

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑΣ ΙΣΟΓΕΙΑΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΜΕΤΑ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ, ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΚΑΘ' ΥΨΟΣ

ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΣΚΛΑΒΟΥΝΟΣ

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την αποτίμηση υπάρχοντος ισόγειου μετά τμήματος υπογείου, για μελλοντική προσθήκη καθ' ύψος και σύγκριση των αποτελεσμάτων των λόγων επάρκειας, αρχικά για το κτίριο πριν την προσθήκη, με και χωρίς την συμβολή της τοιχοποιίας και κατόπιν περιλαμβάνοντας την προσθήκη (χωρίς την διαστασιολόγηση της) συγκρίνοντας τα αποτελέσματα, με και χωρίς την τοιχοποιία. Κατά τον ανασχεδιασμό με τοιχώματα ακαμψίας επιχειρείται η αναβάθμιση στάθμης επιτελεστικότητας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την παρούσα οικονομική κατάσταση η οποία πλήττει τη Ελλάδα, η νέα οικοδομική δραστηριότητα έχει μειωθεί δραματικά. Ένα μεγάλο ποσοστό υφιστάμενων κτιρίων έχει κατασκευαστεί με τους παλαιούς κανονισμούς (κανονισμός σκυροδέματος 1954, αντισεισμικός κανονισμός 1959) οι οποίοι είχαν μεγάλες ελλείψεις όσον αφορά τη αντισεισμική αντιμετώπιση του φαινομένου.

Η χώρα μας, ως μία εκ των πλέον σεισμογενών στον κόσμο, έχει ανάγκη ενός κανονισμού επεμβάσεων, όπως ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. Η εφαρμογή του είναι νομικά και επιστημονικά επιβεβλημένη τόσο για την αποτίμηση όσο και για τον ανασχεδιασμό και ενίσχυση των κτιρίων. Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ εκδόθηκε το 2010 και αναθεωρήθηκε τον επόμενο χρόνο, είναι δε σε ισχύ από τον Φεβρουάριο του 2012. Είναι γραμμένος σε άρθρα ανά κεφάλαιο δράσης, με σχόλια για την πληρότητα και κατανόηση του.

Η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας γίνεται με τη μέθοδο pushover και χρησιμοποιείται το πρόγραμμα Fespa της LH λογισμικής. Η μέθοδος επίλυσης είναι η δυναμική με μετατόπιση μαζών. Για τη φασματική φόρτιση από τις εννέα (9) βασικές ιδιομορφές επιλέγεται η πρώτη που συνήθως είναι η δυσμενέστερη. Για τη μέθοδο pushover η πρώτη κατανομή φόρτισης είναι η ομοιόμορφη, η δεύτερη η ιδιομορφική και μέθοδος επίλυσης αυτή των μετατοπίσεων.

2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ

Το υφιστάμενο ισόγειο κτίσμα με το τμήμα υπογείου βρίσκεται στα Μέγαρα και είναι κατασκευασμένο το 1969. Το στατικό σύστημα παρουσιάζει έλλειψη τοιχωμάτων ακαμψίας και κατά τις δύο διευθύνσεις με τετράγωνες κολώνες μικρής διατομής. Το υπόγειο δεν διαθέτει τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα αλλά από λιθοδομή πάχους 50εκ.

Παραδοχές μελέτης:

- Κανονισμός σκυροδέματος: 1954
- Αντισεισμικός κανονισμός: 1959
- Σεισμικός συντελεστής: 0,04g
- Ποιότητα σκυροδέματος: B160
- Ποιότητα χάλυβα: StI
- Επιτρεπόμενη τάση εδάφους: 2,50 kg/cm²

Τα κατακόρυφα φορτία που ελήφθησαν για τις φορτίσεις των δοκών είναι:

- Τοίχος μπατικός: 9 kN/m

- Τοίχος μπατικός με ανοίγματα: 8 kN/m
- Τοίχος δρομικός: 6 kN/m
- Στηθαίο: 3,5 kN/m
- Αφόρτιστοι δοκοί: 2 kN/m

3. ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (ΑΝΑΛΥΣΗ PUSHOVER)

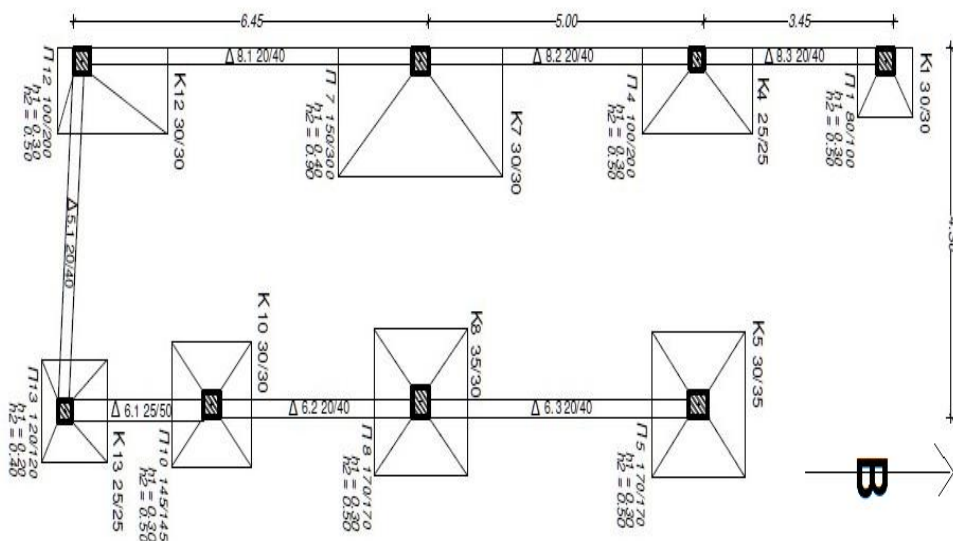
Η αποτίμηση της υφιστάμενης κατασκευής έγινε με τη μέθοδο pushover η οποία δίνει αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα προσεγγίζοντας με αρκετά μεγάλη ακρίβεια την συμπεριφορά των μελών της κατασκευής με τη χρήση προσομοιωμάτων που έχουν αναπτυχθεί για την συγκεκριμένη ανάλυση.

Στόχος της ανελαστικής ανάλυσης είναι εκτίμηση του μεγέθους των παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν στα δομικά μέλη με βάση τη σεισμική δράση που επιβάλλεται από την στάθμη επιτελεστικότητας που έχει αποφασισθεί ότι θα διερευνηθεί. Με την ανάλυση επίσης προσδιορίζεται ο σεισμικός συντελεστής a_g που πρέπει να πολλαπλασιαστούν τα στατικά φορτία, προκειμένου τα μέλη του φορέα φτάσουν διαδοχικά στην διαρροή τους, έως ότου προκύψει μηχανισμός και να επέλθει κατάρρευση. Η μη γραμμική στατική ανάλυση είναι μια επαναληπτική διαδικασία κατά την οποία λαμβάνεται υπόψη η σταδιακή μεταβολή των χαρακτηριστικών δυσκαμψίας των μελών της κατασκευής έως την αστοχία.

Αρχικά το φορτίο διανέμεται ανά στάθμη και επιβάλλεται επαυξητικά στην κατασκευή. Κατόπιν καθορίζονται τα βήματα επιβολής του φορτίου για την ανάλυση με επαυξητικό βήμα υπολογίζοντας τις προκύπτουσες παραμορφώσεις στα άκρα των μελών και την ενδεχόμενη μεταβολή της δυσκαμψίας λόγω των παραμορφώσεων αυτών. Τέλος υπολογίζονται τα εντατικά μεγέθη των μελών σύμφωνα με τις τροποποιημένες δυσκαμψίες.

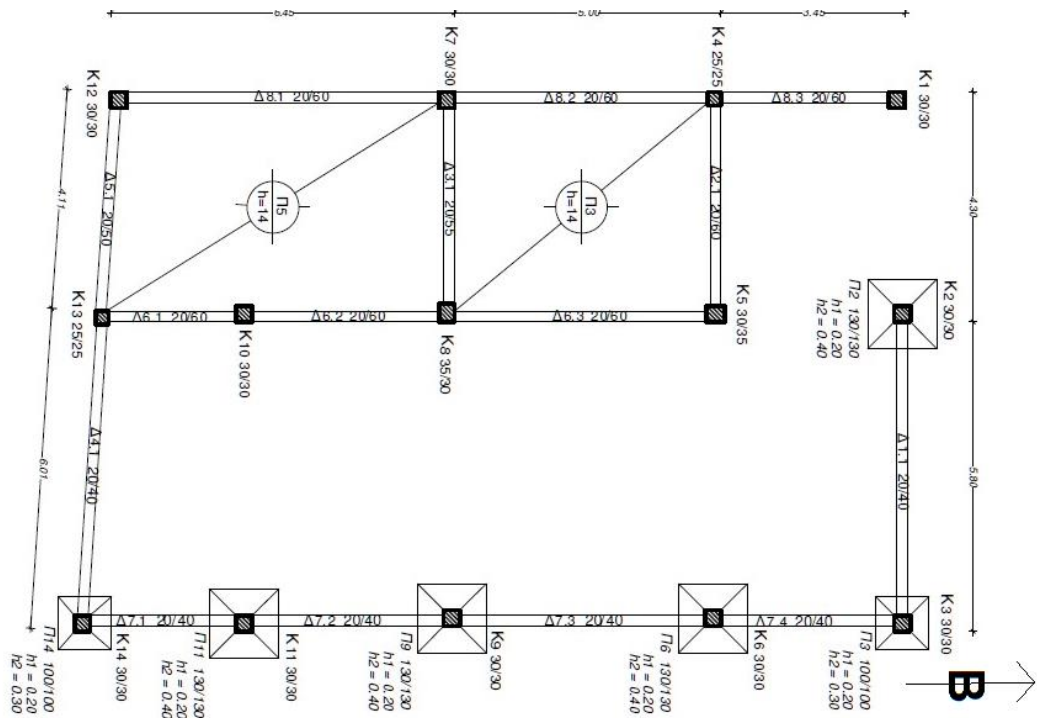
Η κατασκευή υποβάλλεται σε οριζόντιο ομοιόμορφο καταναμημένο στατικό φορτίο ή ιδιομορφικό έως ότου σχηματιστεί ικανός αριθμός πλαστικών αρθρώσεων φτάνοντας στην κατάρρευσή του. Με αυτόν τον τρόπο συντάσσεται η καμπύλη αντίστασης του κτιρίου (φόρτιση, μετατόπιση).

4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

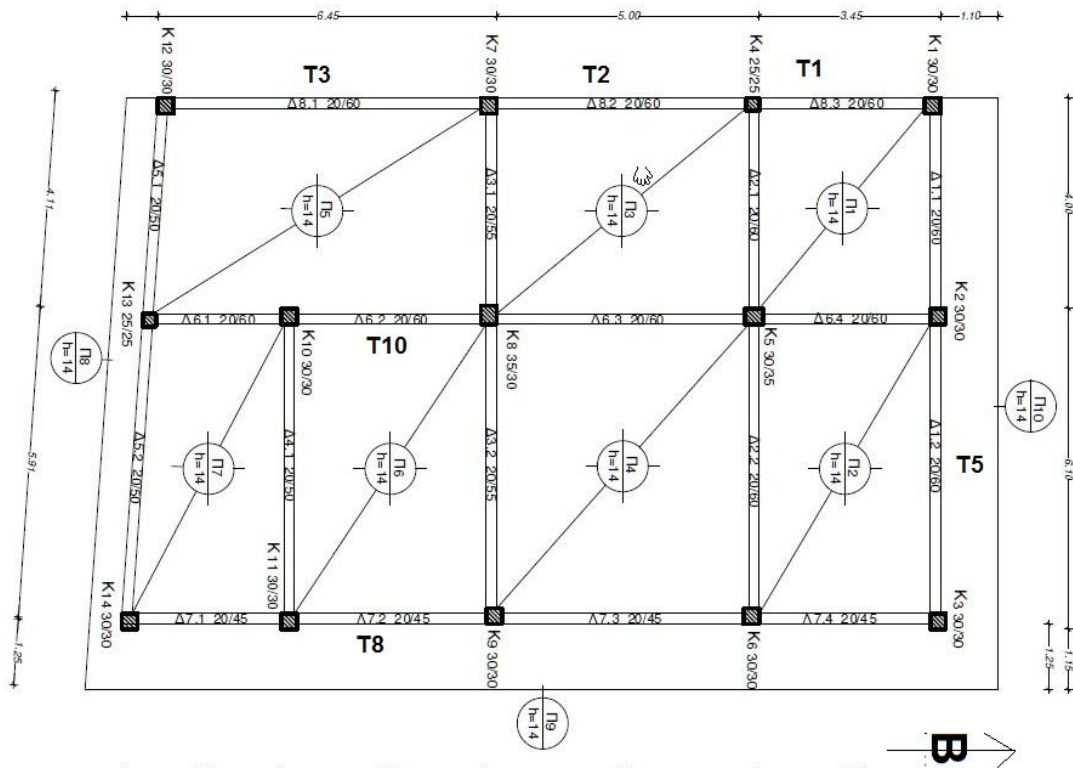


Σχήμα 1: ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ

Αποτίμηση Υπάρχουσας Ισόγειας Κατοικίας μετά Τμήματος Υπογείου, για Μελλοντική Προσθήκη καθ' ύψος



Σχήμα 2: ΕΥΛΟΤΥΠΟΣ ΠΛΑΚΑΣ ΟΡΟΦΗΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΚΑΙ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΣΤΥΛΩΝ ΙΣΟΓΕΙΟΥ



Σχήμα 3: ΕΥΛΟΤΥΠΟΣ ΠΛΑΚΑΣ ΟΡΟΦΗΣ ΙΣΟΓΕΙΟΥ – ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΤΟΙΧΟΙ

Αρχικά θα εξεταστεί το υφιστάμενο κτίσμα, ως έχει σήμερα, που είναι ισόγειο μετά τμήματος υπογείου (όπως δεικνύεται στα επισυναπτόμενα σχέδια). Θα υπολογισθεί η μέγιστη οριακή επιτάχυνση χωρίς τη προβλεπόμενη προσθήκη καθ' ύψος, με δύο συνθήκες:

- Χωρίς τη συμμετοχή της τοιχοποιίας
- Με τη συμμετοχή της τοιχοποιίας

Κατόπιν θα εξεταστεί το κτίσμα μετά την προσθήκη καθ' ύψος (χωρίς να μελετηθεί η ίδια η προσθήκη) παρά μόνον η φέρουσα ικανότητα του υπάρχοντος τμήματος του υπογείου και του ισογείου, με δύο συνθήκες:

- Χωρίς τη συμμετοχή της τοιχοποιίας
- Με τη συμμετοχή της τοιχοποιίας

και θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Τέλος, μετά την επίλυση των περιπτώσεων αυτών, θα παρουσιαστούν δύο μορφές ανασχεδιασμού του κτιρίου. Η πρώτη είναι η ενίσχυση όλων των μελών που αστοχούν, για τα μεν υποστυλώματα και πέδιλα με μανδύες εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 και άνω εκατοστών για τα περιμετρικώς ενισχυόμενα και 20 εκατοστών για τα ευρισκόμενα παρά το δυτικό όριο του κτίσματος. Ως δεύτερη λύση για των ανασχεδιασμό προτείνεται αυτή της ενίσχυσης του κτιρίου με τοιχώματα τα οποία θα τοποθετηθούν στην περίμετρο και συμμετρικά, για την αύξηση της δυσκαμψίας και δυστρεψίας του.

Έγινε οπτικός έλεγχος και διαπιστώθηκε ότι έχουν εφαρμοστεί οι γεωμετρικές διαστάσεις των διατομών όλων των φερόντων στοιχείων, και ως εκ τούτου, (χωρίς εργαστηριακή υποστήριξη αντοχής υλικών) λαμβάνεται ως στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων (ΣΑΔ) αυτή της ικανοποιητικής.

Ο κύριος του έργου καθορίζει τις στάθμες επιτελεστικότητας που θα ελεγχθούν στην μελέτη, καθώς και το επίπεδο σεισμικής έντασης σε κάθε μία από αυτές. Η επιτάχυνση σχεδιασμού υπολογίζεται από τη σχέση της EC8-1 παρ. 2.1.4

$$a_g = a_{gr} * \gamma_1 * \sqrt[3]{\left(\frac{T_R}{475}\right)} \quad , \text{ όπου } T_R = \frac{-T_L}{\ln(1-PR)}$$

$\gamma_1 = 1$ για σπουδαιότητα κτιρίου II

$T_R =$ περίοδος επαναφοράς σεισμικού φαινομένου

$T_L =$ συμβατικός χρόνος ζωής κτιρίου (50 χρόνια)

$P_R =$ πιθανότητα υπέρβασης

$a_{gr} = 0,24$ για ζώνη σεισμικότητας Z2

$a_g =$ επιτάχυνση σχεδιασμού

Στόχος επιτελεστικότητας ορίζεται να είναι ο B2 και Γ2, δηλαδή πιθανότητα υπέρβασης του σεισμικού γεγονότος κατά 50% στη προβλεπόμενη ζωή του κτιρίου των 50 χρόνων.

Άρα για πιθανότητα υπέρβασης $P_R = 50\%$ η περίοδος επαναφοράς του σεισμικού φαινομένου είναι $T_R = 72$ χρόνια που αυτό αντιστοιχεί σε $a_g = 0.128$ (κατηγορία σπουδαιότητας II).

Πιθανότητα υπέρβασης Σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών	Στάθμη επιτελεστικότητας φέροντος οργανισμού		
	Περιορισμένες Βλάβες	Σημαντικές Βλάβες	Οιονεί Κατάρρευση
10%	A1	B1	Γ1
50%	A2	B2	Γ2

Πίνακας 1 : ΚΑΝ.ΕΠΕ Πιν.1 παρ.2.2.1

5. ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Επεμβάσεων οι τοιχοπληρώσεις λαμβάνονται υπόψη μόνο για τις σεισμικές δράσεις. Δεν συμμετέχουν στην ανάληψη κατακορύφων φορτίων (βαρύτητας), πλην του ίδιου βάρους τους. Για σεισμό προσομοιώνονται ως ισοδύναμες αμφιαρθρωτές θλιβόμενες διαγώνιες ράβδοι με συγκεκριμένο πλάτος b (ΚΑΝ.ΕΠΕ παρ.7.4.1).

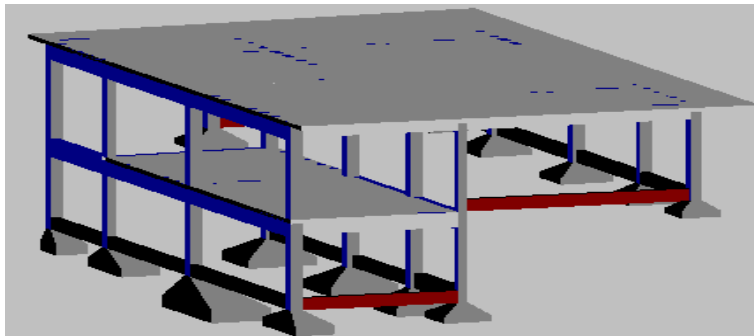
Η συμμετοχή της τοιχοποιίας πλήρωσης συμβάλει στην ακριβέστερη προσέγγιση της συμπεριφοράς του υφιστάμενου κτιρίου υπό σεισμικές δράσεις ιδίως στην αποτίμηση. Για τη συμμετοχή της τοιχοποιίας στις αναλύσεις έχουμε ως δεδομένα:

- Στο υπόγειο η τοιχοποιία είναι κατασκευασμένη με λίθους πάχους 0,50 εκ.
- Στο ισόγειο οπτοπλινθοδομή 20 εκ.
- Στην μελλοντική προσθήκη οπτοπλινθοδομή 25 εκ.
- Χαρακτηριστική αντοχή τοιχοπληρώσεων $f_{wcke} = 1.60\text{MPa}$
- Παραμόρφωση διαρροής τοιχοπληρώσεων για τις στάθμες επιτελεστικότητας A: $\epsilon_{DL} = 0.10\%$ και B: $\epsilon_{NC} = 0.25\%$
- Διατμητική αντοχή $f_{vk} = 0.47\text{MPa}$
- Συντελεστής ασφάλειας υφιστάμενης τοιχοπλήρωσης: 2.0

Για την τοιχοπλήρωση η στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων (Σ.Α.Δ) για τα μηχανικά χαρακτηριστικά της θεωρείται «ικανοποιητική» βάση οπτικού ελέγχου, ενώ το «ανεκτή» δεν επιτρέπεται σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ (παρ. 3.7.3).

6. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

6.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ (Προσδιορισμός Μέγιστης Οριακής Επιτάχυνσης a_{gmax})



Σχήμα 4: Τρισδιάστατο προσομοίωμα κτιρίου χωρίς τη συμμετοχή τοιχοποιίας

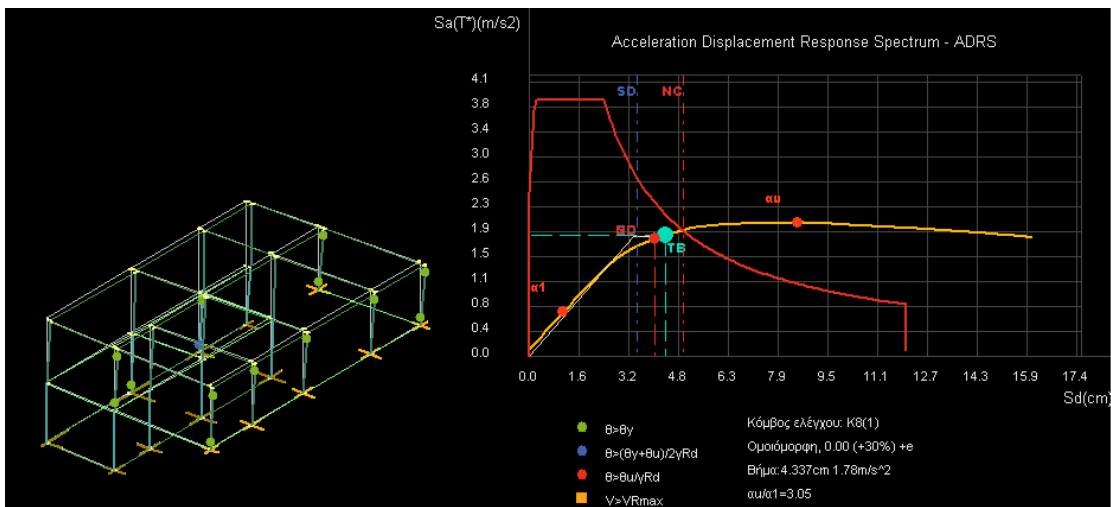
Μετά την εισαγωγή των διατομών και των υπάρχοντων οπλισμών, επιλύεται το σύστημα, χωρίς τη συμμετοχή της τοιχοποιίας και προ τοποθέτησης της προσθήκης καθ' ύψος.

Τα αποτελέσματα μετά την εφαρμογή της pushover δείχνουν καμπτική αστοχία των στύλων K4, K7 του υπογείου στον πόδα και στην κορυφή, επίσης καμπτική αστοχία του στύλου K2 στο ισόγειο, με μέγιστο λόγο επάρκειας $\lambda=2.97$ του στύλου K2 στη στάθμη επιτελεστικότητας SD, και $\lambda=2.23$ του ίδιου στύλου στη στάθμη NC. Επιλύεται ξανά ο φορέας με εδαφική επιτάχυνση $a_g(SD)=\frac{0.128}{2.97}=0.043$. Για να βρεθεί η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση του υφιστάμενου κτιρίου για κατηγορία επιτελεστικότητας B γίνεται η ίδια διαδικασία και ύστερα από δύο – τρεις ακόμη

αναγωγές, προκύπτει σύγκλιση ($\lambda \cong 1$) στην τιμή της εδαφικής επιτάχυνσης (για επιτελεστικότητα SD) $a_{gmax} = 0.056$.

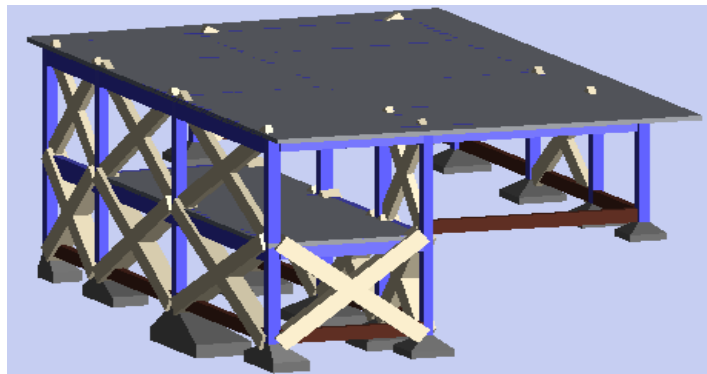
Για να βρεθεί η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση του υφιστάμενου κτιρίου για κατηγορία επιτελεστικότητας Γ επιλύεται ο φορέας με εδαφική επιτάχυνση και $a_g(NC) = \frac{0.128}{2.23} = 0.057$. Ακολουθεί η ίδια διαδικασία, αυτή της συγκλίσεως και τελικά προκύπτει στην τιμή της εδαφικής επιτάχυνσης (για επιτελεστικότητα NC) $a_{gmax} = 0.065$. Το πλέον εύτρωτο μέλος του φορέα είναι ο στύλος Κ2 του ισογείου με $\lambda = 0.99$.

Βεβαίως στην συγκεκριμένη εργασία ασχολούμαστε μόνο με τα κατακόρυφα μέλη της κατασκευής δηλαδή μόνο με τα υποστυλώματα. Για λόγους επάρκειας αναφέρεται για τα υπόλοιπα μέλη πως κάποια πέδιλα αστοχούν και για τις δύο επιτελεστικότητες ελέγχου, καμία από τις δοκούς δεν αστοχεί ούτε καμπτικά ούτε διατμητικά.



Σχίμα 5: Διάγραμμα απαίτησης – ικανότητας του ισογείου προ της προσθήκης στην στάθμη επιτελεστικότητας SD – αρχή δημιουργίας πλαστικών αρθρώσεων

6.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΜΕ ΤΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ (Προσδιορισμός Μέγιστης Οριακής Επιτάχυνσης a_{gmax})



Σχίμα 6: Τρισδιάστατο προσομοίωμα κτιρίου με τη συμμετοχή τοιχοποιίας

Όπως φαίνεται και στο σχήμα έξι (6) η τοποθέτηση των τοίχων πληρώσεως εισάγονται ως διαγώνιοι αμφιαρθρωτοί ράβδοι.

Λαμβάνοντας πλέον υπ' όψη την τοιχοποιία στο υφιστάμενο κτίριο, επιχειρείται η εύρεση της μέγιστης οριακής επιτάχυνσης και μας δίδεται η ευκαιρία της σύγκρισης των αποτελεσμάτων.

Οι συμμετέχοντες τοίχοι (σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.) και κατόπιν κρίσεως είναι:

- Στο μεν υπόγειο, όλοι οι τοίχοι εκτός του βορείου, που είναι πέτρινοι πάχους 50 cm.
- Στο δε ισόγειο, οι τοίχοι T1,T2,T3,T10 καθ' ολοκληρίαν, και οι τοίχοι T5,T8 μερικώς (κατά 70% κατ' εκτίμηση και σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ §7.4.1.δ).

Οι υπόλοιποι, λόγω ανοιγμάτων κρίνεται ότι πρέπει να αγνοηθούν.

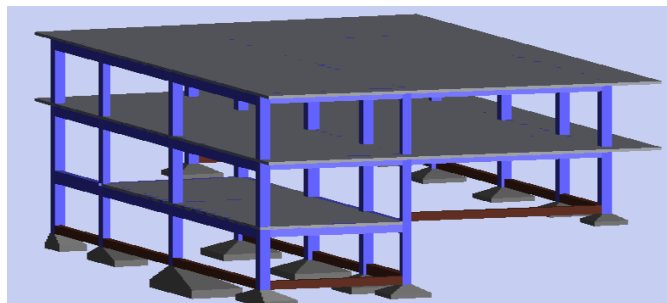
Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ (παρ7.4.1β) οι υφιστάμενες τοιχοπλήρωσεις, συνήθως οι άοπλες ελέγχονται σε όρους δυνάμεων ή παραμορφώσεων και λαμβάνονται υπόψη μόνον στις στάθμες επιτελεστικότητας Α ή Β. Για την στάθμη επιτελεστικότητας Γ, δεν συμπεριλαμβάνονται στο προσομοίωμα.

Επομένως αφού αρχικά είχαμε αποφασίσει να ελέγξουμε και να αποτιμήσουμε την κατασκευή για τις στάθμες Β2 και Γ2, πλέον θα ελεγχθεί μόνο για την στάθμη Β2. Επιλύοντας ξανά τον φορέα, παρατηρείται αστοχία καμπτική του στύλου Κ2 στο ισόγειο μόνο, στον πόδα και στην κορυφή με μέγιστο λόγο επάρκειας στη στάθμη SD ίσον με 1.20 ($\lambda_{SD}=1.20$).

Ακολουθώντας τη μέθοδο σύγκλισης όπως προηγουμένως, (διαίρεση του a_g με τον μέγιστο λόγο επάρκειας $\frac{0.128}{1.20} = 0.107$) και κατόπιν δυο ακόμη προσπαθειών, καταλήγει κανείς στο προσδιορισμό της μέγιστης οριακής επιτάχυνσης a_{gmax} ίση με 0.093 για τη στάθμη επιτελεστικότητας SD. Δηλαδή, για το ίδιο κτίριο, η συμμετοχή της τοιχοπλήρωσης στη δυναμική φέρουσα ικανότητα του αυξάνει κατά $\frac{0.093}{0.071} = 1.66$, ήτοι κατά 66%.

Συμπερασματικά, στο συγκεκριμένο κτίριο φαίνεται ότι η τοιχοπλήρωση δρα ευεργετικά στη φέρουσα σεισμική ικανότητα του, επειδή αυξάνει την δυσκαμψία του (όλοι οι λόγοι επάρκειας λ των στύλων μειώνονται) και φυσικά η προσομοίωση της κατασκευής είναι ρεαλιστικότερη.

6.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΣΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΚΑΘ' ΥΨΟΣ(επί του αυτού Περιγράμματος), ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ



Σχήμα 7: Τρισδιάστατο προσομοίωμα κτιρίου χωρίς συμμετοχή τοιχοποιίας με την προσθήκη καθ' ύψος

Σαν δεύτερο σκέλος της συγκεκριμένης εργασίας, μελετάται η αποτίμηση του υπάρχοντος, (ισόγειο μετά τμήματος υπογείου) αφού προστεθεί καθ' ύψος ο α' όροφος επί του ίδιου περιγράμματος. (Χωρίς να διαστασιοποιηθεί αυτός).

Ως στάθμες επιτελεστικότητας επιλέγονται όπως και πριν, οι αυτές, δηλαδή B2 και Γ2.

Μετά την εφαρμογή της pushover, τα υποστύλωμα K4 και K7 στο υπόγειο αστοχούν, καθώς και τα K2, K3, K4, K6, K9 και K11 στο ισόγειο, με μέγιστο λόγο επάρκειας $\lambda_{SD}=3.24$ για το υποστύλωμα K2 στο ισόγειο στη στάθμη επιτελεστικότητας SD, και $\lambda=2.49$ του ίδιου στύλου στη στάθμη NC. Όλα τα υποστυλώματα αστοχούν καμπτικά.

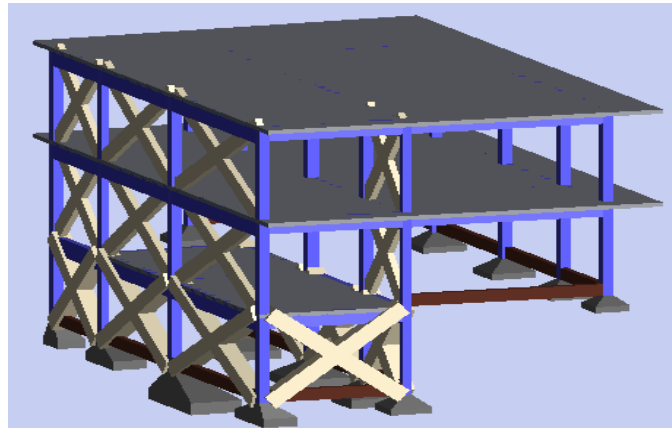
Σημειώνεται ότι, (παρ' όλο που δεν έχει συνυπολογισθεί η τοιχοποιία που, όπως απεδείχθη προηγουμένως, αυξάνει την ακαμψία του κτίσματος), κανένας από τους στύλους δεν αστοχεί διατμητικά.

Επιλύεται ξανά ο φορέας με εδαφική επιτάχυνση $a_g (SD) = \frac{0.128}{3.24} = 0.039$. Για να βρεθεί η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση του υφιστάμενου κτιρίου για κατηγορία επιτελεστικότητας B γίνεται η ίδια διαδικασία και με αναγωγές, προκύπτει σύγκλιση ($\lambda \approx 1$) στην τιμή της εδαφικής επιτάχυνσης a_{gmax} (για επιτελεστικότητα SD) = 0,054.

Για να βρεθεί η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση του υφιστάμενου κτιρίου για κατηγορία επιτελεστικότητας Γ επιλύεται ο φορέας με εδαφική επιτάχυνση $a_g (NC) = \frac{0.128}{2.49} = 0.052$. Ακολουθείτε η ίδια διαδικασία, αυτή της συγκλίσεως και τελικά προκύπτει τιμή των μελών της εδαφικής επιτάχυνσης $a_{gmax} = 0,066$ (για επιτελεστικότητα NC).

Πριν αποφασισθεί ο τρόπος ενίσχυσης του κτιρίου που αστοχούν, θα επιχειρηθεί η ανάλυση του παραπάνω περιγραφόμενου μοντέλου, αφού συνυπολογισθεί και η υπάρχουσα τοιχοποιία. Θεωρείται ότι η αρχιτεκτονική διαμόρφωση της προσθήκης θα είναι η ίδια όπως στο ισόγειο, συνεπώς η περιμετρική τοιχοποιία θα είναι η ίδια.

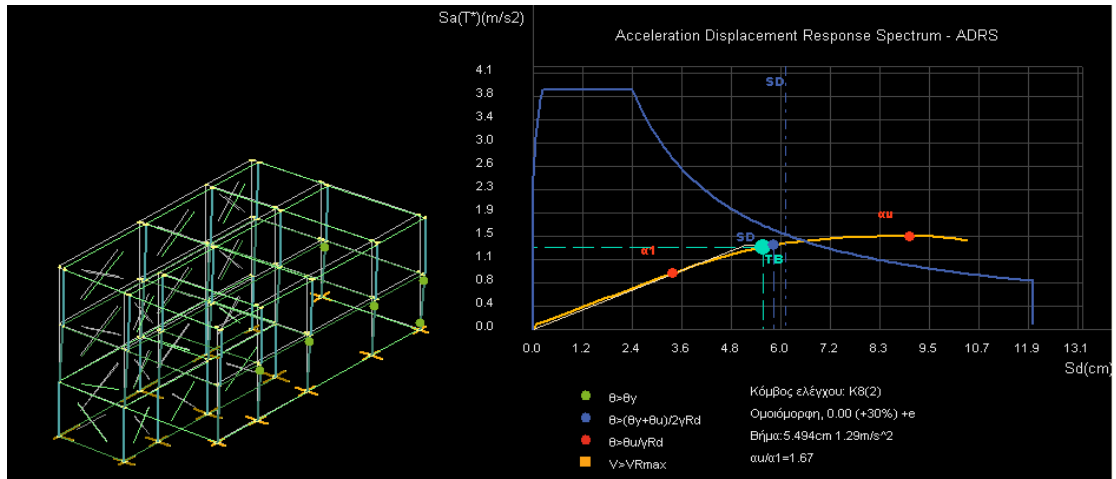
6.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΣΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΚΑΘ' ΥΨΟΣ(Επί του αυτού Περιγράμματος), ΜΕ ΤΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ



Σχήμα 8: Τρισδιάστατο προσομοίωμα κτιρίου με συμμετοχή τοιχοποιίας και την προσθήκη καθ' ύψος

Μετά την εφαρμογή της pushover του κτίσματος όπως, περιγράφεται παραπάνω, για τη στάθμη επιτελεστικότητας B2 φαίνεται ότι αστοχούν οι στύλοι K2, K3, K6, K9, K11, K13 και K14 όλοι στο ισόγειο, μόνο καμπτικά με λόγο επάρκειας κάπως βελτιωμένο, ήτοι $\lambda_{SD}=2.24$. Επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία της μεθόδου συγκλίσεως για τη στάθμη επιτελεστικότητας B προσδιορίζεται η μέγιστη οριακή επιτάχυνση a_{gmax} μετά την προσθήκη με συμμετοχή της τοιχοποιίας ίση με 0.094 για τη στάθμη επιτελεστικότητας SD.

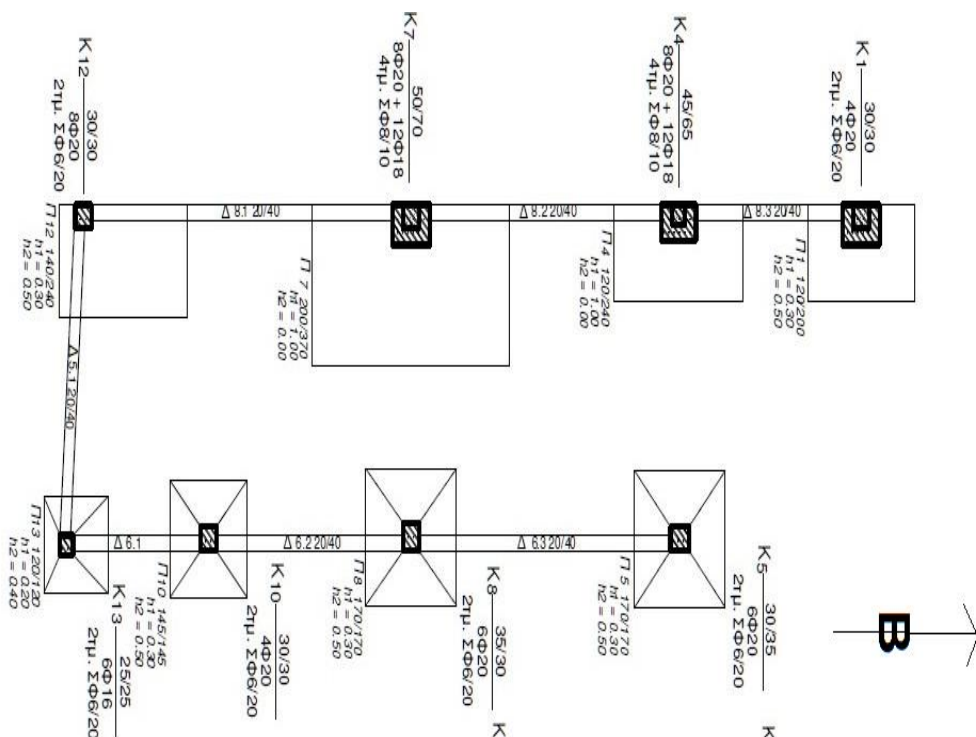
Δηλαδή, για το ίδιο κτίριο, η συμμετοχή της τοιχοπλήρωσης στη δυναμική φέρουσα ικανότητα αυξάνεται κατά $\frac{0.094}{0.054} = 1.74$, δηλαδή κατά 74%.



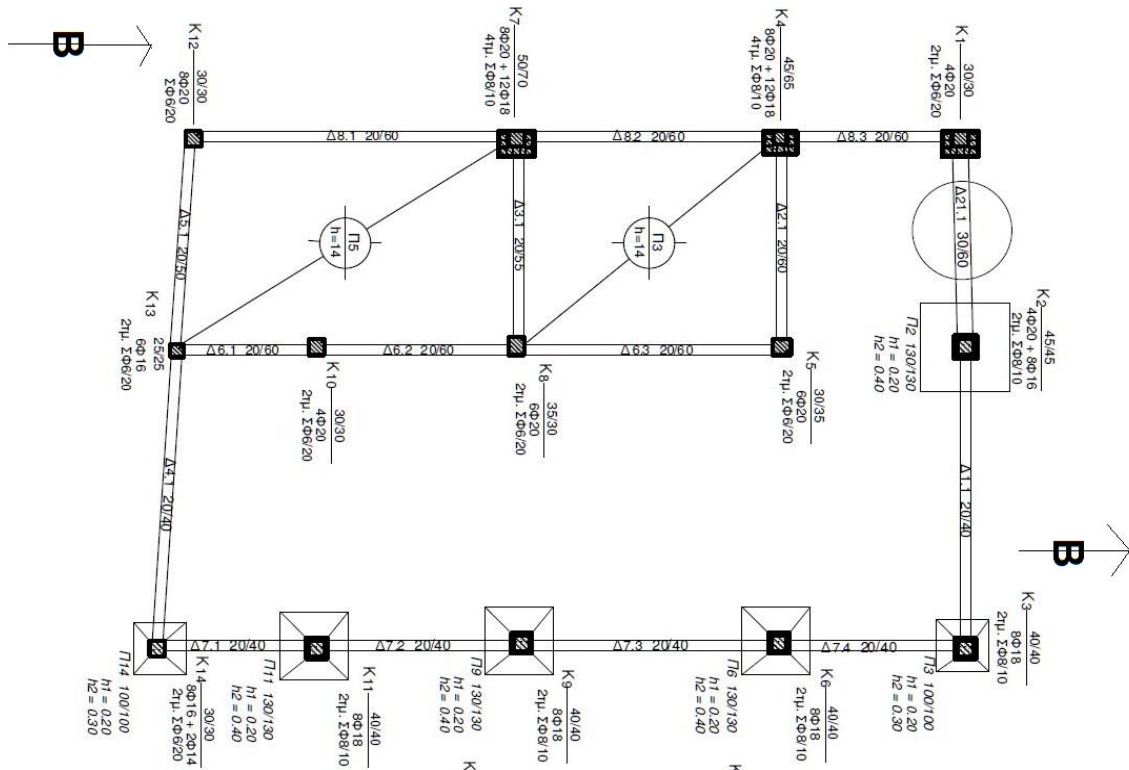
Σχήμα 9: Διάγραμμα απαίτησης – ικανότητας του υφιστάμενου κτίσματος με τη προσθήκη και συμμετοχή της τοιχοποιίας στην στάθμη επιτελεστικότητας SD – αρχή δημιουργίας πλαστικών αρθρώσεων

7. ΑΝΑΣΧΕΛΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΣΜΑΤΟΣ

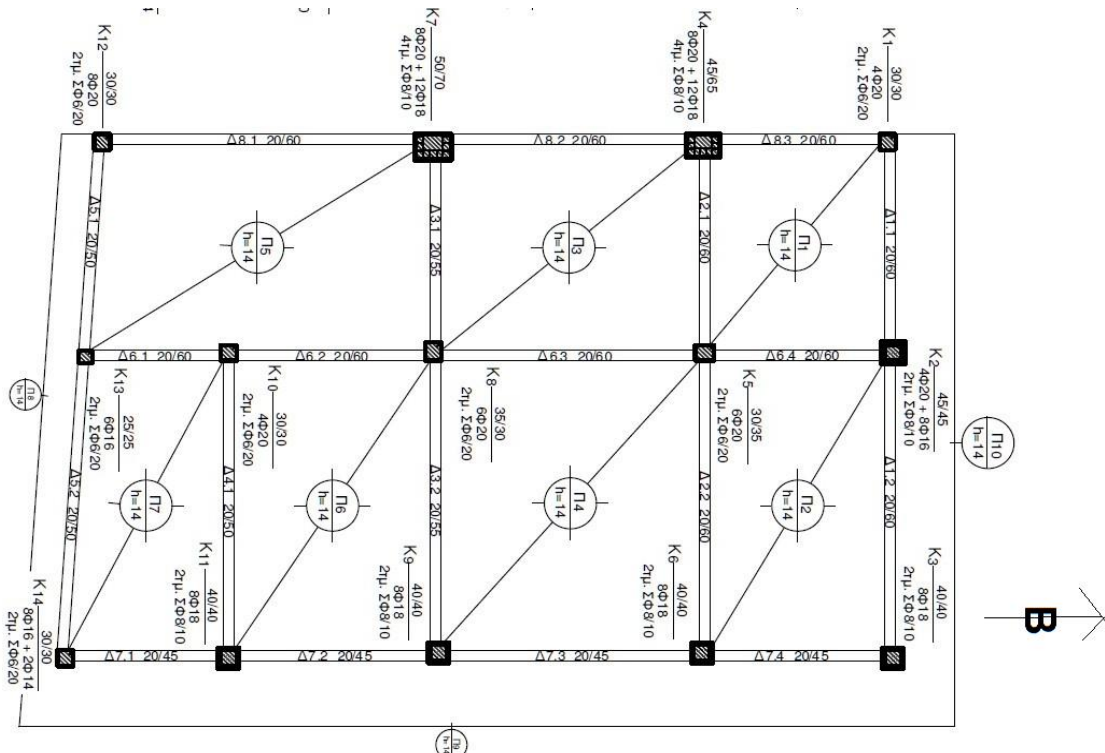
7.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΤΙΣΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ



Σχήμα 10: ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ – ΕΝΙΣΧΥΟΜΕΝΟΙ ΣΤΥΛΟΙ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΑΝΔΥΩΝ



Σχήμα 11: ΕΥΛΟΤΥΠΟΣ ΠΛΑΚΑΣ ΟΡΟΦΗΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΚΑΙ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΣΤΥΛΩΝ ΙΣΟΓΕΙΟΥ – ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ



Σχήμα 12: ΕΥΛΟΤΥΠΟΣ ΠΛΑΚΑΣ ΟΡΟΦΗΣ ΙΣΟΓΕΙΟΥ – ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ

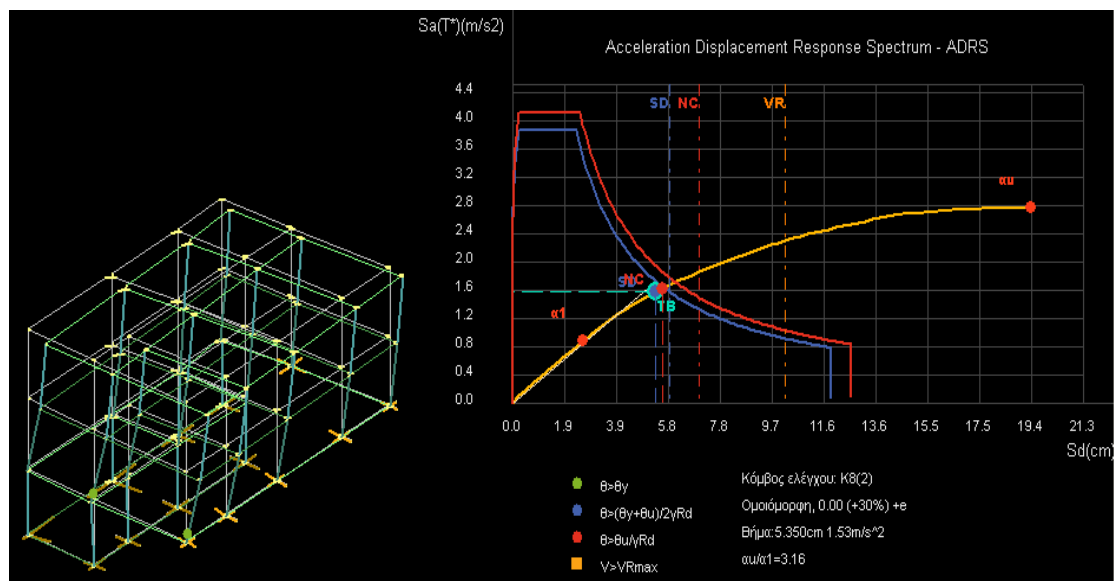
Αποφασίζεται να ενισχυθεί το υπάρχον (υπόγειο και ισόγειο) για να είναι ικανό να φέρει με ασφάλεια την προσθήκη καθ' ύψος του α' ορόφου, αγνοώντας την

συμμετοχή της τοιχοποιίας σε πρώτη φάση, οπότε θα ενισχυθούν οι στύλοι K4,K7 στο υπόγειο με τρίπλευρο μανδύα όπως δεικνύεται στα σχέδια.

Επιπρόσθετα στο υπόγειο, για λόγους αγκύρωσης των οπλισμών της προστιθέμενης συνδετήριας δοκού Δ21.1, αποφασίζεται να μανδρωθεί και ο στύλος K1 με τον ίδιο τύπο μανδύα. Στο ισόγειο αποφασίζεται να μανδρωθούν όλοι οι αστοχούντες στύλοι δηλαδή οι K2,K3,K4,K6,K9 με μανδύα εκτοξευόμενου σκυροδέματος ποιότητας C25/30 και πάχους 5cm όλοι, εκτός του K2 που θα έχει πάχος 7.50 cm περιμετρικά. Η επιλογή του οπλισμού των μανδρών έγινε αυθαίρετα με γνώμονα την αντοχή τους.

Σε όλους τους ενισχυόμενους στύλους, και προς τη πλευρά της ασφάλειας, αγνοείται η συμμετοχή του υπάρχοντος οπλισμού στην παλιά (προ μανδύα) διατομή. Τα αποτελέσματα δείχνουν απόλυτη επάρκεια όλων των στύλων και δοκών. Μέγιστος λόγος επάρκειας $\lambda_{SD}=0.99$ για τον στύλο K13 (ο οποίος δεν ενισχύθηκε).

Για περίοδο επαναφοράς, αυτή των 72 ετών και για στάθμη επιτελεστικότητας B2, Γ2 η εδαφική επιτάχυνση είναι $a_g = 0,128$. Άρα η κατασκευή αυτή είναι επαρκής για τις στάθμες B2,Γ2. Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση του εδάφους πλέον είναι για τη στάθμη επιτελεστικότητας B $a_{gmax} = 0,129$ ενώ για τη στάθμη επιτελεστικότητας Γ $a_{gmax} = 0,136$



Σχήμα 13: Διάγραμμα απαίτησης – ικανότητας υφιστάμενου κτίσματος με την προσθήκη χωρίς συμμετοχή τοιχοποιίας ενισχυόμενο με μανδύες στην στάθμη επιτελεστικότητας SD – αρχή δημιουργίας πλαστικών αρθρώσεων

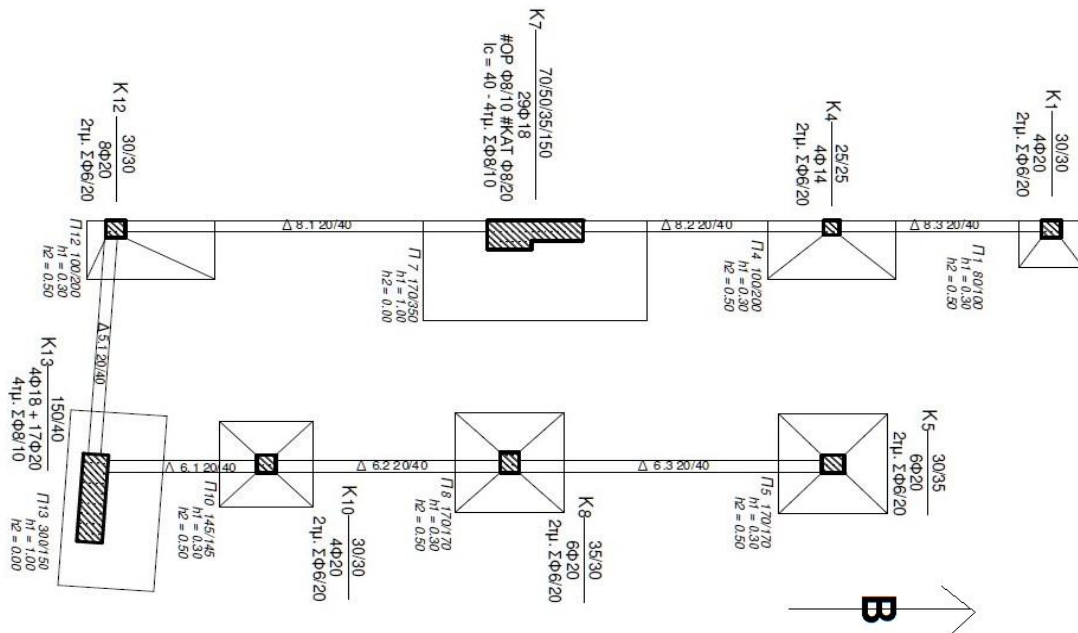
7.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΤΙΣΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΜΕ ΤΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

Με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ στη φάση του ανασχεδιασμού ενδεικνύται να ελεγχθεί και για στάθμη επιτελεστικότητας Γ εκτός της Β.

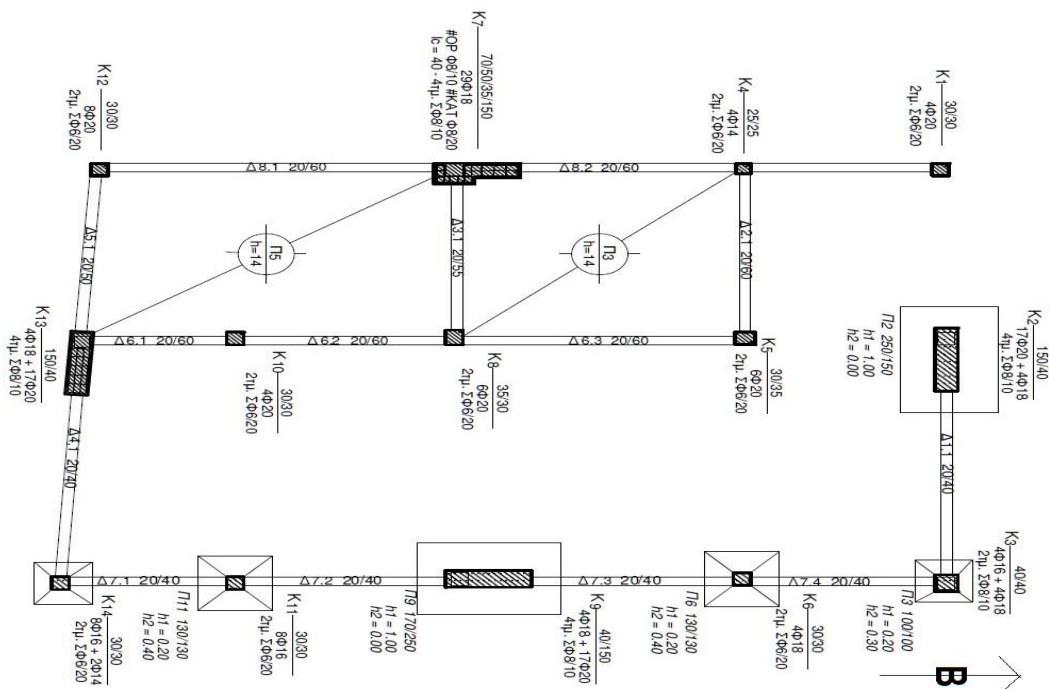
Η ανάλυση του παραπάνω μοντέλου δεικνύει απόλυτη επάρκεια για τις στάθμες επιτελεστικότητας που έχουμε επιλέξει δηλαδή Β2 και Γ2, μόνον που ο πλέον εύτρωτος στύλος είναι ο K14 (προφανώς λόγω έκκεντρης τοποθέτησης της ακαμψίας των συμμετεχόντων τοίχων) με λόγο επάρκειας στο ισόγειο $\lambda=0.98$.

Επομένως με τη συμμετοχή της τοιχοποιίας και με την μανδύωση των υποστρωμάτων ο μέγιστη εδαφική επιτάχυνση του εδάφους πλέον είναι για τη στάθμη επιτελεστικότητας Β $a_{gmax} = 0,129$ ενώ για τη στάθμη επιτελεστικότητας Γ $a_{gmax} = 0,143$.

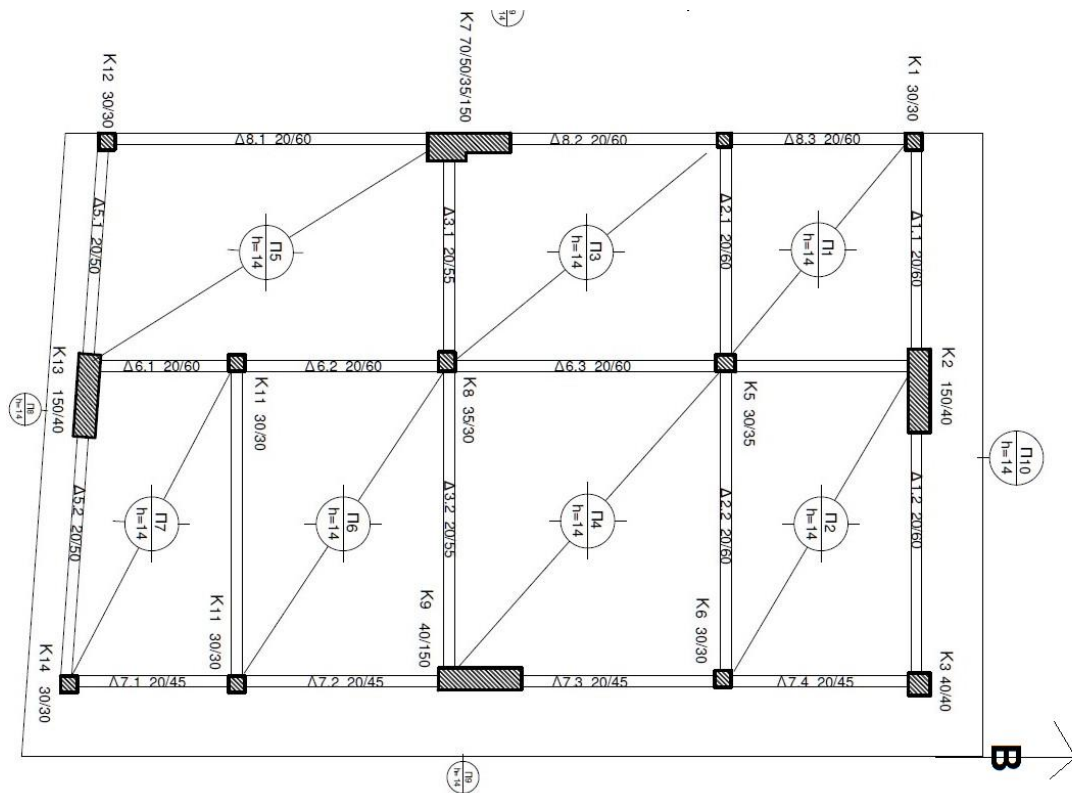
7.3 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΤΙΣΜΑΤΟΣ ΜΕ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ



Σχήμα 14: ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ – ΕΝΙΣΧΥΟΜΕΝΟΙ ΣΤΥΛΟΙ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ



Σχήμα 15: ΕΥΛΟΤΥΠΟΣ ΠΛΑΚΑΣ ΟΡΟΦΗΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΚΑΙ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΣΤΥΛΩΝ ΙΣΟΓΕΙΟΥ – ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ



Σχήμα 16: ΞΥΛΟΥΤΥΠΟΣ ΠΛΑΚΑΣ ΟΡΟΦΗΣ ΙΣΟΓΕΙΟΥ – ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

Σαν δεύτερη μορφή ενίσχυσης του κτίσματος επιλέγεται η περιμετρικά τοποθέτηση τοιχωμάτων που οπλίζονται με τον ελάχιστο απαιτούμενο οπλισμό 1% σύμφωνα με τον ΕΚΩΣ παρ.18.4.3β στις θέσεις που δεικνύονται στα σχέδια. Στην ανάλυση προστέθηκαν και οι τοιχοπληρώσεις ακριβώς όπως και στις προηγούμενες αναλύσεις. Η ανάλυση έγινε για τις στάθμες επιτελεστικότητας B2, Γ2 με εδαφική επιτάχυνση $a_g = 0,128$. Ο λόγος επάρκειας για την στάθμη B είναι $\lambda_{SDmax} = 0.56$ και για τη στάθμη Γ $\lambda_{NCmax} = 0.43$ και τα δυο για το υποστύλωμα K6.

7.4 ΑΝΑΣΧΕΛΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΝΕΑ ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Προτείνεται, μετά την ενίσχυση με τοιχώματα, η αλλαγή στάθμη επιτελεστικότητας, δηλαδή ο αρχικός μας στόχος που ήταν η αποτίμηση και ενίσχυση του υφιστάμενου κτιρίου για μελλοντική προσθήκη B2, Γ2 να γίνει B1, Γ1.

Η επιτάχυνση σχεδιασμού υπολογίζεται από τη σχέση της EC8-1 παρ. 2.1.4

$$a_g = a_{gr} * \gamma_I * \sqrt[3]{\left(\frac{T_R}{475}\right)}, \quad \text{όπου } T_R = \frac{-T_L}{\ln(1-PR)}$$

$\gamma_I = 1$ για σπουδαιότητα κτιρίου II

T_R = περίοδος επαναφοράς σεισμικού φαινομένου

T_L = συμβατικός χρόνος ζωής κτιρίου (50 χρόνια)

PR = πιθανότητα υπέρβασης

$a_{gr} = 0,24$ για ζώνη σεισμικότητας Z2

a_g = επιτάχυνση σχεδιασμού

Η στάθμη επιτελεστικότητας B1 και Γ1, είναι η πιθανότητα υπέρβασης του σεισμικού γεγονότος κατά 10% στη προβλεπόμενη ζωή του κτιρίου των 50 χρόνων.

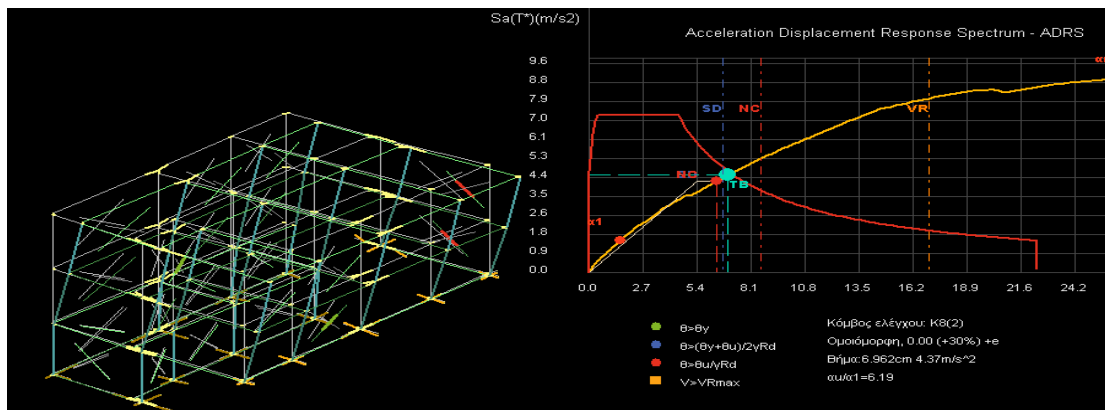
Αρα για πιθανότητα υπέρβασης $P_R = 10\%$ η περίοδος επαναφοράς του σεισμικού φαινομένου είναι $T_R = 475$ χρόνια που αυτό αντιστοιχεί σε $a_g = 0.24$ (κατηγορία σπουδαιότητας II).

Μετά την ανάλυση τα αποτελέσματα των υποστυλωμάτων δείχνουν ότι αστοχεί ένα υποστύλωμα μόνο, το K3 στο ισόγειο καμπτικά, με λόγο επάρκειας $\lambda = 1,26$. Η εδαφική επιτάχυνση για τις B1, Γ1 είναι $a_g = 0,240$. Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση για τη στάθμη επιτελεστικότητας B1 είναι $a_{gmax} = 0,22$ και για τη στάθμη επιτελεστικότητας Γ1 είναι $a_{gmax} = 0,24$ (με τη μέθοδο της σύγκλισης όπως προηγουμένως).

7.5 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΟΡΙΑΚΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ a_{gmax} ΓΙΑ ΤΗ ΝΕΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Μετά την εφαρμογή της pushover και αφού έχουν τοποθετηθεί τα τοιχώματα, αποφασίζεται να μανδρωθεί και το υποστύλωμα K3 ώστε να είναι ικανό πλέον να μεταβεί στον νέο στόχο που είναι η αλλαγή στάθμης επιτελεστικότητας από B2, Γ2 σε B1, Γ1.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής δείχνουν να επαρκούν όλα τα υποστυλώματα με μέγιστο λόγο για τη στάθμη επιτελεστικότητας B να είναι $\lambda_{SD} = 0.88$ και για τη στάθμη Γ $\lambda_{NC} = 0.69$ για το υποστύλωμα K6 και K8 αντίστοιχα στο ισόγειο. Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση πλέον είναι για τη στάθμη B $a_{gmax} = 0,270$ με λόγο επάρκειας $\lambda_{SDmax} = 0.98$ και για τη στάθμη Γ $a_{gmax} = 0,30$ με λόγο επάρκειας $\lambda_{SDmax} = 0.99$ και τα δύο για το υποστύλωμα K6 στο ισόγειο.



Σχήμα 17: Διάγραμμα απαίτησης – ικανότητας υφιστάμενου κτίσματος με την προσθήκη και την τοιχοποιία ενισχυόμενο με τοιχώματα στην στάθμη επιτελεστικότητας SD – αρχή δημιουργίας πλαστικών αρθρώσεων

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά το τέλος της αποτίμησης, αρχικά για το υφιστάμενο κτίριο χωρίς τη συμμετοχή της τοιχοποιίας και ύστερα με τη συμμετοχή της και σε δεύτερη φάση μετά την προσθήκη καθ' ύψος, χωρίς τη συμμετοχή της τοιχοποιίας και ύστερα με τη συμμετοχή της, παρατηρείται η ευεργετική συμμετοχή της τοιχοπλήρωσης στην συμπεριφορά του κτίσματος.

Αποδεικνύεται ότι, με τη συμμετοχή της τοιχοποιίας περιμετρικά σε κάποια φατνώματα της κατασκευής και όχι σε όλα σύμφωνα με τα κριτήρια που προτείνει ο ΚΑΝΕΠΕ, [πλήρης συμμετοχή των T1, T2, T3, T4 και μερική συμμετοχή ($\mu = 0.70$) των

T5,T6) για το ισόγειο και για την προσθήκη, αυξάνεται η αντοχή και η δυσκαμψία του κτιρίου και βελτιώνονται οι λόγοι επάρκειας των μελών.

Η έλλειψη αυτής της ακαμψίας, είναι περισσότερο κατανοητή μετά την προσθήκη της τοιχοποιίας η οποία αν και είναι τοποθετημένη έκκεντρα στην κάτωψη (δυτικό τμήμα), συνεισφέρει αρκετά στην συμπεριφορά των υποστυλωμάτων.

Δεν παρατηρείτε αστοχία δοκών λόγω του ότι κατά τον ικανοτικό έλεγχο κόμβου η ακαμψία και η αντοχή των δοκών είναι μεγαλύτερη αυτής των στύλων με συνέπεια να αστοχεί πρώτα ο στύλος και μετά η δοκός.

Η τοποθέτηση των τοιχωμάτων στην περίμετρο του κτιρίου συμμετρικά αυξάνει την δυσκαμψία και τη δυστρεψία του.

Τέλος, φαίνεται να είναι σαφώς οικονομικότερη η ενίσχυση του κτίσματος με τοιχώματα και αν επιπρόσθετα μανδρωθεί και το υποστύλωμα K3 με απλό μανδύα εκτοξευόμενου σκυροδέματος 5 εκ. η επιτελεστικότητα του κτίσματος φτάνει και ξεπερνά τα σημερινά δεδομένα B1.

Παρατήρηση:

Κάποια πέδιλα και κάποιοι δοκοί που αστοχούν στατικά, θα ενισχυθούν συμβατικά μιας και δεν αποτελούν αντικείμενο αυτής της μελέτης.

Τα τοποθετημένα τοιχώματα κατά τον ΕΑΚ, λόγω του ότι ο λόγος μήκους προς πλάτους είναι μικρότερο από τέσσερα (4) δεν αντιδρούν σαν τοιχώματα αλλά σαν μεγάλα υποστυλώματα. Ο λόγος για τα υποστυλώματα αυτά είναι 150/40 δηλαδή μικρότερο από τέσσερα.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΚΑΝ.ΕΠΕ, 1^η αναθεώρηση – Ιούλιος 2013
- Manual LH Λογισμική – FESPA
- Κανονισμός Φορτίσεων 1954
- Αντισεισμικός Κανονισμός 1959
- ΕΑΚ 2000
- ΕΚΩΣ 2000

