

**ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΙΣΤΩΝ ΕΠΙ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΚΤΙΡΙΩΝ ΠΟΥ ΦΕΡΟΥΝ
ΙΣΤΟΥΣ****Μαρία – Ελένη Δασίου¹, Ιωάννης Βάγιας²,****Ιωάννα Δακανάλη³, Μαριλένα Παπαγεωργίου¹**

¹Υποψήφια Διδάκτωρ, ²Καθηγητής, ³Πολιτικός Μηχανικός
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Αθήνα, Ελλάδα

e-mails: vastahl@central.ntua.gr, medasiou@yahoo.com, mpapage@central.ntua.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο δώμα μεγάλου αριθμού κτιρίων του ΟΤΕ υπάρχουν δικτυωτοί ιστοί για τις ανάγκες της τηλεπικοινωνίας. Το ύψος των ως άνω δικτυωμάτων ποικίλλει σε σχέση με το ύψος και το μέγεθος του κτιρίων. Στην παρούσα εργασία διερευνάται η σεισμική δράση των ανωτέρω ιστών καθώς και η επιρροή αυτών σε κτίρια. Η σεισμική δράση ιστών, οι οποίοι βρίσκονται στο δώμα κτιρίων, διαφέρει από εκείνη ιστών επί εδάφους, λόγω της επιρροής των δυναμικών χαρακτηριστικών του κτιρίου που παρεμβάλλεται. Για τη διερεύνηση της ως άνω επιρροής, το σύστημα κτίριο – ιστός εξετάζεται ως πολυβάθμιος ταλαντωτής. Οι παράμετροι που εξετάζονται είναι οι λόγοι των ιδιοπεριόδων και των μαζών του κτιρίου και του ιστού, θεωρουμένων ως μεμονωμένων. Παράλληλα, λαμβάνεται υπόψη ο συντελεστής συμπεριφοράς q καθώς και η κατηγορία εδάφους. Στη συνέχεια, προτείνεται μεθοδολογία προσδιορισμού των σεισμικών φορτίων των ιστών επί δώματος, θεωρουμένων ως επί εδάφους καθώς και ελέγχου κτιρίων που φέρουν ιστούς, χωρίς να είναι απαραίτητη η προσομοίωση του συστήματος κτιρίου – ιστού, βασιζόμενη σε φάσματα οροφής. Παρουσιάζονται συγκριτικά αποτελέσματα της ανωτέρω μεθοδολογίας σε σχέση με φασματικές αναλύσεις για υφιστάμενο κτίριο με ιστό στο δώμα.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο του ΟΤΕ αποτελεί τον κορμό των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών της Ελλάδας. Εκτός από τις καθημερινές ανάγκες επικοινωνίας των πολιτών, εξυπηρετεί νευραλγικές τηλεπικοινωνιακές δραστηριότητες της χώρας, όπως οι τραπεζικές και τουριστικές υπηρεσίες, η επικοινωνία των πλοίων, τμήμα της επικοινωνίας των ενόπλων δυνάμεων και σωμάτων ασφαλείας, τον τομέα της υγείας (νοσοκομεία), καθώς και όλους τους εναλλακτικούς τηλεπικοινωνιακούς παρόχους και τις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας. Η διατήρηση της υψηλής ποιότητας των ως άνω υπηρεσιών, προϋποθέτει το διαρκή έλεγχο όλων των υποδομών του ΟΤΕ, σημαντικό τμήμα των οποίων αποτελούν τα τηλεπικοινωνιακά κέντρα. Επί της ουσίας, πρόκειται για τα κτίρια του ΟΤΕ, τα οποία φέρουν στο δώμα τους ιστούς για τις ανάγκες λειτουργίας του δικτύου (Σχήμα 1).

Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι στις αρχικές μελέτες τα παραπάνω κτίρια και οι ιστοί εξετάστηκαν ξεχωριστά, χωρίς εξέταση της δυναμικής αλληλεπίδρασής τους. Πιο συγκεκριμένα, σε ό,τι αφορά κτίρια στο δώμα των οποίων τοποθετούντο, εκ των υστέρων και μετά την κατασκευή τους, ιστοί, ελεγχόταν μόνο η στατική επάρκεια των υποστυλωμάτων υπό το πρόσθετο βάρος των ιστών, ενώ δεν γινόταν πρόσθετος έλεγχος της σεισμικής τους επάρκειας. Σε ό,τι αφορά τους ιστούς, δεν εξεταζόταν καθόλου η σεισμική τους επάρκεια, θεωρώντας ότι ο άνεμος αποτελεί δυσμενέστερη φόρτιση.

Στα πλαίσια ελέγχου και αξιοποίησης των εν λόγω υποδομών, συστάθηκε ερευνητικό πρόγραμμα, υπό την αιγίδα της ΓΓΕΤ, με τίτλο «Αποτίμηση, ιεράρχηση και μείωση του σεισμικού κινδύνου του Εθνικού τηλεπικοινωνιακού δικτύου». Πλην του ΟΤΕ, ως φορείς συμμετέχουν τα Τμήματα Πολιτικών Μηχανικών των Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης, Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και του Πανεπιστήμιου Πατρών.

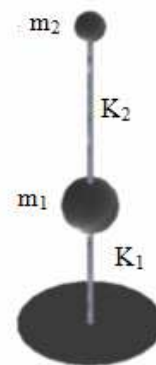
Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η δυναμική συμπεριφορά του συστήματος κτιρίου – ιστού προς έλεγχο των ως άνω παραδοχών και εξαγωγή συμπερασμάτων για την πράξη. Η σεισμική δράση ιστών, οι οποίοι βρίσκονται στο δώμα κτιρίων, αναμένεται να διαφέρει από εκείνην ιστών επί εδάφους. Ο λόγος είναι ότι μεταξύ του εδάφους και του ιστού παρεμβάλλεται το κτίριο, τα δυναμικά χαρακτηριστικά του οποίου επηρεάζουν την απόκριση του ιστού. Σε ό,τι αφορά το κτίριο, προς εξέταση είναι αν επιτρέπεται να λαμβάνεται υπόψη ο ιστός μόνο ως πρόσθετη μάζα στο δώμα, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τα δυναμικά χαρακτηριστικά του. Ένα άλλο ερώτημα αφορά την τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς του συστήματος.

3. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ – ΙΣΤΟΥ

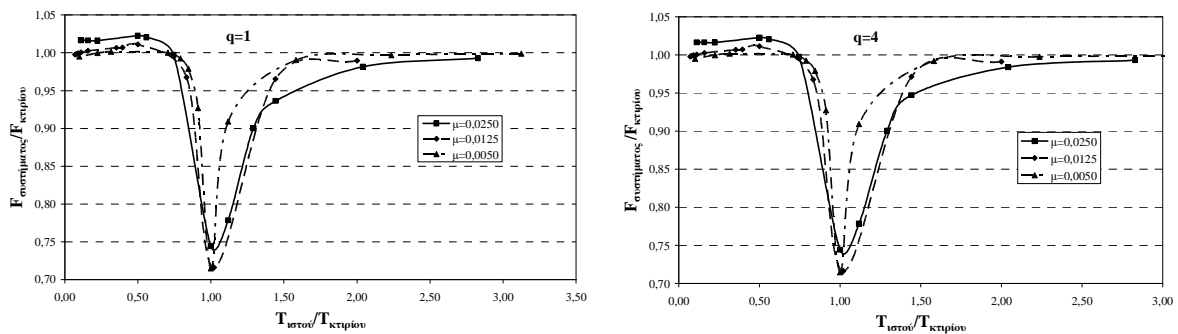
Για τη μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς του συστήματος κτίριο – ιστός, το εν λόγω σύστημα προσομοιώθηκε ως διβάθμιος ταλαντωτής με χαρακτηριστικά αντιπροσωπεύοντα το κτίριο – δείκτης 1 – και τον ιστό – δείκτης 2 (Σχήμα 1). Οι σεισμικές δυνάμεις του ιστού και του κτιρίου προσδιορίστηκαν μέσω φασματικής ανάλυσης και συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες δυνάμεις του ιστού, αν βρισκόταν επί του εδάφους και του κτιρίου αν δεν είχε τον ιστό στο δώμα του. Ως παράμετροι του προβλήματος χρησιμοποιήθηκαν οι ιδιοπερίοδοι του ιστού και του κτιρίου, θεωρούμενων ως μεμονωμένων και ο λόγος μ της μάζας του ιστού προς τη μάζα του κτιρίου, ο οποίος μ κυμαίνεται, ανάλογα με το ύψος του ιστού και το μέγεθος του κτιρίου, μεταξύ 1% και 5%. Οι ιδιοπερίοδοι των ιστών κυμαίνονται, ανάλογα με το ύψος τους, μεταξύ 0,15 και 0,60 sec.



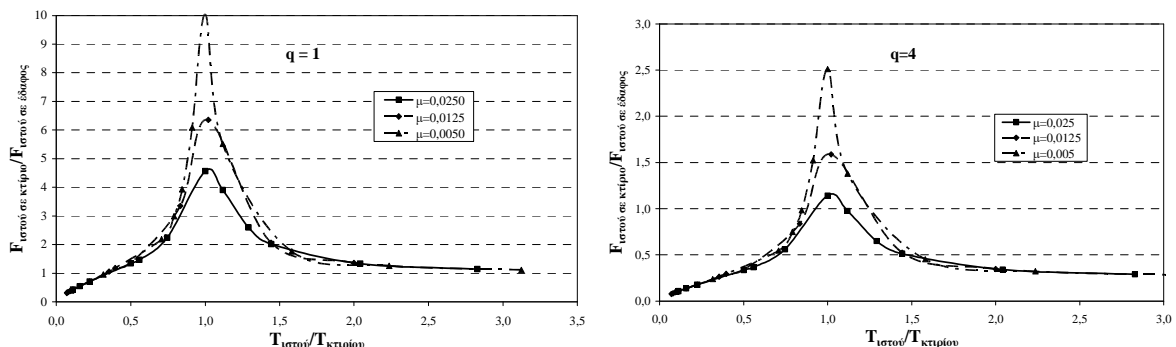
Σχ. 1 – Τηλεπικοινωνιακό κέντρο ΟΤΕ και διβάθμιος ταλαντωτής κτίριο – ιστός.



Ως φάσματα σχεδιασμού χρησιμοποιήθηκαν ελαστικά και ανελαστικά φάσματα του Ευρωκώδικα 8 [1] για έδαφος κατηγορίας Β. Οι τιμές των συντελεστών συμπεριφοράς q των ανελαστικών φασμάτων διαφέρουν για τους ιστούς και τα κτίρια. Για τους ιστούς είναι $q = 1$, δεδομένου ότι ο κρίσιμος συνδυασμός διαστασιολόγησης των ιστών είναι συνήθως ο άνεμος που δε συνδυάζεται με το σεισμό. Επομένως, οι ιστοί επί εδάφους και επί κτιρίων, σχεδιασμένοι για δυνάμεις ανέμου, διαθέτουν επαρκή υπεραντοχή και δεν αναμένεται να αναπτύξουν ανελαστική συμπεριφορά στην περίπτωση σεισμικής φόρτισης. Από την άλλη τα κτίρια έχουν δεδομένη τιμή του q , ανάλογα με το στατικό σύστημα του φορέα και το υλικό δόμησης. Στα ακόλουθα Σχήματα (2 – 3) παρουσιάζονται οι λόγοι σεισμικών δυνάμεων κτιρίων με ιστό προς κτίριων χωρίς ιστό και ιστών επί κτιρίων προς ιστούς επί εδάφους για διάφορες τιμές των παραμέτρων.



Σχ. 2 – Λόγοι σεισμικών δυνάμεων κτιρίων με ιστό προς κτίρια χωρίς ιστό για $q=1$ και $q=4$.



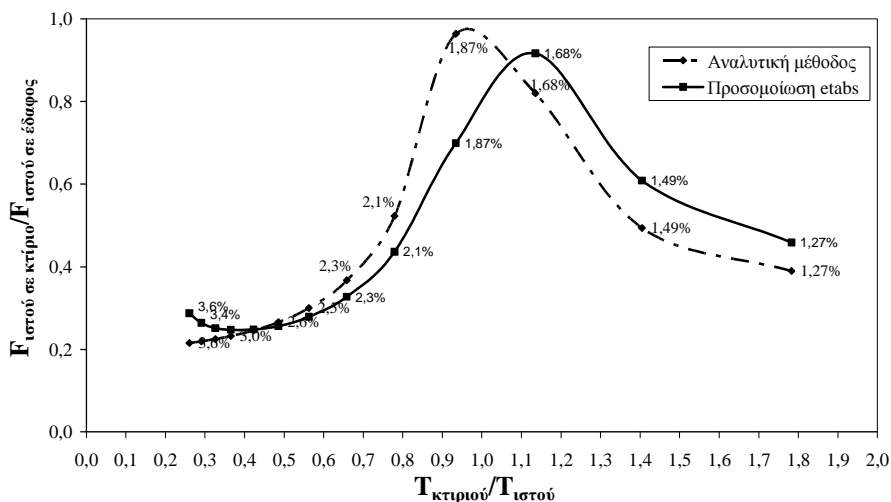
Σχ. 3 – Λόγοι σεισμικών δυνάμεων ιστών επί κτιρίων προς ιστούς επί εδάφους για $q=1$ και $q=4$.

Από τις ως άνω αναλύσεις προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα. Όσον αφορά τα κτίρια με ιστούς στο δώμα, οι σεισμικές τους δυνάμεις είναι μεγαλύτερες κατά το συντελεστή $(1+\mu)$, εφόσον ο ιστός είναι πλέον δύσκαμπτος του κτιρίου (χαμηλός ιστός – ψηλό κτίριο), ενώ είναι περίπου ίσες με αυτές κτιρίου χωρίς ιστό αν ο ιστός είναι πιο εύκαμπτος του κτιρίου (υψηλός ιστός – χαμηλό κτίριο). Παράλληλα, στην περιοχή συντονισμού, όπου οι ιδιοπερίοδοι κτιρίου και ιστού είναι περίπου ίδιες, διαπιστώνεται μείωση, μέχρι 30%, της σεισμικής δύναμης του κτιρίου με ιστό. Οι παραπάνω διαπιστώσεις ισχύουν ανεξαρτήτως της τιμής του συντελεστή συμπεριφοράς q (Σχήμα 2). Εξάλλου, επειδή η τιμή του μ (μάζα ιστού προς μάζα κτιρίου) είναι πολύ μικρή, η πρόσθετη δύναμη στα κτίρια λόγω των ιστών, παρατηρούμενη μόνο όταν ο ιστός είναι πλέον δύσκαμπτος του κτιρίου, είναι αμελητέα. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι απαιτήσεις απορρόφησης σεισμικής ενέργειας, και επομένως και οι τιμές των συντελεστών συμπεριφοράς q , σε κτίρια με ή χωρίς ιστούς είναι παρόμοιες. Το πρακτικό συμπέρασμα των ως άνω παρατηρήσεων είναι ότι κατά τη σεισμική ανάλυση κτιρίων με ιστούς στο δώμα τους μπορεί, υπέρ της ασφαλείας, να λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη του ιστού με προσθήκη μάζας στο δώμα, ίσης με τη μάζα του ιστού. Δεν απαιτείται επομένως για την

ανάλυση των κτιρίων να προσομοιωθεί ιδιαίτερα και ο ιστός στο δώμα, ούτε να μεταβληθεί ο συντελεστής συμπεριφοράς.

Στην περίπτωση των ιστών παρατηρείται ότι οι σεισμικές δυνάμεις των ιστών είναι πολύ ευαίσθητες σε φαινόμενα συντονισμού κτιρίου – ιστού (Σχήμα 3). Πιο συγκεκριμένα, οι σεισμικές δυνάμεις των ιστών επί κτιρίων στην περιοχή συντονισμού, όπου οι ιδιοπερίοδοι ιστών και κτιρίων είναι παρόμοιες, είναι πολλαπλάσιες από αυτές των ιστών επί εδάφους και δεν επιτρέπεται να αγνοούνται καθώς μπορεί να προκύψουν και μεγαλύτερες από τις δυνάμεις ανεμοφόρτισης. Ωστόσο, αν το κτίριο είναι πολύ πιο εύκαμπτο από τον ιστό, παρουσιάζονται φαινόμενα σεισμικής μόνωσης και οι σεισμικές δυνάμεις των ιστών επί κτιρίων μειώνονται αισθητά σε σχέση με αυτές ιστών επί εδάφους. Οι ανωτέρω διαπιστώσεις ισχύουν αν το κτίριο συμπεριφέρεται ελαστικά. Για ελαστοπλαστική συμπεριφορά του κτιρίου, όπου το κτίριο παρουσιάζει αυξημένο συντελεστή συμπεριφοράς, η δυναμική επαύξηση στην ευαίσθητη περιοχή συντονισμού είναι μικρότερη και γενικώς δεν αναμένεται να οδηγήσει σε κρίσιμο το σεισμικό συνδυασμό.

Οι ανωτέρω παρατηρήσεις ισχύουν στο βαθμό που το κτίριο και ο ιστός αποκρίνονται βασικά στην πρώτη ιδιομορφή. Αν περισσότερες ιδιομορφές επηρεάζουν την απόκριση απαλύνονται τα ισχυρά φαινόμενα συντονισμού του ιστού. Καθώς το κτίριο και ο ιστός είναι πολυβάθμιοι ταλαντωτές με περισσότερες από μία κύριες ιδιομορφές, η παραπάνω αναλυτική διερεύνηση καθίσταται αρκετά απλοποιητική. Για την επαλήθευση της πραγματοποιήθηκε σειρά αριθμητικών αναλύσεων με χρήση του λογισμικού ETABS [2]. Πιο συγκεκριμένα, προσομοιώθηκαν ιστοί ύψους από 6 ως 30 μέτρα καθώς και τρία κτίρια με διαφορετική δυσκαμψία. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα για κτίριο με συντελεστή συμπεριφοράς $q=5$, όπου παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη απόκλιση παρουσιάζεται κοντά στο συντονισμό κτιρίου και ιστού. Δεδομένης της αρκετά απλοποιητικής θεώρησης του διβάθμιου συστήματος η απόκλιση αυτή θεωρείται αποδεκτή.



Σχ. 4 – Λόγοι σεισμικών δυνάμεων ιστών επί κτιρίων προς ιστούς επί εδάφους αναλυτικής και αριθμητικής επίλυσης.

4. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΦΑΣΜΑ ΟΡΟΦΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

Η παραπάνω διερεύνηση οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η σεισμική συμπεριφορά του ιστού επηρεάζεται σημαντικά όταν βρίσκεται στο δώμα κτιρίου. Σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000 [3], ο έλεγχος σεισμικής επάρκειας ιστού επί δώματος πραγματοποιείται υπό τη

θεώρηση ότι ο ιστός αποτελεί προσάρτημα στο κτίριο. Η οριζόντια σεισμική δύναμη δίνεται από τη σχέση (ΕΑΚ 2000 [3]):

$$F_{\text{ιστού}} = M_{\text{ιστού}} \cdot A_g \cdot \frac{4}{1 + \left(1 - \frac{T_{\text{ιστού}}}{T_{\text{κτιρίου}}}\right)^2} \quad (1)$$

όπου προκύπτει ότι η μέγιστη σεισμική δύναμη που δύναται να δεχθεί ο ιστός είναι:

$$F_{\text{max,ιστού}} = 4 \cdot M_{\text{ιστού}} \cdot A_g \quad (2)$$

Από τις παραπάνω αναλύσεις προέκυψε ότι ειδικά στην περιοχή συντονισμού η σεισμική δύναμη του ιστού σε δώμα μπορεί να είναι ως και δέκα φορές μεγαλύτερη αυτής για ιστό επί εδάφους. Προτείνεται λοιπόν τροποποιημένο φάσμα σχεδιασμού για τον υπολογισμό της σεισμικής δύναμης των ιστών επί κτιρίων, χωρίς αυτά να θεωρούνται προσαρτήματα και να απαιτείται η μελέτη του συνολικού συστήματος. Το προτεινόμενο φάσμα σχεδιασμού (Σχήμα 5) εξαρτάται άμεσα από το λόγο των ιδιοπεριόδων ιστού προς κτιρίου και δίδεται από τις ακόλουθες εξισώσεις. Για ενδιάμεσες τιμές προτείνεται γραμμική παρεμβολή. Σημειώνεται ότι το προτεινόμενο φάσμα έχει βαθμονομηθεί για $\mu \leq 5\%$.

$$S_{a,\text{ιστού}} = S_{a,\text{κτιρίου}} \quad \text{για} \quad \frac{T_{\text{ιστού}}}{T_{\text{κτιρίου}}} = 0 \quad (3)$$

$$S_{a,\text{ιστού}} = S_{a,\text{κτιρίου}} \cdot 0,84 \cdot \mu^{-0,45} \quad \text{για} \quad \frac{T_{\text{ιστού}}}{T_{\text{κτιρίου}}} = 1,0 \quad (4)$$

$$S_{a,\text{ιστού}} = 1,3 \cdot S_{a,\text{κτιρίου}} \quad \text{για} \quad \frac{T_{\text{ιστού}}}{T_{\text{κτιρίου}}} = 1,5 \quad (5)$$

$$S_{a,\text{ιστού}} = S_{a,\text{κτιρίου}} \quad \text{για} \quad \frac{T_{\text{ιστού}}}{T_{\text{κτιρίου}}} > 2,0 \quad (6)$$

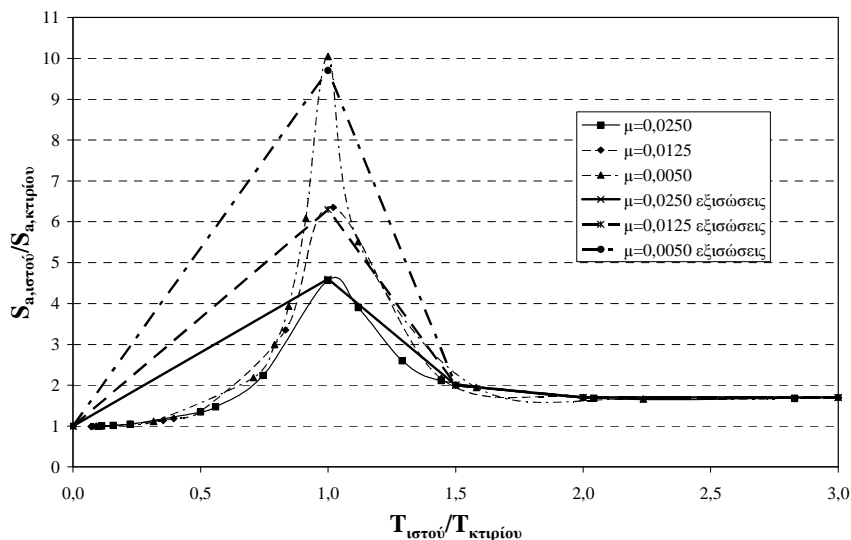
όπου

$S_{a,\text{κτιρίου}}$ η τεταγμένη του φάσματος σχεδιασμού του κτιρίου σε συνάρτηση με την ιδιοπερίοδό του και τον συντελεστή συμπεριφοράς,

$T_{\text{ιστού}}$ η ιδιοπερίοδος του ιστού επί εδάφους,

$T_{\text{κτιρίου}}$ η ιδιοπερίοδος του κτιρίου χωρίς ιστό και

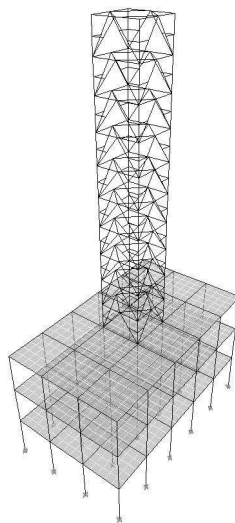
μ ο λόγος της μάζας του ιστού προς τη μάζα του κτιρίου.



Σχ. 5 – Προτεινόμενο φάσμα οροφής κτιρίου

5. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Για την επαλήθευση των ως άνω προτάσεων, παρουσιάζεται ένα τριώροφο κτίριο οπλισμένου σκυροδέματος, το οποίο φέρει στο δώμα του ιστό ύψους 20m (Σχήμα 6). Ως φάσμα σχεδιασμού χρησιμοποιήθηκε ο τύπος 1 του Ευρωκώδικα 8 [1] για έδαφος κατηγορίας Β. Η μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση του εδάφους θεωρήθηκε ίση με 0,24g. Ο συντελεστής σπουδαιότητας για κτίρια τηλεπικοινωνίας είναι $\gamma_i = 1,30$ και ο συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής ίσος με $q=4$. Οι αριθμητικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με χρήση του λογισμικού ETABS [2] και περιλαμβάνουν την εξέταση του συνόλου της κατασκευής (κτίριο και ιστός), το κτίριο χωρίς τον ιστό καθώς και τον ιστό εδραζόμενο επί εδάφους.



Σχ. 6 – Προσομοίωμα κτιρίου παραδείγματος.

Η μάζα του κτιρίου είναι ίση με 497 t, ενώ η μάζα το ιστού 2,9 t. Συνεπώς, ο λόγος των μαζών προκύπτει ίσος με: $\mu = \frac{2,9}{497} = 0,00584$.

Από την επίλυση του κτιρίου χωρίς τον ιστό, του ιστού επί εδάφους καθώς και του συνόλου της κατασκευής προέκυψαν οι αντίστοιχες τέμνουσες βάσης όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Με βάση τις εξισώσεις 3 – 6, υπολογίζεται το φάσμα σχεδιασμού για τον υπολογισμό της ζητούμενης σεισμικής δύναμης του ιστού (επί δώματος), όπου

$$S_{a,κτιρίου} = \frac{1001}{497 \cdot 9,81} = 0,205g \text{ και } T_{x,κτιρίου} \approx T_{y,κτιρίου} = 0,54 \text{ sec.}$$

Σεισμικές δυνάμεις	Σύνολο κατασκευής	Πρόταση	Απόκλιση
Κτίριο	1010	1005	1%
Ιστός	11	13,5	23%

Πιν. 1 – Σεισμικές δυνάμεις κτιρίου και ιστού.

Όπως παρατηρείται στον Πίνακα 1, η απόκλιση της σεισμικής δύναμης που δέχεται ο ιστός είναι περίπου 23% και υπέρ της ασφαλείας. Εξάλλου, οι σεισμικές δυνάμεις του κτιρίου και του ιστού δύναται να προσδιοριστούν μέσω των προσεγγιστικών σχέσεων του Ευρωκώδικα 8 [1] ως ακολούθως. Για κτίρια ύψους ως 40m, η ιδιοπερίοδος του κτιρίου δίνεται από τη σχέση $T_1 = C_1 \cdot H^{3/4}$, όπου H είναι το ύψος του κτιρίου (9m για το κτίριο

του παραδείγματος) και η σταθερά C_t ισούται με 0,075 για κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος αποτελούμενες από πλαίσια ροπής. Συνεπώς, η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος προκύπτει ίση με $T_{\text{κτιρίου}} = 0,075 \cdot 9^{3/4} = 0,39 \text{ sec}$, ενώ η σεισμική δύναμη ίση με

$$E_{\text{κτιρίου}} = 0,234 \cdot 497 \cdot 9,81 = 1141 \text{ kN}, \quad \text{όπου} \quad S_{a,\text{κτιρίου}} = \frac{0,24 \cdot 1,20 \cdot 1,30 \cdot 2,50}{4} \text{ g} = 0,234 \text{ g}$$

σύμφωνα με τον τύπο 1 φάσματος σχεδιασμού του Ευρωκώδικα 8 και για έδαφος κατηγορίας Β. Αν ληφθεί υπόψη ο ιστός, σύμφωνα με την προτεινόμενη μεθοδολογία, η σεισμική δύναμη του κτιρίου προκύπτει $E_{\text{Geb}} = 1141 \cdot (1 + 0,00584) = 1148 \text{ kN}$. Με εφαρμογή του προτεινόμενου φάσματος σχεδιασμού και για ιδιοπερίοδο του ιστού επί εδάφους ίση με 0,19 sec, έχουμε $S_{a,\text{ιστού}} = 0,92 \text{ g}$. Οπότε, η σεισμική δύναμη του ιστού είναι $E_{\text{ιστού}} = 0,92 \cdot 2,9 \cdot 9,81 = 26,2 \text{ kN}$, σχεδόν διπλάσια αυτής που προκύπτει από την προτεινόμενη μεθοδολογία.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη διερεύνηση της σεισμικής απόκρισης του συστήματος κτίριο – ιστός προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η θεώρηση ενός ιστού επί δώματος ως απλού προσαρτήματος σύμφωνα με διατάξεις κανονισμών δύναται να οδηγήσει σε υποεκτίμηση της σεισμικής δύναμης, ειδικά σε περιπτώσεις συντονισμού, όπου οι ιδιοπερίοδοι κτιρίου και ιστού είναι παρόμοιες.
- Σε περίπτωση που το κτίριο συμπεριφέρεται ελαστοπλαστικά, η δυναμική επαύξηση της περιοχής συντονισμού μειώνεται αισθητά.
- Η ύπαρξη ιστού σε κτίριο δεν επηρεάζει αισθητά τη σεισμική απόκριση του ίδιου του κτιρίου. Δύναται λοιπόν ο ιστός να λαμβάνεται μόνο ως πρόσθετη μάζα στο δώμα του κτιρίου.
- Ο συντελεστής συμπεριφοράς q του κτιρίου δεν μεταβάλλεται λόγω της προσθήκης ιστού.
- Στην παρούσα εργασία προτείνεται ένα φάσμα οροφής κτιρίου με το οποίο μπορεί να προσδιορισθούν οι σεισμικές δυνάμεις στον ιστό, χωρίς να απαιτείται εξέταση του συστήματος κτίριο – ιστός.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] European Committee for Standardization (CEN), “Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings”, CEN, 2003.
- [2] Computer and Structures inc., ETABS v.8 Nonlinear
- [3] Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ), “Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ) 2000”, Εκδόσεις ΟΑΣΠ, 2000.

SEISMIC BEHAVIOUR OF MASTS ON TOP OF BUILDINGS AND BUILDINGS WITH MASTS ON THEIR ROOFS

**Maria – Eleni Dasiou¹, Ioannis Vayas²,
Ioanna Dakanali³, Marilena Papageorgiou¹**

¹Ph. D. candidate, ²Professor, ³Civil Engineer

National Technical University of Athens, School of Civil Engineering
Athens, Greece

e-mails: vastahl@central.ntua.gr, medasiou@yahoo.com, mpapage@central.ntua.gr

SUMMARY

Masts are often placed on the roofs of new and existing buildings for telecommunication reasons. The present paper deals with the seismic forces that develop in the building due to the placement of the mast, as well as the forces of the mast when placed on top of a building. The seismic forces of masts, on top of buildings, differ from that of masts on the ground, due to the influence of the building dynamic characteristics. The examination of the above influence is considered through the assimilation of the system building – mast as a two degree of freedom oscillator. The parameters that are taken into account are the frequency ratio between building and mast, their mass ratio as well as the ductility of the building.

An analytical methodology is proposed in order to evaluate the seismic forces of the mast and the building. Roof response spectra are developed that allow a separate analysis of the mast, without modeling of the complete structure building – mast. The above proposal is compared with a series of numerical evaluations, in order to verify its accuracy. The results that arise from the above investigation show that the building is not influenced very much by the mast, due to the small weight of the latter, but that the mast may be subjected to high seismic forces if it is in resonance with the building. Furthermore, the behaviour factor q of the building is not affected by the presence of a mast on its top.

Finally, a certain building with a mast on its top is considered as an example, in order to compare the evaluation of the seismic forces, proposed from the above methodology, in relation to these that arise from dynamic elastic analyses.