

**ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΙΣΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ****Ιωάννης Βάγιας<sup>1</sup>, Μαρία-Ελένη Δασίου<sup>2</sup>, Αλέξανδρος Τούλιας<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Καθηγητής, <sup>2</sup>Υποψήφια διδάκτωρ, <sup>3</sup>Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Αθήνα, Ελλάδα

e-mail: [atoulias@gmail.com](mailto:atoulias@gmail.com)**1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Το καλοκαίρι του 2007 μεγάλες πυρκαγιές έπληξαν το Νομό Ηλείας. Στις περιοχές αυτές βρίσκονταν ιστοί της COSMOTΕ, σε δύο από τους οποίους υπήρχε ανησυχία ως προς τη φέρουσα ικανότητά τους, δεδομένου ότι σε ορισμένα στοιχεία τους υπήρχαν ίχνη φωτιάς. Πρόκειται για τους ιστούς CM 42 και CM 36 στην Καλλιθέα και στη Ζαχάρω αντιστοίχως. Προς τούτο διενεργήθη αυτοψία από ομάδα μελών του Εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών ΕΜΠ. Κατά την αυτοψία διαπιστώθηκαν βλάβες σε μη φέροντα στοιχεία των ιστών, όπως καλώδια, προσαρτήματα κλπ., όχι όμως στα φέροντα χαλύβδινα μέλη τους. Πέραν αυτού δε διαπιστώθηκαν μόνιμες τοπικές ή καθολικές παραμορφώσεις των ιστών. Οι ανωτέρω παρατηρήσεις οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι οι θερμοκρασίες που αναπτύχθηκαν στα φέροντα στοιχεία ήταν χαμηλές ώστε να μην υποβαθμίζεται η φέρουσα ικανότητά τους ως συνέπεια της πυρκαγιάς.

**2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Μια εύκολη και, ταυτόχρονα, οικονομική λύση στην υποστήριξη κεραιών εκπομπής τηλεπικοινωνιακών σημάτων αποτελούν οι αυτοστήρικτοι πύργοι. Η φύση αυτών των κατασκευών, εξαιτίας των δικτυωτών μελών, τους προσφέρει τη δυνατότητα, για στατικά φορτία, με την αύξηση του ύψους του πύργου άμεσης αύξησης των τάσεων στους ορθοστάτες απ' ότι στα διαγώνια μέλη. Και όπως είναι αναμενόμενο η αλλαγές αυτές συμβαίνουν κυρίως στη βάση του πύργου. Το φορτίο της πυρκαγιάς δεν συμπεριλαμβάνεται συνήθως στις στατικές μελέτες, για το λόγο ότι η επιρροή του δεν είναι τόσο σημαντική. Παρ' όλα αυτά επιδρά έντονα σε κάποια μεγέθη που καθορίζουν σημαντικά τη λειτουργία του πύργου. Αντικείμενο, λοιπόν, της παρούσας εργασίας αποτελεί ο καθορισμός του ποσοστού επιρροής της φωτιάς σε μία μεταλλική κατασκευή μέσω της εύρεσης των αναπτυσσόμενων αξονικών θλιπτικών δυνάμεων στα μέλη της και την εύρεση της κρίσιμης θερμοκρασίας.

### 3. ΔΡΑΣΕΙΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Για τη μελέτη των ιστών έγινε χρήση του EN 1991, όπου οι δράσεις σχεδιασμού χωρίζονται στις μόνιμες δράσεις (G), στα κινητά φορτία (Q), στην ανεμοπίεση (W) και στη φόρτιση της πυρκαγιάς (F).

Οι κατασκευές επηρεάζονται από την παρουσία της φωτιάς, τόσο με την ανάπτυξη εντατικών μεγεθών στα μέλη τους, όσο και με την υποβάθμιση των μηχανικών χαρακτηριστικών τους λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας. Εξαιτίας απουσίας ακριβών μετρήσεων της αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς, θεωρήσαμε σταδιακή αύξηση της (50-650°C) στα πρώτα δύο φατνώματα (6m) κάθε πύργου. Το ύψος των 6m επελέγη βάση του ύψους των δέντρων στην τριγύρω περιοχή. Σημαντικός θεωρείται ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας κατά την οποία αστοχούν τα μέλη (κρίσιμη θερμοκρασία). Αυτό επιτεύχθηκε με την απομείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών, του χάλυβα, λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών, σύμφωνα με τον EN 1993, Μέρος 1-2.

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του χάλυβα για το εύρος όλων των θερμοκρασιών μπορεί προσεγγιστικά να ληφθεί ίσος με  $\lambda_s=30 \text{ kcal/mh } ^\circ\text{C}$  και η ειδική θερμότητα ίση με  $c_s=0,215 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} = 520 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ . Το ειδικό βάρος του χάλυβα παραμένει σταθερό για όλες τις θερμοκρασίες, δηλαδή  $\gamma=78,5 \text{ kN/m}^3$ . Την προσοχή μας, όμως, πρέπει να εστιάσουμε πιο πολύ στην απομείωση του μέτρου ελαστικότητας και του ορίου διαρροής του χάλυβα.

Στο Σχ. 1 δίνονται φωτογραφίες των ιστών κατά την αυτοψία.



Σχήμα 1 Φωτογραφίες ιστών μετά την πυρκαγιά

#### 4. ΑΝΑΛΥΣΗ – ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

Οι εξετασθέντες συνδυασμοί δράσεων είναι οι ακόλουθοι:

- ✓ 1,35G + 1,5W + 1,5Q βασικός συνδυασμός χωρίς πυρκαγιά
- ✓ 1,00G + 0,5W + 0,5Q + 1,00F συνδυασμός με πυρκαγιά και 50% άνεμο
- ✓ 1,00G + 0,4W + 0,5Q + 1,00F συνδυασμός με πυρκαγιά και 40% άνεμο
- ✓ 1,00G + 0,3W + 0,5Q + 1,00F συνδυασμός με πυρκαγιά και 30% άνεμο

Κάθε φορτίο ανέμου έχει εξεταστεί για διαφορετικές γωνίες προσβολής ανά 45°. Στην ανεμοφόρτιση ελήφθη υπόψη η επιρροή των ανεμορριπών σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 3, Μέρος 3-1.

Η στατική επίλυση έγινε με το πρόγραμμα SOFiSTiK. Ο ιστός θεωρήθηκε ως ραβδωτός φορέας, αρθρωτός στη βάση του. Η προσομοίωση της θερμοκρασιακής μεταβολής έγινε εισάγοντας τη θερμοκρασία, 50 °C - 650 °C, ως ομοιόμορφα καταναμημένο φορτίο στις ράβδους των δύο πρώτων φαντωμάτων του πύργου. Σύμφωνα με τον EN 1993, 1-2, για μέλη γωνιακά με διατομές κατηγορίας 3 υπό κάμψη και αξονική θλίψη ο έλεγχος έναντι λυγισμού όταν η θερμοκρασία του μέλους είναι θ δίνεται από την εξ. (1):

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{min,fi} \times A \times k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y \times M_{y,fi,Ed}}{W_{el,y} \times k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z \times M_{z,fi,Ed}}{W_{el,z} \times k_{z,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \quad (1)$$

με,

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \times N_{fi,Ed}}{\chi_{y,fi} \times A \times k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3$$

$$\mu_y = (1,2 \times \beta_{M,y} - 3) \times \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44 \times \beta_{M,y} - 0,29 \leq 0,8$$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z \times N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} \times A \times k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3$$

$$\mu_z = (2 \times \beta_{M,z} - 5) \times \bar{\lambda}_{z,\theta} + 0,44 \times \beta_{M,z} - 0,29 \leq 0,8 \quad \lambda_{z,\theta} \leq 1,1$$

όπου:  $N_{fi,Ed}$ ,  $M_{y,fi,Ed}$ ,  $M_{z,fi,Ed}$  η τέμνουσα και οι ροπές σχεδιασμού αντίστοιχα.

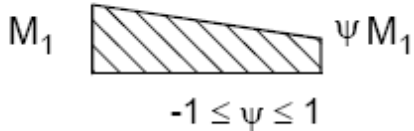
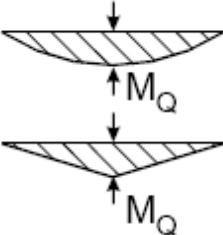
$\chi_{fi}$  ο μειωτικός συντελεστής έναντι καμπτικού λυγισμού στην κατάσταση σχεδιασμού πυρκαϊάς,  $k_{y,\theta}$  ο μειωτικός συντελεστής του ορίου διαρροής του χάλυβα σε θερμοκρασία  $\theta_a$  που πραγματοποιείται τη χρονική στιγμή  $t$ .

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\phi_{\theta} + \sqrt{\phi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}}$$

$$\phi = \frac{1}{2} (1 + \alpha \cdot \bar{\lambda}_{\theta} + \bar{\lambda}_{\theta}^2) \quad (2)$$

$$\alpha = 0,65 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

( $f_y$  σε Mpa),  $\chi_{fi} = \min\{\chi_{y,fi}, \chi_{z,fi}\}$  και οι συντελεστές  $\beta_M$  ισοδύναμης ομοιόμορφης ροπής φαίνονται στον Πίνακα 1, όπου στην πρώτη στήλη βλέπουμε το αντίστοιχο διάγραμμα καμπτικών ροπών. Για τους ορθοστάτες χρησιμοποιούμε το πρώτο διάγραμμα, ενώ για τα διαγώνια  $\beta_{M,\varrho} = 1,3$ .

Moment diagram	Equivalent uniform moment factor $\beta_M$
<p>End moments</p>  <p><math>M_1</math> <math>\psi M_1</math></p> <p><math>-1 \leq \psi \leq 1</math></p>	$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7 \psi$
<p>Moments due to in-plane lateral loads</p>  <p><math>M_Q</math></p> <p><math>M_Q</math></p>	$\beta_{M,Q} = 1,3$  $\beta_{M,Q} = 1,4$

Πίν. 1 Συντελεστές  $\beta_M$  ισοδύναμης ομοιόμορφης ροπής

Η ανηγμένη λυγηρότητα  $\bar{\lambda}_\theta$  για θερμοκρασία  $\theta$  δίνεται από τη σχέση:

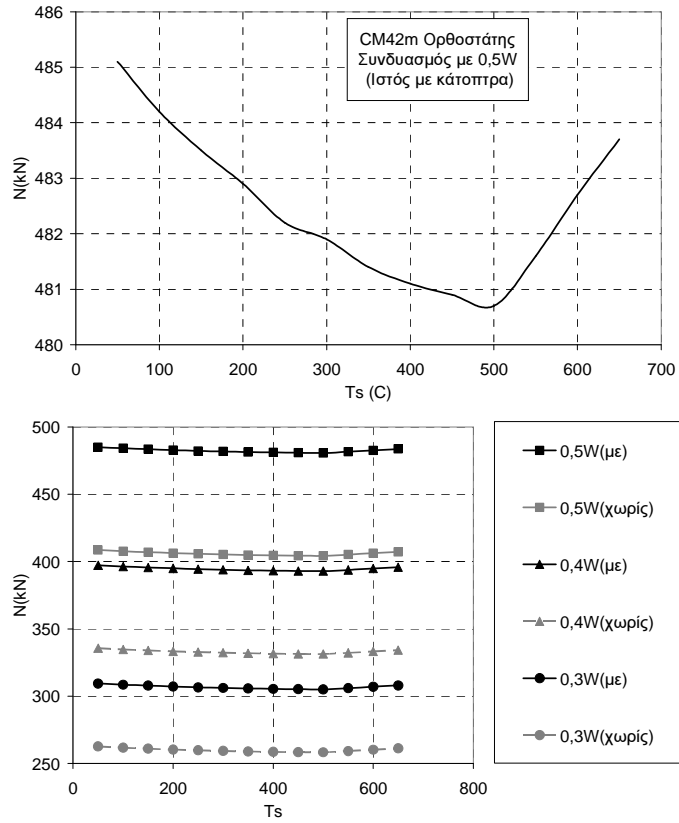
$$\bar{\lambda}_\theta = \lambda(k_{y,\theta}/k_{E,\theta})^{0,5} \quad (3)$$

,όπου  $k_{E,\theta}$  ο μειωτικός συντελεστής για τη χρήση της γραμμικής ελαστικής περιοχής του διαγράμματος τάσεων – παραμορφώσεων σε θερμοκρασία  $\theta$ , πραγματοποιούμενη σε χρόνο  $t$  από την έναρξη της πυρκαγιάς. Τα μήκη λυγισμού  $L_y$  και  $L_z$  των μελών κατά το σχεδιασμό έναντι πυρκαγιάς προσδιορίζονται γενικότερα όπως κατά το σχεδιασμό κατά τη συνήθη θερμοκρασία.

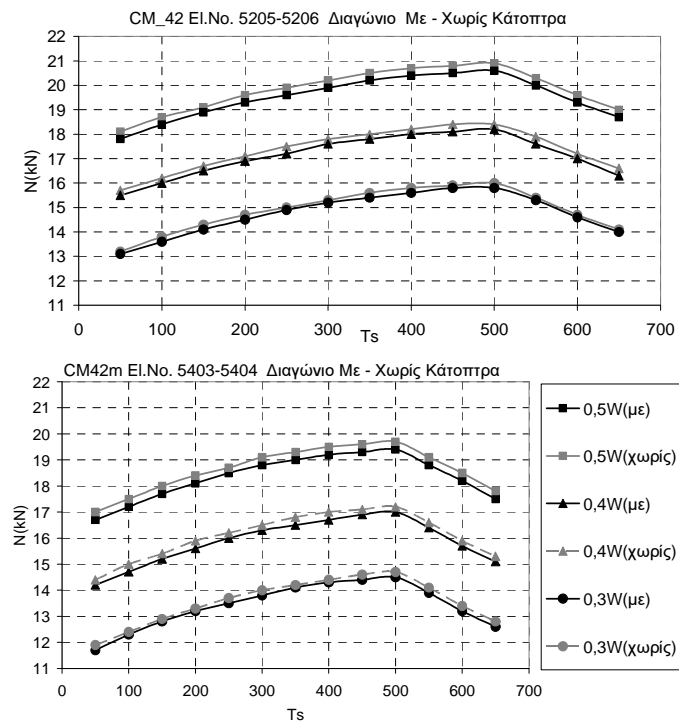
Έτσι, έχοντας λάβει όλα τα παραπάνω στοιχεία καθίσταται εφικτός ο έλεγχος επάρκειας των μελών του κάθε ιστού, η ευρεση δηλαδή του ποσοστού εκμετάλλευσης. Τιμές του ποσοστού εκμετάλλευσης ενός μέλους μεγαλύτερες από 100% υποδηλώνουν «αστοχία», με την έννοια ότι τα υπόψη μέλη δε διαθέτουν τα από τους κανονισμούς απαιτούμενα περιθώρια ασφαλείας. Δυσμενέστερος συνδυασμός για τον έλεγχο των ορθοστατών είναι ο «G+ψ\*Wlg-135°+0.5Q+F», δηλαδή για λοξό άνεμο υπό γωνία 135° και σε όλο το ύψος του ιστού ύπαρξη στροβιλισμού. Στην ίδια φόρτιση ελέγχθηκαν και τα γειτονικά διαγώνια μέλη. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα μόνο για τον πύργο των 42 m, καθώς τα αντίστοιχα του CM 36 είναι παρόμοια.

#### 4.1 Θλιπτικές αξονικές δυνάμεις (CM 42)

Στο σχήμα 2 δίνεται η αξονική δύναμη των ορθοστατών για θερμοκρασίες μεταξύ 50 και 500 °C. Παρατηρείται ότι η δύναμη παραμένει πρακτικώς αμετάβλητη παρόλη την αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτό οφείλεται στη μορφή της δικτύωσης (τύπου Λ), οι οποίοι μικρή παρεμπόδιση προβάλλουν στην μεταβολή του μήκους των ορθοστατών (αντίθετα π.χ. από συνδέσμους τύπου Χ). Αντιθέτως η μεταβολή της αξονικής δύναμης στις διαγωνίους μέχρι τους 500 °C είναι εμφανής. Στη συνέχεια μειώνεται η δύναμη λόγω μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας του χάλυβα σε υψηλότερες θερμοκρασίες.



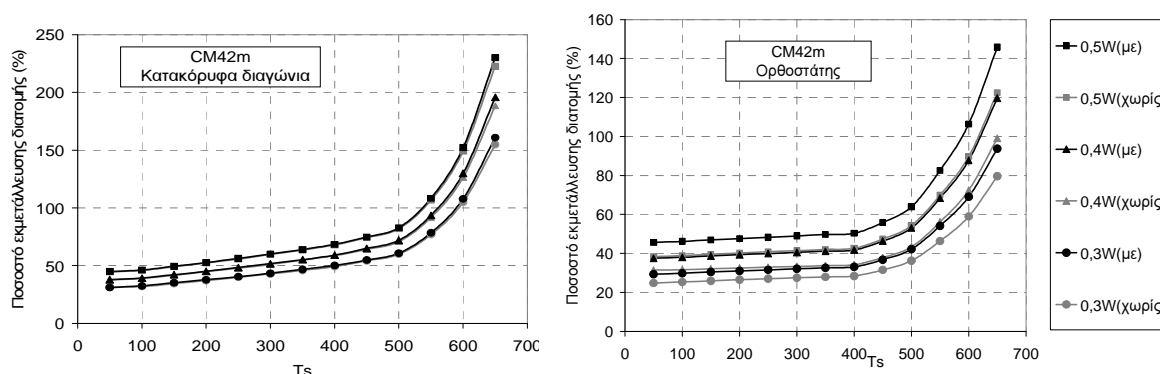
Σχ. 2. Διάγραμμα μεταβολής αξονικής δύναμης ορθοστατών με την αύξηση της θερμοκρασίας (Με και Χωρίς Κάτοπτρα για τα τρία διαφορετικά ποσοστά ανέμου)



Σχ. 3. Διάγραμμα μεταβολής αξονικής δύναμης διαγωνίων μελών με την αύξηση της θερμοκρασίας (Με και Χωρίς Κάτοπτρα για τα τρία διαφορετικά ποσοστά ανέμου)

## 4.2 Ποσοστό εκμετάλλευσης (CM 42)

Το ποσοστό εκμετάλλευσης ενός μέλους είναι η τιμή που προκύπτει από το άθροισμα της εξ. (1). Αν το ποσοστό είναι μεγαλύτερο του 1,0 (100%), το μέλος δεν επαρκεί, σε αντίθετη περίπτωση είναι επαρκές. Το Σχήμα 4 δίνει το ποσοστό εκμετάλλευσης των διαγωνίων και των ορθοστατών του ιστού CM 42 ως συνάρτηση της θερμοκρασίας. Για τα διαγώνια παρατηρείται ένας αρχικός μικρός ρυθμός αύξησης του ποσοστού εκμετάλλευσης, οφειλόμενος στην αύξηση της αξονικής δύναμης. Ο ρυθμός αυξάνεται ραγδαία για μεγαλύτερες θερμοκρασίες λόγω της μείωσης του μέτρου ελαστικότητας και συνεπώς του φορτίου λυγισμού του μέλους. Για τους ορθοστάτες παρατηρούνται παρόμοια φαινόμενα με τη διαφορά ότι ο αρχικός ρυθμός αύξησης είναι μικρός λόγω μικρής μεταβολής της αξονικής δύναμης.



Σχ. 4. Ποσοστό εκμετάλλευσης ορθοστάτη και διαγωνίου αντίστοιχα

## 5. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ( $\theta_{a,cr}$ )

Με τον όρο κρίσιμη θερμοκρασία  $\theta_{a,cr}$  εννοείται η θερμοκρασία εκείνη κατά την οποία επέρχεται η αστοχία ενός μέλους υπό συγκεκριμένο φορτίο. Η θερμοκρασία αυτή δίνεται προσεγγιστικά από την εξίσωση :

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \times \ln \left[ \frac{1}{0,9674 \times \mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 4,82 \quad (2)$$

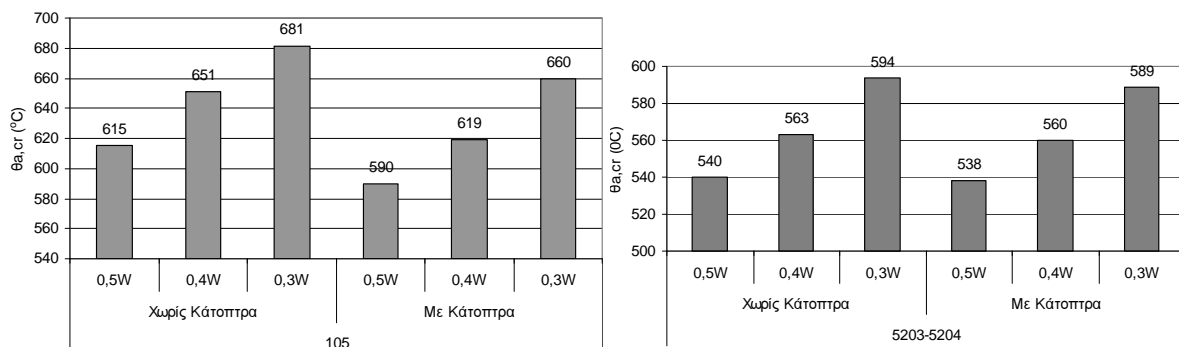
για μέλη με διατομή κατηγορίας 1,2 ή 3 και για όλα τα εφελκόμενα μέλη. Ο βαθμός αξιοποίησης  $\mu_0$  κατά τη χρονική στιγμή  $t=0$  μπορεί να λαμβάνεται από τη σχέση:

$$\mu_0 = E_{fi,D} / R_{fi,D,0}$$

όπου  $E_{fi,D}$  το αποτέλεσμα των δράσεων για τον τυχηματικό συνδυασμό πυρκαγιάς και  $R_{fi,D,t}$  η αντίστοιχη αντοχή σχεδιασμού του μέλους σε συνήθης συνθήκες.

Στα Σχήματα 5 και 6 δίνονται οι  $\theta_{a,cr}$  για το συνδυασμό:  $G + \psi * W1g - 135^0 + 0.5Q + F$ , στον δυσμενέστερο ορθοστάτη και διαγώνιο για τον πύργο των 42m για τις περιπτώσεις με και χωρίς κάτοπτρα.

Παρατηρούμε ότι τα μέλη για μεγάλα ποσοστά ανέμου και επιπλέον φόρτιση από τα κάτοπτρα, αστοχούν πιο γρήγορα, δηλαδή σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.



Σχ. 5. θa,cr ορθοστάτη «105» και διαγωνίου «5203-5204» αντίστοιχα

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη της συμπεριφοράς των δύο παραπάνω αυτοστήρικτων πύργων είναι τα ακόλουθα:

1. Η πυρκαγιά σε ιστούς στο ύπαιθρο μπορεί να λαμβάνεται υπόψη με αύξηση της θερμοκρασίας στα κατώτερα τμήματα του ιστού.
2. Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί πρόσθετα εντατικά μεγέθη στα μέλη, ιδιαίτερα στις διαγώνιες ράβδους. Η αύξηση των δυνάμεων των ορθοστατών είναι μικρή λόγω της μορφής Λ της δικτύωσης. Αντιθέτως για δικτυώσεις Χ οι ορθοστάτες θα καταπονούνται πολύ περισσότερο.
3. Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες το ποσοστό εκμετάλλευσης των μελών υπερβαίνει το 100% ( αστοχία) λόγω τόσο της αύξησης των δυνάμεων όσο και της μείωσης του μέτρου ελαστικότητας και του ορίου διαρροής του χάλυβα
4. Οι κρίσιμες θερμοκρασίες, θερμοκρασίες όπου το ποσοστό εκμετάλλευσης γίνεται 1,0 (100%), βρίσκονται μεταξύ 500 και 600 °C για τους ορθοστάτες και 600 και 700 °C για τις διαγώνιες.
5. Η αυτοψία έδειξε ότι δεν αναπτύχθηκαν τόσο μεγάλες θερμοκρασίες ώστε να διακινδυνεύσει η ασφάλεια των ιστών.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Eurocode 1: Basis of design and actions on structures – Part 1.4: General actions – wind actions, draft prEN 1991 – 1-4.6, 2002-6.
- [2] Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1.2: General rules, structural fire design, prEN 1993 – 1-2, 2004.
- [3] Eurocode 3: Design of steel structures – Part 3.1: Towers, masts and chimneys – Towers and masts, Stage 32 draft prEN 1993 – 3-1, 2005.
- [4] Murty K.S. Madugula, 2001, Dynamic response of lattice towers and guyed masts, ASCE.
- [5] Ι. Βάγιας, Ι. Ερμόπουλος, Γ. Ιωαννίδης, 2005, Σχεδιασμός Δομικών Έργων από Χάλυβα, με βάση τα κείμενα των Ευρωκωδίκων, Κλειδάριθμος 2005
- [6] Ι. Βάγιας, 2001, Σύμμικτες Κατασκευές, από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα, 2<sup>η</sup> έκδοση, Κλειδάριθμος, 2006.

## BEHAVIOUR OF TELECOMMUNICATION-LATTICE TOWERS DURING FIRE CONDITIONS

**Ioannis Vayas<sup>1</sup>, Maria-Eleni Dasiou<sup>2</sup>, Alexandros Toulas<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Professor, <sup>2</sup>PhD Student, <sup>3</sup>Civil Engineer

National Technical University of Athens

Athens, Greece

e-mail: [atoulas@gmail.com](mailto:atoulas@gmail.com)

### SUMMARY

Last summer great and destructive fires took place in Greece. Across these wounded areas were located a few lattice towers, which were owned by a greek Telecommunication company, named “Cosmote”. People of the company were worried about the ability of two towers to receive static and dynamic loads. During the research, which was ordered by “Cosmote”, nothing too damaged on the manufactures was reported. The researchers concluded that the temperatures, which were appeared, had not any significant impact on the construction. In this issue a presentation of the loads, which were used, is given and the most useful equations according to Eurocode 3, Part 1-2. Apart from that, the corresponding diagrams of axial forces are stated, which point out the exploitation ratio. In addition clustered columns follow with the critical temperatures. Finally, certain basic observations take place in the end of the essay.