

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΑΤΤΙΚΗΣ**
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



**ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ Ο.Σ. ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ
ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΑΡΙΑ ΚΟΥΡΚΟΥΝΑΚΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΡΕΠΑΠΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2023

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΚΑΘΗΓΗΤΗ	ΥΠΟΓΡΑΦΗ
Κωνσταντίνος Ρεπαπής (Επιβλέπων)	
Κωνσταντίνος Δημάκος (Εξεταστής)	
Ισαάκ Βρυζίδης (Εξεταστής)	

Δήλωση Συγγραφέα Διπλωματικής Εργασίας

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Μαρία Κουρκουνάκη του Χρήστου με αριθμό μητρώου (ΑΜ:15) retrofit-112 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα

ΚΟΥΡΚΟΥΝΑΚΗ ΜΑΡΙΑ



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών “Δομοστατικά Έργα” του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής (ΠΑΔΑ) κατά τη διάρκεια της ακαδημαϊκής χρονιάς 2022 – 2023. Αφορά στην αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό ενός υφιστάμενου κτιρίου με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, που αποτελείται από πέντε ορόφους. Η ανέγερση του κτιρίου πραγματοποιήθηκε την δεκαετία του 1960 πράγμα που σημαίνει πως έχει μελετηθεί και κατασκευαστεί σύμφωνα με τον πρώτο Αντισεισμικό Κανονισμό της Ελλάδας δηλαδή το ΒΔ του 1959. Το κτίριο λοιπόν μελετάται με βάση τον Κανονισμό Επεμβάσεων, 3^η Αναθεώρηση (ΚΑΝΕΠΕ 2022) και η μέθοδος ανάλυσης που χρησιμοποιείται τόσο για την αποτίμηση όσο και για τον ανασχεδιασμό του είναι η ανελαστική στατική ανάλυση (Pushover) μέσω του λογισμικού Seismostruct 2022. Τα αποτελέσματα της αποτίμησης είναι η ανάγκη επέμβασης στην κατασκευή με συγκεκριμένους τρόπους ενίσχυσης, λόγω της αστοχίας αρκετών δομικών στοιχείων, για τον συγκεκριμένο στόχο σχεδιασμού που έχει επιλεγεί εξ αρχής. Πραγματοποιείται λοιπόν ο ανασχεδιασμός μέσω των καταλληλότερων ενισχύσεων, οι οποίες αναλύονται εκτενώς, με σκοπό πάντα την εκπλήρωση του επιδιωκόμενου στόχου.

ABSTRACT

The present thesis was carried out within the framework of the postgraduate study program "Structural Engineering" of the Department of Civil Engineering Technology of the University of Western Attica (Uniwa) during the academic year 2022-2023. It concerns the evaluation and redesign of an existing five-story building with a load-bearing reinforced concrete structure. The building was constructed in the 1960s, which means that it has been studied and built according to the first Seismic Code of Greece, namely the Code of 1959. Therefore, the building is studied based on the Code of Interventions, 3rd Revision (KANEPE 2022), and the analysis method used for both the evaluation and the redesign is the inelastic static analysis (Pushover) through the Seismostruct 2022 static program. The results of the evaluation indicate the need for intervention in the construction with specific reinforcement methods due to the failure of several structural elements, for the specific design objective that was selected from the beginning. Therefore, redesign is carried out through the most appropriate reinforcements, which are extensively analyzed, always with the aim of fulfilling the desired goal.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ Κωνσταντίνο Ρεπαπή για την καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε καθώς και για τις γνώσεις που αποκόμισα μέσω της συνεργασίας μας.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου που στάθηκαν δίπλα μου όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

Τέλος, να ευχαριστήσω την εταιρεία Seismosoft για την άδεια χρήσης του λογισμικού τους, μέσω του οποίου εκτελέστηκαν όλες οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1.	Κεφάλαιο 1 ^ο : Εισαγωγή	13
2.	Κεφάλαιο 2 ^ο : Αποτίμηση και Ανασχεδιασμός Κατασκευών Βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ 14	
2.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	14
2.2	ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ ΚΑΝ.ΕΠΕ.....	15
2.2.1	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ.....	15
2.2.2	ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	15
2.2.3	ΤΟΙΧΟΠΟΙΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ	16
2.2.4	ΣΤΟΧΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	16
2.2.5	ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	18
2.2.6	ΣΤΑΘΜΕΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (ΣΑΔ)	19
2.2.7	ΚΥΡΙΑ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	20
3.	Κεφάλαιο 3 ^ο : Μέθοδοι Ανάλυσης Κατασκευών βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ	21
3.1	ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	21
3.2	ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (Pushover).....	21
4.	Κεφάλαιο 4 ^ο : Ενίσχυση Κατασκευών.....	23
4.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	23
4.2	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ	24
4.2.1	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΣ	24
4.2.1.1	ΕΙΔΗ ΜΑΝΔΥΩΝ ΟΣ.....	24
4.2.1.2	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΣΗ ΜΑΝΔΥΩΝ.....	26
4.2.1.3	ΕΙΔΙΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΜΑΝΔΥΩΝ	28
4.2.2	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΠΕΡΙΣΦΙΞΗ	28
4.2.2.1	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΑΝΔΥΑ ΑΠΟ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (FRPs).....	29
4.2.2.2	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥΣ ΜΑΝΔΥΕΣ.....	32
4.2.2.3	ΠΕΡΙΣΦΙΓΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	35
4.3	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΩΝ	35
4.3.1	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΟΣ (<i>Ενίσχυση σε Κάμψη</i>)	35
4.3.2	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΣ (<i>Ενίσχυση σε Κάμψη και Διάτμηση</i>)	37
4.3.3	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΑ ΧΑΛΥΒΔΙΝΑ ΕΛΑΣΜΑΤΑ (<i>Ενίσχυση σε Κάμψη</i>)	38
4.3.4	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (FRPs) (<i>Ενίσχυση σε κάμψη και διάτμηση</i>)	40

4.3.5	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (<i>Ενίσχυση σε κάμψη και διάτμηση</i>)	42
4.4	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΠΛΑΚΩΝ	44
4.5	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ	46
4.5.1	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΣ	46
4.5.2	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΛΩΒΟΥ	48
4.6	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	49
4.6.1	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΟΣ	49
4.6.2	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ (PANELS)51	
4.6.3	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΑΠΟ ΣΥΜΠΑΓΕΙΣ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΥΣ Η ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΛΙΝΘΟΥΣ	52
4.7	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΧΙΑΣΤΙ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΕΝΤΟΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ 52	
4.8	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΟΥ ΔΟΚΟΥ-ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ	53
4.8.1	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕ ΜΑΝΔΥΑ ΟΣ	53
4.8.2	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕ ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΑ ΧΑΛΥΒΔΙΝΑ ΕΛΑΣΜΑΤΑ Ή ΙΟΠ....	54
4.8.3	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕ ΧΙΑΣΤΙ ΚΟΛΛΑΡΑ	55
5.	Κεφάλαιο 5 ^ο : Περιγραφή και Προσομοίωση Υφιστάμενου Κτιρίου	57
5.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ	57
5.2	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ.....	57
5.3	ΥΛΙΚΑ.....	57
5.4	ΦΟΡΤΙΑ.....	58
5.5	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ	58
6.	Κεφάλαιο 6 ^ο : Αποτίμηση Υφιστάμενου Κτιρίου	62
6.1	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ	62
6.2	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ (Πιλοτή).....	68
6.3	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΤΩΝ ΔΥΟ ΚΤΙΡΙΩΝ	74
7.	Κεφάλαιο 7 ^ο : Ενίσχυση Υφιστάμενου Κτιρίου	76
7.1	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΑΝΔΥΩΝ ΟΣ	76
7.2	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (FRPs)	78
7.3	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΧΙΑΣΤΙ	80
7.4	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ	84
8.	Κεφάλαιο 8 ^ο : Συμπεράσματα	87
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	88

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Ελάχιστοι ανεκτοί στόχοι για αποτίμηση ή ανασχεδιασμό (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2022)	16
Πίνακας 2.2 Κατηγορίες Σπουδαιότητας κτιρίων (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2022)	17
Πίνακας 2.3 Ενδεικτική συσχέτιση περιόδου επαναφοράς και πιθανότητας υπέρβασης της σεισμικής δράσης με αντίστοιχη ανηγμένη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2022)	17
Πίνακας 2.4 Στόχοι Αποτίμησης ή Ανασχεδιασμού Φέροντος Οργανισμού (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2022)	18
Πίνακας 2.5 «Ερήμην» Αντιπροσωπευτικές Τιμές Θλιπτικής Αντοχής Σκυροδέματος (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2022, Παράρτημα 3.1)	20
Πίνακας 2.6 «Ερήμην» Αντιπροσωπευτικές Τιμές Διαρροής Χάλυβα Οπλισμού (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2022, Παράρτημα 3.1)	20
Πίνακας 2.7 «Ερήμην» Αντιπροσωπευτικές Τιμές Αντοχής Τοιχοπληρώσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2022, Παράρτημα 3.1)	20

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 3.1 Εξιδανίκευση μιας (σχηματικής) καμπύλης αντίστασης της κατασκευής με διγραμμική καμπύλη (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2022 Κεφ 5.7.3.4)	22
Σχήμα 4.1 Ενίσχυση υποστυλώματος με κλειστού τύπου μανδύα ΟΣ (ΟΑΣΠ 2001)	27
Σχήμα 4.2 Ενίσχυση υποστυλώματος με μανδύες ΟΣ (http://www.episkeves2.civil.upatras.gr/)	27
Σχήμα 4.3 Ενίσχυση υποστυλώματος με ανοιχτού τύπου μανδύα ΟΣ. α) αγκύρωση συνδετήρων με διαμπερή οπή και συγκόλληση β) αγκύρωση των συνδετήρων με συγκόλληση σε δύο γωνιακά βλητρωμένα (Σπυράκος 2005)	28
Σχήμα 4.4 Διαδικασία Εφαρμογής ΙΟΠ με ίνες Ανθρακα (CFRs) σε Υποσύλωμα Ισογείου σε Κτίριο Δεκαετίας 1970	32
Σχήμα 4.5 Ενίσχυση υποστυλώματος με μεταλλικό κλωβό (ΟΑΣΠ 2001)	34
Σχήμα 4.6 Ενίσχυση υποστυλώματος με ολόσωμο μεταλλικό μανδύα (http://www.eandas.gr/el/argiki/17-ypiresies?start=6)	34
Σχήμα 4.7 Ενίσχυση υποστυλώματος με μεταλλικό κλωβό (Εργασία Φοιτητή "Ενίσχυση Γραμμικών Στοιχείων Οπλισμένου Σκυροδέματος με την Τεχνική του Μεταλλικού Κλωβού")	34
Σχήμα 4.8 Τροποποιημένος καταστατικός νόμος περισφιγμένου σκυροδέματος (Δρίτσος 2005)	35
Σχήμα 4.9 Ενίσχυση κάτω πέλματος Δοκού με στρώσεις ΟΣ (Δρίτσος 2005)	36
Σχήμα 4.10 Ενίσχυση Δοκού με Κλειστού Τύπου Μανδύα ΟΣ (Δρίτσος 2005)	37

Σχήμα 4.11 Ενίσχυση Δοκού με Ανοιχτού Τύπου Μανδύα ΟΣ (Δρίτσος 2005)	38
Σχήμα 4.12 Ενίσχυση δοκού με επικολλητά χαλύβδινα ελάσματα στην εφελκυσόμενη παρειά μέσω σπειροειδούς ράβδου (Σπυράκος 2004)	39
Σχήμα 4.13 Ενίσχυση δοκού με επικολλητά χαλύβδινα ελάσματα στην εφελκυσόμενη παρειά μέσω ειδικών γωνιακών (ΟΑΣΠ 2001)	39
Σχήμα 4.14 Αστοχία στην περιοχή αγκύρωσης επικολλητών ελασμάτων δοκού στην εφελκυσόμενη παρειά (Σπυράκος 2004)	39
Σχήμα 4.15 Ενίσχυση δοκού με υφάσματα ιοπ κάθετα στον άξονα του μέλους με σκοπό την αύξηση της διατμητικής αντοχής του (https://monosimacon.blogspot.com)	41
Σχήμα 4.16 Ενίσχυση δοκού με υφάσματα ιοπ παράλληλα στον άξονα του μέλους με σκοπό την αύξηση καμπτικής αντοχής (https://em4c.gr/portfolio/dimos-iliou/)	41
Σχήμα 4.17 Ενίσχυση δοκού με επικολλητά χαλύβδινα ελάσματα στις δύο πλευρικές παρειές (σμέσω κοχλιών (Σπυράκος 2004)	43
Σχήμα 4.18 Ενίσχυση Δοκού με Συσφιγμένους Κοχλίες (Σπυράκος 2004)	43
Σχήμα 4.19 Ενίσχυση δοκού με κοχλιωμένο εφελκυσόμενο οπλισμό διατομής ανεστραμμένου Π (Σπυράκος 2004)	43
Σχήμα 4.20 Ενίσχυση δοκού με Εξωτερικούς χαλύβδινους συνδετήρες υπό γωνία 45° (Σπυράκος 2004)	43
Σχήμα 4.21 Ενίσχυση Δοκού με δύο εύκαμπτες μεταλλικές διατομές U (Σπυράκος 2004)	43
Σχήμα 4.22 Ενίσχυση Δοκού με προσθήκη νέας μεταλλικής δοκού στο μέσο ανοίγματος της πλάκας (Σπυράκος 2005)	44
Σχήμα 4.23 Ενίσχυση πλάκας με πρόσθετες στρώσεις οπλισμένου σκυροδέματος (Δρίτσος 2005)	45
Σχήμα 4.24 Ενίσχυση πλάκας με πρόσθετες στρώσεις οπλισμένου σκυροδέματος. Εναλλακτικοί τρόποι σύνδεσης διεπιφάνειας (Δρίτσος 2005)	45
Σχήμα 4.25 Ενίσχυση πλάκας με επικολλητά χαλύβδινα ελάσματα	45
Σχήμα 4.26 Ενίσχυση πλάκας με FRPs	46
Σχήμα 4.27 Γενική Διάταξη ενίσχυσης τοιχώματος με κλειστού τύπου μανδύα ΟΣ	47
Σχήμα 4.28 Τρόποι Εφαρμογής μανδύα ΟΣ σε τοιχώματα (Δρίτσος 2005)	47
Σχήμα 4.29 Ενισχύσεις Τοιχωμάτων με μανδύα ΟΣ (http://www.episkeves2.civil.upatras.gr/?page_id=1026)	48
Σχήμα 4.30 Ενίσχυση με προσθήκη τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος εντός πλαισίου (Γιάννακας Ν. Επισκευές και Ενισχύσεις των Κατασκευών https://eclass.hmu.gr/courses/TD141/)	50
Σχήμα 4.31 Θεμελίωση νέου τοιχώματος εντός υφιστάμενου πλαισίου (Δρίτσος 2005)	50
Σχήμα 4.32 Ενίσχυση κόμβου δοκού υποστυλώματος με μανδύα ΟΣ (Δρίτσος 2005) ..	54

Σχήμα 4.33 Ενίσχυση κόμβου δοκού υποστυλώματος με επικολλητά χαλύβδινα ελάσματα (Δρίτσος 2005)	55
Σχήμα 4.34 Ενίσχυση Κόμβου με χιαστί κολάρα α) Γενική διάταξη	56
Σχήμα 4.35 Εφαρμογή χιαστί Κολάρων σε εξωτερικούς Κόμβους	56
Σχήμα 5.1 Κατανομές Φόρτισης (https://www.lhlogismiki.gr/)	58
Σχήμα 5.2 Προσομοίωση κτιρίου Α χωρίς τοιχοπληρώσεις και κτίριο Β με τοιχοπληρώσεις (πilotή)	59
Σχήμα 5.3 Επιλεγμένες Στάθμες επιτελεστικότητας	61
Σχήμα 5.4 Ελαστικό φάσμα ΚΑΝ.ΕΠΕ	61
Σχήμα 6.1 Καμπύλη Ικανότητας κτιρίου για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου	62
Σχήμα 6.2 Στοιχεία διγραμμικής καμπύλης	62
Σχήμα 6.3 Πρώτες πλαστικές αρθρώσεις κτιρίου για μετακίνηση 0.012 m	63
Σχήμα 6.4 Αστοχία σε Τέμνουσα στοιχείων για Στάθμη επιτελεστικότητας (Β) «Σημαντικές Βλάβες»	64
Σχήμα 6.5 Διαρροή στοιχείων για Στάθμη επιτελεστικότητας (Β) «Σημαντικές Βλάβες»	64
Σχήμα 6.6 Παραμόρφωση κτιρίου στο βήμα 98 της ανάλυσης (φούξια και μωβ χρώμα διαρροή λόγω τέμνουσας, πορτοκαλί και κόκκινο αστοχία λόγω κάμψης)	64
Σχήμα 6.7 Καμπύλη ικανότητας κτιρίου για τριγωνική κατανομή φορτίου	65
Σχήμα 6.8 Στοιχεία διγραμμικής καμπύλης	65
Σχήμα 6.9 Πρώτες πλαστικές αρθρώσεις κτιρίου για μετακίνηση 0.012 m	66
Σχήμα 6.10 Αστοχία σε Τέμνουσα στοιχείων για Στάθμη επιτελεστικότητας (Β) «Σημαντικές Βλάβες»	67
Σχήμα 6.11 Διαρροή στοιχείων για Στάθμη επιτελεστικότητας (Β) «Σημαντικές Βλάβες»	67
Σχήμα 6.12 Παραμόρφωση κτιρίου στο βήμα 98 της ανάλυσης (φούξια και μωβ χρώμα διαρροή λόγω τέμνουσας, πορτοκαλί και κόκκινο αστοχία λόγω κάμψης)	67
Σχήμα 6.13 Καμπύλη ικανότητας κτιρίου για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου	68
Σχήμα 6.14 Στοιχεία διγραμμικής καμπύλης	68
Σχήμα 6.15 Πρώτες πλαστικές αρθρώσεις κτιρίου για μετακίνηση 0.006 m	69
Σχήμα 6.16 Αστοχία σε Τέμνουσα στοιχείων για Στάθμη επιτελεστικότητας (Β) «Σημαντικές Βλάβες»	70
Σχήμα 6.17 Παραμόρφωση κτιρίου στο βήμα 98 της ανάλυσης (φούξια και μωβ χρώμα διαρροή λόγω τέμνουσας, κόκκινο αστοχία λόγω κάμψης)	70
Σχήμα 6.18 Καμπύλη ικανότητας κτιρίου για τριγωνική κατανομή φορτίου	71

Σχήμα 6.19 Στοιχεία διγραμμικής καμπύλης	71
Σχήμα 6.20 Πρώτες πλαστικές αρθρώσεις κτιρίου για μετακίνηση 0.007 m	72
Σχήμα 6.21 Αστοχία σε Τέμνουσα στοιχείων για Στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»	73
Σχήμα 6.22 Παραμόρφωση κτιρίου στο βήμα 99 της ανάλυσης (φούξια και μωβ χρώμα διαρροή λόγω τέμνουσας, κόκκινο αστοχία λόγω κάμψης)	73
Σχήμα 7.1 Ενδεικτικές διατομές μανδύα υποστυλώματος τετραγωνικής και ορθογωνικής διατομής και διατομή μανδύα δοκού.	76
Σχήμα 7.2 Καμπύλη ικανότητας ενισχυμένου με μανδύα κτιρίου για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου	77
Σχήμα 7.3 Καμπύλη ικανότητας ενισχυμένου με μανδύα κτιρίου για τριγωνική κατανομή φορτίου	77
Σχήμα 7.4 Παραμορφωμένος φορέας για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου για Στάθμη Επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»	78
Σχήμα 7.5 Παραμορφωμένος φορέας για τριγωνική κατανομή φορτίου για Στάθμη Επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»	78
Σχήμα 7.6 Καμπύλη ικανότητας ενισχυμένου με υφάσματα ΙΟΠ κτιρίου για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου	79
Σχήμα 7.7 Καμπύλη ικανότητας ενισχυμένου με υφάσματα ΙΟΠ κτιρίου για τριγωνική κατανομή φορτίου	79
Σχήμα 7.8 Παραμορφωμένος φορέας για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου για Στάθμη Επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»	80
Σχήμα 7.9 Παραμορφωμένος φορέας για τριγωνική κατανομή φορτίου για Στάθμη Επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»	80
Σχήμα 7.10 τετράγωνη κοίλη διατομή SHS100X10.....	80
Σχήμα 7.11 Καμπύλη ικανότητας ενισχυμένου με μεταλλικά χιαστί κτιρίου για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου	81
Σχήμα 7.12 Καμπύλη ικανότητας ενισχυμένου με μεταλλικά χιαστί κτιρίου για τριγωνική κατανομή φορτίου	81
Σχήμα 7.13 Παραμορφωμένος φορέας για τριγωνική κατανομή φορτίου για Στάθμη Επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες». (φούξια χρώμα αστοχία λόγω τέμνουσας και πράσινο διαρροή)	82
Σχήμα 7.14 Παραμορφωμένος φορέας για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου για Στάθμη Επιτελεστικότητας (B) ». (φούξια χρώμα διαρροή λόγω τέμνουσας)	82
Σχήμα 7.15 Καμπύλη ικανότητας ενισχυμένου με μεταλλικά χιαστί και μανδύες ΟΣ κτιρίου για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου	82
Σχήμα 7.16 Καμπύλη ικανότητας ενισχυμένου με μεταλλικά χιαστί και μανδύες ΟΣ κτιρίου για τριγωνική κατανομή φορτίου	83

Σχήμα 7.17 Παραμορφωμένος φορέας για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου για Στάθμη Επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες». (φούξια χρώμα διαρροή λόγω τέμνουσας).....	84
Σχήμα 7.18 Παραμορφωμένος φορέας για τριγωνική κατανομή φορτίου για Στάθμη Επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»	84

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 6.1 Στοχευόμενη μετακίνηση και μετακίνηση αστοχίας κτιρίων	74
Διάγραμμα 6.2 Καμπύλες ικανότητας κτιρίων	75
Διάγραμμα 7.1 Στοχευόμενη μετακίνηση και μετακίνηση αστοχίας κτιρίων	85
Διάγραμμα 7.2 Φέρουσα ικανότητα κτιρίων	85
Διάγραμμα 7.3 Καμπύλες ικανότητας κτιρίων	86

1. Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή

Λόγω της μεγάλης σεισμικότητας που εμφανίζεται στον Ελλαδικό χώρο, πολλές κατασκευές χρήζουν επέμβασης με σκοπό την αποφυγή μη επιθυμητών συνεπειών, με κυριότερη αυτή της απώλειας ζωών. Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία λοιπόν, ασχολούμαστε με ένα υφιστάμενο πεντάωρο κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα, της δεκαετίας του 1960 το οποίο έχει μελετηθεί και κατασκευαστεί με τον Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959. Οι συνθήκες κατασκευής του λοιπόν, οδηγούν στην επιτακτική ανάγκη αποτίμησης του και έπειτα στην εύρεση βέλτιστης λύσης ενίσχυσης του καθώς τα αποτελέσματα της πρώτης δεν είναι ικανοποιητικά.

Παραθέτοντας και αναλύοντας κάποιες βασικές αρχές του Κανονισμού Επεμβάσεων, 3^η Αναθεώρηση (ΚΑΝ.ΕΠΕ) στο Κεφάλαιο 2, καταλήγουμε στην κατάλληλη μέθοδο ανάλυσης τόσο για την διαδικασία αποτίμησης καθώς και ανασχεδιασμού. Σκοπός των δύο αναλύσεων είναι η εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής για συγκεκριμένο στόχο. Ο στόχος αυτός αφορά στη συμπεριφορά του κτιρίου σε ενδεχόμενο σεισμό. Η μέθοδος η οποία θα μας δώσει τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα καθώς αφορά στην ρεαλιστική απόκριση του κτιρίου έναντι σεισμού, είναι η ανελαστική στατική ανάλυση (Pushover), η οποία και αναλύεται στο 3^ο Κεφάλαιο. Βάσει αυτής λοιπόν, θα καταλήξουμε και στην ανάγκη επέμβασης στην κατασκευή, και συγκεκριμένα στην ενίσχυση της αναλύοντας όσο δυνατόν περισσότερες τεχνικές και μεθόδους ενίσχυσης που επιλέγει ένας Πολιτικός Μηχανικός στο Κεφάλαιο 4.

Πιο συγκεκριμένα, στην προκειμένη περίπτωση προσομοιώσαμε την κατασκευή μέσω του λογισμικού Seismostruct, με στόχο Στάθμη επιτελεστικότητας (B1) «Σημαντικές Βλάβες» (Significant Damage) για σεισμό με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια, δηλαδή με περίοδο επαναφοράς 475 έτη. Η διαδικασία περιγραφής και προσομοίωσης του κτιρίου αναλύεται στο Κεφάλαιο 5. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων θα μας οδηγήσουν στην επέμβαση της κατασκευής με συγκεκριμένες μεθόδους ενίσχυσης, καθώς υπάρχουν αστοχίες σε κάποια δομικά στοιχεία του κτιρίου. Στα Κεφάλαιο 6 και 7 παρουσιάζεται λεπτομερώς η διαδικασία Αποτίμησης και Ενίσχυσης της υπό μελέτη κατασκευής, αναλύοντας την διαδικασία που πραγματοποιήθηκε στο στατικό πρόγραμμα Seismostruct, καθώς και τα αποτελέσματα που πήραμε μέσω αυτής. Καταλήγουμε λοιπόν σε ορισμένα συμπεράσματα (Κεφάλαιο 8) τα οποία λειτουργούν ως αρωγός κατανόησης της διαδικασίας ως σύνολο καθώς και των μεθόδων ενίσχυσης που επιλέχθηκαν.

2. Κεφάλαιο 2^ο: Αποτίμηση και Ανασχεδιασμός Κατασκευών Βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι περισσότερες κατασκευές στην Ελλάδα έχουν ανεγερθεί κατά την περίοδο 1960 έως 1985, αποτελώντας περίπου το 48% των δομημάτων. Με μία σύντομη αναδρομή στους κανονισμούς, είναι γνωστό πως πριν το 1959 δεν υπήρχε κάποιος αντισεισμικός κανονισμός, και τα κτίρια χτίζονταν χωρίς να υπάρχουν μελέτες (περίπου 30% των κτισμάτων). Ο πρώτος υποχρεωτικός Κανονισμός της Ελλάδας δημιουργήθηκε εκείνη τη χρονιά (ΑΚ 1959). Τότε λοιπόν, από το 1960 και έπειτα ξεκίνησε η μεγάλη ανοικοδόμηση στην Ελλάδα η οποία συνεχίστηκε σχεδόν μέχρι και το 1984, όπου εκείνη τη χρονιά, λόγω των καταστροφικών σεισμών που έπλητταν την χώρα, αποφάνθηκε η τροποποίηση του υπάρχοντος κανονισμού. Οι καταστροφές από σεισμούς και οι απώλειες τόσο των κτιρίων όσο και των ανθρώπινων ζωών συνεχίστηκαν και μετά από αυτή την τροποποίηση, φτάνοντας το 1992 στην δημιουργία του Νέου Αντισεισμικού Κανονισμού της Ελλάδας, ο γνωστός ΝΕΑΚ 1992, ο οποίος εφαρμόστηκε από το 1995, για πέντε χρόνια. Φτάνουμε λοιπόν το 2000 στην τροποποίηση του ΝΕΑΚ 1992, δημιουργώντας τον ΕΑΚ 2000 ο οποίος ενσωματώθηκε πλήρως στους Ευρωπαϊκούς κανονισμούς EC7 και EC8. Γενικότερα αξίζει να σημειωθεί πως οι βασικές αλλαγές που προέκυψαν στους νεότερους κανονισμούς σχετίζονται με την αμιγώς χρήση λογισμικού ανάλυσης, τον υψηλότερο σεισμικό συντελεστή σχεδιασμού, την χρήση ποιοτικότερων υλικών, την δυνατότητα ανάλυσης πολυπλοκότερων συστημάτων, την χρήση ικανοτικού ελέγχου και την χρήση περισσότερων συνδετήρων στα υποστυλώματα και στους κόμβους δοκών υποστυλωμάτων, συνθήκες οι οποίες δεν υφίστανται παλαιότερα. (Καρύδης, 2021)

Έτσι λοιπόν, διαπιστώνουμε, βάσει ποσοστών πως τα περισσότερα κτίρια στην Ελλάδα έχουν χτιστεί πριν από πολλά χρόνια, με τα περισσότερα των οποίων να μην ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των σημερινών αντισεισμικών κανονισμών. Αυτό σημαίνει πως τα κτίσματα αυτά χρήζουν μελέτης και κατ' επέκταση επισκευής ή ενίσχυσης. Για τον λόγο αυτό, η αποτίμηση τους, με σκοπό να καταλήξουμε στα επόμενα βήματα αποτελεί τη μοναδική λύση. Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ (Κανονισμός Επεμβάσεων Υφιστάμενων Κτιρίων), είναι κανονισμός ο οποίος δημιουργήθηκε το 2000, και αφορά στα υφιστάμενα κτίρια, με σκοπό τον έλεγχο επάρκειας τους αλλά και τον βαθμό επέμβασης σε αυτά. Παρακάτω, θα αναλυθούν οι βασικές αρχές του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ ΚΑΝ.ΕΠΕ

Ο Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ) δημιουργήθηκε με σκοπό την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και τον ανασχεδιασμό των υφιστάμενων κτιρίων από σπλισμένο σκυρόδεμα, με τις κατάλληλες μεθόδους και τεχνικές, σε βαθμό που θα ωφελήσει τόσο τα κτίρια με βλάβες όσο και τα κτίρια χωρίς βλάβες.

2.2.1 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Η αποτίμηση συγκεκριμένα, αναφέρεται στην αξιολόγηση της υπάρχουσας κατάστασης μιας κατασκευής και πραγματοποιείται μέσω της συλλογής στοιχείων, της ανάλυσης της και τον έλεγχο οριακών καταστάσεων.

Σκοπός της είναι η αξιολόγηση της φέρουσας ικανότητας και ο έλεγχος ικανοποίησης των ελάχιστων υποχρεωτικών απαιτήσεων που αναφέρονται στους ισχύοντες κανονισμούς. Η φέρουσα ικανότητα εκτιμάται μέσω της αξιολόγησης του ιστορικού του κτιρίου, δηλαδή μέσω της καταγραφής των φάσεων κατασκευής, τις πιθανές μεταγενέστερες επεμβάσεις ή αλλαγές χρήσης, και μέσω των διερευνητικών εργασιών για συγκέντρωση επιπλέον στοιχείων. Οι διερευνητικές αυτές εργασίες περιλαμβάνουν την καταγραφή μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών, την αποτύπωση αφανών δομικών στοιχείων, το έδαφος θεμελίωσης και άλλα βασικά στοιχεία του δομήματος. Η αξιοπιστία όλων των στοιχείων πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη καθώς θα καθορίσει και την διαδικασία επέμβασης ή μη.

2.2.2 ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ο ανασχεδιασμός υφιστάμενων κατασκευών περιλαμβάνει την σύλληψη και τον προκαταρκτικό σχεδιασμό, την ανάλυση και τον έλεγχο οριακών καταστάσεων.

- Η απόφαση στρατηγικής, σε κάθε περίπτωση πρέπει να παίρνεται συλλογικά βάσει των όσων προέκυψαν από τις πληροφορίες που λήφθηκαν κατά την αποτίμηση της κατασκευής. Βάσει βασικών χαρακτηριστικών του κτιρίου, όπως είναι η έλλειψη αντοχής ή δυσκαμψίας ή πλαστιμότητας κ.α. Πέραν της ανάλυσης ανασχεδιασμού της κατασκευής, βασικό βήμα είναι ο εντοπισμός ατελειών και γενικότερα ο έλεγχος επάρκειας των δομικών στοιχείων, διαδικασία η οποία επιτυγχάνεται μέσω της ανελαστικής στατικής ανάλυσης. Μέσω της ανελαστικής στατικής ανάλυσης μπορεί να επιτευχθεί και ο προκαταρκτικός σχεδιασμός των επεμβάσεων.
- Η επιλογή της μεθόδου ανάλυσης του υφιστάμενου κτιρίου γίνεται βάσει του βαθμού επάρκειας των δεδομένων που έχουμε για αυτό σχετικά με τις διατομές και τις αντοχές των στοιχείων του, καθώς και με την σπουδαιότητα και τις βλάβες που πιθανόν έχουμε.
- Οι έλεγχοι ασφαλείας είναι πολύ σημαντικοί, για αυτόν τον λόγο οι συντελεστές ασφαλείας υφιστάμενων ή προστιθέμενων υλικών θα λαμβάνουν υπόψη τις

αβεβαιότητες της γεωμετρίας των υλικών καθώς και εκείνες που μπορεί να προκύψουν λόγω των εργασιών.

2.2.3 ΤΟΙΧΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ

- Δεν επιτρέπεται να λαμβάνονται υπόψη στην ανάληψη μη σεισμικών δράσεων
- Συνίσταται να λαμβάνονται υπόψη στην ανάληψη σεισμικών δράσεων
- Λαμβάνονται υπόψη υποχρεωτικά στην ανάληψη σεισμικών δράσεων όταν η συνεισφορά τους συνεπάγεται δυσμενή αποτελέσματα για τον φέροντα οργανισμό.
- Όλα τα παραπάνω δεν ισχύουν για φέρουσες τοιχοποιίες.
- Όλα τα παραπάνω ισχύουν για την αποτίμηση και για τον ανασχεδιασμό.

2.2.4 ΣΤΟΧΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Η αποτίμηση και ο ανασχεδιασμός κάθε κτιρίου αποτελεί μια ξεχωριστή και μοναδική περίπτωση για την οποία πρέπει να ληφθεί υπόψη ο στόχος των δύο αυτών ενεργειών, καθώς και το νομοθετικό πλαίσιο βάσει του οποίου θα κινηθούν όλες οι διαδικασίες. **Ο στόχος αποτίμησης ή ανασχεδιασμού** αναφέρεται στην **στάθμη επιτελεστικότητας** και μια **συγκεκριμένη σεισμική δράση** (σεισμός σχεδιασμού, ο σεισμός δηλαδή που περιμένουμε να συμβεί), οι οποίες έχουν επιλεγεί από τον Μηχανικό και τον Κύριο του έργου, ενώ το νομοθετικό πλαίσιο ορίζεται από τον Μηχανικό ο οποίος γνωρίζει τις ισχύουσες νομοθεσίες. Η σεισμική αυτή δράση έχει κάποια ανεκτή πιθανότητα υπέρβασης κατά τη διάρκεια ζωής του κτιρίου (50 χρόνια), η οποία επιλέγεται συνδυαστικά με την στάθμη επιτελεστικότητας (Πίνακες 2.3 και 2.4). Μετά τον ανασχεδιασμό η κατασκευή, για την ακρίβεια η διαθέσιμη φέρουσα ικανότητα της κατασκευής θα πρέπει να ανταποκρίνεται πλήρως στον στόχο που έχει επιλεγεί εξ αρχής. Πιο αναλυτικά, ο επιλεγέντας στόχος που συνάδει ουσιαστικά με τη στάθμη επιτελεστικότητας, αφορά τη στοχευόμενη συμπεριφορά του κτίριο σε ενδεχόμενο σεισμού σχεδιασμού.

Γενικά αξίζει να σημειωθεί πως για την επιλογή των στόχων αποτίμησης και ανασχεδιασμού λαμβάνονται υπόψη και άλλα κριτήρια όπως είναι η κοινωνική σπουδαιότητα του κτιρίου, η οποία καθορίζει ταυτοχρόνως και τον ελάχιστο ανεκτό στόχο αποτίμησης ή ανασχεδιασμού (Πίνακες 2.1 και 2.2) και τα οικονομικά μέσα που διατίθενται. Ακόμα, ενδιαφέρον αποτελεί το γεγονός πως ο στόχος αποτίμησης δεν είναι απαραίτητο να είναι ίδιος με τον στόχο ανασχεδιασμού, καθώς είναι πιθανόν ο δεύτερος να είναι μεγαλύτερος από τον πρώτο.

Πίνακας 2.1 Ελάχιστοι ανεκτοί στόχοι για αποτίμηση ή ανασχεδιασμό (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2022)

Κατηγορία Σπουδαιότητας	Ελάχιστοι Ανεκτοί Στόχοι
I	Γ2
II	Γ1
III	B1
IV	B1 και A2 (Ικανοποίηση και των δύο στόχων)

Πίνακας 2.2 Κατηγορίες Σπουδαιότητας κτιρίων (KAN.ΕΠΕ 2022)

Κατηγορία Σπουδαιότητας	Κτίρια
I	Κτίρια μικρής σπουδαιότητας ως προς την ασφάλεια του κοινού, <u>όπως</u> : αγροτικά οικήματα και αγροτικές αποθήκες, υπόστεγα, στάβλοι, βουστάσια, χοιροστάσια, ορνιθοτροφεία, κ.λπ.
II	Συνήθη κτίρια, <u>όπως</u> : κατοικίες και γραφεία, βιομηχανικά - βιοτεχνικά κτίρια, ξενοδοχεία (τα οποία δεν περιλαμβάνουν χώρους συνεδρίων), ξενώνες, οικοτροφεία, χώροι εκθέσεων, χώροι εστίασεως και ψυχαγωγίας (ζαχαροπλαστεία, καφενεία, μπάρ, κ.λπ.), τράπεζες, ιατρεία, αγορές, υπεραγορές, εμπορικά κέντρα, καταστήματα, φαρμακεία, κουρεία, κομμωτήρια, ινστιτούτα γυμναστικής, βιβλιοθήκες, εργοστάσια, συνεργεία συντήρησης και επισκευής αυτοκινήτων, βαφεία, ξυλουργεία, εργαστήρια ερευνών, παρασκευαστήρια τροφίμων, καθαριστήρια, κέντρα μηχανογράφησης, αποθήκες, κτίρια στάθμευσης αυτοκινήτων, πρατήρια υγρών καυσίμων, αερογυγνήτριες, γραφεία δημοσίων υπηρεσιών και τοπικής αυτοδιοίκησης που δεν εμπίπτουν στην κατηγορία IV, κ.λπ.
III	Κτίρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας, καθώς και κτίρια δημοσίων συναθροίσεων και γενικός κτίρια στα οποία ενδέχεται πολλοί άνθρωποι κατά μεγάλο μέρος του 24ώρου, <u>όπως</u> : αίθουσες αεροδρομίων, χώροι συνεδρίων, κτίρια που στεγάζουν υπολογιστικά κέντρα, ειδικές βιομηχανίες, εκπαιδευτικά κτίρια, αίθουσες διδασκαλίας, φροντιστήρια, νηπιαγωγεία, χώροι συναυλιών, αίθουσες δικαστηρίων, ναοί, χώροι αθλητικών συγκεντρώσεων, θέατρα, κινηματογράφοι, κέντρα διασκέδασης, αίθουσες αναμονής επιβατών, ψυχιατρεία, ιδρύματα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ιδρύματα χρονίως πασχόντων, οίκοι ευγηρίας, βρεφοκομεία, βρεφικοί σταθμοί, παιδικό σταθμοί, παιδότοποι, αναμορφωτήρια, φυλακές, εγκαταστάσεις καθαρισμού νερού και αποβλήτων, κ.λπ.
IV	Κτίρια των οποίων η λειτουργία, τόσο κατά την διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά τους σεισμούς, είναι ζωτικής σημασίας, <u>όπως</u> : κτίρια τηλεπικοινωνίας, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, κλινικές, αγροτικά ιατρεία, υγειονομικοί σταθμοί, κέντρα υγείας, διυλιστήρια, σταθμοί παραγωγής ενέργειας, πυροσβεστικοί και αστυνομικοί σταθμοί, κτίρια δημοσίων επιτελικών υπηρεσιών για την αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών από σεισμό. Κτίρια που στεγάζουν έργα μοναδικής καλλιτεχνικής αξίας, <u>όπως</u> : μουσεία, αποθήκες μουσείων, κ.λπ.

Πίνακας 2.3 Ενδεικτική συσχέτιση περιόδου επαναφοράς και πιθανότητας υπέρβασης της σεισμικής δράσης με αντίστοιχη ανηγμένη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση (KAN.ΕΠΕ 2022)

Περίοδος Επαναφοράς (έτη)	Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών	$a_g / a_{g,ref}$
2475	2%	1.80
975	5%	1.30
475	10%	1.00
225	20%	0.75
135	30%	0.60
70	50%	0.45
40	70%	0.35
20	90%	0.25
<20	>90%	<0.25

Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζεται η ενδεικτική συσχέτιση της περιόδου επαναφοράς και της αντίστοιχης πιθανότητας υπέρβασης της σεισμικής δράσης, εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών, με την αντίστοιχη ανηγμένη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση.

Πίνακας 2.4 Στόχοι Αποτίμησης ή Ανασχεδιασμού Φέροντος Οργανισμού (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2022)

$a_g / a_{g,ref}$	Στάθμη Επιτελεστικότητας Φέροντος Οργανισμού		
	Α «Περιορισμένες Βλάβες»	Β «Σημαντικές Βλάβες»	Γ «Οιονεί Κατάρρευση»
1.80	A0	B0	G0
1.30	A1 ⁺	B1 ⁺	G1 ⁺
1.00	A1	B1	G1
0.75	A2 ⁺	B2 ⁺	G2 ⁺
0.60	A2	B2	G2
0.45	A3 ⁺	B3 ⁺	G3 ⁺
0.35	A3	B3	G3
0.25	A4 ⁺	B4 ⁺	G4 ⁺
<0.25	A4	B4	G4

Στον Πίνακα 2.4 παρουσιάζεται η συσχέτιση της στάθμης επιτελεστικότητας του φέροντος οργανισμού με την αντίστοιχη ανηγμένη οριζόντια επιτάχυνση.

$a_{g,ref}$: είναι η οριζόντια εδαφική επιτάχυνση αναφοράς που ορίζεται με πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης 10% στα 520 χρόνια συμβατικής ζωής του έργου.

a_g : είναι η οριζόντια εδαφική επιτάχυνση.

2.2.5 ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Πριν εμβαθύνουμε, απαραίτητο είναι να αποσαφηνιστεί πως η αναφορά στα φέροντα στοιχεία ενός κτιρίου αφορά στα στοιχεία εκείνα που φέρουν τα κατακόρυφα φορτία, ενώ τα μη φέροντα περιλαμβάνουν εκείνα που δεν συμβάλλουν καθόλου στην κατανομή των φορτίων.

Οι στάθμες επιτελεστικότητας λοιπόν, δηλαδή η επιθυμητή συμπεριφορά του κτιρίου για συγκεκριμένο σεισμό, χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες βάσει τον Κανονισμό Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022):

- *Περιορισμένες Βλάβες (Α)* : Τα στοιχεία του φέροντα οργανισμού δεν φέρουν σοβαρές βλάβες, μόνο ελαφριές διατηρώντας την αντοχή και δυσκαμψία τους. Το κτίριο συνεχίζει να λειτουργεί κανονικά και οι μόνιμες μετακινήσεις των ορόφων θεωρούνται αμελητέες. Οι πιθανές βλάβες που ενδεχομένως θα συμβούν αφορούν στις αραιές καμπτικές ρωγμές υποστυλωμάτων ή τοιχωμάτων και στην ρηγμάτωση των τοιχοπληρώσεων χωρίς την απώλεια επιχρισμάτων.
- *Σημαντικές Βλάβες (Β)* : Τα στοιχεία του φέροντα οργανισμού έχουν υποστεί σημαντικές βλάβες αλλά επισκευάσιμες, έχοντας εναπομένουσα αντοχή και δυσκαμψία. Δεν υπάρχει πιθανότητα να προκληθούν σοβαροί τραυματισμοί κατά τον σεισμό ή πτώσεις του μη φέροντος οργανισμού, και οι μόνιμες μετακινήσεις των ορόφων είναι μέτριου μεγέθους. Ενδεχόμενες βλάβες του μη φέροντος οργανισμού είναι οι πυκνές ρηγματώσεις και πτώσεις επιχρισμάτων και τοιχοποιίας, ενώ στα φέροντα στοιχεία υπάρχει η εμφάνιση καμπτικών και διατμητικών ρωγμών, τοπικός λυγισμός διαμήκους οπλισμού και άνοιγμα μερικών συνδετήρων σε μικρό αριθμό υποστυλωμάτων ή τοιχωμάτων. Παρ' όλα αυτά, ο φέρων οργανισμός είναι σε θέση να αντέξει μέτριας έντασης μετασεισμούς.

- *Οιονεί Κατάρρευση (Γ)* : Τα στοιχεία του φέροντα οργανισμού έχουν υποστεί εκτεταμένες και σοβαρές βλάβες, οι οποίες δεν μπορούν απλώς να επισκευαστούν, αλλά επιβάλλεται να ενισχυθούν, εάν αυτό είναι δυνατόν. Υπάρχει ακόμα βέβαια η δυνατότητα τους να φέρουν τα φορτία για κάποιο χρονικό διάστημα μετά το σεισμό, χωρίς αυτό να σημαίνει πως μπορούν να αντέξουν σε έναν ενδεχόμενο μετασεισμό ή πως δεν θα πραγματοποιηθεί κατάρρευση μετά από κάποιο χρόνο. Κατά τη διάρκεια του σεισμού δεν αποκλείονται οι σοβαροί τραυματισμοί και οι πτώσεις μη φερόντων στοιχείων. Οι βλάβες που προκαλούνται σχετίζονται με την αποδιοργάνωση του πυρήνα του σκυροδέματος, τις τοπικές θραύσεις και το άνοιγμα των συνδετήρων, ενώ διαπιστώνεται η ολική κατάρρευση ορισμένων στοιχείων του μη φέροντα οργανισμού.

2.2.6 ΣΤΑΘΜΕΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (ΣΑΔ)

Η στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων είναι μία συνθήκη η οποία εκφράζει την κλίμακα της επάρκειας δεδομένων και πληροφοριών που έχουμε για το υφιστάμενο κτίριο. Προκύπτει δηλαδή από την συλλογή στοιχείων και το ιστορικό του κτιρίου και λαμβάνεται απαραίτητως υπόψη κατά την αποτίμηση αλλά και κατά τον ανασχεδιασμό. Η ΣΑΔ μπορεί να διαφέρει από όροφο σε όροφο και από στοιχείο σε στοιχείο, είναι δηλαδή πιθανό να μην υπάρχει μία ενιαία ΣΑΔ για το σύνολο του υφιστάμενου κτιρίου που μελετάται.

Οι Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων είναι τρεις:

1. Υψηλή
2. Ικανοποιητική
3. Ανεκτή

Ο προσδιορισμός λοιπόν της ΣΑΔ ενός κτιρίου πραγματοποιείται και εξαρτάται από συγκεκριμένες συνθήκες επάρκειας οι οποίες διαφέρουν για σκυρόδεμα, για χάλυβα, για τοίχους πλήρωσης και σχετίζονται με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατασκευής, τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών καθώς και τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες. Περισσότερες λεπτομέρειες αναφέρονται στο Κεφάλαιο 3.6 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Σύμφωνα με το Παράρτημα 3.1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ., υπάρχουν κάποιες “ερήμην” αντιπροσωπευτικές τιμές αντοχής των υλικών (Πίνακες 2.5, 2.6 και 2.7), οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να οριστούν και διαφορετικά αναλόγως την περίπτωση, μετά από απόφαση της Δημόσιας Αρχής, με σχετική Υπουργική Απόφαση, συνδυαστικά με επιπλέον διαθέσιμες πληροφορίες και αξιόπιστα στοιχεία. Βάσει του Κεφαλαίου 3.7 του ΚΑΝ.ΕΠΕ, επιτρέπεται η χρήση των “ερήμην” αυτών τιμών αντοχής υλικών, με Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων ΣΑΔ_γ η οποία αναφέρεται στα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών, για το σκυρόδεμα και τις τοιχοπληρώσεις να θεωρείται “ανεκτή” και για τον χάλυβα οπλισμού “ικανοποιητική”.

Πίνακας 2.5 «Ερήμην» Αντιπροσωπευτικές Τιμές Θλιπτικής Αντοχής Σκυροδέματος (KAN.ΕΠΕ 2022, Παράρτημα 3.1)

Εφαρμοσθέντες Κανονισμοί Μελέτης και Κατασκευής	«Ονομαστική» Μέση τιμή f_{cm} (MPa)	«Χαρακτηριστική» Μέση τιμή μείον μία τυπική απόκλιση f_{ck} (MPa)
... < 1985	13	9
1985 ≤ ...	17	13

Πίνακας 2.6 «Ερήμην» Αντιπροσωπευτικές Τιμές Διαρροής Χάλυβα Οπλισμού (KAN.ΕΠΕ 2022, Παράρτημα 3.1)

Κατηγορία Χάλυβα Οπλισμού	«Ονομαστική» Μέση τιμή f_{ym} (MPa)	«Χαρακτηριστική» Μέση τιμή μείον μία τυπική απόκλιση f_{yk} (MPa)
S220 & Stahl I	280	240
S400 & Stahl III	450	410
S500 & Stahl IV	520	500

Πίνακας 2.7 «Ερήμην» Αντιπροσωπευτικές Τιμές Αντοχής Τοιχοπληρώσεων (KAN.ΕΠΕ 2022, Παράρτημα 3.1)

Αντοχή	Τοιχοπλήρωση	Ποιότητα Δόμησης και Σφήνωσης		
		Καλή	Μέση	Κακή
Δοξή Θλίψη $f_{nc,z}$ (MPa)	Μπατικός	2.00	1.50	1.00
	Δρομικός	1.50	1.00	0.75
Διαγώνια Ρηγμάτωση f_{rt} (MPa)	Μπατικός	0.25	0.20	0.15
	Δρομικός	0.20	0.15	0.10

2.2.7 ΚΥΡΙΑ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Για την καλύτερη ανάλυση της υπό μελέτη κατασκευής καλό είναι να παρθούν κάποιες αποφάσεις από τον αρμόδια μηχανικό σχετικά με τα δομικά στοιχεία του κτιρίου. Ο διαχωρισμός των κύριων και δευτερευόντων φερόντων στοιχείων, αποτελεί πολύ βασικό κομμάτι καθώς δίνει τη δυνατότητα σωστής αξιολόγησης της κατασκευής. Πιο συγκεκριμένα, τα οριζόμενα ως δευτερεύοντα στοιχεία αφενός συνεισφέρουν στην ανάληψη και μεταφορά των κατακόρυφων φορτίων αφετέρου η αντίστασή τους στο σεισμό δεν είναι μεγάλης αξίας ή η γενικότερη συνεισφορά τους θεωρείται αναξιοπίστη λόγω έλλειψης δυσκαμψίας, πλαστιμότητας ή αντοχής. Για αυτόν τον λόγο, για να μην θεωρηθεί κάποιο δόμημα ακατάλληλο ή ανεπαρκές, επιτρέπονται στα δευτερεύοντα στοιχεία οι μεγαλύτερες μετακινήσεις και γενικότερα υπάρχουν συγκεκριμένοι έλεγχοι για κύρια και δευτερεύοντα στοιχεία, ώστε να μην υπάρξει κίνδυνος ακαταλληλότητας κτιρίου εξαιτίας μεμονωμένων μελών.

3. Κεφάλαιο 3^ο: Μέθοδοι Ανάλυσης Κατασκευών βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ

3.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Οι μέθοδοι ανάλυσης μιας κατασκευής οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν πριν αλλά και μετά την επέμβαση, δηλαδή και για την αποτίμηση αλλά και για τον ανασχεδιασμό, κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ είναι οι εξής:

- Ελαστική (ισοδύναμη) στατική ανάλυση, με καθολικό δείκτη συμπεριφορά (q) ή τοπικό δείκτη (m)
- Ελαστική δυναμική ανάλυση, με καθολικό δείκτη συμπεριφοράς (q) ή τοπικό δείκτη (m)
- Ανελαστική στατική ανάλυση (Pushover)
- Ανελαστική δυναμική ανάλυση (ανάλυση χρονοϊστορίας)

Αξίζει να σημειωθεί πως όλες οι ανελαστικές αναλύσεις αποσκοπούν στον πιο ρεαλιστικό προσδιορισμό της σεισμικής απόκρισης μιας κατασκευής καθώς λαμβάνουν υπόψη την ανελαστική συμπεριφορά του δομήματος. Μια κατασκευή περνάει από την ελαστική στην ανελαστική περιοχή πράγμα το οποίο δίνει πιο σαφείς πληροφορίες σχετικά με τους μηχανισμούς αστοχίας καθώς και με το ενδεχόμενο κατάρρευσης. Αντίθετα, οι ελαστικές αναλύσεις περιορίζονται στην συμπεριφορά του κτιρίου κατά την ελαστική του συμπεριφορά, λαμβάνοντας υπόψη μόνο την ελαστική συμπεριφορά των μελών, απορρίπτοντας το ενδεχόμενο αστοχίας των μελών, πράγμα το οποίο δεν είναι αντικειμενικά ρεαλιστικό.

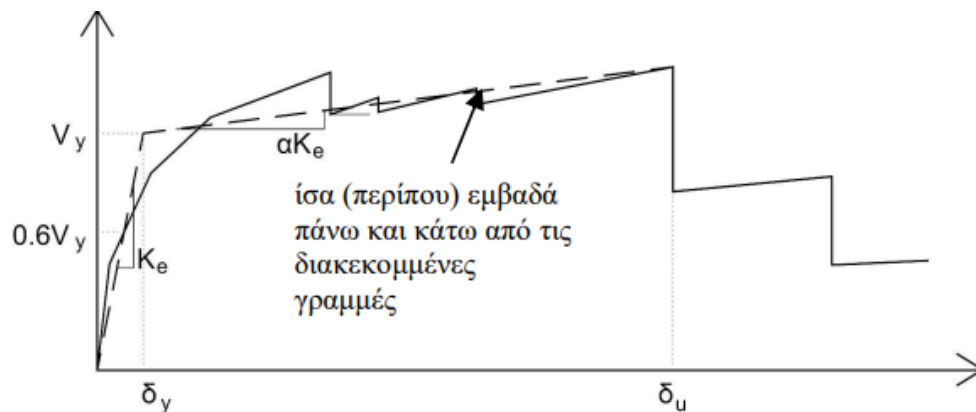
3.2 ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (Pushover)

Βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ, ο **κύριος στόχος** της συγκεκριμένης ανάλυσης είναι η εκτίμηση των ανελαστικών παραμορφώσεων των δομικών στοιχείων λόγω σεισμικής δράσης. Η ανελαστική (δηλαδή μη γραμμική) συμπεριφορά των κατασκευών είναι αναμενόμενη, κατά τη διάρκεια ισχυρών σεισμών, επομένως αποτελεί μία αξιόπιστη μέθοδο μέσω της οποίας λαμβάνουμε σημαντικά αξιολογικά συμπεράσματα. Η διαδικασία αποτελεί την προσομοίωση του υπό μελέτη κτιρίου κατά το στάδιο αποτίμησης, με μη γραμμικά στοιχεία και εφαρμόζεται μια σεισμική ένταση μέσω μιας οριζόντιας στατικής φόρτισης η οποία αυξάνεται σταδιακά. Η οριζόντια αυτή φόρτιση κλιμακώνεται έως την κατάρρευση του δομήματος. Η κατάρρευση αυτή θεωρείται ως η δημιουργία πλαστικού μηχανισμού ή ως η αδυναμία της κατασκευής να αναλάβει τα κατακόρυφα φορτία του. Από αυτή τη διαδικασία προκύπτει η καμπύλη αντίστασης/καμπύλη ικανότητας του φορέα η οποία απεικονίζει την τέμνουσα βάσης και την μετακίνηση χαρακτηριστικού σημείου του κτιρίου, δηλαδή του κόμβου ελέγχου. Ως κόμβος ελέγχου θα λαμβάνεται το κέντρο μάζας της οροφής του κτιρίου.

Συγκεκριμένα, αυτή η **καμπύλη αντίστασης/ικανότητας** συνοψίζει όλη την ελαστική και μετελαστική συμπεριφορά της κατασκευής, προσφέροντας κάποια συμπεράσματα που αφορούν το κτίριο, τα οποία εκτιμώνται στην περίπτωση αποτίμησης και

ανασχεδιασμού με σκοπό τον καθορισμό των επόμενων βημάτων που θα ακολουθήσουν (επέμβαση ή μη). Αναλυτικότερα, μέσω της καμπύλης αυτής πραγματοποιούνται όλοι οι έλεγχοι ικανοποίησης της απαίτησης της κατασκευής. Πιο συγκεκριμένα, **η απαίτηση της κατασκευής είναι ουσιαστικά, η στοχευόμενη μετατόπιση δ_i** την οποία ορίζει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ βάσει του στόχου σχεδιασμού, βάσει δηλαδή της επιλεχθείσας στάθμης επιτελεστικότητας, του σεισμικού χάρτη (σεισμική ζώνη κτιρίου) και των χαρακτηριστικών της κατασκευής. Στο σημείο λοιπόν της στοχευόμενης μετατόπισης θα ελέγξουμε τι συμβαίνει στην κατασκευή, παίρνοντας έτσι τα συμπεράσματα που ζητάμε για να κινηθούμε αναλόγως.

Αξίζει να σημειωθεί πως για την εφαρμογή της συγκεκριμένης ανάλυσης η Στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων πρέπει να είναι τουλάχιστον “ικανοποιητική”, ενώ γενικά εφαρμόζεται σε κτίρια στα οποία η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών δεν θεωρείται σημαντική. Σε περιπτώσεις όπου η επιρροή των ιδιομορφών θεωρείται σημαντική, η ανελαστική στατική ανάλυση εφαρμόζεται σε συνδυασμό με μια συμπληρωματική ελαστική δυναμική ανάλυση, ανεξαρτήτως των υπόλοιπων προϋποθέσεων εφαρμογής της δεύτερης. Ακόμα, πραγματοποιείται η εξιδανίκευση της καμπύλης αντίστασης, η λεγόμενη διγραμμικοποίηση της, με σκοπό τον υπολογισμό της ισοδύναμης πλευρικής δυσκαμψίας K_e και της αντίστοιχης δύναμης διαρροής V_y (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1 Εξιδανίκευση μιας (σχηματικής) καμπύλης αντίστασης της κατασκευής με διγραμμική καμπύλη (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2022 Κεφ 5.7.3.4)

- K_e : Ισοδύναμη πλευρική δυσκαμψία
- a : Ανοιγμένη κλίση του δεύτερου κλάδου
- V_y : Δύναμη διαρροής
- δ_y : Μετακίνηση διαρροής
- δ_u : Μετακίνηση αστοχίας

4. Κεφάλαιο 4^ο: Ενίσχυση Κατασκευών

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Πολλές κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα βρίσκονται κοντά στο όριο διάρκειας ζωής τους, άλλες καταπονούνται σε μεγαλύτερο βαθμό λόγω φθοράς καιρικών συνθηκών και άλλες λόγω έντονης σεισμικής δράσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, καθώς επίσης και σε ενδεχόμενη αλλαγής χρήσης τους, προσθήκες ή αλλαγές στις απαιτήσεις των αντισεισμικών κατασκευών, οι κατασκευές χρήζουν ενίσχυσης.

Η ενίσχυση των κατασκευών αποτελεί μία διαδικασία διερεύνησης και μελέτης της υφιστάμενης κατάστασης της κατασκευής καθώς και αξιολόγησης της. Ο αρμόδιος μηχανικός θα πρέπει να είναι σε θέση να κρίνει τον βαθμό φθοράς και έπειτα τον βαθμό επέμβασης, να επιλέξει την πλέον συμφέρουσα από οικονομικής άποψης λύση καθώς και την πιο αποδοτική με κύριο στόχο την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα. Ουσιαστικά, η ενίσχυση μιας κατασκευής επιλέγεται στις περιπτώσεις όπου θέλουμε να αυξήσουμε την φέρουσα ικανότητα των δομικών στοιχείων, κατά επέκταση της κατασκευής, σε σχέση με αυτή του αρχικού σχεδιασμού. Η μεθοδολογία και οι τρόποι επέμβασης και ενίσχυσης ενός κτίσματος έχουν εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό τα τελευταία χρόνια, καθώς έχουν ανακαλυφθεί πολλές νέες τεχνικές. Παρόλα αυτά, η εξέλιξη αυτή δεν αναιρεί τις προγενέστερες μεθόδους ενίσχυσης, καθώς έχουν αποδειχθεί με το πέρασμα του χρόνου απολύτως αξιόπιστες και αποδοτικές. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως το δομικό στοιχείο που πλήττεται περισσότερο είναι τα υποστυλώματα, λόγω του μεγέθους των επιβαλλόμενων παραμορφώσεων καθώς και της μεγάλης απαίτησης τους σε πλαστιμότητα.

Στο κεφάλαιο αυτό λοιπόν θα αναλύσουμε συγκεκριμένες μεθόδους ενίσχυσης, μερικές από τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν και στο 5όροφο κτίριο το οποίο μελετάται. Ακολουθεί διαχωρισμός των μεθόδων βάσει του δομικού στοιχείου που επιλέγεται να ενισχυθεί, καθώς και μέθοδοι ενίσχυσης του συνόλου του κτιρίου.

4.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

4.2.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΣ

Η χρήση τους γίνεται τόσο σε υποστυλώματα όσο και σε δοκούς καθώς και στους κόμβους αυτών, επιλέγοντας το κατάλληλο είδος βάσει των αναγκών της ενίσχυσης. Επιλέγονται συνήθως στις περιπτώσεις στις οποίες παρατηρείται μη επαρκής αντοχή, πλαστιμότητα και δυσκαμψία. Βασικό πλεονέκτημα θεωρείται η μη επέμβαση στην αρχιτεκτονική του υποστυλώματος, καθώς πέραν την αύξησης της διατομής, δεν υπάρχουν επιπλέον αισθητικές επεμβάσεις. Επιπλέον η διατομή αποκτάει μεγαλύτερη πυροπροστασία. Ακόμα, παρέχουν την δυνατότητα επιλογής ολικού ή τοπικού μανδύα, δηλαδή ενίσχυσης ολόκληρου του υποστυλώματος ή μέρος αυτού. Αξίζει να σημειωθεί η αναγκαιότητα επέκτασης του μανδύα και στους γειτονικούς ορόφους, εάν υπάρχουν, καθώς και στα πέδιλα εάν μιλάμε για υποστυλώμα ισογείου, καθώς και η επιμελής αγκύρωση των οπλισμών του. Τέλος, δίνεται η δυνατότητα τόσο στον μελετητή όσο και στον κύριο του έργου αναλόγως αφενός τις απαιτήσεις της κατασκευής και αφετέρου την οικονομική δυνατότητα να επιλεγεί το κατάλληλο είδος μανδύα το οποίο θα προσφέρει τα μέγιστα επιθυμητά αποτελέσματα. Η κατασκευή ενός συνηθισμένου μανδύα απεικονίζεται παρακάτω στα Σχήματα 4.1 και 4.2. (Σπυράκος, 2004)

Αξίζει να σημειωθεί πως η νέα διατομή, ο μανδύας δηλαδή, παραλαμβάνει τα νέα φορτία και όχι τα υπάρχοντα. Στην περίπτωση που υπάρχει η ανάγκη ή η επιθυμία συμπεριφοράς της ενισχυμένης διατομής ως ενιαίο στοιχείο, σχετικά με την φόρτιση του, τότε πρέπει να προηγηθεί πλήρης αποφόρτιση του αρχικού μέλους και έπειτα να ακολουθήσει η διαδικασία ενίσχυσης. Με αυτόν τον τρόπο το ενισχυμένο μέλος θα φέρεται αμιγώς ως μονάδα παραλαμβάνοντας ό,τι φορτίο του επιβάλλεται.

4.2.1.1 ΕΙΔΗ ΜΑΝΔΥΩΝ ΟΣ

- Μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα:** Η συγκεκριμένη τεχνική εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου ο μανδύας που θα κατασκευαστεί θα ξεπερνάει το πάχος των 8cm, συγκεκριμένα για μία σειρά οπλισμού έχουμε 8 έως 12cm ενώ για δύο σειρές οπλισμού έχουμε πάχος 12cm. Η χρήση ξυλότυπου είναι απαραίτητη, ενώ συνίσταται η χύτευση του σκυροδέματος με σταθερή και κυρίως χαμηλή πίεση. Το σχετικά μεγάλο μέγεθος των κόκκων των αδρανών από τα οποία αποτελείται το έγχυτο σκυρόδεμα αποτελεί κίνδυνο εμφάνισης συστολής ξήρανσης. Για την αποφυγή της, συνίσταται η χρήση ρευστοποιητών, η οποία αυξάνει την ρευστότητα του τσιμεντοπολτού επόμενως και την εργασιμότητα του νωπού σκυροδέματος, χωρίς της προσθήκη νερού, δηλαδή χωρίς την μείωση της αντοχής του σκυροδέματος. Τέλος, η επιφάνεια του έγχυτου σκυροδέματος θα πρέπει να διατηρείται υγρή για τουλάχιστον μία εβδομάδα.

- *Μανδύες από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα:* Σε αντίθεση με τους μανδύες έγχυτου σκυροδέματος, η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για μανδύες πάχους από 5cm έως 10cm, ενώ δεν απαιτείται ξυλότυπος. Η χρησιμότητα της τεχνικής αυτής είναι ιδιαίτερως σημαντική καθώς μπορεί να εφαρμοστεί σε επιφάνειες οποιασδήποτε κλίσης και σε σημεία που δεν υπάρχει εύκολη προσβασιμότητα. Βασικά πλεονεκτήματα είναι η πολύ καλή πρόσφυση με το παλιό σκυρόδεμα λόγω της εκτόξευσης και η υψηλή θλιπτική του αντοχή καθώς ο λόγος N/T είναι χαμηλός. Αν και ο χρόνος εφαρμογής αποτελεί βασικό πλεονέκτημα, ο χειρισμός της εκτόξευσης του σκυροδέματος χρήζει μεγάλης προσοχής καθώς ο χειριστής πρέπει να είναι σε θέση να ρυθμίσει πολλές παραμέτρους, όπως την ταχύτητα, την απόσταση εκτόξευσης και τη διάμετρο του σωλήνα εκτόξευσης κάτι το οποίο απαιτεί γνώση και εμπειρία. Επιπλέον, αναφορικά με την κοκκομετρική σύνθεση των αδρανών, υπάρχει εξαιρετική διαβάθμιση με σχετικά μικρούς κόκκους, πράγμα το οποίο αφενός συμβάλει περαιτέρω στην εμφάνιση συστολής ξήρανσης (συνίσταται χρήση ρευστοποιητών, για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω), αφετέρου βοηθάει στην κάλυψη τυχόν ανωμαλιών στην επιφάνεια στην οποία εκτοξεύεται (συνίσταται χρήση ρευστοποιητών, για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω).

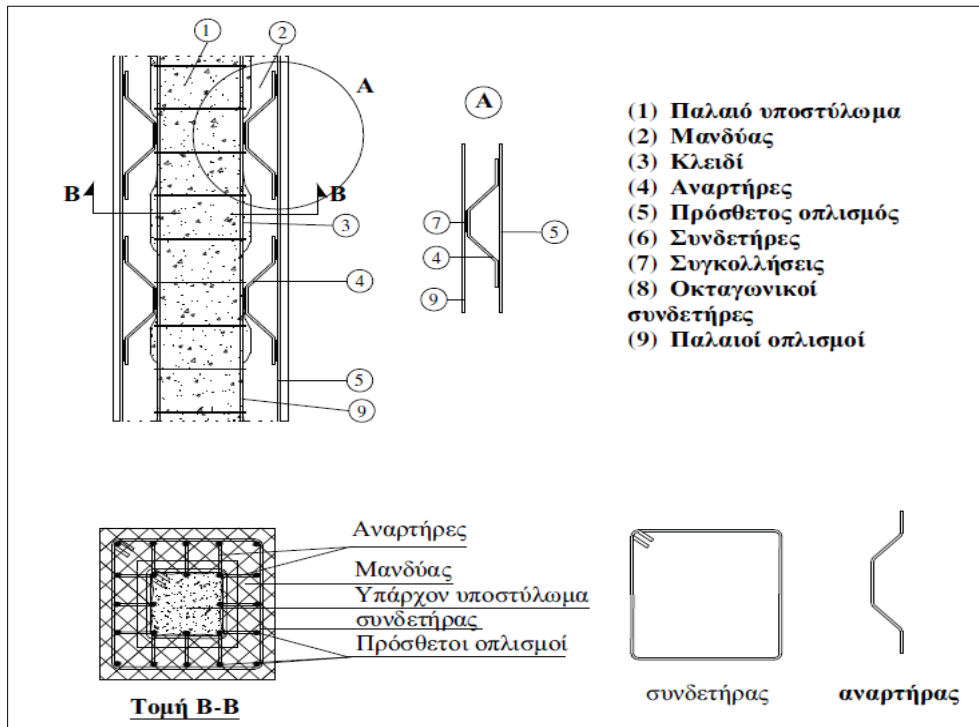
Τέλος, η επιφάνεια του σκυροδέματος επιβάλλεται να διατηρείται υγρή για τουλάχιστον μία εβδομάδα, όπως ισχύει σχεδόν σε όλους τους τύπους μανδύων σκυροδέματος.

- *Μανδύες από ειδικά σκυροδέματα ή τσιμεντοκονιάματα:* Χρήση της τεχνικής αυτής σε περιπτώσεις απαίτησης μανδύα με μικρό πάχος, συγκριτικά με τις προηγούμενες τεχνικές. Η χρήση της παρόλα αυτά είναι περιορισμένη, λόγω του υψηλού κόστους.
- *Μανδύες από σκυροτσιμεντόπηγμα:* Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την διάστρωση των αδρανών στα καλούπια του δομικού στοιχείου που πρόκειται να ενισχυθεί και έπειτα την πλήρωση των κενών τους με κατάλληλη τσιμεντοκονία. Η τσιμεντοκονία τοποθετείται υπό πίεση και η σύνθεση των αδρανών αποτελείται από σχετικά μεγάλους κόκκους. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η μεγάλη αντοχή στο χρόνο, η επαρκής πρόσφυση με το υπάρχον σκυρόδεμα και η μικρότερη παρουσία συστολής ξήρανσης (λόγω του μικρού μεγέθους των αδρανών), σε σύγκριση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Ακόμη, η δυνατότητα εφαρμογής της σε περιπτώσεις όπου υπάρχει πυκνός οπλισμός λόγω της τμηματικής εισαγωγής των υλικών (αδρανή και τσιμεντοκονία) την καθιστούν αναγκαία σε ορισμένες περιπτώσεις. Παρόλα αυτά, λόγω του μεγάλου κόστους της και της σχεδόν ανύπαρκτης εμπειρίας, δεν αποτελεί την πλέον συμφέρουσα επιλογή.

4.2.1.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΣΗ ΜΑΝΔΥΩΝ

1. Προτεραιότητα αποτελεί η διαδικασία αποφόρτισης και υποσύλωσης των δοκών και των πλακών που συντρέχουν στο υποσύλωμα.
2. Η διαδικασία ξεκινάει με την απομάκρυνση τυχόν σαθρού σκυροδέματος και επισκευή τυχόν κατεστραμμένου ή βλαμμένου οπλισμού.
3. Ακολουθεί η εκτράχυνση όλης της επιφάνειας με υδροβολή, αμμοβολή ή με άλλα κατάλληλα μέσα, με σκοπό να αφαιρεθεί όλη η εξωτερική στρώση του τσιμεντοπολτού για την αποκάλυψη των αδρανών.
4. Πραγματοποιούνται οι οπές για τις νέες ράβδους οπλισμού και για τα βλήτρα σε σημεία που έχουν επιλεγεί και καθαρίζονται επιμελώς σε όλο τους το βάθος.
5. Έπειτα πραγματοποιείται ο επιμελής καθαρισμός της επιφάνειας αυτής με αέρα υπό πίεση.
6. Αγκυρώνονται οι ράβδοι οπλισμού καθώς και τα χημικά ή μηχανικά βλήτρα που απαιτούνται. Συγκολλούνται οι αναρτήρες για την ένωση παλαιού και νέου σκυροδέματος. Τοποθετούνται οι νέοι συνδετήρες.
7. Διαβρέχεται η παλιά επιφάνεια σκυροδέματος, αδρανών (όταν έχουμε μανδύα από σκυροτσιμεντόπηγμα) και του ξυλότυπου, όπου αυτός απαιτείται τουλάχιστον 6 ώρες πριν. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται αφού έχει διαπιστωθεί πως η διεπιφάνεια είναι κατάλληλα προετοιμασμένη να δεχτεί το νέο σκυρόδεμα.
8. Τέλος, ακολουθεί η σκυροδέτηση του μανδύα.
9. Η διαδικασία συνεχίζει με ιδιαίτερη προσοχή στις περιπτώσεις των μανδύων που αναφέρθηκαν παραπάνω, όπου η συστολή ξήρανσης παρατηρείται σε μεγαλύτερο βαθμό.

Αξίζει να σημειωθεί επίσης πως χρειάζεται μεγάλη προσοχή στην επίτευξη συνοχής παλαιού με νέο σκυρόδεμα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ηλεκτροσυγκολλήσεων νέου και παλιού οπλισμού και χημικών βλήτρων καθώς και της σωστής προετοιμασίας της επιφάνειας με σκοπό την επίτευξη της μονολιθικότητας της νέας ενισχυμένης διατομής. Θέματα όπως η συστολή ξήρανσης αποτελούν σοβαρό λόγο για την σωστή επιμέλεια της διεπιφάνειας.



Σχήμα 4.1 Ενίσχυση υποστυλώματος με κλειστού τύπου μανδύα ΟΣ (ΟΑΣΠ 2001)



Σχήμα 4.2 Ενίσχυση υποστυλώματος με μανδύες ΟΣ (<http://www.episkeves2.civil.upatras.gr/>)

4.2.1.3 ΕΙΔΙΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΜΑΝΔΥΩΝ

- *Μανδύες Ανοιχτού Τύπου:* Τέτοιου είδους μανδύες συναντάμε στις περιπτώσεις όπου η μία πλευρά του υποστυλώματος που πρόκειται να ενισχυθεί ακουμπάει στο όμορο κτίριο ή υπάρχει αντισεισμικός αρμός. Σε αυτές τις περιπτώσεις, επειδή το άνοιγμα οπής ώστε να δημιουργηθεί ο μανδύας περιμετρικά της διατομής είναι αδύνατο, επιλέγεται η αγκύρωση των συνδετήρων είτε μέσω διαμπερής οπής του στοιχείου και συγκόλλησης, είτε μέσω συγκόλλησης των συνδετήρων σε γωνιακά βλήτρα του στοιχείου (Σχήμα 4.3) Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην περίπτωση όπου οι συνδετήρες δεν πρόκειται να εγκιβωτιστούν στο σκυρόδεμα, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει την πρόωρη διάβρωση τους. Απαιτείται λοιπόν ειδική μελέτη αγκύρωσης των συνδετήρων. Ακόμα, χρήζει προσοχής και η διαδικασία συγκόλλησης παλαιών με νέων οπλισμών για την αποφυγή αστοχία και την επίτευξη όσο το δυνατόν καλύτερων αποτελεσμάτων.
- *Μανδύες σε επαφή με τοίχιο οπλισμένου σκυροδέματος:* Οι συγκεκριμένοι μανδύες αναφέρονται στην περίπτωση όπου το υποστυλωμα που θα ενισχύσουμε είναι εξωτερικό και συντρέχει τοίχιο πλήρωσης από οπλισμένο σκυρόδεμα. Σε αυτή την περίπτωση ο μανδύας χωρίζεται σε δύο μέρη, ένα σε κάθε πλευρά που συντρέχει το τοίχιο. Διανοίγονται διαμπερείς οπές, με όσο το δυνατόν μικρότερη διάμετρο, ώστε να περάσουν οι νέοι συνδετήρες.
- *Μονόπλευρη ή Δίπλευρη Επέκταση Υποστυλώματος:* Η περίπτωση όπου ο μανδύας πρόκειται να περιβάλλει την μία ή τις δύο πλευρές του υποστυλώματος και όχι να εφαρμοστεί περιμετρικά της διατομής, τότε μιλάμε ουσιαστικά για επέκταση του.



Σχήμα 4.3 Ενίσχυση υποστυλώματος με ανοιχτού τύπου μανδύα ΟΣ. α) αγκύρωση συνδετήρων με διαμπερή οπή και συγκόλληση β) αγκύρωση των συνδετήρων με συγκόλληση σε δύο γωνιακά βλητρωμένα (Σπυράκος 2005)

4.2.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΠΕΡΙΣΦΙΞΗ

Ένας άλλος τρόπος ενίσχυσης υποστυλώματος, ο οποίος δεν αυξάνει το μέγεθος της διατομής, είναι εκείνος της περίσφιξης της. Επιλέγεται στις περιπτώσεις όπου υπάρχει σκοπός αύξησης πλαστιμότητας του και θλιπτικής και διατμητικής αντοχής του σκυροδέματος. Εδώ μιλάμε για το φαινόμενο της τριαξονικής έντασης, το οποίο προκύπτει από του εγκάρσιους οπλισμούς του υποστυλώματος, οι οποίοι αναστέλλουν την πλευρική διόγκωση του σκυροδέματος του, κατά την μονοαξονική θλίψη. (Σπυράκος, 2004)

4.2.2.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΑΝΔΥΑ ΑΠΟ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (FRPs)

Ο συγκεκριμένος μανδύας αφορά σε υφάσματα από Ινοπλισμένα Πολυμερή (Fiber Reinforced Materials - FRPs), τα οποία είναι ουσιαστικά η εξελιγμένη μορφή των χαλύβδινων επικολητών ελασμάτων. Τα σύνθετα αυτά υλικά αποτελούνται από ίνες και μήτρα. Οι ίνες παρέχουν την αντοχή, ενώ η μήτρα την προστασία και την σύνδεση των ινών. Πιο συγκεκριμένα, ως μήτρες των υλικών αυτών χρησιμοποιούνται ειδικές ρητίνες οι οποίες έχουν την δυνατότητα να κατανέμουν τις τάσεις στις ίνες δημιουργώντας ένα αρκετά ανθεκτικό στον χρόνο, ομοιογενές υλικό. Αν και η αντοχή τους μεμονωμένα είναι μιας τάξης μικρότερη από αυτή των ινών, χωρίς αυτές δεν θα μπορούσαν να υπάρξουν τα ινοπλισμένα πολυμερή, καθώς η ύπαρξη τους συνεισφέρει στην ανθεκτικότητα του υλικού και την ηλεκτρική μόνωση. Τα συνήθη είδη που χρησιμοποιούνται ως ρητίνες είναι οι εποξικές, οι βινυλεστερικές και οι πολυεστερικές.

Γενικότερα, τα σύνθετα αυτά υλικά χρησιμοποιούνται ως εξωτερικός οπλισμός σε μία κατασκευή με σκοπό την ενίσχυση της. Πρόκειται για πλήρως ελαστικά υλικά χωρίς ικανότητα ανάπτυξης πλαστικών παραμορφώσεων. Η αντοχή τους είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του χάλυβα αλλά η αστοχία τους συνοδεύεται από ψαθυρή θραύση. Η διάρκεια ζωής τους είναι μεγάλη υπό φυσιολογικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Το κύριο χαρακτηριστικό τους σχετικά με τα υποστυλώματα είναι η χρησιμότητά τους για την αύξηση διατμητικής αντοχής καθώς και της πλαστιμότητας λόγω της περίσφιξης. Ο μανδύας από ΙΟΠ μπορεί να είναι συνεχής σε όλο το ύψος του υποστυλώματος ή σε τμήματα αυτού. Γενικότερα είναι ο πιο εύχρηστος τρόπος εξωτερικής περίσφιξης για πολλούς λόγους που θα αναφερθούν παρακάτω.

Βασικά Είδη ΙΟΠ (FRPs):

- Ινες Υάλου (GFRP). Χρησιμοποιούνται από το 1939. Υπάρχουν έξι διαφορετικοί τύποι, από τους οποίους μόνο δύο χρησιμοποιούνται για επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών (ύαλος-E και ύαλος-S).
- Ινες Ανθρακα (CFRP). Χρησιμοποιούνται από το 1950. Αν και το κόστος τους είναι μεγαλύτερο από αυτό των άλλων δύο κύριων ινών, λόγω της ευρείας και συχνής τους χρήσης έχει μειωθεί σημαντικά.
- Ινες Αραμιδίου (AFRP). Εμφανίστηκαν πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του 1970. Η χρήση τους σε δομοστατικά έργα είναι περιορισμένη.

Άλλα Είδη ΙΟΠ (FRPs):

- Ινες Γραφίτη
- Ινες Βορίου
- Ινες από Καρβίδιο του Πυριτίου

Πλεονεκτήματα ΙΟΠ:

- Πολύ υψηλή εφελκυστική αντοχή
- Αντοχή στην ηλεκτροχημική διάβρωση
- Απόσβεση ταλαντώσεων (ηχομόνωση)
- Διαθεσιμότητα σε μεγάλα μεγέθη
- Κόστος εφαρμογής παρόμοιο με εκείνο των παραδοσιακών μεθόδων καθώς και χαμηλό κόστος συντήρησης
- Εύχρηστος εξοπλισμός τοποθέτησης τους
- Εύκολη και γρήγορη μεταφορά και εφαρμογή
- Μηδαμινή παραμόρφωση της τελικής ενισχυμένης διατομής
- Δυνατότητα αισθητικών και αρχιτεκτονικών παρεμβάσεων

Μειονεκτήματα ΙΟΠ:

- Έλλειψη πλάστιμης συμπεριφοράς, άρα ψαθυρή αστοχία.
- Υψηλές διατμητικές τάσεις στην διεπιφάνεια σκυροδέματος - σύνθετου υλικού.
- Η σύνδεση σκυροδέματος με ΙΟΠ μπορεί να αστοχήσει πρόωρα, πρωτού εξαντληθεί δηλαδή η καμπτική αντοχή του ενισχυμένου στοιχείου.
- Δεν παρέχουν πυροπροστασία. Είναι πολύ εύφλεκτα, γι' αυτό τον λόγο επαλείφονται με ειδική ρητίνη.

Διαδικασία Εφαρμογής Υφασμάτων ΙΟΠ:

1. *Προετοιμασία Επιφάνειας Σκυροδέματος:* Η διαδικασία αυτή είναι η σημαντικότερη για την επίτευξη του στόχου των σύνθετων υλικών. Μόνο μέσω της σωστής προετοιμασίας της επιφάνειας, το σκυρόδεμα θα είναι σε θέση να συνεργαστεί αρμονικά με το υλικό και να του επιτρέψει να αναπτύξει όλες τις επιθυμητές ιδιότητες του στο δομικό στοιχείο που ενισχύουμε, με στόχο της αντοχή του στο χρόνο.
Αρχικά, απομακρύνεται όλη η επιφανειακή στρώση τσιμεντοπολτού με αμμοβολή, ώστε τα υφάσματα ΙΟΠ να έρθουν απευθείας σε επαφή με το υπάρχον σκυρόδεμα. Λόγω της πολυπλοκότητας της σύνθεσης του σκυροδέματος, η επιφάνεια του, η οποία θα εμφανιστεί μπορεί να περιέχει εμφανή αδρανή και διάφορες ανωμαλίες οι οποίες πρέπει να εξομαλυνθούν. Η απομάκρυνση τυχόν ενανθρακωμένου ή σαθρού σκυροδέματος και η επισκευή οξειδωμένου σπλισμού είναι απαραίτητη. Επισκευάζονται επίσης, πιθανές ρηγματώσεις ή μεγάλα κενά μέσω ρητινένσεων με σκοπό την αποκατάσταση του στοιχείου στην αρχική του διατομή. Καθαρίζεται όλη η επιφάνεια επιμελώς από σκόνη, χρώματα, λίπη κ.α. Εξομαλύνονται οι γωνίες του στοιχείου (στη περίπτωση ορθογωνικού υποστυλώματος) και γενικά όλη η επιφάνεια ώστε να γίνει όσο το δυνατόν πιο λεία.
2. Εμποτισμός του υφάσματος ΙΟΠ και επάλειψη της επιφάνειας με την κατάλληλη συγκολλητική ουσία (κατάλληλο είδος ρητίνης).
3. Τοποθέτηση στρώσης ΙΟΠ με τα χέρια. Τοποθετείται προσεκτικά, τεντώνεται πάνω στην νωπή στρώση ρητίνης και απομακρύνονται πιθανές φυσαλίδες αέρα. Επανάληψη επίστρωσης επιφάνειας με συγκολλητική ουσία.
4. Τοποθέτηση αγκυρίων όπου απαιτούνται βάσει μελέτης.

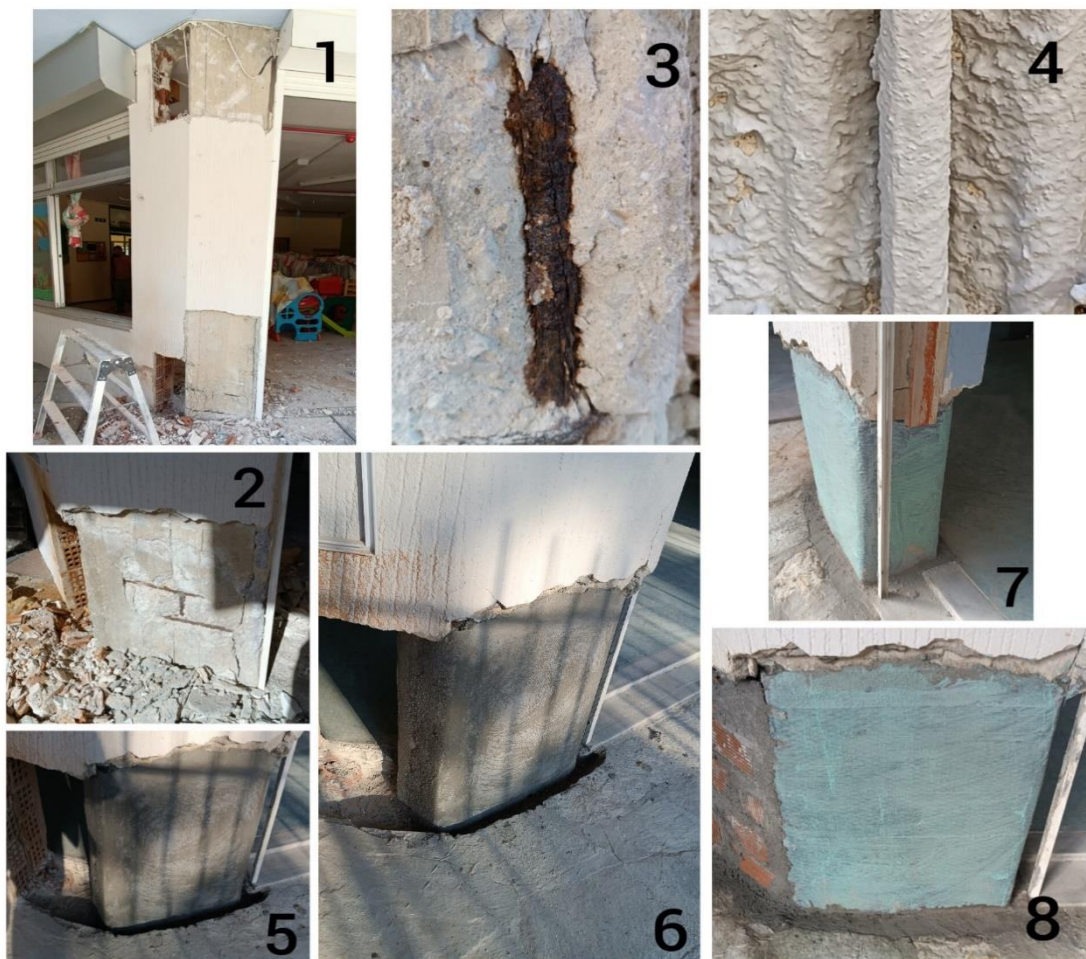
5. Τοποθέτηση επιπλέον στρώσεων όπου απαιτείται βάσει μελέτης και επανάληψη διαδικασίας.
6. Τελική επάλειψη με συγκολλητική ουσία (ρητίνη) που θα ολοκληρώσει την διαδικασία με σκοπό την προετοιμασία της επιφάνειας για την τσιμεντοειδή επικάλυψη, η οποία θα αποδώσει στο υλικό την πυροπροστασία που απαιτείται.

Για την εφαρμογή των υφασμάτων χρειάζονται τουλάχιστον 30 εκατοστά ελεύθερου χώρου περιμετρικά του υποστυλώματος που θα ντυθεί με τον μανδύα ώστε να μπορεί να δουλευτεί και να τοποθετηθεί ορθά. Σε περιπτώσεις τοιχοποιίας, ανοίγεται διαμπερής οπή, ενώ στην περίπτωση επαφής με άλλο στοιχείο ωπλισμένου σκυροδέματος βάσει μελέτης η ένωση των πλευρών του υφάσματος εξασφαλίζεται με κατάλληλα αγκύρια.

Παράδειγμα Διαδικασίας Εφαρμογής Υφάσματος ΙΟΠ:

Στο παρακάτω Σχήμα 4.4 απεικονίζονται κάποια στάδια της διαδικασίας εφαρμογής ΙΟΠ με ίνες άνθρακα σε ένα υποσύλωμα ισογείου, ενός κτιρίου κατασκευής του 1976, όπου βάσει μελέτης ο μανδύας από ινοπλισμένα πολυμερή θα εφαρμοστεί στο άνω και κάτω άκρο του στοιχείου σε δύο στρώσεις. Στις εικόνες 1 και 2 έχει καθαιρεθεί η εξωτερική στρώση του υποστυλώματος και λόγω σαθρότητας του σκυροδέματος, έχει αποκαλυφθεί και τμήμα του οπλισμού. Όπως βλέπουμε στην εικόνα 3, ο οπλισμός που εμφανίζεται μετά την απομάκρυνση βλαμμένου σκυροδέματος, είναι οξειδωμένος πράγμα που χρήζει επισκευής. Στην εικόνα 4 φαίνεται το τελικό στάδιο αποκατάστασης της διάβρωσης του οπλισμού. Πιο συγκεκριμένα, καθαρίζεται επιμελώς η σκουριά είτε με αμμοβολή, υδροβολή ή κάποια ειδική βούρτσα και ακολουθεί η εποξειδική αντισκωριακή ή τσιμεντοειδής αντιδιαβρωτική επάλειψη, με σκοπό την προστασία τους από μελλοντική διάβρωση. Το συγκεκριμένο υποσύλωμα είναι εξωτερικό και συνδέεται με μπατική τοιχοποιία, γεγονός που δίνει την δυνατότητα κατασκευής περιμετρικού μανδύα, που αγκαλιάζει δηλαδή όλες τις πλευρές του. Η διάνοιξη της τοιχοποιίας φαίνεται στο σχήμα από την μία πλευρά του, για την διευκόλυνση του συνεργείου στην εφαρμογή των υφασμάτων, ενώ διακρίνεται και η εκσκαφή στην βάση του έως την πλάκα ισογείου, καθώς το ύφασμα πρέπει να φτάσει έως κάτω. Αφού επισκευαστεί ο οπλισμός, ακολουθεί η επισκευή της κολώνας προκειμένου να αποκατασταθεί η γεωμετρία της με κατάλληλα υλικά, όπως αναφέρθηκε πάνω εκτενέστερα, ώστε να προετοιμαστεί η επιφάνεια που θα υποδεχτεί το ύφασμα, δημιουργώντας ένα λείο αποτέλεσμα όπως φαίνεται στις εικόνες 5 και 6. Τέλος, επικολλούνται τα υφάσματα, καλύπτονται με ειδική ρητίνη (Εικόνες 7 και 8) και ακολουθεί η πλήρη αποκατάσταση του στοιχείου.

Αξίζει να σημειωθεί πως το χρονικό διάστημα μεταξύ προετοιμασίας της επιφάνειας και επικόλληση των υφασμάτων, δεν πρέπει να είναι μεγάλο καθώς υπάρχει κίνδυνος ενανθράκωσης του εκτεθειμένου σκυροδέματος. Ακόμα, και στην περίπτωση του οξειδωμένου οπλισμού, μετά την αποκατάσταση του, επίσης δεν συνίσταται να παραμείνει για πολύ καιρό χωρίς την αποκατάσταση του σκυροδέματος που το καλύπτει, καθώς και εκεί υπάρχει κίνδυνος αλλοίωσης του επισκευασμένου οπλισμού.



Σχήμα 4.4 Διαδικασία Εφαρμογής ΙΟΠ με ίνες άνθρακα (CFRs) σε Υποστύλωμα Ισογείου σε Κτίριο Δεκαετίας 1970

4.2.2.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥΣ ΜΑΝΔΥΕΣ

Η συγκεκριμένη μέθοδος πραγματοποιείται με πολλούς τρόπους και μέσα. Είναι η πλέον πολυχρησιμοποιημένη διαδικασία περίσφιξης διατομής με σκοπό την ενίσχυση της καθώς είναι απ' τις πρώτες τεχνικές που εφαρμόστηκαν. Υπό συγκεκριμένες συνθήκες, το υποστύλωμα που ενισχύεται κατά αυτόν τον τρόπο, μετατρέπεται σε μία σύμμικτη κατασκευή. Παρακάτω αναλύονται τα πιο διαδεδομένα είδη μεταλλικών μανδυών. (ΟΑΣΠ, 2001)

▪ Μεταλλικός Κλωβός

Θεωρείται η συνηθέστερη επιλογή των μηχανικών, η οποία μπορεί να συνδυαστεί και με την κατασκευή μανδυών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τοποθετούνται τέσσερα γωνιακά μεταλλικά ελάσματα στις γωνίες του υποστυλώματος (μεταλλικές γωνίες) και οριζόντιες μεταλλικές λάμες (χαλύβδινα κολλάρα ή φύλλα) οι οποίες είτε συγκολλώνται, είτε συνδέονται με βίδες ή ντίζες μαζί με τα γωνιακά. Προηγείται της ένωσης αυτής η σύσφιξη των γωνιακών με ειδικά κλειδιά ώστε να εξασφαλιστεί ότι δεν υπάρχουν τυχόν κενά. Προαιρετική είναι η επικάλυψη του στοιχείου με έναν μανδύα ώστε η διατομή να είναι συμμετρική και χωρίς προεξοχές. Η σωστή επαφή των γωνιακών ελασμάτων με το υπάρχον υποστύλωμα πρέπει να εξασφαλιστεί καθώς μόνο μέσω της συνάφειας τους θα μεταφέρονται σωστά τα φορτία.

Η επίτευξη αυτού γίνεται μέσω συρρικνούμενου κονιάματος υψηλής αντοχής. Το τελευταίο στάδιο είναι η επίστρωση με τσιμεντοκονία η οποία μπορεί να περιέχει ένα οπλισμένο πλέγμα ή η επίστρωση με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε όλο το ύψος του υποστυλώματος ή σε συγκεκριμένα σημεία όπου έχει εντοπιστεί η βλάβη. Στα Σχήματα 4.5 και 4.6 απεικονίζεται η εφαρμογή της διαδικασίας και το αποτέλεσμα της αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί ακόμα πως η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί και μία προσωρινή λύση παραλαβής αξονικών φορτίων, καθώς η εφαρμογή της είναι ταχύτατη.

▪ Μεταλλικός Μανδύας (Ολόσωμος)

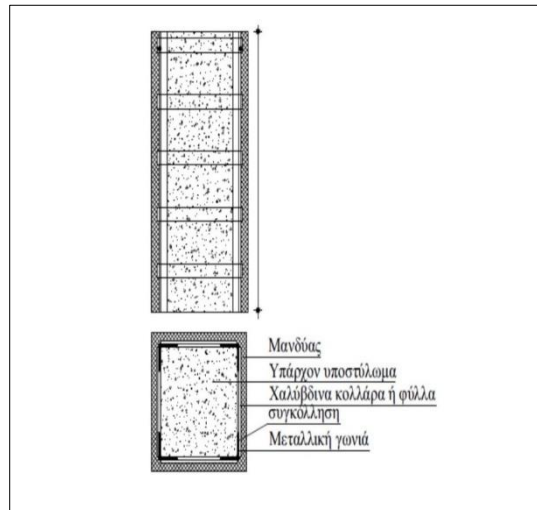
Από τους πιο εύχρηστους τρόπους ενίσχυσης υποστυλώματος με την επίτευξη της περίσφιξης. Πραγματοποιείται η συγκόλληση 2 χαλύβδινων πλακών διατομής Π εκατέρωθεν του στοιχείου τα οποία συγκολλώνται είτε αγκυρώνονται με κατάλληλα βλήτρα. Το κενό που υπάρχει μεταξύ του μανδύα και του στοιχείου πρέπει να συμπληρωθεί με τσιμεντένεμα ή κάποιο άλλο είδος κονιάματος. Το βασικό μειονέκτημα της τεχνικής αυτής, το οποίο την καθιστά δύσχρηστη είναι ο εξοπλισμός ο οποίος είναι ειδικός καθώς και η δυσκολία μεταφοράς του (Σχήμα 4.7).

▪ Χαλύβδινα Επικολητά Ελάσματα σε μορφή Μανδύα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο συγκεκριμένος τρόπος ενίσχυσης με περίσφιξη έχει σχεδόν αντικατασταθεί από τα Υφάσματα από Ινοπλισμένα Πολυμερή (FRPs), παρ' όλα αυτά σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμα προτιμάται. Βασικό μειονέκτημα είναι η απαίτηση συντήρησης τους λόγω της εύκολης διάβρωσης του εσωτερικού των ελασμάτων, κάτι το οποίο μπορεί να οδηγήσει στην πλήρη αστοχία του στοιχείου λόγω μη έγκαιρης διαπίστωσης της, πράγμα το οποίο αυξάνει τελικά το κόστος. Θετικό στοιχείο παραμένει η εύκολη εφαρμογή η οποία πέραν του βάρους των ελασμάτων, δεν απαιτεί κάποια ιδιαίτερη εξειδίκευση.

Η χρήση τους στα υποστυλώματα γίνεται με μορφή μανδύα ώστε να επιτευχθεί ο σκοπός της περίσφιξης. Επικολώνται πάνω στο υποστυλώμα με την κατάλληλη κόλλα, συνήθως εποξειδική ρητίνη και αγκυρώνονται μέσω βλήτρων ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή τοποθέτηση. Το πάχος των ελασμάτων δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 4 χιλιοστά ώστε να υπάρχει πλήρη ενσωμάτωση του με το δομικό στοιχείο. Οι στρώσεις ελασμάτων μπορεί να είναι πάνω από μία, αναλόγως τις απαιτήσεις του στοιχείου.

Αξίζει να σημειωθεί πως τα επικολητά ελάσματα μπορούν να αντικατασταθούν από προεντεταμένα παρέχοντας ακόμα μεγαλύτερη αντοχή. Η διαδικασία εφαρμογής τους δεν διαφέρει πολύ από αυτή των υφασμάτων ΙΟΠ. Συνοπτικά, ξεκινάει ο ενδεδειγμένος καθαρισμός και λείανση της επιφάνειας, ακολουθεί η διαβροχή της με νερό υπό πίεση και το στέγνωμα της. Για την αποφυγή οξείδωσης του χάλυβα γίνεται αμμοβολή στην εσωτερική επιφάνεια των ελασμάτων η οποία θα επικοληθεί στο στοιχείο, ενώ η επιφάνεια του στοιχείου επαλείφεται με την ειδική κόλλα. Τοποθετείται το έλασμα με προσοχή ώστε να μην υπάρξουν φυσαλίδες αέρα και ακολουθεί η συμπίεση του για τουλάχιστον 24 ώρες. Τοποθετούνται επιπλέον στρώσεις, εάν απαιτούνται, με την ίδια ακριβώς διαδικασία και τέλος επικαλύπτεται η τελική επιφάνεια με κάποιο τσιμεντοειδές υλικό το οποίο θα εξασφαλίσει την προστασία των ελασμάτων από διάβρωση και πυρκαγιά.



Σχήμα 4.5 Ενίσχυση υποστύλωματος με μεταλλικό κλωβό (ΟΑΣΠ 2001)



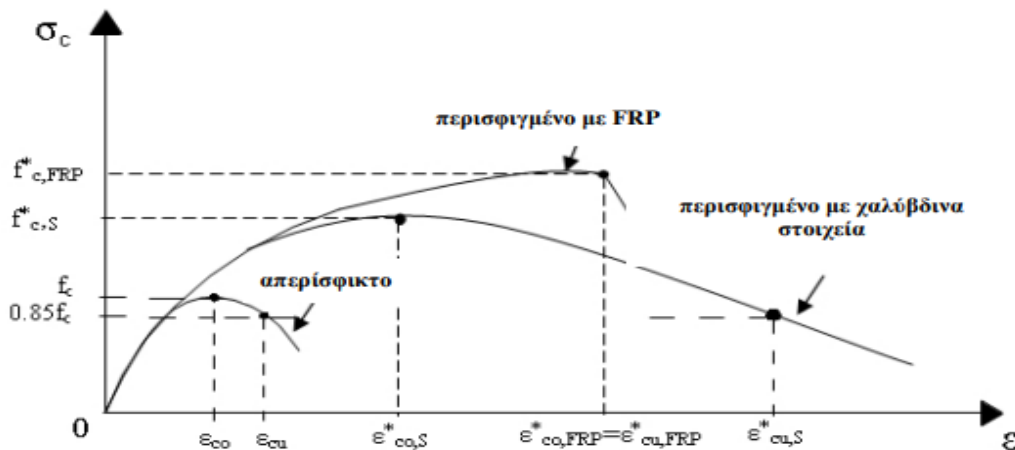
Σχήμα 4.6 Ενίσχυση υποστύλωματος με μεταλλικό κλωβό (<http://www.eandas.gr/el/arkiki/17-ypiresies?start=6>)



Σχήμα 4.7 Ενίσχυση υποστύλωματος με ολόσωμο μεταλλικό μανδύα (<http://www.eandas.gr/el/arkiki/17-ypiresies?start=6>)

4.2.2.3 ΠΕΡΙΣΦΙΓΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Όπως αναλύθηκε παραπάνω, η μέθοδος περίσφιξης του σκυροδέματος είτε μέσω μανδυνών από ινοπλισμένα πολυμερή είτε με την χρήση χαλύβδινων στοιχείων, όπως μεταλλικού κλωβού επιφέρει επιθυμητά αποτελέσματα τα οποία σχετίζονται φυσικά με την ενίσχυση του. Το φαινόμενο της τριαξονικής θλίψης είναι εκείνο που συμβάλλει θετικά σε όλη αυτή τη διαδικασία. Παρακάτω στο Σχήμα 4.8 απεικονίζεται ένα διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης από το βιβλίο του Δρίτσου (2005) με τον τροποποιημένο καταστατικό νόμο του περισφιγμένου σκυροδέματος. Απεικονίζεται το απερίσφικτο σκυρόδεμα, εκείνο που έχει υποστεί περίσφιξη με FRP και εκείνο με χαλύβδινα στοιχεία.



Σχήμα 4.8 Τροποποιημένος καταστατικός νόμος περισφιγμένου σκυροδέματος (Δρίτσος 2005)

4.3 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΩΝ

4.3.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΟΣ (Ενίσχυση σε Κάμψη)

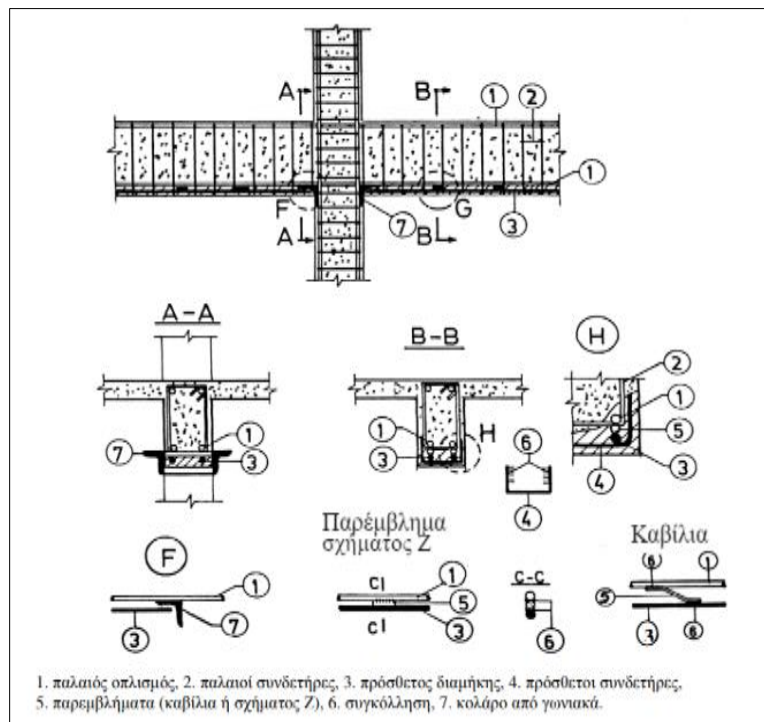
Η μέθοδος αυτή πραγματοποιείται όταν ο σκοπός της ενίσχυσης είναι η αύξηση της καμπτικής αντοχής της δοκού. Η καμπτική καταπόνηση μιας δοκού φέρει ως αποτέλεσμα ένα θλιβόμενο και ένα εφελκυσμένο πέλμα. Το θλιβόμενο άνω πέλμα, αν και δεν συνηθίζεται, μπορεί να ενισχυθεί με εκτοξευόμενο ή έγχυτο σκυρόδεμα, με ή χωρίς την προσθήκη οπλισμού, ενώ η επέμβαση στο εφελκυσμένο πέλμα συνοδεύεται από την προσθήκη νέων διαμήκων οπλισμών και εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Και στις δύο περιπτώσεις το νέο σκυρόδεμα καλύπτει όλη την επιφάνεια της πλευράς της δοκού με την οποία θα επιλέξουμε να εφαρμόσουμε την ενίσχυση, το πάχος της οποίας θα πρέπει να κυμαίνεται από 5 έως 10 εκατοστά. Η σύνδεση των νέων στοιχείων με την υπάρχουσα διατομή γίνεται είτε μέσω βλήτρων, είτε μέσω συγκόλλησης υφιστάμενου και νέου οπλισμού με παρεμβλήματα σε σχήμα Z ή με καβίλιες. Προτιμάται για λόγους αποφυγής διαστρέβλωσης των ιδιοτήτων του χάλυβα μέσω ηλεκτροσυγκόλλησης, η χρήση ειδικών βλήτρων.

Πριν την έναρξη της ενίσχυσης απαιτείται η πλήρη αποφόρτιση της υπάρχουσας διατομής και η προετοιμασία της επιφάνειας του υπάρχοντος σκυροδέματος η οποία θα πρέπει να πραγματοποιηθεί με επιμέλεια όπως έχει αναφερθεί και θα αναφερθεί ξανά μέσα στο κείμενο, με σκοπό την συνάφεια παλιού και νέου σκυροδέματος ώστε το στοιχείο να συμπεριφέρεται μονολιθικά για να μην υπάρχει πιθανότητα απομάκρυνσης των επιπλέον στρώσεων σε περίπτωση που η ενισχυμένη διατομή κληθεί να παραλάβει φορτία. Για την προετοιμασία απαιτείται εκτράχυνση της, ώστε να αποκαλυφθούν τα αδρανή. (Δρίτσος, 2005)

Τα Αρνητικά της ενίσχυσης αυτής είναι:

- Η συστολή ξήρανσης, η οποία παρατηρείται πάντα όταν έχουμε νέο σκυρόδεμα, η οποία αντιμετωπίζεται με την χρήση ρευστοποιητών.
- Η διάβρωση των νέων οπλισμών και των βλήτρων λόγω επαφής με το παλιό σκυρόδεμα.

Παρακάτω, στο Σχήμα 4.9 απεικονίζεται η ενίσχυση του κάτω πέλματος μιας δοκού με οπλισμένο σκυρόδεμα, με τη χρήση παρεμβλημάτων. Απεικονίζονται ακόμα και η καβίλια, το κυλινδρικό εξάρτημα το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί, όπως προαναφέρθηκε, και αυτό αντί της καβίλιας με σκοπό την συγκόλληση παλιού και νέου οπλισμού.



Σχήμα 4.9 Ενίσχυση κάτω πέλματος Δοκού με στρώσεις ΟΣ (Δρίτσος 2005)

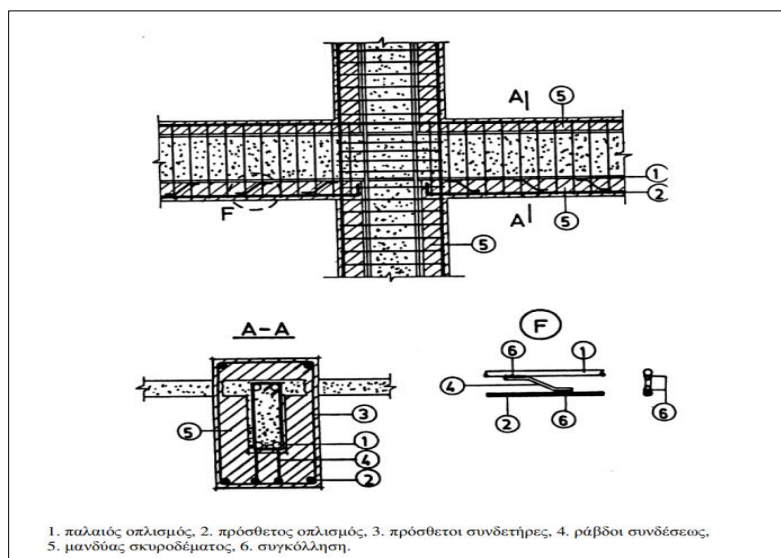
4.3.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΣ (Ενίσχυση σε Κάμψη και Διάτμηση)

Η ενίσχυση αυτή επιλέγεται όταν υπάρχει απαίτηση σε αύξηση διατμητικής αντοχής ή στον συνδυασμό αύξησης καμπτικής και διατμητικής αντοχής. Η μέθοδος αυτή όπως έχει αναφερθεί ξανά, αυξάνει την διατομή του στοιχείου καθώς δημιουργείται ο μανδύας με την προσθήκη διαμήκους οπλισμού, συνδετήρων και σκυροδέματος. Και στην περίπτωση των δοκών υπάρχει η επιλογή εκτοξευόμενου ή έγχυτου σκυροδέματος, όπου προτιμάται το πρώτο για λόγους ευκολίας όπως έχει αναλυθεί παραπάνω.

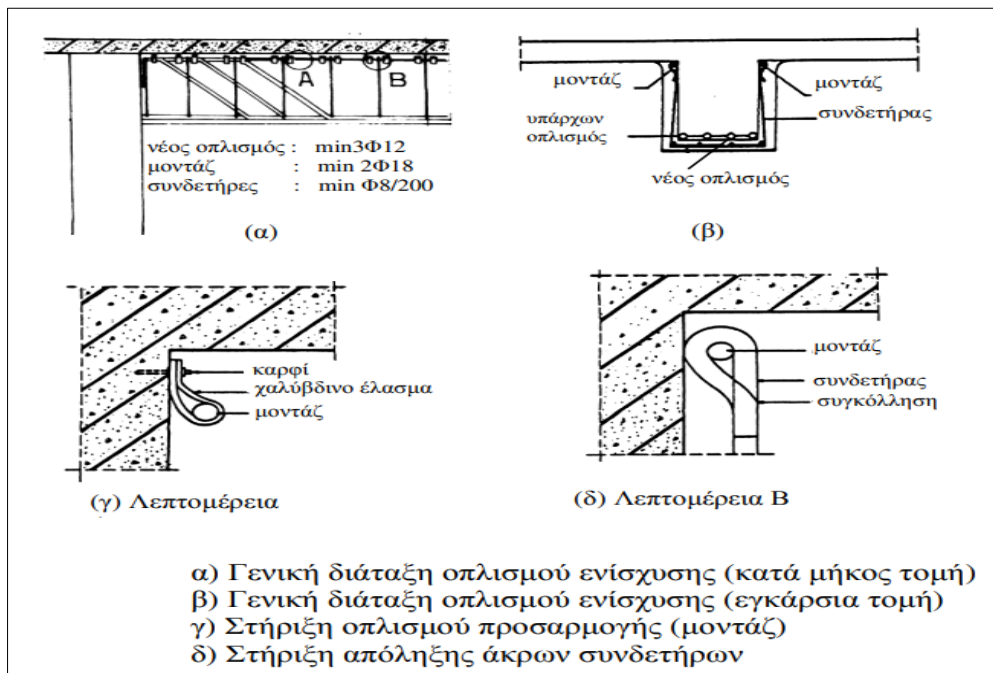
Βασική κατηγοριοποίηση των μανδυών οπλισμένου σκυροδέματος προκύπτει από την δυνατότητα ή μη, θραύσης της πλάκας που συντρέχει στην δοκό, η οποία διαχωρίζει τον μανδύα στους εξής δύο τύπους βάσει του Δρίτσου (2005):

Κλειστού τύπου Μανδύας: Είναι ο κλασικός μανδύας, ο οποίος είναι και ο πιο αποτελεσματικός και εφαρμόζεται όταν το άνοιγμα οπής στην πλάκα είναι εφικτό. Τοποθετούνται κανονικά οι νέοι οπλισμοί οι οποίοι συγκολλούνται με τους υπάρχοντες μέσω ειδικών παρεμβλημάτων (ράβδοι σύνδεσης), νέοι πρόσθετοι συνδετήρες και τέλος το νέο σκυρόδεμα (έγχυτο ή εκτοξευόμενο). Στο Σχήμα 4.10 απεικονίζεται ένας κλειστού τύπου μανδύας δοκού.

Ανοιχτού τύπου Μανδύας: Ο ανοιχτού τύπου μανδύας είναι η λύση στην περίπτωση που δεν είναι δυνατή η θραύση της πλάκας πάνω από την προς ενίσχυση δοκό. Αν και η συγκεκριμένη μέθοδος είναι λιγότερο αποτελεσματική, καθώς δεν περικλείει όλη την δοκό σε σύγκριση με τον κλειστό μανδύα, εφαρμόζεται κανονικά με ιδιαίτερη διαχείριση στον τρόπο αγκύρωσης των συνδετήρων. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.11 όπου απεικονίζεται ένας κλειστού τύπου μανδύας, οι νέοι συνδετήρες αγκυρώνονται μέσω ενός μοντάζ το οποίο αγκυρώνεται με τη σειρά του στο υπάρχον σκυρόδεμα μέσω ειδικού καρφιού.



Σχήμα 4.10 Ενίσχυση Δοκού με Κλειστού Τύπου Μανδύα ΟΣ (Δρίτσος 2005)



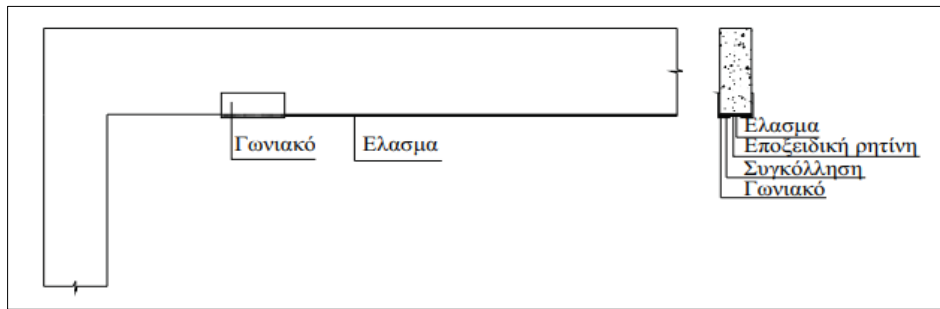
Σχήμα 4.11 Ενίσχυση Δοκού με Ανοικτού Τύπου Μανδύα ΟΣ (Δρίτσος, 2005)

4.3.3 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΑ ΧΑΛΥΒΔΙΝΑ ΕΛΑΣΜΑΤΑ (Ενίσχυση σε Κάμψη)

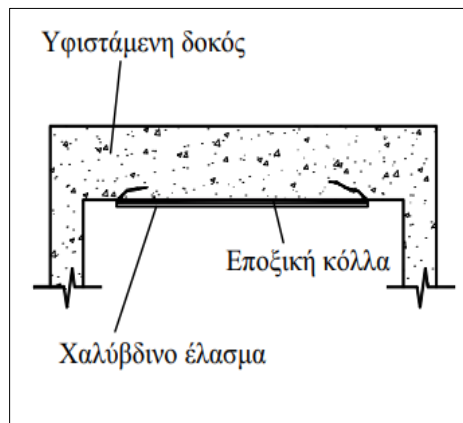
Η μέθοδος επικολητών χαλύβδινων ελασμάτων αυξάνει την καμπτική αντοχή καθώς και την καμπτική δυσκαμψία της δοκού. Η πρακτική αυτή πραγματοποιείται ξεκινώντας με την απομάκρυνση και επισκευή, εάν είναι απαραίτητο του σαθρού τμήματος σκυροδέματος, και έπειτα την εκτράχυνση όλης της επιφάνειας με υδροβολή. Έπειτα με την επικόλληση των ελασμάτων στην εφελκυσμένη παρειά, δηλαδή την κάτω παρειά της δοκού μέσω εποξικής κόλλας, η οποία τοποθετείται είτε μέσω ρητινένεσων, είτε με επάλειψη τόσο της παρειάς όσο και του ελάσματος. Μετά την επικόλληση, ακολουθεί η συμπίεση του ελάσματος ώστε να αναπτυχθούν όλες οι ιδιότητες αντοχής που θα παρέχει η κόλλα. Προτιμάται η χρήση στρώσεων από λεπτότερα ελάσματα έναντι ενός παχύτερου, ώστε να είναι εφικτό να διαπιστωθεί πιθανή αλλοίωση της διεπιφάνειας, αλλά και για την ευκολία εντοπισμού παραμορφώσεων της επιπεδότητας του εφελκυσμένου πέλματος στο οποίο επεμβαίνουμε.

Η αγκύρωση των ελασμάτων είναι επίσης πολύ σημαντική διαδικασία της μεθόδου και μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με την χρήση επικολητού γωνιακού αγκύρωσης όπως βλέπουμε στο Σχήμα 4.12, είτε με σπειροειδή ράβδο η οποία αγκυρώνεται σε οπή η οποία πραγματοποιείται στο πέλαμα και πληρώνεται με τσιμεντένεμα, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.13. Το σημείο της διατομής που μπορεί να εμφανίσει κάποια αστοχία στη δεύτερη μέθοδο αγκύρωσης είναι τα σημεία αγκύρωσης των ελασμάτων όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.14. Για την αποφυγή του φαινομένου, συστήνεται η μείωση του πάχους των ελασμάτων σε εκείνα τα σημεία καθώς και το επαρκές μήκος αγκύρωσης.

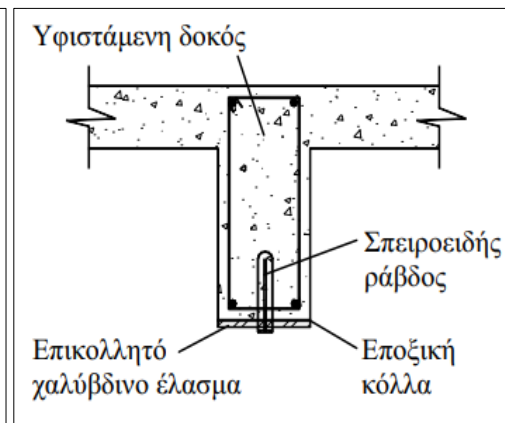
Ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης επικολητών ελασμάτων είναι η ευκολία και η ταχύτητα εφαρμογής της καθώς το βάρος είναι σχετικά μικρό και δεν υπάρχει ιδιαίτερη απαίτηση σε εξειδικευμένο προσωπικό. Ακόμα, μέσω της χρήσης τους δεν υπάρχει περαιτέρω επιβάρυνση της υπάρχουσας κατασκευής με επιπλέον φορτία. Παρ' όλα αυτά, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην διαδικασία εφαρμογής και πιο συγκεκριμένα, στη χρήση της κατάλληλης κόλλας, την σωστή εφαρμογή της καθώς και την σωστή προετοιμασία του υπάρχον σκυροδέματος με σκοπό της ομαλή και σωστή συνεργασία των δύο αυτών υλικών, ώστε να επιτευχθεί η αποτελεσματική χρήση της ενίσχυσης.



Σχήμα 4.12 Ενίσχυση δοκού με επικολητά χαλύβδινα ελάσματα στην εφελκόμενη παρειά μέσω σπειροειδούς ράβδου (Σπυράκος 2004)



Σχήμα 4.13 Ενίσχυση δοκού με επικολητά χαλύβδινα ελάσματα στην εφελκόμενη παρειά μέσω ειδικών γωνιακών (ΟΑΣΠ 2001)



Σχήμα 4.14 Αστοχία στην περιοχή αγκύρωσης επικολητών ελασμάτων δοκού στην εφελκόμενη παρειά (Σπυράκος 2004))

4.3.4 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (FRPs) (Ενίσχυση σε κάμψη και διάτμηση)

Η μέθοδος αυτή, όπως έχει αναφερθεί και στο Κεφάλαιο 3.2, είναι η πλέον εξελιγμένη των επικολητών χαλύβδινων ελασμάτων που αναλύσαμε παραπάνω, και χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό. Ο τρόπος με τον οποίο θα εφαρμοστεί η ενίσχυση της συγκεκριμένη μεθόδου είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την μορφή ενίσχυσης. Πιο συγκεκριμένα, όταν απαιτείται ενίσχυση σε κάμψη, τα υφάσματα από ινοπλισμένα πολυμερή τοποθετούνται στην εφελκυσόμενη παρειά της δοκού παράλληλα στον άξονα του στοιχείου με σκοπό να παραλάβουν τις τάσεις σε εκείνο το σημείο. Αντίθετα, όταν η δοκός χρήζει αύξησης διατμητικής αντοχής, τότε ουσιαστικά μιλάμε για έναν μανδύα κάθετο στον άξονα του δομικού μέλους, ο οποίος θα περιτυλίξει όλη τη διατομή στα σημεία που ορίζονται από τη μελέτη. Ο μανδύας αυτός συνηθίζεται να είναι ανοιχτού τύπου, και συγκεκριμένα τύπου U καθώς πολλές φορές είναι δύσκολη η επέμβαση στη άνω πλάκα της δοκού. Υπάρχει ακόμα η δυνατότητα αντικατάστασης του μανδύα με λωρίδες ανά διαστήματα βάσει μελέτης. Οι δύο αυτοί τρόποι εφαρμογής απεικονίζονται στα Σχήματα 4.15 και 4.16, αντίστοιχα.

Οι ιδιότητες των ινοπλισμένων πολυμερών καθώς και η διαδικασία εφαρμογής τους, έχει αναλυθεί λεπτομερώς στο Κεφάλαιο 4.2.2.1, όπου αναλύονται τα ΙΟΠ σχετικά με την εφαρμογή τους στα υποστυλώματα. Αξίζει όμως να σημειωθεί πως μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται στις κατασκευαστικές διατάξεις όπως παρουσιάζονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. οι οποίες είναι:

- Οι στρώσεις των ΙΟΠ να μην ξεπερνούν τις 5, εκτός αν υπάρχει ειδική τεκμηρίωση.
- Να μην επιλέγονται οι ματίσεις του υλικού, πράγμα το οποίο είναι εφικτό καθώς τα υφάσματα διατίθενται σε μεγάλα μήκη.
- Η κόλλα σύνδεσης θα πρέπει να έχει πλαστική συμπεριφορά με σκοπό την καλύτερη κατανομή των τάσεων στην περιοχή αγκύρωσης.
- Η μέθοδος αγκύρωσης στα άκρα πρέπει να υλοποιείται μέσω της χρήσης εγκάρσιων ή γωνιακών λωρίδων από ΙΟΠ ή και ειδικών αγκυρίων.



Σχήμα 4.15 Ενίσχυση δοκού με υφάσματα ιοπ παράλληλα στον άξονα του μέλους με σκοπό την αύξηση καμπτικής αντοχής (<https://em4c.gr/portfolio/dimos-iliou/>)



Σχήμα 4.16 Ενίσχυση δοκού με υφάσματα ιοπ κάθετα στον άξονα του μέλους με σκοπό την αύξηση της διατμητικής αντοχής του (<https://monosimacon.blogspot.com>)

4.3.5 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (Ενίσχυση σε κάμψη και διάτμηση)

Η χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου αυξάνει την καμπτική ή την διατμητική αντοχή του στοιχείου ή αποτελεί έναν συνδυασμό ενίσχυσης και των δύο αντοχών, πράγμα το οποίο εξαρτάται από τον τρόπο εφαρμογής της, καθώς οι επιλογές ποικίλουν. Οι μέθοδοι αναφέρονται παρακάτω όπως τους παρουσιάζει στο βιβλίο του ο Σπυράκος (2004).

- *Πλευρικά Μεταλλικά Ελάσματα:* Η ενίσχυση αφορά κατά κύριο λόγο την διατμητική αντοχή του στοιχείου, αυξάνοντας παράλληλα και την καμπτική σε περίπτωση που τοποθετηθούν τα ελάσματα σε μελετημένα σημεία για αυτόν το σκοπό. Αφορά την τοποθέτηση ελασμάτων στις δύο πλευρικές παρειές της δοκού και την αγκύρωση τους με ειδικούς κοχλίες οι οποίοι εισέρχονται σε δύο εγκάρσιες οπές που δημιουργούνται στην δοκό. Η τεχνική αυτή απεικονίζεται στο Σχήμα 4.17.

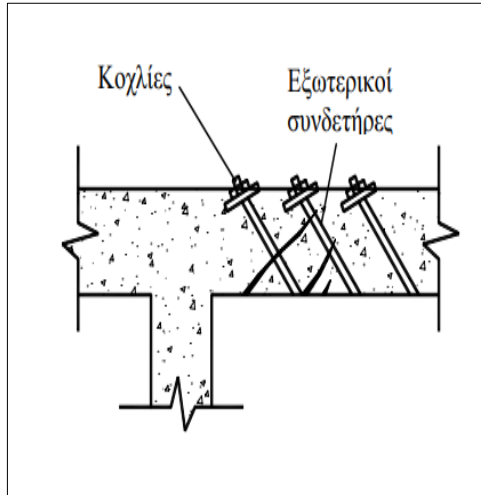
- *Εξωτερικοί Συνδετήρες με Κοχλίες:* Εδώ μιλάμε για ενίσχυση αμιγώς έναντι τέμνουσας. Η ενίσχυση πραγματοποιείται με νέους χαλύβδινους εξωτερικούς συνδετήρες οι οποίοι περισφίγγουν την διατομή και τοποθετούνται είτε κάθετα είτε υπό γωνία 45°. Η απεικόνιση της μεθόδου στο Σχήμα 4.18.

- *Συσφιγμένοι Κοχλίες:* Σε περίπτωση μεγάλης απαίτησης διατμητικής αντοχής ή αντιμετώπισης σοβαρών διατμητικών βλαβών, οι δύο παραπάνω μέθοδοι δεν επαρκούν. Σε αυτή την περίπτωση, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.19, ζεύγη κοχλίων τοποθετούνται σε κάθε πλευρά της δοκού και περισφίγγονται.

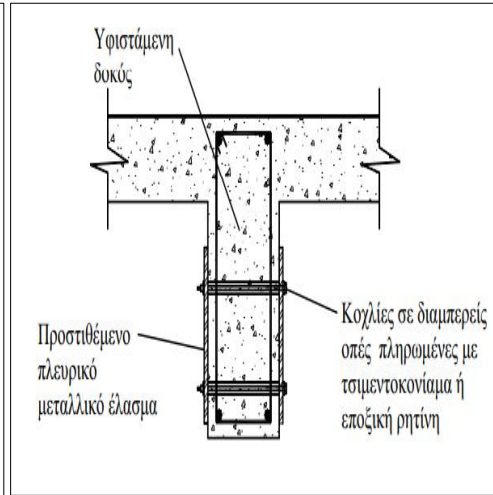
- *Κοχλιωμένος Εφελκόμενος Οπλισμός Διατομής Ανεστραμμένου Π:* Μία ανεστραμμένη χαλύβδινη διατομή ανάποδου Π, συγκολλείται στην κάτω παρειά της δοκού και αγκυρώνεται μέσω κοχλίων οι οποίοι εισέρχονται σε προσεχτικά διαμορφωμένες διαμπερείς οπές πληρωμένες με τσιμεντοκονίαμα ή εποξική ρητίνη. Ο νέος οπλισμός αρχίζει να παραλαμβάνει φορτία μετά την πρώτη παραμόρφωση του σκυροδέματος της διατομής. Η τεχνική απεικονίζεται στο Σχήμα 4.20.

- *Εύκαμπτες Μεταλλικές Διατομές U:* Μεταλλικές διατομές U τοποθετούνται στις δύο κάθετες παρειές μιας δοκού και συνδέονται με αυτή μόνο στα άκρα τους. Αφήνεται ένα κενό μεταξύ τους και της κάτω παρειάς της πλάκας, το οποίο καλύπτεται με σφήνες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.21. Με αυτόν τον τρόπο η νέα σύνθετη διατομή που προκύπτει έχει σαφώς πιο αυξημένη αντοχή.

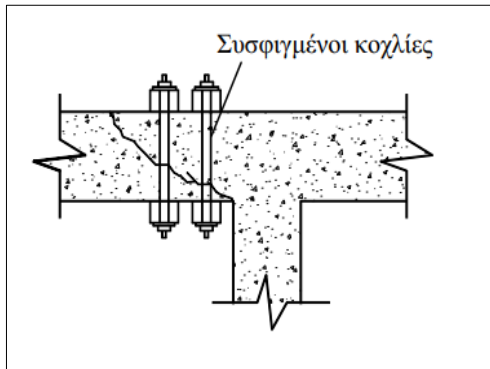
- *Νέα Μεταλλική Δοκός στο Μέσο του Ανοίγματος της πλάκας:* Μέσω της συγκεκριμένης πρόσθετης δοκού, το άνοιγμα της πλάκας μειώνεται κατά 50%, επομένως η φέρουσα ικανότητα της καθώς και εκείνη των δοκών αυξάνεται. Η διαδικασία δεν είναι τόσο εύχρηστη καθώς είναι απαραίτητη η ανύψωση της πλάκας και των δοκών με γρύλους έτσι ώστε να αναιρεθούν οι παραμορφώσεις λόγω των φορτίων βαρύτητας, πρώτου ξεκινήσει η διαδικασία τοποθέτησης της νέας δοκού. Η νέα προσθήκη παραλαμβάνει μόνο τα πρόσθετα φορτία. Το Σχήμα 4.22 παρουσιάζει την διαδικασία.



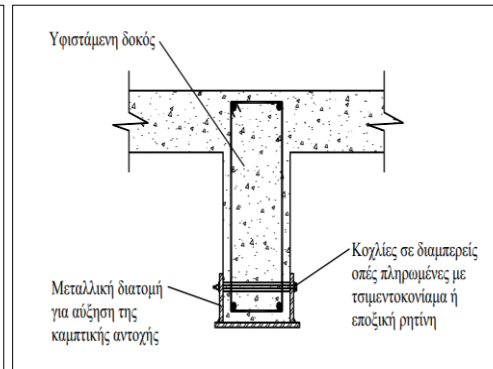
Σχήμα 4.17 Ενίσχυση δοκού με Εξωτερικούς χαλύβδινους συνδετήρες υπό γωνία 45° (Σπυράκος 2004)



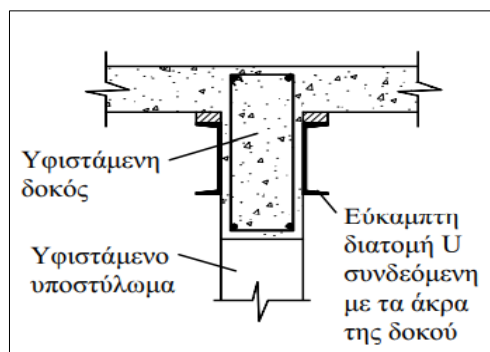
Σχήμα 4.18 Ενίσχυση δοκού με επικολλητά χαλύβδινα ελάσματα στις δύο πλευρικές παρειές μέσω κοχλιών (Σπυράκος 2004)



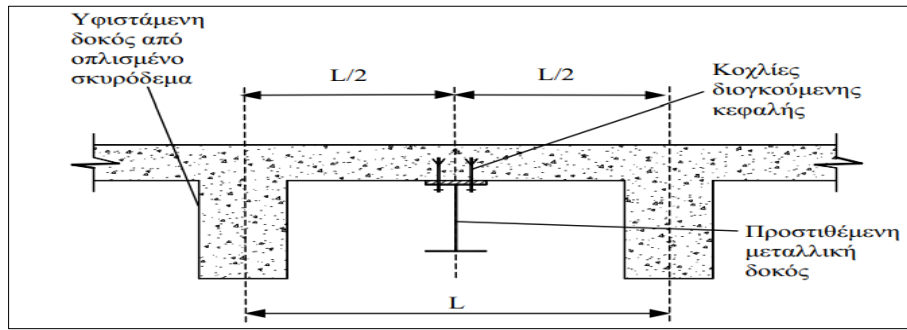
Σχήμα 4.19 Ενίσχυση Δοκού με Συσφιγμένους Κοχλίες (Σπυράκος 2004)



Σχήμα 4.20 Ενίσχυση δοκού με κοχλιωμένο εφελκυσμένο σπλισμό διατομής ανεστραμμένου Π (Σπυράκος 2004)



Σχήμα 4.21 Ενίσχυση Δοκού με δύο εύκαμπτες μεταλλικές διατομές U (Σπυράκος 2004)



Σχήμα 4.22 Ενίσχυση Δοκού με προσθήκη νέας μεταλλικής δοκού στο μέσο ανοίγματος της πλάκας (Σπυράκος 2005)

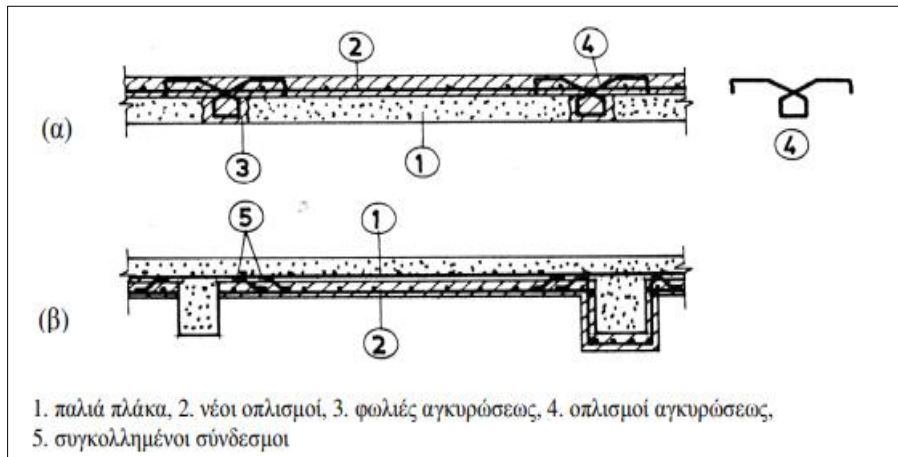
4.4 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΠΛΑΚΩΝ

Η ενισχύσεις των πλακών στοχεύουν καθαρά στην ενίσχυση της καμπτικής αντοχής της πλάκας και είναι παρόμοιες με εκείνες των δοκών που αφορούν σε αυτόν τον στόχο. Οι τεχνικές με τις οποίες επιτυγχάνουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα έχουν αναφερθεί εκτενώς στο Κεφάλαιο 4.3. Αξίζει να σημειωθούν μερικές διευκρινίσεις οι οποίες ίσως διαφέρουν συγκριτικά με τις τεχνικές που ακολουθούνται στην περίπτωση των δοκών.

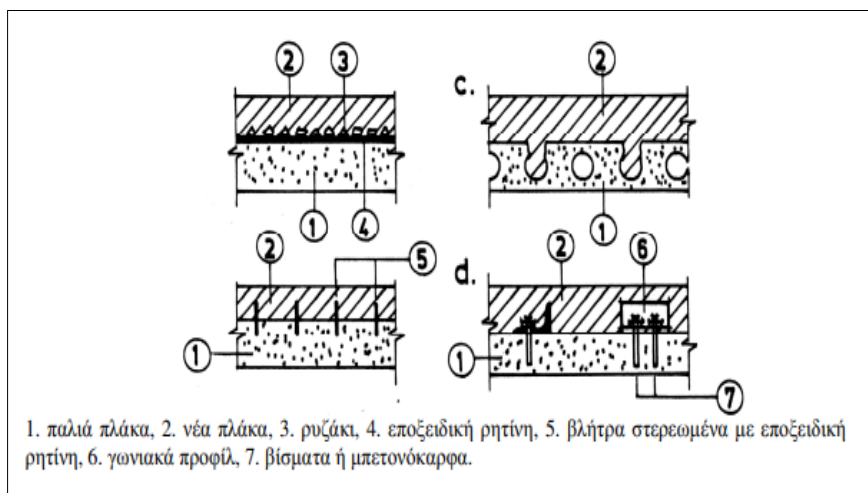
▪ *Πρόσθετες Στρώσεις Οπλισμένου Σκυροδέματος:* Οι στρώσεις αυτές ανάλογα την απαίτηση της κατασκευής και του στοιχείου μπορούν να εφαρμοστούν είτε στο εφελκόμενο κάτω πέλμα της πλάκας, είτε στο θλιβόμενο άνω. Η τεχνική απεικονίζεται στο Σχήμα 4.23. Τοποθετούνται νέοι οπλισμοί και έπειτα το κατά προτίμηση εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Η διαδικασία προετοιμασίας της διεπιφάνειας είναι καίριας σημασίας όπως έχει αναλυθεί, ενώ οι εναλλακτικές αγκύρωσης των νέων οπλισμών που παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.24 μπορεί να είναι βλήτρα, εποξειδική ρητίνη με τοκάρφα κα.

▪ *Επικολητά Χαλύβδινα Ελάσματα:* Τεχνική προγενέστερη των ΙΟΠ που θα αναφερθούν παρακάτω, και συνεπώς λιγότερο εύχρηστη συγκριτικά με τα υφάσματα αυτά, καθώς η χρήση της έχει μειωθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια. Η διαδικασία δεν διαφέρει από αυτή στην περίπτωση των δοκών που έχει αναλυθεί στο αντίστοιχο Κεφάλαιο 4.3.3. Περιληπτικά, μετά τον ενδελεχή καθαρισμό της επιφάνειας, τοποθετούνται τα ελάσματα μέσω ειδικής κόλλας και συμπιέζονται κατάλληλα. Προτιμώνται οι περισσότερες στρώσεις ελασμάτων, έναντι μίας παχιάς. Η αγκύρωση τους πραγματοποιείται μέσω ειδικών ράβδων οι οποίες πακτώνονται εντός της πλάκας. Η διαδικασία επικόλλησης των ελασμάτων με ειδική ρητίνη απεικονίζεται στο Σχήμα 4.25.

▪ *Υφάσματα από Ινοπλισμένα Πολυμερή (FRPs):* Αξίζει να σημειωθεί πως τα υφάσματα από ινοπλισμένα πολυμερή μπαίνουν και στις δύο διευθύνσεις της πλάκας σε αντίθεση με τα χαλύβδινα ελάσματα. Πέραν την καμπτικής ενίσχυσης, τα ΙΟΠ συμβάλουν στην μείωση των παραμορφώσεων και συνεπώς της ρηγματώσης. Όπως έχει γίνει σαφές τα υφάσματα έχουν σχεδόν αντικαταστήσει τα ελάσματα λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων τους. Η τοποθέτηση τους απεικονίζεται παρακάτω στο Σχήμα 4.26.



Σχήμα 4.23 Ενίσχυση πλάκας με πρόσθετες στρώσεις οπλισμένου σκυροδέματος (Δρίτσος 2005)



Σχήμα 4.24 Ενίσχυση πλάκας με πρόσθετες στρώσεις οπλισμένου σκυροδέματος.
Εναλλακτικοί τρόποι σύνδεσης διεπιφάνειας (Δρίτσος 2005)



Σχήμα 4.25 Ενίσχυση πλάκας με επικολητά χαλύβδινα ελάσματα
([Επικολλούμενος εξωτερικός οπλισμός - ελάσματα | Sika Hellas](#))



Σχήμα 4.26 Ενίσχυση πλάκας με FRPs
([Ενίσχυση πλάκας με ανθρακούφασματα - Κατοικία στο Αγρίνιο - em4c.gr](#))

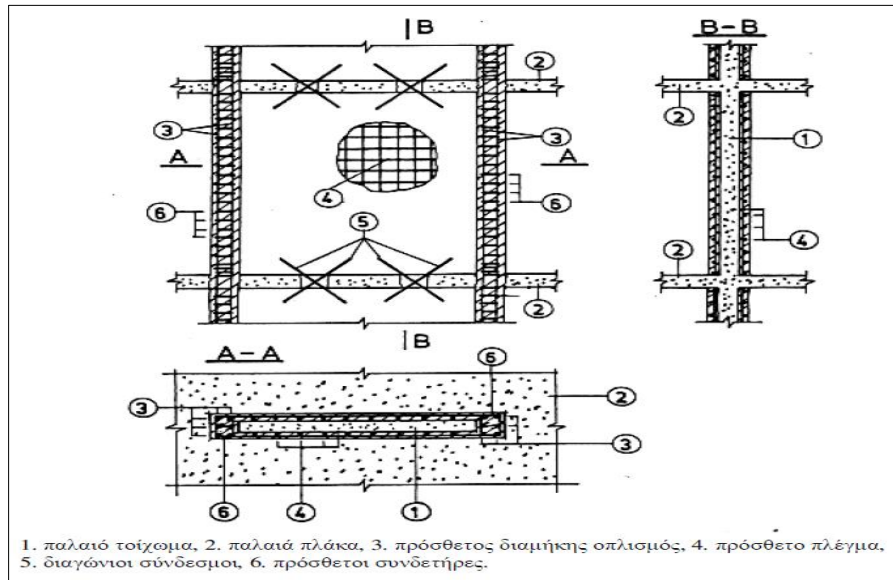
4.5 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ

4.5.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΣ

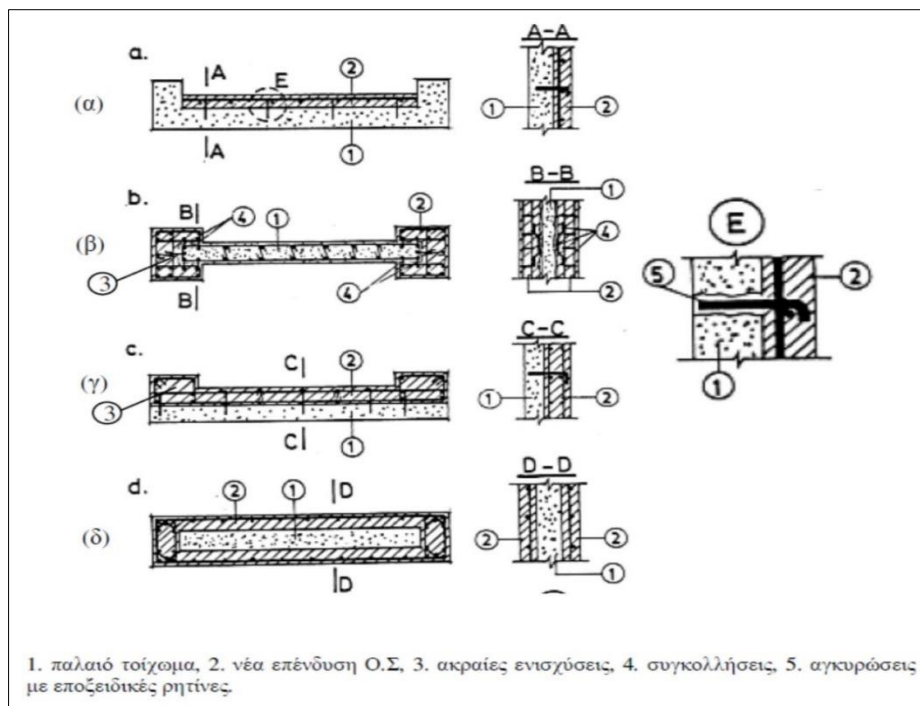
Γενικότερα η ενίσχυση των τοιχωμάτων μοιάζει με εκείνη των υποστυλωμάτων, καθώς η χρήση μανδύων, αποτελεί τεχνική αύξησης της διατομής του στοιχείου, ενώ πιο κάτω θα αναλυθούν μέθοδοι περίσφιξης. Η ενίσχυση των τοιχωμάτων με αυτόν τον τρόπο αποτελεί βάσει του βιβλίου του Δρίτσου (2005) την πιο αποτελεσματική τεχνική, πράγμα που την καθιστά και την πιο διαδεδομένη, μιας και προτιμάται από το μεγαλύτερο ποσοστό των μηχανικών. Γνωρίζουμε την κατηγοριοποίηση των μανδύων σε κλειστού και ανοιχτού τύπου οι οποίοι εφαρμόζονται ανάλογα την περίπτωση και τις ανάγκες της κατασκευής. Στην περίπτωση των τοιχωμάτων, λόγω κυρίως της γεωμετρίας τους η επιλογή του ανοιχτού τύπου μανδύα αποτελεί την βέλτιστη λύση, παρότι ο κλειστός τύπου μανδύας που απεικονίζεται στο Σχήμα 4.27 στοχεύει συγχρόνως στην διατμητική και καμπτική ενίσχυση του στοιχείου καθώς και στην εξασφάλιση των περισσότερων αντισεισμικών απαιτήσεων. Αυτό συμβαίνει καθώς ο ανοιχτού τύπου μανδύας εφαρμόζεται με μεγαλύτερη ευκολία και αποτελεί λύση στις περισσότερες περιπτώσεις λόγω της διατομής του εκάστοτε τοιχώματος, σε αντίθεση με τον κλασικό κλειστό τύπου, του οποίου η εφαρμογή προϋποθέτει ορισμένες κατάλληλες συνθήκες.

Υπάρχουν επίσης και άλλοι τρόποι εφαρμογής μανδύα, οι οποίες απεικονίζονται στο Σχήμα 4.28. Στην περίπτωση α) σκοπός είναι η μικρή αύξηση διατμητικής αντοχής, στην β) η αύξηση της καμπτικής αντοχής, μέσω δύο κρυφούποστυλωμάτων ενώ στις γ) και δ) επιτυγχάνεται η αύξηση και των δύο. Τέλος στην περίπτωση δ) βλέπουμε τον κλειστό τύπου μανδύα, οποίος περικλείει όλο το τοίχιο. Η συνέχεια της ενίσχυσης του τοιχώματος και στους άλλους ορόφους είναι αναγκαία, για αυτόν τον λόγο πραγματοποιείται η διάνοιξη διαμπερών οπών ώστε να αγκυρωθούν διαγώνιοι σύνδεσμοι οι οποίοι θα ενώνουν τα δύο ενισχυμένα τοιχώματα.

Αξίζει να σημειωθούν οι δύο εναλλακτικές έγχυτου ή εκτοξευόμενου σκυροδέματος, με την δεύτερη να υπερισχύει λόγω ευκολίας και πολλών προνομίων που προσφέρει. Ακόμα, η προετοιμασία της διεπιφάνειας παλιού και νέου σκυροδέματος πρέπει να ακολουθηθεί πιστά όπως έχει αναλυθεί και στο Κεφάλαιο 4.2.1.2 των υποστυλωμάτων, με σκοπό την αποφυγή συστολής ξήρανσης. Φωτογραφίες κατασκευών μανδύα υπάρχουν στο Σχήμα 4.29.



Σχήμα 4.27 Γενική Διάταξη ενίσχυσης τοιχώματος με κλειστού τύπου μανδύα ΟΣ (Δρίτσος 2005)



Σχήμα 4.28 Τρόποι Εφαρμογής μανδύα ΟΣ σε τοιχώματα (Δρίτσος 2005)



Σχήμα 4.29 Ενισχύσεις Τοιχωμάτων με μανδύα ΟΣ
http://www.episkeves2.civil.upatras.gr/?page_id=1026

4.5.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΛΩΒΟΥ

Η τεχνική αυτή αποτελεί μέθοδος περίσφιξης του στοιχείου, όπως αναλύθηκε και στα υποστυλώματα. Στις περιπτώσεις όπου υπάρχει ως στόχος η αύξηση της πλαστιμότητας και της θλιπτικής και διατμητικής αντοχής του στοιχείου. Με την περίσφιξη λοιπόν, αναπτύσσεται το φαινόμενο της τριαξονικής έντασης, και έτσι αναστέλλεται η πλευρική διόγκωση του σκυροδέματος του τοιχώματος, κατά την μονοαξονική θλίψη. Η περίσφιξη γενικότερα δεν είναι τόσο αποτελεσματική όπως διαπιστώνεται πως είναι στα υποστυλώματα, παρ'όλα αυτά βάσει των όσα γράφονται στο βιβλίο του Δρίτσου (2005), η τεχνική χρησιμοποιείται και επιτυγχάνεται μέσω των μανδύων από ΙΟΠ και του μεταλλικού κλωβού. Αυτοί οι δύο τρόποι ενίσχυσης φέρουν αποτελέσματα στα τοιχώματα, με εκείνον του μεταλλικού κλωβού να υπερισχύει λόγω των περισσότερων πλεονεκτημάτων του.

Η διαδικασία κατασκευής του μεταλλικού κλωβού λοιπόν, παραμένει σχεδόν η ίδια με εκείνη που αναλύεται στο Κεφάλαιο 4.2.2.2. Πιο συγκεκριμένα, διαμπερείς μεταλλικοί σύνδεσμοι σχήματος Z και Π, ηλεκτροσυγκολλούνται στα απέναντι μεταλλικά ελάσματα σε απόσταση 30 εκατοστών, ενώ το κενό που εμφανίζεται μέσα στις διαμπερείς οπές όπου και τοποθετούνται, καλύπτεται με εποξειδική ρητίνη. Ακόμα, η κατασκευή του κλωβού αποφορτίζει το στοιχείο από την τέμνουσα δύναμη, ενώ σε περίπτωση ανάγκης άμεσης ανάληψης κατακόρυφων φορτίων, λόγω αδυναμίας του τοιχώματος, ο κλωβός αποτελεί την βέλτιστη προσωρινή λύση.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως το βασικότερο πλεονέκτημα του μανδύα ΙΟΠ σε τοιχώματα, αν και προτιμάται ο μεταλλικός κλωβός, αποτελεί η ευκολία εφαρμογής και η δυνατότητα ανάληψης διατμητικής και καμπτικής έντασης. Για τον λόγο αυτό, υπάρχουν ειδικές περιπτώσεις, όπως η απαίτηση εξοικονόμησης χρόνου, όπου η τεχνική αυτή υπερισχύει.

4.6 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Η τεχνική ενίσχυσης με προσθήκη τοιχωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι μία τεχνική η οποία συμβάλει στην ενίσχυση όλης της κατασκευής με κύριο στόχο την αύξηση της δυσκαμψίας και όχι στην επιμέρους ενίσχυση κάποιου δομικού στοιχείου και κατ'επέκταση όλου του συνόλου. Είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος ενίσχυσης του συνόλου μιας κατασκευής, ανάμεσα σε άλλες οι οποίες χαρακτηριστικά αναφέρονται και στο βιβλίο του Δρίτσου, (2005) και είναι οι εξής:

- Προσθήκη δικτυωτών συστημάτων εντός πλαισίου.
- Κατασκευή πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστυλωμάτων.
- Μανδύες σε κατακόρυφα στοιχεία (τεχνική που αναλύθηκε παραπάνω καθώς συνίσταται περισσότερο για μεμονωμένη ενίσχυση).
- Προσθήκη νέων κατακόρυφων στοιχείων.
- Σεισμική μόνωση, η οποία περιορίζει την ενέργεια του σεισμού η οποία δρα στο κτίριο.

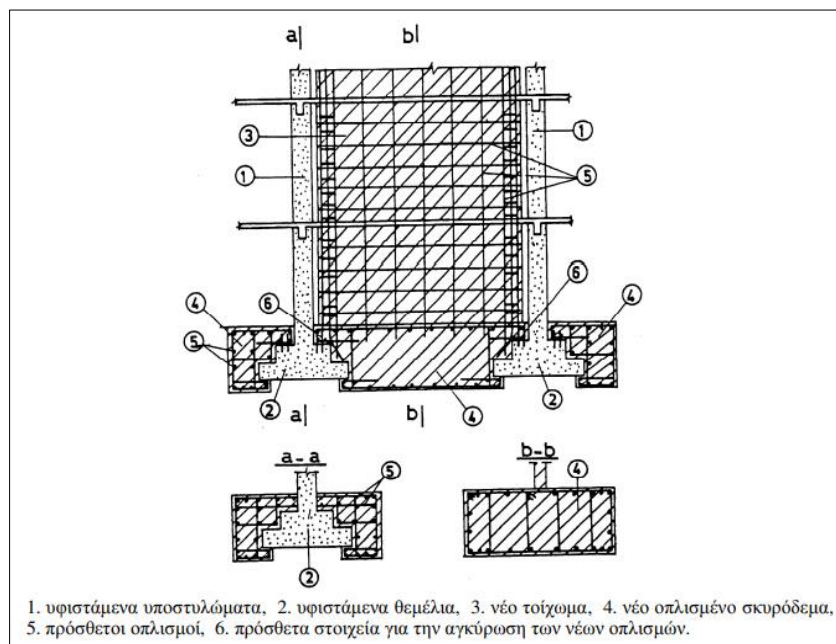
Στη διάδοση της έχουν συμβάλει σημαντικά η αποτελεσματικότητα της όσον αφορά την αύξηση της αντοχής και δυσκαμψίας της κατασκευής. Αξίζει να σημειωθεί πως η επέμβαση σε όλη την κατασκευή με την συγκεκριμένη μέθοδο στοχεύει στο να μετατρέψει το κτίριο σε πιο δύσκαμπτο. Ακολουθεί κατηγοριοποίηση του τρόπου ενίσχυσης βάσει του είδους των τοιχωμάτων.

4.6.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΟΣ

Όπως αναφέρει και ο Γιάννακας τα τοιχώματα αυτά μπορεί να είναι είτε από έγχυτο είτε από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και μπορούν να συνδέονται είτε περιμετρικά με όλο το πλαίσιο, δηλαδή και πάνω κάτω με τις δοκούς όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.30 και πλευρικά με τα υποστυλώματα ή μόνο με τις δοκούς, αφήνοντας μία μικρή απόσταση από τα κατακόρυφα στοιχεία. Η δεύτερη περίπτωση επιλέγεται συνήθως σε περιπτώσεις που υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερη πλαστιμότητα, ενώ και στις δύο εκδοχές ενίσχυσης, τα νέα τοιχώματα είναι απαραίτητο να αποκτήσουν ουσιαστικά θεμέλια, μέσω της σύνδεσης τους με τα υπάρχοντα. Η διαδικασία θεμελίωσης απεικονίζεται στο Σχήμα 4.31.



Σχήμα 4.30 Ενίσχυση με προσθήκη τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος εντός πλαισίου (Γιάνακας Ν. Επισκευές και Ενισχύσεις των Κατασκευών <https://eclass.hmu.gr/courses/TD141/>)



Σχήμα 4.31 Θεμελίωση νέου τοιχώματος εντός υφιστάμενου πλαισίου (Δρίτσος 2005)

Ζητήματα που αξίζουν προσοχής στην μέθοδο αυτή αποτελούν τα εξής:

- Στην περίπτωση σύνδεσης τοιχώματος με πλευρικά υποστυλώματα αξίζει προσοχής το γεγονός ότι η ένταση σε εκείνα είναι μεγάλη καθώς αποτελούν τα άκρα του. Για την αποφυγή λοιπόν προβλημάτων συνηθίζεται να επιλέγεται η μέθοδος ενίσχυσης μεμονωμένα των εκάστοτε υποστυλωμάτων, με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος. Κάτι τέτοιο σαφώς αυξάνει το κόστος της ενίσχυσης.
- Και στις δύο περιπτώσεις ενίσχυσης, είτε σύνδεσης τοιχώματος με δοκούς και υποστυλώματα είτε μόνο με τα πρώτα, η μεταφορά οριζόντιων δράσεων από τις δοκούς είναι το φαινόμενο το οποίο πρέπει να εξασφαλιστεί με τον έλεγχο επαρκούς διαμήκη οπλισμού. Εάν δεν επαρκεί λοιπόν ακολουθείται η διαδικασία επικόλλησης μεταλλικών πλακών πάνω στις δοκούς και ο επιπλέον διαμήκης οπλισμός πάνω στα τοιχώματα. Ακολουθεί συγκόλληση των νέων οπλισμών με τις πλάκες, και συμπλήρωση των κενών με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
- Το σύνθετο φαινόμενο της συστολής ξήρανσης του σκυροδέματος εμφανίζεται και σε αυτή την περίπτωση, και μπορεί να προκαλέσει αποκόλληση του νέου και ενδεχομένως ρηγματώσεις. Το πρόβλημα αυτό διαπιστώνεται στην διεπιφάνεια του τοιχώματος με την δοκό και μπορεί να αντιμετωπιστεί με τον συνηθισμένο τρόπο προσθήκης ρευστοποιητών και άλλων προσμίκτων στο σκυρόδεμα, είτε με την σκυροδέτηση του τοιχώματος κατά 20cm πιο κάτω από την δοκό και συμπλήρωσης του κενού έπειτα από ένα εύλογο χρονικό διάστημα, με εποξειδικό ή πολυεστερικό κονίαμα ή με ρητινενέσεις σε περίπτωση που το κενό είναι μόνο 5-7 χιλιοστά.
- Η δυσκολία σκυροδέτησης σε δυσπρόσιτα σημεία αποτελεί ένα ακόμα πρόβλημα το οποίο αντιμετωπίζεται με την χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος έναντι έγχυτου, πράγμα που καθιστά και περισσότερο εύκολη την όλη διαδικασία.

4.6.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ (PANELS)

Τα προκατασκευασμένα τοιχώματα αποτελούν μία σαφώς οικονομικότερη λύση της προηγούμενης, αλλά η απόδοση τους σχετικά με την συνεισφορά τους στην δυσκαμψία και στην αντοχή της κατασκευής, δηλαδή των ζητούμενων, είναι αισθητά μικρότερη. Η σύνδεση τους με το πλαίσιο είναι ακριβώς η ίδια με εκείνη των τοιχωμάτων από σκυρόδεμα. Τα είδη προκατασκευασμένων τοιχωμάτων είναι δύο, τα συμπαγή από οπλισμένο σκυρόδεμα και τα τύπου “σαντουιτς” με φλοιό από οπλισμένο σκυρόδεμα ή ενισχυμένα μεταλλικά φύλλα, ενώ το εσωτερικό τους αποτελείται από κάποιο μονωτικό υλικό.

Τα τοιχώματα τύπου “σαντουιτς” με μεταλλικά φύλλα χρήζουν προσοχής ως προς την οξείδωση του επιφανειακού μετάλλου και την εύκολη ανάφλεξη τους σε περίπτωση πυρκαγιάς. Αποτελούν συνήθως εύκολη λύση λόγω βάρους και εύκολης μετακίνησης και τοποθέτησης, καθώς και μη απαίτησης εξειδικευμένου και έμπειρου προσωπικού. Η χρήση τους προτιμάται, συγκριτικά με αυτή των προκατασκευασμένων από συμπαγές

σκυρόδεμα, κάτι το οποίο προκύπτει από το γεγονός ότι μπορούν να συνδυάσουν το χαμηλό κόστος και την αντοχή τους στην διάβρωση.

4.6.3 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΑΠΟ ΣΥΜΠΑΓΕΙΣ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΥΣ Η ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΛΙΝΘΟΥΣ

Η μέθοδος αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με ή χωρίς οπλισμό. Είναι η πλέον λιγότερη ευεργετική για την κατασκευή σε σύγκριση με τις δύο προηγούμενες, παρόλα αυτά προτιμάται σε ορισμένες περιπτώσεις καθώς είναι ικανή να ανακουφίσει την κατασκευή από την σεισμική ένταση.

Αναφορικά με την περίπτωση της οπλισμένης τοιχοπλήρωσης, οι νέοι οπλισμοί αγκυρώνονται περιμετρικά στους δοκούς και τα υποστυλώματα με ειδικά αγκύρια, με συγκόλληση των νέων με τους παλιούς οπλισμούς ή με ρητίνες ειδικές για αυτό τον σκοπό. Αν και χρησιμοποιείται, δεν συνυπολογίζεται ως τρόπος ενίσχυσης έναντι σεισμού καθώς θεωρείται πως δεν φέρει αντισεισμική δράση αλλά ως τρόπος εξομάλυνσης τυχόν ασύμμετρων κατανομών της τοιχοπλήρωσης ή και άλλων δύσκαμπτων κατασκευών που υπάρχουν, όπως είναι τα κλιμακοστάσια.

4.7 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΧΙΑΣΤΙ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΕΝΤΟΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Η ενίσχυση κατασκευών με την προσθήκη μεταλλικών χιαστί εντός πλαισίων του φέροντα οργανισμού μιας κατασκευής, αποτελούν μία λύση αύξησης της αντοχής και κατά κύριο λόγο της δυσκαμψίας. Η ανελαστική συμπεριφορά των μεταλλικών στοιχείων βοηθάει στην απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας. Η όλκιμη συμπεριφορά του χάλυβα έχει ως αποτέλεσμα τις μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις.

Η εύκολη τοποθέτηση τους λόγω βάρους αποτελεί βασικό πλεονέκτημα, ενώ δεν επιβαρύνουν ιδιαίτερα το σύνολο της κατασκευής σχετικά με τα κατακόρυφα φορτία. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα επισκευής και αντικατάστασης τους, ενώ η τοποθέτηση τους μπορεί να γίνει χωρίς να εμποδίζεται ο φυσικός φωτισμός και αερισμός. Η τοποθέτηση τους σε περίπτωση ύπαρξης τοιχοποιίας, μπορεί να πραγματοποιηθεί εξωτερικά του πλαισίου. Το αποτέλεσμα όλων αυτών λοιπόν είναι η αύξηση της χρήσης τους τα τελευταία χρόνια, αντικαθιστώντας λύσεις από οπλισμένο σκυρόδεμα, κάτι το οποίο μειώνει σημαντικά το κόστος ενίσχυσης. (Σπυράκος, 2004)

Η χρήση τους πραγματοποιείται συνήθως σε μαλακούς ορόφους, δηλαδή σε ορόφους με μειωμένη δυσκαμψία, όπου η αστοχίες και οι σχετικές μετακινήσεις είναι πολύ μεγαλύτερες συγκριτικά με τους άλλους ορόφους. Οι πιλοτές και τα ισόγεια με λιγότερες τοιχοπληρώσεις παρουσιάζουν αυτό το φαινόμενο. Σε περιπτώσεις όπου δεν παρατηρούνται μαλακοί όροφοι και η απαίτηση της κατασκευής είναι η αύξηση της αντοχής της συνολικά, η τοποθέτηση των μεταλλικών χιαστί γίνεται καθ' ύψος των φανωμάτων των περιμετρικών κυρίως πλαισίων. (Δρίτσος, 2005)

Τα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου ενίσχυσης δεν είναι πολλά, αλλά χρήζουν προσοχής με σκοπό την καλύτερη δυνατή αποτελεσματικότητα της. Πιο συγκεκριμένα, τα μεταλλικά αυτά χιαστί υπόκεινται σε λυγισμό. Για την αποφυγή του φαινομένου, ενδείκνυται η μείωση της διατομής κοντά στα σημεία σύνδεσης με τα πλαίσια. Επιπλέον, παρατηρείται η ανεπάρκεια των κόμβων του πλαισίου στο οποίο τοποθετούνται τα χιαστί. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην δυνατότητα των μεταλλικών χιαστί να φέρουν μεγάλα οριζόντια φορτία. Για την πρόληψη του φαινομένου, μία λύση είναι η τοπική ενίσχυση των σημείων σύνδεσης. (Νικολοπούλου & Τζουμανίκα, 2011)

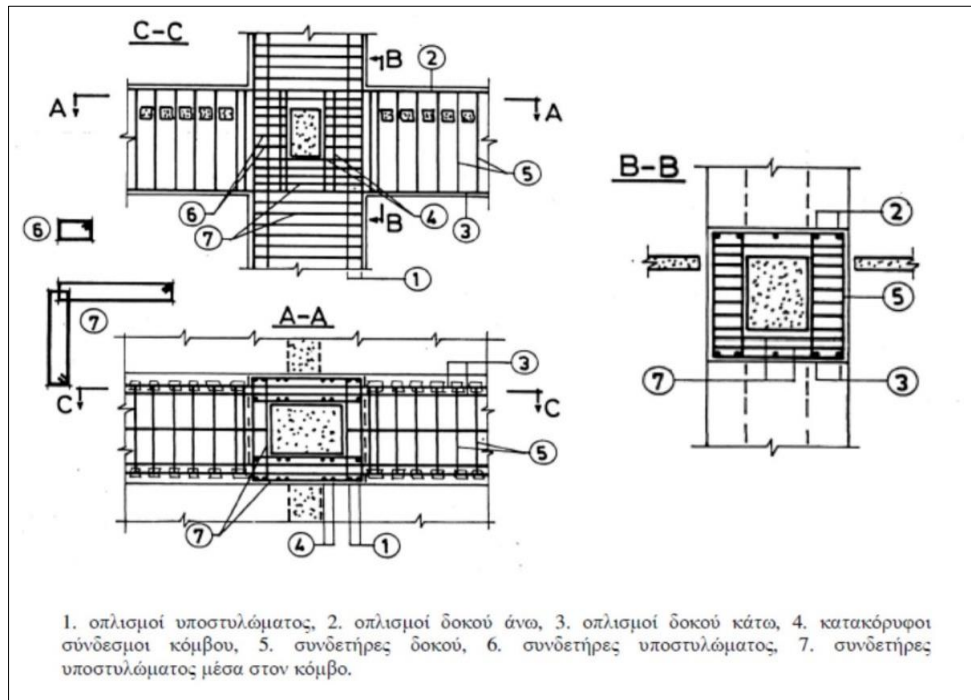
4.8 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΟΥ ΔΟΚΟΥ-ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ

Οι κόμβοι δοκών υποστυλωμάτων αποτελούν τα σημεία μιας κατασκευής τα οποία πλήττονται περισσότερο μιας και είναι τα πλέον ευπαθή στοιχεία, καθώς η διατμητική ένταση στο σημείο αυτό είναι πολύ μεγάλη και η σκυροδέτηση τους μπορεί να μην έχει γίνει με σωστό τρόπο. Η διαδικασία ενίσχυσης θεωρείται δύσκολη καθώς συντρέχουν και άλλα μέλη, από μία ή παραπάνω πλευρές. Παρ' όλα αυτά, η ενίσχυση τους όταν απαιτείται αποτελεί επιτακτική ανάγκη, καθώς μία πιθανή βλάβη ή μία ενδεχόμενη αστοχία τους θεωρείται πολύ πιο σημαντική από αυτή ενός άλλου μέλους της κατασκευής. Οι τρόποι ενίσχυσης βάσει του Δρίτσου (2005) είναι τρεις και αναλύονται παρακάτω.

4.8.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕ ΜΑΝΔΥΑ ΟΣ

Η χρήση μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η πιο αποτελεσματική τεχνική, ακόμα και όταν ο μανδύας δεν μπορεί να είναι κλειστού τύπου. Συνιστάται και προτιμάται η επέκταση της ενίσχυσης πέραν του κόμβου και στα μέλη που συντρέχουν, με σκοπό την καλύτερη δυνατή αποτελεσματικότητα της. Ακόμα, βάσει απαιτήσεων και κατ' επέκταση μελέτης, η επέκταση του μανδύα μπορεί να υλοποιηθεί στις δοκούς μέχρι συγκεκριμένο μήκος ή και καθόλου. Η διατομή του κόμβου μεγαλώνει, όπως άλλωστε προβλέπει η τεχνική αυτή, τοποθετούνται επιπλέον εγκάρσιοι και διαμήκεις οπλισμοί, συνδετήρες και τέλος το σκυρόδεμα το οποίο είναι είτε έγχυτο είτε εκτοξευόμενο.

Η προετοιμασία της επιφάνειας με εκτράχυνση της και άλλες συγκεκριμένες διαδικασίες, επιβάλλεται όπως έχει περιγραφεί σε όσα κεφάλαια περιγράφεται αυτή η μέθοδος ενίσχυσης, ώστε να μην υπάρχει αστοχία στην διεπιφάνεια παλαιού και νέου σκυροδέματος. Η συνηθισμένη μορφή μανδύα που εκτείνεται και σε υποστυλώματα και δοκούς απεικονίζεται στο Σχέδιο 4.32.

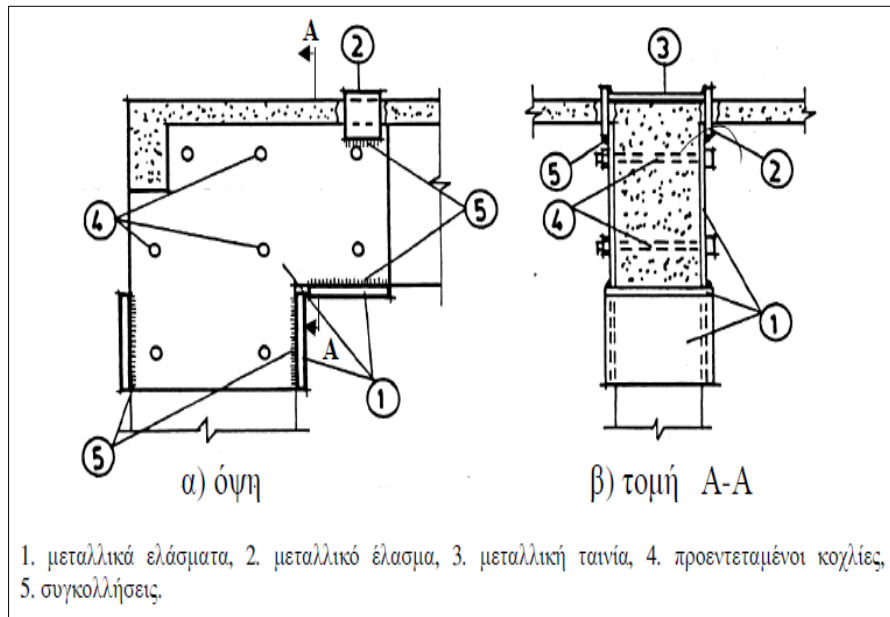


Σχήμα 4.32 Ενίσχυση κόμβου δοκού υποστρώματος με μανδύα ΟΣ (Δρίτσος 2005)

4.8.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕ ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΑ ΧΑΛΥΒΔΙΝΑ ΕΛΑΣΜΑΤΑ Ή ΙΟΠ

Επικολητά Χαλύβδινα Ελάσματα: Η τεχνική αυτή είναι σαφώς πολύ αποτελεσματική καθώς μέσω αυτής επιδιώκεται η περίσφιξη του κόμβου, διαδικασία η οποία μπορεί να προσφέρει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα ως προς την αύξηση διατμητικής αντοχής και πλαστιμότητας. Για αυτό το λόγο η ενίσχυση πρέπει να περικλείει όλο τον κόμβο, υπό μορφή κλειστού μανδύα, ώστε να έχει ουσιαστικό νόημα η διαδικασία περίσφιξης του. Στις περιπτώσεις όπου συντρέχουν δοκοί και στις δύο διευθύνσεις η εφαρμογή της δεν συνιστάται γιατί απλώς δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί. Τα ελάσματα σαφώς επικολλούνται με ειδικές κόλλες πάνω στην επιφάνεια, ενώ η εξασφάλιση της συνάφειας τους με το στοιχείο εξασφαλίζεται μέσω προεντεταμένων κοχλιών οι οποίοι μπαίνουν μέσα σε διαμπερείς οπές και ενώνουν τις απέναντι παρειές. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνική της διαδικασίας φαίνεται στο Σχήμα 4.33, όπως προτείνεται από το εγχειρίδιο της UNIDO (UNDP/UNIDO, 1983).

Επικολητά φύλλα από Ινοπλισμένα Πολυμερή (FRPs): Η τεχνική αυτή όπως έχει αναλυθεί εκτενώς στο Κεφάλαιο 4.2.2.1 όπου αναφέρονται τα ΙΟΠ στην περίπτωση των υποστρωμάτων, έχουν πάρα πολλά πλεονεκτήματα τα οποία καθιστούν την επιλογή τους, την πλέον συμφέρουσα. Παρόλα αυτά, αν και η εφαρμογή τους είναι εύκολη και ταχύτατη, στην περίπτωση των κόμβων όπου έχουμε πλάκες και δοκούς οι οποίες συντρέχουν από δύο διευθύνσεις, η επιλογή τους είναι απαγορευτική, καθώς οι τεχνικές δυσκολίες στην τοποθέτηση τους ποικίλουν. Σε περίπτωση εφαρμογής του όμως, η ενίσχυση δεν περιορίζεται μόνο στον κόμβο, αλλά και σε ολόκληρες τις δοκούς και τα υποστρώματα που συντρέχουν. (Δρίτσος, 2005)

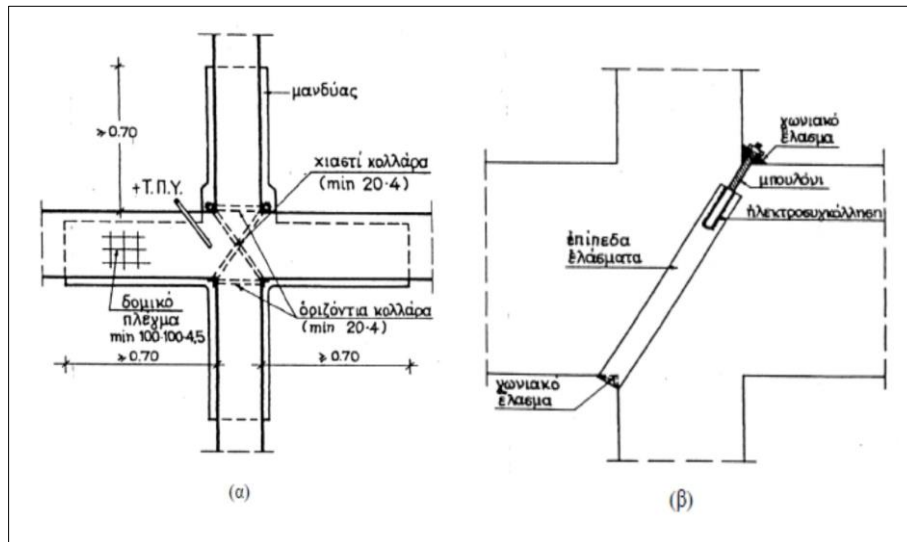


Σχήμα 4.33 Ενίσχυση κόμβου δοκού υποστυλώματος με επικολητά χαλύβδινα ελάσματα (Δρίτσος 2005)

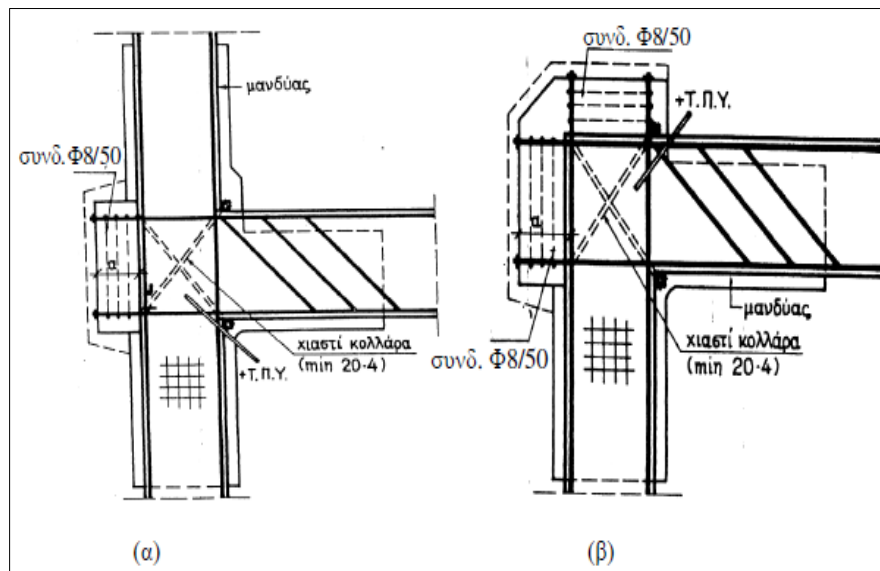
4.8.3 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕ ΧΙΑΣΤΙ ΚΟΛΛΑΡΑ

Η τεχνική αυτή περιλαμβάνει την τοποθέτηση χιαστί και οριζόντιων κολλάρων τα οποία επικολλώνται πάνω τους όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.34. Με την τοποθέτηση αυτών των πρόσθετων κολλάρων εξασφαλίζεται η σταθερότητα του συστήματος αυτού, η επιπλέον αγκύρωση των οπλισμών των δοκών που συντρέχουν καθώς και της πλαστιμότητας που προσφέρει η μέθοδος αυτή. Η απόδοση της επιτυγχάνεται περαιτέρω μέσω της κάλυψης του κόμβου με έναν μανδύα από έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, οπλισμένο με ένα ελαφρύ ανοξείδωτο πλέγμα. Ακόμα μεγαλύτερα αποτελέσματα μπορεί να επιφέρει ο συνδυασμός χιαστί κολλάρων και μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος.

Τα μειονεκτήματα τη τεχνικής περιορίζονται στην περίπτωση όπου υπάρχουν τέσσερις δοκοί περιμετρικά του υποστυλώματος. Σε αυτή την περίπτωση δεν εφαρμόζεται καθόλου καθώς θα πρέπει να πραγματοποιηθούν διαμπερείς οπές στα δύο από τα τέσσερις δοκούς. Στην περίπτωση εξωτερικών κόμβων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.35, απαιτείται η επέκταση της δοκού, ενώ στην περίπτωση ανωτάτου ορόφου, η επέκταση και της δοκού και του υποστυλώματος. Με αυτόν τον τρόπο επικολλούνται πάνω στον υπάρχον οπλισμό των δοκών και των υποστυλωμάτων, τα νέα σίδερα πράγμα το οποίο εξυπηρετεί και στην σταθεροποίηση των κολλάρων αλλά και στην καλύτερη αγκύρωση του οπλισμού τους μέσα στον κόμβο. (Δρίτσος, 2005)



Σχήμα 4.34 Ενίσχυση Κόμβου με χιαστί κολλάρα α) Γενική διάταξη β) Λεπτομέρειες εφαρμογής (Δρίτσος 2005)



Σχήμα 4.35 Εφαρμογή χιαστί Κολλάρων σε εξωτερικούς Κόμβους α) με υποστύλωμα στον ανώτερο όροφο β) χωρίς υποστύλωμα στον ανώτερο όροφο (Δρίτσος 2005)

5. Κεφάλαιο 5^ο: Περιγραφή και Προσομοίωση Υφιστάμενου Κτιρίου

5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ

Το κτίριο το οποίο μελετάται στην παρούσα εργασία είναι ένα υφιστάμενο κτίριο της Αθήνας του οποίου ο φέροντας οργανισμός είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα και αποτελείται από 5 ορόφους (ισόγειο και τέσσερις όροφοι). Το ίδιο κτίριο θα μελετηθεί και θα αναλυθεί και στην περίπτωση όπου αποτελείται και από τοιχοπληρώσεις, σχηματίζοντας πιλοτή. Η ανέγερση του έχει πραγματοποιηθεί την δεκαετία του '60 επομένως έχει μελετηθεί και σχεδιαστεί με τους τότε υφιστάμενους κανονισμούς, δηλαδή το Βασιλικό Διάταγμα του 1959. Αξίζει να σημειωθεί πως τα κτίρια εκείνης της εποχής παρουσιάζουν αρκετές διαφορές συγκριτικά με εκείνα που έχουν κατασκευαστεί με τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς. Μερικές από αυτές είναι οι μικρότερες διατομές υποστυλωμάτων, η ανεπάρκεια συνδετήρων σε αυτά, οι ελλειπείς ματίσεις, η σχεδίαση για ψαθυρή αστοχία, η απουσία πλαστιμότητας και Ικανοτικού σχεδιασμού κα. Παρακάτω αναλύονται περαιτέρω σημαντικά στοιχεία του κτιρίου.

5.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ

Το κτίριο είναι κανονικό σε κάτοψη και όψη, αποτελείται από 5 ορόφους με ύψος 3.00 m. Είναι συμμετρικό καθώς η κάθε του πλευρά έχει μήκος 10.00 m και αποτελείται από δύο ανοίγματα. Οι διατομές των υποστυλωμάτων είναι 25x25, 30x30, 35x35, 40x40, 25x40, 40x25, 30x25, 25x30. Οι διατομές όλων των δοκών είναι 20/60 και οι πλάκες έχουν πάχος 15 cm. Ενδεικτικά οι οπλισμοί των στοιχείων είναι οι εξής:

- Δοκοί: 4Φ10, 2Φ8 (μοντάζ στο άνω μέρος της δοκού)
- Υποστυλώματα: 4Φ14 , 4Φ16 και 4Φ20

Συνδετήρες σε δοκούς και υποστυλώματα Φ6/30

Επικάλυψη 2.5 cm

5.3 ΥΛΙΚΑ

- Σκυρόδεμα B160: $f_{cm}=13\text{MPa}$, $f_{ck}=9\text{MPa}$
- Χάλυβας διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού STI (S220): $f_{ym}=280\text{MPa}$, $f_{yk}=240\text{MPa}$

Όπως έχει αναλυθεί εκτενέστερα στο Κεφάλαιο 2, υπάρχει η δυνατότητα σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ να χρησιμοποιηθούν οι "ερήμην" αντιπροσωπευτικές τιμές αντοχής υλικών του Κανονισμού (Παράρτημα 3.1 ΚΑΝΕΠΕ) για συγκεκριμένες Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων. Στην προκειμένη περίπτωση λοιπόν, θα χρησιμοποιήθηκαν αυτές οι τιμές οι οποίες αναφέρονται παραπάνω.

5.4 ΦΟΡΤΙΑ

Μόνιμα Φορτία:

- Ίδιος Βάρος: Υπολογίζεται αυτόματα από το λογισμικό από το ειδικό βάρος του σκυροδέματος (25 KN/m^3)
- Επικάλυψη δαπέδων: 1.00 KN/m^2
- Επικάλυψη δώματος: 2.00 KN/m^2
- Μπατική τοιχοποιία: 3.60 KN/m^2

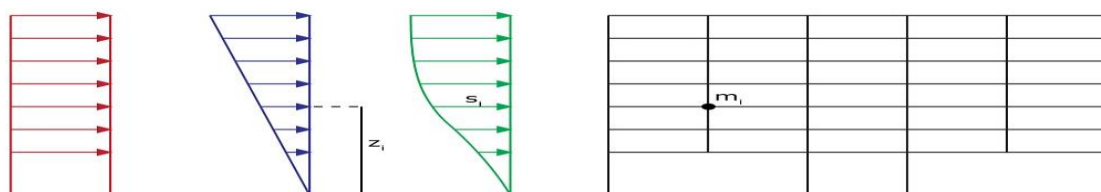
Κινητά Φορτία:

- Κινητά δαπέδων γενικά: 2.00 KN/m^2
- Κινητά δώματος: 1.00 KN/m^2

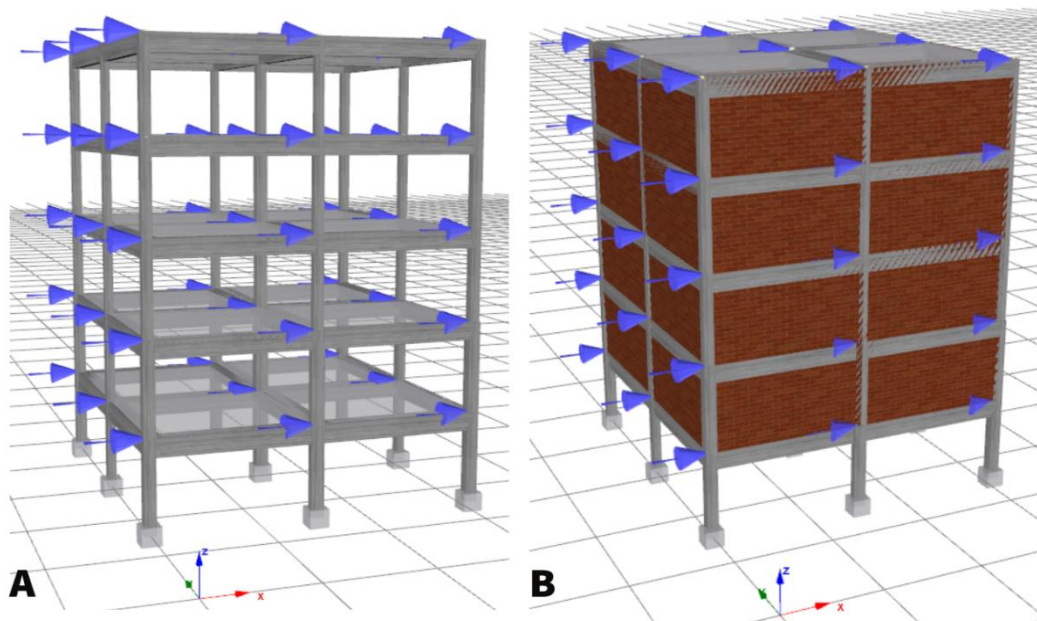
Οι μάζες θα προσδιοριστούν από τον σεισμικό συνδυασμό $1.00G + 0.30Q$

5.5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ

Το υφιστάμενο κτίριο που θα μελετηθεί, έχει προσομοιωθεί και αναλυθεί με την βοήθεια του λογισμικού **Seismostruct 2022**. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα μπορεί να εφαρμόσει στατικές και δυναμικές αναλύσεις, δίνοντας στοιχεία σχετικά με τις μετακινήσεις της κατασκευής. Για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής εφαρμόστηκε στατική ανελαστική ανάλυση (Pushover), κατά την οποία, όπως έχει αναλυθεί εκτενέστερα στο Κεφάλαιο 3.2, πραγματοποιείται η επιβολή οριζώντιου σεισμικού φορτίου το οποίο κατανέμεται σε κάθε κόμβο του κτιρίου και αυξάνεται σταδιακά έως την αστοχία του όπως ορίζει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. Η κατανομή του σεισμικού φορτίου μπορεί να γίνει ομοιόμορφα, τριγωνικά ή ιδιομορφικά. Στο Σχήμα 5.1 φαίνονται οι τρεις αυτές κατανομές. Το κτίριο θα εξεταστεί χωρίς τοιχοπληρώσεις και με τοιχοπληρώσεις που σχηματίζουν πιλοτή (Σχήμα 5.2), ενώ θα εφαρμοστεί ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή φορτίου σε όλες τις διευθύνσεις, με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται να αφορούν μόνο την διεύθυνση x καθώς λόγω της συμμετρίας της κατασκευής είναι ίδια με την διεύθυνση y. Η ανάλυση θα τρέξει σε 100 βήματα και θα παρατηρηθεί η συμπεριφορά των δομικών στοιχείων και της κατασκευής στο σύνολο της για την στοχευόμενη μετατόπιση της Στάθμης επιτελεστικότητας (B1) «Σημαντικές Βλάβες» (Significant Damage), με πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης σχεδιασμού 10% στα 50 χρόνια συμβατικής ζωής του κτιρίου, που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς 475 χρόνων.



Σχήμα 5.1 Κατανομές Φόρτισης (<https://www.lhlogismiki.gr/>)



Σχήμα 5.2 Προσομοίωση κτιρίου A χωρίς τοιχοπληρώσεις και κτίριο B με τοιχοπληρώσεις (πιλοτή)

Ο φέρων οργανισμός της κατασκευής προσομοιώνεται με γραμμικά στοιχεία ενώ οι πλάκες έχουν διαφραγματική λειτουργία, δηλαδή θεωρούνται απαραμόρφωτες στο επίπεδο τους. Οι δοκοί και τα υποστυλώματα προσομοιάζονται ως ανελαστικά γραμμικά στοιχεία με πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα τους (**Element type: infrmFBPH**) ενώ η τοιχοποιία πλήρωσης εντάσσεται στην κατηγορία infills (**Element type: infill**). Πιο συγκεκριμένα, η κατηγορία infills προσομοιώνει την μη γραμμική απόκριση των υλικών τοιχοπλήρωσης σε πλαίσιακές κατασκευές. Η αναπαράσταση της γίνεται από δύο παράλληλους θλιπτήρες σε κάθε διαγώνιο οι οποίοι μεταφέρουν τα αξονικά φορτία μεταξύ των απέναντι διαγώνιων γωνιών και άλλον έναν θλιπτήρα σε κάθε διαγώνιο ο οποίος μεταφέρει την τέμνουσα από το άνω στο κάτω μέρος της. Ο τελευταίος αυτός θλιπτήρας ενεργοποιείται μόνο στην διαγώνιο που θλίβεται επομένως εξαρτάται από την παραμόρφωση της τοιχοπλήρωσης. Οι θλιπτήρες που μεταφέρουν αξονικό φορτίο ακολουθούν το μοντέλο υστέρησης του θλιπτήρα τοιχοποιίας και οι θλιπτήρες τέμνουσας ακολουθούν ένα διγραμμικό μοντέλο υστέρησης. (Αρμουτίδης, 2022)

Ο Κανονισμός βάσει του οποίου προσομοιώνεται με σκοπό να αποτιμηθεί και να ανασχεδιαστεί το κτίριο είναι ο σύγχρονος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (KAN.ΕΠΕ 2022). Βάσει αυτού, ορίζονται βασικές παράμετροι προτού ξεκινήσει η ανάλυση, οι οποίες αναφέρονται στην στοχευόμενη μετακίνηση (*Target Displacement*), η οποία αποτελεί και το ζητούμενο. Πιο συγκεκριμένα, επιλέγονται οι στόχοι συμπεριφοράς της κατασκευής (**Performance Objectives**), που στην προκειμένη είναι οι στάθμες επιτελεστικότητας A2, B1 και C1+, όπως φαίνονται στο Σχήμα 5.3. Ακόμα, σχετικά με τη σεισμική δράση (*Seismic Action*), επιλέγεται το Ελαστικό φάσμα βάσει του Κανονισμού ΚAN.ΕΠΕ 2022 (**Code-Based Spectra**), ορίζοντας τα εξής στοιχεία που απεικονίζονται και στο Σχήμα 5.4.

- Φασματική επιτάχυνση $PGA=0.24g$
- Τύπος φάσματος 1
- Κατηγορία εδάφους B
- Κατηγορία σπουδαιότητας II (συνήθη κτίρια)
- Απόσβεση 5%

Τέλος το πρόγραμμα ορίζει αυτόματα, από την στιγμή που έχει προσομοιωθεί η κατασκευή, τον κόμβο ελέγχου (*Control Node*) που είναι το κέντρο μάζας της οροφής του κτιρίου, και τον τύπο Κτιρίου 1 (*Structural Type*). Οι φορείς τύπου 1 είναι οι φορείς χαμηλής πλαστικότητας (πχ κτίρια πριν από το 1985), τα οποία αναμένεται να έχουν μικρότερη υστερητική συμπεριφορά από εκείνα του τύπου 2 (κτίρια μετά το 1985). (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022, σ. 168)

Η Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων (ΣΑΔ) (**Data Reliability Level**) του κτιρίου επιλέγεται Ικανοποιητική.

Τα Κριτήρια Επιτελεσματικότητας (**Performance Criteria**) αποτελούν επίσης βασικό βήμα πριν τρέξει η ανάλυση της κατασκευής, καθώς δίνουν την πληροφορία σχετικά με το πότε επιτυγχάνονται οι οριακές καταστάσεις ικανότητας (πχ δομικές και μη δομικές ζημιές, κατάρρευση). Ορίζοντας τα κριτήρια αυτά, υπάρχει η δυνατότητα του ελέγχου της κατασκευής σχετικά με το ποιο στοιχείο «φτάνει» ή ξεπερνάει το εκάστοτε κριτήριο, λαμβάνοντας έτσι τα αποτελέσματα που απαιτούνται για την στάθμη επιτελεσματικότητας που αποτελεί τον στόχο αποτίμησης και ανασχεδιασμού, που στην προκειμένη περίπτωση είναι η (B) «Σημαντικές Βλάβες». Για το κτίριο που μελετάται, τα Κριτήρια Επιτελεσματικότητας που έχουν ορισθεί βάσει ΚΑΝΕΠΕ είναι το κριτήριο καμπτικής αστοχίας (παραμόρφωση στροφής χορδής), το κριτήριο διατμητικής αστοχίας και το κριτήριο διαρροής.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί η βασική διαφορά ανάμεσα στις δύο κατηγορίες ελέγχων βάσει κριτηρίων, όπως αναφέρονται και στο εγχειρίδιο χρήσης του λογισμικού SeismoStruct (2021) είναι ότι τα Κριτήρια Επιτελεσματικότητας αποτελούν έλεγχοι έναντι των «αναμενόμενων» τιμών των εξεταζόμενων αποκρίσεων χρησιμοποιώντας μέσες τιμές υλικών στους υπολογισμούς, χωρίς συντελεστές ασφαλείας και εμπιστοσύνης. Αντίθετα, στους Ελέγχους Βάσει Κανονισμού οι εκφράσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της οριακής τιμής, όταν προσεγγίζονται διάφορα κριτήρια επιτελεσματικότητας χρησιμοποιούν συντηρητικές (π.χ χαρακτηριστικές ή ονομαστικές) αντοχές υλικού και βασίζονται στους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας όπως ορίζονται στον εκάστοτε Κανονισμό. Επομένως, τα δεύτερα είναι πιο αυστηρά από τα πρώτα. (Seismosoft Ltd, 2021)

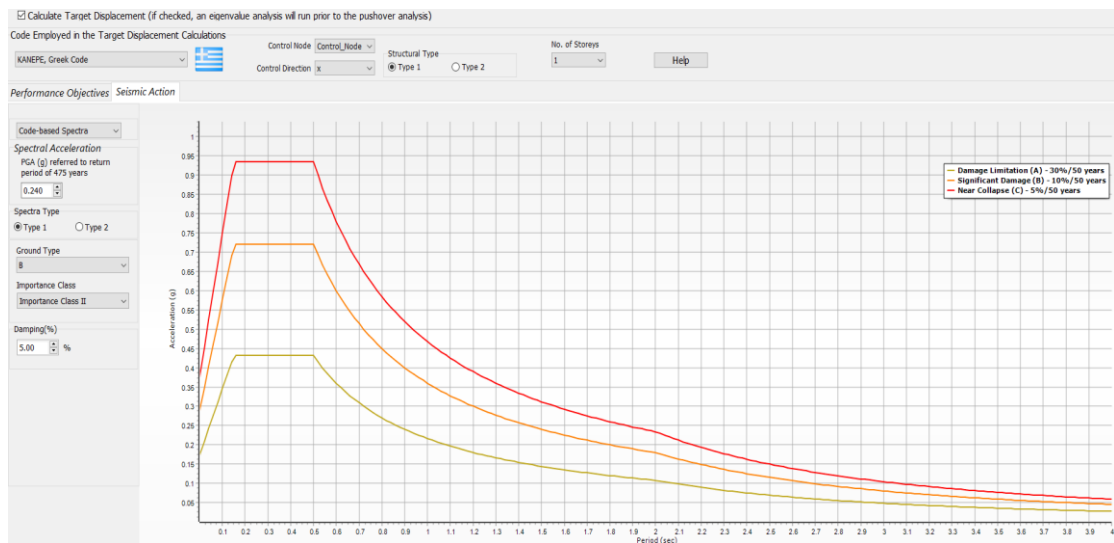
Έπειτα από όλα τα παραπάνω απαραίτητα βήματα, το κτίριο είναι έτοιμο για να ξεκινήσει την ανάλυση του με σκοπό την σεισμική του αποτίμηση.

Performance Objectives Select one or more performance c

Greek Interventions Code. Table 2-1: Assessment or Redesign Objectives

Probability of exceedance of seismic action within a conventional life cycle of 50 years	Target Building Performance Levels		
	Damage Limitation	Significant Damage	Near Collapse
2%	<input type="checkbox"/> A0	<input type="checkbox"/> B0	<input type="checkbox"/> C0
5%	<input type="checkbox"/> A1+	<input type="checkbox"/> B1+	<input checked="" type="checkbox"/> C1+
10%	<input type="checkbox"/> A1	<input checked="" type="checkbox"/> B1	<input type="checkbox"/> C1
20%	<input type="checkbox"/> A2+	<input type="checkbox"/> B2+	<input type="checkbox"/> C2+
30%	<input checked="" type="checkbox"/> A2	<input type="checkbox"/> B2	<input type="checkbox"/> C2
50%	<input type="checkbox"/> A3+	<input type="checkbox"/> B3+	<input type="checkbox"/> C3+
70%	<input type="checkbox"/> A3	<input type="checkbox"/> B3	<input type="checkbox"/> C3
90%	<input type="checkbox"/> A4+	<input type="checkbox"/> B4+	<input type="checkbox"/> C4+
>90%	<input type="checkbox"/> A4	<input type="checkbox"/> B4	<input type="checkbox"/> C4

Σχήμα 5.3 Επιλεγμένες Στάθμες επιτελεστικότητας



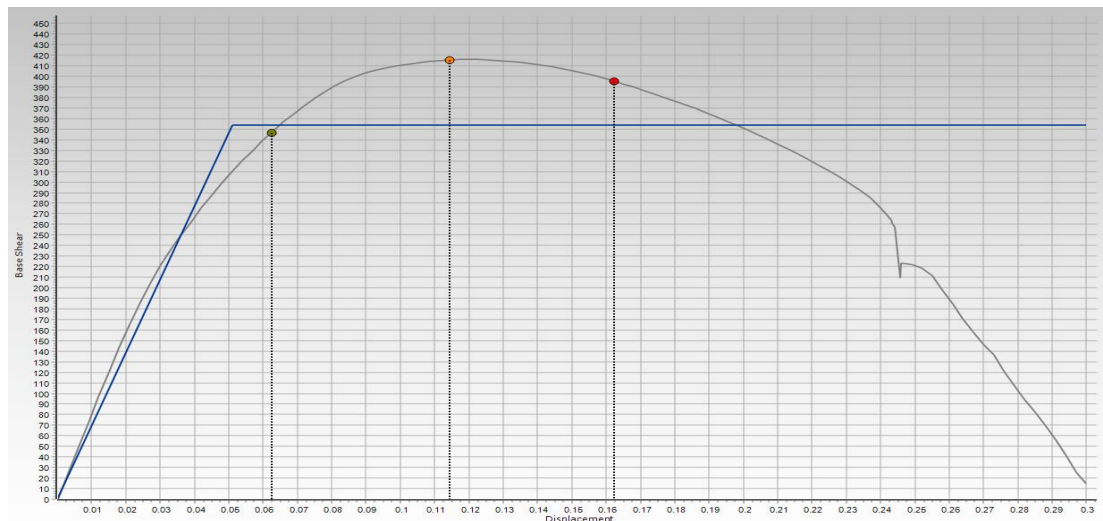
Σχήμα 5.4 Ελαστικό φάσμα ΚΑΝ.ΕΠΕ

6. Κεφάλαιο 6^ο: Αποτίμηση Υφιστάμενου Κτιρίου

6.1 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ

- Ανάλυση Pushover με Ομοιόμορφη Κατανομή Φορτίου (Uniform Load)

Πραγματοποιήθηκε μη γραμμική στατική ανάλυση (Pushover) για ομοιόμορφη κατανομή, το αποτέλεσμα της οποίας είναι η παρακάτω καμπύλη Ικανότητας ή καμπύλη Αντίστασης (*Capacity Curve*), ενώ τα σημεία που επισημαίνονται πάνω της αντιστοιχούν στις στοχευόμενες μετακινήσεις των τριών σταθμών επιτελεστικότητας που έχουν επιλεγεί εξαρχής (Σχήμα 6.1). Ο υπολογισμός τους γίνεται μέσω του Κανονισμού που έχει οριστεί, δηλαδή του ΚΑΝ.ΕΠΕ, και ο αναλυτικός τους σχολιασμός ακολουθεί παρακάτω. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η διγραμμικοποίηση της αρχικής καμπύλης (*Idealized Curve*), η οποία είναι ουσιαστικά μια προσέγγιση της αρχικής, με σκοπό την εφαρμογή της μεθοδολογίας για τον προσδιορισμό της στοχευόμενης μετακίνησης. Παρακάτω απεικονίζονται βασικά της στοιχεία όπως εμφανίζονται στο Seismostruct (Σχήμα 6.2).



Σχήμα 6.1 Καμπύλη Ικανότητας κτιρίου για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου

Idealized Curve		Linearization Data	
Displacement	Base Shear	K_elas:	8480.33
0.0000	0.00	K_eff:	6926.24
0.0511	353.61	a:	0.0000
0.1984	353.61	Fy:	353.61
0.3000	353.61	dy:	0.0511
		Unbalanced Area Error(%):	85.21

Σχήμα 6.2 Στοιχεία διγραμμικής καμπύλης

Όπως φαίνεται στη διγραμμική καμπύλη και τα αποτελέσματα του λογισμικού, η τέμνουσα διαρροής του κτιρίου είναι η $F_y=353.61$ kN ενώ η μετακίνηση διαρροής είναι $\delta_y=0.0511$ m. Η πρώτη διαρροή εμφανίζεται στο κτίριο σε εσωτερική δοκό του 3^{ου} ορόφου σε μετακίνηση ίση με 0.045 m. Σε αυτό το σημείο το κτίριο περνάει από την ελαστική στην πλαστική περιοχή. Το μέγιστο φορτίο που αναλαμβάνει η κατασκευή, δηλαδή η φέρουσα ικανότητα της είναι ίση με 416.00 kN.

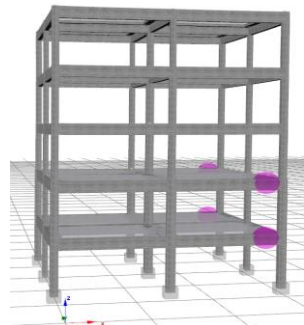
Το λογισμικό έχει υπολογίσει τη στοχευόμενη μετατόπιση για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας. Τα σημεία αυτά απεικονίζονται στην Καμπύλη αντίστασης με τη σειρά που φαίνονται στον Πίνακα 6.1 στον οποίο παρουσιάζονται οι τιμές της στοχευόμενης μετακίνησης για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας, η αντίστοιχη τέμνουσα βάσης, καθώς και το βήμα της ανάλυσης που αντιστοιχεί στην στοχευόμενη μετακίνηση.

Πίνακας 6.1 Στοχευόμενες Μετακινήσεις Σταθμών Επιτελεστικότητας

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη Μετακίνηση (m) (Target Displacement)	Συντελεστής Φορτίου (Load Factor)	Τέμνουσα Βάσης (kN) (Base shear)	Βήμα (Output No)
Περιορισμένες Βλάβες (A2) (Damage Limitation)	0.062	3.48	348.57	22
Σημαντικές Βλάβες (B1) (Significant Damage)	0.114	4.15	415.47	39
Οιονεί Κατάρρευση (C1+) (Near Collapse)	0.162	3.95	395.78	55

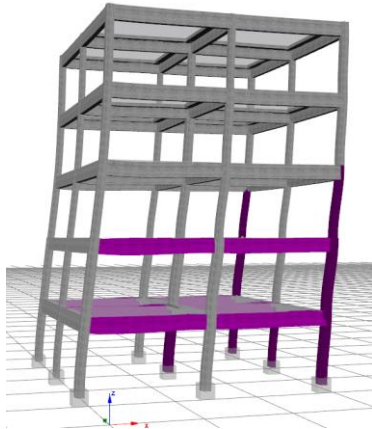
Για την επιλεγθείσα στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες», η οποία αποτελεί τον στόχο αποτίμησης, η στοχευόμενη μετακίνηση είναι 0.114 m ενώ η μετακίνηση αστοχίας είναι 0.012 m, επομένως το κτίριο δεν επαρκεί. Πραγματοποιούνται επίσης οι έλεγχοι ασφαλείας, βάσει των κριτηρίων επιτελεστικότητας που έχουν ορισθεί, σύμφωνα με τον ΚΑΝΕΠΕ. Στα Σχήματα που θα ακολουθήσουν απεικονίζεται ο παραμορφωμένος φορέας, ενώ τα δομικά στοιχεία στα οποία παρατηρείται υπέρβαση κάποιου κριτηρίου σημειώνονται με διαφορετικό χρώμα, ανάλογα με το κριτήριο διαρροής ή αστοχίας.

Στο Σχήμα 6.3 απεικονίζονται οι πρώτες πλαστικές αρθρώσεις που εμφανίζονται στο κτίριο σε δύο δοκούς του ισογείου και του 1^{ου} ορόφου για μετακίνηση 0.012 m, στο 5^ο βήμα της ανάλυσης. Πλαστική άρθρωση σε ένα δομικό στοιχείο δημιουργείται όταν η ροπή του κατά την ανάλυση ξεπεράσει την ροπή διαρροής. Περνάει ουσιαστικά από την ελαστική στην πλαστική του περιοχή. Πλαστικές αρθρώσεις αναμένονται στα άκρα των δομικών στοιχείων καθώς είναι σημεία που αναπτύσσουν τις μεγαλύτερες καμπτικές ροπές κατά τη διάρκεια μιας σεισμικής φόρτισης. Οι περιοχές αυτές των στοιχείων, ονομάζονται Κρίσιμες.

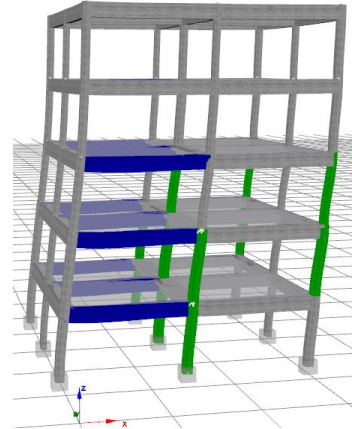


Σχήμα 6.3 Πρώτες πλαστικές αρθρώσεις κτιρίου για μετακίνηση 0.012 m

Στο Σχήμα 6.4 απεικονίζεται ο παραμορφωμένος φορέας στην Στάθμη επιτελεστικότητας Β «Σημαντικές Βλάβες» όπου παρατηρείται μόνο διατμητική αστοχία υποστυλωμάτων και δοκών του ισόγειου και των δύο πρώτων ορόφων (μωβ και φούξια χρώμα). Ειδικότερα, στο ισόγειο αστοχούν 3 περιμετρικές κολώνες, το κεντρικό υποστύλωμα και έξι δοκοί. Στον πρώτο όροφο αστοχούν οι ίδιοι δοκοί ενώ δύο υποστυλώματα εμφανίζονται επίσης στον πρώτο και δεύτερο όροφο. Επιπλέον, στο Σχήμα 6.5 με πράσινο και μπλε χρώμα απεικονίζονται τα δομικά στοιχεία, υποστυλώματα και δοκοί αντίστοιχα, τα οποία έχουν διαρρεύσει.

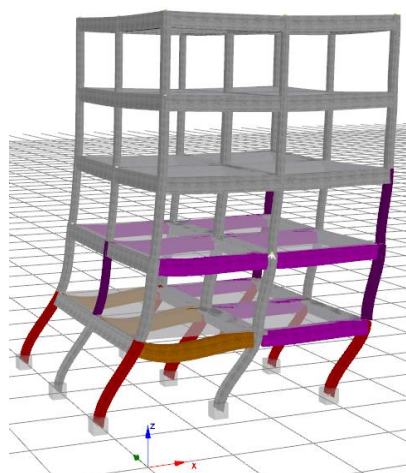


Σχήμα 6.4 Αστοχία σε Τέμνουσα στοιχεία για Στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»



Σχήμα 6.5 Διαρροή στοιχείων για Στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»

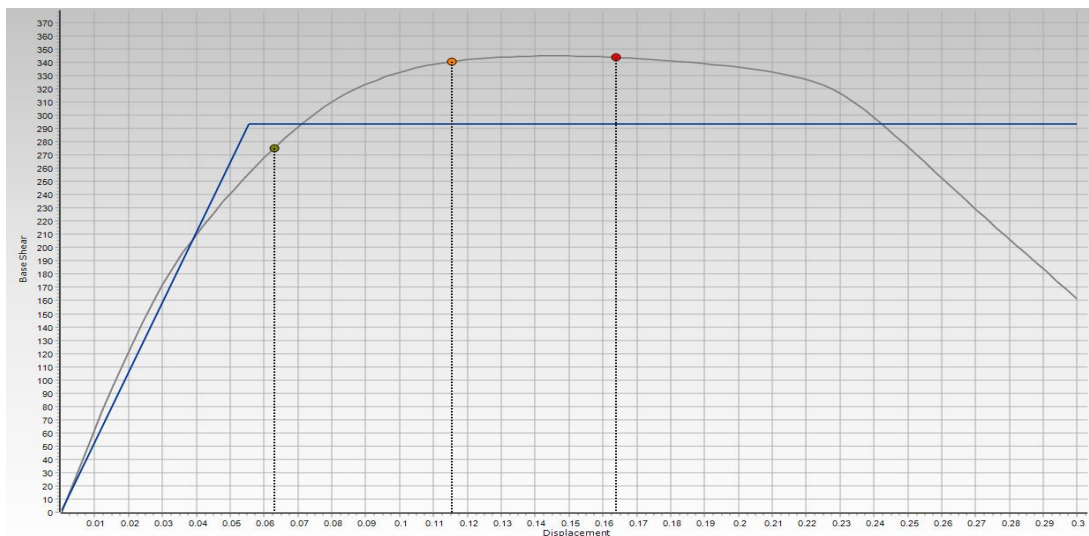
Τέλος, στο Σχήμα 6.6 απεικονίζεται η παραμόρφωση του κτιρίου στο βήμα 98 της ανάλυσης, για μεγαλύτερη μετακίνηση, ίση με 0.282 m όπου η διατμητική αστοχία δοκών και υποστυλωμάτων εξακολουθεί να υφίσταται, έχοντας και επιπλέον στοιχεία που αστοχούν, τα οποία εξακολουθούν να εμφανίζονται στο ισόγειο και τους δύο πρώτους ορόφους. Ακόμα, παρατηρείται αστοχία λόγω κάμψης ορισμένων δοκών και υποστυλωμάτων με πορτοκαλί και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα, φαινόμενο το οποίο δεν παρατηρήθηκε στην στοχευόμενη μετακίνηση για Στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες» για την οποία ελέγχεται το κτίριο.



Σχήμα 6.6 Παραμόρφωση κτιρίου στο βήμα 98 της ανάλυσης (φούξια και μωβ χρώμα διαρροή λόγω τέμνουσας, πορτοκαλί και κόκκινο αστοχία λόγω κάμψης)

ο Τριγωνική Κατανομή Φορτίου (Triangular Load)

Πραγματοποιήθηκε μη γραμμική στατική ανάλυση (Pushover) με τριγωνική κατανομή αυτή τη φορά, το αποτέλεσμα της οποίας είναι η παρακάτω καμπύλη Ικανότητας ή καμπύλη Αντίστασης (*Capacity Curve*), ενώ τα σημεία που επισημαίνονται πάνω της αντιστοιχούν στις στοχευόμενες μετακινήσεις των τριών σταθμών επιτελεστικότητας που έχουν επιλεγεί εξαρχής (Σχήμα 6.7). Ο υπολογισμός τους όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, γίνεται μέσω του ΚΑΝ.ΕΠΕ, και ο αναλυτικός τους σχολιασμός ακολουθεί παρακάτω. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η διγραμμικοποίηση της αρχικής καμπύλης (*Idealized Curve*), ενώ παρακάτω απεικονίζονται βασικά της στοιχεία όπως ακριβώς εμφανίζονται στο Seismostruct (Σχήμα 6.8).



Σχήμα 6.7 Καμπύλη ικανότητας κτιρίου για τριγωνική κατανομή φορτίου

Idealized Curve		Linearization Data	
Displacement	Base Shear		
0.0000	0.00	K_elas:	6584.54
0.0555	293.11	K_eff:	5279.10
0.2424	293.11	a:	0.0000
0.3000	293.11	Fy:	293.11
		dy:	0.0555
		Unbalanced Area Error(%)	88.02

Σχήμα 6.8 Στοιχεία διγραμμικής καμπύλης

Από την διγραμμική καμπύλη φαίνεται ότι η τέμνουσα διαρροής του κτιρίου είναι η $F_y=293.11$ kN ενώ η μετακίνηση διαρροής είναι $\delta_y=0.055$ m. Η πρώτη διαρροή συμβαίνει στο κτίριο σε μετακίνηση ίση με 0.042 m. Το πρώτο στοιχείο που διαρρέει είναι μία ενδιάμεση δοκός του 2^{ου} ορόφου. Σε αυτό το σημείο το κτίριο περνάει από την ελαστική στην πλαστική περιοχή. Η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής είναι 343.87 kN.

Το λογισμικό έχει υπολογίσει τη στοχευόμενη μετατόπιση για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας. Τα σημεία αυτά απεικονίζονται στην Καμπύλη Αντίστασης με τη σειρά που φαίνονται στον Πίνακα 6.2 στον οποίο παρουσιάζονται οι τιμές της στοχευόμενης μετακίνησης για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας, η αντίστοιχη τέμνουσα βάσης, καθώς και το βήμα της ανάλυσης που αντιστοιχεί στην στοχευόμενη μετακίνηση.

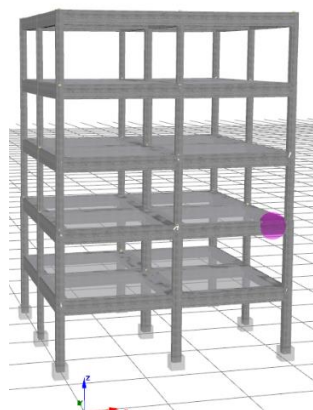
Πίνακας 6.2 Στοχευόμενες Μετακινήσεις Σταθμών Επιτελεστικότητας

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη Μετακίνηση (m) (Target Displacement)	Συντελεστής Φορτίου (Load Factor)	Τέμνουσα Βάσης (kN) (Base shear)	Βήμα (Output No)
Περιορισμένες Βλάβες (A2) (Damage Limitation)	0.063	2.75	275.17	22
Σημαντικές Βλάβες (B1) (Significant Damage)	0.115	3.40	340.19	39
Οιονεί Κατάρρευση (C1+) (Near Collapse)	0.164	3.43	343.52	56

Αξίζει να αναφερθεί πως τα αποτελέσματα στοχευόμενων μετακινήσεων για τις επιλεγμένες στάθμες επιτελεστικότητας είναι σχεδόν τα ίδια με αυτά της Ομοιόμορφης κατανομής φορτίου.

Για την επιλεγθείσα στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες», η οποία αποτελεί τον στόχο αποτίμησης, η στοχευόμενη μετακίνηση είναι 0.115 m ενώ η μετακίνηση αστοχίας είναι 0.012 m, επομένως το κτίριο δεν επαρκεί. Σύμφωνα με τους ελέγχους ασφαλείας βάσει των κριτηρίων επιτελεστικότητας που πραγματοποιούνται, στα παρακάτω σχήματα απεικονίζεται ο παραμορφωμένος φορέας με τα δομικά στοιχεία στα οποία παρατηρείται υπέρβαση κάποιου κριτηρίου να σημειώνονται με διαφορετικό χρώμα, ανάλογα με το κριτήριο διαρροής ή αστοχίας.

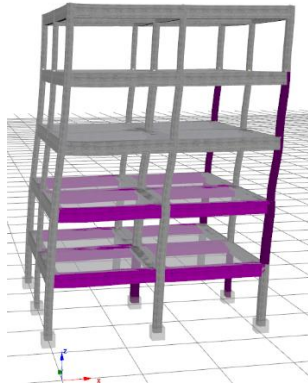
Στο Σχήμα 6.9 απεικονίζεται η πρώτη πλαστική άρθρωση που εμφανίζονται στο κτίριο σε μία δοκό του 1^{ου} ορόφου για μετακίνηση 0.012 m, στο βήμα 5 της ανάλυσης.



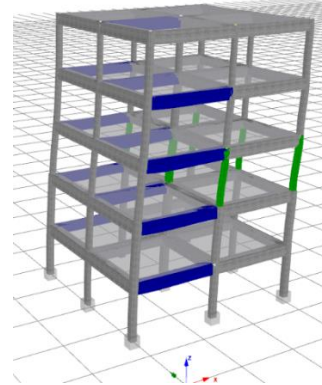
Σχήμα 6.9 Πρώτες πλαστικές αρθρώσεις κτιρίου για μετακίνηση 0.012 m

Παρακάτω στο Σχήμα 6.10 απεικονίζεται ο παραμορφωμένος φορέας στην Στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες» όπου παρατηρείται και σε αυτή την περίπτωση, όπως και στην περίπτωση της ανάλυσης με ομοιόμορφη κατανομή πλευρικού φορτίου, μόνο διατμητική αστοχία υποστυλωμάτων και δοκών του ισογείου και των δύο πρώτων ορόφων (μωβ και φούξια χρώμα).

Πιο συγκεκριμένα, στο ισόγειο αστοχούν 2 περιμετρικά υποστυλώματα καθώς και το κεντρικό, όπως και έξι δοκοί. Στον πρώτο όροφο αστοχούν οι ίδιες δοκοί ενώ δύο υποστυλώματα εμφανίζονται επίσης στον πρώτο και δεύτερο όροφο. Τα ίδιο ακριβώς υποστυλώματα αστοχούν και στον 3^ο όροφο. Ακόμα, στο Σχήμα 6.11 με πράσινο και μπλε χρώμα απεικονίζονται τα δομικά στοιχεία, υποστυλώματα και δοκοί αντίστοιχα, τα οποία διαρρέουν στην συγκεκριμένη στάθμη επιτελεστικότητας.

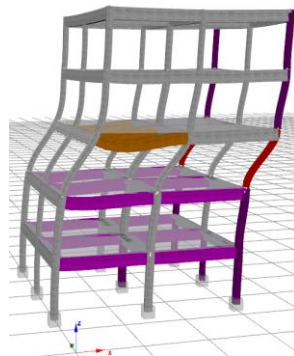


Σχήμα 6.10 Αστοχία σε Τέμνουσα στοιχεία για Στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»



Σχήμα 6.11 Διαρροή στοιχείων για Στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»

Τέλος, το Σχήμα 6.12 δείχνει την παραμόρφωση του κτιρίου στο βήμα 98 της ανάλυσης, για μεγαλύτερη μετακίνηση, ίση με 0.291 m όπου η διατμητική αστοχία δοκών και υποστυλωμάτων εξακολουθεί να υφίσταται, έχοντας και επιπλέον δοκούς και υποστυλώματα που αστοχούν, τα οποία έχουν επεκταθεί σε όλους τους ορόφους. Επιπλέον, δοκοί και υποστυλώματα έχουν αστοχήσει λόγω κάμψης στον 2^ο όροφο όπως φαίνεται με πορτοκαλί και κόκκινο χρώμα. Σ' αυτήν την στάθμη παρατηρούνται μεγάλες σχετικές μετακινήσεις και φαίνεται κάποια μορφή μηχανισμού μαλακού ορόφου.



Σχήμα 6.12 Παραμόρφωση κτιρίου στο βήμα 98 της ανάλυσης (φούξια και μωβ χρώμα διαρροή λόγω τέμνουσας, πορτοκαλί και κόκκινο αστοχία λόγω κάμψης)

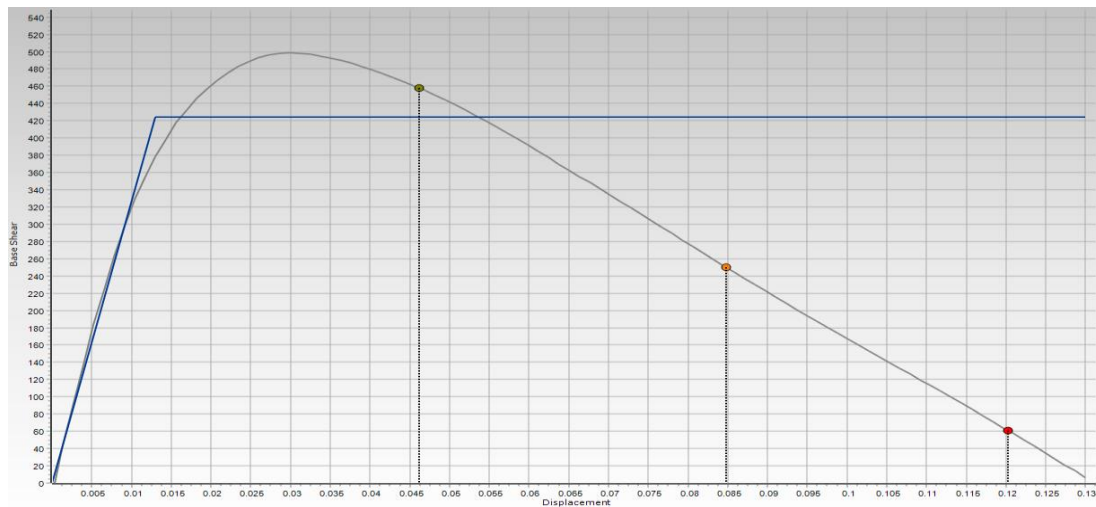
Άξιο παρατήρησης είναι το φαινόμενο πανομοιότυπων αστοχιών με την ανάλυση της ομοιόμορφης κατανομής πλευρικού φορτίου στην στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες» που μελετάται, με μικρές αλλά αισθητές διαφορές στον αριθμό των υποστυλωμάτων που αστοχούν. Αναλυτικότερα, παρατηρείται διατμητική αστοχία των δύο γωνιακών υποστυλωμάτων του 3^{ου} ορόφου, κάτι το οποίο δεν υφίσταται στην ανάλυση με ομοιόμορφη κατανομή, όπου τέτοιου είδους αστοχίες περιορίζονται στο ισόγειο, τον 1^ο και τον 2^ο όροφο. Επιπλέον, δοκοί του 3^{ου} και 4^{ου} ορόφου διαρρέουν, εν αντιθέσει με την ανάλυση ομοιόμορφης κατανομής όπου οι διαρροές φτάνουν έως τον 2^ο όροφο.

6.2 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ (Πιλοτή)

Όπως έχει αναλυθεί και στις Βασικές αρχές του ΚΑΝ.ΕΠΕ στο Κεφάλαιο 2 οι τοιχοποιίες πλήρωσης είναι υποχρεωτικό να συνεκτιμώνται στην ανάληψη σεισμικών δράσεων, κατά την ανάλυση με σκοπό την σεισμική αποτίμηση μιας κατασκευής, ειδικά όταν αυτό συνεπάγεται δυσμενή αποτελέσματα για τον φέροντα οργανισμό (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2022). Έτσι λοιπόν, πραγματοποιούνται ανελαστικές στατικές αναλύσεις (Pushover) με ομοιόμορφη και τριγωνική Κατανομή φορτίου για το κτίριο με την ύπαρξη τοιχοπληρώσεων, που δημιουργούν πιλοτή (δηλαδή χωρίς τοιχοπλήρωση στο ισόγειο της κατασκευής).

ο Ανάλυση Pushover με Ομοιόμορφη Κατανομή Φορτίου (Uniform Load)

Πραγματοποιήθηκε μη γραμμική στατική ανάλυση (Pushover) με ομοιόμορφη κατανομή, το αποτέλεσμα της οποίας είναι η παρακάτω καμπύλη Ικανότητας ή καμπύλη Αντίστασης (*Capacity Curve*), ενώ τα σημεία που επισημαίνονται πάνω της αντιστοιχούν στις στοχευόμενες μετακινήσεις των τριών σταθμών επιτελεσματικότητας που έχουν επιλεγεί εξαρχής (Σχήμα 4.13). Ο υπολογισμός τους γίνεται μέσω του ΚΑΝ.ΕΠΕ, και ο αναλυτικός τους σχολιασμός ακολουθεί παρακάτω. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η διγραμμικοποίηση της αρχικής καμπύλης (*Idealized Curve*), βασικά στοιχεία της οποίας παρατίθενται παρακάτω στο Σχήμα 4.14.



Σχήμα 6.13 Καμπύλη ικανότητας κτιρίου για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου

Idealized Curve		Linearization Data	
Displacement	Base Shear	K_elas:	46940.08
0.0000	0.00	K_eff:	32739.92
0.0129	423.86	a:	0.0000
0.0537	423.86	Fy:	423.86
0.1300	423.86	dy:	0.0129
		Unbalanced Area Error(%):	89.20

Σχήμα 6.14 Στοιχεία διγραμμικής καμπύλης

Όπως φαίνεται στη διγραμμικοποίηση της καμπύλης ικανότητας, καθώς και στα αποτελέσματα του λογισμικού, η Τέμνουσα διαρροής του κτιρίου είναι η $F_y=423.86$ kN ενώ η μετακίνηση διαρροής είναι $\delta_y=0.013$ m. Η πρώτη διαρροή συμβαίνει στο κτίριο

σε μετακίνηση ίση με 0.019 m. Το πρώτο στοιχείο που διαρρέει είναι μία ενδιάμεση δοκός του ισογείου. Σε αυτό το σημείο το κτίριο περνάει από την ελαστική στην πλαστική περιοχή. Η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής είναι 498.66 kN.

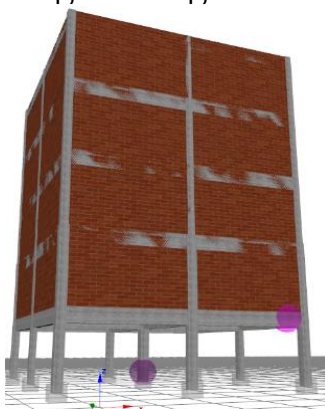
Τα σημεία των επιλεγμένων σταθμών επιτελεστικότητας απεικονίζονται στην Καμπύλη Αντίστασης με τη σειρά που φαίνονται στον Πίνακα 6.3 στον οποίο παρουσιάζονται οι τιμές της στοχευόμενης μετακίνησης για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας, η αντίστοιχη τέμνουσα βάσης, καθώς και το βήμα της ανάλυσης που αντιστοιχεί στην στοχευόμενη μετακίνηση.

Πίνακας 6.3 Στοχευόμενες Μετακινήσεις Σταθμών Επιτελεστικότητας

Στάθμη επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη Μετακίνηση (m) (Target Displacement)	Συντελεστής Φορτίου (Load Factor)	Τέμνουσα Βάσης (kN) (Base shear)	Βήμα (Output No)
Περιορισμένες Βλάβες (A2) (Damage Limitation)	0.046	4.55	455.23	37
Σημαντικές Βλάβες (B1) (Significant Damage)	0.085	2.52	251.99	66
Οιονεί Κατάρρευση (C1+) (Near Collapse)	0.120	5.74	57.37	94

Για την επιλεχθείσα στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες», η οποία αποτελεί τον στόχο αποτίμησης του κτιρίου, η στοχευόμενη μετακίνηση είναι 0.085 m, ενώ η μετακίνηση αστοχίας είναι 0.065 m, επομένως το κτίριο δεν επαρκεί. Σύμφωνα με τους ελέγχους ασφαλείας βάσει των κριτηρίων επιτελεστικότητας που πραγματοποιούνται, παρακάτω απεικονίζεται ο παραμορφωμένος φορέας με τα δομικά στοιχεία στα οποία παρατηρείται υπέρβαση κάποιου κριτηρίου να σημειώνονται με διαφορετικό χρώμα, ανάλογα με το κριτήριο διαρροής ή αστοχίας.

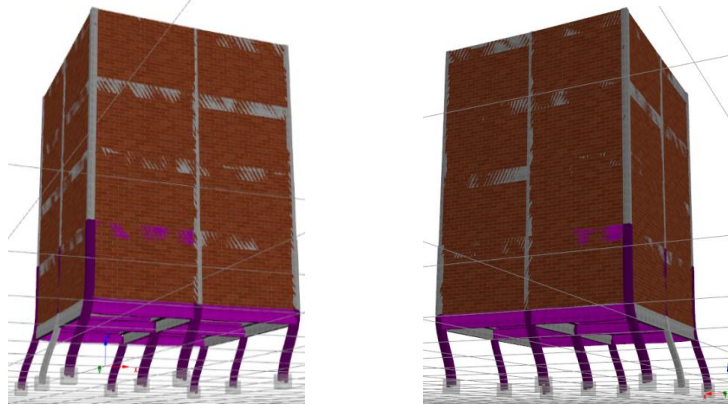
Στο Σχήμα 6.15 απεικονίζονται οι πρώτες πλαστικές αρθρώσεις κτιρίου που εμφανίζονται στο κτίριο σε μία περιμετρική δοκό και στο κεντρικό υποστύλωμα του ισογείου για μετακίνηση 0.006 m, στο βήμα 6 της ανάλυσης.



Σχήμα 6.15 Πρώτες πλαστικές αρθρώσεις κτιρίου για μετακίνηση 0.006 m

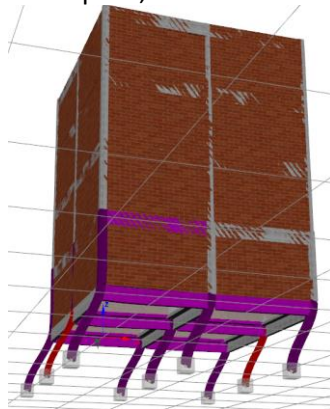
Παρακάτω στο Σχήμα 6.16 απεικονίζεται ο παραμορφωμένος φορέας, από δύο διαφορετικές οπτικές γωνίες για την καλύτερη απεικόνιση των στοιχείων, στην στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες» όπου παρατηρείται μόνο διατμητική αστοχία υποστυλωμάτων και δοκών του ισόγειου και του 1^{ου} ορόφου (μωβ και φούξια χρώμα). Πιο συγκεκριμένα, στο ισόγειο όλα τα υποστυλώματα εκτός από ένα, όπως και έξι δοκοί. Στο 1^ο όροφο αστοχούν δύο περιμετρικοί δοκοί και τρία περιμετρικά υποστυλώματα.

Θα μπορούσε να αναφερθεί επίσης η έννοια του μαλακού ορόφου, δηλαδή του ορόφου ο οποίος παρουσιάζει σημαντικά μειωμένη δυσκαμψία ή αντοχή σε οριζόντια φορτία σε σχέση με τους υπόλοιπους ορόφους, έχοντας ως αποτέλεσμα την αστοχία όλων των υποστυλωμάτων του. Το γεγονός αυτό παρατηρείται κυρίως σε πιλοτές ή σε ισόγεια με λιγότερες τοιχοπληρώσεις, όπου εμφανίζεται η έντονη μεταβολή της δυσκαμψίας καθ' ύψος. Οι τοίχοι, αν και δεν αποτελούν μέρος του φέροντα οργανισμού μιας κατασκευής, συμβάλουν σε πολύ μεγάλο βαθμό στην δυσκαμψία.



Σχήμα 6.16 Αστοχία σε Τέμνουσα στοιχεία για Στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»

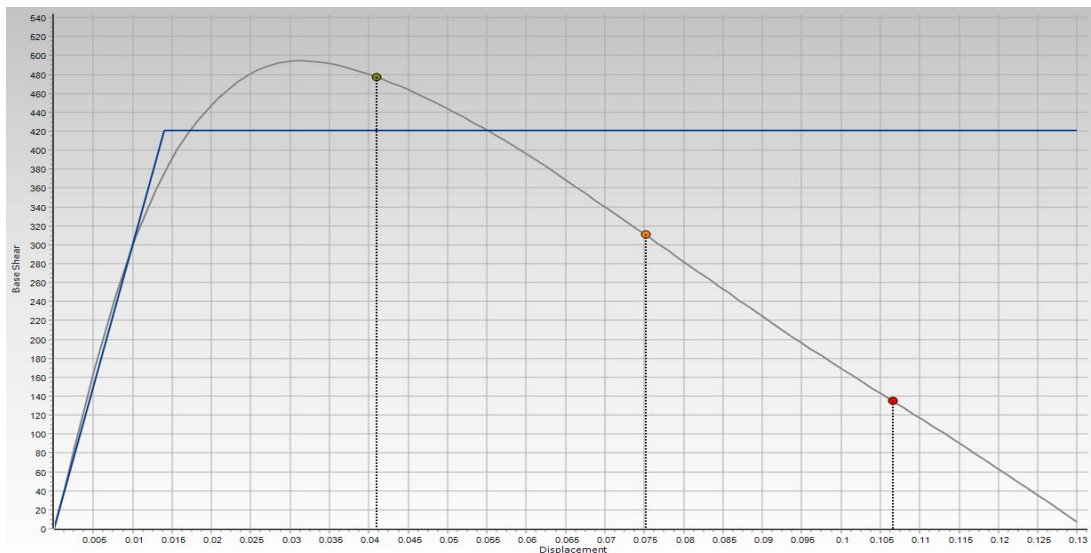
Τέλος, στο Σχήμα 6.17 απεικονίζεται ο παραμορφωμένος φορέας στο βήμα 98 της ανάλυσης, για μετακίνηση 0.126 m. Οι αστοχίες σε διάτμηση στην στοχευόμενη μετακίνηση για Στάθμη επιτελεστικότητας B «Σημαντικές Βλάβες» συνεχίζουν να υφίσταται σε μέλη, ενώ έχει προστεθεί και η αστοχία σε κάμψη δύο περιμετρικών υποστυλωμάτων στην πιλοτή του κτιρίου, τα οποία απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα.



Σχήμα 6.17 Παραμόρφωση κτιρίου στο βήμα 98 της ανάλυσης (φούξια και μωβ χρώμα διαρροή λόγω τέμνουσας, κόκκινο αστοχία λόγω κάμψης)

- ο Ανάλυση Pushover με Τριγωνική Κατανομή Φορτίου (Triangular Load)

Πραγματοποιήθηκε η μη γραμμική στατική ανάλυση (Pushover) με τριγωνική κατανομή, το αποτέλεσμα της οποίας είναι η παρακάτω καμπύλη Ικανότητας ή καμπύλη Αντίστασης (*Capacity Curve*), ενώ τα σημεία που επισημαίνονται πάνω της αντιστοιχούν στις στοχευόμενες μετακινήσεις των τριών σταθμών επιτελεστικότητας που έχουν επιλεγεί εξαρχής (Σχήμα 6.18). Ο υπολογισμός τους γίνεται μέσω του ΚΑΝ.ΕΠΕ, και ο αναλυτικός τους σχολιασμός ακολουθεί παρακάτω. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η διγραμμικοποίηση της αρχικής καμπύλης (*Idealized Curve*) τα βασικά στοιχεία της οποίας, παρατίθενται παρακάτω στο Σχήμα 6.19.



Σχήμα 6.18 Καμπύλη ικανότητας κτιρίου για τριγωνική κατανομή φορτίου

Idealized Curve		Linearization Data	
Displacement	Base Shear		
0.0000	0.00	K_elas:	33798.97
0.0140	420.43	K_eff:	29988.73
0.0551	420.43	a:	0.0000
0.1300	420.43	Fy:	420.43
		dy:	0.0140
		Unbalanced Area Error(%):	89.87

Σχήμα 6.19 Στοιχεία διγραμμικής καμπύλης

Όπως φαίνεται στη διγραμμικοποιημένη καμπύλη αντίστασης και στις αναλυτικές μετρήσεις του προγράμματος, η Τέμνουσα διαρροής του κτιρίου είναι η $F_y=420.43$ kN ενώ η μετακίνηση διαρροής είναι $\delta_y=0.014$ m. Η πρώτη διαρροή συμβαίνει στο κτίριο σε μετακίνηση ίση με 0.021 m. Το πρώτο στοιχείο που διαρρέει είναι μία ενδιάμεση δοκός του ισογείου. Σε αυτό το σημείο το κτίριο περνάει από την ελαστική στην πλαστική περιοχή. Η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής είναι 494.62 kN.

Τα σημεία των επιλεγμένων σταθμών επιτελεστικότητας απεικονίζονται στην Καμπύλη Αντίστασης με τη σειρά που φαίνονται στον Πίνακα 6.4 στον οποίο παρουσιάζονται οι τιμές της στοχευόμενης μετακίνησης για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας, η αντιστοιχη τέμνουσα βάσης, καθώς και το βήμα της ανάλυσης που αντιστοιχεί στην στοχευόμενη μετακίνηση.

Πίνακας 6.4 Στοχευόμενες Μετακινήσεις Σταθμών Επιτελεστικότητας

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη Μετακίνηση (m) (Target Displacement)	Συντελεστής Φορτίου (Load Factor)	Τέμνουσα Βάσης (kN) (Base shear)	Βήμα (Output No)
Περιορισμένες Βλάβες (A2) (Damage Limitation)	0.041	4.79	479.33	32
Σημαντικές Βλάβες (B1) (Significant Damage)	0.075	3.09	309.34	50
Οιονεί Κατάρρευση (C1+) (Near Collapse)	0.106	1.35	134.68	83

Αξίζει να σημειωθεί στη Στάθμη επιτελεστικότητας (C1+) «Οιονεί Κατάρρευση» πραγματοποιείται μετακίνηση κόμβου ελέγχου ίση με 0.106 m, έναντι 0.120 m της τριγωνικής κατανομής.

Για την επιλεχθείσα Στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες», η οποία αποτελεί τον στόχο αποτίμησης του κτιρίου, η στοχευόμενη μετακίνηση είναι 0.075 m, και η μετακίνηση αστοχίας είναι 0.065 m, επομένως το κτίριο δεν επαρκεί. Σύμφωνα με τους ελέγχους ασφαλείας βάσει των κριτηρίων επιτελεστικότητας που πραγματοποιούνται, στα παρακάτω σχήματα απεικονίζεται ο παραμορφωμένος φορέας με τα δομικά στοιχεία στα οποία παρατηρείται υπέρβαση κάποιου κριτηρίου να σημειώνονται με διαφορετικό χρώμα, ανάλογα με το κριτήριο διαρροής ή αστοχίας.

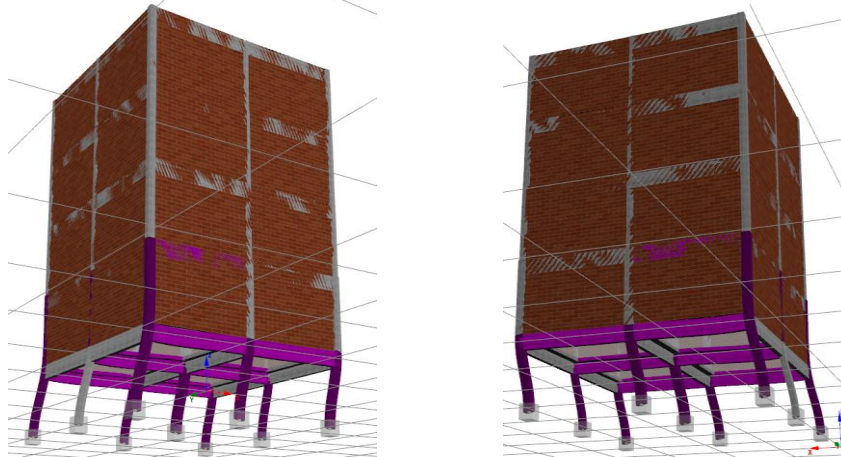
Στο Σχήμα 6.20 απεικονίζονται οι πρώτες πλαστικές αρθρώσεις που εμφανίζονται στο κτίριο. Στο βήμα 6 της ανάλυσης, σε μετακίνηση 0.006 m εμφανίζεται η πρώτη πλαστική άρθρωση στο κεντρικό υποστύλωμα της πιλοτής, ενώ στο επόμενο βήμα, σε μετακίνηση 0.007 m εμφανίζονται σε δύο περιμετρικές δοκούς του ισογείου.



Σχήμα 6.20 Πρώτες πλαστικές αρθρώσεις κτιρίου για μετακίνηση 0.007 m

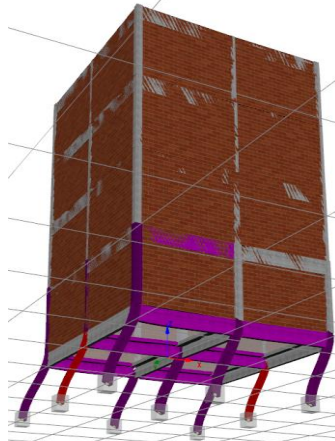
Παρακάτω στο Σχήμα 6.21 απεικονίζεται ο παραμορφωμένος φορέας, από δύο διαφορετικές οπτικές γωνίες για την καλύτερη κατανόηση των αστοχιών, για Στάθμη

επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες», όπου παρατηρείται μόνο διατμητική αστοχία υποστυλωμάτων και δοκών του ισογείου και του πρώτου ορόφου (μωβ και φούξια χρώμα). Οι αστοχίες αυτές είναι ακριβώς οι ίδιες με αυτές της ανάλυσης για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου. Διαρροή στη συγκεκριμένη στάθμη επιτελεστικότητας, εμφανίζει μόνο το υποστύλωμα του ισογείου που δεν έχει εμφανίσει αστοχία λόγω διάτμησης. Η εμφάνιση μαλακού ορόφου ισχύει όπως ακριβώς και στην ανάλυση για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου, καθώς οι αστοχίες των μελών είναι ίδιες.



Σχήμα 6.21 Αστοχία σε Τέμνουσα στοιχεία για Στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»

Τέλος, στο Σχήμα 6.22 απεικονίζεται ο παραμορφωμένος φορέας στο βήμα Νο 99 της ανάλυσης, σε μετακίνηση 0.127 m. Παρατηρείται πως οι αστοχίες και σε αυτό το βήμα της ανάλυσης, είναι ακριβώς οι ίδιες με αυτές της ομοιόμορφης κατανομής φορτίου. Αστοχία σε διάτμηση μωβ και φούξια χρώμα και αστοχία σε κάμψη κόκκινο.



Σχήμα 6.22 Παραμόρφωση κτιρίου στο βήμα 99 της ανάλυσης (φούξια και μωβ χρώμα διαρροή λόγω τέμνουσας, κόκκινο αστοχία λόγω κάμψης)

Άξιο παρατήρησης είναι το γεγονός πως τα αποτελέσματα σχετικά με την εκπλήρωση των κριτηρίων επιτελεστικότητας, ανάμεσα στις αναλύσεις με ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή φορτίου είναι σχεδόν ίδια. Οι αστοχίες των μελών είναι ίδιες στην Στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες» που εξετάζεται, αλλά και οι αστοχίες τους σε κάμψη στα τελευταία βήματα της ανάλυσης.

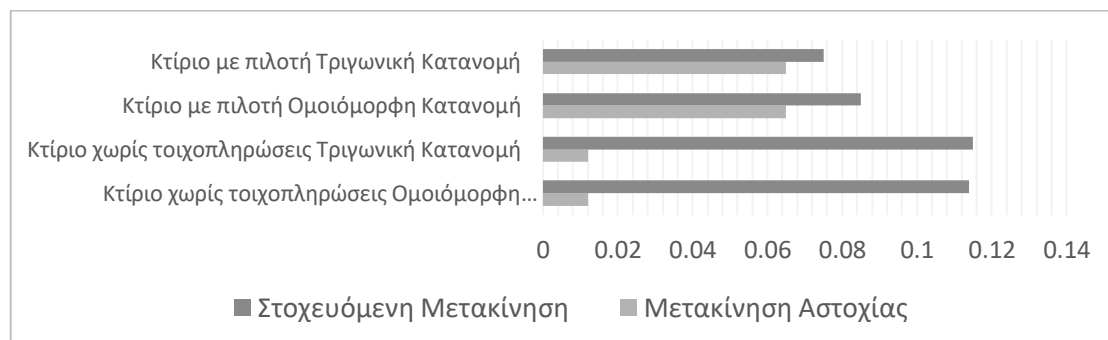
6.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΤΩΝ ΔΥΟ ΚΤΙΡΙΩΝ

Πραγματοποιήθηκαν λοιπόν οι απαραίτητες ανελαστικές στατικές αναλύσεις στα δύο είδη κτιρίων χωρίς και με τοιχοπληρώσεις (πιλοτή). Το πρώτο, για στοχευόμενη μετακίνηση 0.114 m και 0.115 m για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή πλευρικού φορτίου αντίστοιχα, για Στάθμη επιτελεστικότητας (B1) «Σημαντικές Βλάβες» που εξετάζεται, εμφάνισε αστοχίες σε τέμνουσα σε ορισμένα υποστυλώματα του ισογείου καθώς και σε δύο σε κάθε έναν από τους επόμενους 3 ορόφους, ενώ η αστοχία σε διάτμηση των δοκών περιορίστηκε σε έξι στοιχεία του ισογείου και του 1^{ου} ορόφου. Στην ίδια στάθμη επιτελεστικότητας, για στοχευόμενη μετακίνηση 0.085 m και 0.075 m σε ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή αντίστοιχα, το κτίριο με πιλοτή παρουσίασε το φαινόμενο του μαλακού ορόφου στην πιλοτή καθώς αστόχησαν σε τέμνουσα όλα τα υποστυλώματα εκτός από ένα καθώς και τρία περιμετρικά του 1^{ου} ορόφου. Αστοχίες σε δοκούς λόγω τέμνουσας εμφάνισαν έξι υποστυλώματα του ισογείου και δύο του 1^{ου}. Σε καμία από τις δύο περιπτώσεις το κτίριο δεν επαρκεί, αλλά είναι σαφώς πιο δυσμενές το κτίριο με πιλοτή. Στο παρακάτω κεφάλαιο λοιπόν, θα ακολουθήσει η ανάλυση των ενισχύσεων που πραγματοποιήθηκαν σε αυτό.

Παρακάτω, στον Πίνακα 6.5 και το Διάγραμμα 6.1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι στοχευόμενες μετακινήσεις και οι μετακινήσεις αστοχίας των κτιρίων στη Στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες» για κάθε μη γραμμική στατική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Ως μετακίνηση αστοχίας σημειώνεται εκείνη κατά την οποία εμφανίζεται η πρώτη αστοχία δομικού στοιχείου στο κτίριο. Βάσει της σύγκρισης των τιμών του πίνακα, γίνεται κατανοητό εάν το κτίριο επαρκεί ή όχι για τον επιδιωκόμενο στόχο αποτίμησης.

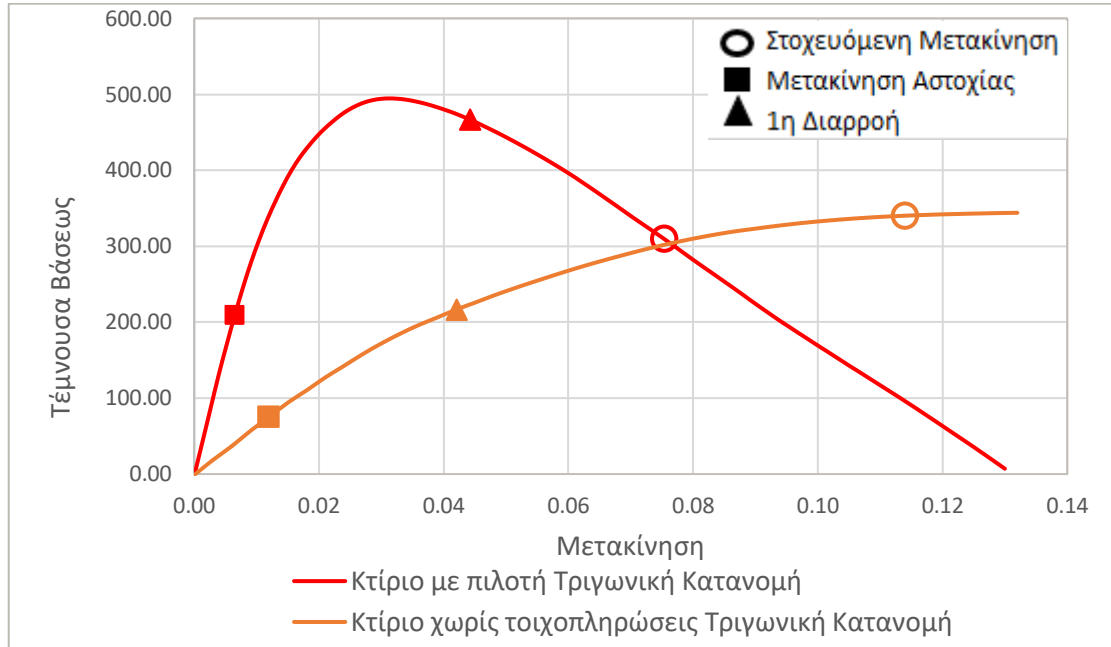
Πίνακας 6.5 Στοχευόμενες Μετακινήσεις και Μετακινήσεις Αστοχίας των δύο κτιρίων (χωρίς τοιχοπληρώσεις και με τοιχοπληρώσεις (πιλοτή))

Κτίριο	Στοχευόμενη Μετακίνηση (m)		Μετακίνηση Αστοχίας (m)	
	Ομοιόμορφη Κατανομή	Τριγωνική Κατανομή	Ομοιόμορφη Κατανομή	Τριγωνική Κατανομή
Κτίριο χωρίς Τοιχοπληρώσεις	0.114	0.115	0.012	0.012
Κτίριο με Τοιχοπληρώσεις (πιλοτή)	0.085	0.075	0.065	0.065



Διάγραμμα 6.1 Στοχευόμενη μετακίνηση και μετακίνηση αστοχίας κτιρίων

Επιπλέον, στον παρακάτω Διάγραμμα 6.2 απεικονίζονται οι καμπύλες των δυσμενέστερων κτιρίων, δηλαδή του κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις για τριγωνική κατανομή και του κτιρίου με πιλοτή για τριγωνική κατανομή φορτίου. Πάνω σε αυτές σημειώνονται η στοχευόμενη μετακίνηση, η μετακίνηση αστοχίας και η 1^η διαρροή που συμβαίνει στο κτίριο.



Διάγραμμα 6.2 Καμπύλες ικανότητας κτιρίων

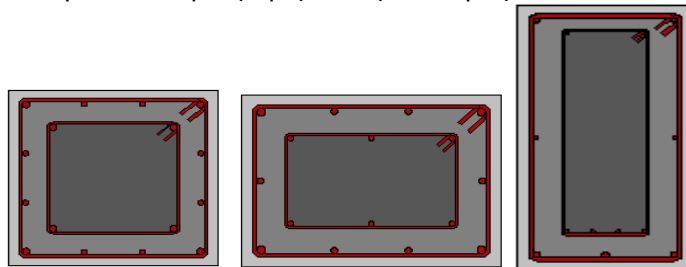
7. Κεφάλαιο 7ο: Ενίσχυση Υφιστάμενου Κτιρίου

Βάσει των αποτελεσμάτων της αποτίμησης, μέσω μη γραμμικών στατικών αναλύσεων, των δύο ειδών κτιρίου, χωρίς και με τοιχοπληρώσεις (πilotή), κατέστη αναγκαία η ενίσχυση του δεύτερου καθώς αντιπροσωπεύει την πραγματική κατάσταση του υφιστάμενου κτιρίου που εξετάζεται και αποτελεί και το πιο δυσμενές. Πραγματοποιήθηκαν επομένως ενισχύσεις με μανδύες ΟΣ, με Υφάσματα Ινοπλισμένων Πολυμερών (FRPs) και με χιαστί μεταλλικές διατομές σε συνδυασμό με μανδύες ΟΣ και έπειτα ακολούθησαν ανελαστικές στατικές αναλύσεις για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή πλευρικού φορτίου με σκοπό την εύρεση των βέλτιστων λύσεων ανασχεδιασμού. Τα υλικά των ενισχύσεων είναι για σκυρόδεμα C25/30 και για χάλυβα B500. Οι ενισχύσεις αυτές καθώς και τα αποτελέσματα των νέων αναλύσεων, παρατίθενται αναλυτικά στα παρακάτω υποκεφάλαια.

7.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΑΝΔΥΩΝ ΟΣ

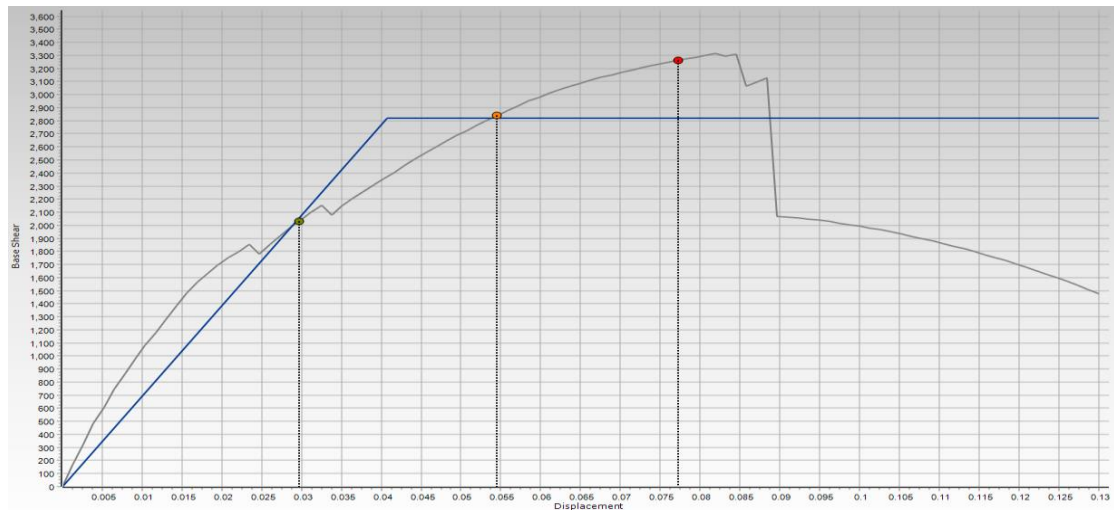
Η ενίσχυση με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος εφαρμόστηκε στο κτίριο βάσει της αποτίμησης, σε όλα τα υποστυλώματα του ισογείου και σε όλα τα περιμετρικά του 1^{ου} ορόφου. Ακόμα ενισχύθηκαν όλες οι δοκοί του ισογείου και όλες οι περιμετρικές του 1^{ου} ορόφου. Σκοπός αυτών αποτελεί η αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής της κατασκευής. Για την διερεύνηση της ενίσχυσης, πραγματοποιήθηκε ανελαστική στατική ανάλυση με ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή φορτίου. Τα αποτελέσματα τους έδειξαν την αστοχία σε τέμνουσα δύο εσωτερικών δοκών του 1^{ου} ορόφου με αποτέλεσμα να ενισχυθούν και όλες οι δοκοί του 1^{ου}. Πραγματοποιήθηκε ξανά λοιπόν ανελαστική στατική ανάλυση και για τις δύο κατανομές φορτίου.

Για τις ενισχύσεις χρησιμοποιήθηκαν ενδεικτικά οι διατομές των μανδύων που απεικονίζονται στο Σχήμα 7.1. Ουσιαστικά υπήρξε αύξηση των υφιστάμενων διατομών με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος 10 cm περιμετρικά, ενώ τοποθετήθηκαν συνδετήρες Φ10/10. Ο κύριος κατακόρυφος οπλισμός υποστυλωμάτων είναι 4Φ20 στις γωνίες της διατομής και Φ16 ενδιάμεσος, διαφορετικός σε ποσότητα, ανάλογα τις διαστάσεις των διατομών. Ο κύριος οριζόντιος οπλισμός των δοκών είναι Φ14.

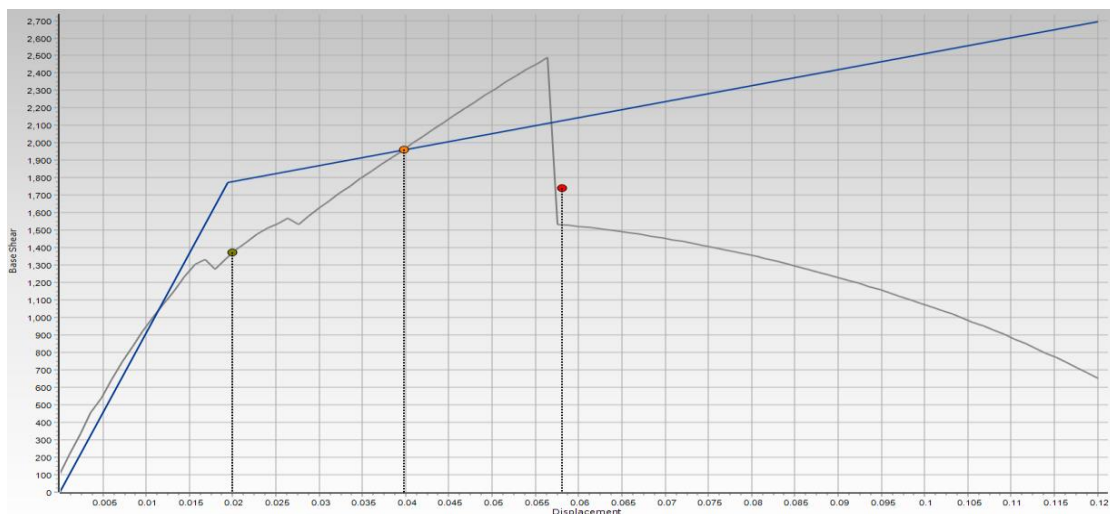


Σχήμα 7.1 Ενδεικτικές διατομές μανδύα υποστυλώματος τετραγωνικής και ορθογωνικής διατομής και διατομή μανδύα δοκού.

Οι καμπύλες ικανότητας που προκύπτουν από τη τελική μη γραμμική στατική ανάλυση (Pushover) για τριγωνική και ομοιόμορφη κατανομή πλευρικού φορτίου απεικονίζονται στα παρακάτω Σχήματα 7.2 και 7.3.



Σχήμα 7.2 Καμπύλη ικανότητας ενισχυμένου με μανδύα κτιρίου για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου



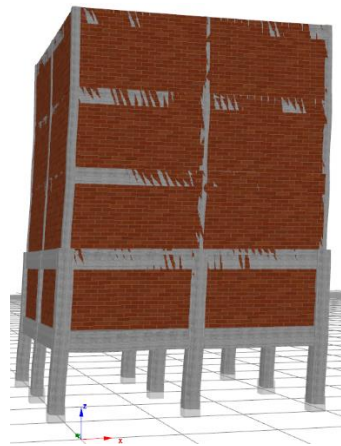
Σχήμα 7.3 Καμπύλη ικανότητας ενισχυμένου με μανδύα κτιρίου για τριγωνική κατανομή φορτίου

Στον Πίνακα 7.1 παρουσιάζονται οι τιμές της στοχευόμενης μετακίνησης για Στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες», η αντίστοιχη τέμνουσα βάσης, καθώς και το βήμα της ανάλυσης που αντιστοιχεί στην στοχευόμενη μετακίνηση για τις αναλύσεις για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή φορτίου.

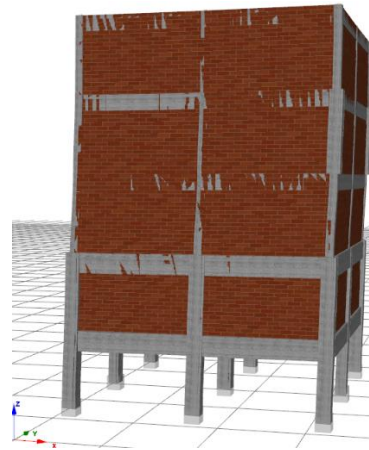
Πίνακας 7.1 Στοχευόμενη Μετακίνηση για Στάθμης Επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»

Κατανομή Φορτίου	Στάθμη Επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη Μετακίνηση (m)	Συντελεστής Φορτίου	Τέμνουσα Βάσης (kN)	Βήμα
Ομοιόμορφη	Σημαντικές Βλάβες (B1) (Significant Damage)	0.054	28.52	2851.59	43
Τριγωνική	Σημαντικές Βλάβες (B1) (Significant Damage)	0.054	22.81	2280.81	43

Για Στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες» η στοχευόμενη μετακίνηση που προκύπτει από τις ανελαστικές στατικές αναλύσεις, είναι 0.054 m και για τις δύο κατανομές φορτίου, ενώ η μετακίνηση αστοχίας κυμαίνεται από 0.062 m έως 0.058 m κάτι το οποίο δείχνει πως το κτίριο παρουσιάζει επάρκεια. Η φέρουσα ικανότητα της κατασκευή είναι 3321.47 kN και 2517.56 kN για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή αντίστοιχα. Η παραμόρφωση του ενισχυμένου φορέα με μανδύες για τις δύο αυτές κατανομές απεικονίζεται στα Σχήματα 7.4 και 7.5. Δεν παρατηρείται καμία αστοχία των στοιχείων σε καμία από τις δύο περιπτώσεις για τα επιλεγμένα κριτήρια ελέγχου, παρά μόνο διαρροή μιας εσωτερικής δοκού του 3^{ου} ορόφου στο κτίριο με ομοιόμορφη κατανομή καταλήγοντας ξανά στο γεγονός πως οι φορείς επαρκούν και στις δύο περιπτώσεις.



Σχήμα 7.4 Παραμορφωμένος φορέας για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου για Στάθμη Επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»



Σχήμα 7.5 Παραμορφωμένος φορέας για τριγωνική κατανομή φορτίου για Στάθμη Επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»

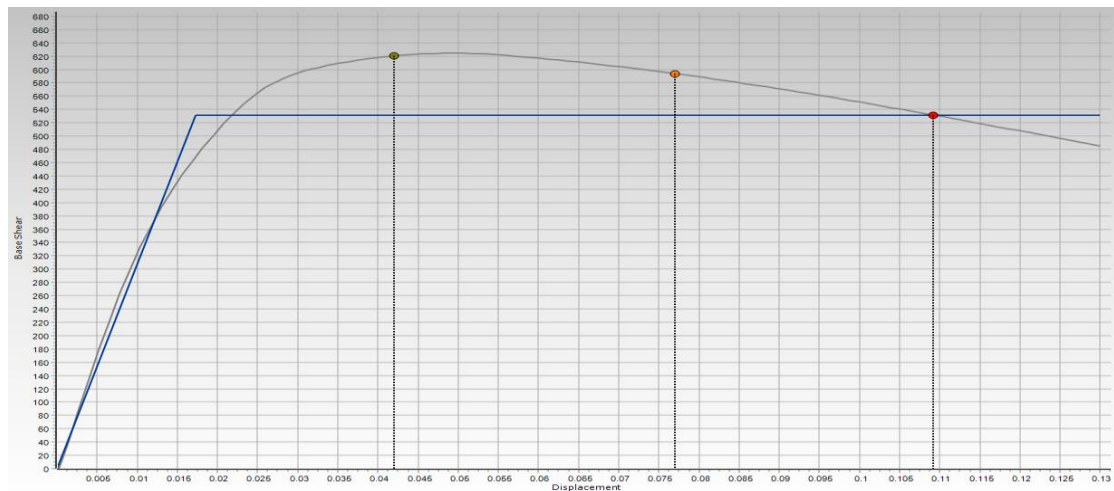
7.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (FRPs)

Στην περίπτωση των υφασμάτων από ινοπλισμένα πολυμερή, έπειτα από κάποιες δοκιμές, εφαρμόστηκαν τελικά με επιτυχία. Ενισχύθηκαν λοιπόν όλα τα υποστυλώματα του ισογείου με διπλή στρώση υφασμάτων και όλα τα περιμετρικά του 1^{ου} ορόφου με μονή. Η ενίσχυση των δοκών πραγματοποιήθηκε σε όλες του ισογείου καθώς αστοχούσαν τέσσερις περιμετρικές και δύο εσωτερικές καθώς και σε όλες τις περιμετρικές του 1^{ου} ορόφου καθώς αστοχούσαν δύο περιμετρικές σε κάθε μία από τις αναλύσεις σε κάθε διεύθυνση.

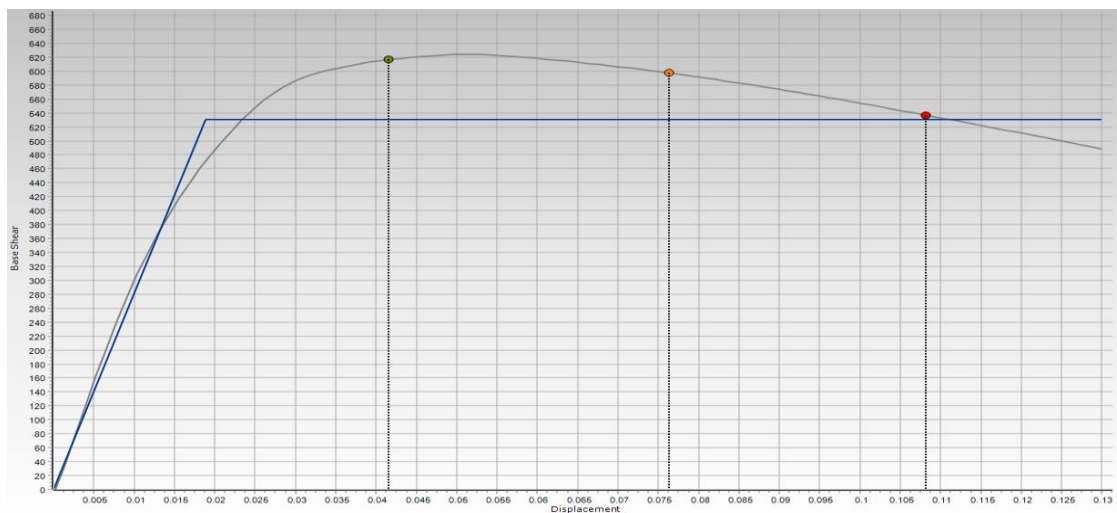
Στόχος της ενίσχυσης με υφάσματα ΙΟΠ είναι η αύξηση της πλαστιμότητας των δομικών στοιχείων λόγω της περίσφιξης που προκαλούν σε αυτά καθώς και η αύξηση κάμπτικής και διατμητικής αντοχής των δοκών.

Τα υφάσματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι με ίνες άνθρακα της εταιρείας Sika και συγκεκριμένα είναι τα SikaWrap® Hex 103C, με ακτίνα των στογγυλοποιημένων ακμών των στοιχείων 4 cm.

Πραγματοποιήθηκε μη γραμμική στατική ανάλυση (Pushover) για τριγωνική και ομοιόμορφη κατανομή πλευρικού φορτίου και οι καμπύλες ικανότητας που προκύπτουν, απεικονίζονται στα παρακάτω Σχήματα 7.6 και 7.7.



Σχήμα 7.6 Καμπύλη ικανότητας ενισχυμένου με υφάσματα ΙΟΠ κτιρίου για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου



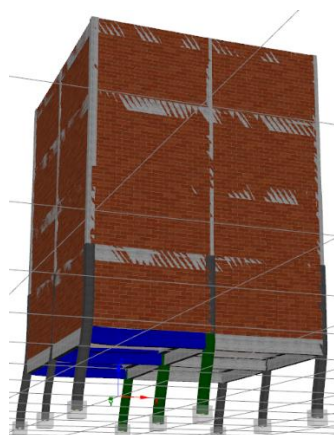
Σχήμα 7.7 Καμπύλη ικανότητας ενισχυμένου με υφάσματα ΙΟΠ κτιρίου για τριγωνική κατανομή φορτίου

Στον Πίνακα 7.2 παρουσιάζονται οι τιμές της στοχευόμενης μετακίνησης για Στάθμη επιτελεσματικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες», η αντίστοιχη τέμνουσα βάσης, καθώς και το βήμα της ανάλυσης που αντιστοιχεί στην στοχευόμενη μετακίνηση για τις αναλύσεις για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή φορτίου.

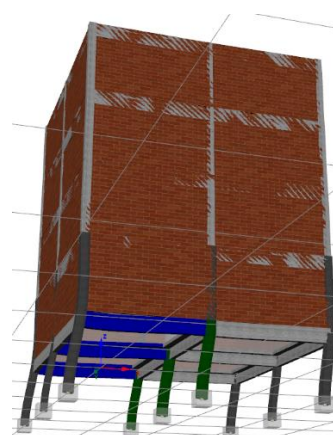
Πίνακας 7.2 Στοχευόμενη Μετακίνηση για Στάθμης Επιτελεσματικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»

Κατανομή Φορτίου	Στάθμη Επιτελεσματικότητας	Στοχευόμενη Μετακίνηση (m)	Συντελεστής Φορτίου	Τέμνουσα Βάσης (kN)	Βήμα
Ομοιόμορφη	Σημαντικές Βλάβες (B1) (Significan Damage)	0.077	5.94	594.34	24
Τριγωνική	Σημαντικές Βλάβες (B1) (Significan Damage)	0.076	5.97	596.71	26

Για Στάθμη Επιτελεστικότητας Β «Σημαντικές Βλάβες» η στοχευόμενη μετακίνηση που προκύπτει από τις ανελαστικές στατικές αναλύσεις είναι 0.077 m και 0.076 m για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή αντίστοιχα και η μετακίνηση αστοχίας κυμαίνεται από 0.10 m έως 0.11 m, επομένως το κτίριο επαρκεί. Η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής είναι 624.48 kN και 623.73 kN για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή αντίστοιχα. Ο παραμορφωμένος ενισχυμένος με υφάσματα φορέας για τις δύο αυτές κατανομές απεικονίζεται στα Σχήμα 7.8 και 7.9. Τα αποτελέσματα είναι ακριβώς τα ίδια. Δεν παρατηρείται καμία αστοχία των στοιχείων σε καμία από τις δύο κατανομές για τα επιλεγμένα κριτήρια ελέγχου. Διαρροή εντοπίζεται και στις δύο περιπτώσεις σε τρία κεντρικά υποστυλώματα του ισόγειου (με πράσινο σκούρο χρώμα), ενώ τρεις δοκοί διαρρέουν επίσης στο ισόγειο (με μπλε χρώμα). Επομένως οι φορείς επαρκούν και με αυτό το είδος ενίσχυσης.



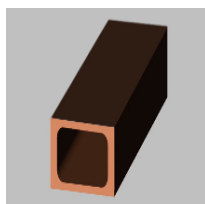
Σχήμα 7.8 Παραμορφωμένος φορέας για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου για Στάθμη Επιτελεστικότητας (B)



Σχήμα 7.9 Παραμορφωμένος φορέας για τριγωνική κατανομή φορτίου για Στάθμη Επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»

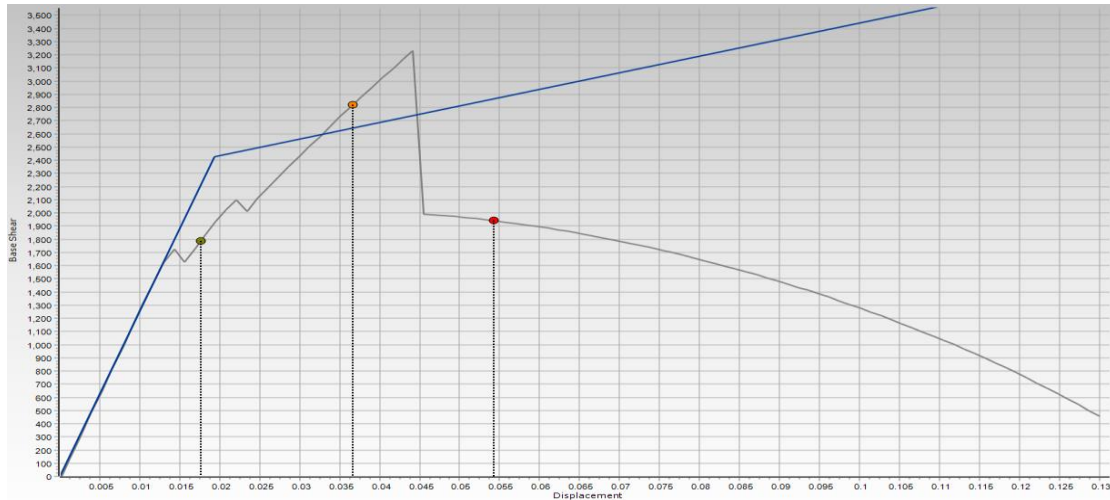
7.3 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΧΙΑΣΤΙ

Η ενίσχυση με προσθήκη μεταλλικών χιαστί διατομών πραγματοποιήθηκε μετά από αρκετές δοκιμές. Εφαρμόστηκαν διαφορετικά είδη διατομών καθώς και αρκετές εναλλακτικές τοποθέτησης τους. Επιλέχθηκε η βέλτιστη λύση επέμβασης, η οποία περιλαμβάνει την τοποθέτηση των χιαστί περιμετρικά σε όλο το ισόγειο και τον 1^ο όροφο, με σκοπό την αύξηση δυσκαμψίας τους καθώς παρατηρείται μαλακός όροφος. Τετράγωνη κοίλη διατομή SHS100X10 επιλέχθηκε η οποία απεικονίζεται στο Σχήμα 7.10.

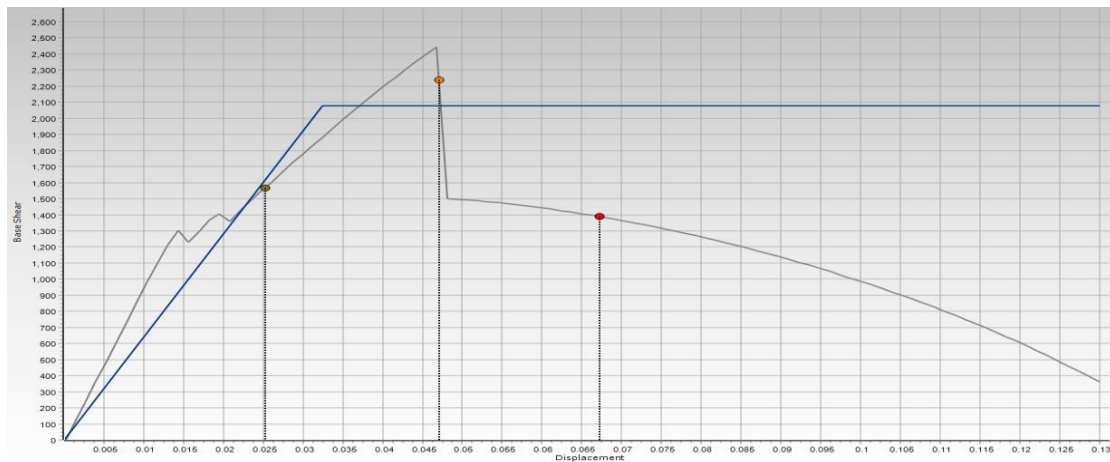


Σχήμα 7.10 τετράγωνη κοίλη διατομή SHS100X10

Πραγματοποιήθηκε μη γραμμική στατική ανάλυση (Pushover) με τριγωνική και ομοιόμορφη κατανομή πλευρικού φορτίου και οι καμπύλες ικανότητας που προκύπτουν, απεικονίζονται στα παρακάτω Σχήματα 7.11 και 7.12.



Σχήμα 7.11 Καμπύλη ικανότητας ενισχυμένου με μεταλλικά χιαστί κτιρίου για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου



Σχήμα 7.12 Καμπύλη ικανότητας ενισχυμένου με μεταλλικά χιαστί κτιρίου για τριγωνική κατανομή φορτίου

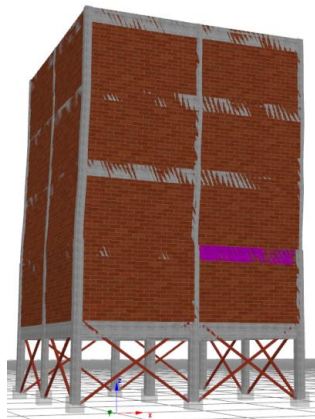
Στον παρακάτω Πίνακα 7.3 παρουσιάζονται οι τιμές της στοχευόμενης μετακίνησης για Στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες», η αντίστοιχη τέμνουσα βάσης, καθώς και το βήμα της ανάλυσης που αντιστοιχεί στην στοχευόμενη μετακίνηση για τις αναλύσεις για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή φορτίου.

Πίνακας 7.3 Στοχευόμενη Μετακίνηση για Στάθμης Επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»

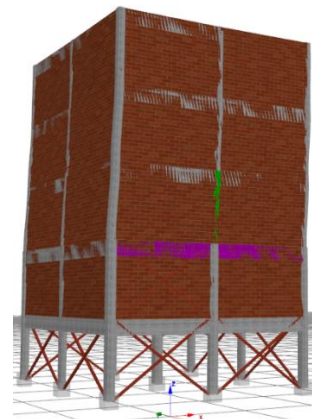
Κατανομή Φορτίου	Στάθμη Επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη Μετακίνηση (m)	Συντελεστής Φορτίου	Τέμνουσα Βάσης (kN)	Βήμα
Ομοιόμορφη	Σημαντικές Βλάβες (B1) (Significant Damage)	0.037	28.05	2804.79	29
Τριγωνική	Σημαντικές Βλάβες (B1) (Significant Damage)	0.047	24.42	2442.26	37

Για Στάθμη Επιτελεστικότητας B «Σημαντικές Βλάβες» η στοχευόμενη μετακίνηση που προκύπτει από τις ανελαστικές στατικές αναλύσεις, είναι 0.037 m και 0.047 m για τριγωνική και ομοιόμορφη κατανομή αντίστοιχα ενώ η μετακίνηση αστοχίας κυμαίνεται από 0.034 m έως 0.037 m γεγονός που σημαίνει πως το κτίριο δεν επαρκεί.

Ο παραμορφωμένος ενισχυμένος με μεταλλικά χιαστί φορέας για τις δύο αυτές κατανομές απεικονίζεται στα Σχήματα 7.13 και 7.14. Παρατηρείται η αστοχία σε διάτμηση δύο απέναντι περιμετρικών δοκών του 1^{ου} ορόφου και διαρροή σε μία ενδιάμεση δοκό του 3^{ου} ορόφου στη ανάλυση για ομοιόμορφη κατανομή. Για τριγωνική κατανομή αστοχούν σε διάτμηση τρεις δοκοί του 1^{ου} ορόφου, ενώ διαρρέουν δύο περιμετρικά υποστυλώματα και μία ενδιάμεση δοκός του 2^{ου}. (Οι αστοχίες σε διάτμηση απεικονίζονται με φούξια χρώμα, ενώ η διαρροή με πράσινο) Όπως προαναφέρθηκε, η συγκεκριμένη διαδικασία ενίσχυσης αποτελεί την βέλτιστη καθώς συγκριτικά με όσες πραγματοποιήθηκαν, επέφερε τα καλύτερα αποτελέσματα. Η διαρροή σε διάτμηση των δοκών είναι λογικό να παραμένει σε ορισμένες, με την προσθήκη μεταλλικών χιαστί. Ακόμα, οι αραιοί συνδετήρες που υπάρχουν, λόγω παλαιότητας της κατασκευής, είναι κάτι που δεν βοηθάει στην αποφυγή τέτοιου είδους αστοχίας.

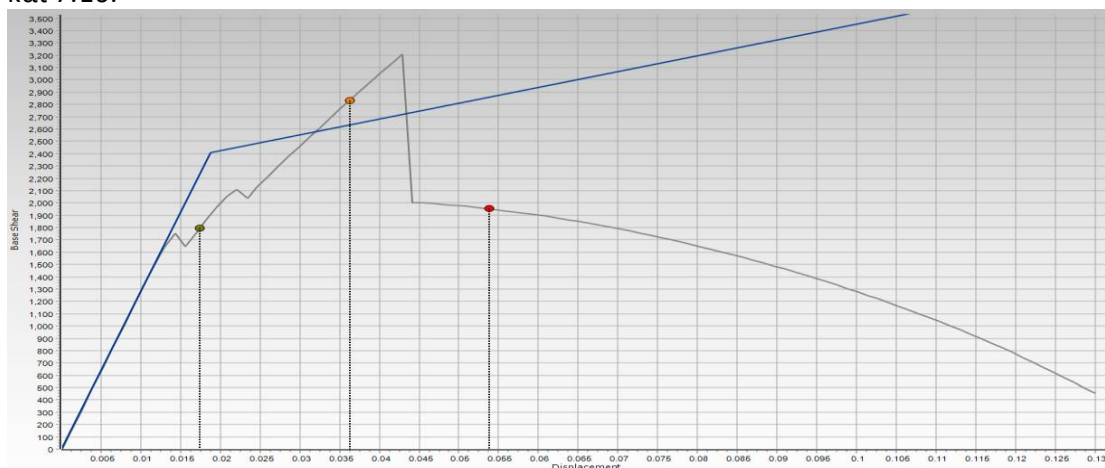


Σχήμα 7.13 Παραμορφωμένος φορέας για τριγωνική κατανομή φορτίου για Στάθμη Επιτελεσματικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες». (φούξια χρώμα αστοχία λόγω τέμνουσας και πράσινο διαρροή)

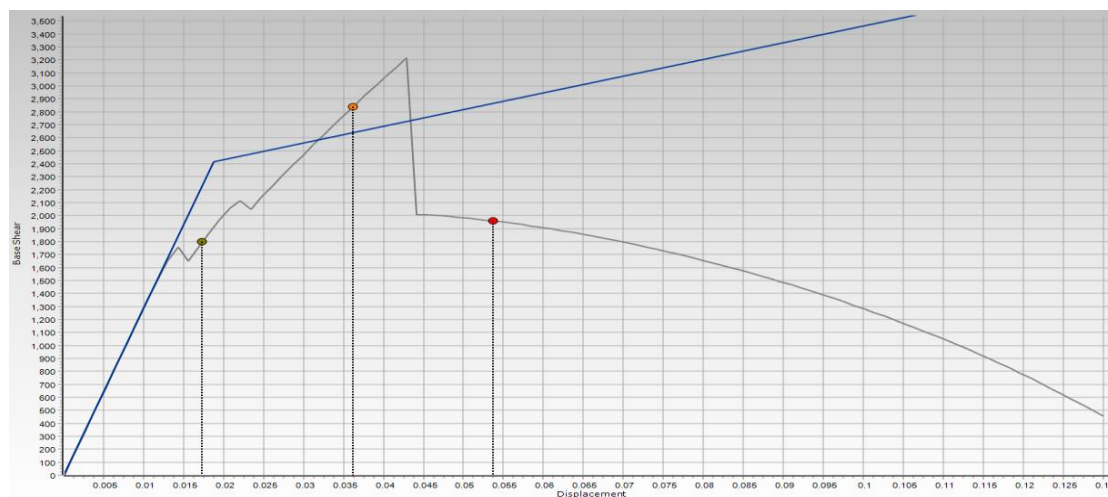


Σχήμα 7.14 Παραμορφωμένος φορέας για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου για Στάθμη Επιτελεσματικότητας (B) ». (φούξια χρώμα διαρροή λόγω τέμνουσας)

Ολοκληρώθηκαν λοιπόν οι ενισχύσεις με την επέμβαση με μανδύες ΟΣ σε όλες τις περιμετρικές δοκούς του 1^{ου} ορόφου. Οι ιδιότητες των μανδυνών είναι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στο κεφάλαιο 7.1. Έπειτα πραγματοποιήθηκε ξανά μη γραμμική στατική ανάλυση (Pushover) για τις δύο κατανομές φόρτισης, με τα αποτελέσματα των καμπυλών ικανότητας που προκύπτουν να απεικονίζονται στα παρακάτω Σχήματα 7.15 και 7.16.



Σχήμα 7.15 Καμπύλη ικανότητας ενισχυμένου με μεταλλικά χιαστί και μανδύες ΟΣ κτιρίου για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου



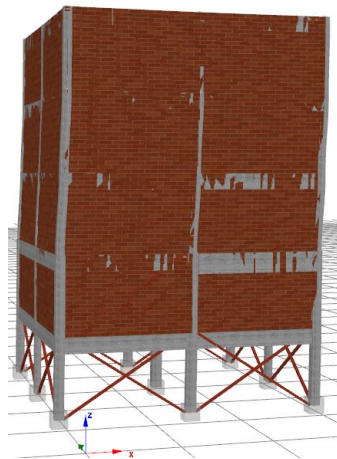
Σχήμα 7.16 Καμπύλη ικανότητας ενισχυμένου με μεταλλικά χιαστί και μανδύες ΟΣ κτιρίου για τριγωνική κατανομή φορτίου

Στον παρακάτω Πίνακα 7.4 παρουσιάζονται οι τιμές της στοχευόμενης μετακίνησης για Στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες», η αντίστοιχη τέμνουσα βάσης, καθώς και το βήμα της ανάλυσης που αντιστοιχεί στην στοχευόμενη μετακίνηση για τις αναλύσεις για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή φορτίου.

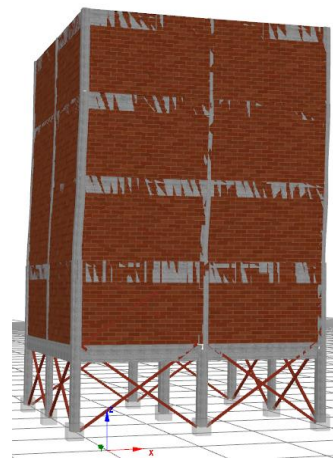
Πίνακας 7.4 Στοχευόμενη Μετακίνηση για Στάθμης Επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»

Κατανομή Φορτίου	Στάθμη Επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη Μετακίνηση (m)	Συντελεστής Φορτίου	Τέμνουσα Βάσης (kN)	Βήμα
Ομοιόμορφη	Σημαντικές Βλάβες (B1) (Significant Damage)	0.036	28.42	2841.97	29
Τριγωνική	Σημαντικές Βλάβες (B1) (Significant Damage)	0.036	28.49	2849.87	29

Για Στάθμη Επιτελεστικότητας B «Σημαντικές Βλάβες» η στοχευόμενη μετακίνηση που προκύπτει από τις ανελαστικές στατικές αναλύσεις είναι 0.036 m και για τις δύο κατανομές ενώ η μετακίνηση αστοχίας κυμαίνεται από 0.048 m έως 0.049 m, επομένως το κτίριο επαρκεί. Η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής είναι 3207.88 kN και 3215.59 kN για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή αντίστοιχα. Ο παραμορφωμένος ενισχυμένος φορέας, με μεταλλικά χιαστί στο ισόγειο και μανδύες ΟΣ σε κάποιες δοκούς, για τις δύο αυτές κατανομές απεικονίζεται στα Σχήματα 7.17 και 7.18. Τα αποτελέσματα είναι ακριβώς τα ίδια, δεν παρατηρούνται αστοχίες, και ο φορέας επαρκεί. Διαρροή εμφανίζει μία ενδιάμεση δοκός του 3^{ου} ορόφου. Αξίζει να σημειωθεί πως η χρήση μανδύων θα μπορούσε να αντικατασταθεί και με την χρήση ΙΟΠ.



Σχήμα 7.17 Παραμορφωμένος φορέας για ομοιόμορφη κατανομή φορτίου για Στάθμη Επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες». (φούξια χρώμα διαρροή λόγω τέμνουσας)



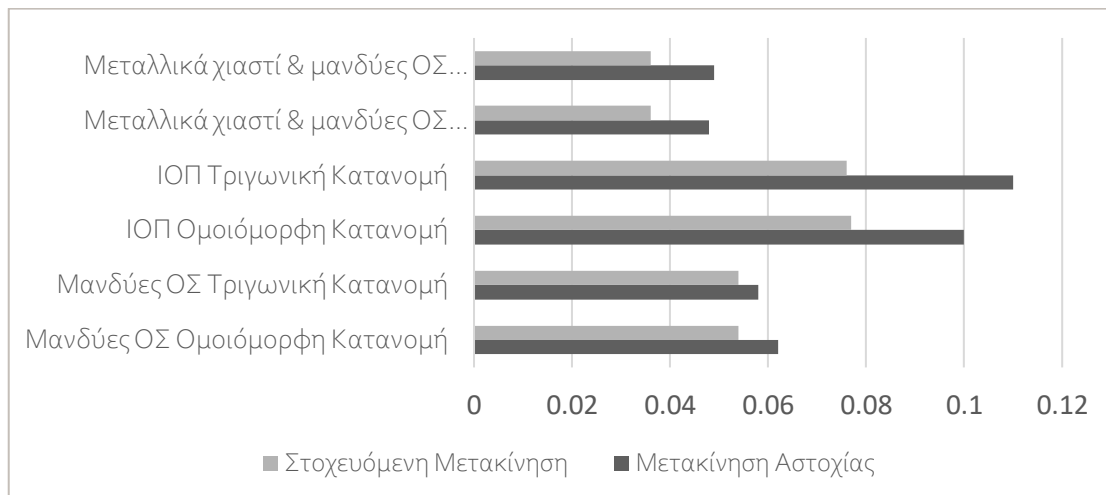
Σχήμα 7.18 Παραμορφωμένος φορέας για τριγωνική κατανομή φορτίου για Στάθμη Επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες»

7.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ

Στον παρακάτω Πίνακα 7.5 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι στοχευόμενες μετακινήσεις και οι μετακινήσεις αστοχίας των ενισχυμένων κτιρίων στη Στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες» για κάθε μη γραμμική στατική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, ενώ στο Διάγραμμα 7.1 απεικονίζονται οι μετακινήσεις αυτές όλων των κτιρίων συγκεντρωτικά. Μέσω της σύγκρισης των τιμών του πίνακα, γίνεται κατανοητό εάν το κτίριο επαρκεί ή όχι για τον επιδιωκόμενο στόχο ανασχεδιασμού.

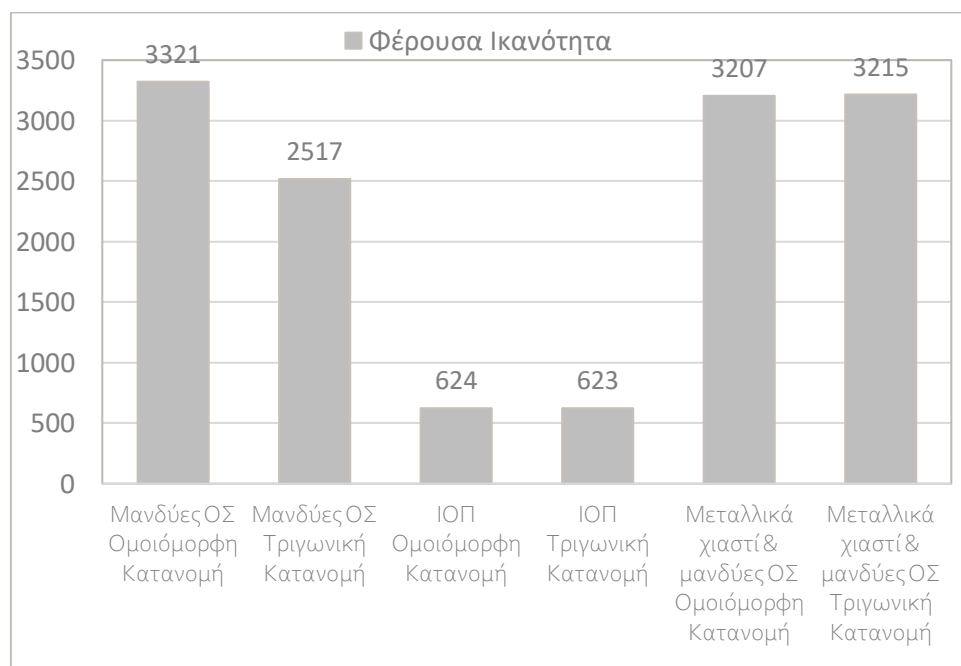
Πίνακας 7.5 Στοχευόμενες Μετακινήσεις και Μετακινήσεις Αστοχίας των ενισχυμένων κτιρίων

Κτίριο	Στοχευόμενη Μετακίνηση (m)		Μετακίνηση Αστοχίας (m)	
	Ομοιόμορφη Κατανομή	Τριγωνική Κατανομή	Ομοιόμορφη Κατανομή	Τριγωνική Κατανομή
Κτίριο με Τοιχοπληρώσεις (πιλοτή) ενισχυμένο με μανδύες ΟΣ	0.054	0.054	0.062	0.058
Κτίριο με Τοιχοπληρώσεις (πιλοτή) ενισχυμένο με υφάσματα ΙΟΠ	0.077	0.076	0.10	0.11
Κτίριο με Τοιχοπληρώσεις (πιλοτή) ενισχυμένο με μεταλλικά χιαστί και μανδύες ΟΣ	0.036	0.036	0.048	0.049



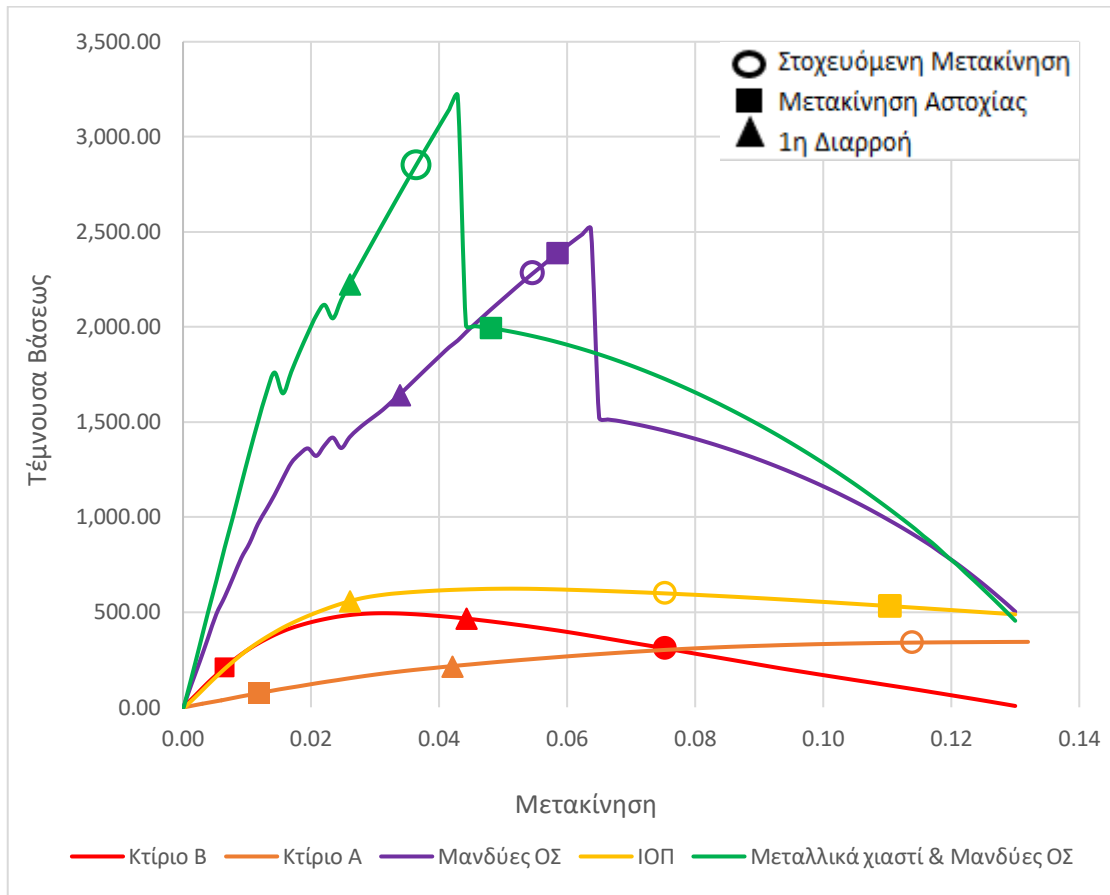
Διάγραμμα 7.1 Στοχευόμενη μετακίνηση και μετακίνηση αστοχίας κτιρίων

Στο Διάγραμμα 7.2 απεικονίζεται η φέρουσα ικανότητα όλων των κτιρίων.



Διάγραμμα 7.2 Φέρουσα ικανότητα κτιρίων

Τέλος, στο Διάγραμμα 7.3 απεικονίζονται οι καμπύλες ικανότητας ενισχυμένων και μη κτιρίων, ενώ σημειώνονται η στοχευόμενη μετακίνηση, η μετακίνηση αστοχίας και η 1^η διαρροή του κτιρίου. Παρουσιάζεται η καμπύλη για το κτίριο Α (μη ενισχυμένο κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις), το κτίριο Β (μη ενισχυμένο κτίριο με πιλοτή) και το κτίριο με πιλοτή με τρεις διαφορετικές μορφές ενίσχυσης (i) μανδύες ΟΣ, (ii) προσθήκη υφασμάτων από ΙΟΠ και (iii) προσθήκη χιαστί μεταλλικών στο ισόγειο και μανδύων ΟΣ σε κάποιες δοκούς. Οι καμπύλες ικανότητας που παρουσιάζονται έχουν προκύψει από ανελαστικές στατικές αναλύσεις με τριγωνική κατανομή πλευρικών φορτίων.



Διάγραμμα 7.3 Καμπύλες ικανότητας κτιρίων

8. Κεφάλαιο 8^ο: Συμπεράσματα

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η αποτίμηση της σεισμικής ικανότητας ενός υφισταμένου κτιρίου οπλισμένου σκυροδέματος χωρίς και με τοιχοπληρώσεις που δημιουργούν πιλοτή, βάσει του σύγχρονου Κανονισμού επεμβάσεων ΚΑΝ.ΕΠΕ. Το κτίριο που μελετήθηκε είναι ένα υφιστάμενο πεντάωρο κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα της δεκαετίας του '60, το οποίο έχει κατασκευαστεί σύμφωνα με τους τότε ισχύοντες κανονισμούς, δηλαδή το ΒΔ του 1959. Η αποτίμηση του πραγματοποιήθηκε μέσω ανελαστικών στατικών αναλύσεων (Pushover) για Στάθμη επιτελεστικότητας (B) «Σημαντικές Βλάβες» με τη βοήθεια του λογισμικού Seismostruct. Τα αποτελέσματα αυτών των αναλύσεων οδήγησαν στην απόφαση ενίσχυσης του δυσμενέστερου, εκείνου δηλαδή με τις τοιχοπληρώσεις όπου σχηματίζεται πιλοτή. Οι ενισχύσεις πραγματοποιήθηκαν μέσω μανδύων ΟΣ, υφασμάτων από ΙΟΠ και χιαστί μεταλλικά. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από όλες αυτές τις αναλύσεις παρατίθενται παρακάτω:

- Βάσει των αποτελεσμάτων της αποτίμησης των κτιρίων, προκύπτει πως οι αστοχίες στο κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις εμφανίζονται σε μεγαλύτερο πλήθος δοκών και σε υποστύλωμα τα οποία είναι μοιρασμένα στο ισόγειο και στους τρεις ορόφους εν αντιθέσει με το κτίριο με πιλοτή το οποίο εμφανίζει συγκέντρωση των αστοχιών στη πιλοτή (μαλακός όροφος). Το γεγονός αυτό αναδεικνύει τη δυσμενή επιρροή της πιλοτής, λόγω μειωμένης και έντονης μεταβολής της δυσκαμψίας καθ' ύψος της κατασκευής, στην σεισμική συμπεριφορά του κτιρίου.
- Ούτε το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις, ούτε το κτίριο με πιλοτή επαρκούν. Ωστόσο είναι φανερό η δυσμενέστερη συμπεριφορά του κτιρίου με πιλοτή, επιβεβαιώνοντας ότι η πιλοτή πρέπει να αποφεύγεται.
- Η αντοχή και η δυσκαμψία των ενισχυμένων κτιρίων με μανδύες ΟΣ ή με μεταλλικά χιαστί είναι σημαντικά μεγαλύτερη από το αρχικό κτίριο και το κτίριο με ΙΟΠ.
- Η ενίσχυση με ΙΟΠ προσφέρει μικρή αύξηση στην αντοχή και καθόλου αύξηση στην δυσκαμψία.
- Η πλαστιμότητα του κτιρίου με ΙΟΠ είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη των άλλων ενισχυμένων κτιρίων.
- Η χρήση μανδύων που απαιτείται σε κάποιες δοκούς στην περίπτωση ενίσχυσης του κτιρίου με μεταλλικούς χιαστί συνδέσμους, θα μπορούσε να αντικατασταθεί με τη χρήση υφασμάτων ΙΟΠ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Seismosoft Ltd. (2021). SeismoStruct 2021 - Εγχειρίδιο Χρήσης. Pavia, Italy.
- Αρμουτίδης, Ν. (2022, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ). Αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς ενός υφιστάμενου διώροφου κτιρίου οπλισμένου σκυροδέματος με χρήση ανελαστικών αναλύσεων. Διερεύνηση επιρροής των τοιχοπληρώσεων & κατασκευή καμπύλων τρωτότητας. Προσδιορισμός ανεπάρκειας ή όχι και προτάσεις ενίσχυσης. ΠΑΤΡΑ, ΕΛΛΑΔΑ.
- Γιάννακας, Ν. (n.d.). Επισκευές και Ενισχύσεις των Κατασκευών. Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο. Ανάκτηση από <https://eclass.hmu.gr/courses/TD141/>
- Δρίτσος, Σ. Η. (2005). *Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα* (3η Αναθεωρημένη εκδ.). Πάτρα.
- ΚΑΝ.ΕΠΕ. (2022). *ΚΑΝ.ΕΠΕ* (Τόμ. 3η Αναθεώρηση). Αθήνα: ΟΑΣΠ.
- Καρύδης, Π. (2021, Σεπτέμβριος 30). Τι σεισμούς αντέχουν τελικά τα σπίτια στην Ελλάδα; Ποια κινδυνεύουν, ποια είναι πιο ασφαλή. Ανάκτηση από <https://www.iefimerida.gr/>
- Νικολοπούλου, Β., & Τζουμανίκα, Γ. (2011, Φεβρουάριος). Ενίσχυση κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με μεταλλικούς συνδέσμους δυσκαμψίας. Πάτρα.
- ΟΑΣΠ. (2001). *Συστάσεις για Προσεισμικές και Μετασεισμικές Επεμβάσεις σε Κτίρια*. Αθήνα.
- Σπυράκος, Κ. (2004). *Ενίσχυση Κατασκευών για Σεισμικά Φορτία*. Αθήνα: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος.