

**ΟΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΙ ΦΟΡΕΙΣ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΕΓΟΥ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ  
ΤΗΣ AEGEAN S.A. ΣΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ «ΕΛ. ΒΕΝΙΖΕΛΟΣ»**

**Φ. Ζούλας**

Σύμβουλος Δομοστατικός Μηχανικός  
Λ. Καραγιάννη 78, 113 61 – Αθήνα, Ελλάδα  
e-mail : zuzu@otenet.gr

**Σ. Ευστρατιάδης**

Πολιτικός Μηχανικός, E.M.Π. M.Sc. D.I.C. (Str. Eng.)  
Ελληνική Μελετητική Α.Τ.Ε.  
Κόνιαρη 45 & Λ. Αλεξάνδρας, 11471 – Αθήνα, Ελλάδα  
e-mail : se@hellinikimeletitiki.gr

**Δ. Ευστρατιάδης**

Πολιτικός Μηχανικός, M. Eng. Imperial College  
Ελληνική Μελετητική Α.Τ.Ε.  
Κόνιαρη 45 & Λ. Αλεξάνδρας, 11471 – Αθήνα, Ελλάδα  
e-mail : de@hellinikimeletitiki.gr

## **1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στη παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα πιο ενδιαφέροντα στοιχεία της μελέτης και της κατασκευής των μεταλλικών φορέων του στεγάστρου συντήρησης αεροσκαφών της εταιρίας Aegean S.A. στο διεθνές αεροδρόμιο «Ελευθέριος Βενιζέλος».

Ο κύριος φέρων οργανισμός αποτελείται από ένα σύνολο παραλλήλων αμφιαρθρωτών επίπεδων δικτυωτών πλαισίων που συνδέονται μεταξύ τους και με τους φορείς των δύο μετώπων μέσω τεγίδων, οριζοντίων και κατακορύφων αντιανεμίων συνδέσμων ώστε να δημιουργείται ένα ενιαίο φέρον σύστημα στο χώρο. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η κατακόρυφα ανοιγόμενη μετώπη του κτιρίου η οποία μορφώνεται από ένα δίδυμο χαλύβδινο πλαίσιο, από το οποίο αναρτώνται οι τριών τμημάτων θύρες, που μπορούν να δημιουργήσουν συνολικό μέγιστο ελεύθερο άνοιγμα 56,0 m για την είσοδο των αεροσκαφών στο κτίριο. Εντός του υποστέγου αναπτύσσεται στατικά ανεξάρτητο διώροφο κτίριο γραφείων.

Η ανάλυση, η διαστασιολόγηση και οι έλεγχοι ευστάθειας και αντοχής των στοιχείων που συνιστούν τον φέροντα οργανισμό, υπό την δράση των εξωτερικών φορτίων, πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τους ισχύοντες ελληνικούς κανονισμούς και ειδικότερα σύμφωνα με τους E.C.1, E.C.3 και EAK2000.

## 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το υπόστεγο συντήρησης αεροσκαφών, του οποίου οι φορείς συνιστούν το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, κατασκευάστηκε στον χώρο του διεθνούς αεροδρομίου «Ελευθέριος Βενιζέλος» για λογαριασμό της Aegean S.A..

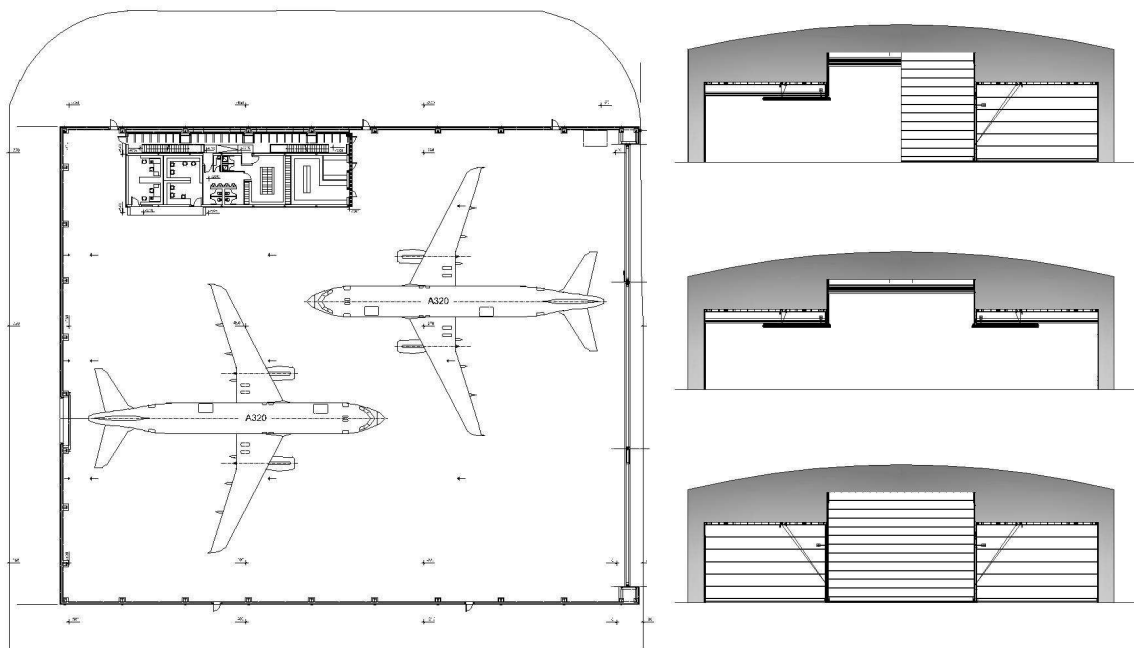
Το μεταλλικό υπόστεγο (Hangar), του οποίου η κατασκευή περατώθηκε το 2008, παρέχει την δυνατότητα ταυτόχρονης επιθεώρησης και συντήρησης δύο αεροσκαφών A320. Η καλυπτόμενη επιφάνεια είναι  $4380 \text{ m}^2$  περίπου και οι διαστάσεις του είναι  $60,0\text{m} \times 73,0\text{m}$ . Το μέγιστο ελεύθερο ύψος είναι  $15,5\text{m}$  περίπου και το ελάχιστο είναι περίπου  $13,0\text{m}$ .

Εντός του κτιρίου αναπτύσσεται επίσης ένα στατικώς ανεξάρτητο (room in room) διώροφο κτίριο γραφείων με χαλύβδινο φέροντα οργανισμό και σύμμικτο σύστημα δαπέδων. Οι διαστάσεις του κτιρίου αυτού είναι  $28,0\text{m} \times 9,3\text{m}$  σε κάτοψη.

Στη μία μετώπη του υποστέγου εξασφαλίζεται, μέσω ανηρτημένων θυρών τύπου MEGADOOR τριών ανοιγμάτων, συνολικό μέγιστο ελεύθερο άνοιγμα  $56,0 \text{ m}$  για την είσοδο των αεροσκαφών στο κτίριο. Το άνοιγμα των θυρών επιτυγχάνεται μέσω μηχανισμών που εδράζονται στο δίδυμο χαλύβδινο πλαίσιο που τις φέρει.

Η θεμελίωση του υποστέγου επιτυγχάνεται βασικά με δύο διαμήκεις ορθογωνικές πεδילוδοκούς από ωπλισμένο σκυρόδεμα, βυθισμένες εντός του υφιστάμενου υποστρώματος της πίστας του Αεροδρομίου.

Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται η γενική κάτοψη του υποστέγου και διάφορες φάσεις λειτουργίας της ανοιγόμενης μετώπης..



Εικ. 1.Γενική κάτοψη του υποστέγου και διάφορες φάσεις λειτουργίας της ανοιγόμενης μετώπης

### 3.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

Ο κύριος φέρων οργανισμός, του οποίου η γενική διάταξη φαίνεται στην εικόνα 2, αποτελείται από:

α) ένα σύνολο οκτώ δικτυωτών αμφιαρθρωτών πλαισίων ανοίγματος περίπου 60,0m τοποθετημένων σε απόσταση 8,0m μεταξύ τους. Τόσο το κατακόρυφο όσο και το οριζόντιο τμήμα του πλαισίου είναι δικτυωτής μορφής. Το υποστύλωμα του πλαισίου, ύψους 15,5m περίπου, αποτελείται από ένα κατακόρυφο, κυρίως εφελκυσμένο στοιχείο διατομής HEA260 και ένα κεκλιμένο, κυρίως θλιβόμενο στοιχείο (αντηρίδα) από τετράγωνη κοιλοδοκό 350x16mm, των οποίων οι άξονες συναντώνται σε ένα σημείο στο υψόμετρο +0,40m, όπου και μορφώνεται η άρθρωση στη βάση του πλαισίου. Τα δύο παραπάνω στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους μέσω διαγωνίων συνδέσμων από τετράγωνες κοιλοδοκούς, 120x5mm και 100x4mm, ανάλογα με τη θέση τους, ώστε να δημιουργηθεί ενιαίο υποστύλωμα.

Το οριζόντιο τμήμα του πλαισίου, επίσης δικτυωτής μορφής, στατικού ύψους περίπου 3,1m, αποτελείται από άνω και κάτω, κεκλιμένα ως προς την οριζόντια διεύθυνση, πέλματα (κλίση 10,88%) διατομής HEA 280 για αμφότερα. Άνω και κάτω πέλματα συνδέονται μεταξύ τους μέσω διαγωνίων ράβδων και ορθοστατών, αποτελούμενων από διατομές τύπου HEA και κοιλοδοκούς διαφόρων διαστάσεων και παχών ώστε να μορφωθεί η δικτυωτή δοκός. Στην εικόνα 3 φαίνεται η μορφή του τυπικού πλαισίου.

β) ένα δίδυμο αμφιαρθρωτό πλαίσιο ίδιου ανοίγματος με τα πλαίσια του εδαφίου α) το οποίο φέρει τα στοιχεία που συνιστούν τις μεγάλες, κατακόρυφα ανοιγόμενες, θύρες τύπου MEGADOOR στη μία όψη του κτιρίου.

Αποτελείται από δυο όμοια επίπεδα δικτυωτά πλαίσια που απέχουν μεταξύ τους 1,80m και συνδέονται ώστε να αποτελούν ένα ενιαίο σύνολο. Κάθε ένα από τα επίπεδα πλαίσια αποτελείται από δυο δικτυωτά υποστυλώματα στατικού ύψους 1,525m, ίδιου ύψους με τα υποστυλώματα των πλαισίων του εδαφίου α) , αρθρωτά στη βάση τους και από οριζόντιες δικτυωτές δοκούς μεταβλητού στατικού ύψους, ανάλογα με τις απαιτήσεις των κατακόρυφα ανοιγόμενων θυρών.

Τα κατακόρυφα στοιχεία αποτελούνται από εξωτερικά και εσωτερικά πέλματα διατομής HEB240 που συνδέονται μεταξύ τους και κατά τις δύο διευθύνσεις με διαγώνιες ράβδους ή/και ορθοστάτες.

Τα οριζόντια τμήματα του πλαισίου, επίσης δικτυωτής μορφής μεταβλητού στατικού ύψους, αποτελούνται από άνω και κάτω πέλματα συνδεδεμένα εντός και εκτός επιπέδου μέσω διαγωνίων ράβδων και ορθοστατών. Το άνω πέλμα διατομής HEA280 είναι κεκλιμένο όπως των πλαισίων του εδαφίου α), ενώ το κάτω πέλμα είναι οριζόντιο, δημιουργώντας στατικό ύψος από 4,0m έως 5,9m για τις δύο ακραίες περιοχές των 17,5m περίπου και από 1,68m έως 2,86m για το κεντρικό τμήμα των 21,55m. Στην εικόνα 4 φαίνεται η μορφή του δίδυμου πλαισίου.

γ) ένα σύνολο κατακορύφων στοιχείων διατομής HEB450 και οριζοντίων στοιχείων από κοιλοδοκούς διαστάσεων 150x150x5mm, τοποθετημένων σε απόσταση 7,3m από το τελευταίο πλαίσιο, που μορφώνει το φέροντα οργανισμό της άλλης μετώπης του κτιρίου. Τα κατακόρυφα στοιχεία απέχουν μεταξύ τους 7,18m. Το κεκλιμένο στοιχείο που συνδέει τις άνω κορυφές των κατακορύφων στοιχείων της μετώπης είναι της ίδιας διατομής και κλίσης με εκείνη των άνω πελμάτων όλων των πλαισίων του κτιρίου.

δ) ένα σύνολο τεγίδων τύπου Gerber πολλαπλών ανοιγμάτων που γεφυρώνουν ανοίγματα

8,00m, τοποθετημένων ανά 3,6m περίπου και φέρουν την επικάλυψη. Όλες οι τεγίδες είναι διατομής IPE240, εκτός των δύο ακραίων που είναι διατομής UPN240 + έλασμα πάχους 10mm, ώστε να δημιουργηθεί κλειστή ορθογωνική διατομή.

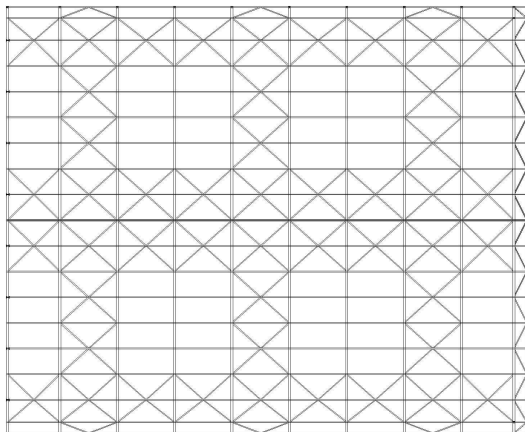
ε) ένα σύνολο οριζοντίων αντιανεμίων συνδέσμων τετραγωνικής σωληνωτής διατομής διαφόρων διαστάσεων και παχών, που εξασφαλίζει τη σταθεροποίηση του φέροντος συστήματος κατά την οριζόντια διεύθυνση και μεταφέρει τις οριζόντιες δράσεις στην περίμετρο του κτιρίου.

στ) ένα σύστημα κατακορυφών αντιανεμίων συνδέσμων και συνδετηρίων δοκών σωληνωτής τετραγωνικής διατομής διαφόρων διαστάσεων και παχών που μεταφέρει τις οριζόντιες δυνάμεις στην από ωπλισμένο σκυρόδεμα θεμελίωση.

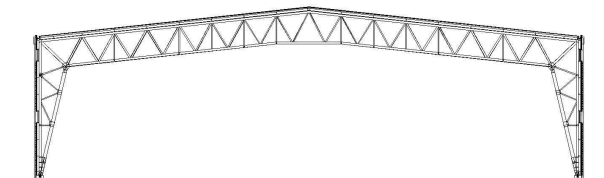
ζ) ένα σύνολο στοιχείων σωληνωτής τετραγωνικής διατομής που συνδέει τα κάτω πέλματα του διδύμου πλαισίου με τα κάτω πέλματα των άλλων πλαισίων, ώστε να δημιουργηθεί ένα σύστημα σταθεροποίησης των κάτω πελμάτων, που παραλαμβάνει και σημαντικό μέρος της οριζόντιας δράσης του ανέμου επί της μετώπης, όταν είναι κλειστό το κατακόρυφο άνοιγμα.

η) ένα σύνολο οριζοντίων μηκίδων, γενικά διατομής IPE240 που γεφυρώνει ανοίγματα 8,0m τοποθετημένων σε αποστάσεις 1,85m που φέρει την πλαγιοκάλυψη και συμπληρώνει το φέροντα οργανισμό του κτιρίου.

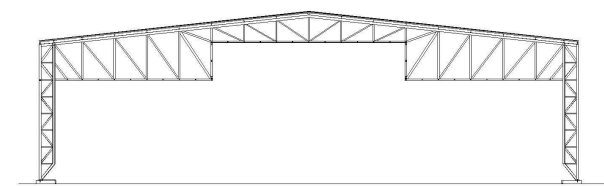
Η ποιότητα του χάλυβα για όλα τα παραπάνω χαλύβδινα στοιχεία είναι S275 (Fe430C). Υπάρχει πρόβλεψη ανηρτημένης από τα κύρια πλαίσια γερανογέφυρας, ανυψωτικού φορτίου 5tn και ανοίγματος 28,5m, συνολικού μήκους 56,0m.



Εικ.2 Γενική διάταξη φορέα



Εικ.3 Μορφή τυπικού πλαισίου



Εικ.4 Μορφή δίδυμου πλαισίου

#### 4.ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΟΡΤΙΩΝ, ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

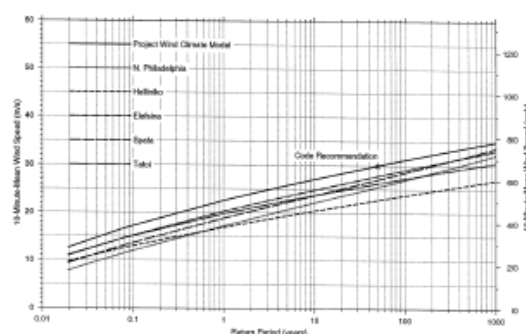
Τα φορτία που ελήφθησαν υπ' όψιν είναι :

- Μόνιμες δράσεις (ίδιο βάρος φορέων, επικαλύψεων, Η/Μ εγκαταστάσεων, μηχανολογικών διαδρομών)
- Ειδικά μόνιμα φορτία:
  - Μόνιμα φορτία θύρας MEGADOOR, όπως αυτά ορίζονται από τον κατασκευαστή
  - Μόνιμα φορτία δοκών κυλίσεως γερανογέφυρας, δοκού γερανογέφυρας

(20kN ανά στήριξη και 60kN ανά στήριξη αντίστοιχα)

- Μεταβλητές δράσεις :
  - χιόνι ή κινητό φορτίο  $0,75 \text{ kN/m}^2$
  - άνεμος  $v_{\text{ref}} = 30 \text{ m/sec}$ . Ο προσδιορισμός της ταχύτητας αναφοράς  $v_{\text{ref}}$  του ανέμου έγινε με τη στατιστική επεξεργασία των κλιματολογικών μετρήσεων της περιοχής. Ειδικότερα ελήφθησαν υπόψη 5 σταθμοί μετρήσεων, οι οποίοι είναι οι εξής: σταθμός Ν.Φιλαδέλφειας, σταθμός Ελληνικού, σταθμός Σπάτων, σταθμός Ελευσίνας και σταθμός Τατοΐου. Από το σχήμα 1, που παραθέτει γραφικά τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των μετρήσεων, προκύπτει ότι η μέγιστη ταχύτητα αναφοράς για περίοδο επαναφοράς 50 ετών είναι ίση με  $27 \text{ m/s}$  (σταθμός Ελευσίνας). Υπέρ της ασφαλείας ελήφθη  $v_{\text{ref}} = 30 \text{ m/sec}$ . Ο υπολογισμός της εξωτερικής και εσωτερικής πίεσης έγινε σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Ε.Κ. 1.
- Κινητό φορτίο γερανογέφυρας  $60 \text{ kN}$
- Έμμεσες δράσεις :  $\Delta T = \pm 25^\circ \text{C}$
- Τυχαμιακές δράσεις (σεισμός) :
  - Σεισμική επικινδυνότητα Ι
  - ( $\alpha_h = 0,16$  ,  $\alpha_v = 0,7 \times \alpha_h$ ),
  - Κατηγορία εδάφους «Β»
  - Σπουδαιότητα  $\Sigma_3$  ( $\gamma_I = 1,15$ )
  - Συντελεστής συμπεριφοράς δομήματος
  - ( $q_h = 1,5$  ,  $q_v = 1$  )

Οι συνδυασμοί των προαναφερόμενων φορτίων έγιναν σύμφωνα με τις διατάξεις του Ε.Κ. 1, Ε.Κ. 3 , ΕΑΚ 2000.



Σχ. 1: Προβλεπόμενες ακραίες ταχύτητες ανέμου για διάφορες περιόδους επαναφοράς

Σημειώνεται ότι εκτελέστηκαν εκτός των άλλων και 24 συνδυασμοί φορτίσεων που περιέχουν την δράση του ανέμου για διάφορες διευθύνσεις και διάφορες φάσεις λειτουργίας της ανοιγόμενης μετώπης.

## 5.ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ - ΕΛΕΓΧΟΙ

Η αναζήτηση των μετατοπίσεων των κόμβων, της εντατικής κατάστασης των μελών καθώς και οι έλεγχοι αντοχής και ευστάθειας των στοιχείων που συνιστούν τους μεταλλικούς φορείς, πραγματοποιήθηκε μέσω ενός προγράμματος γραμμικής ανάλυσης των φορέων στο χώρο.

Το μαθηματικό προσομοίωμα που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από ένα σύνολο κόμβων - πεπερασμένων γραμμικών στοιχείων στο χώρο που περιλαμβάνει όλα τα μεταλλικά στοιχεία που αποτελούν το φορέα με τα μηχανικά και αδρανειακά χαρακτηριστικά τους. Θεωρείται εδραζόμενο στους από ωπλισμένο σκυρόδεμα φορείς της θεμελίωσης και υπόκειται στη δράση των μονίμων, των μεταβλητών και των τυχαμιακών δράσεων.

Στο παραπάνω προσομοίωμα συμπεριλαμβάνονται τα τμήματα των στοιχείων που συνιστούν τις θύρες, τα οποία χρησιμεύουν για την εφαρμογή των οριζοντίων δράσεων του ανέμου.

Η σεισμική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με την ισοδύναμη στατική μέθοδο. Επίσης εκτελέστηκε δυναμική ανάλυση χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των διανυσμάτων του Ritz για την εύρεση των βασικών ιδιοπεριόδων του φορέα.

Για τον υπολογισμό της απόκρισης χρησιμοποιήθηκε το φάσμα των ψευδο-επιταχύνσεων του ΕΑΚ2000.

Ο παραπάνω φορέας αναλύθηκε με το πρόγραμμα H/Y γραμμικών και επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων στο χώρο STRAND το οποίο παράγεται από την ιταλική εταιρεία λογισμικού ENEXSYS. Η μέθοδος ανάλυσης που χρησιμοποιείται είναι εκείνη των παραμορφώσεων. Οι αναλύσεις που εκτελούνται είναι η στατική και η δυναμική γραμμική ανάλυση των φορέων.

Με βάση τα αποτελέσματα εκτελέστηκαν οι έλεγχοι παραμορφώσεων, αντοχής και ευστάθειας των στοιχείων του φέροντος οργανισμού, σύμφωνα με τις διατάξεις του Ε.Σ.3. Στις εικόνες 5 έως 12 παρουσιάζονται διάφορα στοιχεία της κατασκευής.



*Εικ.5 Έδραση δίδυμου πλαισίου*



*Εικ.6 Έδραση τυπικού πλαισίου*



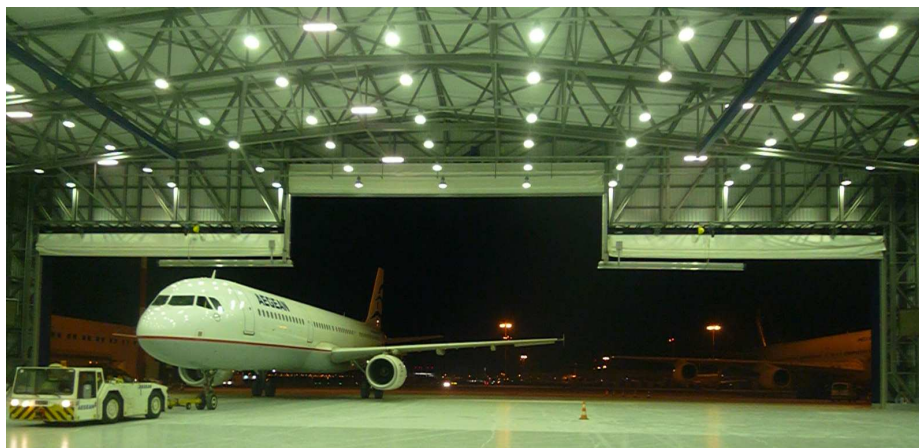
*Εικ.7 Τμήμα του φορέα κατά την κατασκευή*



*Εικ.8 Τμήμα του φορέα κατά την κατασκευή*



*Εικ.9 Συνολική άποψη του φορέα*



*Εικ.10 Εσωτερική άποψη του υποστέγου*



*Εικ.11 Εξωτερική άποψη κλειστού υπόστεγου*



*Εικ.12 Εξωτερική άποψη ανοιχτού υπόστεγου*

## **7.ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ**

|                       |   |                            |
|-----------------------|---|----------------------------|
| Κύριος του έργου      | : | ΑΕΓΕΑΝ ΑΙΡΛΙΝΕΣ S.A.       |
| ΜΕΛΕΤΕΣ               |   |                            |
| Αρχιτεκτονική μελέτη  | : | ΤΣΑΓΚΡΙΔΗΣ ΚΥΡΙΑΚΟΣ        |
| Στατική μελέτη        | : | ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗ Α.Τ.Ε. |
| Ειδικός Σύμβουλος     | : | ΦΩΤΗΣ ΖΟΥΛΑΣ               |
| ΕΚΤΕΛΕΣΗ              |   |                            |
| Γενικός κατασκευαστής | : | J & P AVAX A.E.            |
| Μεταλλικές κατασκευές | : | ΣΟΦΜΑΝ Α.Ε.                |

**THE STEEL STRUCTURAL SYSTEM FOR THE AEGEAN S.A. AIRCRAFT  
MAINTAINANCE HANGAR AT THE ATHENS INTERNATIONAL AIRPORT  
“EL. VENIZELOS”**

**F. Zoulas**

Consulting Structural Engineer

L. Karagianni St. 78, 113 61 – Athens, Greece

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

**S. Efstratiadis**

Civil Engineer, N.T.U.A. M.Sc. D.I.C. (Str. Eng.)

Helliniki Meletitiki

Koniari 45 St. & Alexandras Ave. ,11471 – Athens, Greece

e-mail : [se@hellinikimeletitiki.gr](mailto:se@hellinikimeletitiki.gr)

**D. Efstratiadis**

Civil Engineer, M. Eng. Imperial College

Helliniki Meletitiki

Koniari 45 St. & Alexandras Ave. , 11471 – Athens, Greece

e-mail : [de@hellinikimeletitiki.gr](mailto:de@hellinikimeletitiki.gr)

## **SUMMARY**

This paper illustrates the most interesting aspects of the design and construction of the steel structural system of the “Aegean S.A.” Aircraft Maintenance Hangar, at the Athens International Airport “Eleytherios Venizelos”. The main structural framing system consists of intermediate parallel planar truss-type frames with base-pinned columns. These are connected to each other and to the end frames via purlins and horizontal and vertical diagonal bracing, forming a space load-bearing system. Of particular interest is the front side which comprises a twin steel frame which supports a 3-part door, allowing a maximum clear span of 56.0m for aircraft entry. Finally, a 2-storey, room in room, statically independent office structure exists in the interior.

The above mentioned steel structure components were analysed and verified under the action of the external loads in conformity with the greek design codes and in particular according to the E.C.1, E.C.3 and EAK2000.