

# ΣΥΜΜΙΚΤΟ ΒΙΟΤΕΧΝΙΚΟ ΚΤΗΡΙΟ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ & ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΛΑΙΟΛΑΔΟΥ

**Βασίλης Σαραντόπουλος**

PDS Πολιτικός Μηχανικός

Τρίπολη

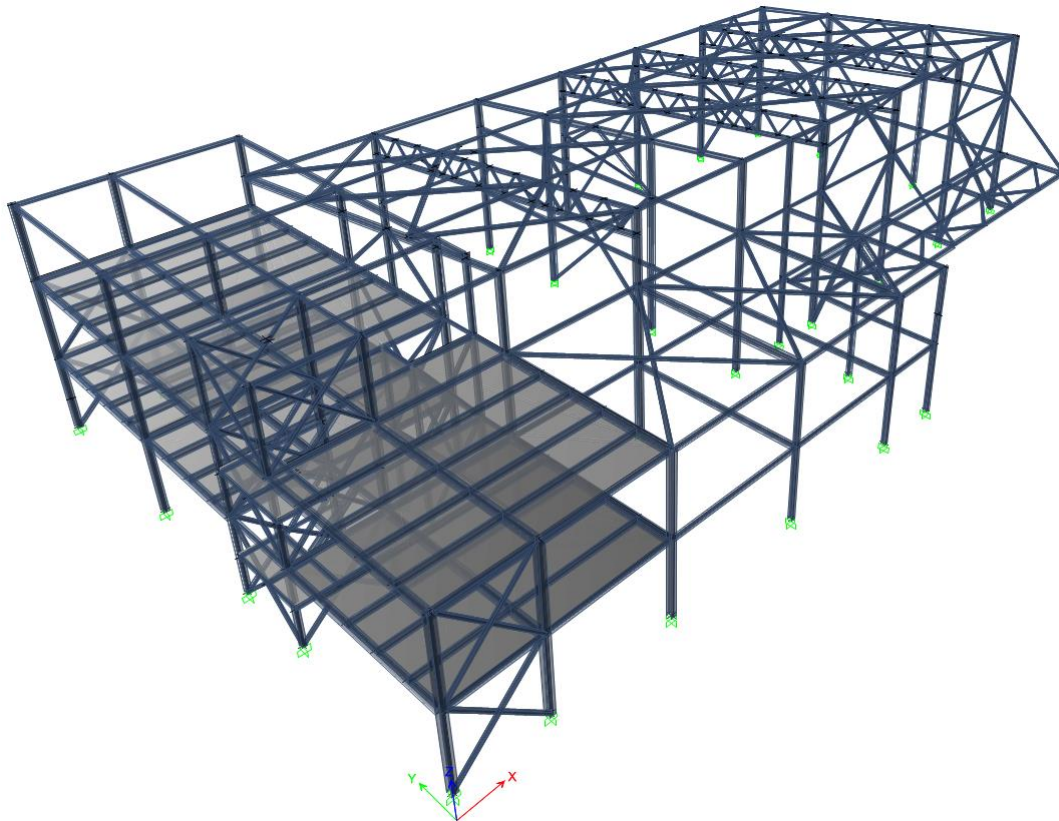
e-mail: [vsarantopoulos@arcteco.gr](mailto:vsarantopoulos@arcteco.gr)

## 1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παρουσιάζεται η μελέτη σύμμικτου κτιρίου αποθήκευσης και τυποποίησης ελαιολάδου στη ΒΙ.ΠΕ. Τρίπολης, συνολικής δομημένης επιφάνειας 1700 τ.μ.. Τον φέροντα οργανισμό του κτιρίου απαρτίζουν υποστυλώματα και σύνδεσμοι δυσκαμψίας από δομικό χάλυβα καθώς και σύμμικτοι φορείς για τις πλάκες της ανωδομής με το φέροντα οργανισμό της θεμελίωσης και του υπόγειου ορόφου να είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η οροφή είναι σε ένα τμήμα του κτιρίου μεταλλική ενώ στο εναπομένον τμήμα σύμμικτη. Καθοριστικά στοιχεία για τη μόρφωση του φορέα αποτέλεσαν οι αρχιτεκτονικές και λειτουργικές απαιτήσεις σε συνδυασμό με τις γεωτεχνικές και εδαφομηχανικές συνθήκες στην περιοχή κατασκευής του έργου. Σύμφωνα με την αρχιτεκτονική πρόταση το υπό μελέτη κτίριο είχε διαφορετικές λειτουργικές απαιτήσεις και περιορισμούς ανά τμήμα ώστε απαιτήθηκε η σημαντική τμηματική διαφοροποίηση στα ελεύθερα ανοίγματα και ύψη του κτιρίου, με τρόπο που κατέστησε τη στατική κανονικότητα του κτιρίου συνολικά αδύνατη. Τα μεγάλα ανοίγματα μεταξύ υποστυλωμάτων (16,55μ στο τμήμα της αποθήκευσης και 7,50μ στο τμήμα διοίκησης), οι περιορισμένες δυνατότητες χρησιμοποίησης περιμετρικών και κεντρικών φατνωμάτων για την τοποθέτηση κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας καθώς και η σημαντική διασπορά της θέσης και της φύσης των κρίσιμων για το σχεδιασμό φορτίσεων οδήγησαν στον τελικό σχεδιασμό του κτιρίου με τρόπο που αναδεικνύει τις δυνατότητες και τα πλεονεκτήματα των μεταλλικών και σύμμικτων κατασκευών σε τέτοιου τύπου μη τυπικά κτίρια βιοτεχνικής χρήσης.

## 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το έργο αφορά μεταξύ άλλων στη μελέτη του φέροντος οργανισμού διώροφου βιοτεχνικού κτιρίου με υπόγειο για την αποθήκευση και τυποποίηση ελαιολάδου δυναμικότητας αποθήκευσης περίπου 1100 τόνων. Το κτίριο χωροθετείται εντός της Βιομηχανικής Περιοχής Τρίπολης και προβλέπεται να έχει εξωτερικές διαστάσεις 43,00 μ μήκος και 24,00 μ πλάτος με το καθαρό ύψος να φτάνει τα 10,75 μ. Η εξυπηρέτηση των λειτουργικών απαιτήσεων του κτιρίου απαιτήσε τη διαμόρφωση έξι συνολικά επιπέδων.



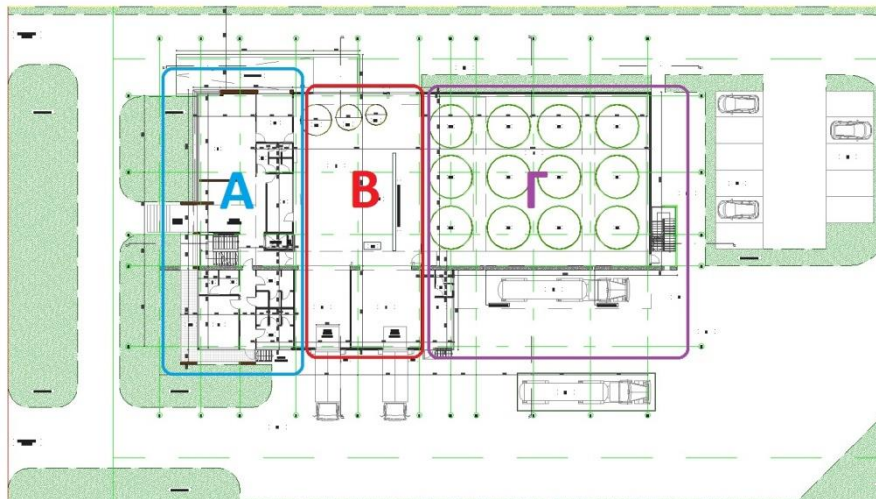
*Εικ. 1: Τρισδιάστατο προσομοίωμα ανωδομής έργου*

## **2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΤΙΡΙΟΥ**

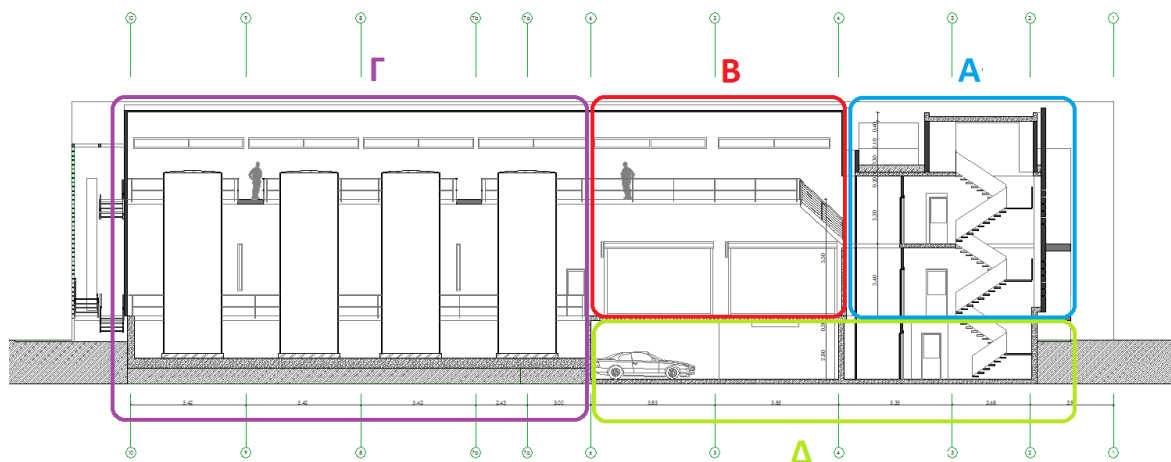
Σύμφωνα με την αρχιτεκτονική λύση, αποφασίστηκε από την αρχή ο σαφής λειτουργικός διαχωρισμός των επιμέρους χρήσεων του κτιρίου. Έτσι οι χώροι διοίκησης και υποστήριξης συγκεντρώθηκαν στην πρόσοψη του κτιρίου (Τμήμα Α) με τους χώρους τυποποίησης, αποθήκευσης υλικών συσκευασίας και έτοιμου προϊόντος να φιλοξενούνται στο κέντρο της κάτοψης (Τμήμα Β) ενώ οι απαιτούμενοι χώροι για την αποθήκευση της πρώτης ύλης χωροθετήθηκαν στην πίσω όψη του κτιρίου (Τμήμα Γ). Ο υπόγειος όροφος σχεδιάστηκε για να εξυπηρετήσει βοηθητικές χρήσεις του κτιρίου (Τμήμα Δ).

Συνεπεία της λειτουργικής τμηματοποίησης του κτιρίου οι απαιτήσεις και τα χαρακτηριστικά του φέροντος οργανισμού τροποποιήθηκαν αντίστοιχα. Έτσι στο Τμήμα Α, όπου φιλοξενούνται συμβατικές χρήσεις (γραφεία, χώροι εξυπηρέτησης του προσωπικού κ.α.), επιλέχθηκε η λύση σύμμικτου φορέα. Ο φορέας αποτελείται από χωρικά πλαίσια ενισχυμένα με κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας για την εξασφάλιση της πλευρικής ευστάθειας. Οι πλάκες της ανωδομής και οι δευτερεύουσες δοκοί στήριξής τους είναι σύμμικτες ενώ ο κάρναβος των υποστυλωμάτων μεταβάλλεται λαμβάνοντας ως μέγιστη διάσταση 7,50μ x 5,20μ με ύψος ορόφου 3,40 μέτρα. Το Τμήμα Β του κτιρίου με ελεύθερο ύψος το οποίο φθάνει τα 9,00μ έχει απόσταση μεταξύ πλαισίων που ξεπερνά τα 6,20μ και μέγιστο άνοιγμα μεταξύ των υποστυλωμάτων 16,55μ. Για την κάλυψη του ανοίγματος επιλέχθηκε η λύση του επίπεδου δικτύωματος με παράλληλα πέλματα. Το Τμήμα Γ έχει μέγιστο καθαρό ύψος 10,00μ περίπου, άνοιγμα μεταξύ των υποστυλωμάτων 16,55μ και απόσταση μεταξύ των πλαισίων περί τα 5,50μ. Η στάθμη έδρασης των δεξαμενών αποθήκευσης βρίσκεται σχεδόν στο μέσο του όμορου υπόγειου

ορόφου (Τμήμα Δ) κάτι το οποίο αποτέλεσε σημαντική παράμετρο της μόρφωσης του φέροντος οργανισμού, σε συνδυασμό πάντα με τις ιδιαίτερες γεωτεχνικές και εδαφομηχανικές ιδιότητες της περιοχής κατασκευής του έργου. Πρόσθετη απαίτηση αποτέλεσε η αναγκαιότητα εγκιβωτισμού του Τμήματος Γ προς δημιουργία χώρου ο οποίος θα λειτουργήσει ως ανοιχτή δεξαμενή συλλογής του ελαιολάδου σε περίπτωση αστοχίας των δεξαμενών αποθήκευσης. Επίσης τα τμήματα Β και Γ έχουν κοινή μορφή στέγασης (μεταλλική στέγη με αντιανέμιους συνδέσμους) ενώ το Τμήμα Α στεγάζεται από τη σύμμικτη πλάκα οροφής πρώτου ορόφου.



Εικ. 2: Κάτοψη λειτουργικών τμημάτων του έργου



Εικ. 3: Χαρακτηριστική τομή λειτουργικών τμημάτων του έργου

### 3. ΜΟΡΦΩΣΗ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΑΝΩΔΟΜΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

Με δεδομένη τη μεγάλη διαφοροποίηση στις διαστάσεις, τα επιβαλλόμενα φορτία και τη δυσκαμψία των επιμέρους τμημάτων του κτιρίου, η λύση της δημιουργίας επιμέρους ανεξάρτητων στατικά τμημάτων για την ανωδομή ίσως φαντάζει προφανής. Παρόλα αυτά στη συγκεκριμένη περίπτωση μια τέτοια λύση θα απαιτούσε το χωρισμό του κτιρίου σε δύο ή ακόμη και τρία στατικώς ανεξάρτητα τμήματα με αποτέλεσμα την λειτουργική και κοστολογική επιβάρυνση του έργου.

Αντ' αυτού επιλέχθηκε η λύση της δημιουργίας ενός ενιαίου στατικά φορέα ανωδομής ο οποίος σχεδιάστηκε ώστε να έχει ελαστική συμπεριφορά στο σεισμό. Το Τμήμα Α, το οποίο συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ποσοστό ταλαντούμενης μάζας λόγω των αυξημένων φορτίων χρήσης και της ύπαρξης των πλακών της ανωδομής, επιλέχθηκε να παραμείνει συνδεδεμένο με τα υπόλοιπα τμήματα, και τοποθετήθηκε σε αυτό κατάλληλος αριθμός κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας προς εξασφάλιση της πλευρικής του ευστάθειας. Τα τμήματα Β και Γ ως ελαφρύτερα και πιο εύκαμπτα, λόγω του μικρού ποσοστού ταλαντούμενης μάζας που τους αντιστοιχεί καθώς και των περιορισμένων δυνατοτήτων στην αύξηση της πλευρικής τους δυσκαμψίας, επιλέχθηκε να συνδεθούν – εξαρτηθούν από το Τμήμα Α μέσω της διαφραγματικής λειτουργίας της κοινής τους στέγης.

Με την τοποθέτηση κατάλληλου αριθμού κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας στην περίμετρο του τμήματος Γ, αναβαθμίστηκε η δυσκαμψία και η δυστρεψία των τμημάτων Β και Γ ώστε σε συνδυασμό με τη διαφραγματική λειτουργία της κεκλιμένης στέγης των τμημάτων Β και Γ το κτίριο συνολικά παρουσιάζει βελτιωμένη συμπεριφορά. Η συνολική ταλαντούμενη μάζα ανά διεύθυνση αγγίζει σχεδόν το 90% από τις πρώτες ιδιομορφές ενώ αυτές χαρακτηρίζονται ως συσχετισμένες μεν αλλά χωρίς έντονα στρεπτικά χαρακτηριστικά. Ειδικά στην περίπτωση που συμπεριλαμβάνονται με κατάλληλο τρόπο στο προσομοίωμα οι μηκίδες και οι τεγίδες του κτιρίου, οι οποίες τοποθετούνται στα τμήματα Β και Γ, οδηγούμαστε σε περαιτέρω βελτίωση της «ιδιομορφικής εικόνας» του κτιρίου συνολικά, με μειωμένο βαθμό συσχέτισης των ιδιομορφών.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios														
Case	Mod Period	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ	
	sec													
Modal	1	0.319	0.0005	0.7860	0	0.0005	0.786	0	0.0480	0.0002	0.1061	0.0480	0.0002	0.1061
Modal	2	0.274	0.0178	0.0000	0	0.0183	0.786	0	0.0000	0.0008	0.0003	0.0480	0.0010	0.1064
Modal	3	0.235	0.1118	0.0000	0	0.1301	0.7861	0	0.0000	0.0383	0.0016	0.0480	0.0393	0.1080
Modal	4	0.221	0.3675	0.0075	0	0.4976	0.7936	0	0.0083	0.0928	0.0780	0.0564	0.1322	0.1860
Modal	5	0.205	0.0007	0.0001	0	0.4983	0.7937	0	0.0006	0.0002	0.0026	0.0570	0.1323	0.1885
Modal	6	0.203	0.0078	0.0230	0	0.5061	0.8167	0	0.0183	0.0024	0.1274	0.0752	0.1347	0.3159
Modal	7	0.194	0.0128	0.0679	0	0.519	0.8846	0	0.0980	0.0091	0.5094	0.1732	0.1438	0.8254
Modal	8	0.193	0.0973	0.0049	0	0.6163	0.8895	0	0.0019	0.0014	0.0166	0.1751	0.1452	0.8420
Modal	9	0.191	0.1928	0.0026	0	0.809	0.8922	0	0.0000	0.0001	0.0006	0.1751	0.1453	0.8426
Modal	10	0.172	0.0006	0.0001	0	0.8096	0.8922	0	0.0000	0.0001	0.0010	0.1751	0.1454	0.8436
Modal	11	0.16	0.0351	0.0004	0	0.8447	0.8926	0	0.0004	0.0373	0.0000	0.1755	0.1827	0.8436
Modal	12	0.155	0.0076	0.0000	0	0.8523	0.8927	0	0.0049	0.0001	0.0044	0.1804	0.1828	0.8480
Modal	13	0.152	0.0187	0.0005	0	0.871	0.8931	0	0.0655	0.0006	0.0021	0.2459	0.1835	0.8501
Modal	14	0.144	0.0026	0.0001	0	0.8736	0.8932	0	0.0037	0.0053	0.0042	0.2496	0.1887	0.8544
Modal	15	0.142	0.0033	0.0014	0	0.8769	0.8945	0	0.0225	0.0379	0.0016	0.2721	0.2266	0.8559
Modal	16	0.132	0.0035	0.0051	0	0.8804	0.8996	0	0.0216	0.0049	0.0153	0.2937	0.2315	0.8712
Modal	17	0.127	0.0002	0.0084	0	0.8806	0.908	0	0.0767	0.0002	0.0007	0.3703	0.2318	0.8720
Modal	18	0.126	0.001	0.0647	0	0.8816	0.9727	0	0.4433	0.0035	0.0117	0.8136	0.2353	0.8836

Εικ. 4: Συντελεστές συμμετοχής ταλαντούμενης ιδιομορφικής μάζας

#### 4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

Σύμφωνα με τα στοιχεία προκαταρκτικής εδαφομηχανικής μελέτης («[1]»), το έδαφος στην περιοχή ανάπτυξης της άμεσης ζώνης θεμελίωσης του έργου, από άποψη εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας κατατάσσεται στην Κατηγορία Γ, όπου περιγράφονται σύμφωνα με τον ΕΑΚ2003 ως “Ποαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής πάχους μεγαλύτερου των 5μ”. Ειδικότερα το έδαφος στην περιοχή θεμελίωσης είναι αργιλικό, μαλακό έως μέτρια συνεκτικό, υψηλής πλαστικότητας το οποίο χαρακτηρίζεται από χαμηλές γεωτεχνικές και εδαφομηχανικές ιδιότητες και παραμέτρους, που γενικά δεν δημιουργούν ικανοποιητικές συνθήκες θεμελίωσης και ενδέχεται να δημιουργήσουν προβλήματα αστάθειας σε πιθανή επερχόμενη σεισμική δραστηριότητα καθώς και προβλήματα



αυξημένων διαφορικών καθιζήσεων στερεοποίησης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η μέγιστη επιτρεπόμενη καθαρή τάση θεμελίωσης  $\sigma_{επ}$  δεν ξεπερνά τα 40kPa ενώ ο δείκτης εδάφους  $K_s$  λαμβάνει τιμή 4,8MN/m<sup>3</sup>.

Με δεδομένα τα παραπάνω καθώς και τη μορφή του φορέα και την κατανομή των φορτίων στη θεμελίωση, επιλέχθηκε η ανισόσταθμη θεμελίωση του κτιρίου επί εξυγιαντικής στρώσης κατάλληλου πάχους, και η απομόνωση μέσω αρμού τμήματος της κάτοψης και θεμελίωσής του επί πλάκας γενικής κοιτόστρωσης (radier). Με τον τρόπο αυτό αναβαθμίστηκε επαρκώς η φέρουσα ικανότητα του εδάφους θεμελίωσης με τη μέγιστη επιτρεπόμενη καθαρή τάση θεμελίωσης  $\sigma_{επ}$  να ανέρχεται στα 120kPa και ο δείκτης εδάφους  $K_s$  λαμβάνει πλέον την τιμή 12,5MN/m<sup>3</sup>. Για τη θεμελίωση του Τμήματος Δ προβλέφθηκε η κατασκευή εσχάρας πεδιλοδοκών ενώ το για το Τμήμα Γ επιλέχθηκε η θεμελίωση του μεταλλικού φέροντος οργανισμού επί περιμετρικής πεδιλοδοκού και η στατική ανεξαρτητοποίηση της πλάκας έδρασης των μεταλλικών δεξαμενών με την κατασκευή αρμού και σχεδιασμό της ως γενικής κοιτόστρωσης (radier). Με τον τρόπο αυτό κατέστη δυνατή η ομοιομόρφηση των τάσεων του εδάφους ανά στάθμη σε όλη την περιοχή θεμελίωσης του έργου και ο περιορισμός τους στις διαθέσιμες τιμές επιτρεπόμενης τάσης του εδάφους θεμελίωσης με συνακόλουθη την αποφυγή των διαφορικών καθιζήσεων στερεοποίησης.

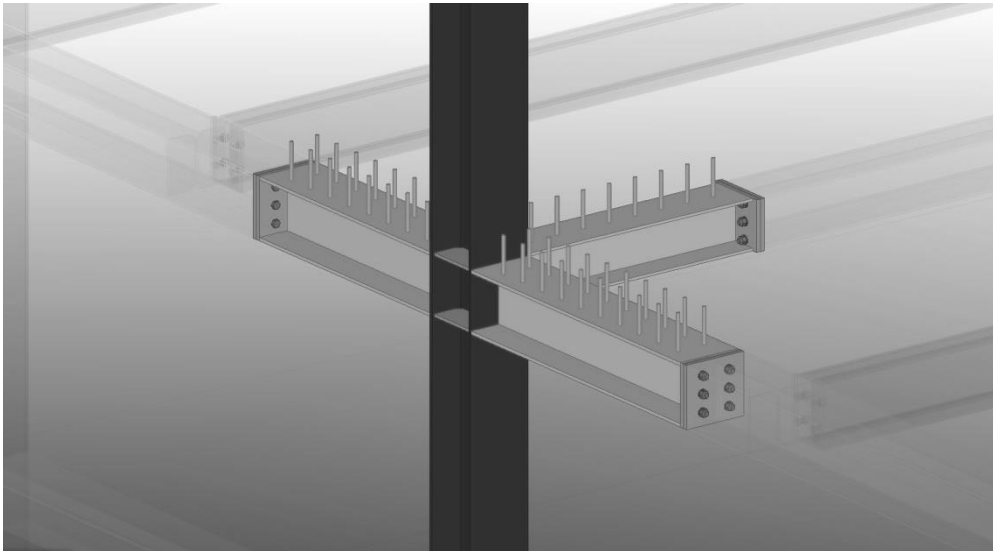


*Εικ. 5: Λεπτομέρεια του ανώτερου στρώματος της μαλακής έως μέτριας συνεκτικότητας αργίλου. Το έδαφος αυτό εμφανίζεται στα ανώτερα στρώματα της ζώνης θεμελίωσης του έργου(«[I]»).*

## 5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΟΡΕΑ

Για τις ανάγκες της ανάλυσης και διαστασιολόγησης δημιουργήθηκε προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων. Για το σχεδιασμό των συμμίκτων δοκών χρησιμοποιήθηκαν εκτός από το γενικό προσομοίωμα του συνολικού φορέα και επί μέρους προσομοιώματα μέσω λογισμικού διαστασιολόγησης συμμίκτων φορέων, καθώς και αναλυτικές μέθοδοι. Η συνήθης θεώρηση είναι να υπολογίζονται ως αμφιέριστες οι σύμμικτες δοκοί και να οπλίζεται παράλληλα η πλάκα για τις αναπόφευκτες αρνητικές ροπές στους κόμβους. Επιπροσθέτως, παρά το γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος των σεισμικών δυνάμεων παραλαμβάνεται κυρίως από τους αντιανέμιους συνδέσμους και δευτερευόντως από τα πλαίσια των προσόψεων, δεν μπορεί να είναι αμελητέες και οι σεισμικές ροπές στους κόμβους δοκών – υποστυλωμάτων. Για το λόγο αυτό επελέγη η μεταφορά του κόμβου δοκού – υποστυλώματος εκτός του υποστυλώματος. Με τον τρόπο αυτό, η περιοχή υψηλών εντατικών μεγεθών του κόμβου του υποστυλώματος θα μορφωθεί στο εργοστάσιο με την απαραίτητη διασφάλιση ποιότητας (Christmas tree) και η εργοταξιακή σύνδεση της

δοκού θα γίνει σε περιοχή μικρότερης έντασης. Η μεθοδολογία αυτή έχει αποδειχθεί ότι συμπεριφέρεται επιτυχώς στην πράξη (βλέπε σχετικά και «[2]») και συστήνεται για τη διασφάλιση πλαστικής συμπεριφοράς («[3]»). Παράλληλα, η κοχλίωση μεταφέρεται σε περιοχή όπου έχει μειωθεί σημαντικά η αρνητική ροπή αλλά συγχρόνως το μεταλλικό τμήμα του φορέα βρίσκεται στην κάτω πλευρά του ουδέτερου άξονα, ώστε να μην εφελκύνονται οι κοχλίες «[4]» .



*Εικ. 6: Λεπτομέρεια κόμβου δοκού – υποστυλώματος*

## **6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η επιλογή να υλοποιηθεί το εν λόγω έργο ως συνδυασμός σύμμικτου και αμιγώς μεταλλικού ανά τμήματα επέτρεψε τη συμμόρφωση προς τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις με την μεταφορά περιορισμένων νεκρών φορτίων ανωδομής κάτι το οποίο αποτέλεσε κρίσιμη παράμετρο εξ' αιτίας των υποβαθμισμένων εδαφομηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους στην περιοχή θεμελίωσης του έργου. Παράλληλα, το χαμηλό βάρος της ανωδομής σε συνδυασμό με τις δυνατότητες αξιοποίησης των διαθέσιμων δυσκαμψιών του δομήματος κατέστησαν δυνατή την αποφυγή δημιουργίας αρμών με αποτέλεσμα την αποφυγή λειτουργικών προβλημάτων και κοστολογικών επιβαρύνσεων.

## **7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] Προκαταρκτική εδαφομηχανική μελέτη θεμελίωσης σύμμικτου κτιρίου στη ΒΙ.ΠΕ. Τρίπολης, Γεωδόμηση Ε.Π.Ε., Δρ. Κώστας Σαχπάζης, 2014.
- [2] Βάγιας Ι. “Σύμμικτες Κατασκευές”, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 1997, σελ. 322.
- [3] Bruneau M., Uang C.M. και Whittaker A. “Ductile Design of Steel Structures”, *McGraw-Hill*, 1998, σελ. 364-376.
- [4] Αγγελίδης Μ., Σκόκου Α., Σαραντόπουλος Β., “Πολυώροφο Κτίριο Στάθμευσης Αυτοκινήτων”, 7<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο Μεταλλικών Κατασκευών, 2011, σελ. 6.

# **COMPOSITE CRAFT BUILDING FOR OLIVE OIL STORAGE AND PACKAGING**

**Vassilis Sarantopoulos**

PDS Structural Engineer

Tripolis, Greece

e-mail: [vsarantopoulos@arcteco.gr](mailto:vsarantopoulos@arcteco.gr)

## **SUMMARY**

The design of a two storey composite craft building at the Tripolis' Industrial Area is presented, with total built surface of 1700 square meters and capacity of 1100 ton olive oil storage. The building is composed of a steel structure for columns and bracings and of a steel – concrete composite structure for the secondary beams and slabs. The roof is a steel structure. The architectural requirements of the project for remarkable differentiation of spans between columns (from 5,20m to 16,55 m) and headroom (from 3,00m to 10m) as well as the low geotechnical and soil mechanics' properties of the terrain led to a composite steel structure without joints despite the remarkable variation of stiffness, mass and loading among each of the building segments. Thus the abilities and advantages of composite steel structures are emerging in cases of buildings with peculiar architectural requirements placed in terrains with poor geotechnical characteristics.