

ΑΝΑΔΙΑΡΡΥΘΜΙΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΝΗΠΙΑΓΩΓΕΙΟΥ ΤΗΣ ΓΕΡΜΑΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΑΘΗΝΩΝ

Ιωάννης Βάγιας¹, Γεωργία Δούγκα², Δανάη Δημακογιάννη²

¹Καθηγητής, ²Υποψήφια Διδάκτωρ

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Αθήνα, Ελλάδα

e-mails: vastahl@central.ntua.gr, giouli@dougka.gr, d_dimakogianni@hotmail.com

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αφορά την ανακατασκευή του υφιστάμενου κτιρίου του Νηπιαγωγείου της Γερμανικής Σχολής Αθηνών και την επέκτασή του σε νέο σύμμικτο κτίριο. Το υφιστάμενο κτίριο είναι κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στα πλαίσια του νέου αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, που περιλάμβανε αναδιαρρύθμιση εσωτερικών χώρων και αλλαγή όψεων του υφιστάμενου κτιρίου, πραγματοποιήθηκαν σημαντικές επεμβάσεις στο φέροντα οργανισμό. Δομικά στοιχεία όπως δοκοί, υποστυλώματα και τοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα έπρεπε να καθαιρεθούν ή να ενισχυθούν. Για την ενίσχυση χρησιμοποιήθηκαν ελάσματα και υφάσματα ινοπλισμένων πολυμερών άνθρακα FRP ενώ απαιτήθηκε και η προσθήκη μεταλλικών υποστυλωμάτων και δοκών. Η φέρουσα κατασκευή της επέκτασης αποτελείται από χαλύβδινες δοκούς και υποστυλώματα και σύμμικτες πλάκες. Για την εξασφάλιση του κτιρίου έναντι σεισμού εφαρμόστηκε το καινοτόμο σύστημα FUSEIS που αποτελείται από ζεύγη στύλων σε μικρή απόσταση μεταξύ τους συνδεόμενα άκαμπτα με επάλληλες δοκούς.

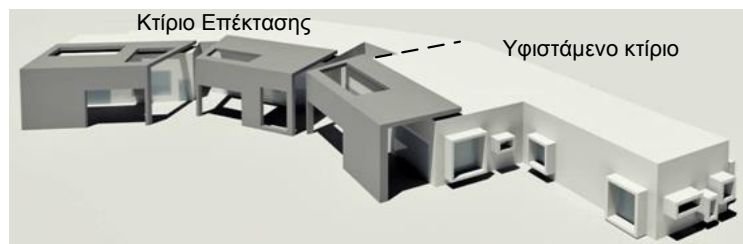
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Γερμανική Σχολή Αθηνών (ΓΣΑ) ιδρύθηκε το 1896 από τον αρχαιολόγο Wilhelm Dörpfeld για την φοίτηση μαθητών διάφορων εθνικοτήτων. Από το 1966 βρίσκεται σε οικοπέδο έκτασης περίπου 27.000m² στο Μαρούσι. Το συγκρότημα αρχικά περιλάμβανε έξι κτίρια (νηπιαγωγείο, δημοτικό, γυμνάσιο, αίθουσα συνεδριάσεων, γυμναστήριο, κατοικία επιστάτη) και αργότερα προστέθηκαν τρία νέα, η Βιβλιοθήκη (1984), η εσωτερική πισίνα (1994) και το Κυλικείο (1996). Το 2009, λόγω αυξημένου αριθμού αιτήσεων νέων μαθητών, ο Σύλλογος της ΓΣΑ αποφάσισε να χρηματοδοτήσει την ανακαίνιση και επέκταση του νηπιαγωγείου και προκηρύχθηκε αρχιτεκτονικός διαγωνισμός τον οποίο κέρδισε το αρχιτεκτονικό γραφείο «Ποτηρόπουλος Δ+Δ Αρχιτέκτονες» (Σχ. 1). Στην ομάδα μελέτης συμμετείχαν επίσης ο κος Ι. Βάγιας, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής Ε.Μ.Π. και η εταιρεία «HM engineering» με υπεύθυνο τον κο Γ. Διαμαντούρο, Ηλεκτρολόγο Μηχανικό. Η κατασκευή, λόγω προβλημάτων με τη χρηματοδότηση, ξεκίνησε τρία χρόνια αργότερα (2012) και ανατέθηκε στην εταιρεία «Πλέθρον».

Ωστόσο επειδή οι ανάγκες του σχολείου είχαν πλέον αυξηθεί τα σχέδια της προμελέτης έπρεπε να τροποποιηθούν, το τμήμα της επέκτασης να μεγαλώσει και το υπόγειο να καταργηθεί. Στο νέο αρχιτεκτονικό σχεδιασμό το κτίριο μοιάζει με "παιχνίδι Lego" σε φυσική κλίμακα (Σχ. 2).



Σχ. 1 Αρχικός αρχιτεκτονικός σχεδιασμός

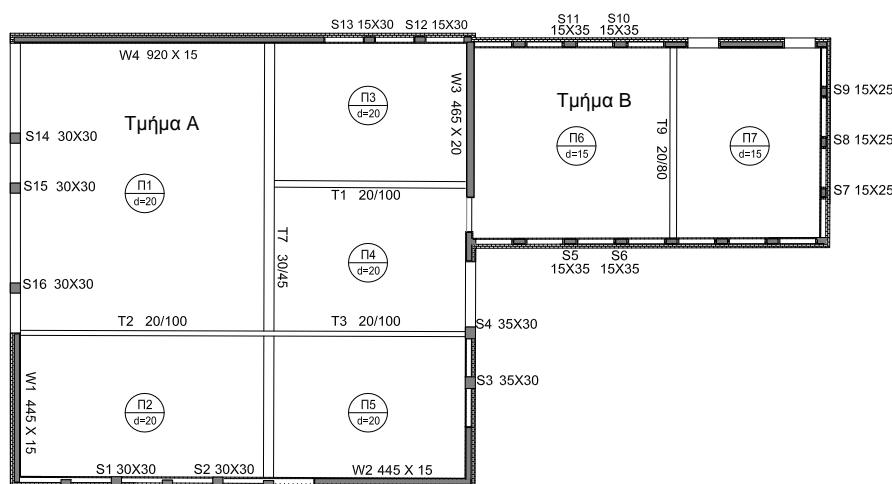


Σχ. 2 Νέος αρχιτεκτονικός σχεδιασμός

3. ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

3.1 Υφιστάμενο Κτίριο

Το υφιστάμενο κτίριο είναι ένα μονώροφο κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η υφιστάμενη κατάσταση του φέροντα οργανισμού ελήφθη με βάση τα εγκεκριμένα από την Πολεοδομία σχέδια ξυλοτύπων και τα σχέδια αποτύπωσης (Σχ. 3). Το κτίριο αποτελείται από δύο Τμήματα, Α και Β, που έχουν διαφορά ύψους 1m. Στο Τμήμα Α η πλάκα έχει πάχος 20cm και οι περιμετρικές δοκοί ύψος 30cm. Στο Τμήμα Β η πλάκα έχει πάχος 15cm και οι περιμετρικές δοκοί ύψος 40cm. Οι διαστάσεις των εσωτερικών δοκών ποικίλλουν. Τα κατακόρυφα στοιχεία περιλαμβάνουν υποστυλώματα μικρών διαστάσεων (30x30cm) διατεταγμένα στην περίμετρο του κτιρίου και τοιχεία πάχους 15cm τα οποία στο Τμήμα Β είχαν ανοίγματα σε όλη την περίμετρο.



Σχ. 3 Κάτοψη δομικού συστήματος υφιστάμενου κτιρίου

Μια σημαντική απόκλιση μεταξύ των αρχικών σχεδίων και της αποτύπωσης ήταν η απουσία ενός τοιχείου οπλισμένου σκυροδέματος μήκους 5m κάτω από τη δοκό T7. Στη θέση του βρέθηκε οπτοπλινθοδομή που λειτουργούσε στην πραγματικότητα ως στήριξη της δοκού, καθώς μετά την καθαίρεσή του, η στηριζόμενη σε αυτόν πλάκα εμφάνισε βέλος 1-2cm. Επιπλέον, πάνω από την πλάκα σκυροδέματος του Τμήματος Α, υπήρχε μια

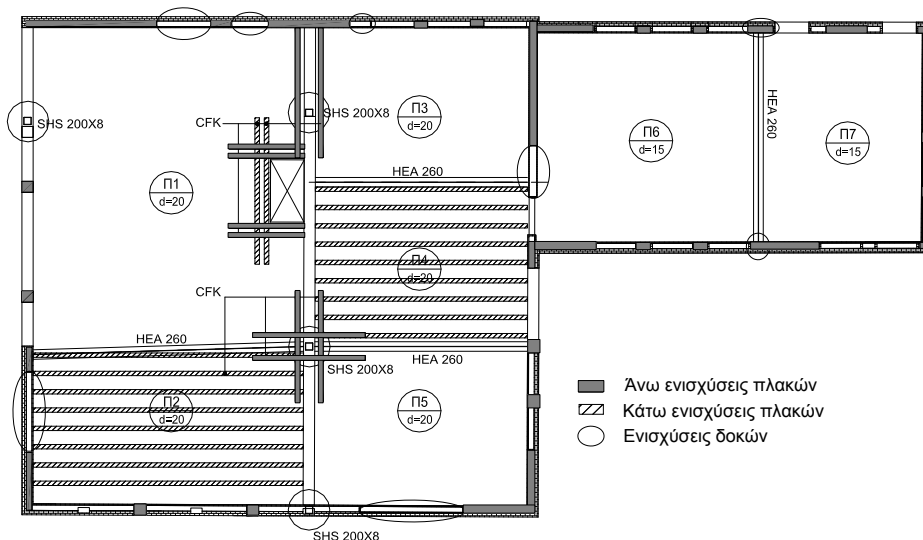
δεύτερη προκατασκευασμένη πλάκα πάχους 20cm και στην πλάκα του Τμήματος Β, είχε γίνει πλήρωση με ελαφροσκυρόδεμα πάχους 20cm. Οι δυο αυτές επεμβάσεις εξασφάλιζαν τη θερμομόνωση του κτιρίου καθώς την εποχή κατασκευής του δεν υπήρχαν μονωτικά υλικά.

Ο νέος αρχιτεκτονικός σχεδιασμός προέβλεπε τις παρακάτω επεμβάσεις στο φορέα:

- Καθαίρεση δοκών T1, T2, T3 ύψους 1m στο Τμήμα Α και T9 ύψους 0,80m στο Τμήμα Β για εξασφάλιση απαιτούμενου ελάχιστου ελεύθερου ύψους (περίπου 2,90m).
- Διάνοιξη οπών και καθαίρεση τμημάτων του κελύφους για δημιουργία νέων κουφωμάτων στην περίμετρο.
- Διάνοιξη οπής 90x170cm στην πλάκα του Τμήματος Α για την κατασκευή skylight.
- Μετατόπιση ενός υποστυλώματος του Τμήματος Α για διαμόρφωση εισόδου ΑΜΕΑ.

Οι παραπάνω επεμβάσεις και η απουσία του τοιχείου σκυροδέματος 5m άλλαξαν σημαντικά το στατικό σύστημα του κτιρίου, ιδίως σε ό,τι αφορά στην παραλαβή των κατακόρυφων φορτίων. Για την μείωση των φορτίων αποφασίστηκε η καθαίρεση της δεύτερης πλάκας σκυροδέματος του Τμήματος Α και του ελαφροσκυροδέματος πλήρωσης του Τμήματος Β. Επίσης, λόγω του περιορισμένου χρόνου εκτέλεσης του έργου επιλέχθηκαν ξηρές μέθοδοι δόμησης. Χρησιμοποιήθηκαν πρότυπες διατομές χάλυβα για την αντικατάσταση των καθαιρεμένων δομικών στοιχείων και ελασμάτα και υφάσματα ινοπλισμένων πολυμερών άνθρακα (FRP) για την ενίσχυση των υπόλοιπων στοιχείων. Ειδικότερα, ελήφθησαν τα ακόλουθα μέτρα (Σχ. 4):

- Αντικατάσταση των καθαιρεμένων δοκών με μεταλλικές HEA260.
- Προσθήκη τριών υποστυλωμάτων SHS200x8 για αποκατάσταση της στήριξης της T7.
- Ενίσχυση της T7 με υφάσματα FRP.
- Ενίσχυση των πλακών Π2, Π4 και της Π1 περιμετρικά της οπής με ελάσματα FRP.
- Ενίσχυση των οριζόντιων στοιχείων, που απομένουν μετά τη διάνοιξη των οπών των κουφωμάτων στα τοιχεία, με υφάσματα FRP ώστε να λειτουργήσουν σαν δοκοί.



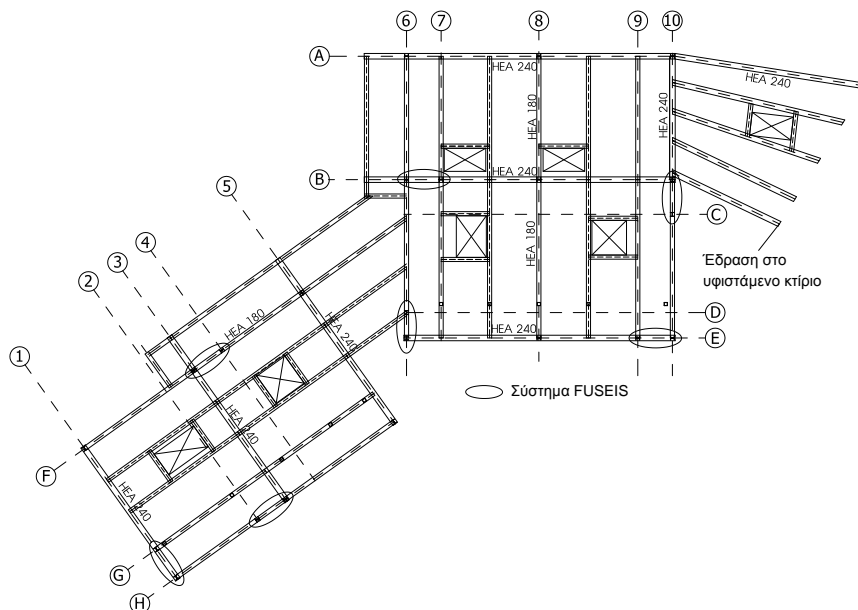
Σχ. 4 Επεμβάσεις στο υφιστάμενο κτίριο

3.2 Κτίριο επέκτασης

Δεδομένου ότι το έργο έπρεπε να ολοκληρωθεί σε περίοδο που το σχολείο δεν θα ήταν σε λειτουργία, το χρονοδιάγραμμά του περιοριζόταν σε διάστημα λίγων μηνών. Έτσι για το τμήμα της επέκτασης επιλέχθηκε, ως ταχύτερη, η σύμμικτη κατασκευή (Σχ. 5).

Χρησιμοποιήθηκαν διατομές HEA 180 στα υποστυλώματα, HEA 240 στις κύριες δοκούς και HEA 180 στις δευτερεύουσες δοκούς με χάλυβα ποιότητας S355. Για τη σύνδεση της δευτερεύουσας στην κύρια δοκό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της συμπαγούς ράβδου με την οποία πραγματοποιείται άρθρωση χωρίς διάνοιξη οπών και οι δοκοί τοποθετούνται σε ένα κοινό ύψος. Οι κύριες δοκοί κατασκευάστηκαν ως συνεχείς πάνω από τα υποστυλώματα και η σύνδεσή τους ήταν αρθρωτή. Στην κεφαλή του υποστυλώματος συγκολλήθηκε χαλύβδινο έλασμα το οποίο έπειτα συνδέθηκε μέσω κογλίωσης με το κάτω πέλμα της δοκού. Με τον τρόπο αυτό αποφεύχθηκε το υψηλό κόστος κατασκευής άκαμπτων κόμβων. Για τις σύμμικτες πλάκες οροφής χρησιμοποιήθηκε τραπεζοειδές προφίλ τύπου SYMDECK 73 και σκυρόδεμα C20/25 με οπλισμό Φ10/15 ποιότητας B500B. Οι πλάκες, συνολικού πάχους 20cm, εδράστηκαν επί των δευτερευουσών δοκών και η διατμητική σύνδεση πραγματοποιήθηκε μέσω ήλων Φ19, S235.

Μεταξύ του νέου και του υφιστάμενου κτιρίου διαμορφώθηκε ημιυπαίθριος χώρος για την εξασφάλιση της λειτουργικής/αρχιτεκτονικής συνέχειας των δύο κτιρίων. Η οροφή του ημιυπαίθριου περιλαμβάνει σύμμικτες πλάκες τοποθετημένες πάνω σε δοκούς HEA 240. Η στήριξη των δοκών του ημιυπαίθριου στο υφιστάμενο κτίριο πραγματοποιήθηκε με δοκό τύπου L150x100x14, μέσω χημικών αγκυρίων. Στο πέλμα της δοκού διαμορφώθηκαν υπερμεγέθεις οπές (οβάλ) με κατάλληλο μήκος ώστε να αποφευχθεί η μεταφορά οριζόντιων δράσεων στο υφιστάμενο κτίριο και να εξασφαλισθεί η ανεξάρτητη αντισεισμική λειτουργία τους.



Σχ. 5 Κάτοψη τμήματος επέκτασης

Λόγω της διαμόρφωσης αρθρωτών συνδέσεων δοκού-υποστυλώματος ο φορέας του κτιρίου δεν ήταν ικανός να εξασφαλίσει μόνος του πλευρικά το κτίριο. Ως εκ τούτου, για την πλευρική ευστάθεια χρησιμοποιήθηκε ένα νέο δομικό σύστημα το FUSEIS. Το FUSEIS αποτελείται από ζεύγη στύλων σε μικρή απόσταση μεταξύ τους συνδεόμενα άκαμπτα με επάλληλες δοκούς έτσι ώστε να σχηματίζεται μια κατακόρυφη δοκός Vierendeel (Σχ. 6). Έχει μελετηθεί πειραματικά και αναλυτικά υπό μονοτονική και ανακυκλιζόμενη φόρτιση στα EMI και RWTH Aachen στα πλαίσια υποστηριζόμενου από την Ευρωπαϊκή Ένωση ερευνητικού προγράμματος [2]. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι το σύστημα έχει υψηλή ικανότητα απορρόφησης ενέργειας εξαιτίας των ισχυρών υποστυλωμάτων – ασθενών δοκών του και είναι κατάλληλο για χρήση σε

σεισμικές περιοχές. Επομένως με εφαρμογή ικανού αριθμού συστημάτων σε θέσεις του κτιρίου που δεν επηρεάζουν τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό επιτυγχάνεται η απαιτούμενη ευστάθεια και δυσκαμψία (Σχ. 6).

Η στήριξη των πλάγιων επικαλύψεων και των αρχιτεκτονικών προεξοχών των παραθύρων πραγματοποιήθηκε με κατακόρυφα στοιχεία U140 τα οποία αναρτήθηκαν από τις σύμμικτες δοκούς. Στο κάτω τμήμα τους συνδέθηκαν με τη θεμελίωση με διπλά γωνιακά. Για την αποφυγή παραλαβής κατακόρυφων φορτίων από τα στοιχεία U140, στη σύνδεσή τους με τα γωνιακά διαμορφώθηκαν επιμήκεις κατακόρυφες οπές.

Για τη θεμελίωση του κτιρίου επιλέχθηκε η γενική κοιτόστρωση που προσφέρει ευκολία στην κατασκευή και χαμηλό κόστος. Το πάχος της κοιτόστρωσης ήταν 40cm και η ποιότητα σκυροδέματος C16/20.



Σχ. 6 Εφαρμογή συστημάτων FUSEIS στο κτίριο

4. ΣΤΑΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

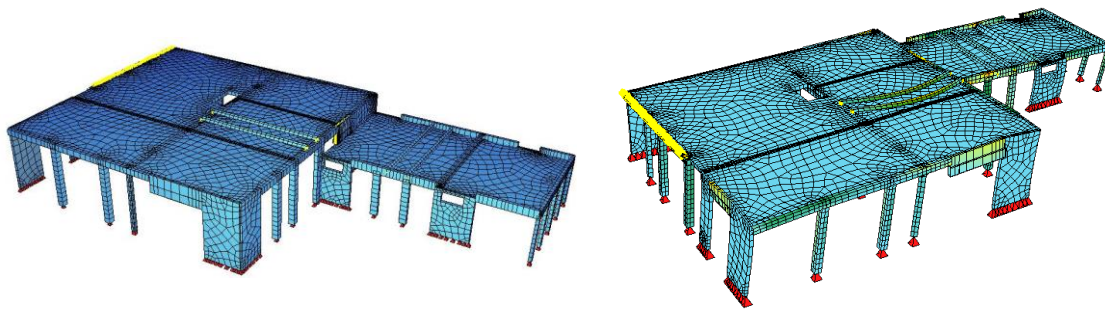
Το υφιστάμενο κτίριο και το νέο κτίριο της επέκτασης λειτουργούν ως δύο ανεξάρτητα στατικά συστήματα και για τη μελέτη τους απαιτήθηκε η δημιουργία δύο ξεχωριστών στατικών προσομοιωμάτων. Τα φορτία υπολογίστηκαν σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες, τα φορτία χιονιού και ανέμου σύμφωνα με τον EN1991 [3] και τα σεισμικά φορτία σύμφωνα με τον EN1998-1 [4], λαμβάνοντας υπόψη το Εθνικό Προσάρτημα για την συγκεκριμένη περιοχή που ορίζει χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού $w_k=0,68\text{kN/m}^2$, τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου $v_b=27\text{m/sec}$ και τιμή της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους $A=0,16g$. Επιπλέον, επειδή πρόκειται για σχολείο ο συντελεστής σπουδαιότητας του κτιρίου ήταν $\gamma_I=1,15$. Οι συνδυασμοί φορτίσεων για τις οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας έγιναν σύμφωνα με το πρότυπο EN 1990 [5] και οι σεισμικοί συνδυασμοί σύμφωνα με το πρότυπο EN1998-1 [4]. Για τις στατικές και δυναμικές αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε το Γερμανικής προέλευσης λογισμικό SOFiSTiK [6].

4.1 Υφιστάμενο Κτίριο

Στο τρισδιάστατο στατικό προσομοίωμα του υφιστάμενου κτιρίου οι δοκοί και τα υποστυλώματα προσομοιώθηκαν με ραβδωτά στοιχεία (beam elements), ενώ τα περιμετρικά και εσωτερικά τοιχεία και οι πλάκες ανωδομής με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία κελύφους (shell elements) (Σχ. 7). Για την ανάλυση του στεγάστρου απαιτήθηκε η δημιουργία ξεχωριστού προσομοιώματος λόγω της μεγάλης διαφοράς στη δυσκαμψία

του σε σχέση με το κτίριο. Αρχικά προσομοιώθηκε και διαστασιολογήθηκε ο φορέας του στεγάστρου θεωρώντας στερεή στήριξη των υποστυλωμάτων του. Έπειτα προσομοιώθηκε το υφιστάμενο κτίριο στο οποίο εισήχθησαν οι αντιδράσεις των υποστυλωμάτων του στεγάστρου ως συγκεντρωμένες δυνάμεις στις θέσεις στήριξης.

Θεωρήθηκε απομειωμένη δυσκαμψία των φερόντων στοιχείων της κατασκευής (Δυσκαμψία Σταδίου II), όπως προβλέπεται από τον ΕΑΚ2000. Ωστόσο, ο φορέας παρέμεινε σχετικά δύσκαμπτος με συχνότητα πρώτης ιδιομορφής $f=6,3$ Hz. Όλες οι ιδιομορφές του κτιρίου έχουν μετατοπίσεις και στις δύο διευθύνσεις με αποτέλεσμα να είναι ταυτόχρονα μεταφορικές και στρεπτικές. Για να επιτευχθεί ενεργοποίηση μάζας μεγαλύτερη από το 90% της συνολικής (EN1998-1 [4]) απαιτήθηκαν 23 ιδιομορφές. Ο μεγάλος αριθμός ιδιομορφών οφείλεται στην τοπική διέγερση (κάμψη) δομικών στοιχείων που έχουν μικρή συνεισφορά στη συνολική μάζα (Σχ. 8). Ο περιορισμός της γωνιακής παραμόρφωσης ορόφου και ο έλεγχος φαινομένων Β' τάξης (EN 1998-1), δεν ήταν κρίσιμοι για το σχεδιασμό του κτιρίου λόγω της μεγάλης δυσκαμψίας του.



Σχ. 7 Στατικό προσομοίωμα υφιστάμενου κτιρίου Σχ. 8 Πρώτη ιδιομορφή με ιδιοπερίοδο $T = 0,16s$

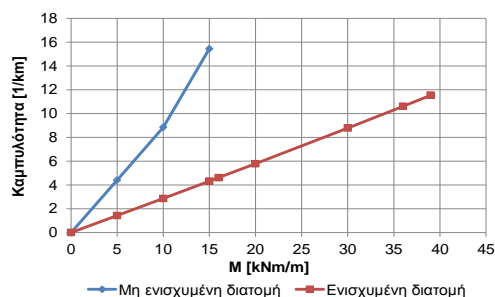
Οι έλεγχοι του κτιρίου διεξήχθησαν σύμφωνα με τους EN1992-1 [7] και EN1993-1 [8]. Τα τοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος ελέγχθηκαν για τις διατμητικές τάσεις των σεισμικών συνδυασμών με το όριο της διατμητικής τάσης σκυροδέματος, όπου αγνοήθηκε επί τω δυσμενέστερω η συμβολή των οπλισμών.

Οι πλάκες και οι δοκοί που δεν είχαν επαρκή φέρουσα ικανότητα ενισχύθηκαν με ελάσματα και υφάσματα FRP σύμφωνα με τον Κανονισμό Επεμβάσεων ΚΑΝΕΠΕ [9] και το EN 1998-3 [10].

Οι πλάκες ενισχύθηκαν με ελάσματα $120 \times 1,4 \text{ mm}^2$ με εφελκυστική αντοχή $f_{jk}=2800 \text{ MPa}$ και μέτρο ελαστικότητας $E=160 \text{ GPa}$. Η τιμή σχεδιασμού της ενεργού τάσεως σ_{jd} , εκτιμήθηκε ως η μικρότερη από την τιμή που αντιστοιχεί στην δυσμενέστερη από τις ακόλουθες δύο μορφές αστοχίας, την αστοχία του ίδιου του υλικού ενίσχυσης και την πρόωρη αποκόλληση του υλικού ενίσχυσης. Με χρήση ειδικού προγράμματος έγινε προσομοίωση της πλάκας με και χωρίς ενίσχυση και υπολογίστηκαν οι ενεργές τάσεις των ελασμάτων για μία ή δύο στρώσεις. Στη συνέχεια με επαναληπτική διαδικασία, μέσω του διαγράμματος ροπών-καμπυλοτήτων, προσδιορίστηκε η απαραίτητη απόσταση των ελασμάτων. Στην Σχ. 9 φαίνεται ότι η ροπή αντίστασης της ενισχυμένης πλάκας με ελάσματα FRP σχεδόν τριπλασιάστηκε. Σε ορισμένες περιπτώσεις κρίθηκε απαραίτητη η αγκύρωση των ελασμάτων στα άκρα. Επιπλέον, έγινε ο έλεγχος των πλακών σε διάτρηση στις θέσεις των χαλύβδινων υποστυλωμάτων σύμφωνα με το EN 1992-1 [7].

Τα οριζόντια στοιχεία που προέκυψαν από τη διάνοιξη των οπών των κουφωμάτων στα τοιχεία (Σχ. 7) και η δοκός T7 (Σχ. 3), ενισχύθηκαν με υφάσματα FRP μονής διεύθυνσης κατά μήκος του εφελκυστικού κάτω πέλματος για αύξηση της καμπτικής τους αντοχής. Πρόσθετα υφάσματα τοποθετήθηκαν και εγκάρσια στις δοκούς τα οποία επικολλήθηκαν στις παρειές και στο πέλμα της δοκού και αγκυρώθηκαν στην πλάκα με χρήση ειδικών

αγκυρίων για αύξηση της διατμητικής τους αντοχής. Τα υφάσματα FRP είχαν εφελκυστική αντοχή $f_{jk}=3800\text{MPa}$, μέτρο ελαστικότητας $E=242\text{GPa}$ και πάχος $0,255\text{mm}$. Η ενίσχυση των δοκών σε κάμψη υπολογίστηκε όμοια με της πλάκας. Ως τιμή σχεδιασμού της ενεργού τάσεως σ_{jd} σε κάμψη και διάτμηση, χρησιμοποιήθηκε η τιμή που αντιστοιχεί στην αστοχία του ίδιου του υλικού ενίσχυσης καθώς το ύφασμα αγκυρώνεται.



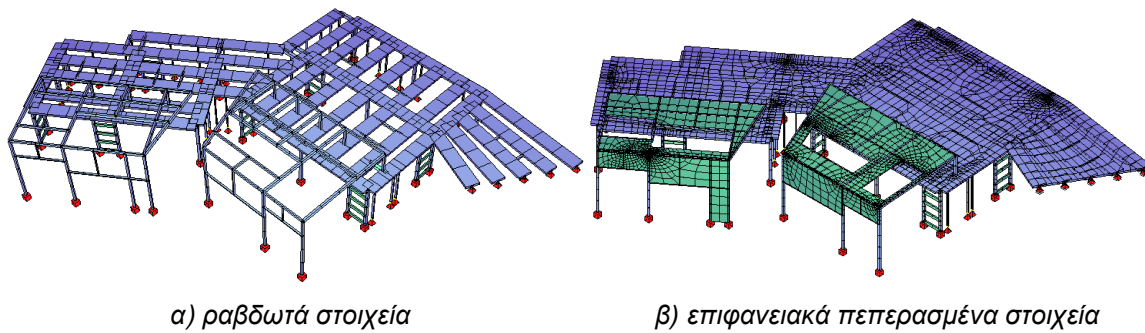
Σχ. 9 Διάγραμμα ροπών-καμπυλοτήτων πλάκας με και χωρίς ενίσχυση

4.2 Κτίριο επέκτασης

Για την ανάλυση του κτιρίου της επέκτασης υπό την επίδραση στατικών φορτίων δημιουργήθηκε ένα τρισδιάστατο στατικό προσομοίωμα με ραβδωτά στοιχεία (beam elements) στο οποίο οι σύμμικτες δοκοί προσομοιώθηκαν με το ενεργό πλάτος τους (Σχ. 10α), EN 1994-1 [11]. Στη δυναμική ανάλυση, εξαιτίας της μη κανονικότητας του κτιρίου (EN1998-1), η ύπαρξη άκαμπτου διαφράγματος δεν μπορούσε να θεωρηθεί δεδομένη. Έτσι, για την μελέτη της δυναμικής απόκρισης του κτιρίου απαιτήθηκε η δημιουργία δεύτερου στατικού προσομοιώματος, στο οποίο η σύμμικτη πλάκα και οι επικαλύψεις των στεγάστρων προσομοιώθηκαν με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία κελύφους (shell elements), (Σχ. 10β).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα συστήματα απορρόφησης FUSEIS χρησιμοποιήθηκαν ως συστήματα ευστάθειας. Οι δοκοί του συστήματος μπορούν να λειτουργήσουν σαν στοιχεία απορρόφησης ενέργειας με ειδική κατασκευαστική διαμόρφωση στα άκρα τους όπως τοπική απομείωση της διατομής τους τύπου dogbone (Reduced Beam Sections, RBS) και με ικανοτικό σχεδιασμό των υποστυλωμάτων του συστήματος. Εναλλακτικά ο φορέας μπορεί να μελετηθεί ως μη πλάστιμος με χρήση χαμηλού συντελεστή συμπεριφοράς $q=1,5$ (Εθνικό Προσάρτημα EN1998). Στα μονώροφα κτίρια, όπως η ΓΣΑ, ο σχεδιασμός αυτός, παρόλο που το κτίριο σχεδιάζεται για μεγαλύτερες σεισμικές δυνάμεις, είναι πιο οικονομικός καθώς δεν έχει ιδιαίτερες κατασκευαστικές απαιτήσεις.

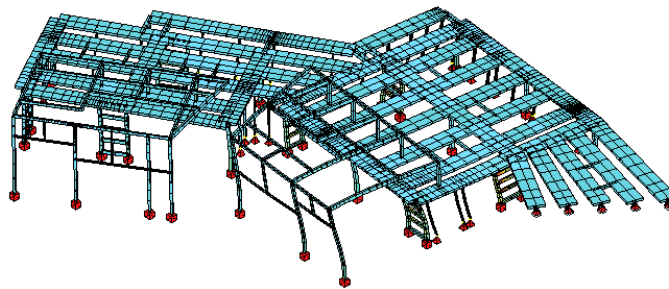
Η δυναμική ανάλυση έδειξε ότι οι τρεις πρώτες ιδιομορφές του κτιρίου αρκούν για να ενεργοποιηθεί περισσότερο από το 90% της συνολικής μάζας του και στις δυο οριζόντιες διευθύνσεις. Στην Σχ. 11 φαίνεται ενδεικτικά η δεύτερη ιδιομορφή που με συχνότητα $f=1,8\text{Hz}$ ενεργοποιεί το μεγαλύτερο ποσοστό μάζας. Υπό τα κατακόρυφα φορτία του σεισμικού συνδυασμού ο κρίσιμος συντελεστής λυγισμού $a_{cr}=19,2$ ήταν αρκετά μεγαλύτερος από την οριακή του κανονισμού οπότε τα φαινόμενα Β' τάξης αμελήθηκαν. Οι σύμμικτες πλάκες, οι σύμμικτες και χαλύβδινες δοκοί και τα υποστυλώματα διαστασιολογήθηκαν σύμφωνα με τις διατάξεις των EC. Από τις οριζόντιες παραμορφώσεις του υφιστάμενου και του νέου κτιρίου, που προέκυψαν από τις δυναμικές αναλύσεις, καθορίστηκε το πλάτος του αρμού μεταξύ τους και το μήκος της προαναφερθείσας επιμήκουσ οπής. Για τη μελέτη της θεμελίωσης απαιτήθηκε η δημιουργία ξεχωριστού στατικού χωρικού προσομοιώματος με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία κελύφους (shell elements) ελαστικά εδραζόμενα.



α) ραβδωτά στοιχεία

β) επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία

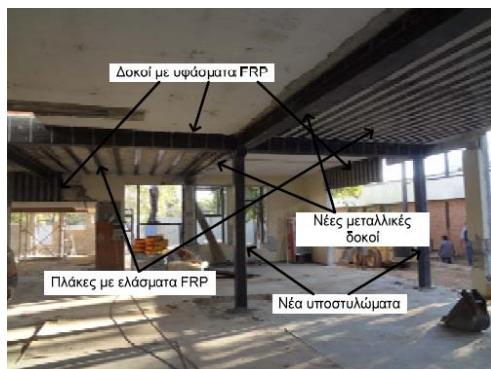
Σχ. 10 3D Προσομοίωμα της επέκτασης



Σχ. 11 Δεύτερη ιδιομορφή (χωρίς πεπερασμένα στοιχεία)

5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Οι εκσκαφές για την πλάκα θεμελίωσης της επέκτασης και η κατεδάφιση του υφιστάμενου κτιρίου ξεκίνησαν στις 5 Αυγούστου 2013. Για τη διάνοιξη οπών στην πλάκα και στα τοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκε αδιατάρακτη κοπή. Στην όψη του κτιρίου μετά την αφαίρεση των διακοσμητικών τούβλων αποκαλύφθηκαν ρωγμές μικρού εύρους. Οι ρωγμές με εύρος μεγαλύτερο από 0,2mm σφραγίστηκαν με κατάλληλο ένεμα. Έπειτα ακολούθησε η ενίσχυση των πλακών και των δοκών με FRP (Σχ. 12). Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν τα μεταλλικά υποστυλώματα στις νέες θεμελιώσεις και τα βοηθητικά στοιχεία για τη στήριξη των προεξοχών των παραθύρων και των skylights. Ταυτόχρονα, άρχισε η ανέγερση του μεταλλικού σκελετού της επέκτασης. Λόγω του ορίου μεταφορών, τα στέγαστρα έπρεπε να χωριστούν σε δυο τμήματα τα οποία έπειτα συναρμολογήθηκαν στο εργοτάξιο με κοχλίωση. Όλες οι παραπάνω εργασίες διήρκησαν περίπου τέσσερις εβδομάδες. Το κόστος των στατικών επεμβάσεων ήταν 290€/m² για το νέο και 235€/m² για το υφιστάμενο κτίριο.



Σχ. 12 Κτίρια υπό κατασκευή



Σχ. 13 Αποπερατωμένο κτίριο νηπιαγωγείου

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρήση των ινοπλισμένων πολυμερών άνθρακα (FRP), ελασμάτων και υφασμάτων, καθώς και πρόσθετων χαλύβδινων στοιχείων έδειξε ότι μπορεί να προσφέρει αποτελεσματικές λύσεις από άποψη κόστους και χρόνου κατασκευής για επισκευές και ενισχύσεις υφιστάμενων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος. Επιπλέον, μέσω της επιτυχημένης πρώτης εφαρμογής του καινοτόμου συστήματος δυσκαμψίας FUSEIS στο μεταλλικό κτίριο της επέκτασης, αποδεικνύεται ότι ακόμα και με μικρής έκτασης επεμβάσεις μπορεί βελτιωθεί η αντισεισμική συμπεριφορά των κτιρίων.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Vayas, I., Wittemann, K.: Tragverhalten, Auslegung und Nachweise von Stahlhochbauten in Erdbebengebieten, Stahlbaukalender 2014, Ernst&Sohn Verlag.
- [2] Vayas, I., Karydakis, Ph., Dimakogianni D., Dougka, G., Castiglioni C.A., Kanyilmaz A. et al. Dissipative devices for seismic resistant steel frames - The FUSEIS Project, Final Report. Research Program of the Research Fund for Coal and Steel, 2012.
- [3] EN 1991 (Eurocode 1): Actions on structures, CEN, European Committee for Standardisation, 2005.
- [4] EN 1998-1 (Eurocode 8): Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, CEN, European Committee for Standardisation, 2004.
- [5] EN 1990 (Eurocode 0): Basis of structural design. CEN, European Committee for Standardisation, 2004.
- [6] SOFISTIK, Finite Element Software, www.sofistik.com.
- [7] EN 1992-1 (Eurocode 2): Design of concrete structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings, CEN, European Committee for Standardisation, 2005.
- [8] EN 1993-1-1 (Eurocode 3): Design of steel structures, CEN, European Committee for Standardisation 2003.
- [9] ΚΑΝΕΠΕ: Κανονισμός Επεμβάσεων, ΟΑΣΠ, 2013.
- [10] EN 1998-3 (Eurocode 8): Design of structures for earthquake resistance, Part 3: Strengthening and repair of buildings, CEN, European Committee for Standardisation, 2005.
- [11] EN 1994-1 (Eurocode 4): Design of composite steel and concrete structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings, CEN, European Committee for Standardisation, 2004.

CONVERSION AND EXTENSION OF THE KINDERGARTEN OF THE GERMAN SCHOOL IN ATHENS

Ioannis Vayas¹, Georgia Dougka², Danai Dimakogianni²

¹ Professor, ² Ph. D. Candidate

National Technical University of Athens

Greece

e-mails: vastahl@central.ntua.gr, giouli@dougka.gr, d_dimakogianni@hotmail.com

SUMMARY

The Kindergarten of the German School in Athens was reconstructed and extended by a new part. The existing building was a reinforced concrete structure with cladding and partition elements from brickwork. According to the architectural planning significant interventions in the structure and dry stud walls for all external and internal walls were foreseen, which resulted in the demolition of a number of reinforced concrete structural elements, like beams, columns and walls. The structural rehabilitation was performed by the use of CFRP plates and jacketing by CFRP fabrics for strengthening of the reinforced concrete elements and the use of additional steel elements. The extension building was a steel reinforced concrete composite structure in which the innovative FUSEIS system was for the first time used as bracing system for a building in seismic areas.