

## **ΠΟΛΥΟΡΟΦΟ ΚΤΗΡΙΟ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ**

**Μιχάλης Αγγελίδης**

Πολιτικός Μηχανικός

AMTE A.E. Τεχνικών Μελετών

Αθήνα

e-mail: [amte@otenet.gr](mailto:amte@otenet.gr)

**Αλεξάνδρα Σκόκου**

Πολιτικός Μηχανικός

AMTE A.E. Τεχνικών Μελετών

Αθήνα

e-mail: [amte@otenet.gr](mailto:amte@otenet.gr)

**Βασίλης Σαραντόπουλος**

Πολιτικός Μηχανικός

AMTE A.E. Τεχνικών Μελετών

Αθήνα

e-mail: [amte@otenet.gr](mailto:amte@otenet.gr)

### **1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Παρουσιάζεται η μελέτη πολυορόφου κτηρίου στέγασης σταθμού αυτοκινήτων στο αεροδρόμιο της Αθήνας, συνολικής δομημένης επιφάνειας 97000 τετραγωνικών μέτρων και χωρητικότητας 3630 αυτοκινήτων. Το κτήριο έχει μεταλλικούς φορείς για τα υποστυλώματα και τα αντιανέμια και σύμμικτους φορείς για τις πλάκες. Η οροφή είναι μεταλλική. Καθοριστικά στοιχεία για τη μόρφωση των φορέων αποτέλεσαν οι αρχιτεκτονικές απαιτήσεις του έργου για μεγάλα ανοίγματα μεταξύ υποστυλωμάτων (16,55 μ) και η επιθυμία του Κυρίου του Έργου για χώρους ανοικτούς, ανεμπόδιστους από συχνά αντιανέμια ή τοιχώματα. Λόγω της σημαντικής σεισμικής επιβάρυνσης του φορέα και των παραπάνω απαιτήσεων, μετά από διερευνήσεις διαφόρων εναλλακτικών μορφών, επελέγη λύση η οποία περιελάμβανε σεισμικούς αποσβεστήρες τριβής στους αντιανέμιους συνδέσμους.

## 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το έργο αφορά στη μελέτη πολυορόφου σταθμού αυτοκινήτων συνολικής χωρητικότητας περίπου 3630 οχημάτων. Το κτήριο χωροθετείται στην έκταση που καταλαμβάνει σήμερα ο χώρος στάθμευσης μικρής διάρκειας (P1), δηλαδή μπροστά από το κτήριο του κεντρικού αεροσταθμού. Προβλέπονται 6 όροφοι (πέραν του ισογείου) και οι συνολικές διαστάσεις είναι 200 μέτρα μήκος επί 66,45 μέτρα πλάτος. Το συνολικό ύψος είναι 23 μέτρα και προβλέπονται συνδέσεις με τη γέφυρα αναχωρήσεων και με την πεζογέφυρα μεταξύ γέφυρας αναχωρήσεων και σταθμού ΟΣΕ.

Το έργο ανετέθη από το Διεθνές Αεροδρόμιο Αθηνών σε κοινοπραξία γερμανικών μελετητικών γραφείων υπό την αρχιτεκτονική εταιρεία Koch + Partner και βασίζεται σε προμελέτη που είχε εκπονήσει η Koch + Partner το 2008. Η ΑΜΤΕ συμμετείχε στην αρχή του έργου ως σύμβουλος της κοινοπραξίας για τον αντισεισμικό σχεδιασμό και στην εξέλιξη του έργου ανέλαβε την εκπόνηση της στατικής μελέτης σε συνεργασία με το μέλος της κοινοπραξίας Cordes + Partner. Από πλευράς ιδιοκτήτη, την παρακολούθηση της μελέτης ανέλαβε η τεχνική υπηρεσία του αεροδρομίου. Η μελέτη ολοκληρώθηκε το 2010.



Εικ. 1: Φωτορρεαλιστική απεικόνιση του έργου (© K+P Group) «[1]»

## 2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΤΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

Αποφασίσθηκε από την αρχή οι δυο ελικοειδείς ράμπες εισόδου και εξόδου στο δυτικό άκρο του κτηρίου να αποτελέσουν στατικά ανεξάρτητους φορείς, εξαιτίας της πολύ διαφορετικής δυσκαμψίας τους και της έκκεντρης θέσης τους ως προς το υπόλοιπο κτήριο. Για τους ίδιους λόγους χωρίσθηκε και ο πυρήνας των ανελκυστήρων στο ανατολικό άκρο του κτηρίου. Αποφασίσθηκε επίσης και ο χωρισμός του υπολοίπου κτηρίου σε τρεις ανεξάρτητους φορείς μέσω αρμών κατά την εγκάρσια διεύθυνση. Έτσι, εκτός από τις ράμπες και τον πυρήνα των ανελκυστήρων, δημιουργήθηκαν τρεις στατικά ανεξάρτητοι φορείς διαστάσεων περίπου  $66,45 \times 60,00$ . Η αρχιτεκτονική απαίτηση για χωροθέτηση των οκτώ κλιμακοστασίων οπλισμένου σκυρόδεματος στις προσόψεις του κτηρίου δεν επέτρεπε την αποτελεσματική χρήση τους για παραλαβή σεισμικών δυνάμεων χωρίς την εισαγωγή σημαντικών εκκεντροτήτων δυσκαμψίας καθώς και μεγάλων δυνάμεων καταναγκασμού λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών. Για το λόγο αυτό, αποφασίσθηκε να αποτελέσουν και τα κλιμακοστάσια ανεξάρτητους φορείς.

Η αρχιτεκτονική λύση προέβλεπε κάναβο  $16,55 \times 5,00$  μέτρα και αποφυγή τοιχωμάτων ή διαγωνίων συνδέσμων στις προσόψεις, σύμφωνα και με τις απαιτήσεις του ιδιοκτήτη για ανοικτό, ανεμπόδιτο κατά το δυνατό, χώρο. Από την άλλη μεριά, ο αριθμός και η επιφάνεια των ορόφων, σε συνδυασμό με το βάρος των πλακών οπλισμένου σκυροδέματος επιβάλλουν σημαντικές απαιτήσεις στο σύστημα παραλαβής των σεισμικών φορτίων. Διερευνήθηκαν εναλλακτικές λύσεις με χρήση πυρήνων οπλισμένου σκυροδέματος ή μεταλλικών αντιανεμίων συνδέσμων. Και οι δυο λύσεις κατέληξαν σε περιορισμό του εσωτερικού ελεύθερου χώρου σε βαθμό μεγαλύτερο από τον επιθυμητό σύμφωνα με την αρχιτεκτονική σύλληψη του έργου και αναζητήθηκε τρίτη εναλλακτική λύση.

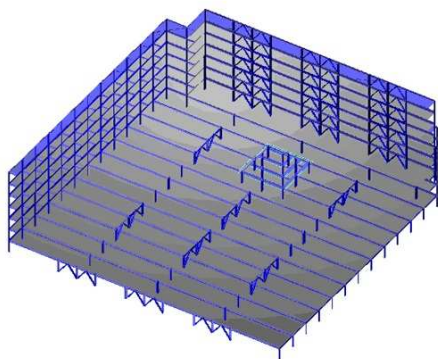
Η τρίτη λύση που τελικά προκρίθηκε προβλέπει τη χρήση αποσβεστήρων στους διαγωνίους συνδέσμους με σκοπό τη μείωση των σεισμικών δυνάμεων έτσι ώστε να περιορισθεί σημαντικά ο αριθμός των αντιανεμίων συνδέσμων. Η λύση αυτή οδήγησε και σε αντίστοιχη σημαντική μείωση των δυνάμεων επί της θεμελίωσης.

Στα επόμενα κεφάλαια, λόγω περιορισμένου διαθέσιμου χώρου παρουσιάζονται μόνο οι βασικές ιδιαιτερότητες του σχεδιασμού, δηλαδή η μεθοδολογία σχεδιασμού των αποσβεστήρων καθώς και σύντομη περιγραφή του σχεδιασμού των φορέων με έμφαση στη φιλοσοφία σχεδιασμού της κύριας σύνδεσης δοκών υποστυλωμάτων.

### 3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ

Ο τύπος των αποσβεστήρων που επελέγη είναι περιστροφικοί αποσβεστήρες τριβής της εταιρείας Damptech, με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

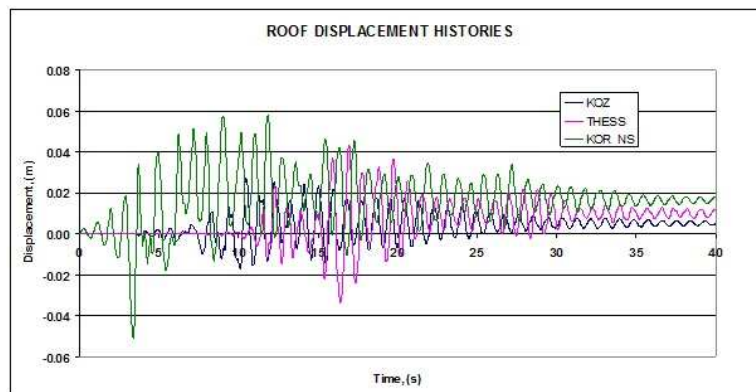
- «Κλείδωμα» των αποσβεστήρων για χαμηλές δυνάμεις, ήτοι λειτουργία των αντιανεμίων ως να μην υπήρχαν αποσβεστήρες για φορτία ανέμου και μικρά σεισμικά φορτία και ενεργοποίηση των αποσβεστήρων για υψηλές δράσεις.
- Σταθερή συμπεριφορά για μεγάλο εύρος μετακινήσεων.
- Υψηλή υστερητική συμπεριφορά με σχεδόν ορθογωνικό διάγραμμα υστέρησης, υποδηλώνοντας υψηλή ικανότητα απόσβεσης.
- Φιλικότητα προς το περιβάλλον, καθότι δεν περιλαμβάνονται λάδια ή άλλα υγρά.
- Δυνατότητα εύκολου επί τόπου ελέγχου και αναπροσαρμογής μετά από σεισμό, χωρίς την ανάγκη αποστολής τους στον προμηθευτή.



Εικ. 2: Διάταξη αντιανεμίων (όψη από την κάτω πλευρά του φορέα) και απεικόνιση διάταξης αποσβεστήρων (εικόνα αποσβεστήρων © Damptech)

Ο σχεδιασμός των αποσβεστήρων διενεργήθηκε σε συνεργασία με τον προμηθευτή τους και περιελάμβανε σειρά μη-γραμμικών υπολογισμών επί δισδιάστατων προσομοιωμάτων τα οποία αντιπροσωπεύουν τα αντίστοιχα επίπεδα των συνδέσμων δυσκαμψίας του φορέα. Οι μάζες σε κάθε προσομοίωμα αντιστοιχούν στις μάζες των ισοδυνάμων επιφανειών που αντιστοιχούν στο κάθε επίπεδο δυσκαμψίας. Οι αποσβεστήρες προσομοιώνονται ως μη-γραμμικά ελατήρια με διγραμμική σχέση δυνάμεων-μετακινήσεων.

Η ανάλυση έγινε χρησιμοποιώντας μη-γραμμική δυναμική ανάλυση με εν χρόνω ολοκλήρωση. Για το σκοπό αυτό επελέγησαν επτά επιταχυνσιογραφήματα από ελληνικούς σεισμούς (Θεσσαλονίκη 1978, Αλκωνίδες 1981, Κοζάνη 1995 και 4 καταγραφές από Καλαμάτα 1986) , τα φάσματα των οποίων βρίσκονται σε ίδιο ή υψηλότερο επίπεδο από το φάσμα του ΕΑΚ και δεν παρουσιάζουν μείωση της σεισμικής ενέργειας στην περιοχή μεταξύ 0,5 και 1,0 sec, η οποία αντιστοιχεί στο εύρος των αναμενόμενων ιδιοπεριόδων του έργου. Τα επιταχυνσιογραφήματα αυτά δεν υπέστησαν τροποποίηση για προσαρμογή τους στο επίπεδο της εδαφικής επιτάχυνσης που ορίζει ο ΕΑΚ για την περιοχή του αεροδρομίου ( $PGA=0,16g$ ), καθότι το ζητούμενο δεν ήταν ο υπολογισμός των απολύτων τιμών των αποκρίσεων αλλά ο καθορισμός του ποσοστού απόσβεσης.



Εικ. 3: Αποτελέσματα μετακινήσεων οροφής από τρία επιταχυνσιογραφήματα

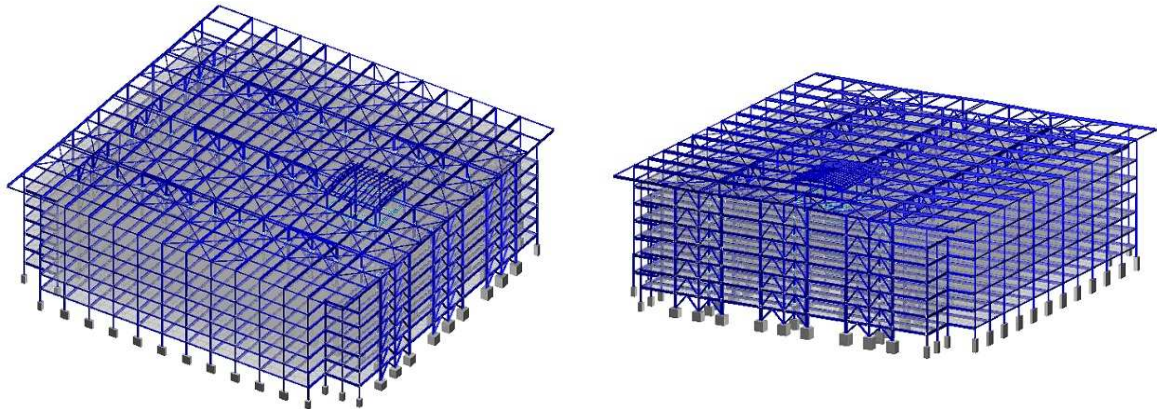
Από τους υπολογισμούς προέκυψε ότι ο συντελεστής μείωσης των σεισμικών δυνάμεων ήταν 3,06 στην εγκάρσια διεύθυνση και 3,18 στη διαμήκη διεύθυνση. Ως συντελεστής μείωσης ορίζεται συντελεστής αντίστοιχος του συντελεστή συμπεριφοράς ( $q$ ), ο οποίος αντιπροσωπεύει τη μείωση της σεισμικής απόκρισης λόγω των αποσβεστήρων ως προς την ελαστική απόκριση με βάση το φάσμα του ΕΑΚ. Η επιτυγχανόμενη απόκριση μετά την απόσβεση είναι συνεπώς της τάξης του 0,33 και 0,32 για την εγκάρσια και διαμήκη διεύθυνση αντίστοιχα. Στους υπολογισμούς για το σχεδιασμό των φορέων που παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο ελήφθη αντίστοιχη μείωση των σεισμικών δυνάμεων λόγω των αποσβεστήρων.

#### 4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΟΡΕΑ

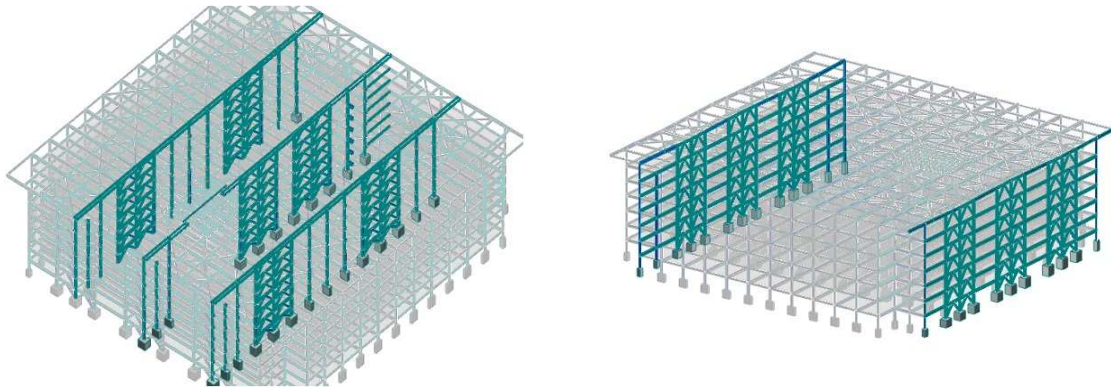
Για τις ανάγκες της ανάλυσης και διαστασιολόγησης δημιουργήθηκαν ανεξάρτητα προσομοιώματα πεπερασμένων στοιχείων για κάθε έναν από τους τρεις στατικά ανεξάρτητους μεταλλικούς φορείς του κτηρίου. Τα προσομοιώματα περιελάμβαναν τα μεταλλικά στοιχεία και τις πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος. Απεικόνιση ενός από τα προσομοιώματα αυτά παρουσιάζεται στην Εικ. 4 και οι αντίστοιχοι κατακόρυφοι



σύνδεσμοι δυσκαμψίας παρουσιάζονται στην Εικ. 5. Το συγκεκριμένο προσομοίωμα αποτελείται από 17934 κόμβους, 17106 επίπεδα πεπερασμένα στοιχεία και 8051 γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία.



Εικ. 4: Προσομοίωμα φορέα (Τμήμα 1)



Εικ. 5: Κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας στις δυο διευθύνσεις (Τμήμα 1)

Στις προσόψεις διατάχθηκε πολυόροφο πλαίσιο με στόχο των περιορισμό της ευστρεφίας του φορέα και την παραλαβή μικρών σεισμικών δυνάμεων. Κατά την προσομοίωση διατάχθηκαν οπές στις πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος γύρω από τα υποστυλώματα, έτσι ώστε να αποφευχθεί μεταφορά ροπών λόγω κατακορύφων φορτίων από τις πλάκες στα υποστυλώματα (βλ. Εικ. 6). Τα αποτελέσματα των υπολογισμών ελέγχθηκαν μέσω δεύτερου προσομοιώματος με ραβδόμορφα στοιχεία, ενώ χρησιμοποιήθηκαν και επί μέρους προσομοιώματα με μεγάλη ανάλυση για τοπικούς ελέγχους και διερευνήσεις.



Εικ. 6: Προσομοίωμα φορέα – Λεπτομέρεια στη θέση πλάκας-υποστυλώματος και στον κόμβο δοκού-υποστυλώματος

Τα μόνιμα φορτία, εκτός από το ίδιο βάρος των φορέων περιέλαβαν και φορτίο εξοπλισμού  $0,20 \text{ kN/m}^2$ , καθώς και φορτίο λόγω φωτοβολταϊκών πανέλων στην οροφή  $0,50 \text{ kN/m}^2$ . Το κινητό φορτίο ελήφθη ως  $3,50 \text{ kN/m}^2$ , σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Υ.Π.Α. για αύξηση της προδιαγραφόμενης στο Εθνικό Προσάρτημα του EN 1991 τιμής των  $2,50 \text{ kN/m}^2$ . Το φορτίο ανέμου και χιονιού υπολογίστηκε με βάση τον EN 1991. Τέλος, ελήφθη υπόψη φορτίο λόγω πιθανής πρόσκρουσης οχημάτων στα υποστυλώματα ίσο με  $40 \text{ kN}$  σε οποιαδήποτε διεύθυνση σε ύψος  $0,80$  μέτρων από την πλάκα. Η σεισμική φόρτιση περιλαμβάνει συντελεστή σπουδαιότητας  $1,15$  και συντελεστή συμμετοχής του κιντού φορτίου  $0,60$ . Λόγω του γεγονότος ότι το σύνολο της κατανάλωσης σεισμικής ενέργειας θεωρείται ότι λαμβάνει χώρα στους αποσβεστήρες, ελήφθη συντελεστής συμπεριφοράς  $q=1,0$ , σε συνδυασμό με τη μείωση της σεισμικής απόκρισης λόγω απόσβεσης που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κφάλαιο.

Για το σχεδιασμό των συμμίκτων δοκών χρησιμοποιήθηκαν εκτός από το γενικό προσομοίωμα του συνολικού φορέα και επί μέρους προσομοιώματα μέσω λογισμικού διαστασιολόγησης συμμίκτων φορέων, καθώς και αναλυτικές μέθοδοι. Η συνήθης θεώρηση είναι να υπολογίζονται ως αμφιέριστες οι σύμμικτες δοκοί και να οπλίζεται παράλληλα η πλάκα για τις αναπόφευκτες αρνητικές ροπές στους κόμβους. Το μεγάλο άνοιγμα των δοκών ( $16,55$  μέτρα) στην προκειμένη περίπτωση και τα προκύπτοντα εντατικά μεγέθη δεν επιτρέπουν την αγνόηση της ροπής που μπορεί να αναπτύσσεται στο υποστύλωμα. Επιπροσθέτως, παρά το γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος των σεισμικών δυνάμεων παραλαμβάνεται κυρίως από τους αντιανέμιους συνδέσμους και δευτερευόντως από τα πλαίσια των προσόψεων, δεν μπορεί να είναι αμελητέες και οι σεισμικές ροπές στους κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων. Για το λόγο αυτό, προσομοιώθηκε λεπτομερώς ο φορέας στη θέση των κόμβων και επελέγη μια λύση που να διασφαλίζει τον κόμβο δοκού υποστυλώματος. Συγκεκριμένα, η ένωση μεταξύ υποστυλωμάτων τοποθετήθηκε εκτός της περιοχής της πλάκας και η ένωση δοκού-υποστυλώματος μεταφέρθηκε εκτός του υποστυλώματος (βλ. Εικ. 6). Με τον τρόπο αυτό, η περιοχή υψηλών εντατικών μεγεθών του κόμβου του υποστυλώματος θα μορφωθεί στο εργοστάσιο με την απαραίτητη διασφάλιση ποιότητας και η εργοταξιακή σύνδεση ανέγερσης θα γίνει σε περιοχή μικρότερης έντασης. Η μεθοδολογία αυτή έχει αποδειχθεί ότι συμπεριφέρεται επιτυχώς στην πράξη (βλέπε σχετικά και «[2]») και συστήνεται για τη διασφάλιση πλάστιμης συμπεριφοράς («[3]»). Παράλληλα, η κοχλίωση μεταφέρεται σε μια περιοχή (περίπου  $1$  μέτρο από τον κόμβο) όπου έχει μειωθεί σημαντικά η αρνητική ροπή αλλά συγχρόνως το μεταλλικό τμήμα του φορέα βρίσκεται στην κάτω πλευρά του ουδέτερου άξονα, ώστε να μην εφελκούνται οι κοχλίες.

Ως πρόσθετο μέτρο ασφαλείας, οι πυρήνες οπλισμένου σκυροδέματος των κλιμακοστασίων διαστασιολογήθηκαν για παραλαβή σεισμικών δυνάμεων από πρόσκρουση των φορέων του κτηρίου, σε περίπτωση που η σεισμική δράση υπερβαίνει την τιμή σχεδιασμού. Αυτό επιτυγχάνεται σχετικά απλά και χωρίς αξιόλογη κοστολογική επίπτωση, καθότι οι ανεξάρτητοι φορείς των κλιμακοστασίων διαθέτουν λόγω της γεωμετρίας τους σημαντική δυσκαμψία και μεγάλη υπεραντοχή σε σχέση με τα φορτία που φέρουν. Η κίνησή τους σε ένα σεισμό ισχυρότερο του προδιαγραφόμενου θα είναι σαφώς μικρότερη από εκείνη των φορέων του κτηρίου, ενώ παράλληλα θα διαθέτουν και υπόλειμμα αντοχής ικανό να απορροφήσει πρόσθετες δυνάμεις από τους φορείς των κτηρίων.

Λόγω του γεγονότος ότι το έργο μπορεί να βρίσκεται σε φάση δημοπράτησης κατά την έκδοση του παρόντος άρθρου, δεν είναι δυνατό να δοθούν περισσότερα στοιχεία ως προς τις λεπτομέρειες κατασκευής, καθώς και ποσοτικά και κοστολογικά δεδομένα.

## **5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η χρήση αποσβεστήρων επέτρεψε τη συμμόρφωση προς τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις και τη δημιουργία ενός κτηριακού όγκου με αίσθηση «ελαφρότητας» και φωτεινότητας, χάρις στον περιορισμό των αντιανεμίων συνδέσμων και στην έλλειψη τοιχωμάτων. Παράλληλα, προέκυψε και σημαντικό οικονομικό όφελος, λόγω του περιορισμού των σεισμικών δυνάμεων, ο οποίος είχε άμεση επίπτωση στις ποσότητες του μεταλλικού φορέα και στο κόστος της θεμελίωσης.

## **6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] Peron M. “Anbindung als Herausforderung. Konzept für ein Großparkhaus am Flughafen Athen”, *Umriss*, Vol. 11, No. 2, 2011, p. 23.
- [2] Βάγιας Ι. “Σύμμικτες Κατασκευές”, *Εκδόσεις Κλειδάριθμος*, 1997, σελ. 322.
- [3] Bruneau M., Uang C.M. και Whittaker A. “Ductile Design of Steel Structures”, *McGraw-Hill*, 1998, σελ. 364-376.

# MULTI-STOREY PARKING STRUCTURE

**Michael Angelides**

Structural Engineer

AMTE Consulting Engineers

Athens, Greece

e-mail: [amte@otenet.gr](mailto:amte@otenet.gr)

**Alexandra Skokou**

Structural Engineer

AMTE Consulting Engineers

Athens, Greece

e-mail: [amte@otenet.gr](mailto:amte@otenet.gr)

**Vasilis Sarantopoulos**

Structural Engineer

AMTE Consulting Engineers

Athens, Greece

e-mail: [amte@otenet.gr](mailto:amte@otenet.gr)

## SUMMARY

The design of a multi-storey parking structure at the Athens airport is presented, with total built surface of 97000 square meters and capacity of 3630 cars. The building is composed of a steel structure for columns and bracings and of a steel-concrete composite structure for the beams and slabs. The roof is a steel structure. The architectural requirements of the project for large spans between columns (16,55 m) and the wish of the Owner for open spaces, free from frequent bracings or shear walls constituted crucial parameters for the structural design. Due to the significant seismic loading on the structure and the above requirements, several alternative structural forms were investigated and a solution involving frictional seismic dampers at the bracings was selected.