

**ΟΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΙ ΦΟΡΕΙΣ  
ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΥΣΕΙΟΥ ΧΑΝΙΩΝ**

**Στράτης Ευστρατιάδης**  
Πολιτικός Μηχανικός, Ε.Μ.Π. M.Sc. D.I.C.  
Ελληνική Μελετητική Α.Τ.Ε.  
Αθήνα, Ελλάδα  
e-mail:se@hellinikimeletitiki.gr

**Φώτης Ζούλας**  
Σύμβουλος Δομοστατικός Μηχανικός  
Αθήνα, Ελλάδα  
e-mail:zuzu@otenet.gr

**Κώστας Αγγελάκης**  
Πολιτικός Μηχανικός  
Ελληνική Μελετητική Α.Τ.Ε.  
Αθήνα, Ελλάδα  
e-mail:kang@hellinikimeletitiki.gr

**Δημήτρης Ευστρατιάδης**  
Πολιτικός Μηχανικός  
Ελληνική Μελετητική Α.Τ.Ε.  
Αθήνα, Ελλάδα  
e-mail:de@hellinikimeletitiki.gr

## **1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση των μεταλλικών φορέων του νέου Αρχαιολογικού Μουσείου Χανίων, που κατασκευάζεται στην περιοχή Χαλέπα του Δήμου Χανίων. Το κτίριο αναπτύσσεται σε τέσσερα στατικά ανεξάρτητα τμήματα Κ1, Κ2, Κ3 και Κ4 των οποίων ο φέρων οργανισμός αποτελείται κυρίως από στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος και δευτερευόντως από μεταλλικούς φορείς (στέγες, δάπεδα, κλιμακοστάσια, εξώστες, αμφιθέατρα), οι οποίοι συμπληρώνουν το φέροντα οργανισμό.

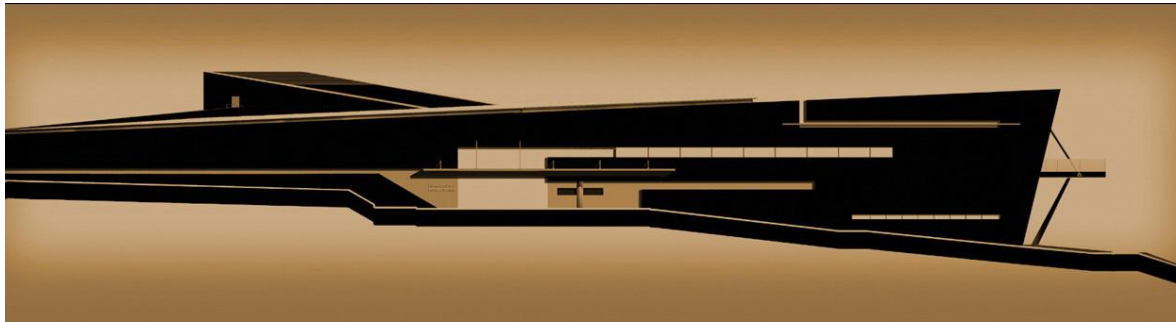
Ειδικότερα, παρουσιάζονται οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες των μεταλλικών συνδέσμων και κυρίως αυτές μεταξύ οριζοντίων χαλύβδινων φορέων και κατακορύφων στοιχείων από Ω.Σ.. Οι τελευταίες επειδή είναι ορατές έγινε προσπάθεια να συνάδουν με την αρχιτεκτονική άποψη.

Η ανάλυση, η διαστασιολόγηση και οι έλεγχοι ευστάθειας των στοιχείων που συνιστούν το φέροντα οργανισμό υπό τη δράση των εξωτερικών φορτίων πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς EC1, EC2, EC3 και ΕΑΚ 2000.

## **2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Το νέο αρχαιολογικό μουσείο Χανίων του οποίου οι μεταλλικοί φορείς είναι αντικείμενο της παρούσας εργασίας κατασκευάζεται στο οικόπεδο του πρώην στρατοπέδου Χατζηδάκη, το οποίο βρίσκεται στην περιοχή «Χαλέπα» του Δήμου Χανίων .

Το συνολικό εμβαδό του οικοπέδου είναι 11790m<sup>2</sup>. Η συνολική πραγματοποιήσιμη κάλυψη είναι 3407m<sup>2</sup> και η δόμηση 5656m<sup>2</sup>. Προβλέπονται επίσης, 81 θέσεις στάθμευσης στον περιβάλλοντα χώρο. Η περάτωση της κατασκευής αναμένεται για το τέλος του 2014.



Εικ. 1 Φωτορεαλιστική απεικόνιση Μουσείου Χανίων

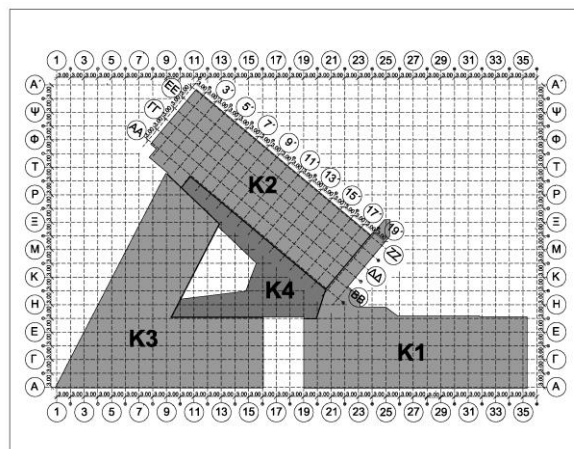
Οι βασικές λειτουργικές ενότητες που συγκροτούν το μουσείο είναι:

1. Αίθουσες εκθέσεων
2. Εργαστήρια
3. Αποθήκες – Παραλαβή ευρημάτων
4. Αμφιθέατρο – Αίθουσα εκπαιδευτικών προγραμμάτων – Αναψυκτήριο
5. Γραφεία διοίκησης

Οι πρώτες τρεις ενότητες αποτελούν τον κεντρικό εσωτερικό κορμό του μουσείου. Έτσι, εξασφαλίζεται μια άμεσα αντιληπτή και σαφής επικοινωνία μεταξύ των τριών αυτών ενότητων. Οι αίθουσες, ως κατεξοχήν χώρος επαφής με τους επισκέπτες, υποστηρίζονται από τους χώρους που απαρτίζουν την ενότητα 4. Επίσης, τα γραφεία διοίκησης είναι σε διακριτική θέση, αλλά σε άμεση επικοινωνία με τις αίθουσες, τα εργαστήρια και τις αποθήκες.

### 3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΜΟΥΣΕΙΟΥ

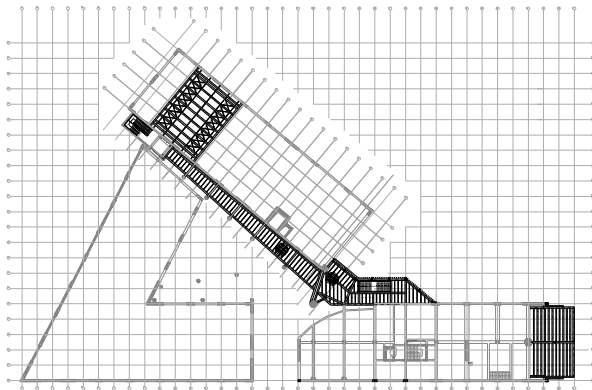
Στην εικόνα 2 φαίνεται η διάταξη των τεσσάρων στατικά ανεξαρτήτων τμημάτων του συγκροτήματος.



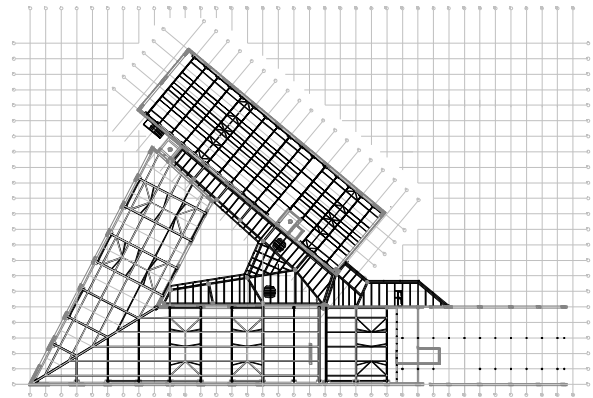
Εικ. 2- Σκαρίφημα διάταξης τμημάτων K1, K2, K3, K4

Επισημαίνεται ότι, εκτός ελαχίστων περιπτώσεων, τα κατακόρυφα στοιχεία του φέροντος οργανισμού όλων των τμημάτων υλοποιούνται από οπλισμένο σκυρόδεμα. Είναι

ορθογωνικής ή κυκλικής διατομής και επ' αυτών εδράζονται τα μεταλλικά στοιχεία. Οι μεταλλικοί φορείς αναπτύσσονται κυρίως στις στάθμες +3,40 (+3,90) και στη στέγαση των παραπάνω τμημάτων. (βλ. Εικ. 3 – 4)



Εικ. 3 – Κάτοψη μεταλλικών φορέων στ. +3,40 και στ. +3,90



Εικ. 4 – Κάτοψη μεταλλικών φορέων στεγών

### 3.1. ΤΜΗΜΑ Κ1

Το τμήμα Κ1 αποτελείται από πέντε βασικά επίπεδα στις στάθμες (-8.80, -4.80, ±0.00, +3.40, +7.25). Ο κύριος φέρων φορέας του τετραώροφου χωρικού σχηματισμού από οπλισμένο σκυρόδεμα αποτελείται από σύστημα κατακόρυφων στοιχείων (στύλων – τοιχείων), οριζόντιων κατά δυο διευθύνσεις δοκών και συμπαγών με αυτές, μονολιθικών πλακών, ώστε να επιτευχθεί χωρικός φορέας ικανός να παραλάβει τις μεγάλες αδρανειακές δυνάμεις σχεδιασμού.

Οι μεταλλικοί φορείς του εν λόγω τμήματος αναπτύσσονται ως εξής:

- i. στη στάθμη +3.40, η στέγαση μέρους του ισογείου επιτυγχάνεται με μεταλλική κατασκευή εξώστη που προβάλλει συρταρωτά σαν καταπέλτης οχηματαγωγού πλοίου και χρησιμεύει σαν ανοιχτός χώρος εξυπηρέτησης του αναψυκτηρίου (βλ. εικ. 5, 6).

Ο κύριος φέρων οργανισμός του εξώστη αποτελείται από τρεις κύριες δοκούς. Η μεσαία δοκός (μονοπροέχουσα) εδράζεται στο ένα άκρο της στη σύμμικτη κολώνα του κύριου φέροντα οργανισμού του τμήματος και υποστηρίζεται στο μέσον της από λοξή μεταλλική αντηρίδα μεταβλητής διατομής, η οποία, επίσης, αρθρώνεται στη βάση της εν λόγω κολώνας. Οι δυο ακραίες δοκοί, επίσης μονοπροέχουσες εδράζονται αφενός στα αντίστοιχα ακραία περιμετρικά τοιχεία και υποστηρίζονται στο μέσον τους μέσω λοξών αναρτήρων αρθρωμένων στα ίδια τοιχεία. Πυκνές χαλύβδινες τεγίδες εδραζόμενες στις παραπάνω δοκούς φέρουν το ξύλινο δάπεδο.

- ii. Ενδιαφέρον παρουσιάζει, από στατικής και αισθητικής απόψεως, η μόρφωση εξωτερικού μεταλλικού κλιμακοστασίου που ουσιαστικά βρίσκεται εκτός περιτυπώματος (βλέπε εικόνα 7, 8).

Το μεταλλικό κλιμακοστάσιο αποτελείται από το κεκλιμένο τμήμα των βαθμιδοφόρων και το άνω πλατύσκαλο που συνιστά διάδρομο σύνδεσης με το τμήμα Κ2. Το εσωτερικό τμήμα του κλιμακοστασίου σε επαφή με το κτίριο εδράζεται στους κατακόρυφους φορείς από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το εξωτερικό τμήμα εδράζεται στο κάτω πέλμα τεθλασμένης οροφδοκού τύπου Vierendeel, η οποία εδράζεται στα κατακόρυφα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα και υποστηρίζεται από χαλύβδινη

αντηρίδα στο σημείο της εν κατόψει θλάσης. Το άνω πέλμα της οροφοδοκού αποτελεί τμήμα του φορέα στέγασης του εν λόγω κλιμακοστασίου.

Κλιμακοστάσια, στέγαστρα, ανεμοφράκτες και φορείς του αμφιθεάτρου συμπληρώνουν τους μεταλλικούς φορείς του τμήματος.

### **3.2. ΤΜΗΜΑ Κ2**

Το τμήμα Κ2 αποτελείται από τέσσερα επίπεδα (στάθμες -4,80 , ±0.00, +3.90, +7.40 και +9.00). Το δώμα διαστάσεων 49.50x15.40m κλιμακώνεται στις στάθμες+7.40/+9.00. Οι φορείς αποτελούνται από δικτυώματα ελευθέρου ανοίγματος 14,60m που απέχουν μεταξύ τους 3.00m και φέρουν τη σύμμικτη από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα πλάκα.

Πατάρι διαστάσεων 14.00x11.00m περίπου, μορφώνεται στη στάθμη +3.90 και κατασκευάζεται αμιγώς από μεταλλικούς φορείς που εδράζονται στα κατακόρυφα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα και ξύλινο δάπεδο.

### **3.3. ΤΜΗΜΑ Κ3**

Το τμήμα Κ3 έχει κάτοψη σχήματος «Λ» με μήκη σκελών 45.50m και 52.50m. Τα πλάτη των σκελών είναι 15.40m και 15.30m αντίστοιχα. Το τμήμα αναπτύσσεται μόνο σε ένα «ψηλοτάβανο» επίπεδο χωρίς υπόγειο και διατίθεται για τις μόνιμες εκθέσεις του μουσείου. Η στέγη είναι κεκλιμένη μεταλλική και υλοποιεί στην κορυφή του «Λ» τη χαμηλότερη στάθμη καθαρού ύψους 5.90m, ενώ το μέγιστο καθαρό ύψος γίνεται 7.70m. Ο δομικός φορέας μορφώνεται ως εξής: κατά μήκος της περιμέτρου της αίθουσας και εντός του πάχους του εξωτερικού κελύφους κατασκευάζονται ισχυρά υποστυλώματα ανά 6.00m διατομής 150x40cm και ισχυρά τοιχεία 300x40cm. Τα στοιχεία αυτά συνδέονται αφενός μεν με μια διαζωματική μεσοδοκό (στάθμη +3.50) αφετέρου με κεφαλοδοκό 40x85cm. Η τελευταία μορφώνεται έτσι ώστε να προσφέρει την κατάλληλη υδρορροή αλλά και την έδραση των μεταλλικών δικτυωμάτων της στέγης μέσω βραχέων προβόλων. Τα δικτυώματα που προβλέπονται αμφιαρθρωτά απέχουν μεταξύ τους 6.00m και είναι μεταβλητού ύψους. Άνω και κάτω πέλματα συνδέονται μέσω διαγωνίων ώστε να εξασφαλίζονται τριγωνικές διελεύσεις για τα Η/Μ. Οριζόντιες συνδετήριες ράβδοι και αντιανέμια εξασφαλίζουν τη συνολική ευστάθεια του φορέα της στέγης. Η φέρουσα επικάλυψη είναι τραπεζοειδής λαμαρίνα τύπου MONTANA SP 153/1.25 και φέρεται απευθείας από το άνω πέλμα των δικτυωμάτων.

Χαρακτηριστικό της λύσης είναι ότι οι διαμήκεις περιμετρικές δοκοί και κατ' επέκταση η μεταλλική στέγη δεν διακόπτονται για λειτουργικούς λόγους στο φυσικό όριο του Κ3, αλλά συνεχίζουν και εδράζονται ελεύθερα επί υποστυλωμάτων που ανήκουν στο Κ1.

Προκειμένου να αποφευχθεί η αλληλοεπίδραση μεταξύ των δυο ανεξάρτητων (κατά τα άλλα) τμημάτων Κ1 και Κ3, προβλέπεται η έδραση των διαμήκων δοκών επί των βραχέων προβόλων από τα υποστυλώματα, μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων ελάχιστης δυστημσίας. Δημιουργείται, επομένως, κατάλληλος εγκάρσιος αρμός μεταξύ Κ1 και Κ3 που επεκτείνεται και στην επικάλυψη της στέγης.

### **3.4. ΤΜΗΜΑ Κ4**

Το τελευταίο τμήμα, Κ4, αφορά στην κάλυψη του κεντρικού τριγωνικού πυρήνα που απομένει μεταξύ των τριών προηγούμενων τμημάτων Κ1, Κ2, Κ3.

Το τμήμα αναπτύσσεται σε δυο στάθμες ( $\pm 0.00$  και  $+3.40$ ). Το επίπεδο  $+3.40$  εξυπηρετεί την κίνηση των επισκεπτών ως ανοιχτός διάδρομος και «ανηφορίζει» ώστε να εξυπηρετήσει και το επίπεδο  $+3.90$  του παταριού του τμήματος K2. Οι οριζόντιοι φορείς της στάθμης  $+3.40$  είναι μεταλλικοί και αρθρώνονται επί των εσωτερικών του χώρου υποστυλωμάτων  $\varnothing 65$  από Ω.Σ. και μέσω επιτεγίδων φέρουν το ξύλινο δάπεδο. Η στέγαση του όλου τμήματος υλοποιείται στη στ.  $+7.40$  με σύμμικτη κατασκευή. Οι κύριοι οριζόντιοι φορείς αποτελούνται από τυποποιημένες διατομές μορφοσιδήρου επί των οποίων εδράζονται δευτερεύουσες μεταλλικές δοκίδες που φέρουν τη σύμμικτη πλάκα. Οι μεταλλικοί οριζόντιοι φορείς της άνω στάθμης πλαισιώνονται κανονικά με τα κεντρικά κυκλικής διατομής υποστυλώματα. Όλα τα περιμετρικά στοιχεία κατά μήκος του αρμού διαστολής με τα τμήματα K1, K2, K3 εδράζονται ελεύθερα επί των αντίστοιχων κατακόρυφων στοιχείων (στύλων – τοιχείων) που εγκλωβίζουν το τμήμα K4. Η δυσκαμψία του συστήματος εξασφαλίζεται μόνο από τα κατακόρυφα εσωτερικά υποστυλώματα. Κατά την ανάλυση δεν προέκυψαν μετακινήσεις μη συμβατές με τα κριτήρια γωνιακών παραμορφώσεων του ΕΑΚ 2000 σ' αυτό το εύκαμπτο τμήμα.

#### 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΟΡΤΙΩΝ – ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

Εκτός των μόνιμων φορτίων (ίδιο βάρος φορέων, πλακών επικαλύψεων, Η/Μ εγκαταστάσεων, ψευδοροφών κλπ) και των κινητών που προκύπτουν ανάλογα με τη χρήση της περιοχής τα παρακάτω μεταβλητά φορτία ελήφθησαν υπόψη:

i.	Δώμα μηχανολογικών εγκαταστάσεων τμήματος K2:	$P=6.60 \text{ kN/m}^2$
ii.	Δώμα μηχανολογικών εγκαταστάσεων τμήματος K1:	$P=5.00 \text{ kN/m}^2$
iii.	Χιόνι:	$S_k=1.00 \text{ kN/m}^2$
iv.	Άνεμος:	$v_{ref}=33.00 \text{ m/s}$
v.	Έμμεσες δράσεις:	$\Delta t=\pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$
vi.	Σεισμικές δράσεις:	
	• Σεισμική επικινδυνότητα	$\Pi (\alpha=0.24g)$
	• Κατηγορία εδάφους	B
	• Σπουδαιότητα	$\Sigma 4 (\gamma_I=1.30)$
	• Συντελεστής συμπεριφοράς δομήματος:	
	K1, K2, K3:	$q=1.50$
	(λειτουργία προβόλου) K4:	$q=2.00$

Οι συνδυασμοί των προαναφερομένων φορτίων έγιναν σύμφωνα με τις διατάξεις του EC1, EC2 EC3 και ΕΑΚ 2000.

#### 5. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ – ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

Για κάθε ανεξάρτητο στατικό τμήμα η αναζήτηση των μετατοπίσεων των κόμβων της εντατικής κατάστασης των μελών καθώς και η έλεγχος αντοχής και ευστάθειας των στοιχείων που αποτελούν τους φορείς πραγματοποιήθηκε μέσω ενός προγράμματος γραμμικής ανάλυσης των φορέων στον χώρο. (πρόγραμμα ETABS) .

Το μαθηματικό προσομοίωμα που χρησιμοποιήθηκε για κάθε τμήμα αποτελείται από ένα σύνολο κόμβων – πεπερασμένων γραμμικών και επιφανειακών στοιχείων στο χώρο που περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία που αποτελούν τον φορέα με τα μηχανικά και αδρανειακά

χαρακτηριστικά τους και υπόκειται στη δράση των μονίμων των μεταβλητών και των τυχηματικών φορτίων. Η διαφραγματική, ημιδιαφραγματική ή μη διαφραγματική λειτουργία εισήχθη στους υπολογισμούς.

Η σεισμική ανάλυση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της δυναμικής φασματικής ανάλυσης. Για τον υπολογισμό της απόκρισης χρησιμοποιήθηκε το φάσμα των ψευδο-επιταχύνσεων του ΕΑΚ 2000.

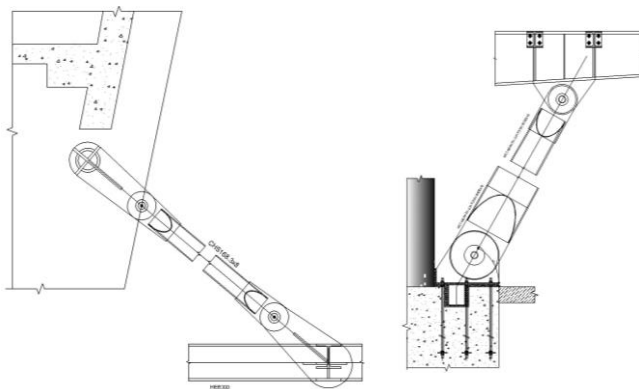
## 6. ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ – ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



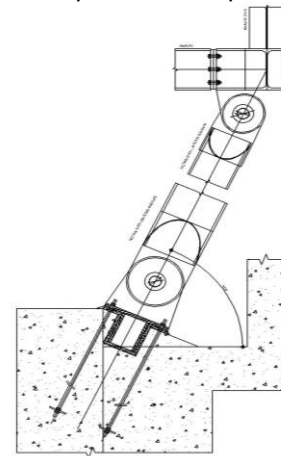
Εικ. 5 – Εξώστης τμήματος Κ1 στ. +3, 40



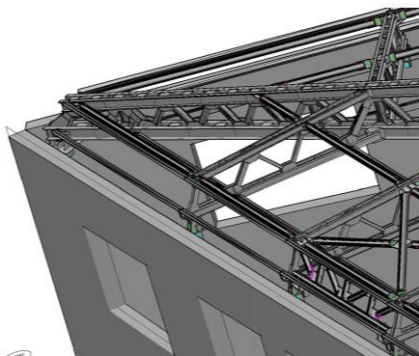
Εικ. 7 – Κλιμακοστάσιο τμ. Κ1



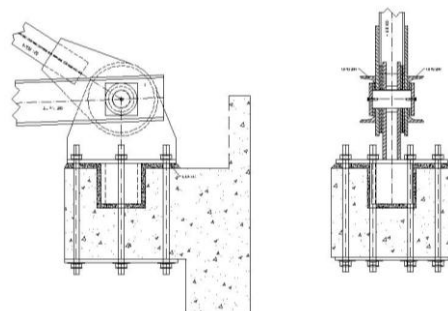
Εικ. 6 – Άνω - κάτω άρθρωση αντιρίδας και αναρτήρα



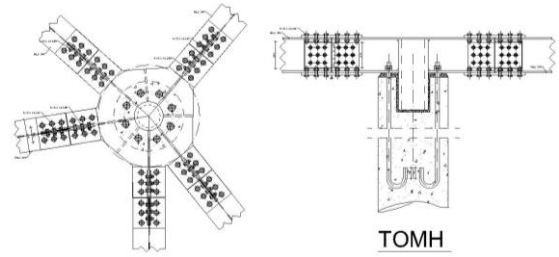
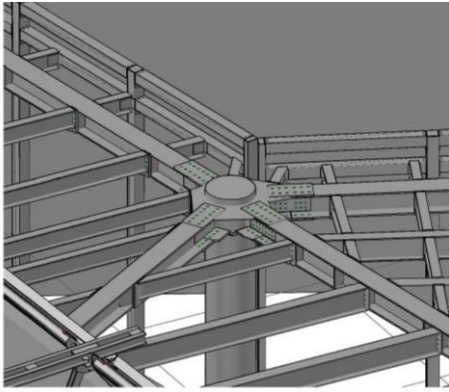
Εικ. 8 – Συνδ. αντηρίδας οροφδοκου Vierendeel



Εικ. 9 - Έδραση κορυφής φορέα στέγης τμ. Κ3



Εικ. 10 – Λεπτ. έδρασης κορυφής φορέα στέγης τμ. Κ3



Εικ.11–Τυπική σύνδεση οριζοντίων μεταλλικών στοιχείων στην κεφαλή κυκλικού στύλου από Ω.Σ.



Εικ.12–Γενική άποψη φορέων στεγών



Εικ.13–Γενική άποψη φορέα στέγης με επικάλυψη

## 7. ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΕΡΓΟΥ

Κύριος του Έργου	: ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ / Δ.Μ.Μ.& Π.Κ.
<u>ΜΕΛΕΤΕΣ</u>	:
Αρχιτεκτονική Μελέτη	: Θ. ΜΠΟΜΠΟΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΕΣ Ε.Π.Ε.
Στατική Μελέτη	: ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗ Α.Τ.Ε.
Ειδικός Σύμβουλος Μεταλλικών Κατασκευών	: ΦΩΤΗΣ ΖΟΥΛΑΣ
<u>ΕΚΤΕΛΕΣΗ</u>	:
Γενικός Κατασκευαστής	: ΚΟΙΝ/ΕΙΑ ΤΟΜΕΣ ΑΤΕ, ΠΡΟΕΤ Α.Ε – ΕΡΓΟΝΕΤ ΑΕ
Μεταλλικές Κατασκευές	: ΙΝΤΡΑΚΑΤ Α.Ε.

**STEEL STRUCTURES OF THE  
NEW ARCHAEOLOGICAL MUSEUM OF CHANIA**

**Stratis Efstratiadis**

Civil Engineer, N.T.U.A. M.Sc. D.I.C.  
(Str. Eng)  
Helliniki Meletitiki S.A.  
Athens, Greece  
e-mail:se@hellinikimeletitiki.gr

**Fotis Zoulas**

Consulting Structural Engineer  
Athens, Greece  
e-mail:zuzu@otenet.gr

**Kostas Angelakis**

Civil Engineer  
Helliniki Meletitiki S.A.  
Athens, Greece  
e-mail:kang@hellinikimeletitiki.gr

**Dimitris Efstratiadis**

Civil Engineer, M. Eng. Imperial College  
Helliniki Meletitiki S.A.  
Athens, Greece  
e-mail:de@hellinikimeletitiki.gr

**SUMMARY**

This paper presents the steel structural system of the New Archaeological Museum of Chania in Crete. The project is developed in a 11790m<sup>2</sup> plot. The building is 3407 m<sup>2</sup> in plan, with a 5656 m<sup>2</sup> total area. The principal functions are exhibition rooms, laboratories, storage rooms, amphitheatre-educational area-coffee shop and administration offices.

The complex is divided in 4 structurally independent buildings. The load-bearing structure is mainly a reinforced concrete one, supplemented by steel roofs, floors, staircases, balconies and amphitheatres.

More specifically, emphasis is given in the steel connection details, particularly those between the horizontal steel parts of the structure to the vertical reinforced concrete members. These connections had to additionally respect the architectural aspects of the project, since they are visible.

The analysis, design and structural stability checks of the structural members against the external loads were carried out according to the EC1, EC2, EC3 and E.A.K. 2000 building codes.