο περιλάμβανε μόνο την περιοχή του μεγαλύτερα καταπονούμενου κοχλία. Η λεπτομερής ανάλυση της περιοχής περιμετρικά αυτού του κοχλία επέβαλλε την ανάλυση ενός μοντέλου ολόκληρης της σύνδεσης, στο οποίο καταγράφονταν οι μετατοπίσεις στην περιοχή της συγκόλλησης. Στη συνέχεια οι μετατοπίσεις αυτές χρησίμευαν ως συνοριακές συνθήκες για την απόκριση του υπομοντέλου. Οι μετακινήσεις δηλαδή των κόμβων στα άκρα του υπομοντέλου καθορίζονται από τις μετακινήσεις των αντίστοιχων κόμβων στο μοντέλο ολόκληρης της σύνδεσης. Η χρήση των υπομοντέλων επιτρέπει τη χρήση πιο εκτεταμένης διακριτοποίησης στην κρίσιμη περιοχή και την καλύτερη καταγραφή του ιστορικού φόρτισης του εκάστοτε κοχλία, το οποίο είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί στο σύνολο του μοντέλου καθώς θα οδηγούσε σε πολύ μεγάλους χρόνους ανάλυσης.



Σχ. 2: Άποψη διακριτοποίησης.

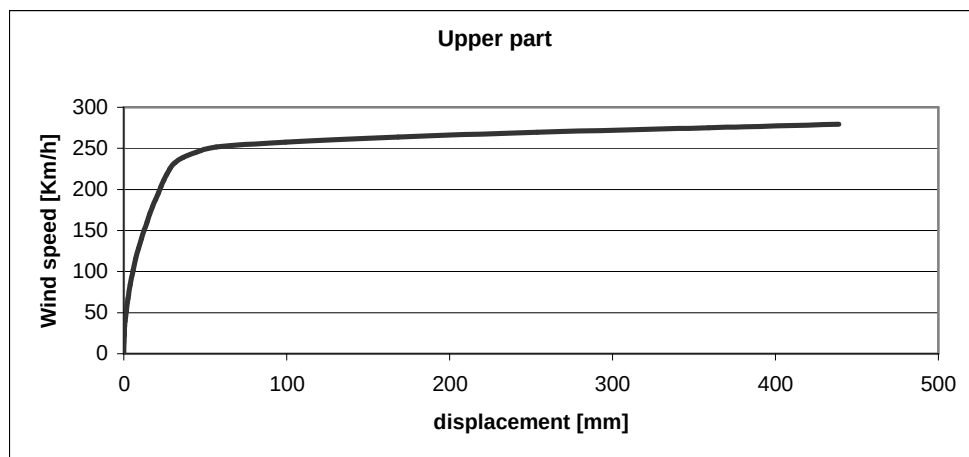
5.2 Αποτελέσματα

Ο παραπάνω τρόπος προσομοίωσης παρείχε τη δυνατότητα της παραμετρικής διερεύνησης της συμπεριφοράς κάθε ιστού αλλά και ειδικότερα των επιμέρους τμημάτων που τον αποτελούν. Μέσω των αναλύσεων έγινε βελτιστοποίηση των διατομών όσον αφορά το πάχος τους αλλά και των απαιτούμενων, σε πολλές περιπτώσεις, νευρώσεων ενίσχυσης που χρησιμοποιήθηκαν. Τα τμήματα του ιστού που ταυτόχρονα αποτελούν και λειτουργικά εξαρτήματα αυτού έτυχαν ιδιαίτερης ανάλυσης με σκοπό τον ανασχεδιασμό και τη βελτιστοποίησή τους.



Σχ. 3: Τυπικά αποτελέσματα ελέγχου αντοχής - παραμορφώσεων.

Με τον ίδιο τρόπο ελέγχθηκε η φέρουσα ικανότητα του συνόλου των συνδέσεων και ειδικότερα της έδρασης, η οποία αποτελεί ζωτικής σημασίας τμήμα τόσο όσον αφορά την αντοχή όσο και την λειτουργικότητα του ιστού. Να σημειωθεί ότι με τον τρόπο που έγινε η προσομοίωση, τα αποτελέσματα των εντάσεων αλλά ειδικότερα των παραμορφώσεων ήταν πολύ ακριβή, πράγμα που δεν θα μπορούσε να συμβεί μέσω απλών γραμμικών μοντέλων της κάθε κατασκευής. Αυτό γιατί στα αποτελέσματα κάθε ιστού λαμβάνεται υπόψη αυτομάτως η δυσκαμψία και η συμπεριφορά των συνδέσεων, των νευρώσεων και γενικότερα όλων των επιμέρους τμημάτων που τον αποτελούν.



Σχ. 4:.. Τυπική καμπύλη ανεμοπίεσης - παραμορφώσεων.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Με τη χρήση αλουμινίου ως υλικού κατασκευής το βάρος των ιστών μπορεί να περιοριστεί σημαντικά.
2. Με τη χρήση της παραμετρικής διερεύνησης και της αναλυτικής προσομοίωσης μπορεί να επιτευχθεί σημαντική οικονομία τόσο βάρους όσο και διαστάσεων.
3. Με την στοχευμένη διακριτοποίηση, την παραμετρική διερεύνηση και βελτιστοποίηση δόθηκε η δυνατότητα ανάπτυξης νέων τύπων συνδέσεων και εξαρτημάτων.
4. Η επεξεργασία του αλουμινίου για κατασκευές τέτοιου τύπου δεν έχει γνωρίσει την απαιτούμενη, για την μείωση του κόστους, ανάπτυξη στη χώρα μας.
5. Το κόστος κατασκευής είναι από τρεις έως επτά φορές μεγαλύτερο, αναλόγως της πολυπλοκότητας, σε σχέση με τον αντίστοιχο χαλύβδινο ιστό.
6. Το κόστος τοποθέτησης είναι τουλάχιστον το μισό και αυτό όταν δεν απαιτούνται μηχανικά μέσα για την τοποθέτηση του αντίστοιχου μεταλλικού, λόγω αυξημένου βάρους.
7. Σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει η δυνατότητα πρόσβασης, το βάρος μπορεί να είναι ο μοναδικός καθοριστικός παράγοντας ανεξαρτήτως του κόστους.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-1: prEN 1993-1-1 "General rules and rules for buildings", (12-2003)
- [2] Eurocode 3: Design of steel structures, Part 3-1: prEN 1993-1-1 "Towers, masts and chimneys - Towers and Masts", (12-2003)
- [3] Eurocode 1: 1991-1-1 - Actions on structures - General actions - Densities, self-weight & imposed loads for buildings (06-2001) (prEN)
- [4] Eurocode 9: Design of aluminium structures, Part 1-1: EN 1999-1 "General rules and rules for buildings".
- [5] ΕΑΚ 2003 : Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2003.
- [6] ΕΚΩΣ 2000 : Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδεμάτος.

TELECOMMUNICATION TOWERS FABRICATED OF ALUMINIUM

A. Spiliopoulos¹, V. Karlos¹

¹Phd Student

National Technical University of Athens

Athens, Greece

e-mail: spiliopa@central.ntua.gr

SUMMARY

Metal structures are widely used for telecommunication's applications all over the world. Telecommunications of both fixed and mobile telephony require antennas that are applied either on top of existing buildings, or at individual transmission towers whose height and design patterns are different as they are following the needed requirements. The basic criteria for the design of such structures are the simplicity in mounting and application with the least possible weight. Weight is a crucial factor as the use of mechanical elevation systems may raise the cost to a big extend, while sometimes it may not be an option because of the location of the transmission tower.

At present the vast majority of individual transmission towers are fabricated by structural steel, a practice that usually leads to heavy structures. Moreover, anti-corrosion coating and constant maintenance is required, especially to structures that are close to oxidizing environments (sea etc.).

On the other hand, the growing use of aluminium in civil engineering structures and the improvement of its processing methods allowed the use of the material to the specific field. The use of aluminium has a beneficial role at the weight and the installation of the structure. Moreover, the life expectancy of the structure is extended as aluminium's durability at corrosion is greater than that of structural steels without special coating.

At the present paper the behavior of various types of telecommunication towers fabricated of aluminium is displayed, and these results are compared to equivalent results of towers made of steel. The analysis is performed by the aid of the finite elements and the commercial program ABAQUS taking into account the nonlinear behaviour of the materials and also the influence of 2nd order effects.

The analysis allowed the investigation of the advantages and disadvantages of using each of the two materials in technical as well as economical terms, while an effort is made in establishing the criteria for using each material in accordance to the current needs of the design.