

**ΥΠΑΙΘΡΙΟ ΜΟΥΣΕΙΟ ΣΤΗ ΕΠΑΥΛΗ ΗΡΩΔΗ ΑΤΤΙΚΟΥ ΣΤΗ ΛΟΥΚΟΥ
ΚΥΝΟΥΡΙΑΣ****Φαίδων Καρυδάκης**

Πολιτικός μηχανικός ΕΜΠ, MSc, DIC
«Φ. Καρυδάκης και συνεργάτες ΕΠΕ»
Αθήνα, Ελλάδα
Karmad44@OTENET.GR

Χριστίνα Αναγνωστάκη

Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.
«Φ. Καρυδάκης και συνεργάτες ΕΠΕ»
Αθήνα, Ελλάδα
Karmad44@OTENET.GR

Κώστας Τσοκανής

Πολιτικός μηχανικός
«Φ. Καρυδάκης και συνεργάτες ΕΠΕ»
Αθήνα, Ελλάδα
Karmad44@OTENET.GR

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για την υλοποίηση υπαίθριου μουσείου στην Ρωμαϊκή έπαυλη του Ηρώδη του Αττικού, στην Λούκου Κυνουρίας, θα κατασκευαστεί μεταλλικό στέγαστρο όπου θα καλύπτει συνολικά επιφάνεια 4796m², με δυνατότητα πρόσθετης επέκτασης κατά 811m².

Ο φορέας θα εδράζεται σε 12 σύμμικτους στύλους που θεμελιώνονται με σύστημα μικροπασσάλων μέσω κυκλικού κεφαλόδεσμου για την ελαχιστοποίηση των επεμβάσεων και σε αρχαιολογικά ασφαλείς θέσεις. Οι 12 στύλοι θα τοποθετηθούν ανά ζεύγη σε δύο σειρές κατά μήκος του στεγάστρου. Η υποχρεωτική θέση των δημιουργεί μεγάλους προβόλους και στις δύο διευθύνσεις.

Στους στύλους εδράζεται αρθρωτά ο μεταλλικός φορέας. Μία αναρτημένη από ιστούς μεταλλική κατασκευή που αποτελείται από δύο κύριες διπλές δικτυωτές δοκούς που τρέχουν κατά μήκος του στεγάστρου και αναρτώνται από τα γωνιακά υποστυλώματα. Στην εγκάρσια πλευρά τοποθετούνται ολόσωμες δοκοί απομοιούμενες στις άκρες τους και υποστηριζόμενες από σύστημα αντηρίδων. Το στατικό σύστημα συμπληρώνουν οι οριζόντιοι χιαστί αντιδιαγώνιοι σύνδεσμοι.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το θέμα της εργασίας αυτής είναι ο σχεδιασμός του φέροντος οργανισμού του μουσείου, με τις όποιες δυσκολίες παρουσιάζονται λόγω της σπουδαιότητας του χώρου (στέγαση τμήματος αρχαιολογικού χώρου) και των πολλών περιορισμών που αυτό συνεπάγεται (βλέπε φωτογραφία 1).

Η αρχιτεκτονική μελέτη εκπονήθηκε από τα γραφεία «Μελετητική Γραφείο Μελετών-Α.Ν.Τομπάζης Ε.Π.Ε». και «Γιώργος Τριανταφύλλου και Συνεργάτες».

Η στατική μελέτη από το γραφείο «Φ. Καρυδάκης και συνεργάτες ΕΠΕ»

Η μηχανολογική μελέτη από το γραφείο Ασημάκη-Γεωργακόπουλου-Παπαποστόλου Ο.Ε.

Η κατασκευή θα υλοποιηθεί από την Α.Καπετανίδης Α.Τ.Ε.Ε.



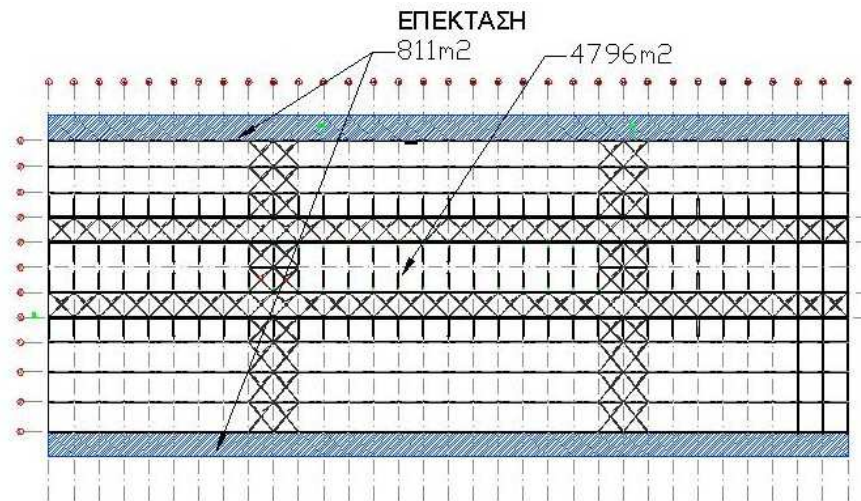
Φωτ. 1 Όψη του στεγάστρου

Στοιχεία του σχεδιασμού αποτελούν, η επιλογή της μορφής και των υλικών του φορέα, ο τρόπος κατασκευής του στεγάστρου, η χωροθέτηση και θεμελίωση των στύλων, οι παραδοχές και η μεθοδολογία υπολογισμού, τα προσομοιώματα ανάλυσης, καθώς και η μεθοδολογία ανέγερσης.

Στον σχεδιασμό πρέπει να ενυπάρχει η δυνατότητα αντιμετώπισης αποκλίσεων της αποτύπωσης από την πραγματική υπάρχουσα κατάσταση και προσαρμογής σε νέα αρχαιολογικά δεδομένα.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

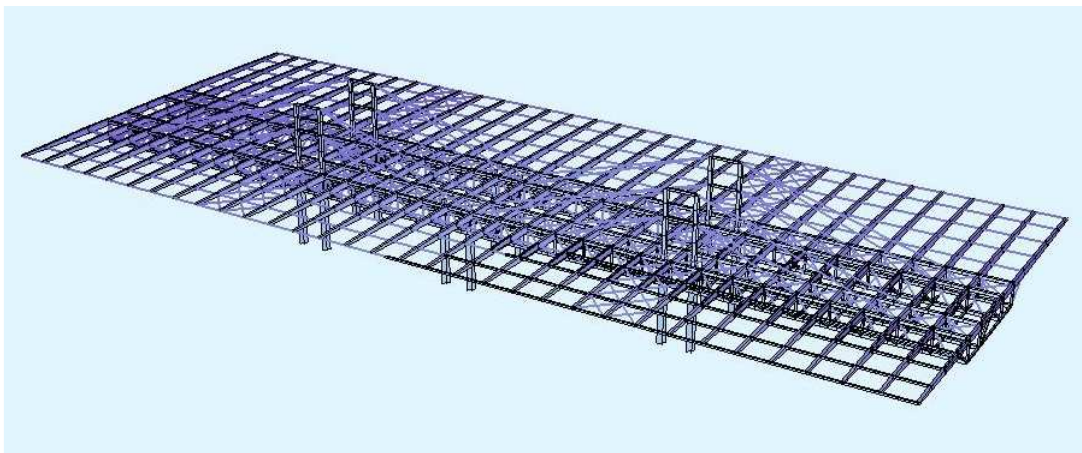
Το στέγαστρο του υπαίθριου μουσείου του κεντρικού τμήματος θα είναι μία μεταλλική κατασκευή διαστάσεων 113,92 m x 42,100 m. Η συνολική επιφάνεια του στεγάστρου είναι 4796 m², με δυνατότητα επέκτασης άλλων 811 m² (βλέπε σχήμα 1).



Σχ. 1. Κάτοψη του στεγάστρου

Ο φορέας αποτελείται από δύο διπλές δικτυωτές δοκούς που τρέχουν σε όλο το μήκος του. Αποτελούνται κύρια, από πρότυπες κοίλες διατομές και η απόσταση των δικτυωμάτων του κάθε ζεύγους είναι 3,56 m, διάσταση που χρησιμοποιείται σαν κάρναβος και κατά μήκος. Οι κύριες δοκοί αναρτώνται με ελκυστήρες από ιστούς από κυκλικές κοίλες διατομές που φέρουν τα διπλά γωνιακά υποστυλώματα (βλέπε φωτογραφία 1).

Όλος ο φορέας εδράζεται αρθρωτά πάνω σε 12 σύμμικτους στύλους .

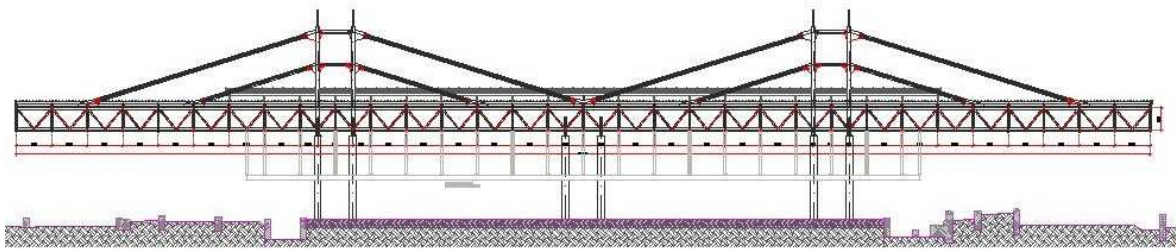


Φωτ. 2 Αξονομετρικό φορέα

Κάθε ζεύγος ιστών συνδέεται μεταξύ του στις θέσεις που καταλήγουν οι αναρτήσεις με ισχυρές δοκούς για την ορθή μεταφορά των δυνάμεων και την σωστή συνεργασία των στοιχείων του φορέα.

Τα 4 μεσαία υποστυλώματα σταματούν στις κύριες δοκούς, χωρίς το τμήμα της ανάρτησης και συνδέονται με αυτές αρθρωτά. Η σύμμικτη διατομή των στύλων αποτελείται από χαλύβδινο σωλήνα με πλήρωση από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η λειτουργία τους, είναι λειτουργία προβόλου, πακτωμένου στο έδαφος.

Η θεμελίωση τους γίνεται με σύστημα μικροπασσάλων που τοποθετούνται περιμετρικά σε κυκλικό κεφαλόδεσμο, για την ελαχιστοποίηση των επεμβάσεων στον αρχαιολογικό χώρο.

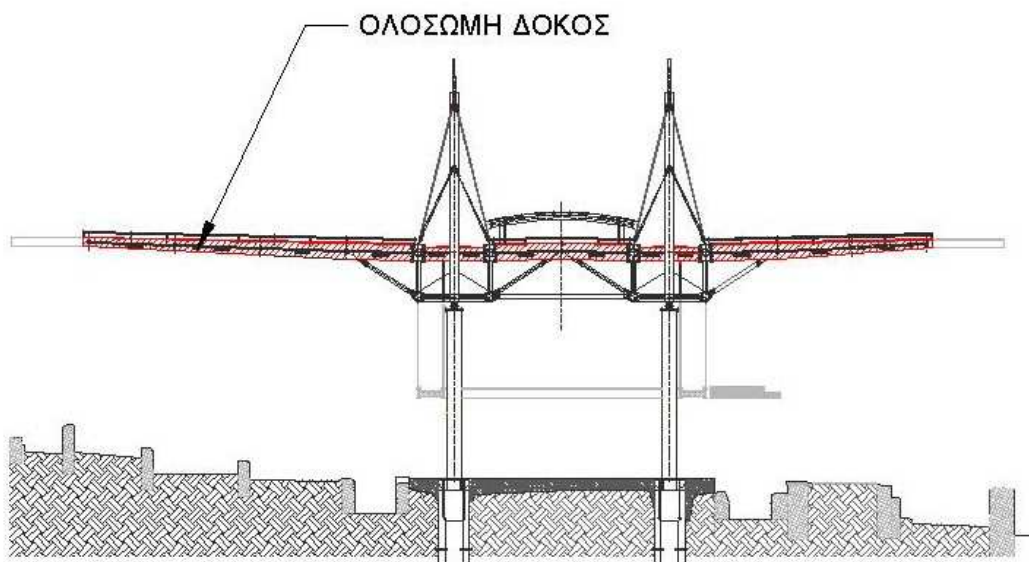


Σχ. 2 Κατά μήκος τομή του φορέα

Στην εγκάρσια διευθυνση διατάσσονται ολόσωμες δοκοί διπλού ταύ, απομειούμενες στα άκρα τους. Ενώνονται με το άνω πέλμα των κύριων δοκών και υποστηρίζονται από σύστημα αντηρίδων, έτσι ώστε να μειώνεται το μήκος των προβόλων.

Οι ολόσωμες δοκοί συνδέονται μεταξύ τους, με εγκάρσιες δοκούς για τον περιορισμό του στρεπτοκαμπτικού λυγισμού.

Το σύστημα του φορέα συμπληρώνουν δύο διπλά ζεύγη οριζοντίων συνδέσμων ακαμψίας και οι τεγίδες που τρέχουν σε όλο το μήκος του φορέα πάνω στις ολόσωμες δοκούς.



Σχ. 3 Εγκάρσια τομή του φορέα

Στο κεντρικό τμήμα του στεγάστρου υπάρχει σύστημα στήριξης της υπερυψωμένης διαφώτιστης οροφής. Όλη η επιφάνεια επικαλύπτεται από θερμομονωτικά πάνελα τραπεζοειδούς χαλυβδοελάσματος και διαφώτιστα πολυκαρβονικά φύλλα.

Υπάρχει ακόμη πρόβλεψη ανάρτησης μεταλλικού περιμετρικού διαδρόμου για την περιήγηση των επισκεπτών στον αρχαιολογικό χώρο.

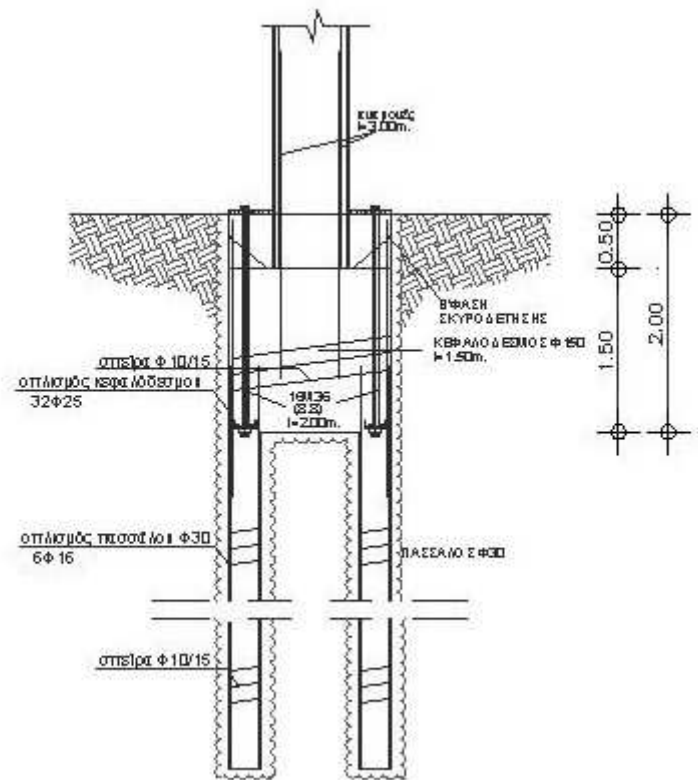
4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ

Λόγω της ιδιαιτερότητας του χώρου, η στατική λύση είναι πλήρως εναρμονισμένη με τις συνθήκες που επιτρέπονται από τις αποτυπώσεις αλλά και με δυνατότητα τροποποίησης σε περίπτωση αποκλίσεων.

Η θεμελίωση των στύλων του στεγάστρου επιλέχθηκε να γίνει με σύστημα μικροπασσάλων (βλέπε σχήμα 4). Η αρχική εκσκαφή θα γίνει χειρονακτικά για την μικρότερη δυνατή όχληση του χώρου. Κατόπιν θα κατασκευαστούν οι μικροπάσσαλοι, θα υλοποιηθεί η α' φάση σκυροδέτησης και αφού τοποθετηθούν και ευθυγραμμισθούν οι στύλοι θα ολοκληρωθεί και η β' φάση. Το σκυρόδεμα είναι C20/25 με οπλισμό B500c.

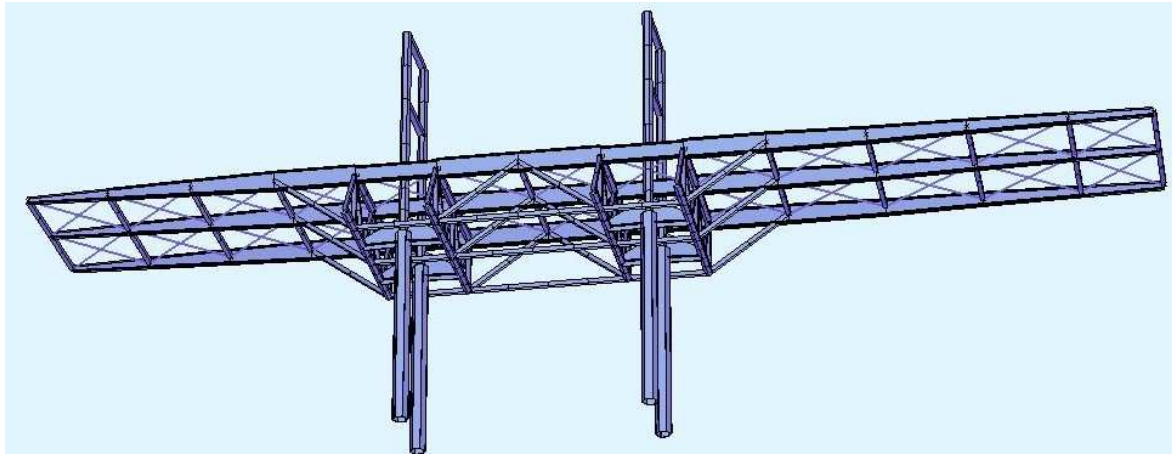
Οι 12 στύλοι θα είναι σύμμικτοι με λειτουργία προβόλου πακτωμένοι στον κεφαλόδεσμο. Επιλέχθηκαν λόγω της μεγάλης αντοχής και ακαμψίας τους με απαίτηση μικρής συγκριτικά διατομής για την παραλαβή κατακορύφων και οριζοντίων φορτίων, ώστε να έχουν μια αντίστοιχη κλίμακα με τις διαστάσεις της αρχαίας κιονοστοιχίας.

Το σύνολο σχεδόν των θλιπτικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα 4 διπλά γωνιακά υποστυλώματα, ενώ αντίθετα τα σεισμικά φορτία και τα φορτία ανέμου από όλους τους στύλους.



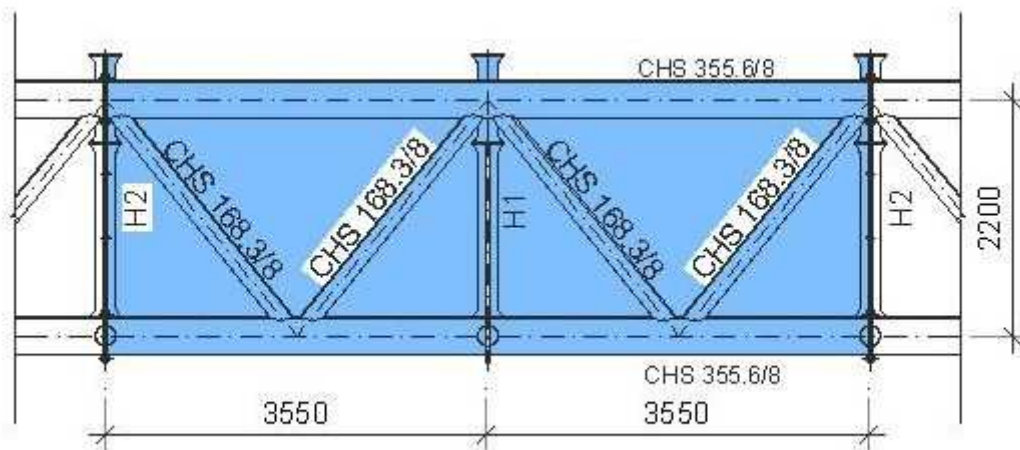
Σχ.4 Θεμελίωση με μικροπασσάλους

Στις κεφαλές των υποστυλωμάτων συνδέονται αρθρωτά οι ιστοί, από τους οποίους αναρτώνται οι κύριες δικτυωτές δοκοί της ανωδομής (βλέπε φωτογραφία 2).



Φωτ. 3 Σύνδεση σύμμικτων στύλων με την ανωδομή

Οι δύο κύριες δίδυμες δοκοί αποτελούνται από διπλά δικτυώματα με κοίλες διατομές σε τμήματα συγκολλητά μεταξύ τους. Τα τμήματα αυτά έχουν κατασκευαστεί έτσι ώστε να μην ξεπερνούν τους 2 τόνους για να είναι δυνατή η μεταφορά και ανέγερση τους. Τα άκρα των τμημάτων φέρουν ελάσματα για την επιτόπου ένωση τους μέσω κοχλιών.



Σχ. 5 Ενιαίο τμήμα κυρίων δοκών

Στην εγκάρσια πλευρά του στεγάστρου τοποθετούνται ολόσωμες δοκοί διπλού ταν απομειούμενες στις άκρες τους όπου η ένταση είναι μικρότερη. Οι δοκοί αυτές υποστηρίζονται από σύστημα αντηρίδων. Οι ολόσωμες δοκοί συνδέονται με εγκάρσιες δοκούς για την μείωση του στρεπτοκαμπτικού λυγισμού. Το σύστημα ολοκληρώνεται με οριζόντιους συνδέσμους ακαμψίας και τεγίδες κατά μήκος του φορέα. Η μεταλλική κατασκευή έχει μελετηθεί με ποιότητα χάλυβα S355.

Ο φορέας έχει υπολογισθεί να μπορεί να παραλάβει όλα τα προβλεπόμενα φορτία για την χρήση του όπως φορτία ανέμου, χιονιού, των εναέριων διαδρόμων, αναρτήσεων, πρόσθετο φορτίο μηχανολογικού εξοπλισμού, φορτία συντήρησης κ.λ.π. Έχει επιλυθεί με σύνθετα μοντέλα υπολογισμού για την καλύτερη προσομοίωση του.

Η κατασκευή έχει ελεγχθεί σε οριακή κατάσταση αστοχίας και σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας λόγω των μεγάλων προβόλων. Τα βέλη στις άκρες των προβόλων είναι κρίσιμα γι' αυτό ο φορέας έχει σχεδιαστεί, ώστε να βρίσκονται μέσα σε επιτρεπτά όρια. Η

Λόγω κύρια των μεγάλων προβόλων, η λειτουργικότητα ήταν ο κρίσιμος παράγοντας σχεδιασμού και οι διατομές έχουν μεγάλα περιθώρια αντοχής ως προς τα εντατικά μεγέθη αστοχίας.

Ο φορέας ως θα κατασκευασθεί σε συγκολλητά τμήματα που θα ενώνονται μεταξύ τους με κοχλιωτές συνδέσεις.

5. ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ

Η επιλογή της στατικής λύσης έγινε με γνώμονα την ιδιαιτερότητα του χώρου. Έτσι η επιλογή της θα έπρεπε να εξασφαλίζει :

- Την προστασία των αρχαίων κατά την εκσκαφή και θεμελίωση.
- Την δυνατότητα προσαρμογής σε περιορισμούς που μπορεί να προκύψουν στην φάση εκσκαφής.
- Την ευελιξία του φορέα σε τυχόν μικροαλλάγες χωρίς να αλλάζει η γενικότερη μορφή και φιλοσοφία ανάλυσης του.
- Την επεκτασιμότητα της κατασκευής.
- Την δυνατότητα μεταφοράς και ανέγερσης.
- Την εναρμόνιση με το τοπίο και την ανάδειξη του μνημείου.

6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ & ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ

Η κατασκευή του στεγάστρου θα γίνει στις ακόλουθες φάσεις:

- Τοποθέτηση οικοδομικών γερανών εκτός του αρχαιολογικού χώρου με δυνατότητα κάλυψης όλου του χώρου του στεγάστρου.
- Κατασκευή μικροπασσάλων και κεφαλόδεσμου. Σκυροδέτηση α' φάσης.
- Τοποθέτηση, ευθυγράμμιση των σύμμικτων στύλων και σκυροδέτηση β' φάσης.
- Τοποθέτηση των ιστών και σύνδεση μεταξύ τους.
- Σταδιακή ανέγερση τμημάτων των κυρίων δοκών στο τμήμα μεταξύ των στύλων και παράλληλα προσωρινή τους υποστήλωση.
- Ανέγερση εξωτερικών τμημάτων των κυρίων δοκών και τοποθέτηση των αναρτήσεων.
- Σύνδεση των κυρίων δικτυωμάτων μεταξύ τους.
- Ανέγερση των διαμήκων συνδέσμων ακαμψίας.
- Τοποθέτηση των εγκάρσιων δοκών στις θέσεις των στύλων και των εγκάρσιων συνδέσμων ακαμψίας.
- Ανέγερση των εσωτερικών εγκάρσιων δοκών.
- Ανέγερση και τοποθέτηση των προβόλων
- Τοποθέτηση των τεγίδων.

7. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του στεγάστρου έχει αρκετές ιδιομορφίες και δυσκολίες λόγω της ιδιαιτερότητας του χώρου. Ο περιορισμός των ασφαλών θέσεων έδρασης των

στύλων σε συνδυασμό με το μέγεθος του έργου οδήγησαν στην συγκέντρωση των υποστυλωμάτων σε μικρή επιφάνεια και δημιούργησαν μεγάλους προβόλους σε όλες τις πλευρές του στεγάστρου.

Έπρεπε λοιπόν να βρεθεί η βέλτιστη στατική λύση ώστε τα βέλη να βρίσκονται σε επιτρεπτά όρια, να επαρκούν τα μέλη σε οριακή κατάσταση αστοχίας και παράλληλα η λύση να είναι εφικτή και οικονομική και να μπορεί να κατασκευαστεί με μεγάλη ασφάλεια των υποκειμένων στοιχείων, μεγάλης αρχαιολογικής αξίας.

Η λύση που επελέγη δίνει ικανοποιητικές απαντήσεις και με ένα μεγάλο πλεονέκτημα της σχετικής δυνατότητας προσαρμογής σε αποκλίσεις που μπορεί να προκύψουν επιτόπου στην κατασκευή. Όλος ο φορέας έχει κατασκευαστεί έτσι ώστε να μπορεί να δεχθεί μικρομετατροπές από την θεμελίωση έως τον φορέα του στεγάστρου.

Το βάρος του της μεταλλικής κατασκευής υπολογίζεται σε 511 t, δηλαδή σε 106,5 Kg/m².

Steel structure for the open air museum of the “Roman Villa Of Herodes Atticus”**Phaedon Karydakis**

Civil Engineer NTUA, MSc, DIC
«Ph. Karydakis and associates ltd»
Athens, Greece
Karmad44@OTENET.GR

Christina Anagnostaki

Civil Engineer NTUA
«Ph. Karydakis and associates ltd»
Athens, Greece
Karmad44@OTENET.GR

Kostas Tsokanis

Civil Engineer
«Ph. Karydakis and associates ltd»
Athens, Greece
Karmad44@OTENET.GR

SUMMARY

The proposed structural system respects the form and the basic principles and prerequisites of the monument.

The structure covers an area of 4796 m² with the possible expansion of another 811 m².

The roof is a steel structure based on 12 columns.

The columns are circular sections filled with reinforced concrete.

The limitation of archaeologically ensured areas, for the foundation, led to a micro piles structure tied with cap beams.

The main beams are two pairs of trusses along the structure and the whole system is suspended with cables from 8 metal circular columns.

The cross beams are designed as compact beams, progressively smaller at the edges where the loads are lower and supported with diagonal struts underneath.

The structure was designed for strength and serviceability, the second being critical because of the extreme cantilevers.