

ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΕΓΑΣΗΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ ΣΥΝΕΣΤΙΑΣΕΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ 21.3m ΜΕ ΕΓΚΙΒΩΤΙΣΜΕΝΕΣ ΣΙΔΗΡΟΔΟΚΟΥΣ ΣΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ DELTABEAMS

Άρης Ηλιόπουλος
Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ
Διδάκτωρ Ruhr – Uni, Γερμανίας
e-mail: iliop78@otenet.gr

Μαγδαλινή Χριστιά
Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, MSc.
Peikko Greece A.E.
e-mail: magdalini.christia@peikko.com

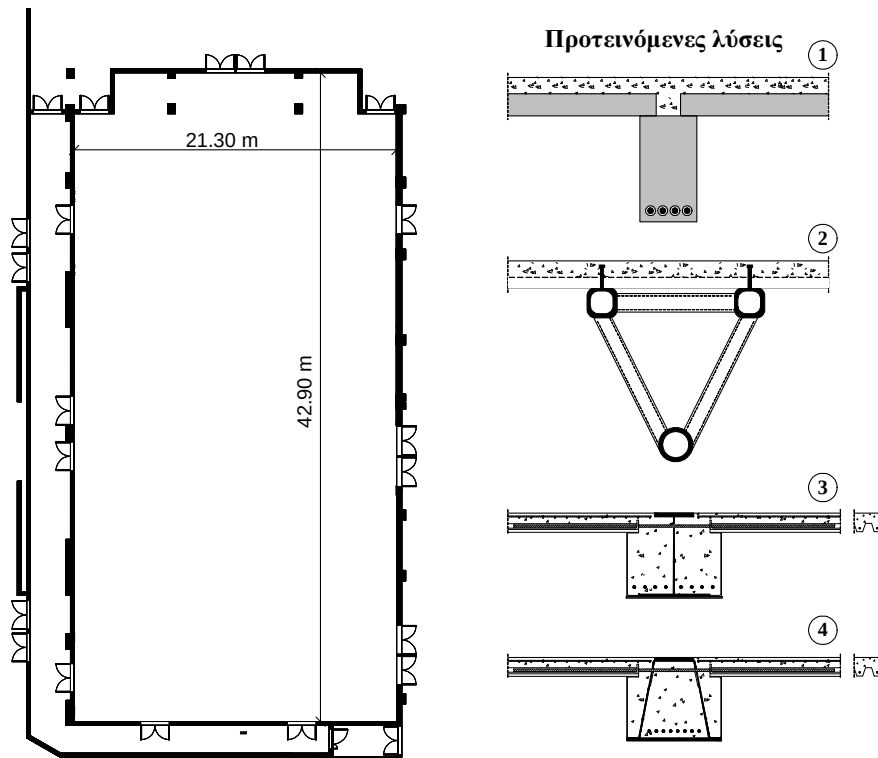
1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην περιοχή Κολυμβάρι Χανίων κατασκευάστηκε ένα σύγχρονο ξενοδοχειακό συγκρότημα πέντε αστερών από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Κύριο χαρακτηριστικό της κατασκευής ήταν η ανάγκη κάλυψης πολυαίθουσας συσκέψεων συνολικής επιφάνειας 900 m² με πλακοδόκαρα περιορισμένου ύψους και μήκους 21.3m. Στο άρθρο αναλύεται η επιλεγόμενη λύση και παρουσιάζεται εν συντομία η διαδικασία κατασκευής της οροφής.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Υπόγεια αίθουσα διαστάσεων 21.3m x 42.9m με περιμετρικά τοιχία πάχους 30cm έπρεπε να καλυφθεί με πλακοδόκαρα μέγιστου συνολικού ύψους 700mm. Μεταξύ των μηχανικών και της κατασκευάστριας εταιρείας συζητήθηκαν διάφορες λύσεις οι ανταγωνιστικότερες από τις οποίες φαίνονται στο Σχήμα 1. Η λύση 1 αποτελεί μια κλασσική περίπτωση προεντεταμένης δοκού με πρόπλακες τύπου filigrane και επιτόπια σκυροδέτηση. Τα προβλήματα μιας τέτοιας λύσης σχετίζονται κυρίως με την μόρφωση φουρουσιού στα περιμετρικά τοιχία, κάτι που χαρακτηρίστηκε αρχιτεκτονικά απορριπτέο αλλά και στατικά λόγω της καμπτικής καταπόνησης του ασθενή άξονα των τοιχίων. Επίσης, το μεγάλο βάρος της και το μήκος της προκατασκευασμένης δοκού αποτελούσε πρόβλημα για το κόστος μεταφοράς και ανύψωσής της.

Η αναζήτηση μιας ελαφρύτερης λύσης με δυνατότητα μάτισης στο εργοτάξιο οδήγησε αναγκαστικά στο δομικό χάλυβα. Η λύση 2 είναι ένα τυπικό χωροδικτύωμα πάνω στο οποίο εδράζονται χαλυβδόφυλλα. Είναι μια ενδιαφέρουσα πρόταση η οποία όμως έμεινε τελικά στα χαρτιά μιας και το συνολικό ύψος δικτύωματος + σύμμικτης πλάκας ξεπερνούσε τα 700mm. Η τελική επιφάνεια του κάτω πέλματος έπρεπε επίσης για λόγους πυροπροστασίας να απέχει από τις πυράντοχες γυψοσανίδες μια ελάχιστη απόσταση κι αυτό αποτελούσε μια πρόσθετη δυσκολία στην εύρεση μιας ικανοποιητικής γεωμετρίας.



Σχ. 1: Προτεινόμενες λύσεις προς κάλυψη πολυαίθουσας συνεστιάσεων

Στη συνέχεια προτάθηκε η σύμμικτη σιδηροδοκός της λύσης 3, βλ. Σχήμα 1. Για λόγους αυξημένης δυσκαμψίας το άνω πέλμα της σιδηράς δοκού έπρεπε να φτάνει στην άνω παρεία του σκυροδέματος. Το κάτω πέλμα να αποτελείται από δύο συγκολλητές λάμες επί του οποίου συγκολλούνται διατομές μορφής C (πατούρες) για την έδραση των χαλυβδοφύλλων. Με τον τρόπο αυτόν ο εγκιβωτισμός της σιδηράς δοκού δύναται να πραγματοποιηθεί χωρίς καλούπωμα στο εργοτάξιο (μειωμένα εργατικά και ασφαλιστικές εισφορές, μεγαλύτερη ταχύτητα). Ο εγκιβωτισμός του κορμού στο σκυρόδεμα κρίθηκε αναγκαίος για αύξηση της δυσκαμψίας της δοκού, περιορισμού του αντιβέλους, πυροπροστασίας και προστασίας από τη διάβρωση. Ωστόσο, η έδραση των μεταλλικών δοκών στα περιμετρικά τοιχία έπρεπε να πραγματοποιηθεί μέσω εφεδράνων και όπως αποδείχθηκε το πλάτος έδρασης των 300mm των τοιχίων δεν ήταν ικανοποιητικό. Επίσης, η εξασφάλιση της διατμητικής σύνδεσης μέσω διέλευσης εγκάρσιων οπλισμών από τον κορμό της δοκού δεν καλύπτεται κανονιστικά και αποτελεί ερωτηματικό.

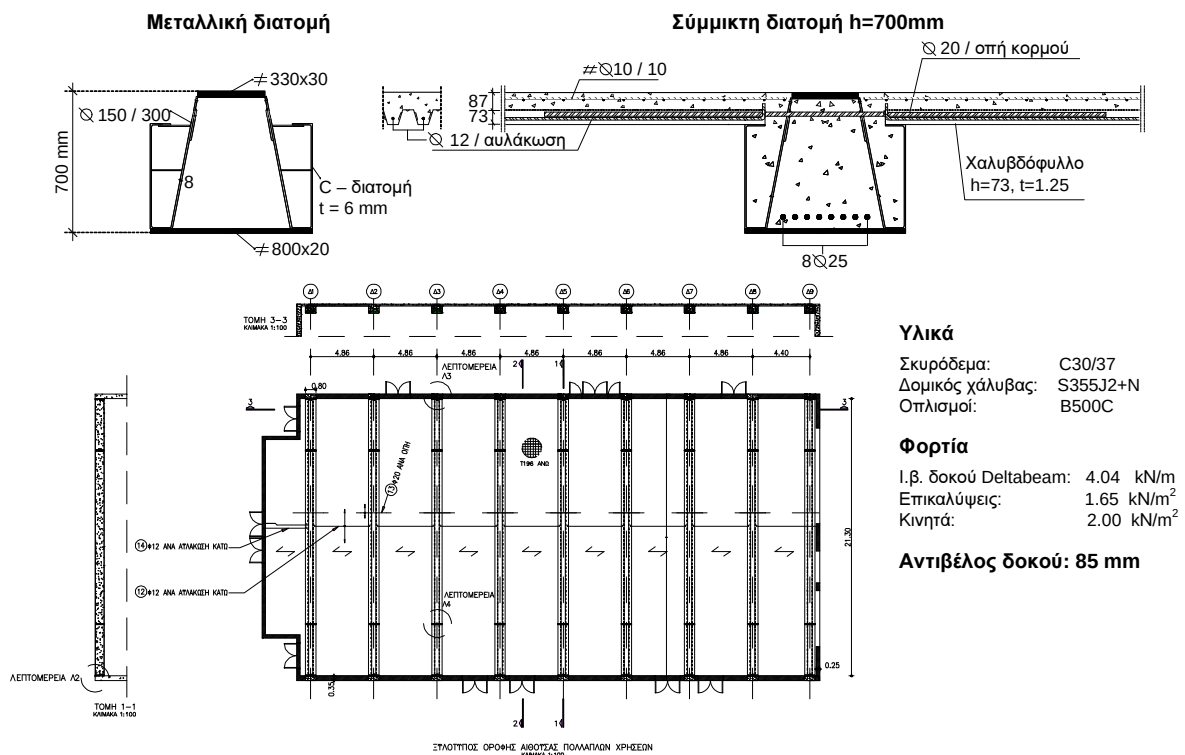
Ως πιο απλή και αξιόπιστη λύση, η οποία τελικά και υιοθετήθηκε, κρίθηκε η λύση 4. Πρόκειται για τραπεζοειδής συγκολλητές σιδηροδοκούς, γνωστές ως Deltabeams [4], με διάτρητους κορμούς προς εύκολο εγκιβωτισμό στο σκυρόδεμα. Οι διατομές αυτές είναι ιδιαίτερα υψηλής αντοχής και δυσκαμψίας, καταφθάνουν στο εργοτάξιο με το επιθυμητό αντιβέλος και ματίζονται κοχλιωτά. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η εύκολη σύνδεσή τους με στοιχεία σκυροδέματος μέσω μεταλλικού προβολίσκου. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα για την επιλογή τους είναι ότι ο υπολογισμός τους βασίζεται στις διατάξεις του EC4-1 [1], κατέχει γερμανική πιστοποίηση [3] και χρησιμοποιείται στην Ευρώπη τα τελευταία 30 χρόνια. Πληροφορίες για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας της δοκού βρίσκει κανείς στο [2].

3. Η ΛΥΣΗ

Απόσπασμα από τα κατασκευαστικά σχέδια παρουσιάζεται στο Σχήμα 2. Η σιδηρά δοκός έχει βάρος 404 kg / m με άνω πέλμα 330x30, κάτω πέλμα 800x20 και διάτρητους κορμούς πάχους 8mm με οπές Φ150 / 300. Για την έδραση των χαλυβδοφύλλων ύψους 73mm έχουν προβλεφθεί διατομές μορφής C πάχους 6mm. Οι σιδηρές δοκοί καταφθάνουν στο εργοτάξιο με 8Φ25 στο εσωτερικό τους για λόγους ενισχυμένης πυροπροστασίας. Στο σημείο αυτό θα μπορούσε να προστεθεί ότι οι οπλισμοί αυτοί δρουν εφεδρικά τόσο για τη δυσκαμψία όσο και την καμπτική φέρουσα ικανότητα της σύμμικτης δοκού.

Οι σιδηρές δοκοί τοποθετούνται ανά 4.86m και εδράζονται επί μεταλλικών προβολίσκων που εξέχουν των περιμετρικών τοιχίων πάχους 300mm. Προς εξασφάλιση πλήρους διατμητικής σύνδεσης (μηδενική σχετική ολίσθηση μεταξύ χάλυβα – σκυροδέματος) προβλέπονται στις οπές εγκάρσιοι οπλισμοί Φ20 (dowel action). Οι ισχυροί αυτοί οπλισμοί έχουν διπλό ρόλο αφού παράλληλα ισχυροποιούν την περιοχή σύνδεσης της κύριας δοκού με την πλάκα απομακρύνοντας το ενδεχόμενο διαμήκους αποκόλλησης των συνεργαζόμενων πτερυγίων.

Κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης οι δοκοί και τα χαλυβδόφυλλα υποστηρίζονται επαρκώς. Η δοκός έχει αντιβέλος 85mm με σκοπό την ισοφάριση των βελών από τα μόνιμα φορτία, την συστολή ξήρανσης, τον ερπυσμό και μέρους των κινητών. Είναι κατανοητό ότι η δοκός μέσω ισχυρού αντιβέλους δίνει τη δυνατότητα μόρφωσης ικανοποιητικών κλίσεων για την απορροή των ομβρίων υδάτων μειώνοντας έτσι σημαντικά τον όγκο των απαιτούμενων επικαλύψεων.

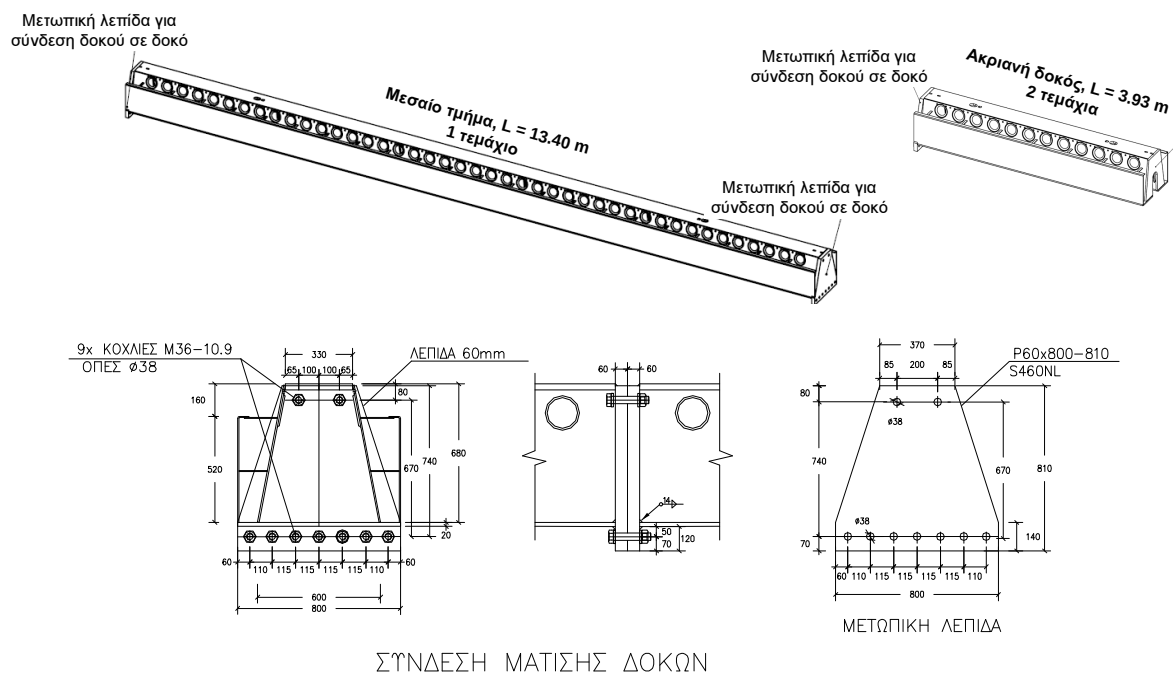


Σχ. 2: Απόσπασμα από την μελέτη εφαρμογής

Στην σύμμικτη πλάκα προβλέπονται κάτω οπλισμοί Φ12 / αυλάκωση. Οι οπλισμοί αυτοί τέθηκαν τόσο για τη βελτίωση της συμπεριφοράς της πλάκας σε περίπτωση πυρκαγιάς όσο και την ισχυροποίηση της διαφραγματικής της ικανότητας. Παρόλο που η πυροπροστασία εξασφαλίζεται μέσω διπλών πυράντοχων γυψοσανίδων και κανονιστικά λόγω υπογείου δεν απαιτούνται ιδιαίτερα αντισεισμικά μέτρα θεωρήθηκε σωστό να τεθούν αυτοί οι οπλισμοί στα πλαίσια μιας “πρόσθετης γραμμής άμυνας”. Οι άνω οπλισμοί Φ10/10 σε καρέ διάταξη τίθενται για να αποφευχθεί η ρηγμάτωση του σκυροδέματος κατά τις πρώτες 28 ημέρες που η οροφή υποστηρίζεται λόγω της συστολής ξηράνσεως του σκυροδέματος και της ταχύτατης μεταβολής του μέτρου ελαστικότητάς του. Γενικώς, ακόμη και όταν εμφανίζονται μικρορωγμές στο χρονικό αυτό διάστημα (γνωστές και ως τριχιάσματα) μετά την αφαίρεση των κριωμάτων κλείνουν λόγω της ισχυρής θλίψης στο σκυρόδεμα.

4. ΟΙ ΔΟΚΟΙ ΣΤΟ ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ – ΜΑΤΙΣΗ ΑΥΤΩΝ

Είναι κατανοητό ότι η μεταφορά μεταλλικών δοκών μήκους 21.3m απαιτεί ειδικά φορτηγά με συνοδεία αστυνομίας και φυσικά το κόστος είναι απαγορευτικό. Προς μείωση στο εργοτάξιο επιλέχθηκαν δοκοί συνολικού μήκους 13.4m με μετωπικές λεπίδες προς μείωση στα άκρα τους με δοκούς μήκους 3.93m, βλ. Σχήμα 3. Με τον τρόπο αυτό η αποκατάσταση συνέχεια πραγματοποιείται σε θέση χαμηλής καμπτικής καταπόνησης και το κόστος μεταφοράς διατηρείται σε αποδεκτά επίπεδα.



Σχ. 3: Μάτιση δοκών με μετωπικές λεπίδες και προεντεταμένους κοχλίες

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3 για την μάτιση των δοκών χρησιμοποιήθηκαν μετωπικές λεπίδες πάχους 60mm και ποιότητας S460NL σε συνδυασμό με 2 άνω κοινούς + 7 κάτω προεντεταμένους κοχλίες M36 / 10.9. Στη θέση της μάτισης η διάτμηση είναι τέτοια που μπορεί να αναληφθεί με ασφάλεια από τους 2 υπό θλίψη κοχλίες. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι ότι στη θέση της σύνδεσης και για τα φορτία αστοχίας η σύμμικτη διατομή παραμένει στην ελαστική περιοχή με συνέπεια οι δυνάμεις εφελκυσμού στους κάτω κοχλίες να υπολογίζονται ελαστικά.

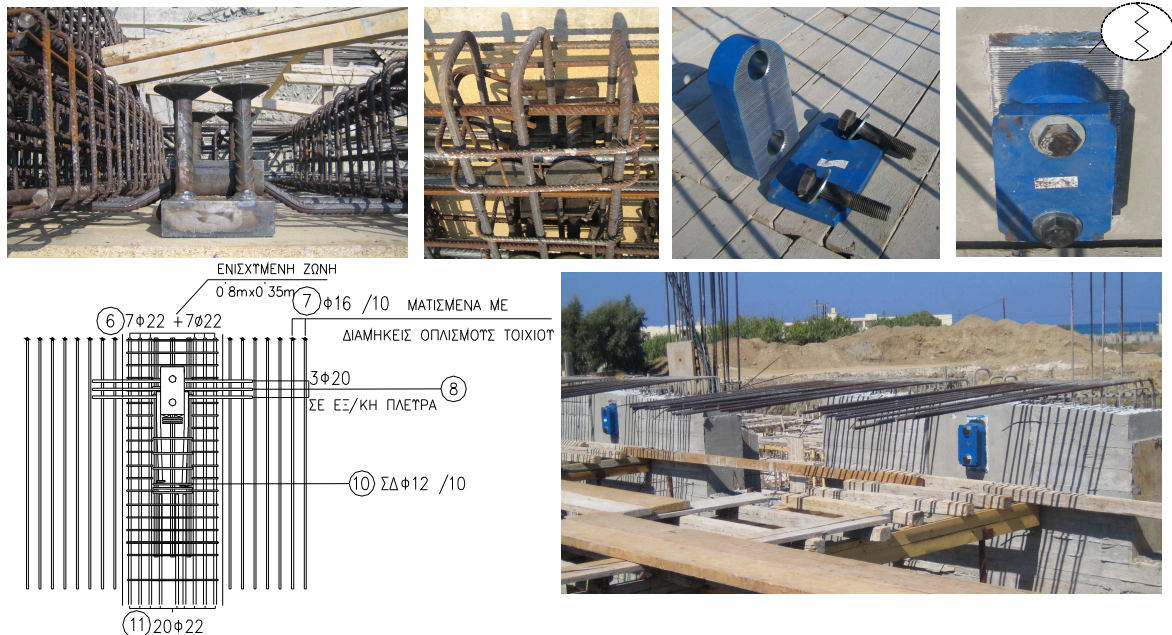
Οι μετωπικές λεπίδες είναι συγκολλημένες με τα πέλματα της δοκού μέσω εξωραφών πάχους 14mm. Θα μπορούσε να πραγματοποιηθούν και εσωραφές αλλά κάτι τέτοιο αποφεύχθηκε λόγω αποφυγής πλακοειδούς απόσχισης των λεπίδων εξαιτίας εγκάρσιου εφελκυσμού από τις ισχυρές παραμένουσες τάσεις. Η προένταση των κοχλιών πραγματοποιήθηκε με εφαρμογή της συνδυασμένης μεθόδου και βάσει των προδιαγραφών του DIN 18800 -7 [5]. Η απαιτούμενη ροπή σύσφιξης ήταν 3800 Nm για επιφάνειες ελαφρώς λαδωμένες και πραγματοποιήθηκε μετά από γρασσάρισμα των κοχλιών σε 3 φάσεις (κοινή κοχλίωση – πρόσθετη προένταση με δυναμόκλειδο – στροφή περικοχλίου).



Σχ. 4: Δοκοί πριν την μάτιση – κοχλίωση – σύνδεση ροπής

5. ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕΣΩ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΡΟΒΟΛΙΣΚΟΥ

Η σύνδεση των δοκών έπρεπε να γίνει με τρόπο αρθρωτό έτσι ώστε να αποφευχθεί η μεταφορά ροπών από την ισχυρή σύμμεκτη δοκό στον ασθενή άξονα των τοιχίων. Η προμηθεύτρια εταιρεία των δοκών συνοδώνει τα Deltabeams με μεταλλικούς προβολίσκους με δυνατότητα ανάληψης αντιδράσεων στήριξης ως και 1500kN, βλ. Σχήμα 5. Οι προβολίσκοι είναι από χάλυβα ποιότητας S355 J2+N και αποτελούνται από δύο μέρη. Το πρώτο μέρος είναι μια μεταλλική λέπίδα με συγκολλημένα αγκύρια κεφαλής. Το στοιχείο αυτό σκυροδετείται εντός του τοιχίου και μετά την απομάκρυνση του ξυλοτύπου εμφανίζεται μια οδοντωτή επιφάνεια στην οποία κοχλιώνεται το δεύτερο μέρος.

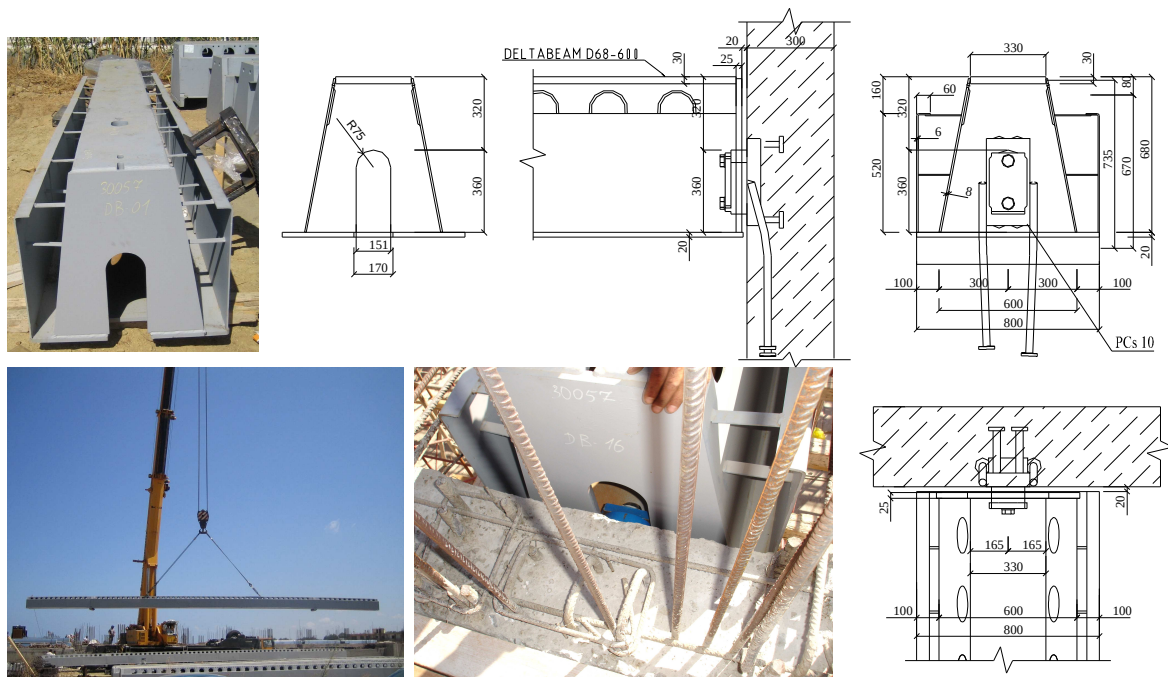


Σχ. 5: Ο μεταλλικός προβολίσκος PCs Corbel 10

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι η αντίδραση στήριξης μεταφέρεται μέσω της οδοντωτής επιφάνειας υπό μορφή τοπικής θλίψης στο υποκείμενο σκυρόδεμα. Έτσι, οι κοχλίες δεν καταπονούνται διατμητικά. Οι εγκάρσιοι οπλισμοί (10) τίθενται ώστε η θλίψη να μπορεί να αναληφθεί από ισχυρά περισφιγμένο σκυρόδεμα. Οι διαμήκεις οπλισμοί (6) τοποθετούνται προς αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος και προστασίας αυτού έναντι διατρητικής αστοχίας στην περιοχή των αγκυρίων (εξόλκευση). Τέλος, οι οπλισμοί (7) εξασφαλίζουν μονολιθική σύνδεση της πλάκας με τα τοιχεία, ώστε οποιασδήποτε μορφής αξονική ένταση να αναληφθεί από τους εν λόγω οπλισμούς και να αποφευχθεί η πρόσθετη καταπόνηση του προβολίσκου.

Βασικό πλεονέκτημα των προβολίσκων είναι η δυνατότητα υψομετρικής και οριζοντιογραφικής προσαρμογής τους μετά τον εγκιβωτισμό τους στο σκυρόδεμα. Έτσι, υπάρχει η δυνατότητα απορρόφησης τοπογραφικών σφαλμάτων σε σχέση με τη θέση τους. Επίσης, η χαμηλή τους δυσκαμψία στη διαμήκη διεύθυνση επιτρέπει μικρομετακινήσεις των δοκών σε περίπτωση θερμικών συστολοδιαστολών ή άλλων παρασιτικών φορτίσεων (ερπυστικά φαινόμενα κλπ).

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται η μόρφωση της άκρης των δοκών. Πρόκειται για διάφραγμα πάχους 25mm με “φωλιά” που ακολουθεί τη γεωμετρία του μεταλλικού προβολίσκου. Με τον τρόπο αυτό η δοκός εδράζεται απρόσκοπτα και λόγω της μη επαφής των πελμάτων της με τα τοιχεία εξασφαλίζονται συνθήκες άρθρωσης. Παρατηρεί επίσης κανείς την ορθογωνιότητα της δοκού με το συνδεδεμένο τοιχίο μιας και ο προβολίσκος χάνεται στο εσωτερικό της. Αυτό αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα ανεμπόδιστης διαβίβασης ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων περιμετρικά της οροφής.



Σχ. 6: Διαμόρφωση άκρου δοκού – έδραση σε περιμετρικά τοιχεία

6. Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Οι δοκοί τοποθετήθηκαν σε λιγότερο από δύο ημέρες χωρίς εξιδικευμένο εξοπλισμό και με περιορισμένο προσωπικό, βλ. Σχήμα 7. Στην συνέχεια ακολούθησε η διαδικασία τοποθέτησης των χαλυβδοφύλλων και η σκυροδέτηση. Με την αφαίρεση των ικριωμάτων μετά από 28 ημέρες δεν παρουσιάστηκαν ανεπιθύμητες παραμορφώσεις ή ρηγματώσεις.



Σχ. 7: Έδραση δοκών χαλυβδοφύλλων – σκυροδέτηση – αφαίρεση ικριωμάτων

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι δοκοί Deltabeams παρουσιάζουν ιδιαίτερο τεχνικοοικονομικό ενδιαφέρον μιας και συνδυάζονται με χαλυβδόφυλλα, πρόπλακες και καλουπωτές πλάκες τόσο σε συμβατικά κτίρια σκυροδέματος όσο και σε μεταλλικά. Η γεφύρωση μεσαίων και μεγάλων ανοιγμάτων χωρίς υποστήριξη είναι επίσης εφικτή λόγω της απουσίας φαινομένων στρεπτοκαμπτικού λυγισμού. Το έργο στην Κρήτη αποτελεί μια τυπική απόδειξη ότι εγκιβωτισμένες σιδηροδοκοί δύνανται μέσω σωστού σχεδιασμού να είναι ανταγωνιστικότερες των κλασσικών λύσεων (προένταση, δικτυώματα κ.α.) συνδυάζοντας ταχύτητα, ασφάλεια και χαμηλό κόστος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Eurocode 4 (2004), “Design of Composite Steel – Concrete Structures”, *General Rules and Rules for Buildings*
- [2] ΗΛΙΟΠΟΥΛΟΣ Α., PELTONEN S. “Εγκιβωτισμένες σιδηροδοκοί τραπεζοειδούς μορφής σε σκυρόδεμα”, 16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Κύπρος (2009)
- [3] Deutsches Institut für Bautechnik “Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung”, Z-26.2-49, Berlin (2007)
- [4] Εγχειρίδιο σύμμικτης δοκού Deltabeam. www.peikko.gr
- [5] DIN 18800-7, “Execution and constructor’s qualification (2002)

COVERING OF A 21.3 m COLUMN FREE SPAN WITH ENCASED IN CONCRETE STEEL BEAMS (DELTABEAMS)

Aristidis Iliopoulos

Dr. Civil Engineer

Athens, Greece

e-mail: iliop78@otenet.gr

Magdalini Christia

Civil Engineer, MSc.

Peikko Greece S.A.

Athens, Greece

e-mail: magdalini.christia@peikko.com

SUMMARY

In this article the covering of a 900 m² column-free space of a conference hall for a large hotel project in Crete is presented. The main task for the structural engineers was to find a beam which could cover a 21.3 m span with a total height of maximum 700mm. The use of a closed steel cross-section encased in concrete was seen as the most competitive solution and finally it was adopted. These beams are known as Deltabeams. They have a trapezoidal shape with openings at the webs and after concreting they form a very stiff composite cross-section. The beams arrived on site in pieces and they were connected with each other with pre-stressed bolts. After the connection the beams were lifted and placed on steel props which were used as supports during concreting. The precambering of the beams was 85mm. After 28 days the props were released and the task was completed with success.