

Στατική και αντισεισμική ενίσχυση του ξενοδοχείου Metropol Palace στο Βελιγράδι Structural upgrading of Hotel Metropol Palace in Belgrade

Γεώργιος Πενέλης¹, Γρηγόρης Πενέλης², Βασίλης Παπανικολάου³

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Το κεντρικό κτίριο του ξενοδοχείου Metropol Palace βρίσκεται στο κέντρο του Βελιγραδίου. Πρόκειται για έναν 12ώροφο μεικτό φορέα Ο/Σ (πλαίσια και τοιχώματα) με ένα υπόγειο. Το κτίριο έχει κατασκευαστεί τη δεκαετία του 1960 και κατά τις εργασίες αρχιτεκτονικής του αναβάθμισης (προσθήκη 2 ορόφων) προέκυψε η ανάγκη να ενισχυθεί με διατάξεις αντισεισμικότητας σύμφωνα με τον ισχύοντα σήμερα Αντισεισμικό Κανονισμό της Σερβίας. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι επί τόπου και εργαστηριακές έρευνες για τα υλικά του υφιστάμενου φέροντα οργανισμού, η δυναμική φασματική ανάλυση του ενισχυμένου φέροντα οργανισμού, ο έλεγχος των υφισταμένων δομικών στοιχείων, η διαστασιολόγηση των ενισχύσεων, η διαστασιολόγηση της θεμελίωσης με μικροπασσάλους. Επίσης παρουσιάζονται οι διαφορές που παρατηρήθηκαν κατά την εκπόνηση της μελέτης μεταξύ των απαιτούμενων στοιχείων από τις Υπηρεσίες Ελέγχου μεταξύ Ελλάδας και Σερβίας.

ABSTRACT : The central Tower of Hotel Metropol Palace in central Belgrade is a twelve storey dual R/C system with one basement. The building was built in the early 60's with no seismic provisions, and following a architectural upgrading along with the addition of 2 storeys a structural and seismic retrofitting was required in order to fulfill the current Serbian Seismic and Concrete Code. Various aspects of the design, such as the in-situ and laboratory tests for the existing materials, the dynamic analysis of the strengthened structural system, the capacity checks of the existing and strengthened elements and the foundation checks are presented in this paper. Furthermore, the differences between the design approaches and Code requirements between Greece and Serbia are highlighted.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ξενοδοχείο Metropol Palace βρίσκεται στο κέντρο του παλαιού Βελιγραδίου και προσφάτως αγοράστηκε από όμιλο ελληνικών συμφερόντων έτσι ώστε να εκσυγχρονιστεί και να μετατραπεί σε ξενοδοχείο πέντε αστέρων. Το συγκρότημα αποτελείται από ένα κυρίως

¹ Ομότιμος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., email: penelis@penelis.com

² Δρ. Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ., MSc DIC, email: penelis@penelis.com

³ Δρ. Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ., MSc DIC, email: billy@civil.auth.gr

κτίριο με 11 στάθμες και 1 υπόγειο καθώς και δύο διώροφα βοηθητικά κτίρια (Annex A και B) Στα πλαίσια την ανακαίνισης προβλέπονται οι κατωτέρω αλλαγές και προσθήκες, που φαίνονται και στα **Σχήματα 1 και 2**:

- καθαίρεση και ανακατασκευή της υφιστάμενης τελευταίας στάθμης του πολυώροφου
- προσθήκη ενός ακόμη ορόφου στο πολυώροφο
- προσθήκη 2 ορόφων στο Annex A
- κατασκευή υπόγειο χώρου στάθμευσης σε τρεις στάθμες
- κατασκευή υπόγειου μηχανοστασίου σε δύο στάθμες

Από το σύνολο των κτιρίων του συγκροτήματος, η παρούσα εργασία παρουσιάζει τη μελέτη επέμβασης στο πολυώροφο κτίριο του πύργου.



(α)



(β)

Σχήμα 1. Γενική άποψη του συμπλέγματος κτιρίων, πριν (α) και μετά την επέμβαση (β)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Γεωμετρία

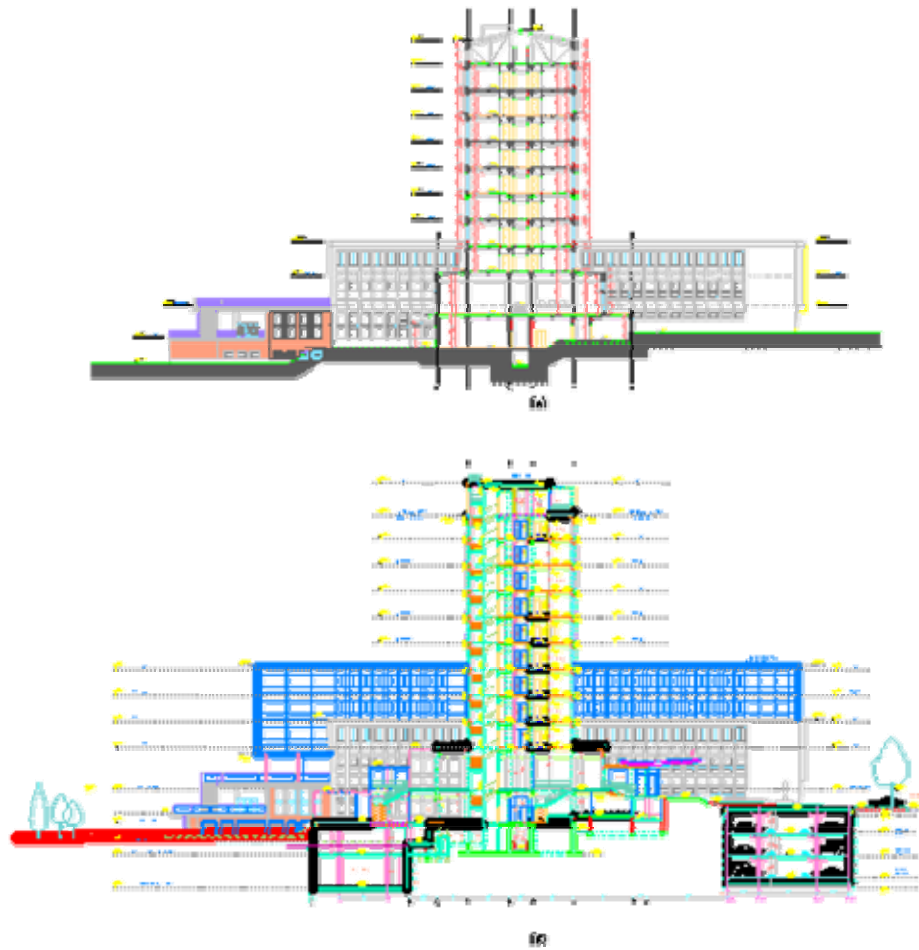
Το κτίριο έχει τυπικό όροφο που φαίνεται στο **Σχήμα 3** και διαστάσεις κάτοψης 57.00 m x 1 4.40 m, υπόγειο, κάτω και άνω ισόγειο, και 9 ορόφους, με συνολικό ύψος 41.00 m από τη στάθμη θεμελίωσης. Αποτελείται από μεικτό σύστημα τοιχωμάτων και πλαισίων Ο/Σ ενώ οι πλάκες των ορόφων είναι διέρειστες με δοκίδες (30 x 5 cm ανά 40 cm) στην εγκάρσια διεύθυνση. Ο τελευταίος όροφος έχει τους περιμετρικούς στύλους, επί των οποίων στηρίζεται ελαφριά μεταλλική στέγη, η οποία προβλέπεται να καθαιρεθεί (**Σχήμα 4**). Η θεμελίωση του κτιρίου συντίθεται από διασταυρούμενες πεδιλοδοκούς.

Παθολογία

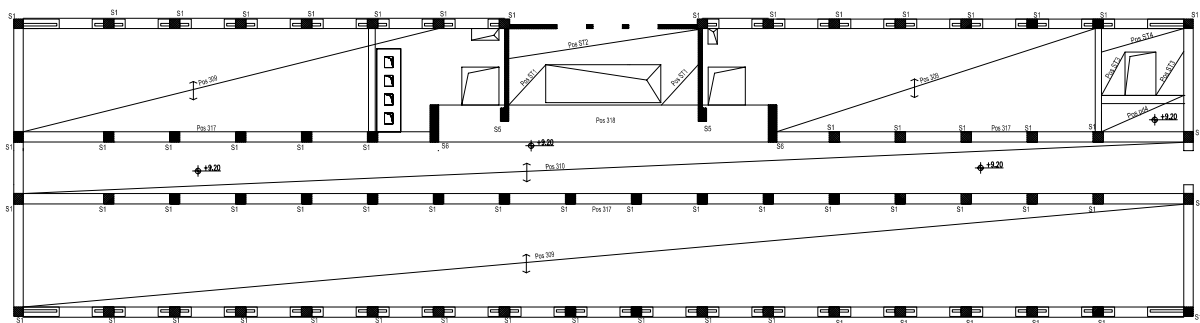
Το κτίριο δεν παρουσιάζει προβλήματα παθολογίας από σεισμική καταπόνηση όπως ρηγματώσεις δοκών, στύλων ή τοιχωμάτων, ούτε προβλήματα καθιζήσεων. Εντούτοις το κτίριο έχει σοβαρά προβλήματα από τη μακροχρόνια χρήση του, όπως:

- Αποσάθρωση και οπές στις πλάκες (**Σχήμα 5α**).
- Οξειδωση των οπλισμών των διαδοκίδων (**Σχήμα 5β**).
- Οπές σε κύριες δοκούς.

- Κακές σκυροδετήσεις στύλων.
- Οξειδώσεις οπλισμών στύλων.



Σχήμα 2. Τομή των κτιρίων και του υπό εξέταση πύργου, πριν (α) και μετά την επέμβαση (β)



Σχήμα 3. Κάτοψη τυπικού ορόφου κτιρίου

Υφιστάμενα υλικά

Διεξήχθη από πιστοποιημένο κρατικό εργαστήριο της Σερβίας πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών (**Σχήμα 6**) για την κατηγορία του σκυροδέματος και του χάλυβα, από το οποίο προέκυψε κατηγορία σκυροδέματος C16/20 και κατηγορία χάλυβα S220 (λείοι οπλισμοί).



(α)



(β)

Σχήμα 4. (α) Μεταλλική στέγη τελευταίου ορόφου, (β) Διερευνητικές τομές οπλισμών



(α)



(β)

Σχήμα 5. Πλάκες: (α) Αποσάθρωση και οπές (β) Οξείδωση οπλισμών διαδοκίδων

ΠΡΟΤΑΣΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

Φιλοσοφία επέμβασης

Η επέμβαση στηρίζεται στην ενίσχυση των υφιστάμενων τοιχωμάτων με μανδύες Ο/Σ καθώς και στην προσθήκη νέων που δεν επηρεάζουν τις λειτουργικές ανάγκες του ξενοδοχείου, έτσι ώστε το μεγαλύτερο ποσοστό της σεισμικής καταπόνησης να παραληφθεί από νέα ή ενισχυμένα τοιχώματα. Εκτός αυτών των αλλαγών όμως, προβλέφθηκε η κατασκευή δοκών κατά την εγάρσια διεύθυνση σε 4 θέσεις έτσι ώστε να αποκατασταθεί η πλαισιακή λειτουργία στη διεύθυνση αυτή (**Σχήμα 7**). Προφανώς, η καθαίρεση και η ανακατασκευή του τελευταίου ορόφου καθώς και η προσθήκη ενός επιπλέον ορόφου αντιστοιχεί πρακτικά με την προσθήκη δύο πλακών, δεδομένου ότι ο υφιστάμενος τελευταίος όροφος ήταν ιδιαίτερος

ελαφριά μεταλλική κατασκευή γεγονός που οδήγησε στην ενίσχυση αρκετών στύλων με μανδύες και στη βελτίωση του εδάφους θεμελίωσης.

Табела 1 – Резултати испитивања бетонских цилиндара (кернова) извађених из конструкцијских елемената ниског приземља, II и VIII спрата објекта «Metropol Palace Hotel» у Београду

нако спра	Ниво (спрат) и елемент из кога је извађен цилиндар	Висина пре об- раде h (mm)	Запрем керна V (cm ³)	Маса керна M (g)	Запрем маса γ (kg/m ³)	Висина након об- раде h ₁ (mm)	Сила лома F _p (kN)	Чврсто- ћа керна f _c (MPa)	k _s	Чврстоћа коце ивица 20 cm - f _{h,20} [в израз (1), стр.2]	
										k ₁	f _{h,20} (MPa)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-1	Ниско приз., стуб у пресеку оса F и 15	123,1	850,62	1950	2292	125,2	110	15,9	1,1115	1,2423	19,7
-2	Ниско приз., стуб у пресеку оса G и 15	115,8	800,18	1845	2306	117,9	92	13,3	1,0890	1,2171	16,2
-3	Ниско приз., стуб у пресеку оса I и 13	105,6	729,70	1670	2289	107,9	170	24,6	1,0552	1,1793	29,0
-4	VIII спрат, стуб у пресеку оса I и 24	124,5	880,20	1962	2281	127,2	209	30,2	1,1174	1,2489	37,7
-5	VIII спрат, стуб у пресеку оса F и 24	119,4	825,05	1885	2285	122,4	225	32,6	1,1031	1,2329	40,2
-6	VIII спрат, ступенишни зид у оси 17	123,7	854,77	1980	2316	125,9	103	14,9	1,1135	1,2446	18,5
-7	VIII спрат, стуб у пресеку оса G и 12	129,9	897,61	2040	2273	132,6	161	23,3	1,1325	1,2658	29,5
-8	VIII спрат, стуб у пресеку оса H и 17	144,7	999,88	2305	2305	148,9	171	24,7	1,1690	1,3055	32,3
-9	VIII спрат, стуб у пресеку оса F и 24	146,3	1010,93	2285	2280	148,3	183	26,5	1,1723	1,3102	34,7
-10	III спрат, стуб у пресеку оса G и 12	102,7	799,66	1620	2283	104,8	232	33,6	1,0433	1,1666	39,2
-11	III спрат, стубу пресеку оса I и 24	151,0	1043,41	2328	2231	153,3	167	24,2	1,1838	1,3231	32,0
-12	III спрат, стубу пресеку оса H и 17	117,5	819,92	1835	2238	119,4	232	33,6	1,0938	1,2225	41,1
-13	III спрат, ступенишни зид у оси 17	133,3	921,10	2085	2253	136,2	173	25,0	1,1422	1,2766	31,9
-14	Нис. приз., стуб у пресеку оса H и 25	128,8	890,01	2035	2286	131,4	190	27,5	1,1293	1,2622	34,7
-15	Нис. приз., ступенишни зид у оси 20	120,9	835,42	1870	2238	122,8	160	23,2	1,1043	1,2342	28,6
-16	Нис. приз., ригла рама у оси K3	140,8	972,93	2310	2374	143,1	228	33,0	1,1508	1,2962	42,8
-17	Нис. приз., стуб рама у оси K3, изм. 28 и 3С	138,4	956,34	2258	2361	140,4	355	51,4	1,1531	1,2888	66,2
-18	Нис. приз., стуб рама у оси K3, изм. 35 и 39	137,7	951,51	2215	2320	140,4	220	32,7	1,1531	1,2888	42,1

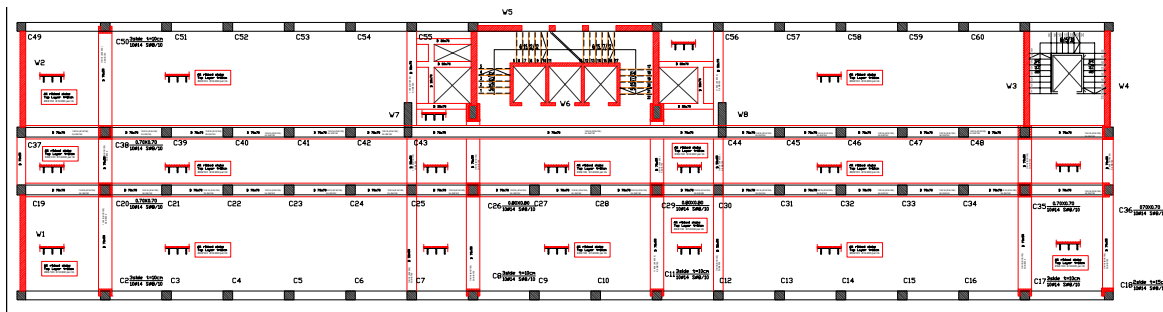
норма BS 1881, Part 120

D - коеф. корекције чврстоће с обзиром на однос пречника и висине цилиндра и правца вађења цилиндра (кол. 10), $D = 2,5$ - за

цилиндре са осом управном на правец уграђивања бетона (што је код свих цилиндара овде и случај), $D = 2,3$ - за цилиндаре са осом паралелном правцем уграђивања бетона

$D = 0,8$ mm - пречник цилиндра, $h_1 = 105,6$ - 151,0 mm - висина обрађеног цилиндра са слојевима за изравнање (колони 7)

Σχήμα 6. Εργαστηριακός έλεγχος σκυροδέματος (18 πυρηνοληψίες)



Σχήμα 7. Ενισχυμένος φορέας, τυπικός όροφος

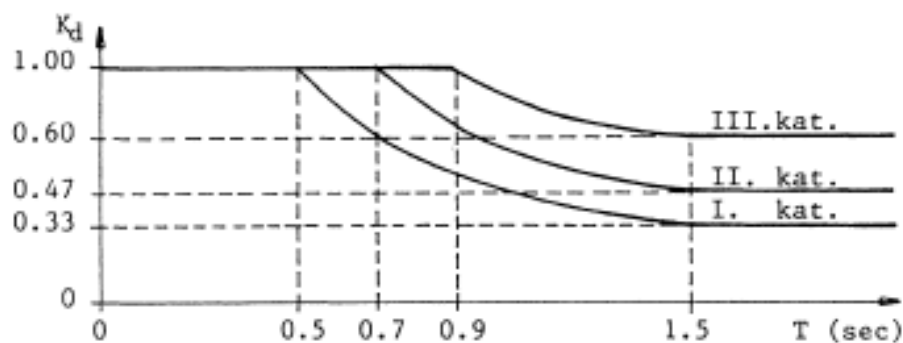
Κανονισμοί Επέμβασης

Στη Σερβία ισχύει σήμερα ο Αντισεισμικός Κανονισμός της πρώην Γιουγκοσλαβίας (SDC 81), ο οποίος δημοσιεύθηκε το 1981. Ο Κανονισμός αυτός έχει πάρα πολλά κοινά στοιχεία με τον ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959, είναι δηλαδή αρκετά πίσω σε σχέση με την τρέχουσα θεώρηση των θεμάτων αντισεισμικών κατασκευών. Επιπλέον προβλέπει σεισμικό συντελεστή για το Βελιγράδι $k_s = 5\%$ ο οποίος για την περίπτωση του παρόντος κτιρίου (θεμελιώδης ιδιοπερίοδος $T_1 = 1.63$ sec) προκύπτει ίσος με $k = 0.036$ μετά την ενσωμάτωση όλων των επιμέρους συντελεστών.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι $k_s = PGA / 4$ (g) (SDC 1981), προκύπτει ότι η ενεργός επιτάχυνση εδάφους για το Βελιγράδι εκτιμάται σε 0.20 g για το σεισμό σχεδιασμού (ενδεικτικά: Θεσσαλονίκη = 0.16 g, Βουκουρέστι = 0.24 g) η οποία με την προσέγγιση του EC8 (EN1998), για τον ενισχυμένο φορέα (για $q = 3.0$), θα έδινε σεισμικό συντελεστή στην περιοχή μέγιστης φασματικής ενίσχυσης ίσο με $k = 0.167$ έναντι του $k = 0.036$ του Σέρβικου Κανονισμού (**Σχήμα 8**).

Η πολύ χαμηλή σεισμική διέγερση που επιβάλλει ο Σέρβικος Κανονισμός οδηγεί σε πολύ σοβαρά προβλήματα στις ξένες επενδύσεις, διότι είναι παντελώς ασύμφορη η εφαρμογή των Ευρωκωδίκων (σε αντίθεση π.χ. με Ρουμανία, Κροατία), γεγονός όμως που δημιουργεί προβλήματα στην ασφάλιση και μεταπώληση των κτιρίων (νέων και ενισχυμένων).

Τελικώς, επιλέχθηκε από τους επενδυτές η εφαρμογή μόνο του Σέρβικου Κανονισμού, και έγινε προσπάθεια από τους μελετητές να σχεδιαστεί ένα φέρον σύστημα ορθολογικό με σημαντική υπερεπάρκεια στα ενισχυόμενα στοιχεία.



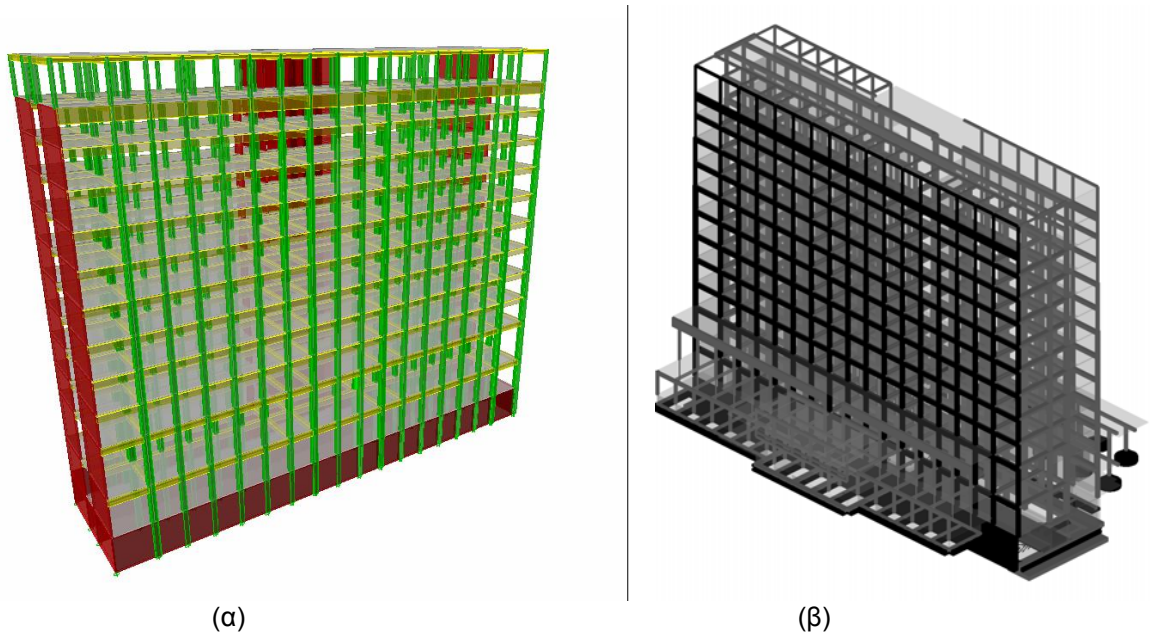
Σχήμα 8. Φάσμα Σέρβικου αντισεισμικού κανονισμού

Ανάλυση και διαστασιολόγηση

Η ανάλυση και διαστασιολόγηση του φορέα έγινε με δύο διαφορετικά προσομοιώματα. Μια προσομοίωση έγινε στην Ελλάδα με το πρόγραμμα ETABS (CSI, 1999) και μια στη Σερβία με το πρόγραμμα Tower (2004) (**Σχήμα 9**). Στην προσομοίωση με το πρόγραμμα ETABS, η οποία αφορά την παρούσα εργασία, έγιναν οι κατωτέρω παραδοχές:

- Θεωρήθηκε διαφραγματική λειτουργία των πλακών.
- Οι δοκοί και οι στύλοι προσομοιώθηκαν με γραμμικά στοιχεία (frame) ενώ οι πλάκες και τα τοιχώματα με επιφανειακά (shell).
- Οι πλάκες με διαδοκίδες δηλώθηκαν με ορθότροπο υλικό, με διαφορετικό μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος ανά διεύθυνση.
- Εισήχθησαν δυσκαμψίες σταδίου II για δοκούς και τοιχώματα (50% και 70% αντίστοιχα).
- Οι ενισχυμένες κολώνες εισήχθησαν με μανδύες (πρόσθετη διατομή διαφορετικού υλικού).

Η διαστασιολόγηση των υφισταμένων στοιχείων καθώς και των ενισχύσεων έγινε με το πρόγραμμα eTools (Πενέλης Λογισμικά Ε.Π.Ε., 2008) λαμβάνοντας υπόψη και τους υφιστάμενους διαθέσιμους οπλισμούς.



Σχήμα 9. Προσομοίωμα ενισχυμένου φορέα (α) ETABS, (β) Tower

Αποτελέσματα – Τελικές ενισχύσεις

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε απαίτηση ενίσχυσης του φορέα όπως φαίνεται στο σχήμα 7, ήτοι:

- προσθήκη 4 νέων ορθογωνικών φανωματικών τοιχωμάτων με ενίσχυση των υφιστάμενων στα άκρα τους στύλων.
- ενίσχυση των τοιχωμάτων του πυρήνα με μανδύες.
- προσθήκη 5 νέων δοκών κατά την εγκάρσια διεύθυνση.
- προσθήκη τετράπλευρων μανδύων Ο/Σ σε 6 εσωτερικούς στύλους
- προσθήκη τρίπλευρων μανδύων Ο/Σ σε 7 περιμετρικούς στύλους
- Ενίσχυση όλων των πλακών με προσθήκη στρώσης Ο/Σ 5 cm στην άνω ίνα με κατάλληλη διατμητική σύνδεση με την υφιστάμενη πλάκα (με βλήτρα).
- Αποκατάσταση των οξειδωμένων οπλισμών και συμπλήρωση των οπλισμών των διαδοκίδων με ινοϋφάσματα (FRP).
- Βελτίωση του εδάφους θεμελίωσης με τσιμεντενέσεις βάθους 10 m χαμηλής πίεσης (4atm)
- Ενίσχυση της θεμελίωσης με μικροπασσάλους και κεφαλόδεσμο στις θέσεις των νέων και ενισχυμένων τοιχωμάτων

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εκτός της προφανούς σχέσης της εκπόνησης της περιγραφείσας μελέτης με την θεματολογία του Συνεδρίου, σημαντική θεωρείται από τους συγγραφείς η σύγκριση των εμπειριών από την εκπόνηση μια μελέτης ενίσχυσης κτιρίου σε μία γειτονική χώρα. Τα πλέον κρίσιμα συμπεράσματα είναι:

- Το κανονιστικό πλαίσιο που ισχύει στην Σερβία για παλαιά αλλά και νέα κτίρια Ο/Σ είναι ιδιαίτερα παλαιό με αποτέλεσμα να παράγονται κτίρια τεχνολογίας 1960.
- Ο σεισμικός κίνδυνος (υπό μορφή rga) που λαμβάνεται υπόψη ως σεισμός σχεδιασμού, είναι ιδιαίτερα χαμηλός της τάξης το 5%, αντίστοιχος δηλαδή με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959.
- Η διαδικασία έκδοσης οικοδομικών αδειών δεν περιλαμβάνει φάκελο στατικής μελέτης με σχέδια αντίστοιχα της « Ελληνικής Πολεοδομίας» αλλά τεύχος στατικού υπολογισμού και μονογραμμικά σχέδια περιγραφής του στατικού προσομοιώματος. Όλα τα στατικά σχέδια (επιπέδου οριστικής μελέτης ή μελέτης εφαρμογής) παράγονται για λογαριασμό του αναδόχου.
- Η διαθέσιμη κατηγορία χάλυβα είναι S400 με ραβδώσεις και S220 λείος (για συνδετήρες)
- Ειδικά ως προς το υπό εξέταση κτίριο επισημαίνονται τα εξής:
 - Δεν απαιτήθηκαν εκτεταμένες ενισχύσεις πλην αυτών που περιγράφηκαν λόγω των μειωμένων σεισμικών δράσεων
 - Σε περίπτωση που εισαχθεί σεισμός 0.16g με φάσμα EC8, προκύπτει αστοχία όλων των στύλων λόγω μικρού ποσοστού υφιστάμενου οπλισμού, δεδομένου ότι το κτίριο δεν είχε διαστασιολογηθεί κατά την ανέγερση για σεισμό.
 - Το κτίριο εκτιμάται ότι με τις ενισχύσεις μπορεί να φέρει με ασφάλεια τα σεισμικά φορτία διέγερσης 0.16g αλλά με σημαντικές ζημιές στα μη ενισχυμένα υποστυλώματα.

Η παρούσα επέμβαση καταδεικνύει λοιπόν, πώς ενώ η τεχνολογική και επιστημονική πρόοδος καθιστά την βελτίωση ενός κτιρίου εφικτή, το κανονιστικό πλαίσιο, η τρέχουσα πρακτική και η επιχειρηματική ανάλυση σε μία άλλη χώρα την αποτρέπουν. Έτσι ένα κτίριο που για τα δεδομένα του Βελιγραδίου θα είναι σύγχρονο και από τα πλέον σεισμικά ασφαλή, σε σειсмоγενείς χώρες της ΕΕ θα θεωρούνταν αντισεισμικά μη σύγχρονο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Πενέλης Λογισμικά Ε.Π.Ε. (2008) “eTools - Εγχειρίδιο Χρήσης”, Θεσσαλονίκη.

Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, ΕΑΚ 2000, ΟΑΣΠ & ΣΠΜΕ, 2004

Κανονισμοί Μελετών Τεχνικών Έργων (1970), ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη,

Computers and Structures Inc. (1999) “ETABS: Three dimensional static and dynamic finite element analysis and design of structures”, Berkeley, California.

Tower Software Code (2005), Copyright (c) Radimpex * <http://www.radimpex.co.yu> * e-mail:radimpex@eunet.yu

SDC 1981, Former Yugoslavia Code of Technical Regulations for the design and construction of Buildings in Seismic Regions, official Gazette of SFR 31/81

Eurocode 8, Design of structures for earthquake resistance, EN1998