

## Ο ΚΥΡΙΟΣ ΦΟΡΕΑΣ ΤΟΥ ΘΟΛΟΥ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ- ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ «ΣΤΕΛΙΟΣ ΙΩΑΝΝΟΥ»

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

### 1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη, βιομηχανοποίηση, ανέγερση, επιφανειακή προστασία, ποιοτικό έλεγχο και επιθεώρηση του κύριου φορέα από δομικό χάλυβα του θόλου, ανοίγματος 40m, του Κέντρου Πληροφόρησης-Βιβλιοθήκης « Στέλιος Ιωάννου».



Φωτ. 1 - Ολοκληρωμένος φορέας θόλου



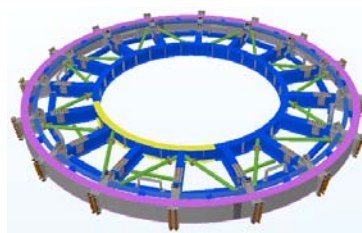
Φωτ. 2 – Ο Θόλος κατά την ανέγερση

### 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΟΡΕΑ

Ο κύριος φορέας αποτελείται από 8 επίπεδα και 8 τριγωνικά ακτινικά δικτυώματα, τα οποία συμπληρώνονται από τριγωνικά περιφερειακά δικτυώματα. Τα κύρια ακτινικά δικτυώματα εδράζονται στο κάτω μέρος του θόλου σε σφαιρικά εφέδρανα. Όλοι οι προαναφερθέντες φορείς αποτελούνται από κοίλες καμπύλες στρογγυλές διατομές (CHS). Στην κορυφή του θόλου υπάρχει οριζόντιος κεντρικός δικτυωματικός δακτύλιος με πέλματα από συγκολλητές διατομές ( I & I/BOX). Όλες οι κοίλες διατομές του κύριου φορέα κατασκευάστηκαν από χάλυβα ποιότητας S355J2H κατά EN10210-1 ( θερμικώς επεξεργασμένες ).



Σχ. 1 - Ακτινικό τριγωνικό δικτύωμα



Σχ. 2 - Οριζόντιος δικτυωματικός δακτύλιος

### 3. ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ

Όλες οι συγκολλήσεις είναι πλήρους αντοχής, εσωραφές, εξωραφές ή συνδυασμός τους. Όπως είναι αναμενόμενο για δικτυωματικούς φορείς με πέλματα και διαγώνια από διατομές CHS, οι περισσότερες συνδέσεις είναι συγκολλητές (επίπεδες ή πολυεπίπεδες τύπου K). Προκειμένου να είμαστε εντός της ισχύος εφαρμογής των εξισώσεων του EN 1993-1-8 §7.4 και να μπορέσουν να αγνοηθούν οι δευτερεύουσες ροπές, δόθηκε συγκεκριμένη εκκεντρότητα σε κάθε κόμβο. Βάσει αυτής, στις περισσότερες περιπτώσεις αυξήθηκε η υπερκάλυψη(OV) σε ποσοστό >25%. Συνεπώς, οι συνδέσεις αυτές είχαν αυξημένη δυσκολία, τόσο ως προς τις ίδιες τις συγκολλήσεις, όσο και ως προς τις κοπές ακριβείας των διαγωνίων. Σε κάποιες θέσεις με μεγάλα εντατικά μεγέθη, όπως πχ η έδραση των δικτυωμάτων, οι κόμβοι είναι ενισχυμένοι με μεταλλικές πλάκες πάχους έως 40mm.

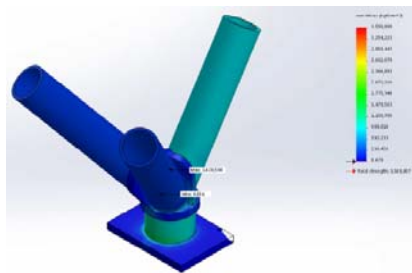
Πολλές συγκολλήσεις υπάρχουν και στον δικτυωματικό δακτύλιο στην κορυφή του θόλου, όπου τα πέλματα, όπως προαναφέραμε, είναι συγκολλητά. Εκεί υλοποιήθηκαν συνεχείς εσωραφές και εξωραφές μήκους >30m. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η στρέβλωση των επιμέρους ελασμάτων, χρησιμοποιήθηκαν μόνιμα ή προσωρινά ( μέσω tack welds ) ενισχυτικά ελάσματα.



Φωτ. 3 - Συγκολλητός κόμβος 2 επιπέδων



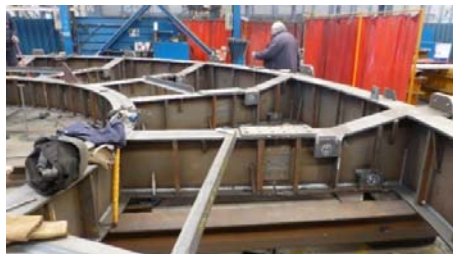
Φωτ. 4 - Πολυεπίπεδος συγκολλητός κόμβος



Σχ. 3 - Ανάλυση με Π.Σ. έδρασης δικτυωμάτων



Φωτ. 5 - Έδραση τριγωνικών δικτυωμάτων



Φωτ. 6 – Αποτροπή στρέβλωσης δακτυλίου



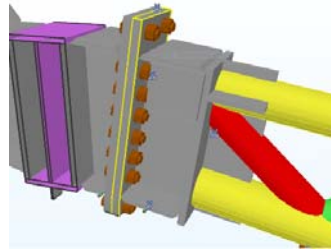
Φωτ. 7 – Εργοταξιακή εσωραφή δακτυλίου

#### 4. ΚΟΧΛΙΩΤΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ

Οι περισσότερες από τις κύριες κοχλιωτές συνδέσεις αφορούν στις εργοταξιακές αποκαταστάσεις συνέχειας μεταξύ των πελμάτων των δικτυωμάτων. Η σημαντικότερη όμως κοχλιωτή σύνδεση στο έργο είναι αυτή μεταξύ των ακτινικών δικτυωμάτων και του δακτυλίου στην κορυφή του θόλου. Κοχλιωτή είναι και η σύνδεση του μεταλλικού φορέα στο σφαιρικό εφέδρανο, όπου η πλάκα έδρασης του φορέα έχει διαστάσεις 50X500X1050mm, με πρόβλεψη για την επιθεώρηση, συντήρηση και πιθανή αντικατάσταση των εφεδράνων.



Φωτ. 8 - Αποκατάσταση συνέχειας



Σχ. 4 - Σύνδεση δικτυωμάτων με δακτύλιο

Στο έργο χρησιμοποιήθηκαν 2 τύποι κοχλιών. Στις κύριες συνδέσεις τοποθετήθηκαν προεντεταμένοι «μαύροι» κοχλίες τύπου HR-10.9, κατά EN14399-3. Η μέθοδος σύσφιγξης που επιλέχτηκε ήταν η μέθοδος D.T.I. ( Direct Tension Indicator Method). Αυτή έγκειται στη χρήση ειδικών D.T.I. ροδέλων, κατά EN14399-9, με συμπιεζόμενες προεσοχές, που διευκολύνουν πάρα πολύ την επιθεώρηση. Στις δευτερεύουσες συνδέσεις οι κοχλίες είναι μη προεντεταμένοι, κατηγορίας 8.8 κατά EN15048, εν θερμώ γαλβανισμένοι.



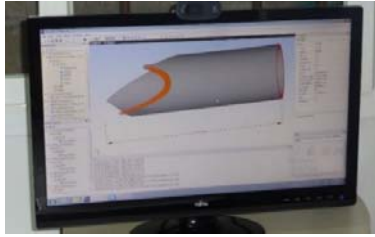
Φωτ. 9 - Έδραση δικτυωμάτων



Φωτ. 10 - Ροδέλα D.T.I.

#### 5. ΒΙΟΜΗΧΑΝΟΠΟΙΗΣΗ

Ο μεγαλύτερος χρόνος βιομηχανοποίησης στο έργο αφορούσε στην κοπή των διαγωνίων μελών διατομής CHS των δικτυωμάτων. Προκειμένου να επιτευχθεί η απαιτούμενη ακρίβεια και ταχύτητα παραγωγής, την εργασία ανέλαβε εξειδικευμένη εταιρεία. Η μέθοδος που επιλέχθηκε ήταν η αυτόματη κοπή με plasma ( automatic plasma cutting), με χρήση ειδικού λογισμικού, που υπολόγιζε αυτόματα τις κοπές, με δεδομένη τη γεωμετρία της σύνδεσης.



Φωτ. 11 - Λογισμικό κοπής CHS



Φωτ. 12 - Αυτόματη κοπή πλάσμα CHS



Φωτ. 13 - Βιομηχανοποιημένα διαγώνια CHS



Φωτ. 14 - Καμπύλωση πέλματος CHS δικτυώματος

Λόγω της σφαιρικής γεωμετρίας του φορέα, τα πέλματα όλων των δικτυωμάτων έπρεπε να καμπυλωθούν. Η μεγάλη ακτίνα καμπυλότητας και γενικότερα η ικανοποίηση των ορίων του EN1090-2 §6.5.4e, επέτρεψε τη χρήση ψυχρής διαμόρφωσης ( cold forming), σε θερμοκρασία περίπου 550°C, σε εξειδικευμένο προμηθευτή. Η κάμψη του μέλους γινόταν με την εισαγωγή του σε ειδικό μηχάνημα με 3 περιστροφικούς άξονες. Αντιθέτως, τα πέλματα των καμπύλων, ως προς τον ασθενή τους άξονα όμως, διατομών τύπου Ι και Ι/box, στον κεντρικό δακτύλιο, κατασκευάστηκαν από επίπεδες πλάκες και δεν καμπυλώθηκαν, αφού το τελευταίο θα προξενούσε μεγάλες συγκεντρώσεις τάσεων. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η επιτυχία της ανέγερσης, όλα τα συγκροτήματα ( assemblies) του έργου προσυναρμολογήθηκαν στο εργοστάσιο.



Φωτ. 15 - Προσυναρμολόγηση τμήματος φορέα



Φωτ. 16 - Προσυναρμολόγηση δακτυλίου

## **6. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ**

Το σύστημα επιφανειακής προστασίας του κύριου φορέα αποτελείται από 3 στρώσεις, η πρώτη μόνο από τις οποίες, το αστάρι, εφαρμόστηκε στο εργοστάσιο. Πριν από την έναρξη της εργοταξιακής βαφής, είχε ανεγερθεί προσωρινή κριωματική περιμετρική κατασκευή, για την αποφυγή μεταφοράς υλικού στις παρακείμενες κατασκευές και οχήματα.

Η προετοιμασία των επιφανειών, τόσο στο εργοστάσιο (αμμοβολή), όσο και στο εργοτάξιο ( κοχλίες, επιδιορθώσεις, συγκολλήσεις ), ακολούθησε τους αντίστοιχους κανονισμούς και συγκεκριμένες οδηγίες του προμηθευτή. Για το εργοτάξιο επιλέχτηκε ιδιαίτερα ανθεκτικό



αστάρι, με όφελος να αρκεί προσεκτικός χειροκίνητος καθαρισμός επιπέδου St2 κατά EN-ISO-8504-3, με συρματόβουρτσα και γυαλόχαρτο.



Φωτ. 17 - Εργοστασιακή βαφή



Φωτ. 18 - Περιμετρική κατασκευή προστασίας



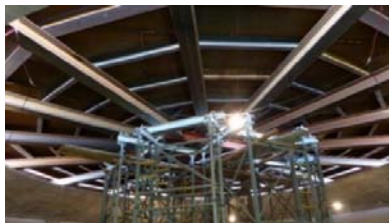
Φωτ. 19 - Κοχλίας πριν από τον καθαρισμό



Φωτ. 20 - Κοχλίας μετά τον καθαρισμό

## 7. ΑΝΕΓΕΡΣΗ

Η γενική φιλοσοφία της μεθοδολογίας ανέγερσης ήταν να ανυψώνονται τα διάφορα συγκροτήματα, αφού συναρμολογηθούν στο έδαφος. Για τον λόγο αυτό, και λόγω της μεγάλης απόστασης της θέσης του γερανού, έγινε χρήση τηλεσκοπικού γερανού ανυψωτικής ικανότητας 400tn. Η ανέγερση ξεκίνησε με τη συναρμολόγηση και ανύψωση του κεντρικού δακτυλίου, σε 2 τμήματα, 11tn περίπου, ο οποίος τοποθετήθηκε σε ειδικό προσωρινό μεταλλικό δάπεδο επί κριωμάτων. Ακολούθησαν τα ακτινικά τριγωνικά (7tn) και επίπεδα (4tn) δικτυώματα, τα οποία ανυψώθηκαν ολόκληρα. Τέλος, τοποθετήθηκαν τα περιφερειακά δικτυώματα και τα διαφώτιστα με τις τεγίδες στήριξης της λαμαρίνας.



Φωτ. 21 - Προσωρινή έδραση δακτυλίου



Φωτ. 22 - Ανύψωση 1/2 δακτυλίου

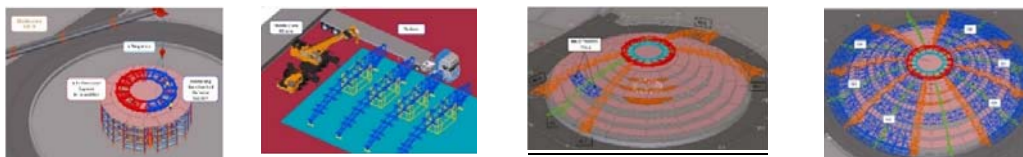


Φωτ. 23 - Ανύψωση τριγωνικού δικτυώματος



Φωτ. 24 - Ανύψωση επίπεδου δικτυώματος

Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στην ανέγερση των ακτινικών δικτυωμάτων, η οποία πραγματοποιήθηκε μήνα Αύγουστο. Υπολογίστηκε ότι η τριβή μεταξύ των μεταλλικών ελασμάτων της βάσης ήταν ικανή για να συγκρατήσει τον φορέα. Η μετέπειτα παρακολούθηση των μετακινήσεων επιβεβαίωσε τον παραπάνω ισχυρισμό, με τη θερμοκρασία του μετάλλου που καταγράφηκε να κυμαίνεται από +18 έως +50°C, κατά τη διάρκεια της ημέρας. Παρ' όλ' αυτά, για αποφυγή μη αναστρέψιμων παραμορφώσεων, ο πόδας των φορέων παγιώθηκε προσωρινά στο σκυρόδεμα.



Σχ. 5 - Εικόνες από το έγγραφο της μεθοδολογίας ανέγερσης

## **8. ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ**

Το σχέδιο επιθεωρήσεων και ελέγχων (Inspection and Test Plan) εκπονήθηκε, έτσι ώστε να ικανοποιεί ταυτόχρονα τις επιταγές του EN1090-2 για EXC3 και του αντίστοιχου βρετανικού προτύπου NSS5 5<sup>th</sup> edition. Το σημαντικότερο τμήμα των ελέγχων αφορούσε στις συγκολλήσεις των διαγωνίων στα πέλματα των δικτυωμάτων (branch joints), όπου απαιτήθηκε να γίνουν 2 προδιαγραφές διαδικασίας συγκόλλησης (welding procedure specifications), ανάλογα της γωνίας του διαγωνίου, καθώς και δείγματα (pre-production testing). Κατά τη βιομηχανοποίηση, οι συνδέσεις αυτές, όπως και άλλες, ελέγχθηκαν με επιφανειακές μεθόδους, διεισδυτικά υγρά (PT) ή μαγνητικά σωματίδια (MT), καθώς δεν ήταν δυνατή η χρήση υπερήχων (UT), όπως έγινε σε άλλες ενώσεις με αμιγείς εσωραφές.

Επίσης, έγινε εργαστηριακός έλεγχος της σκληρότητας των ελεύθερων επιφανειών των άκρων των διαγωνίων μελών, μετά την κοπή τους. Βάσει του EN1090-2 §6.4.4, αυτή έπρεπε να μην είναι μεγαλύτερη από 380 (HV 10). Επειδή κάποιες τιμές ήταν οριακές, αποφασίστηκε να γίνεται τρόχισμα τουλάχιστον 1.5mm.

Στις μετωπικές πλάκες των συγκολλητών αποκαταστάσεων συνέχειας των δικτυωμάτων με πάχος  $\geq 20\text{mm}$  (προδιαγραφή Z25 κατά EN10164), πραγματοποιήθηκε έλεγχος υπερήχων για την αποφυγή του φαινομένου της πλακοειδούς απόσχισης (lamellar tearing). Επιπλέον, στα καμπύλα στοιχεία, έγιναν διαστασιολογικοί έλεγχοι (ovality, ακτίνα καμπυλότητας κ.λπ.) και έλεγχοι σκληρότητας. Κατά τα άλλα, οι επιθεωρήσεις αφορούσαν στην επιβεβαίωση του επιπέδου της αμμοβολής, του πάχους και της πρόσφυσης της βαφής, της ιχνηλασιμότητας κ.α.



Φωτ. 25 - Branch joint W.P.Q.R. - Οπτικός έλεγχος μετά τη συγκόλληση



Φωτ. 26 - Branch joint W.P.Q.R. - Έλεγχος PT πριν το Macro



Φωτ. 27 - Έλεγχος με υπερήχους (UT)



Φωτ. 28 – Σκληρομέτρηση τεμαχίου CHS



Φωτ. 29 - Σήμανση CE και ιχνηλασιμότητα



Φωτ. 30 - Έλεγχος τραχύτητας αμμοβολής

## 9. ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ

Ο κύριος φορέας του θόλου είχε πάνω από 1500 εργοταξιακές συγκολλήσεις, για τις οποίες έγινε οπτικός έλεγχος στο 100%, καθώς και έλεγχος με μαγνητικά σωματίδια (MP), επίσης στο 100%, για όσες είχαν πάχος  $\geq 7\text{mm}$ . Αντίστοιχα, όλες οι εσωραφές ελέγχθηκαν με υπερήχους (UT), από επιθεωρητή επιπέδου Level III.

Όσον αφορά στις βαφές, εκτός από την επιθεώρηση του πάχους ξηρού υμένα (dry film thickness measurements) σε κάθε στρώση, διενεργήθηκε και αυτοψία εξειδικευμένου τεχνικού από το εξωτερικό του προμηθευτή χρωμάτων, ο οποίος ήλεγξε κυρίως την προετοιμασία των επιφανειών, διενεργώντας μεταξύ άλλων και ελέγχους πρόσφυσης (pull-off adhesion tests) κατά EN ISO 4624.



Φωτ. 31 - Έλεγχος πρόσφυσης σε επισκευή



Φωτ. 32 - Έλεγχος πρόσφυσης σε κοχλία

## 10. ΒΑΣΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ

Κύριος του Έργου: [Πανεπιστήμιο Κύπρου](#)

Αρχιτεκτονική Μελέτη & Επίβλεψη : [Ateliers Jean Nouvel & J+A Philippou](#)

Στατική Μελέτη & Επίβλεψη : [J+A Philippou](#), υπεύθυνος Χ. Χριστοδούλου

Ανάδοχος : [J&P/AVAX](#), διεθυντής έργου Δ. Μαυρομμάτης

Υπεργολάβος χαλύβδινου φορέα θόλου : [Industrias Metalicas ANRO S.L](#)

Διασφάλιση ποιότητας στο εργοστάσιο : [TUV Hellas S.A.](#), υπεύθυνος Π. Δάφνης

Διασφάλιση ποιότητας στο εργοτάξιο : [NDT Inspections](#)

Υπεργολάβος εργοταξιακών βαφών : [New Steel Protection](#)

Συντονιστής για τον θόλο : [Ελληνική Μελετητική Α.Τ.Ε.](#), υπεύθυνος Δ. Ευστρατιάδης

## STELIOS JOANNOU LEARNING RESOURCE CENTER DOME MAIN STRUCTURE

**Dimitris Efstratiadis**

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

### SUMMARY

The University of Cyprus [Stelios Joannou L.R.C.](#) has been designed by famous architects [Ateliers Jean Nouvel](#) and is being constructed by [J&P/AVAX S.A.](#) in the university campus in Nicosia, Cyprus.

Prominent part of this modern library is its 40m span steel dome, which is covered by hexagonal cast aluminium panels and has a heliostat at its oculus to reflect the light to a cone situated at the central atrium.

The steel structure of the dome has been designed by [J+A Philippou](#) structural engineering team and fabricated & erected by [Industrias Metalicas ANRO S.L](#)

The writer had been appointed in May 2015 as the coordinator of the the steel dome structural and architectural works.

This paper will focus on the detailed design, fabrication, erection, surface protection, quality control, inspection, maintenance provision etc. of the main steel structure of the dome, describing the problems encountered and the solutions found during these phases of the project. Emphasis will be given mainly to the structural steel, but also to a few of the most innovating architectural ideas and their implementation.

At the same time, the difficult task of bringing together the parties involved in this multinational project (French, Spanish, Swiss, Greek and Cypriot etc. ) will be discussed