

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ. ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ.

ΠΑΠΑΣΤΑΘΗΣ ΜΑΡΚΟΣ

Προπτυχιακός Φοιτητής Π.Π., up1047372@upnet.gr

ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

Προπτυχιακός Φοιτητής Π.Π., up1047375@upnet.gr

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει στόχο την αποτίμηση υφιστάμενης κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα και την ενίσχυση της σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Η αποτίμηση θα γίνει με ελαστικές μεθόδους, στατική και δυναμική, αλλά και με μη γραμμική στατική ανάλυση <<pushover>>. Παρουσιάζονται διαφορετικές στρατηγικές ενίσχυσης που αφορούν ενισχύσεις επί του συνόλου της κατασκευής, όπως προσθήκη τοιχωμάτων και μεταλλικών συνδέσμων δυσκαμψίας, ενισχύσεις σε μεμονωμένα στοιχεία της κατασκευής με προσθήκη μανδύων κλπ. Στόχος της εργασίας είναι η εύρεση της πλέον καταλληλότερης οικονομοτεχνικής λύσης. Η ανάλυση έγινε με την βοήθεια του προγράμματος SCADA PRO της εταιρείας ACE HELLAS.

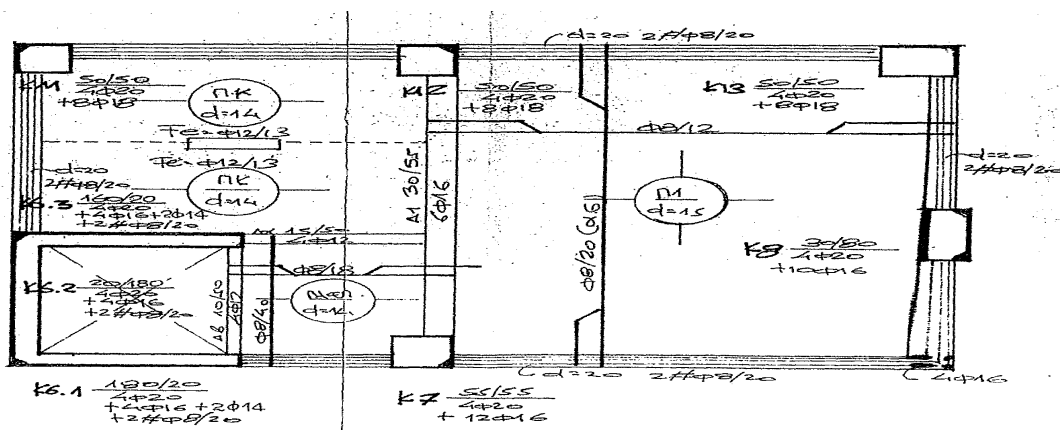
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο φορέας που χρησιμοποιήθηκε για την εργασία είναι μια 5-όροφη πολυκατοικία με πιλοτή και υπόγειο η οποία κατασκευάστηκε στην περιοχή του Γαλασίου στην Αθήνα το 1991 σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς.

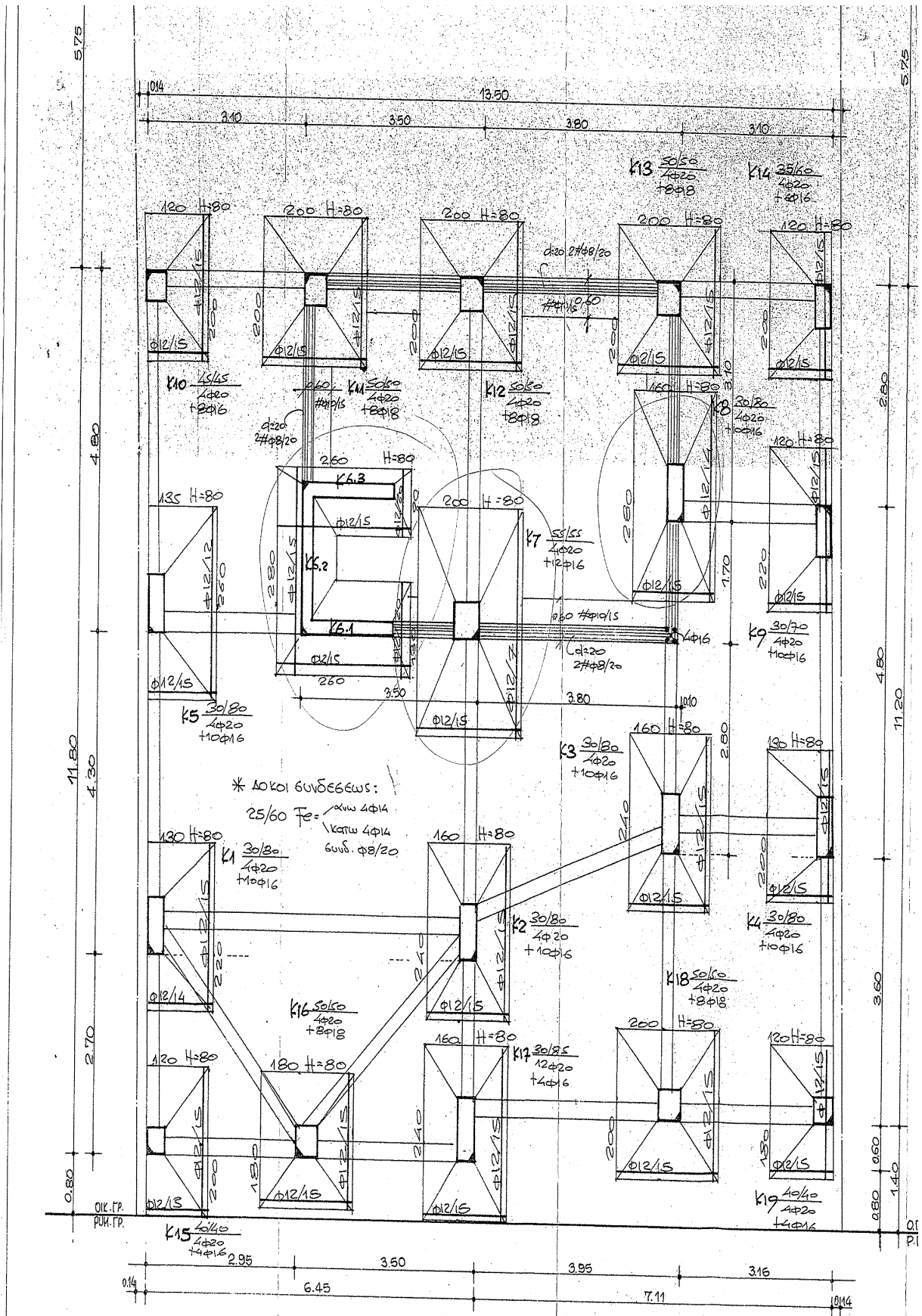
Στοιχεία Μελέτης:

- *Καθαρό ύψος ορόφου 2.75 m
- *Καθαρό ύψος πιλοτής 2.80 m
- *Ποιότητα Σκυροδέματος B225
- *Ποιότητα Χάλυβα StIII για κύριο οπλισμό και StI για συνδετήρες
- *Μόνιμα Φορτία Πλάκας 2 kN/m²
- *Κινητά Φορτία Πλάκας 2 kN/m² εκτός από τους προβόλους που έχουμε 5 kN/m²
- *Εδαφική επιτάχυνση 0.16g

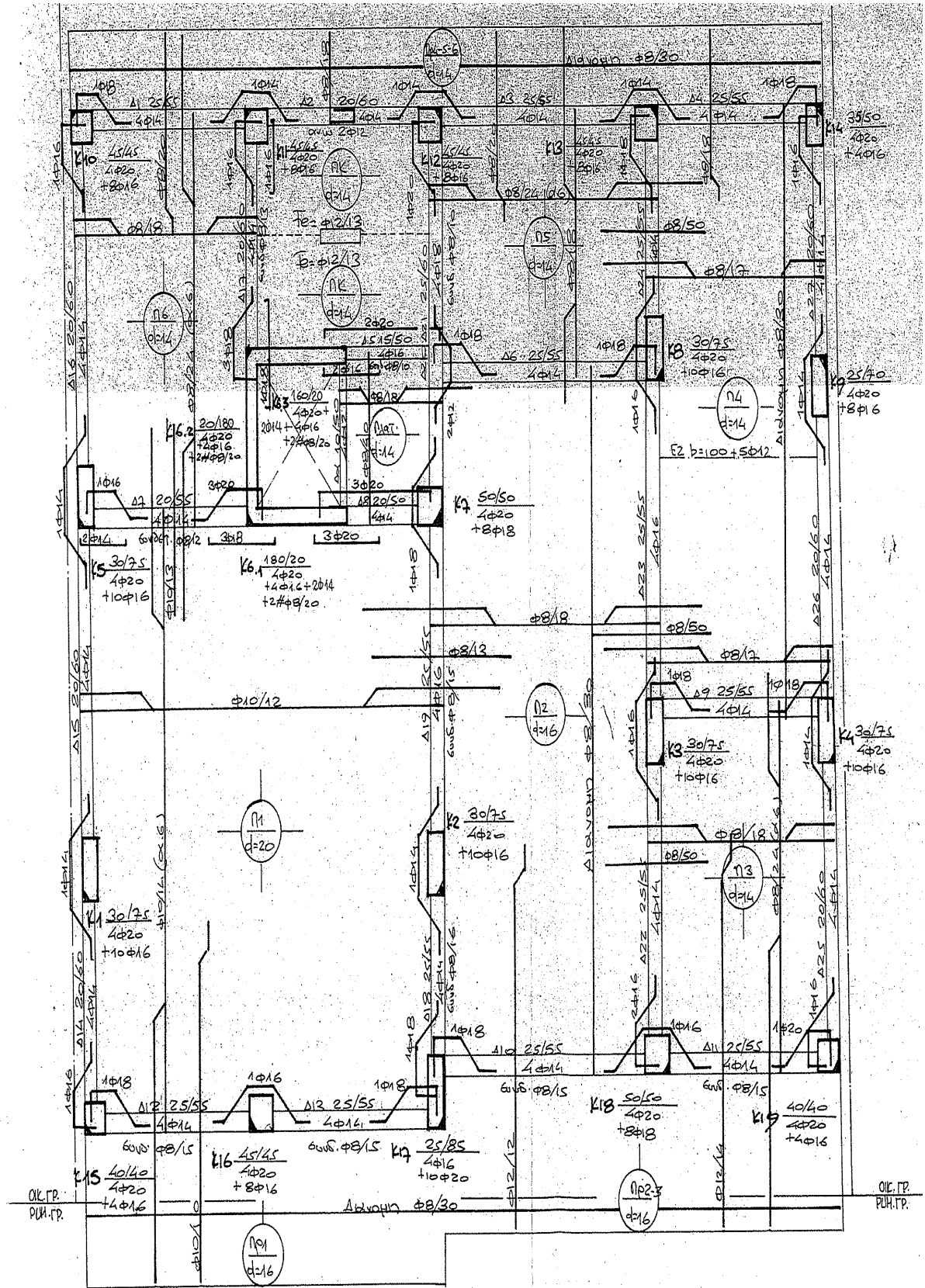
Στην συνέχεια παραθέτονται τα σχέδια με τις διαστάσεις και τους οπλισμούς των μελών:



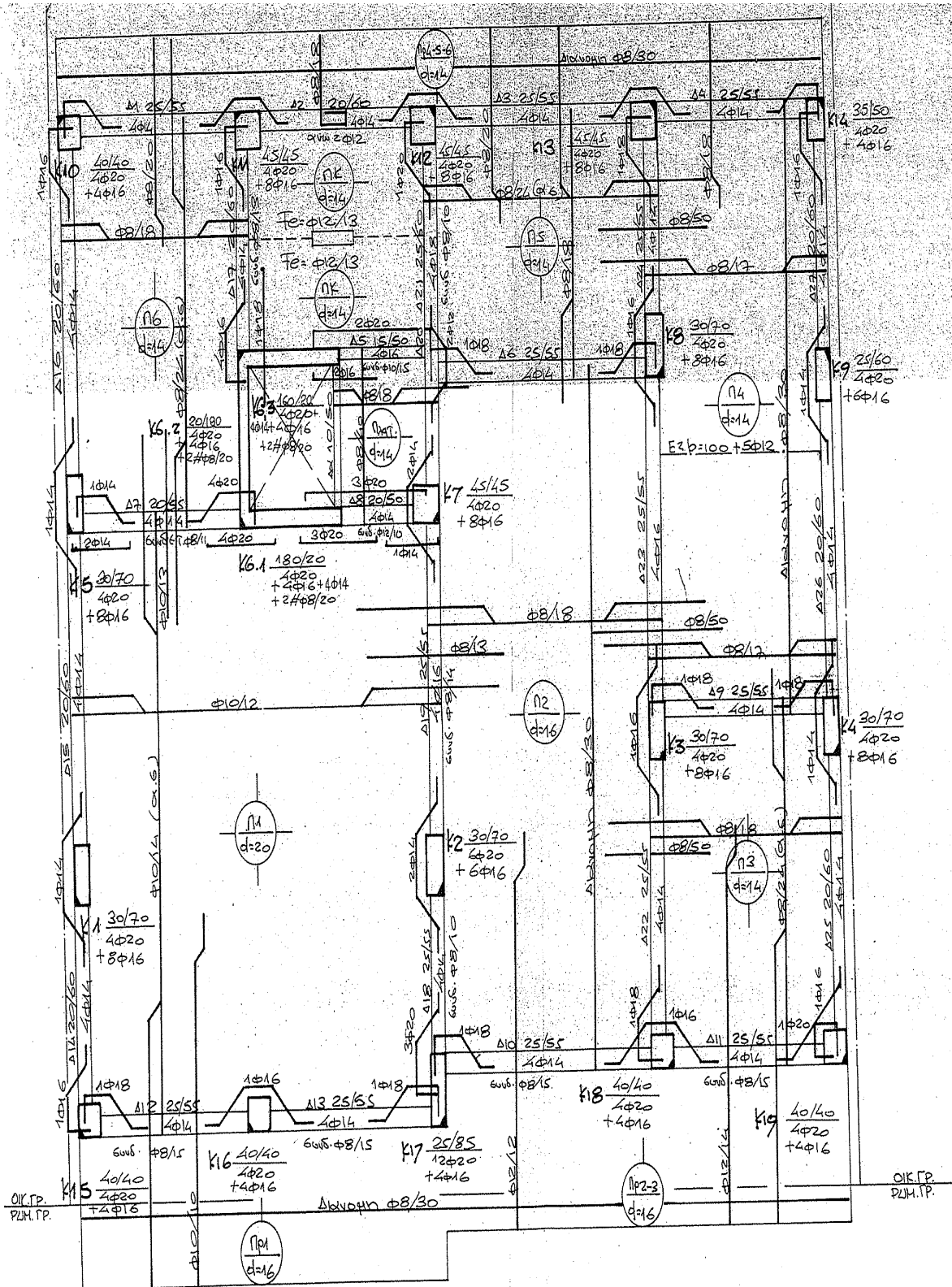
Σχήμα 1: Ευλότυπος οροφής υπογείου[4]



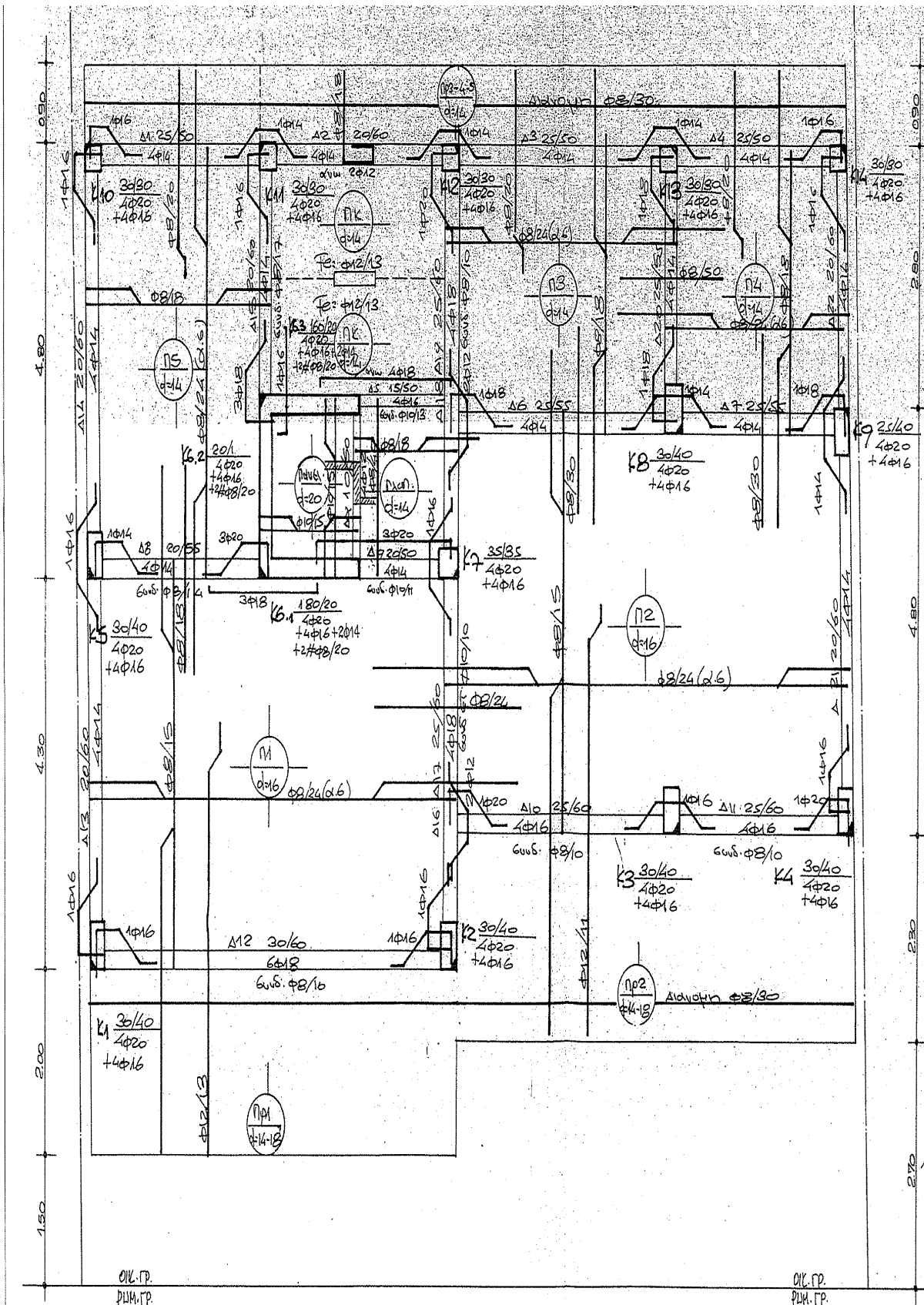
Σχήμα 2 :Κάτοψη Πεδίων[4]



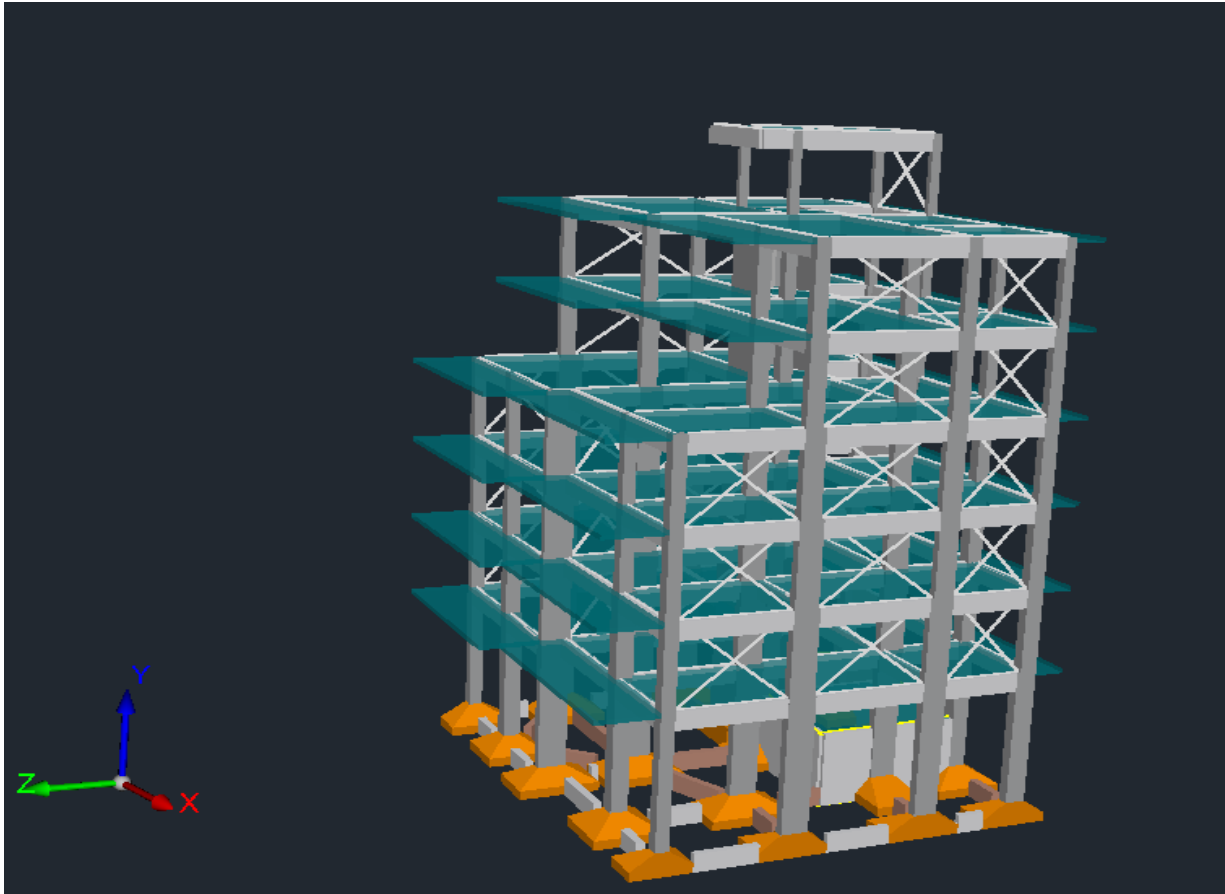
Σχήμα 3 :Ευλότυπος οροφής Α ορόφου[4]



Σχήμα 4: Ξυλότυπος οροφής Β ορόφου[4]



Σχημα 6: Ξυλότυπος Οροφής Δ και Ε ορόφου[4]



Σχήμα 7: Τρισδιάστατη απεικόνιση φορέα[2]

2.1 ΠΡΟΕΛΕΓΧΟΣ STATIC

Οι δύο τύποι σεναρίων ανάλυσης “Προέλεγχος Static” και “Προέλεγχος dynamic” αποτελούν δύο προκαταρκτικές ελαστικές αναλύσεις προκειμένου να εξετασθεί αν πληρούνται τα κριτήρια που θέτει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. για το αν επιτρέπεται να εφαρμοστεί ελαστική (στατική ή δυναμική) ανάλυση για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό της κατασκευής. Συγκεκριμένα υπολογίζονται, μεταξύ των άλλων, και οι δείκτες ανεπάρκειας “λ” οι οποίοι δίνουν και μια πρώτη εικόνα της αντίστασης του κτιρίου σε σεισμό (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.5.1.1). Εξετάζεται επίσης η μορφολογική κανονικότητα του κτιρίου (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.5.1.2).

Σύμφωνα με τον προέλεγχο:

*Με βάση τον έλεγχο διαφοράς μαζών και ακαμψιών σε κάθε στάθμη του κτιρίου προκύπτει ότι ο έλεγχος κριτηρίων κανονικότητας ικανοποιείται.

*Με βάση τη σεισμική τέμνουσα τοιχωμάτων καθορίστηκε το σύστημα του κτιρίου σε πλαίσιακό στους άξονες x και z .

*Οι έλεγχοι σχετικής μετακίνησης μεταξύ ορόφων και κόμβων αφορούν στα κριτήρια (iii) και (iv) της ενότητας (α) της § 5.5.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Ο πρώτος έλεγχος αφορά τη σχετική μετακίνηση μεταξύ των ορόφων (υπερκεείμενου και υποκειείμενου) και ο έλεγχος κόμβων αφορά τη μετακίνηση του κάθε κόμβου του ορόφου, σε σχέση με τη μέση μετακίνηση του ορόφου στον οποίο ανήκει. Και οι δύο αυτοί έλεγχοι γίνονται ανά κατεύθυνση. Οι παραπάνω έλεγχοι δεν ικανοποιούνται σε καμία διεύθυνση

*Ο έλεγχος των ιδιοπεριόδων αφορά στο κριτήριο (ii) της ενότητας (α) της § 5.5.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Ο έλεγχος ικανοποιείται.

*Οι έλεγχοι των δεικτών ανεπάρκειας και της μορφολογικής κανονικότητας αφορούν στο κριτήριο (i) της ενότητας (α) της § 5.5.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Ο έλεγχος του δείκτη λ γίνεται ανά στάθμη ξεχωριστά για δοκούς και στύλους και αναγράφεται, σε κάθε στάθμη, ο αριθμός των δοκών που είναι πάνω ή κάτω από 2.5 και το ποσοστό επί του συνόλου των δοκών ή των στύλων του κτιρίου αντίστοιχα. Τα κάτω σύνολα είναι τα αθροίσματα ανά δομικό στοιχείο και συνολικά.

α/α	υψόμετρο	Δοκοί $\lambda < 2.5$	%	$\lambda > 2.5$	%	Υπο/τα $\lambda < 2.5$	%	$\lambda > 2.5$	%	Σύνολο $\lambda < 2.5$	%	$\lambda > 2.5$	%
0	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2.500	3	2	0	0	2	2	13	11	5	2	13	4
2	5.200	22	13	6	4	15	12	4	3	37	13	10	3
3	7.950	20	12	8	5	19	15	0	0	39	13	8	3
4	10.700	22	13	6	4	18	15	1	1	40	14	7	2
5	13.450	24	14	4	2	18	15	1	1	42	14	5	2
6	16.200	18	11	5	3	14	11	0	0	32	11	5	2
7	18.950	21	12	2	1	14	11	0	0	35	12	2	1
Συν.		130	76	31	18	100	81	19	15	230	78	50	17

Πίνακας 1: Δείκτες Ανεπάρκειας λ για τον προέλεγχο

Συμπέρασμα: Ανεξαρτήτως της ισχύος των παραπάνω συνθηκών, αλλά υπό την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχουν ουσιώδεις βλάβες, επιτρέπεται για τους σκοπούς **μόνον** της αποτίμησης η εφαρμογή της **στατικής ελαστικής μεθόδου**. Στην περίπτωση αυτή οι συντελεστές ασφαλείας προσομοιώματος γ_{Sd} που προβλέπονται στην §4.5.1 αυξάνονται κατά 0,15.

2.2 Στάθμες Επιτελεστικότητας[2]

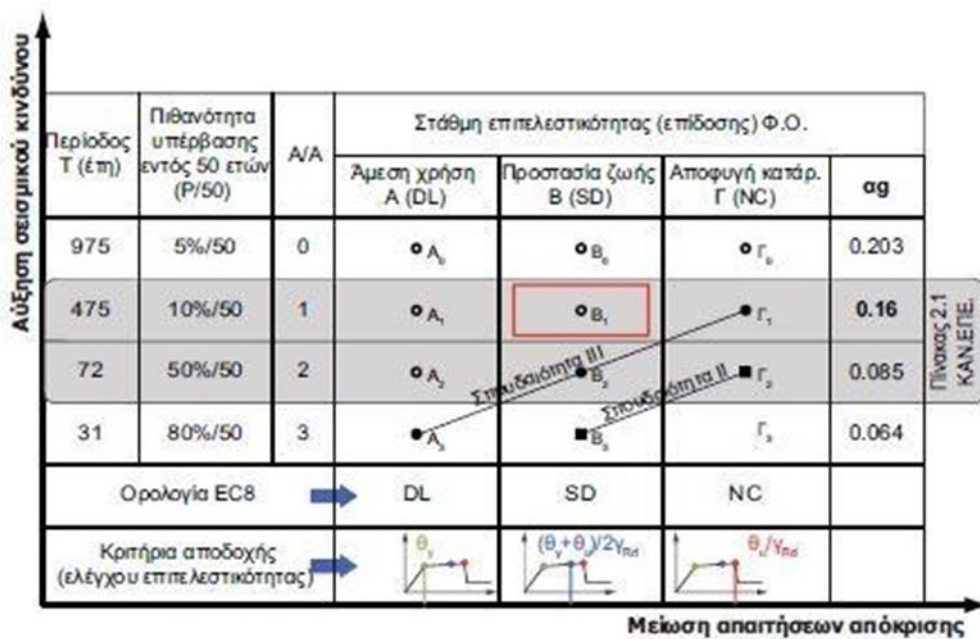
Ως στάθμες επιτελεστικότητας ορίζεται η ελάχιστη στάθμη αντοχής δηλαδή το αποδεκτό επίπεδο βλαβών που θα πρέπει να έχει η κατασκευή. Ο καθορισμός του στόχου σχεδιασμού εξαρτάται από τον επιθυμητό συνδυασμό ασφάλειας και κόστους, λαμβάνοντας υπόψη και τη σπουδαιότητα της κατασκευής. Η κάθε στάθμη επιτελεστικότητας ορίζεται με βάση την οριακή γωνία στροφής χορδής ως εξής:

* **Στάθμη περιορισμού βλαβών (Damage limitation-DL):** Η οριακή κατάσταση περιορισμού βλαβών ή αλλιώς Στάθμη Επιτελεστικότητας Α (άμεση χρήση μετά το σεισμό), εισάγει το κριτήριο ο φορέας να έχει υποστεί μόνο ελαφριές βλάβες, με τα δομικά στοιχεία να μην έχουν περάσει τη διαρροή και να διατηρούν την αντοχή και τη δυσκαμψία τους. Η απαίτηση σε όρους γωνίας στροφής χορδής για τα κύρια και δευτερεύοντα είναι $\theta < \theta_y$.

* **Στάθμη σημαντικών βλαβών (Severe Damage-SD):** Κατά την οριακή κατάσταση σημαντικών βλαβών ή Στάθμη Επιτελεστικότητας Β (Προστασία ζωής), τα φέροντα στοιχεία επιτρέπεται να φέρουν σημαντικές ανελαστικές παραμορφώσεις. Τα πρωτεύοντα μέλη εξασφαλίζεται ότι διαθέτουν αρκετό περιθώριο ασφαλείας έναντι εξάντλησης της διαθέσιμης παραμόρφωσης αστοχίας θ_u . Το κριτήριο συμμόρφωσης σε όρους γωνίας στροφής χορδής εκφράζεται ως εξής: $\theta < (\theta_y + \theta_u) / 2 * \gamma_{RD}$ για πρωτεύοντα μέλη ενώ για δευτερεύοντα μέλη $\theta < (\theta_y + \theta_u) / 2$.

* **Στάθμη Οιονεί Κατάρρευσης (Near Collapse-NC):** Στην οριακή κατάσταση Οιονεί Κατάρρευση ή Στάθμη Επιτελεστικότητας Γ (Αποφυγή οιονεί κατάρρευσης) για τα φέροντα στοιχεία εξασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρξει υπέρβαση της διαθέσιμης παραμόρφωσης αστοχίας. Το κριτήριο συμμόρφωσης σε όρους γωνίας στροφής χορδής εκφράζεται ως εξής: $\theta = \theta_u / \gamma_{RD}$ για πρωτεύοντα μέλη και $\theta = \theta_u$ για δευτερεύοντα μέλη.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά οι προαναφερθείσες στάθμες επιτελεστικότητας όπως αναφέρονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Σε κόκκινο πλαίσιο ορίζεται ο βασικός στόχος σχεδιασμού και αποτίμησης στον οποίο βασίζονται οι διατάξεις του EC8. Ο στόχος αυτός είναι η προστασία ζωής των ενοίκων σε ένα σεισμικό γεγονός που έχει περίοδο επανάλιψης 10% στα 50 χρόνια. Επίσης μια υφιστάμενη κατασκευή, ανάλογα με τη σπουδαιότητά της παρουσιάζει διαφορετικούς στόχους αποτίμησης για διάφορες στάθμες επιτελεστικότητας.



Σχήμα 8: Στάθμες Επιτελεστικότητας[2]

2.3 Ελαστική Στατική Ανάλυση

Η ελαστική στατική ανάλυση για την αποτίμηση ή και τον ανασυνδυασμό μπορεί να γίνει με δύο μεθόδους. Με την μέθοδο του ενιαίου δείκτη συμπεριφοράς q και με τοπικούς δείκτες m . Ενιαίος Δείκτης Συμπεριφοράς q

Ανάλογα με την στάθμη επιτελεστικότητας για την αποτίμηση ή και τον ανασχεδιασμό του φέροντος οργανισμού του κτιρίου, λαμβάνονται υπόψη οι διαφοροποιημένες τιμές q^* που δίνονται τον παρακάτω πίνακα με τιμή αναφοράς q' την τιμή που ισχύει για στάθμη επιτελεστικότητα B (Σημαντικές Βλάβες) η οποία αντιστοιχεί στις προβλέψεις και διατάξεις του EC8-1, όπως αυτές ισχύουν για τον σχεδιασμό νέων κτιρίων.

Πίνακας 4.1: Τιμές του λόγου q^*/q' αναλόγως του στόχου επανελέγχου[1]

Περιορισμένες βλάβες A	Σημαντικές βλάβες B	Οιονεί Κατάρρευση Γ
0.6	1.0	1.4
Πάντως δε $1.0 < q^* < 1.5$		

Ο υπολογισμός του q' εξαρτάται από:

- Ευμενή ή Δυσμενή παρουσία τοιχοπληρώσεων
- Την παρουσία ή μη ουσιοδών βλαβών σε πρωτεύοντα στοιχεία
- Τους εφαρμοσθέντες κανονισμούς μελέτης και κατασκευής

Παράμετροι Ελαστικής Στατικής Ανάλυσης για Β στάθμη επιτελεστικότητας (q-B):

- *Συντελεστής Συμπεριφοράς $q_x=q_y=q_z=2.3$
- *Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων: Ικανοποιητική
- *Εκταση βλαβών: χωρίς ουσιώδης βλάβες
- *Συντελεστής Επαύξεσης $\gamma_{sd}=0.15$ (γιατί δεν ικανοποιούνται τα κριτήρια του προελέγχου)
- *Τιμή του δείκτη συμπεριφοράς q' :
 - 1)εφαρμοσθείς κανονισμός μετά το 1985 και πριν το 1995
 - 2)ευμενής παρουσία τοιχοπλοιώσεων
 - 3)χωρίς ουσιώδεις βλάβες σε πρωτεύοντα στοιχεία
- *Χρησιμοποιήθηκαν ερήμην τιμές για τις αντοχές των υλικών με Σ.Α.Δ. ικανοποιητική για τον χάλυβα και ανεκτή για το σκυρόδεμα σελ. 4-14 παρ. 4.5.3.1 όπου $\gamma_c=1.50$, $\gamma_s=1.15$

StIII κύριος οπλισμός με $f_{ym}=450$ MPa -> $f_{yk}=f_{ym-s}=410$ MPa

StI συνδετήρες με $f_{ym}=280$ MPa -> $f_{yk}=f_{ym-s}=240$ MPa

B225 με $f_{cm}=16$ MPa -> $f_{ck}=f_{ck-s}=12$ MPa

Τιμές Αντοχών για τον έλεγχο σε όρους δυνάμεων:

$F_{yd}=356$ MPa (κύριος οπλισμός)

$F_{yd}=209$ MPa (συνδετήρες)

$F_{cd}=8$ MPa

α/α	υψόμετρο	Δοκοί $\lambda < 1.0$	%	$\lambda > 1.0$	%	Υπο/τα $\lambda < 1.0$	%	$\lambda > 1.0$	%	Σύνολο $\lambda < 1.0$	%	$\lambda > 1.0$	%
0	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2.500	3	2	0	0	5	4	10	8	8	3	10	3
2	5.200	7	4	21	12	16	13	3	2	23	8	24	8
3	7.950	4	2	24	14	18	15	1	1	22	8	25	9
4	10.700	4	2	24	14	18	15	1	1	22	8	25	9
5	13.450	17	10	11	6	18	15	1	1	35	12	12	4
6	16.200	13	8	10	6	14	11	0	0	27	9	10	3
7	18.950	19	11	4	2	12	10	2	2	31	11	6	2
Συν.		67	39	94	55	101	82	18	15	168	57	112	38

Πίνακας 2: Δείκτες Ανεπάρκειας λ για την ελαστική στατική ανάλυση

Σχόλιο:

Παρατηρούμε ότι οι λόγοι ανεπάρκειας μεγαλύτεροι του 1.0 αγγίζουν το 38% του συνόλου των στοιχείων της κατασκευής!! Σε κάμψη για τις δοκούς οι λόγοι ανεπάρκειας ήταν φυσιολογικοί 0-3 και σε τέμνουσα παρομοίως εκτός ορισμένα στοιχεία που άγγιζαν το 8-9 . Τα υποστυλώματα παρουσίασαν φυσιολογικούς λόγους ανεπάρκειας σε κάμψη 0-3 , το ίδιο και σε διάτμηση εκτός από το τοιχείο του ανασαέρ που ήταν 90 στην βάση και απομειωνόταν ως 40 στην κορυφή!!

2.3 Ελαστική Δυναμική Ανάλυση

Ξεκινάμε κάνοντας μία πρώτη ελαστική δυναμική ανάλυση με τις παραμέτρους να είναι ως εξής :

Παράμετροι Ελαστικής Δυναμικής Ανάλυσης για Β στάθμη επιτελεστικότητας (q-B):

Συντελεστής Συμπεριφοράς $q_x=q_y=q_z=2.3$

*Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων: Ικανοποιητική

*Εκταση βλαβών:χωρίς ουσιώδης βλάβες

*Συντελεστής Επαύξεσης $\gamma_{sd}=0.15$ (γιατί δεν ικανοποιούνται τα κριτήρια του προελέγχου)

*Τιμή του δείκτη συμπεριφοράς q' :

1)εφαρμοσθείς κανονισμός μετά το 1985 και πριν το 1995

2)ευμενής παρουσία τοιχοπλοιρώσεων

3)χωρίς ουσιώδεις βλάβες σε πρωτεύοντα στοιχεία

*Χωρίς επαύξηση 25% των συντελεστών (q) , (m) παρ. 5.7.2

*Χρησιμοποιήθηκαν ερήμην τιμές για τις αντοχές των υλικών με Σ.Α.Δ. ικανοποιητική για τον χάλυβα και ανεκτή για το σκυρόδεμα σελ. 4-14 παρ. 4.5.3.1 όπου $\gamma_c= 1.50$, $\gamma_s = 1.15$

StIII κύριος οπλισμός με $f_{ym}=450$ MPa -> $f_{yk}= f_{ym-s}=410$ MPa

StI συνδετήρες με $f_{ym}=280$ MPa -> $f_{yk}= f_{ym-s}=240$ MPa

B225 με $f_{cm}=16$ MPa -> $f_{ck}= f_{ck} -s= 12$ MPa

Τιμές Αντοχών για τον έλεγχο σε όρους δυνάμεων:

$F_{yd}=356$ MPa (κύριος οπλισμός)

$F_{yd}=209$ MPa (συνδετήρες)

$F_{cd}=8$ MPa

Επιρροή Ανώτερων Ιδιομορφών

Για τον έλεγχο της επιρροής των ιδιομορφών εξετάζεται ο λόγος V_{all}/V_1 ο οποίος πρέπει να είναι μικρότερος του 1.3 . Η παράμετρος V_{all} αναφέρεται στην τέμνουσα που υπολογίζεται από την ανάλυση στην οποία συμμετέχει το 90% των ιδιομορφών, ενώ η παράμετρος V_1 αναφέρεται στην τέμνουσα που υπολογίζεται από την ανάλυση στην οποία συμμετέχει η 1^η μόνο ιδιομορφή.

Σχόλιο:που υπολογίζεται Σε όλες τις στάθμες ο λόγος ατός ικανοποιείται εκτός από τις 7 και 8 με λόγους 1.32 και 1.43 αντίστοιχα στην z διεύθυνση. Συνεπώς χρειάζεται επαύξηση 25% στα (m),(q) .

α/α	X(%)	Y(%)	Z(%)
1	69.22	0.01	4.17
2	7.71	0.02	18.97
3	0.29	0.05	55.56
4	1.88	0.00	0.00
5	4.21	0.00	1.73
6	0.37	0.00	4.68
7	9.20	0.02	0.42
8	0.01	0.05	8.52
9	0.49	0.00	0.97

10	0.91	0.01	0.12
ΣΥΝΟΛΟ	94.28	0.17	95.14

Πίνακας 3: Δρώσεις ιδιομορφικές μάζες

Συνεχίζουμε κάνοντας μια 2^η δυναμική ανάλυση με επαύξηση 25% στα (m),(q) . Η τιμή του q λόγω επαύξησης είναι $q_x=q_y=q_z= 2.875$

Παρουσιάζουμε τους λόγους ανεπάρκειας των δομικών στοιχείων:

α/α	υψόμετρο	Δοκοί $\lambda < 1.0$	%	$\lambda > 1.0$	%	Υπο/τα $\lambda < 1.0$	%	$\lambda > 1.0$	%	Σύνολο $\lambda < 1.0$	%	$\lambda > 1.0$	%
0	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2.500	3	2	0	0	6	5	9	7	9	3	9	3
2	5.200	13	8	15	9	19	15	0	0	32	11	15	5
3	7.950	14	8	14	8	19	15	0	0	33	11	14	5
4	10.700	17	10	11	6	19	15	0	0	36	12	11	4
5	13.450	22	13	6	4	19	15	0	0	41	14	6	2
6	16.200	15	9	8	5	14	11	0	0	29	10	8	3
7	18.950	19	11	4	2	12	10	2	2	31	11	6	2
Συν.		103	61	58	34	108	88	11	9	211	72	69	24

Πίνακας 4 : Δείκτες Ανεπάρκειας λ 2^{ης} Δυναμικής Ανάλυσης

Σχόλια: Σχετικά με τον έλεγχο κάμψης σε όρους δυνάμεων παρουσιάζονται φυσιολογικοί λόγοι ανεπάρκειας οι οποίοι κυμαίνονται μεταξύ 0-2 τόσο για δοκούς όσο και για υποστύλωματα.

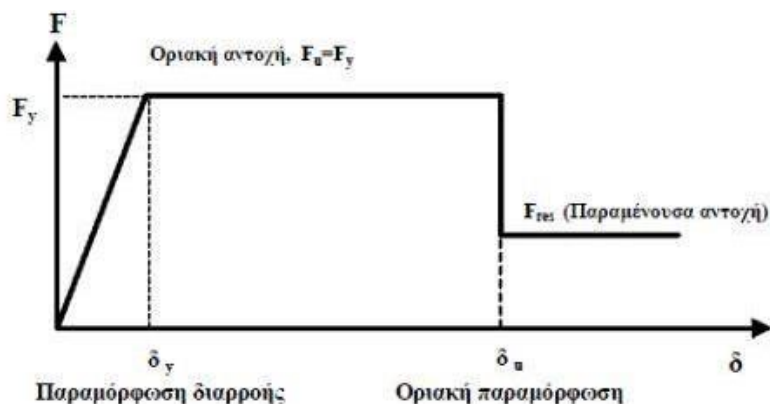
Στον έλεγχο τεμνουσών για δοκούς οι λόγοι ανεπάρκειας κυμαίνονται πάλι μεταξύ 0-3 εκτός από μια δοκό που παρουσιάζει λόγο ανεπάρκειας $V_{Ed}/V_{Rdmax} = 9.13$ και $V_{Ed}/V_{Rd} = 4.83$. (Μέλος 524)

Στον έλεγχο τεμνουσών για τα υποστύλωματα παρουσιάζονται φυσιολογικοί λόγοι ανεπάρκειας που κυμαίνονται από 0-3 με εξαίρεση το τοιχείο του ανελκυστήρα το οποίο βγάζει τεράστιους λόγους ανεπάρκειας που κυμαίνονται από 80 ως 40 καθ' ύψος λόγω την γενικότερης έλλειψης τοιχωμάτων στην κατασκευή!

2.4 Ανελαστική Στατική Ανάλυση (Pushover)

Η μη-γραμμική ανάλυση, γνωστή και ως pushover, έχει αποδειχθεί ότι είναι η πλέον κατάλληλη μέθοδος για την ανάλυση υφιστάμενων κατασκευών με σεισμική απαίτησή τους. Κατά την εφαρμογή της επιβάλλεται στην κατασκευή μια σταδιακά αυξανόμενη οριζόντια δύναμη και προκύπτουν οι σεισμικές παραμορφώσεις. Σταδιακά σχηματίζονται πλαστικές αρθρώσεις κατά μήκος των μελών που έχουν αποτέλεσμα τη μείωση της δυσκαμψίας τους. Όταν οι πλαστικές αρθρώσεις στα κύρια μέλη είναι τέτοιες που η κατασκευή δεν μπορεί να παραλάβει τις δυνάμεις τότε έρχεται η αστοχία του κτηρίου(κατάρρευση). Κεντρικός στόχος της μη γραμμικής μεθόδου είναι η χάραξη της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής και ο προσδιορισμός του λόγου $au/a1$. Αυτή αναπαριστά της οριζόντια μετακίνηση της κορυφής του δομήματος (κόμβος ελέγχου), ως συνάρτηση του μεγέθους της δύναμης που εφαρμόζεται στην κατασκευή αυτή. Για λόγους συντομίας και κατανόησης δεν επιλέχθηκε τυχηματική εκκεντρότητα, ο συντελεστής συνδυασμού εγκάρσιας φόρτισης είναι μηδέν, δηλαδή έγιναν 8 αναλύσεις συνολικά.

Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. η προσομοίωση της καμπύλης F-δ γίνεται μέσω ενός πολυγραμμικού διαγράμματος όπου η F εκφράζεται σε όρους ροπής και η δ σε όρους στρωφής χορδής.



Σχήμα 9: Θεωρητικές καμπύλες εντατικού μεγέθους-παραμόρφωσης[2]

Στοχευόμενη Μετακίνηση

Ο υπολογισμός της στοχευόμενης μετακίνησης (δ_t) κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. υπολογίζεται με βάση το φάσμα μετακινήσεων. Ο τύπος είναι $\delta_t = C_0 * C_1 * C_2 * C_3 * (T_e^2 / 4\pi^2) * S_e(T)$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.7.4.2), όπου C_0, C_1, C_2, C_3 διορθωτικοί συντελεστές και $S_e(T)$ ελαστική φασματική ψευδοεπιτάχυνση.

Επίσης, σύμφωνα με τον (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §8.2.3) για τον υπολογισμό του καθολικού δείκτη συμπεριφοράς ισχύει:

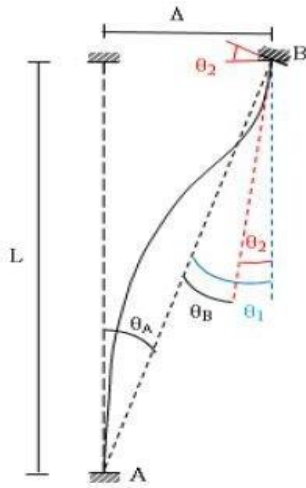
$$q_{\pi} = 1 + T/T_c(\mu_{\delta} - 1) \text{ για}$$

$$T < T_c \quad q_{\pi} = \mu_{\delta} \quad \text{για}$$

$$T > T_c$$

ο συντελεστής υπεραντοχής $q_u = V_u/V_y$.

Για την περίπτωση της κάμψης ως λόγος επάρκειας λ για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας ορίζεται ο λόγος της γωνίας στρωφής χορδής προς την αντίστοιχη τιμή που ορίζει η κάθε στάθμη, ενώ για την περίπτωση της διάτμησης ως λόγος επάρκειας λ ορίζεται ο λόγος της τέμνουσας του μέλους που αντιστοιχεί στη στοχευόμενη μετακίνηση προς τη διατμητική αντοχή του μέλους.



Σχήμα 10: Γωνίες στροφής χορδής σε κάθε κόμβο υποστυλώματος [2]

Παράμετροι Ανελαστικής Στατικής Ανάλυσης :

*Χρησιμοποιήθηκαν όλοι οι δυνατοί σεισμικοί συνδυασμοί και στις δυο διευθύνσεις

*Χρησιμοποιήθηκαν ερήμην τιμές για τις αντοχές των υλικών με Σ.Α.Δ. ικανοποιητική σελ. 4-14 παρ. 4.5.3.1 όπου $\gamma_c = 1.30$, $\gamma_s = 1.15$

StIII κύριος οπλισμός με $f_{ym} = 450 \text{ MPa}$ -> $f_{yk} = f_{ym-s} = 410 \text{ MPa}$

StI συνδετήρες με $f_{ym} = 280 \text{ MPa}$ -> $f_{yk} = f_{ym-s} = 240 \text{ MPa}$

B225 με $f_{cm} = 16 \text{ MPa}$ -> $f_{ck} = f_{ck-s} = 12 \text{ MPa}$

Τιμές Αντοχών για τον έλεγχο σε όρους παραμορφώσεων:

$F_{yd} = 391 \text{ MPa}$ (κύριος οπλισμός)

$F_{yd} = 243 \text{ MPa}$ (συνδετήρες)

$F_{cd} = 12.3 \text{ MPa}$

*Κόμβος Ελέγχου: 185 που είναι ο κόμβος του Κέντρου Μάζας του τελευταίου πλήρους διαφράγματος (Στάθμη 7).

*Οι κατανομές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τριγωνική και ορθογωνική όπως προβλέπει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ.

*Μέγιστη μετακίνηση για τερματισμό των αναλύσεων $= 3\% H_{\text{κτιρίου}}$

*Υπολογισμός σταθερής τιμής του μήκους διάτμησης l_s

*Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων: Υψηλή καθώς αναφέρεται στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των διατομών

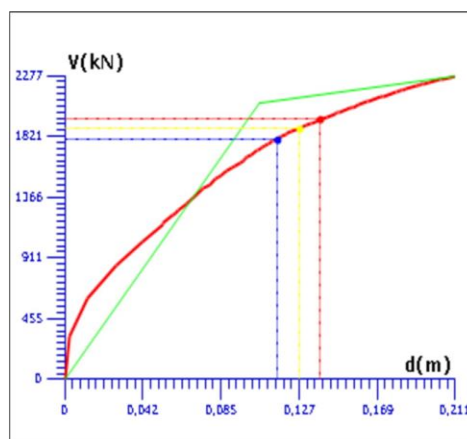
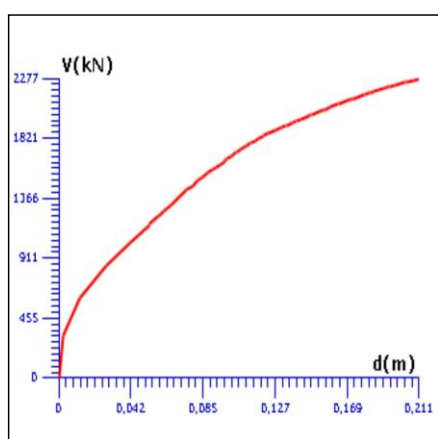
* Ενεργές Τοιχοπληρώσεις

*Υπολογισμός Ενεργού Δυσκαμψίας : Σε κάθε βήμα

Αποτελέσματα Ανελαστικής Ανάλυσης

Παρατηρούμε ότι για ορθογωνική κατανομή για το συνδυασμό $F_x+0.3F_z$ παρουσιάζονται οι περισσότερες πλαστικές αρθρώσεις για στάθμη επιτελεστικότητας B (6 Δοκοί, 0 Υπο/τα). Το περισσότερο καταπονούμενο στοιχείο σε διάτμηση για αυτό τον συνδυασμό είναι το τοιχείο του ανεγκυστήρα στην βάση της κατασκευής με λόγο ανεπάρκειας $V_{Ed}/V_{rd} = 3.27$. Έγινε παρατήρηση της 1^{ης} πλαστικής άρθρωσης στο βήμα 6 της ανελαστικής ανάλυσης για τέμνουσα και μετατόπιση 1170.22 kN και 0.055 m αντίστοιχα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα που εξαγονται από την ανελαστική για το συνδυασμο φορτισης $F_x+0.3F_z$



Σχήμα 11: Καμπύλη αντιστάσης της κατασκευής[2]

Σχήμα 12: Διγραμμοποιημένη καμπύλη-Στοχευόμενη μετακίνηση[2]

Δοκοί	$\gamma_{sd} \cdot \theta_{sd} / (\theta_{pl} / \gamma_{rd})$
Μέλος 123	5.749
Μέλος 127	3.782
Μέλος 128	4.135
Μέλος 168	3.921
Μέλος 172	2.744
Μέλος 213	2.287

Σχήμα 13: Λόγοι ανεπάρκειας σε όρους παραμορφώσεων

Υπ/τα	Ved(Kn)	Vrd(Kn)	λ
102	248.59	75.95	3.27
147	145.71	74.73	1.95
192	102.58	76.13	1.34
237	117.29	73.18	1.6
282	81.24	71.69	1.13

Σχήμα14:λόγοι ανεπάρκειας σε όρους δυνάμεων

Συγκρίνοντας τις ελαστικές μεθόδους με την ανελαστική ανάλυση βλέπουμε μεγάλη απόκλιση των αποτελεσμάτων.

Πρέπει εν τέλει να θεωρούνται αξιόπιστες οι ελαστικές μέθοδοι για την αποτίμηση???

3. Ενισχύσεις

Σκοπός της εργασίας είναι η ενίσχυση της κατασκευής ως σύνολο αλλά και σε επίπεδο στοιχείων. Για τις ενισχύσεις θα εφαρμοστούν πρόσθετα τοιχώματα , μεταλλικοί σύνδεσμοι δυσκαμψίας, ενώ όσον αναφορά τα μεμονωμένα μέλη θα εφαρμοστούν ενισχύσεις με χρήση μανδύων!!

Στόχος → καμία καμπτική αστοχία (πλαστικές αρθρώσεις=0)
→ $Ved/Vrd = 1.0$

Ακολουθήθηκαν 2 στρατηγικές ενίσχυσης μία με ενίσχυση μεμονωμένων στοιχείων και μία με ενίσχυση της κατασκευής στο σύνολο.

Όλες οι ενισχύσεις πραγματοποιήθηκαν με στόχο την στάθμη επιτελεστικότητας B1!

Ενισχύσεις μεμονωμένων στοιχείων

ΧΡΗΣΗ ΜΑΝΔΥΩΝ

Στο τοιχείο του ανελκυστήρα

Σε επιμέρους δοκούς

1ος Στόχος

Καταφέραμε τον μηδενισμό των πλαστικών αρθρώσεων, ενώ δεν έφτασαν την μονάδα οι λόγοι ανεπάρκειας σε διάτμηση.

Υλικά : B500C, C20/25

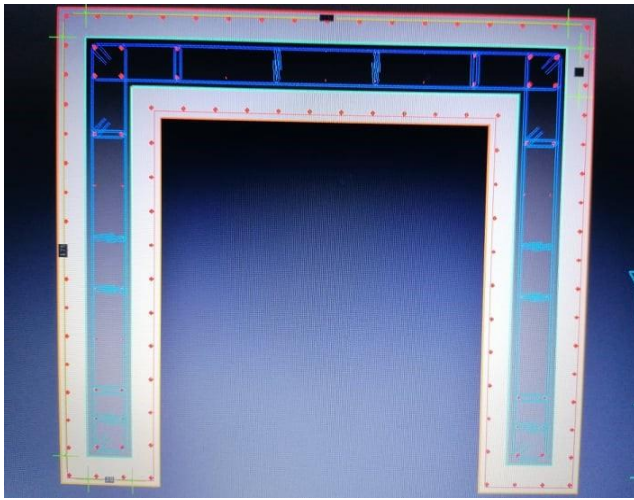
Πάχος Μανδύα : 12 cm

Οπλισμός Μανδύα:

Κύριος Οπλισμός 37 Φ20

Συνδετήρες Φ10/10 cm

Βλήτρα Φ14



Σχημα 15:Τοιχείο ασανσέρ στις πρώτες 2 στάθμες του κτιρίου(βάση και πιλοτή)[2]

Υλικά : B500C, C20/25

Πάχος Μανδύα : 12 cm

Οπλισμός Μανδύα:

Άνω πέλμα

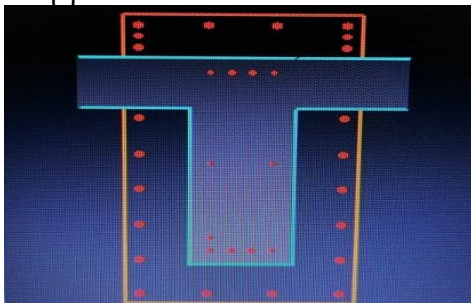
4Φ20 + 2Φ18

Κάτω πέλμα

4Φ20

Συνδετήρες Φ12/10 cm

Βλήτρα Φ16



Σχήμα 16: Κοντή δοκός σε 6 στάθμες[2]

Υλικά : B500C, C20/25

Πάχος Μανδύα : 12 cm

Οπλισμός Μανδύα:

Άνω πέλμα

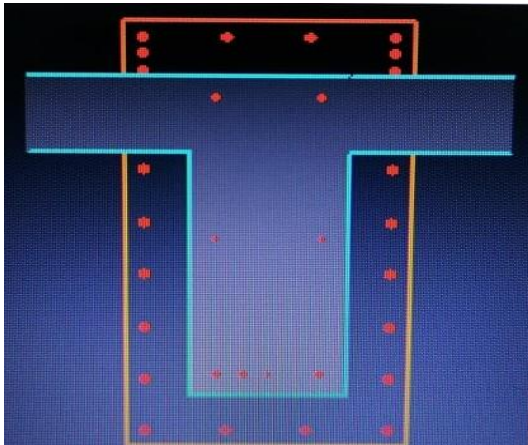
4Φ20 + 2Φ18

Κάτω πέλμα

4Φ20

Συνδετήρες Φ10/10 cm

Βλήτρα Φ16



Σχήμα 17: δοκός στην οροφή πιλοτής και 1^ο ορόφου[2]

Σχολιασμός

$V_{ed}/V_{rd} = 1.0$ στην βάση

=2.2 στην πιλοτή

=1.4 στον 1^ο όροφο

=1.3 στον 2^ο

=1.1 στον 3^ο

=1.0 στον 4^ο

Παρατηρήθηκε ότι με την ενίσχυση μόνο στους 2 πρώτους ορόφους προέκυψε διατμητική αστοχία στον όροφο που σταματήσαμε την ενίσχυση.

Έτσι επιβεβαιώνεται η ανάγκη τοποθέτησης μανδυών από την βάση ως την κορυφή του κτιρίου!!!

2^{ος} Στόχος

$V_{ed}/V_{rd} = 1.0$

επιτεύχθηκε πτώση του λόγου ανεπάρκειας σε τέμνουσα σχεδόν σε όλα τα στοιχεία, εκτός από το τοίχωμα του ασανσέρ σε 2 στάθμες!

Όροφος α/α	Πάχος μανδύα(cm)	Κύριος Οπλισμός
1	12	87 Φ20
2	12	87 Φ20
3	10	72 Φ20
4	10	60 Φ20
5	8	60 Φ20
6	8	54 Φ20
7	-	-

Σχήμα 18: πάχη μανδύα στο τοιχείο του ανασσέρ

Παρατηρήθηκε ότι μία πτώση του πάχους μανδύα καθ' ύψος είναι αποτελεσματικότερη από την χρήση ενιαίου πάχους μανδύα!

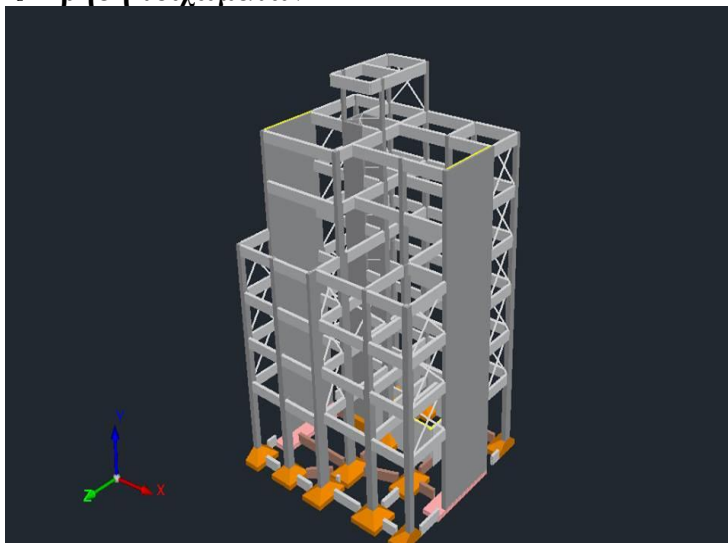
Ωστόσο στο 3^ο και 6^ο όροφο του τοιχείου του ασανσέρ είχαμε $Ved/Vrd = 1.14$ και 1.16 αντίστοιχα!!

Επίσης σχηματίστηκαν 4 πλαστικές αρθρώσεις 2 στις κοντές δοκούς (πυλότης και 1^ο ορόφου) και στην κορυφή και βάση του πυρήνα του ασανσέρ!!

Έτσι αποφασίστηκε η προσπάθεια ενίσχυσης της κατασκευής στο σύνολο!

Ενισχύσεις επί του συνόλου της κατασκευής

→Χρήση τοιχωμάτων



Σχήμα 19: Ενδεικτική απεικόνιση τοιχωμάτων[2]

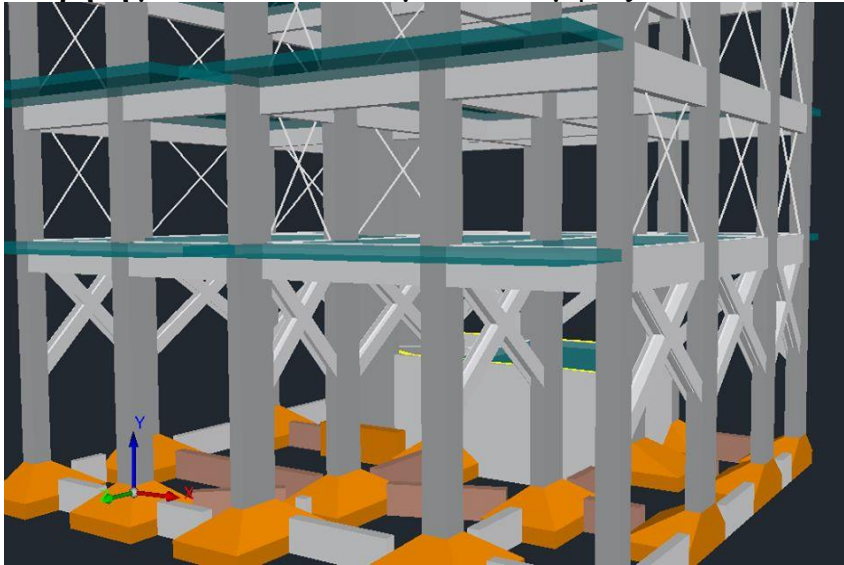
Παρατηρήθηκε αδυναμία τοποθέτησης τους στην x διεύθυνση, όπου έχω και τον ισχυρότερο σεισμό, και αυτό γιατί στην πιλοτή υπάρχουν χώροι στάθμευσης και μπαλκόνια που δεν είναι έφικτο να κλειστούν.

Επίσης δημιουργήθηκαν πολλές πλαστικές αρθρώσεις!

Συμπέρασμα:

Μόνα τους δεν φαίνεται να βελτιώνουν την εικόνα της κατασκευής!

→ Χρήση μεταλλικών συνδέσμων δυσκαμψίας



Σχήμα 20: Ενδεικτική απεικόνιση συνδέσμων δυσκαμψίας[2]

Χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι τύποι μεταλλικών συνδέσμων δυσκαμψίας, HEA 280,300,360,400!

Ωστόσο μόνοι τους δεν έδειξαν αισθητή βελτίωση τόσο σε κάμψη, όσο και σε διάτμηση, με τους HEA 400 να παραλαμβάνουν σαφώς μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης!

Συνδυασμός Στρατηγικών Ενίσχυσης

1η προσπάθεια : Οι μεμονωμένες ενισχύσεις με μανδύες που μας έδωσαν 0 πλαστικές αρθρώσεις συνδυάστηκαν με μεταλλικούς συνδέσμους δυσκαμψίας.

2η προσπάθεια : : Οι μεμονωμένες ενισχύσεις με μανδύες, που μας έδωσαν $V_{ed}/V_{rd}=1.12$ και 4 πλαστικές αρθρώσεις, συνδυάστηκαν με μεταλλικούς συνδέσμους δυσκαμψίας

Καλύτερη από τις δύο φανηκε να ήταν η 2^η καθώς μηδενίσαμε τις πλαστικές αρθρώσεις, με λογο ανεπαρκειας σε όρους δυνάμεων 1.12 , ενώ αντίθετα στη 1^η προσπάθεια δεν είδαμε βελτιωση της καταστασης !!!

Από τις 2 προσπάθειες προέκυψε ότι:

- Οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας **ΔΕΝ** βοήθησαν στην απομείωση της τέμνουσας!
- Βοήθησαν όμως στον **ΜΗΛΕΝΙΣΜΟ** των πλαστικών αρθρώσεων !
- Οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας λειτούργησαν καλύτερα σε συνδυασμό με τους μανδύες απ' ότι μόνοι τους!

4. Βιβλιογραφία

[1]ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2017 2^η Αναθεώρηση

[2]SCADA PRO manuals Μελέτη και Ανασχεδιασμός κτιριου βασει ΚΑΝ.ΕΠΕ.΄

[3]Στέφανος Η. Δρίτσος Ένισχυσεις-Επισκευες Κατασκευών Οπλισμενου Σκυροδέματος,Πανεπιστημιακό Σύγγραμμα΄ Πατρα 2019

[4]Πολεοδομία Βορειου Τομέα Αττικής

