

Ανάλυση καλωδιωτών ιστών τηλεπικοινωνιών**Γ. Ν. Σταματόπουλος**

Πολ. Μηχανικός, Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780

Αθήνα, Ελλάδα

e-mail: gstamatopoulos@ath.forthnet.gr**Ι. Χ. Ερμόπουλος**

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780

Αθήνα, Ελλάδα

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

Η παρατηρούμενη κατά τα τελευταία χρόνια ραγδαία εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών αλλά και η επιτακτική ανάγκη ικανοποίησης της απαίτησης για τηλεπικοινωνίες σε όλη την Επικράτεια, οδήγησε τις εταιρείες τηλεπικοινωνιών σε πύκνωση ή και σε επέκταση των ήδη υπαρχόντων δικτύων μέσω χρήσης μεταλλικών ιστών. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται στοιχεία από τη μελέτη δύο μεταλλικών καλωδιωτών ιστών υπό στατική και δυναμική καταπόνηση. Πρόκειται για έναν δικτυωτό ιστό με συνολικό ύψος 36 μέτρων και έδραση μέσω βραχιόνων τύπου "αράχνης", που φέρουν στα ελεύθερα άκρα αντίβαρα από οπλισμένο σκυρόδεμα, καθώς και για έναν ανακλινόμενο ιστό επί οχήματος με συνολικό ύψος 29 μέτρων. Οι ιστοί φέρουν κεραίες τύπου Link και προσαρτημένα κυκλικά κάτοπτρα για τις ανάγκες της κινητής τηλεφωνίας. Αρχικά παρουσιάζονται τα φορτία ανέμου, χιονιού και σεισμού επί των ιστών με βάση τους ισχύοντες Κανονισμούς, εν συνεχεία η προσομοίωση των στατικών μοντέλων και η μεθοδολογία ανάλυσής τους μέσω προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων, και τέλος τα συμπεράσματα.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι εξεταζόμενοι δικτυωτοί ιστοί διακρίνονται σε σταθερούς εδραζόμενους επί οικίσκων και σε αυτοφερόμενους επί ειδικών οχημάτων (Φωτ. 1 έως 5). Η έδρασή τους γίνεται μέσω βραχιόνων τύπου "αράχνης", και η πλευρική τους στήριξη επιτυγχάνεται με χρήση προεντεταμένων επιτόνων. Ο φορέας των ιστών κατασκευάζεται από κοιλοδοκούς τετραγωνικής ή κυκλικής διατομής και η εγκάρσια μορφή του είναι τριγωνική ή τετραγωνική.



Φωτ. :1 και 2 Όψεις ιστού επί οικίσκου



(α)



(β)

Φωτ. :3 και 4 (α) Λεπτομέρεια έδρασης μέσω βραχιόνων τύπου "αράχνης", (β) λεπτομέρεια στήριξης του ιστού επί της οροφής του οικίσκου



Φωτ. :5 Δικτυωτός ιστός ύψους 29 m, τριγωνικής διατομής, αυτοφερόμενος επί ειδικού οχήματος

3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

3.1 Αξιοπιστία

Αρχικά, γίνεται η κατηγοριοποίηση των ιστών ως προς την αξιοπιστία τους σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 [1]:

α) Υψηλής Αξιοπιστίας (class 3) :

Καλωδιωτοί ιστοί που βρίσκονται σε αστικές περιοχές και η αστοχία τους θα προκαλούσε απώλεια ζωών. Καλωδιωτοί ιστοί που χρησιμοποιούνται για την παραγωγική διαδικασία, είναι ζωτικής σημασίας, εξυπηρετούν ραδιοτηλεοπτικές επικοινωνίες και η απώλειά τους θα ήταν πολύ σημαντική.

β) Συνήθους Αξιοπιστίας (class 2) :

Ιστοί αναμετάδοσης και φωτισμού, που καταλαμβάνουν ένα περιορισμένο χώρο ή βρίσκονται κοντά σε αυτοκινητοδρόμους ή σιδηρόδρομους και δεν ανήκουν στην κατηγορία 1 ή 3.

γ) Χαμηλής Αξιοπιστίας (class 1) :

Ιστοί που βρίσκονται σε ανοιχτό χώρο (εξοχή) και η αστοχία τους δεν προκαλεί ανθρώπινη απώλεια.

Ο καλωδιωτοί ιστοί που εξετάζονται ανήκουν στην κατηγορία συνήθους αξιοπιστίας (class 2) και επομένως ελέγχονται με βάση τα προβλεπόμενα για ιστούς αυτής της κατηγορίας, κατά το Μέρος 3-1 του Ευρωκώδικα 3 [1].

3.2 Κανονισμοί

Οι καλωδιωτοί ιστοί ελέγχονται ως προς τη στατική τους επάρκεια βάσει των απαιτήσεων:

- του Ευρωκώδικα 1 (EN 1991), που αφορά τις δράσεις σχεδιασμού κατασκευών και τους συνδυασμούς αυτών,
- του γερμανικού κανονισμού DIN 4131, όσον αφορά κάποια συμπληρωματικά στοιχεία περί ανεμοπιέσεων σε πύργους και ιστούς, που δεν καλύπτονται από τον Ευρωκώδικα 1,
- του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ 2000), όσον αφορά τα φορτία λόγω σεισμού,
- του Ευρωκώδικα 8 (EN 1998-3), σχετικά με τις σεισμικές δράσεις σχεδιασμού κατασκευών, όσον αφορά κάποιες συμπληρωματικές απαιτήσεις περί σεισμικών δράσεων σε πύργους και ιστούς, που δεν καλύπτονται από τον ΕΑΚ 2000,

καθώς και των απαιτήσεων

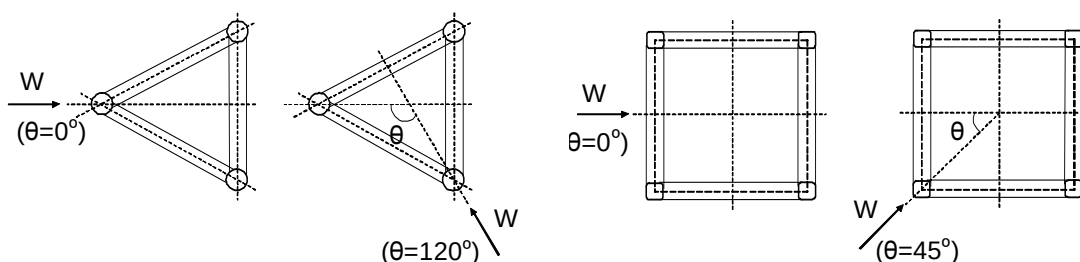
- του Ευρωκώδικα 3 - Μέρος 1.1 που αφορά τη διαστασιολόγηση μεταλλικών κατασκευών γενικά [2] και του Ευρωκώδικα 3 - Μέρος 3.1 [1], που αφορά ειδικότερα μεταλλικούς πύργους και ιστούς.

Ο Ευρωκώδικας 3, όπως και όλοι οι σύγχρονοι κανονισμοί, απαιτεί ελέγχους σε :

- οριακές καταστάσεις αστοχίας
- οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας.

3.3 Δράσεις ανέμου W

Υπολογίζονται βάσει των Ευρωκωδίκων 1 και 3. Οι δράσεις ανέμου που ορίζονται από το EN 1991-1-4 [3] δεν επαρκούν και συμπληρώνονται από το prEN 1993-3-1 [1] (παράρτημα Β). Οι διευθύνσεις-περιπτώσεις ανέμου που λαμβάνονται υπόψη για τον έλεγχο των ιστών, είναι αυτές που φαίνονται στο Σχ. 1, και έχουν επιλεγεί με κριτήριο τους άξονες συμμετρίας κάθε κατασκευής. Οι ανεμοπιέσεις υπολογίστηκαν για χαρακτηριστική ταχύτητα ανέμου 33 m/sec, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Ευρωκώδικα 1 (Εθνικό Προσάρτημα) για τον Ελληνικό χώρο.



Σχ. :1 Περιπτώσεις ανέμου που λαμβάνονται υπόψη για τον έλεγχο των ιστών

3.4 Δράσεις χιονιού S

Για τη φόρτιση του χιονιού ή πάγου, χαρακτηριστικά όπως το πάχος του πάγου, η πυκνότητα και η διασπορά-κατανομή του χιονιού, καθώς και άλλες πληροφορίες, δίδονται από το ISO TC98/SC3/ WG6. Για να υπολογισθεί το συνολικό βάρος του πάγου στους καλωδιωτούς ιστούς, ελήφθη υπόψη ότι καλύπτονται όλα τα μέλη της κατασκευής με σταθερό πάχος πάγου γύρω από κάθε μέλος, ίσο προς 25 mm.

3.5 Συνδυασμός Πάγου και Ανέμου

Σε περιοχές όπου υπάρχει χιόνι, οι συνδυασμοί με τον άνεμο, συνήθως, είναι οι κρισιμότεροι όσον αφορά το σχεδιασμό των καλωδιωτών ιστών. Η αύξηση της αντίστασης της κατασκευής στον άνεμο λόγω της επικάλυψης του πάγου στα μέλη της κατασκευής μπορεί να αποτελέσει τελικά κρίσιμο παράγοντα στο σχεδιασμό, παρ' ότι τα φορτία του ανέμου που χρησιμοποιούνται στο συνδυασμό είναι μικρότερα από τα χαρακτηριστικά (μέγιστες τιμές). Για την περίπτωση του συνδυασμού του χιονιού με τον άνεμο, η χαρακτηριστική πίεση του ανέμου χρησιμοποιείται με ένα συντελεστή απομείωσης $K=0,64$, ο οποίος αντιστοιχεί σε μία ταχύτητα ανέμου (μαζί με το ενδεχόμενο χιονιού), που είναι ίση με το 80% της χαρακτηριστικής ταχύτητας επαναφοράς του ανέμου σε 50 χρόνια. Σε περιπτώσεις που το κενό μεταξύ μελών της κατασκευής είναι μικρότερο των 75 mm, μπορεί να υποτίθεται ότι είναι γεμάτο από πάγο.

3.6 Δράσεις σεισμού E

Οι σεισμικές δράσεις υπολογίζονται με βάση τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ 2000). Θεωρούνται οι εξής παράμετροι υπολογισμού σεισμικών δράσεων, με δεδομένη τη γεωγραφική θέση κάθε ιστού, τα χαρακτηριστικά του στατικού του συστήματος, και τη σπουδαιότητα της κατασκευής:

- ζώνη σεισμικότητας IV, και επομένως εδαφική επιτάχυνση 0,36g
- συντελεστής συμπεριφοράς $q=1$
- συντελεστής φασματικής ενίσχυσης 2,5
- συντελεστής σπουδαιότητας $\gamma=1,15$.

Οι αντίστοιχες σεισμικές δράσεις ασκούνται διαδοχικά στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στον ΕΑΚ 2000.

3.7 Θέσεις των κεραιών επί του ιστού

Οι κεραίες θεωρήθηκαν τοποθετημένες :

- τρεις σε ύψος 2 m κάτω από την κορυφή του ιστού (G.S.M.)
- μία κυκλική στο μέσο του ύψους του ιστού, με διάμετρο 60 cm.

3.8 Ίδια βάρη κεραιών του ιστού

Τα ίδια βάρη των κεραιών του ιστού λαμβάνονται από την κατασκευάστρια εταιρεία ως:

- 150 kg για κάθε κεραία τύπου Link μαζί με τις στηρίξεις
- 17 kg για την κυκλική κεραία διαμέτρου 60 cm μαζί με τις στηρίξεις

3.9 Συνδυασμοί φορτίσεων για Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας

Έχουν ληφθεί υπόψη οι παρακάτω συνδυασμοί φόρτισης σε οριακή κατάσταση αστοχίας (P είναι η δύναμη προέντασης των καλωδίων):

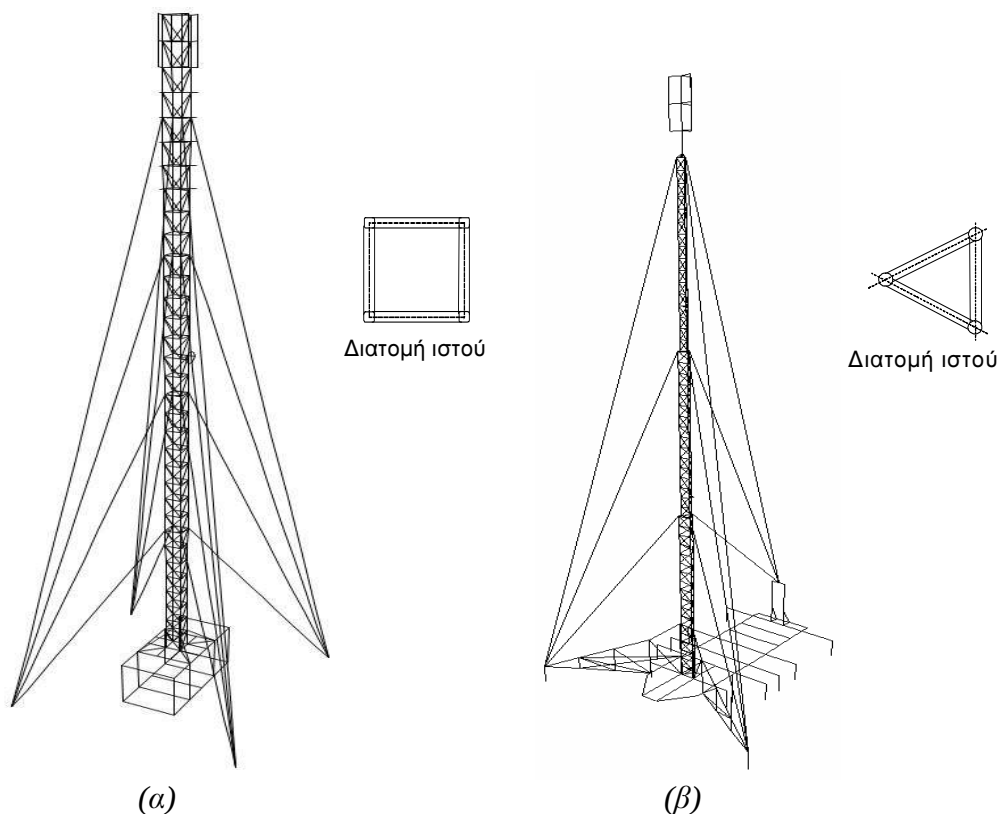
$$\begin{array}{l}
 1,10 * G + P + 1,40 * W \\
 1,00 * G + P + 1,00 * E \\
 1,10 * G + P + 1,40 * S \\
 1,10 * G + P + 1,40 * 0,64 * W + 1,40 * 0,50 * S \\
 1,10 * G + P + 1,40 * S + 1,40 * 0,64 * 0,50 * W
 \end{array}$$

3.10 Συνδυασμοί φορτίσεων για Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας

Οι παραμορφώσεις και μετακινήσεις του ιστών είναι ενδεχόμενο να επηρεάζουν τη χρήση και τη λειτουργικότητά τους. Για το λόγο αυτό γίνεται σύγκριση των μετακινήσεων που προκύπτουν από την ανάλυση της κατασκευής με κάποια προκαθορισμένα επιτρεπόμενα όρια. Τα όρια αυτά αφορούν τη γωνία κλίσης κάθε ιστού ως προς την κατακόρυφη, η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει τη $0,5^\circ$.

4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

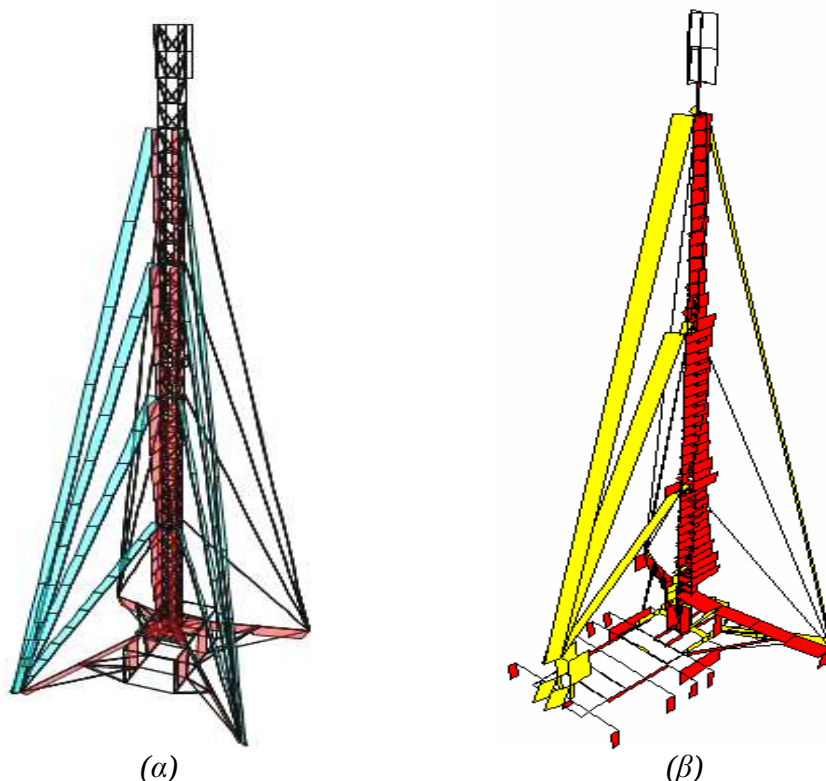
Η ανάλυση του χωρικών φορέων έγινε με πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων (Σχ. 2). Τα μέλη του ιστού προσομοιώθηκαν με πεπερασμένα στοιχεία δοκού και τα καλώδια με πεπερασμένα στοιχεία καλωδίου. Οι εντάσεις των μελών του ιστού υπολογίζονται θεωρώντας γραμμικά ελαστική τη συμπεριφορά του υλικού των μελών.



Σχ. :2 Προσομοίωση ιστών με ραβδωτούς φορείς: (α) Δικτυωτός ιστός συνολικού ύψους 36 m, τετραγωνικής διατομής, εδραζόμενος επί οικίσκου και (β) δικτυωτός ιστός συνολικού ύψους 29 m, τριγωνικής διατομής, αυτοφερόμενος επί ειδικού οχήματος

Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με μη γραμμική ανάλυση 2^{ης} τάξης. Αρχικά έγινε μη γραμμική ανάλυση 2^{ης} τάξης που περιελάμβανε τα ίδια βάρη και την προένταση. Το μητρώο δυσκαμψίας που μορφώθηκε με το πέρας της ανάλυσης αυτής χρησιμοποιήθηκε ως αρχικό μητρώο για τις επόμενες μη γραμμικές αναλύσεις με τους συνδυασμούς των λοιπών φορτίσεων. Στο Σχ. 3 παρουσιάζονται διαγράμματα αξονικών δυνάμεων για συγκεκριμένο συνδυασμό φορτίων. Για όλα τα μέλη θεωρήθηκε χάλυβας S235 και

ελάχιστη αντοχή καλωδίων ίση με 1000 MPa. Οι έλεγχοι αντοχής των μελών του ιστών έγιναν σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 3, Μέρος 1-1 και Μέρος 3-1.



Σχ. :3 Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων (ΦΟΡΤΙΣΗ $1,1*G+1,0*P+1,4*Wx$):
(α) δικτυωτού ιστού ύψους 36 m εδραζόμενου επί οικίσκου και (β) δικτυωτού ιστού
ύψους 29 m αυτοφερόμενου επί ειδικού οχήματος

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση καλωδιωτών ιστών παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον και απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή στην προσομοίωση και ανάλυση μέσω προγραμμάτων πεπερασμένων ραβδωτών στοιχείων. Όπως προκύπτει από τα προηγούμενα, έγινε αρχικά μη γραμμική ανάλυση με τα ίδια βάρη και την προένταση, το δε μητρώο δυσκαμψίας που προέκυψε, αποτέλεσε την αφετηρία για όλες τις αναλύσεις με τις υπόλοιπες φορτίσεις. Δεδομένου δε ότι δεν επιτρέπεται η επαλληλία αποτελεσμάτων μη γραμμικών αναλύσεων επιμέρους φορτίσεων, κάθε μία μη γραμμική ανάλυση περιελάμβανε τους συνδυασμούς φορτίων με τους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] prEN 1993-3-1, Part 3.1: Towers, masts and chimneys –Towers and masts, August 2005.
- [2] prEN1993: Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings, June 2004.
- [3] prEN1991-1-4: Actions on structures - General actions - Part 1-4: Wind actions, January 2004.

Analysis of guyed steel lattice masts for communications**G. N. Stamatopoulos**

Dr Civil Engineer, Assoc. Researcher N.T. University of Athens
School of Civil Engineering, Metal Structures Laboratory
9 Heroon Polytechniou Street, 15780
Athens, Greece
e-mail: gstamatopoulos@ath.forthnet.gr

J. Ch. Ermopoulos

Professor N.T. University of Athens
School of Civil Engineering, Metal Structures Laboratory
9 Heroon Polytechniou Street, 15780
Athens, Greece
e-mail: jermop@central.ntua.gr

SUMMARY

In the present study the main aspects for the design of two kinds of steel masts for communications purposes are presented. The first one of them is a square lattice section mast with a total height of 36 m, mounted on the roof of a container, and the second is a triangular lattice section mast with a height of 29 m, mounted on steel transportable trailer. In order to avoid overturning of the entire structure, each of them is equipped with base arms and concrete blocks. The main loading cases such as wind, snow, earthquake etc and the combinations of them are described. The analysis of the masts was performed considering geometrical nonlinearities and relaxation of the cables under compressive forces (second order-large displacements analysis). From the analyses mentioned above, typical diagrams of the axial forces for a specific combination are presented.