

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΣΤΕΓΑΣΤΡΟΥ ΣΤΟ ΝΕΟ ΓΗΠΕΔΟ ΤΟΥ ΠΑΝΑΘΗΝΑΪΚΟΥ ΣΤΟΝ ΒΟΤΑΝΙΚΟ

Χρήστος Π. Γκολογιάννης

Πολιτικός Μηχανικός
Μηχανικοί Μελετών & Εφαρμογών Α.Ε.
Αθήνα
e-mail: cpgol@mhxme.gr

Αλέξανδρος Αθανασιάδης

Πολιτικός Μηχανικός
Αλέξανδρος Αθανασιάδης & Συνεργάτες Πολιτικοί Μηχανικοί
Αθήνα
e-mail: aathanasiad@tee.gr

Χάρης Ι. Γαντές

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Αναπληρωτής Καθηγητής
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών Ε.Μ.Π.
Αθήνα
e-mail: chgantes@central.ntua.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

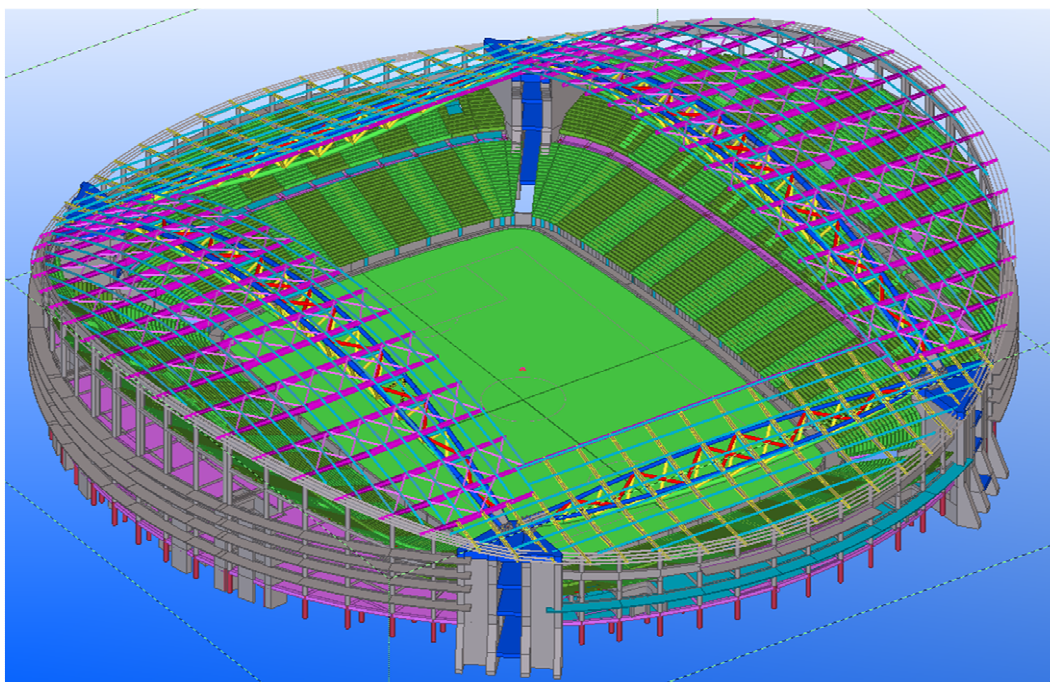
Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία του φέροντος οργανισμού του μεταλλικού στεγάστρου των κερκίδων για το νέο γήπεδο του Παναθηναϊκού στον Βοτανικό. Το στέγαστρο αποτελεί μέρος επιφάνειας περίπου κυλινδρικού σχήματος και μορφώνεται από τέσσερα στατικώς ανεξάρτητα μεταξύ τους τμήματα. Το βασικό στοιχείο κάθε τμήματος είναι ένας κύριος χωροδικτυωτός φορέας, εδραζόμενος αμφιαρθρωτά σε πυλώνες από οπλισμένο σκυρόδεμα που διατάσσονται στις τέσσερις γωνίες του γηπέδου. Επί των κυρίων φορέων και των περιμετρικών υποστυλωμάτων των κερκίδων του γηπέδου εδράζονται αμφιπροέχουσες δοκοί με μεταβλητή συγκολλητή διατομή διπλού ταυ, και επί αυτών οι τεγίδες που φέρουν την επικάλυψη. Η ευστάθεια του στεγάστρου εξασφαλίζεται με κατάλληλα διατεταγμένους χιαστί συνδέσμους δυσκαμψίας. Για λόγους σαφήνειας του μηχανισμού μεταφοράς των φορτίων διαμορφώνονται κατάλληλες συνδέσεις των μελών του μεταλλικού στεγάστρου μεταξύ τους, καθώς και με τα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, επί των οποίων εδράζονται. Στο άρθρο παρουσιάζονται θέματα βελτιστοποίησης της γεωμετρίας, της μορφής και μεγέθους των διατομών, του τρόπου στήριξης και των συνδέσεων μεταξύ των μελών, ώστε να επιτευχθεί η προσαρμογή στις

αρχιτεκτονικές απαιτήσεις με τον ασφαλέστερο και οικονομικότερο δυνατό τρόπο και να αποφευχθούν ανεπιθύμητες δράσεις λόγω διαφοράς θερμοκρασίας, καθώς και περίπλοκες σεισμικές εντάσεις από την αλληλεπίδραση του στεγάστρου με τους δέκα στατικούς ανεξάρτητους φορείς των κερκίδων και με τους πυλώνες.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

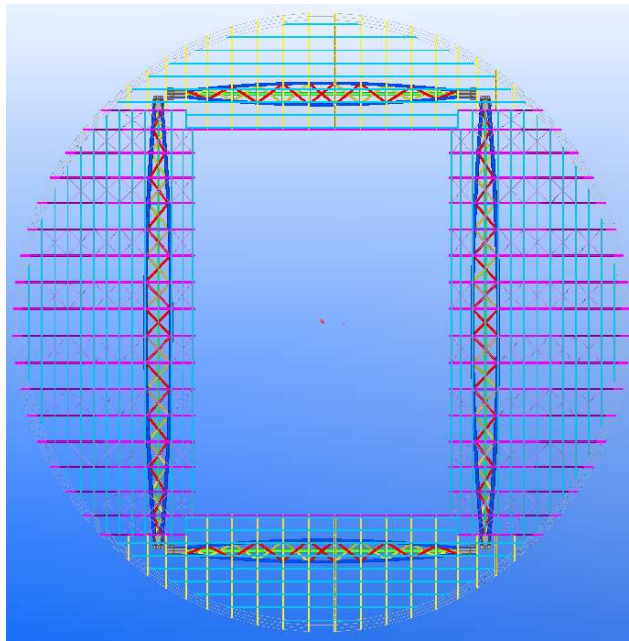
Στο παρόν άρθρο παρουσιάζεται συνοπτικά ο μεταλλικός φορέας για τη στέγαση των κερκίδων του νέου γηπέδου του Παναθηναϊκού στον Βοτανικό, όπως έχει διαμορφωθεί σε επίπεδο στατικής προμελέτης. Επισημαίνεται ότι κάποια από τα στοιχεία του στεγάστρου ενδέχεται να τροποποιηθούν σε επόμενες φάσεις της μελέτης.

Το στέγαστρο μορφώνεται από τέσσερα στατικώς ανεξάρτητα μεταξύ τους τμήματα, κάθε ένα από τα οποία φέρεται από έναν αμφιέριστο κύριο χωροδικτυωτό φορέα, και από τα περιμετρικά υποστυλώματα των άνω διαζωμάτων του γηπέδου (Σχήματα 1 και 2). Οι τέσσερις κύριοι φορείς εδράζονται σε τέσσερις πυλώνες από οπλισμένο σκυρόδεμα που διατάσσονται στις γωνίες του γηπέδου.

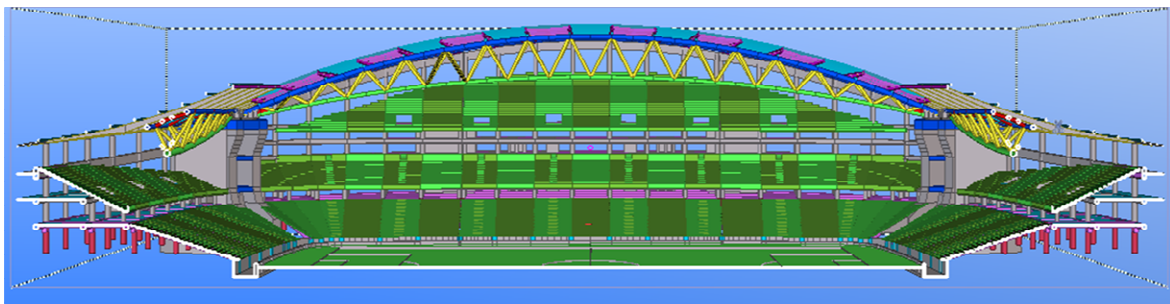


Σχ. 1: Προοπτική άποψη του στεγάστρου

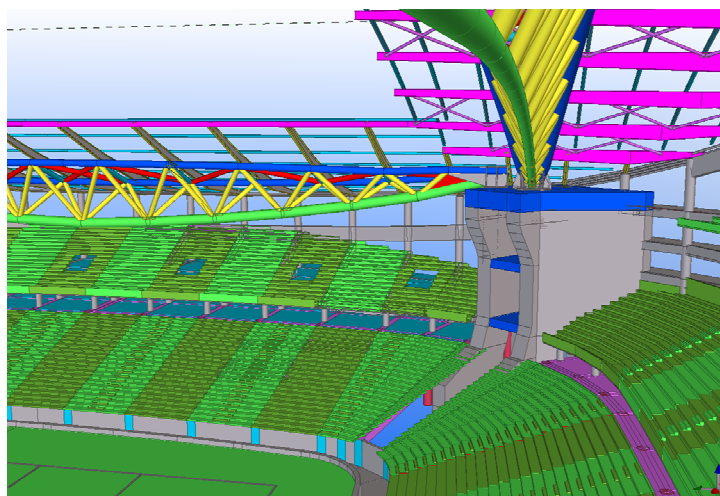
Στην περιοχή των μεγάλων κερκίδων το στέγαστρο έχει μορφή κυλινδρικής επιφάνειας που στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω (Σχήμα 3). Η στέγη φέρεται από έναν τοξωτό χωροδικτυωτό κύριο φορέα τριγωνικής διατομής, ανοίγματος 160 m, που εδράζεται αρθρωτά στους δύο βασικούς πυλώνες από οπλισμένο σκυρόδεμα (Σχήμα 4), και από την σειρά των εξωτερικών υποστυλωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος του κτιρίου πίσω από την τελευταία κερκίδα. Ο κύριος φορέας έχει ένα κάτω πέλμα, ενώ το άνω πέλμα του αποτελείται από ζεύγος μελών που συνδέονται με το κάτω πέλμα με κεκλιμένες διαγωνίους. Τα δύο μέλη του άνω πέλματος συνδέονται μεταξύ τους με αποστάτες - ορθοστάτες και διαγώνια μέλη, που εξασφαλίζουν την απαραίτητη πλευρική δυσκαμψία στον κύριο φορέα. Όλα τα μέλη του κύριου φορέα έχουν κοίλη κυκλική διατομή.



Σχ. 2: Σχηματική κάτοψη του στεγάστρου

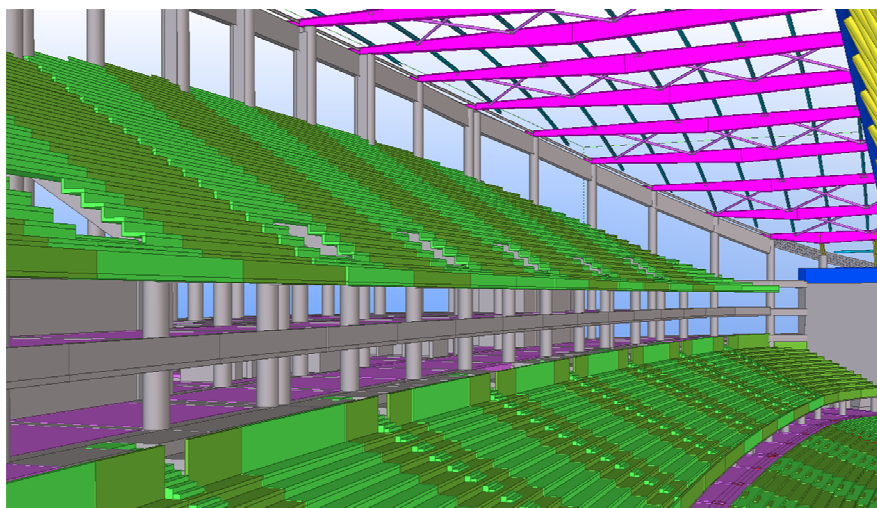


Σχ. 3: Τομή στο μέσον του γηπέδου παράλληλα με την μεγάλη του πλευρά



Σχ. 4: Έδραση των κύριων φορέων στους πυλώνες οπλισμένου σκυροδέματος

Η μορφή του κύριου φορέα προσαρμόστηκε στις απαιτήσεις της αρχιτεκτονικής μελέτης και η χάραξη του ως παραβολικού τόξου, με κρέμαση κάτω πέλματος 9.80 m και στατικό ύψος στο μέσον 9.00 m, έγινε μετά από παραμετρική ανάλυση για τη βελτιστοποίηση της γεωμετρίας του, σύμφωνα και με τους πολεοδομικούς περιορισμούς μέγιστου ύψους. Στους κόμβους του άνω πέλματος αυτού του κύριου φορέα εδράζονται δευτερεύοντες φορείς, διατεταγμένοι παράλληλα προς τον μικρό άξονα του γηπέδου (κάθετα στον κύριο φορέα). Οι δευτερεύοντες φορείς είναι αμφιπροέχουσες δοκοί με την ακραία πίσω στήριξή τους επί των περιμετρικών υποστυλωμάτων των φορέων των κερκίδων, το κύριο προέχον τμήμα προς το γήπεδο και το μικρότερο προς τον περιβάλλοντα χώρο (Σχήμα 5). Οι δευτερεύοντες αυτοί φορείς είναι ολόσωμες υψίκορμες δοκοί συγκολλητής διατομής διπλού ταυ με μεταβαλλόμενο ύψος κορμού (μέγιστο ύψος 1.70 m στο κέντρο, ελάχιστο ύψος 0.55 m στα άκρα). Οι φορείς αυτοί αρθρώνονται στα κεντρικά υποστυλώματα του μεσαίου τμήματος της μεγάλης κερκίδας, στα οποία δίνεται για το λόγο αυτό επαρκής δυσκαμψία, ενώ σε αυτά των ακραίων τμημάτων εδράζονται με κύλιση κατά την αξονική διεύθυνση των δοκών, για να αποφευχθούν προβλήματα από την ενδεχομένως διαφορετική κίνηση των στατικά ανεξάρτητων κτιρίων των κερκίδων σε περίπτωση σεισμού (Σχήμα 6).



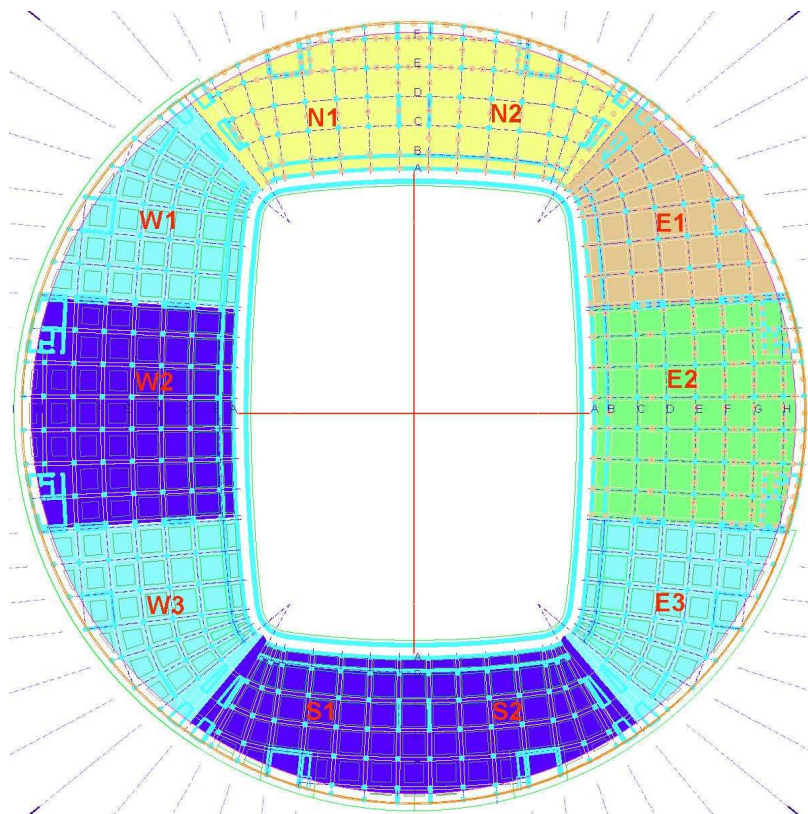
Σχ. 5: Έδραση των δευτερευόντων φορέων στα υποστυλώματα οπλισμένου σκυροδέματος και στον κύριο φορέα

Στους δευτερεύοντες φορείς εδράζονται αμφιαρθρωτές τεγίδες από πρότυπες διατομές διπλού ταυ. Ανά δεύτερο φάτνωμα διατάσσονται διπλές διαγώνιες ράβδοι με κοίλη κυκλική διατομή, που μαζί με τους δευτερεύοντες φορείς και κάποιες από τις τεγίδες μορφώνουν οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας και εξασφαλίζουν πλευρικά τους δευτερεύοντες φορείς έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού. Οι τεγίδες που δεν συμμετέχουν στους οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας μορφώνονται με ελευθερία αξονικής μετακίνησης στο ένα τους άκρο, για να αποφεύγονται ανεπιθύμητες αξονικές εντάσεις τους λόγω του κελυφωτού σχήματος της στέγης, και για να διαχωρίζονται τα διαφράγματα του στεγάστρου που εδράζονται σε διαφορετικά κτίρια κερκίδων.

Μέσω αυτής της διαμόρφωσης, το μεγαλύτερο μέρος των σεισμικών δυνάμεων του στεγάστρου μεταβιβάζεται στους πυλώνες, μικρό μέρος καταλήγει στα ισχυρά κεντρικά, περιμετρικά τοιχώματα των κεντρικών κτιρίων W2 και E2, ενώ τα γωνιακά κτίρια W1, E1,

W3 και E3 ταλαντώνονται πρακτικά ανεξάρτητα. Οι γωνιακοί πυλώνες διαμορφώνονται επαρκώς δύσκαμπτοι, ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα προβλήματα αλληλεπίδρασής τους με το στέγαστρο, ενώ στις θέσεις έδρασης των δευτερευόντων φορέων επί των κεντρικών τοιχωμάτων των κτιρίων W2 και E2 θα εξεταστεί το ενδεχόμενο χρήσης εφεδράνων, για να ελαχιστοποιηθούν και εκεί τα πιθανά προβλήματα αλληλεπίδρασης.

Παράλληλα, η τοξωτή μορφή του κύριου φορέα και η κελυφωτή μορφή όλου του στεγάστρου, σε συνδυασμό με τις προαναφερθείσες απελευθερώσεις αξονικής μετακίνησης κάποιων από τις τεγίδες συμβάλουν στην ανακούφιση του φορέα από θερμοκρασιακές μεταβολές, και στη σημαντική μείωση των σχετικών εντάσεων.

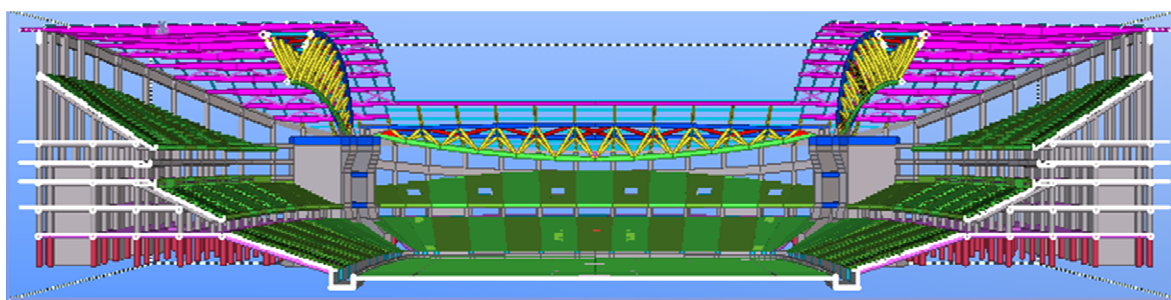


Σχ. 6: Σχηματική κάτοψη του γηπέδου και στατικός ανεξάρτητα τμήματα κερκίδων

Η στέγη στην περιοχή των μικρών κερκίδων έχει κεκλιμένη προς την εξωτερική πλευρά του γηπέδου επιφάνεια που στρέφει ελαφρώς τα κοίλα προς τα άνω, και φέρεται επίσης από έναν χωροδικτυωτό κύριο φορέα τριγωνικής διατομής, ανοίγματος 100 m, που εδράζεται αρθρωτά στους δύο βασικούς πυλώνες από οπλισμένο σκυρόδεμα, με καμπύλο κάτω πέλμα και οριζόντιο άνω πέλμα από δύο μέλη, όλα επίσης με κοίλη κυκλική διατομή (Σχήμα 7). Και αυτός ο κύριος φορέας μορφώνεται με κεκλιμένες διαγωνίους και ορθοστάτες – αποστάτες και διαγώνιους συνδέσμους στο άνω πέλμα. Οι δευτερεύοντες φορείς, οι τεγίδες και οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας των μικρών στεγών είναι ανάλογης διάταξης με αυτά των μεγάλων.

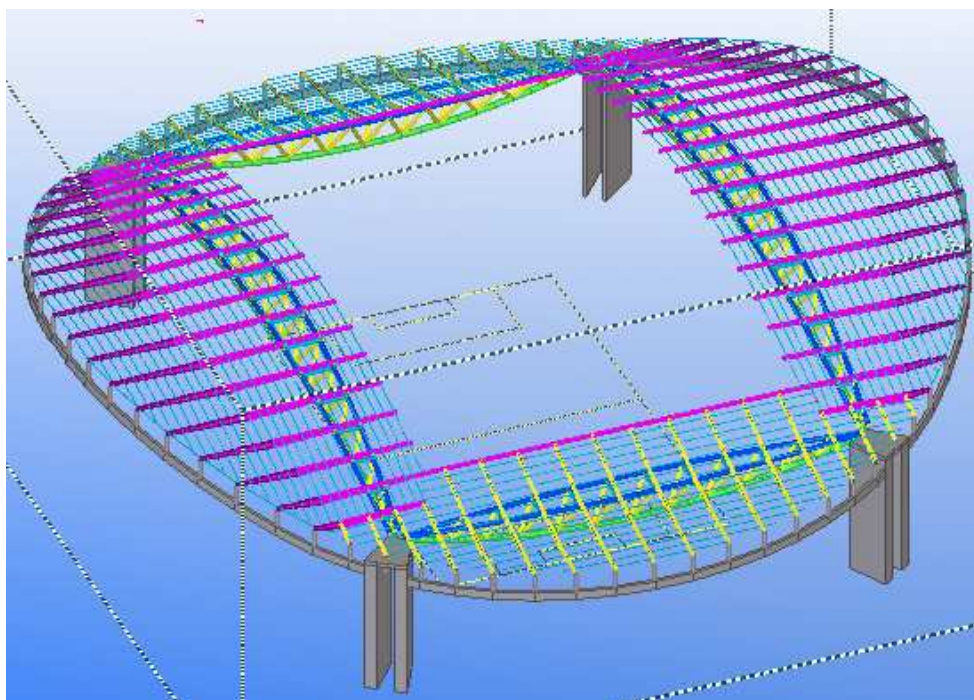
Αν και το στέγαστρο των μικρών κερκίδων είναι αισθητά μικρότερου ανοίγματος από εκείνο των μεγάλων, όμως έχει, για λόγους προσαρμογής του στις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις, γεωμετρία που εισάγει μια σειρά από στατικές δυσκολίες: (α) Ο περίπου

ευθύγραμμος άξονας του κύριου φορέα έχει ως αποτέλεσμα να αναπτύσσονται σημαντικές εντάσεις τόσο στο στέγαστρο, όσο και στους πυλώνες, λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών. (β) Η κλίση της στέγης στην περιοχή πάνω από τον κύριο φορέα οδηγεί σε ένα έντονα μη συμμετρικό σχήμα της διατομής του κύριου φορέα. (γ) Το μήκος προβόλου των δευτερευόντων φορέων είναι δυσανάλογα μεγάλο σε σύγκριση με το αμφιέρειστο τμήμα τους, μεταξύ κύριου φορέα και περιμετρικών υποστυλωμάτων. (δ) Κάτω από το στέγαστρο των μικρών κερκίδων διαμορφώνονται δύο στατικά ανεξάρτητα κτίρια, με αρμό στο μέσον, με αποτέλεσμα να είναι κατ' αρχήν απαραίτητη η στήριξη του μεταλλικού στεγάστρου και στα δύο κτίρια, και να δημιουργούνται εντονότερες συνθήκες σεισμικής αλληλεπίδρασης. (ε) Η ανοδική τροχιά του κάτω πέλματος του κύριου φορέα στην περιοχή έδρασης του στους πυλώνες δημιουργεί προβλήματα κατασκευαστικής διαμόρφωσης της έδρασης. Παρά ταύτα, οι προκαταρκτικές στατικές αναλύσεις αποδεικνύουν την εφικτότητα του προτεινόμενου στατικού συστήματος με αρκετά οικονομικές διατομές.



Σχ. 7: Τομή στο μέσον του γηπέδου παράλληλα με την μικρή του πλευρά

Το σύνολο των μελών του μεταλλικού στεγάστρου απεικονίζεται στο Σχήμα 8 (για λόγους ευκρίνειας έχουν παραλειφθεί οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας).



Σχ. 8: Τρισδιάστατη απεικόνιση στεγάστρων και πυλώνων

3. ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ

Τα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα των κερκίδων θεμελιώνονται με εσχάρα πεδιλοδοκών μεταβλητής διατομής, με ισχυρότερα στοιχεία προς το πίσω μέρος του γηπέδου, όπου λόγω της κλίσης των κερκίδων καταλήγουν σημαντικά μεγαλύτερα φορτία. Διαμορφώνεται κοινή θεμελίωση των γειτονικών, στατικών ανεξαρτήτων κτιρίων της ανωδομής.

Οι πυλώνες εδράζονται μέσω πλάκας κοιτόστρωσης – κεφαλόδεσμου σε συστοιχία πασσάλων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι σημαντικές οριζόντιες δυνάμεις που μεταβιβάζονται στην κορυφή των πυλώνων από τους κύριους φορείς του μεταλλικού στεγάστρου, σε συνδυασμό με τις μεγάλες σεισμικές εντάσεις λόγω αδράνειας της μάζας των ιδίων των πυλώνων (που πάντως είναι επιθυμητή για να εξασφαλίσει την απαραίτητη πλευρική δυσκαμψία) οδηγούν σε πολύ μεγάλες ροπές στη βάση των πυλώνων, και επομένως σε απαιτήσεις ισχυρής θεμελίωσης. Το σημείο αυτό θα αποτελέσει στόχο βελτιστοποίησης στις επόμενες φάσεις της μελέτης.

4. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΡΓΟΥ (ΦΑΣΕΙΣ ΠΡΟΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ)

Κύριος του έργου	Π.Α.Ε. Παναθηναϊκός
Διαχείριση έργου	Konkat A.T.E. Focal Project Managers E.Π.Ε. Synergion O.E.
Ειδικοί σύμβουλοι έργου	Amsterdam Arena Advisory Risco Projectistas e Consultores de Design S.A.
Αρχιτεκτονική μελέτη	ΑΣ.ΠΑ Α.Ε. Aris Architects – Consultants E.E.
Στατική μελέτη	Μηχανικοί Μελετών & Εφαρμογών Α.Ε.
Σύμβουλοι στατικής μελέτης	Αλέξανδρος Αθανασιάδης & Συνεργ. Πολιτικοί Μηχανικοί Χάρης Ι. Γαντές, Δρ. Πολ. Μηχ., Αναπλ. Καθηγ. Ε.Μ.Π.
Μελέτη Η/Μ	TEAM M-H Σύμβουλοι Μηχανικοί Ε.Π.Ε.
Κυκλοφοριακή μελέτη	Δρόμος Ε.Π.Ε.
Υδρολογική μελέτη	Δρόμος Ε.Π.Ε.
Περιβαλλοντική μελέτη	Envenco Α.Ε. Προστασία, Διαχείριση & Οικονομία Περιβάλλοντος
Γεωτεχνική μελέτη	Γεωσύμβουλοι Ε.Π.Ε.
Τοπογραφική μελέτη	Τοποανάλυση Ο.Ε.

**PRESENTATION OF THE STRUCTURAL SYSTEM OF THE STEEL ROOF
IN THE NEW FOOTBALL STADIUM OF PANATHINAIKOS IN VOTANIKOS**

Christos P. Gkologiannis

Civil Engineer

Design & Application Engineers S.A.

Athens, Greece

e-mail: cpgol@mhxme.gr

Alexandros Athanasiadis

Civil Engineer

Alexandros Athanasiadis & Associates Civil Engineers

Athens, Greece

e-mail: aathanasiad@tee.gr

Charis J. Gantes

Dr. Civil Engineer, Associate Professor

Metal Structures Laboratory, National Technical University of Athens

Athens, Greece

e-mail: chgantes@central.ntua.gr

SUMMARY

In the present paper the main structural elements of the steel roof of the new football stadium of Panathinaikos F.C. in Votanikos, Athens, Greece are presented. The roof has the shape of a cylindrical surface, and it consists of four structurally independent parts. The basic element of each part is a main truss-girder, simply supported on reinforced concrete pylons, arranged at the four corners of the stadium. Secondary beams are supported on these main girders and on the exterior peripheral reinforced concrete columns of the grandstands. These beams carry purlins that support the roof cladding. Appropriately arranged cross-bracings contribute to the overall stability. Issues pertaining to optimization of geometry, type and size of cross-sections, supports and connections between members, in order to achieve satisfaction of architectural constraints in the most safe and cost-effective way are discussed. To that effect, undesirable actions due to temperature differentials, as well as interaction of the steel roof with the pylons and the ten structurally independent grandstand structures during eventual seismic events are minimized.