

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΝΕΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΤΑ ΕΚΩΣ/ΕΑΚ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ

**ΓΑΪΤΑΝΑΡΟΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ
ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν δύο σχεδόν όμοια υποθετικά κτίρια κατασκευασμένα την τελευταία δεκαπενταετία. Τα κτίρια αυτά σχεδιάστηκαν και διαστασιολογήθηκαν σύμφωνα με τους κανονισμούς ΕΚΩΣ2000 και ΕΑΚ2000. Το πρώτο κτίριο διαστασιολογήθηκε σύμφωνα με τις απαιτήσεις σεισμικής ζώνης II και το δεύτερο σύμφωνα με τις απαιτήσεις σεισμικής ζώνης III [1]. Στη συνέχεια έγινε αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας των κτιρίων αυτών και έλεγχος επάρκειας κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ με τη μέθοδο μη γραμμικής ανάλυσης pushover. Σκοπός της εργασίας ήταν να διαπιστωθεί κατά πόσο τα σχετικά πρόσφατα κατασκευασμένα κτίρια υπάρχει πιθανότητα να χρειαστούν επεμβάσεις ενίσχυσης της φέρουσας ικανότητας τους σύμφωνα με τις νέες διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Απώτερος στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι να εξεταστεί εάν κτίρια χτισμένα από το έτος 2000 και μετά χρειάζεται να υποβληθούν σε κάποιου είδους ενίσχυσης της φέρουσας ικανότητας τους έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του νέου κανονισμού επεμβάσεων [2]. Θέλοντας να εξάγουμε όσο το δυνατόν ασφαλέστερα συμπεράσματα, ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση των κτιρίων έγινε στοχεύοντας στα κάτωθι :

- Η κάτοψη να είναι μη συμμετρική
- Ο οπλισμός να είναι όσο τον δυνατόν οικονομικότερος
- Οι διατομές των φερόντων στοιχείων να είναι κατά το δυνατόν μικρότερες
- Ύπαρξη μεγάλων ανοιγμάτων
- Η ποιότητα σκυροδέματος να είναι σχετικά χαμηλή

Έγινε προσπάθεια δηλαδή τα κτίρια που δημιουργήθηκαν να μην είναι υπερδιαστασιολογημένα αλλά αντίθετα να επαρκούν οριακά στις διατάξεις των ΕΑΚ2000 και ΕΚΩΣ 2000. Επίσης, για τη διεξαγωγή αποτελεσμάτων με περισσότερο ενδιαφέρον επιλέχθηκε εσκεμμένα το κτίριο που διαστασιολογήθηκε για περιοχή σεισμικής ζώνης II και σεισμική επιτάχυνση εδάφους 0,16g να ανήκει πλέον στην αναθεωρημένη περιοχή σεισμικής ζώνης II [3] με σεισμική επιτάχυνση εδάφους 0,24g.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας έγινε αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας των κτιρίων σύμφωνα με τις διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ και πιο συγκεκριμένα με τη χρήση της μη γραμμικής ανάλυσης pushover. Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί πως ο έλεγχος επάρκειας του κτιρίου δεν έγινε μόνο για τις στάθμες επιτελεστικότητας [2] που αναφέρονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ αλλά και για μερικές επιπλέον έτσι ώστε να διαπιστωθούν τα όρια αντοχής των κτιρίων.

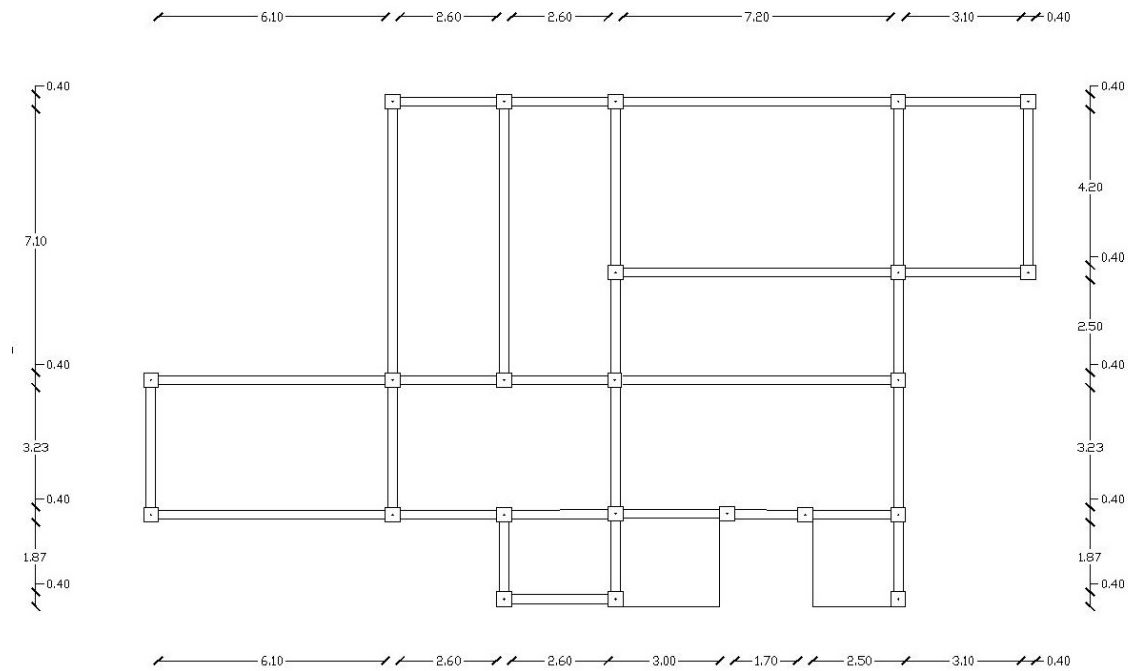
Για το σχεδιασμό, τη διαστασιολόγηση και την αποτίμηση των κτιρίων χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό πρόγραμμα Fespa 10R [4].

2.ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

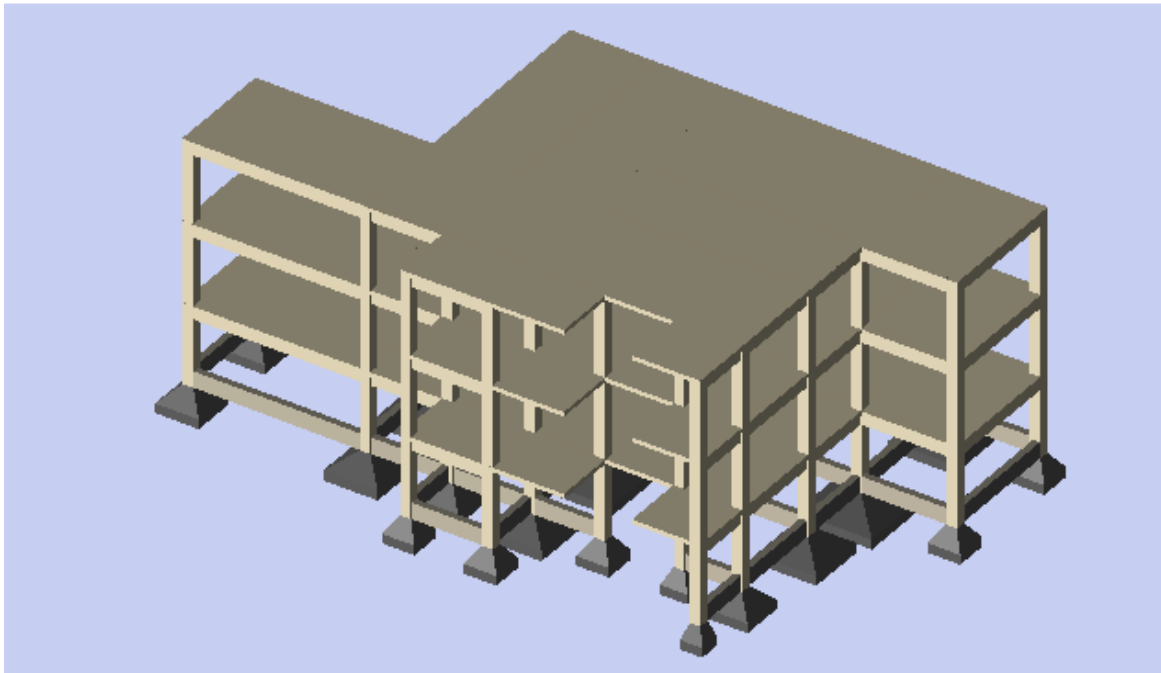
Ο σχεδιασμός των δύο υποθετικών κτιρίων είναι ο ίδιος, εκτός από μερικές λεπτομέρειες που αφορούν τη διαστασιολόγηση. Τα υποθετικά κτίρια είναι κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος

με ύψος ορόφου 3m. Ο κάθε όροφος έχει επιφάνεια 328 m² και η κάτοψη διατηρείται ίδια και στους τρεις ορόφους.



Σχήμα 1: Κάτοψη κτιρίων

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω κάτοψη, έγινε προσπάθεια σχεδίασης μιας μη συμμετρικής κάτοψης με αρκετά μεγάλα ανοίγματα μεταξύ των δοκαριών.



Σχήμα 2: Τρισδιάστατη απεικόνιση των κτιρίων

2.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Τα υλικά που επιλέχθηκαν για τη δημιουργία των δύο κτιρίων ήταν :

- Σκυρόδεμα C20/25
- Χάλυβας οπλισμών S500

2.3 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

Η διαστασιολόγηση των κτιρίων έγινε σύμφωνα με τους κανονισμούς ΕΑΚ2000 και ΕΚΩΣ2000. Έγινε προσπάθεια όπου είναι δυνατόν οι διαστάσεις των φερόντων στοιχείων να παραμείνουν ίδιες και τα για τα δύο κτίρια, εκτός από περιπτώσεις όπου ο κανονισμός απαιτούσε κάποια διαφοροποίηση. Η βασική διαφορά των δύο κτιρίων είναι ότι το 1^ο κτίριο οπλίστηκε για σεισμική επιτάχυνση εδάφους 0.16g ενώ το 2^ο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση εδάφους 0.24g.

2.3.1 ΦΕΡΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΦΕΡΟΝ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΔΙΑΣΤΑΣΗ (cm)
Πλάκες	0.16
Δοκοί	25/50
Υποστυλώματα	40x40

Πίνακας 2.1

2.3.2 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Για τον υπολογισμό της θεμελίωσης επιλέχθηκαν:

- Έδαφος, «Άργιλος πολύ υγρή» με δείκτη K_s 28000 KN/m²*m.
- Συνοχή εδάφους c , 25 KN/m²
- Γωνία εσωτερικής τριβής 20°
- Ολικό ειδικό βάρος εδάφους γ , 20 KN/m³
- Επιτρεπόμενη τάση $\sigma_{επ}$, 200 KN/m²
- Γωνία τριβής στη βάση του θεμελίου δ , 30°

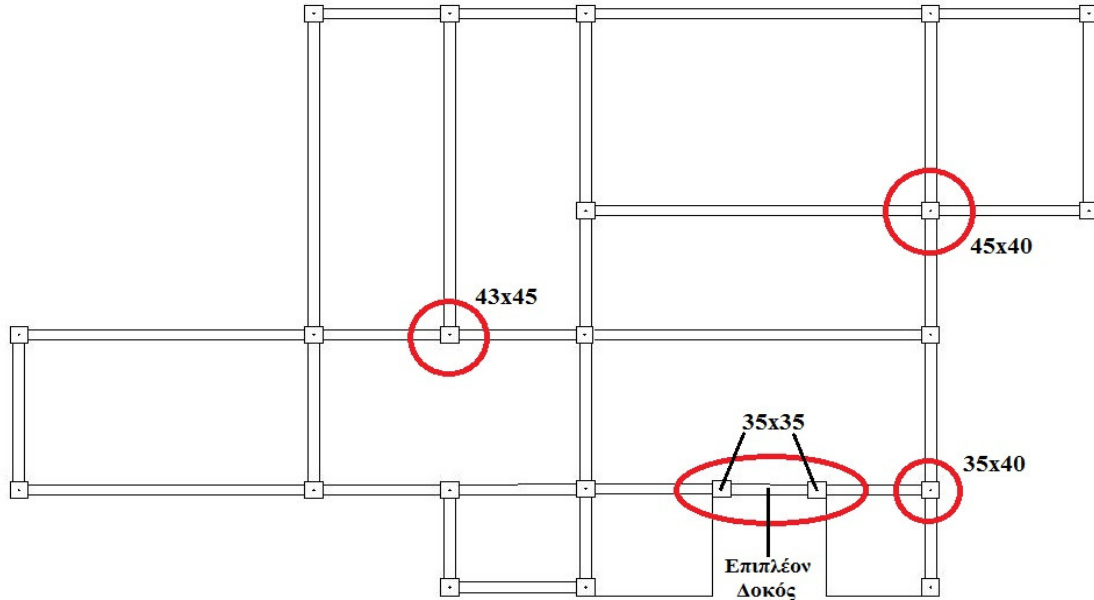
Ο έλεγχος της φέρουσας ικανότητας εδάφους έγινε με την απλοποιημένη μέθοδο που χρησιμοποιεί την τιμή της $\sigma_{επ}$ [5].

2.3.3 ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑ ΕΑΚ2000

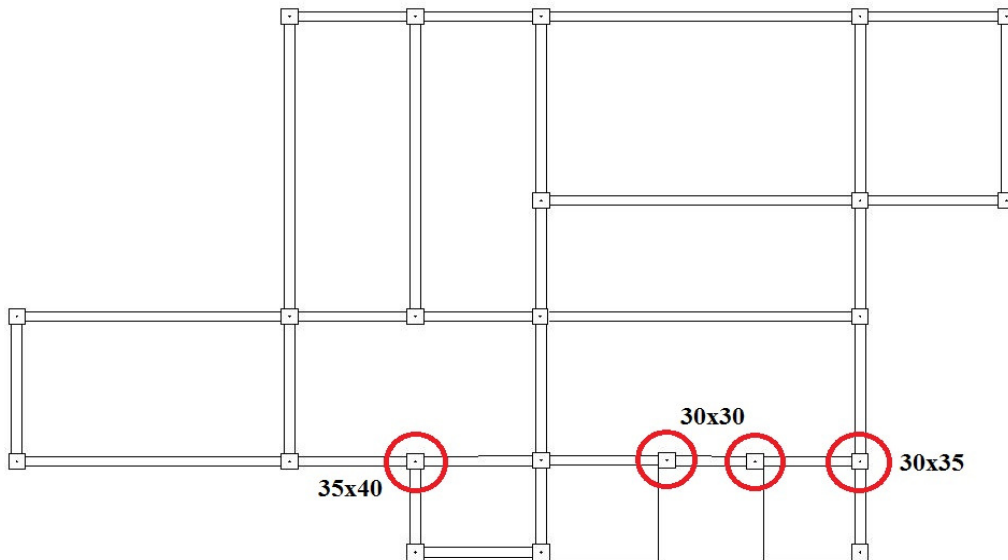
- Μέθοδος επίλυσης: «Δυναμική με μετατόπιση Μαζών»
- Αριθμός ιδιομορφών: 9
- Σπουδαιότητα κτιρίου: II (Συνήθη Κτίρια) – Συντελεστής $\gamma_I=1$
- Συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς q οριζόντια: 3.5 (και στις δύο διευθύνσεις)
- Συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς q κατακόρυφα: 1.75
- Συντελεστής Φάσματος λ : 1.0
- Κατηγορία εδάφους: B
- Συντελεστής θεμελίωσης θ : 1.0
- Συντελεστής Απόσβεσης ξ : 5.0% (οπλισμένο σκυρόδεμα)
- Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας 1^{ου} κτιρίου: II [1] με σεισμική επιτάχυνση εδάφους 0,16g
- Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας 2^{ου} κτιρίου: III [1] με σεισμική επιτάχυνση εδάφους 0,24g

2.3.4 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΤΟ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΚΤΙΡΙΩΝ

Εξαιτίας της διαφορετικής σεισμικής ζώνης έγιναν υποχρεωτικά ορισμένες αλλαγές στο φέροντα οργανισμό του 2^{ου} κτιρίου. Οι αλλαγές απεικονίζονται στις παρακάτω κατόψεις των ορόφων του. Υπενθυμίζεται πως τα υποστυλώματα του 1^{ου} κτιρίου στο σύνολο τους έχουν διαστάσεις 40cm x 40cm.



Σχήμα 3: Κάτοψη οροφής ισογείου 2ου Κτιρίου



Σχήμα 4: Κάτοψη οροφής 1ου ορόφου 2ου Κτιρίου

Σημειώνεται πως στον 3^ο όροφο δεν χρειάστηκαν αλλαγές στα υποστήλωματα. Οι αλλαγές που έγιναν στους δύο κατώτερους ορόφους κατά κύριο λόγο οφείλονται σε προβλήματα διάτμησης και πιο συγκεκριμένα στην απαίτηση δισδιαγώνιου οπλισμού και σε προβλήματα μέγιστου αριθμού διαμήκη οπλισμού σε συγκεκριμένη διατομή.

3.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΩΡΙΑΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ

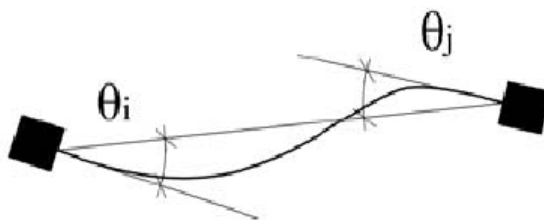
3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ PUSHOVER

Η μη γραμμική στατική ανάλυση Pushover είναι μια καινούρια έννοια για τον ελληνικό κανονισμό, με αποτέλεσμα να είναι σχετικά άγνωστη. Το βασικό της πλεονέκτημα σε σχέση με τις ελαστικές μεθόδους ανάλυσης που χρησιμοποιούνταν μέχρι σήμερα είναι ότι επιτρέπει στο μηχανικό να εκμεταλλευτεί, εκτός από την ελαστική, και την πλαστική περιοχή των υλικών των φερόντων στοιχείων ενός κτιρίου. Με αυτόν τον τρόπο η προσομοίωση της συμπεριφοράς των κτιρίων έναντι σεισμικών δράσεων γίνεται ρεαλιστικότερη.

Κατά την εφαρμογή της Pushover ανάλυσης η κατασκευή εξωθείται σταδιακά με μονότονα αυξανόμενη πλευρική φόρτιση μέχρι να φτάσει στην αστοχία. Σταδιακά σχηματίζονται πλαστικές αρθρώσεις κατά μήκος οποιουδήποτε στοιχείου-μέλους (δοκού, υποστυλώματος). Αυτές σχηματίζονται καθώς απομειώνεται σταδιακά η αντοχή των κόμβων που έχουν οριστεί ως ενδεχόμενες θέσεις σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων κατά μήκος των στοιχείων-μελών. Τελικά θα δημιουργηθεί μηχανισμός κατάρρευσης από τις σχηματιζόμενες πλαστικές αρθρώσεις στα δομικά στοιχεία της κατασκευής, των οποίων οι πλαστικές παραμορφώσεις θα είναι τέτοιες, που τα στοιχεία δεν θα μπορούν να παραλάβουν περαιτέρω ένταση και η κατασκευή θα οδηγηθεί στην αστοχία.

Αναπόσπαστο βήμα για την εφαρμογή της μεθόδου Pushover είναι ο καθορισμός της ανελαστικής συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων της κατασκευής η οποία περιγράφεται από διαγράμματα εντατικών μεγεθών με παραμορφώσεις. Δηλαδή είτε δυνάμεις με μετακινήσεις δ , είτε ροπές με στροφές θ και καμπυλότητες. Εάν καθοριστική της ανελαστικής συμπεριφοράς είναι η κάμψη, τότε τα κατάλληλα μεγέθη για την καμπύλη F- δ των δομικών στοιχείων είναι η ροπή κάμψης M με τη στροφή θ ή την καμπυλότητα C . Εάν καθοριστική της ανελαστικής συμπεριφοράς είναι η διάτμηση τότε το κατάλληλο διάγραμμα είναι η διατμητική δύναμη συναρτήσει της παραμόρφωσης.

Επειδή στα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα οι καμπτικές και οι διατμητικές παραμορφώσεις συνυπάρχουν, η καταλληλότερη επιλογή F και δ είναι η ροπή κάμψης M και η γωνία στροφής χορδής θ στα άκρα του στοιχείου, μέγεθος που υπεισέρχεται και στη διαδικασία αποτίμησης κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. Ως γωνία στροφής χορδής ορίζεται η γωνία μεταξύ της εφαπτομένης στον άξονα του στοιχείου στο άκρο υπό διαρροή και της χορδής που συνδέει το άκρο αυτό με το άκρο του ανοίγματος διάτμησης, δηλαδή το σημείο μηδενισμού των ροπών [10]. Στο Σχήμα 5 διακρίνεται απλοποιητικά η γραφική επεξήγηση της γωνίας στροφής χορδής.



Σχήμα 5: Γωνίες στροφής χορδής σε κάθε κόμβο μέλους [7]

3.2 ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Με την έννοια της στάθμης επιτελεστικότητας στην ουσία ο κύριος του έργου καθορίζει την κατάσταση στην οποία επιθυμεί να βρεθεί το κτίριο (δηλαδή το αποδεκτό επίπεδο βλαβών) έπειτα από σεισμό.

Οι στάθμες επιτελεστικότητας σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ και ορισμένες με βάση την οριακή γωνία στροφής είναι:

Περιορισμού βλαβών - Damage Limitation (DL) - $\theta < \theta_y$

Στην περίπτωση Περιορισμού βλαβών (DL) θα πρέπει οι βλάβες της κατασκευής να παραμείνουν σε χαμηλά επίπεδα, χωρίς να δυσχεραίνουν τη λειτουργία αυτής και χωρίς να τίθεται η ανθρώπινη ζωή σε κίνδυνο. Σε κανένα μέλος δε θα πρέπει η γωνία στροφής χορδής να ξεπεράσει την τιμή διαρροής ήτοι η κατασκευή θα πρέπει να παραμείνει ελαστική. Συνεπώς η εφαρμογή δυναμικής ή ελαστικής ανάλυσης είναι επίσης αποδεκτή.

Σημαντικών βλαβών - Severe Damage (SD) - $\theta \leq 0.75\theta_u$

Στην περίπτωση Σημαντικών βλαβών (SD) επιτρέπεται η εμφάνιση εκτεταμένων βλαβών στην κατασκευή αλλά χωρίς να διατρέχει κίνδυνο η σωματική ακεραιότητα ατόμων. Οι βλάβες θα πρέπει να είναι επισκευάσιμες. Στα μέλη επιτρέπεται η είσοδος της γωνίας στροφής χορδής στην ανελαστική περιοχή αλλά όχι η υπέρβαση του 0.75 της τιμής αστοχίας.

Οιονεί κατάρρευση - Near Collapse (NC) - $\theta < \theta_u$

Στην περίπτωση Οιονεί κατάρρευσης (NC) αναμένεται η εμφάνιση εκτεταμένων και πιθανότατα μη επισκευάσιμων βλαβών, που μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή. Η κατασκευή δύναται να φέρει κατακόρυφα φορτία αλλά η οριζόντια δυσκαμψία της έχει μειωθεί ιδιαίτερα και την καθιστά πολύ ευαίσθητη σε μετασεισμούς. Στα μέλη είναι δυνατή η ανάπτυξη μεγάλων ανελαστικών παραμορφώσεων και η εξάντληση των αντοχών της κατασκευής.

Παρακάτω δίνεται ο πίνακας με τις ορισμένες κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ στάθμες επιτελεστικότητας συνδυασμένες με σεισμό συγκεκριμένης πιθανότητας εμφάνισης (Στόχοι Αποτίμησης [2]). Στον πίνακα αυτό επίσης συμπεριλαμβάνονται επιπλέον συνδυασμοί οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία για την εξέταση της φέρουσας ικανότητας του κτιρίου.

Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών		Στάθμη Επιτελεστικότητας φέροντος οργανισμού		
		Άμεση χρήση μετά το σεισμό	Προστασία ζωής	Αποφυγή κατάρρευσης
1.	10%	A1	B1	Γ1
2.	50%	A2	B2	Γ2
3.	20%	A3	B3	Γ3
4.	5%	A4	B4	Γ4

Πίνακας 3.1

Οι γραμμές 1 και 2 του πίνακα 3.1 αντιστοιχούν στους ορισμένους από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ (Πιν.2.1) στόχους αποτίμησης ή ανασχεδιασμού φέροντος οργανισμού.

3.3 ΛΟΓΟΙ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΜΕΛΩΝ λ

Οι λόγοι επάρκειας λ (απαίτηση/ικανότητα) υποδεικνύουν εάν και κατά πόσο ένα μέλος του φέροντος οργανισμού έχει ξεπεράσει την οριακή τιμή γωνίας στροφής χορδής θ ($\lambda = \theta/\theta_{lim}$) ή τέμνουσας δύναμης ($\lambda = V/V_R$) που αντιστοιχούν στην κάθε στάθμη επιτελεστικότητας. Για τις στάθμες DL, SD, NC και για μετατόπιση ίση με την αντίστοιχη στοχευόμενη (βλέπε 3.5) υπολογίζονται οι λόγοι $\lambda = \theta/\theta_{lim}$ (Έλεγχος Στροφής) ενώ μόνο στην στάθμη NC υπολογίζεται

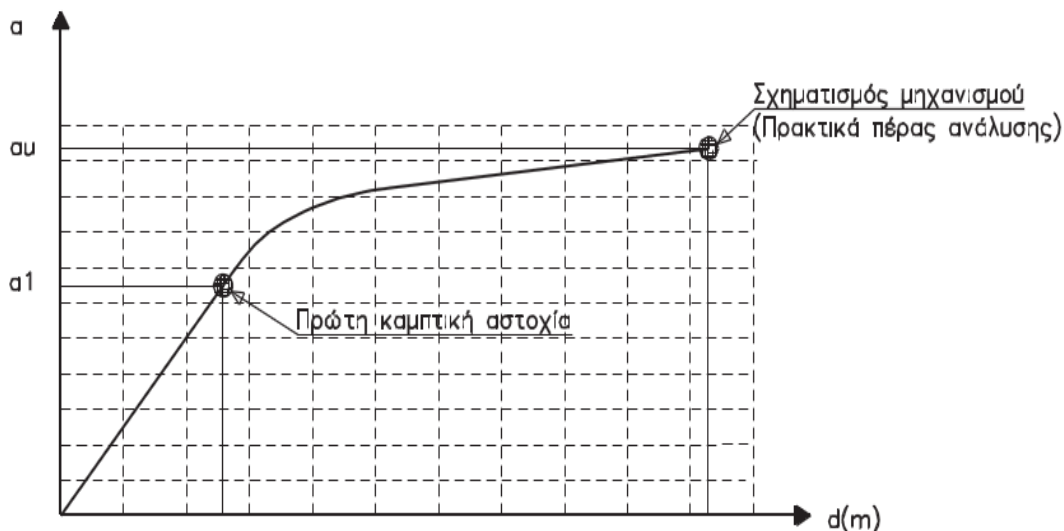
επίσης και ο λόγος $\lambda = V/V_R$ (Έλεγχος Διάτμησης). Εφόσον $\lambda \leq 1$, τότε το κριτήριο θεωρείται ότι ικανοποιείται, διαφορετικά το κτίριο δεν επαρκεί για την αντίστοιχη στάθμη επιτελεστικότητας [7].

3.4 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ α_u/α_1

Ως α_1 ορίζουμε την τιμή με την οποία πρέπει να πολλαπλασιαστούν τα οριζόντια φορτία ώστε να φτάσει κάποιο μέλος της κατασκευής στην καμπτική του αντοχή ενώ όλες οι άλλες φορτίσεις παραμένουν σταθερές (εμφάνιση της πρώτης πλαστικής άρθρωσης στο φέροντα οργανισμό).

Ως α_u ορίζουμε την τιμή οποία πρέπει να πολλαπλασιαστούν τα οριζόντια φορτία ώστε να δημιουργηθεί επαρκής αριθμός πλαστικών αρθρώσεων στο κτίριο για την αστάθεια του τελευταίου, ενώ όλες οι άλλες φορτίσεις παραμένουν σταθερές. Η τιμή του α_u προσδιορίζεται μέσω της μη γραμμικής στατικής ανάλυσης.

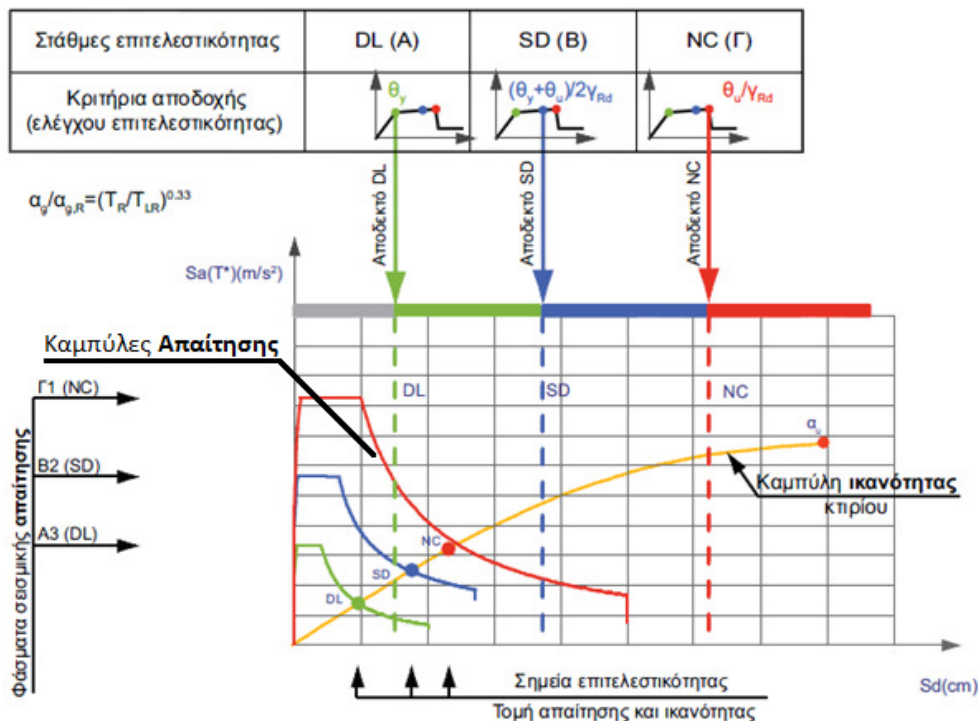
Συνεπώς, ο λόγος αυτός περιγράφει την ικανότητα της κατασκευής να καταναλώνει ενέργεια μέσω πλαστικών παραμορφώσεων. Μάλιστα ο λόγος αυτός χρησιμοποιείται από τον νέο Ευρωκώδικα 8 (EC8) για να προσδιορισθεί ο ενιαίος συντελεστής συμπεριφοράς q μιας κατασκευής [6].



Σχήμα 6: Διάγραμμα α-δ[7]

3.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΠΑΙΤΗΣΗΣ - ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Το πρόγραμμα [4] το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας των κτιρίων παρουσιάζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης μέσω του διαγράμματος Απαίτησης – Ικανότητας. Παρακάτω ακολουθεί η περιγραφή του διαγράμματος αυτού.



Σχήμα 7: Ενδεικτικό διάγραμμα Απαίτησης - Ικανότητας[7]

Το κτίριο πρέπει να έχει την Ικανότητα να αντιστέκεται στην Απαίτηση που επιβάλλει η σεισμική δράση (Φάσμα Σχεδιασμού) έτσι ώστε η συμπεριφορά του να είναι συμβατή με τους στόχους της επιλεγείσας Στάθμης Επιτελεστικότητας [8].

Καμπύλη Ικανότητας: Η ικανότητα της κατασκευής περιγράφεται από την καμπύλη Ικανότητας (τέμνουσα βάσης - μετακίνηση κορυφής) η οποία υπολογίζεται εφαρμόζοντας διαδοχικές ελαστικές αναλύσεις με σταδιακή αύξηση της τέμνουσας βάσης και υπολογισμό της μετακίνησης σε κάθε βήμα, λαμβάνοντας υπόψη τη μειωμένη δυσκαμψία των στοιχείων που έχουν διαρρεύσει [8].

Καμπύλη (Φάσμα) Απαίτησης: Στην ουσία είναι μια τροποποιημένη μορφή της καμπύλης του φάσματος σχεδιασμού. Το διάγραμμα του φάσματος σχεδιασμού μετατρέπεται σε διάγραμμα απαιτούμενου φάσματος (ADRS) βάσει ορισμένων προκαθορισμένων σχέσεων [9].

Θέλοντας την καμπύλη ικανότητας να συνυπάρχει στο ίδιο διάγραμμα με την καμπύλη απαίτησης, η καμπύλη ικανότητας μετατρέπεται σε καμπύλη επιτάχυνσης μετατόπισης $S_a - S_d$ για το ισοδύναμο σύστημα ενός βαθμού ελευθερίας.

Στοχευόμενη Μετακίνηση (σημεία DL, SD, NC): Στοχευόμενη μετακίνηση δ_i είναι η μετακίνηση του κόμβου ελέγχου που προκαλείται από τη σεισμική δράση (αποτίμησης ή ανασχεδιασμού). Η φιλοσοφία καθορισμού των σημείων αυτών αντιστοιχεί στην εξισορρόπηση της απαίτησης και της αντοχής της κατασκευής. Σε διάγραμμα ADRS όπως το παραπάνω η εξισορρόπηση αυτή αντιστοιχεί στο σημείο τομής της καμπύλης ικανότητας και της καμπύλης απαίτησης.

Οριακές τιμές Παραμορφώσεων (Διακεκομμένες γραμμές DL, SD, NC): Υποδεικνύουν τις οριακές τιμές μετακίνησης του κόμβου ελέγχου για τις οποίες η παραμόρφωση κάθε στοιχείου του φορέα να παραμένει κάτω από την οριακή τιμή σύμφωνα με την εκάστοτε επιλεγμένη Στάθμη Επιτελεστικότητας.

Συνοψίζοντας, σε διάγραμμα ADRS (Σχήμα 6) οι απαιτήσεις αντοχής του φορέα σε συγκεκριμένη σεισμική δράση απεικονίζονται με τα σημεία DL, SD, NC ενώ η πραγματική αντοχή του φορέα για συγκεκριμένη στάθμη επιτελεστικότητας και την ίδια σεισμική δράση υποδεικνύεται με τις διακεκομμένες γραμμές DL, SD, NC. Επομένως όταν κάποιο από τα σημεία DL, SD, NC βρίσκεται πριν την αντίστοιχη διακεκομμένη γραμμή DL, SD, NC τότε ο φορέας επαρκεί για τη συγκεκριμένη Στάθμη.

4. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ

4.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ

4.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο πρώτο στάδιο της εργασίας σχεδιάστηκαν και διαστασιολογήθηκαν δύο κτίρια κατά ΕΑΚ2000 και ΕΚΩΣ2000. Το 1^ο κτίριο διαστασιολογήθηκε για σεισμική ζώνη II κατά ΕΑΚ2000 και σεισμική επιτάχυνση εδάφους 0,16g. Για την εξαγωγή αποτελεσμάτων με μεγαλύτερο ενδιαφέρον θεωρήθηκε πως το συγκεκριμένο κτίριο είναι χτισμένο σε μια περιοχή (π.χ. Νομός Ευρυτανίας) την οποία ο ΕΑΚ2000 κατέτασσε ως περιοχή σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους 0,16g ενώ με την αναθεώρηση του ΕΑΚ το 2003 κατατάχθηκε σε σεισμική ζώνη εδαφικής επιτάχυνσης 0,24g. Αυτό σημαίνει ότι η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής θα πρέπει να γίνει με την τωρινή τιμή της σεισμικής επιτάχυνσης δηλαδή την 0,24g. Αυτή η επιλογή έγινε κυρίως για δύο λόγους. Αρχικά επειδή μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για το πόσο συντηρητικός ήταν ο ΕΑΚ2000 στη διαστασιολόγηση των κτιρίων, αλλά και επειδή υπάρχει ανάγκη να διαπιστωθεί κατά πόσο υπάρχουν στον ελλαδικό χώρο νεότερα κτίσματα τα οποία χρίζουν ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας τους σύμφωνα με τον νέο κανονισμό επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ).

Το 2^ο κτίριο έχει διαστασιολογηθεί για σεισμική επιτάχυνση εδάφους 0,24g και αποτελεί ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα ενός νέου κτιρίου διαστασιολογημένου όσο γίνεται οικονομικότερα. Από το 2^ο κτίριο τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν είναι κατά πόσο ένα νεότερο κτίριο επαρκεί στις διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ, και εφόσον επαρκεί, τι περιθώρια έχει το κτίριο σε σεισμούς μεγαλύτερης έντασης.

4.1.2 ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΠΟΤΙΜΙΣΗΣ

Οι επιλογές που έγιναν για την αποτίμηση του κτιρίου είναι οι εξής:

- Σεισμική Ζώνη: Z2 (EC8)
- Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση ag_R : 0,24g
- Συντελεστής Σπουδαιότητας γ_I : 1
- Σπουδαιότητα Κτιρίου: II (Συνήθη κτίρια)
- Ζώνη Σχεδιασμού: 50 έτη
- Πιθανότητα υπέρβασης PLR: 10%
- Εκθέτης k : 3
- Περίοδο επαναφοράς TLR: 475 έτη
- 1^η κατανομή φόρτισης pushover: Ομοιόμορφη
- 2^η κατανομή φόρτισης pushover: Ιδιομορφική
- Μέθοδος επίλυσης: Μέθοδος μετατοπίσεων
- Υπολογισμός φαινομένων δευτέρας τάξης P-Δ: Ναι
- Πλήθος αξονικών (αλληλεπίδραση N-My-Mz): 5
- Υπολογισμός Στοχευόμενης Μετακίνησης: Μέθοδος Φασματικής Ικανότητας
- Επιρροή Περίσφιγξης στα διαγράμματα αντοχής: Ναι

Κριτήρια ορίων σταθμών επιτελεστικότητας:

- Άμεση χρήση μετά το σεισμό (DL): 1^η διαρροή δοκού ή υποστηλώματος

- Προστασία ζωής (SD): 1^η υπέρβαση ορίου σε υποστύλωμα ή δοκό ($\theta < (\theta_y + \theta_u) / 2\gamma_{Rd}$)
- Αποφυγή κατάρρευσης (NS): 1^η αστοχία υποστυλώματος ή κύριας δοκού

Οι Στόχοι επιτελεστικότητας για τους οποίους αποτιμήθηκαν οι κατασκευές είναι αυτοί του Πίνακα 3.1.

4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ

Επειτα από πολλαπλές αναλύσεις pushover και στα με τη χρήση του προγράμματος Fespa Master 10R [7] εξήχθησαν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

ΚΤΙΡΙΟ 1^ο (διαστασιολογημένο για σεισμική επιτάχυνση εδάφους 0,16g)

Στόχος Αποτίμησης	Στάθμη Επιτελεστικότητας	Πιθανότητα Υπέρβασης	agR	Επάρκεια	λ (max)
A1	Άμεση χρήση μετά το σεισμό (DL)	10%	0.240	OXI	>1
A2		50%	0.128	OXI	>1
A3		20%	0.187	OXI	>1
A4		5%	0.305	OXI	>1
B1	Προστασία ζωής (SD)	10%	0.240	OXI	>1
B2		50%	0.128	ΝΑΙ	0,60 (Δοκός - Έλεγχος Στροφής)
B3		20%	0.187	OXI	>1
B4		5%	0.305	OXI	>1
Γ1	Αποφυγή κατάρρευσης (NS)	10%	0.240	OXI	>1
Γ2		50%	0.128	ΝΑΙ	0,78 (Δοκός - Έλεγχος Διάτμησης)
Γ3		20%	0.187	OXI	>1
Γ4		5%	0.305	OXI	>1

Πίνακας 4.1

Ελάχιστη τιμή λόγου υπεραντοχής 1ου κτιρίου α_u/α_1 :

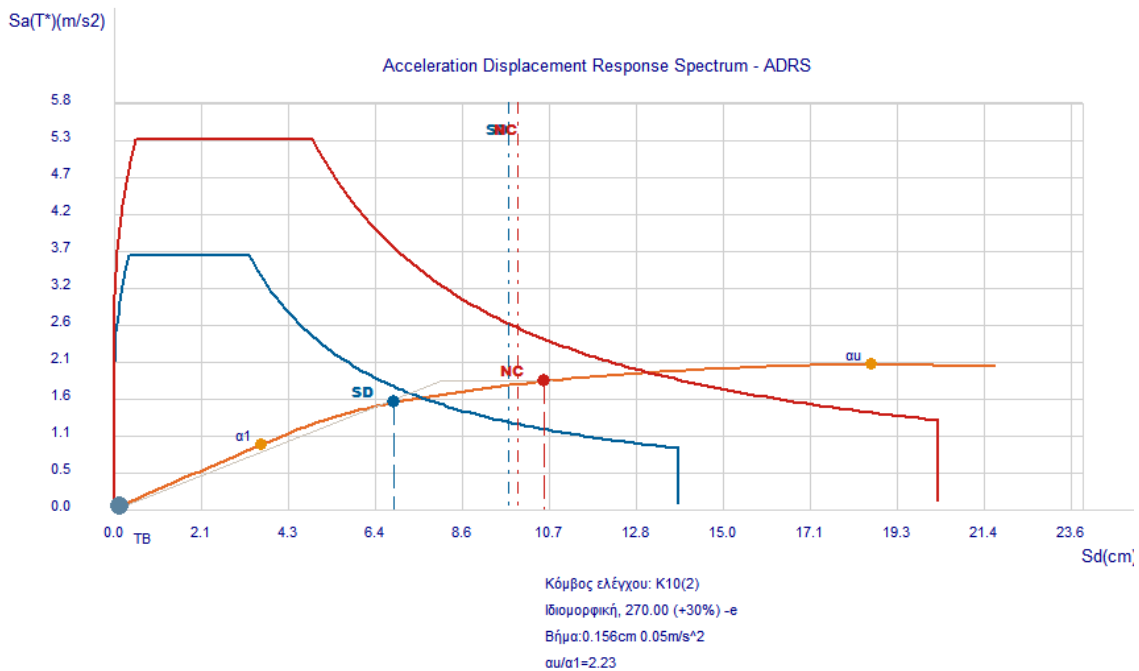
- Διεύθυνση x : 2,16
- Διεύθυνση z : 1,74

Παρατηρήσεις

Από τον πίνακα 4.1 βγαίνει το συμπέρασμα πως το συγκεκριμένο κτίριο επαρκεί μόνο για τους στόχους αποτίμησης B2 και Γ2. Αυτό σημαίνει πως ενδέχεται ένα κτίριο το οποίο είναι χτισμένο μεταξύ της περιόδου 2000-2003, σε περιοχή στην οποία η τιμή της σεισμικής επιτάχυνσης τροποποιήθηκε με τον ΕΑΚ 2003 (από 0,16g σε 0,24g), θα χρειαστεί ενίσχυση, εκτός αν ο κύριος του έργου έχει επιλέξει ως στόχο αποτίμησης μία από τις κατηγορίες B2, Γ2.

Παρόλα αυτά οι κατηγορίες B2, Γ2 είναι αποδεκτές από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Εδώ θα πρέπει να παρατηρηθεί πως οι μέγιστοι λόγοι επάρκειας μέλους στις κατηγορίες B2 και Γ2 είναι 0,6 και 0,78 αντίστοιχα, πράγμα που σημαίνει πως υπάρχει ένα επαρκές περιθώριο ανάληψης μεγαλύτερης σεισμικής δράσης. Με μια πιο σχολαστική παρατήρηση του πίνακα 4.1

παρατηρείται πως το 1^ο κτίριο επαρκεί για σεισμική επιτάχυνση 0,128g αλλά όχι για επιτάχυνση 0,187g. Στόχος μιας επόμενης εργασίας θα μπορούσε να είναι ο ακριβής υπολογισμός της σεισμικής επιτάχυνσης που μπορεί να αντέξει το κτίριο και πόσο κοντά είναι αυτή στην αρχική τιμή επιτάχυνσης 0,16g για την οποία διαστασιολογήθηκε το κτίριο. Βέβαια, αναφερόμαστε πάντα για στάθμη επιτελεσματικότητας Προστασίας Ζωής ή Αποφυγής Κατάρρευσης. Θέλοντας να σταθούμε λίγο περισσότερο στον στόχο αποτίμησης Γ3 παρουσιάζεται παρακάτω το διάγραμμα - απαίτησης ικανότητας για στόχους αποτίμησης Β2 και Γ3. Εκεί διακρίνεται πόσο κοντά στην οριακή τιμή βρίσκεται η στοχευόμενη μετακίνηση του κόμβου ελέγχου για κατηγορία αποτίμησης Γ3. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τον λόγο επάρκειας λ όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση παίρνει μέγιστη τιμή $\lambda=1,08$, μια τιμή αρκετά κοντά στην οριακή τιμή $\lambda=1$.



Σχήμα 8: Διάγραμμα Απαίτησης Ικανότητας για κατηγορίες Β2, Γ3

ΚΤΙΡΙΟ 2° (διαστασιολογημένο για σεισμική επιτάχυνση εδάφους 0,24g)

<u>Στόχος Αποτίμησης</u>	<u>Στάθμη Επιτελεστικότητας</u>	<u>Πιθανότητα Υπέρβασης</u>	<u>agR</u>	<u>Επάρκεια</u>	<u>λ (max)</u>
A1	Άμεση χρήση μετά το σεισμό (DL)	10%	0.240	OXI	>1
A2		50%	0.128	NAI	0,89 (Δοκός-Έλεγχος Στροφών)
A3		20%	0.187	OXI	>1
A4		5%	0.305	OXI	>1
B1	Προστασία ζωής (SD)	10%	0.240	NAI	0,79 (Δοκός-Έλεγχος Στροφών)
B2		50%	0.128	NAI	0,38 (Δοκός-Έλεγχος Στροφών)
B3		20%	0.187	NAI	0,49 (Δοκός-Έλεγχος Στροφών)
B4		5%	0.305	OXI	>1
Γ1	Αποφυγή κατάρρευσης (NS)	10%	0.240	NAI	0,81 (Δοκός-Έλεγχος Διάτμησης)
Γ2		50%	0.128	NAI	0,46 (Δοκός-Έλεγχος Διάτμησης)
Γ3		20%	0.187	NAI	0,70 (Δοκός-Έλεγχος Διάτμησης)
Γ4		5%	0.305	OXI	0,99 (Δοκός-Έλεγχος Διάτμησης)

Πίνακας 4.2

Ελάχιστη τιμή λόγου υπεραντοχής 1ου κτιρίου α_u/α_1 :

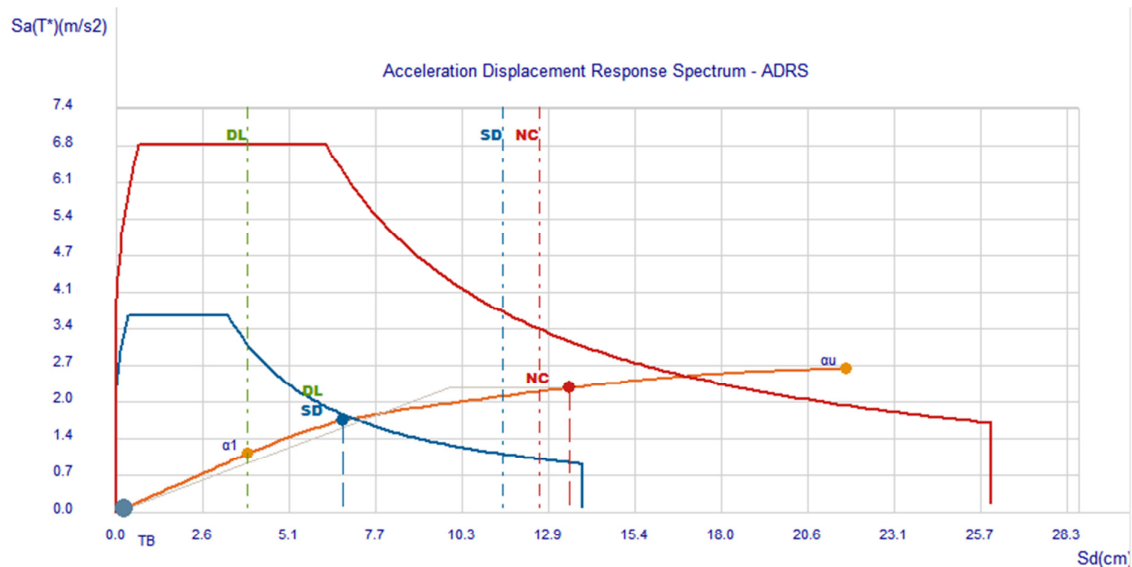
- Διεύθυνση x : 1.64
- Διεύθυνση z : 1.43

Παρατηρήσεις:

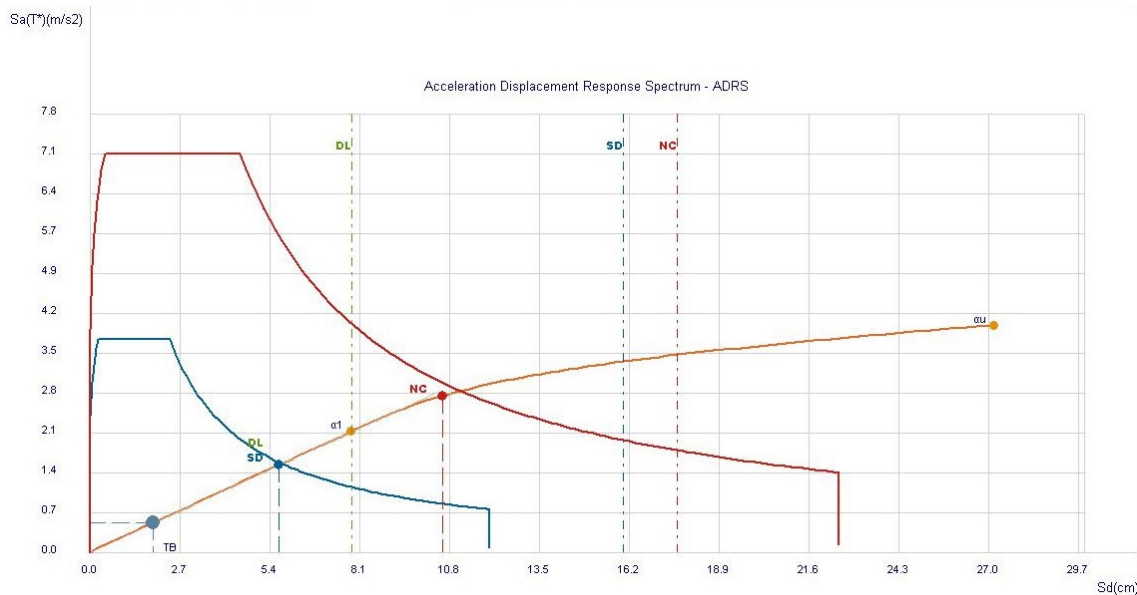
Από τον πίνακα 4.2 μπορεί να εξαχθούν μερικά πολύ ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Αρχικά, παρατηρείται πως ένα πολύ οικονομικά διαστασιολογημένο κτίριο κατά ΕΑΚ/ΕΚΩΣ2000 επαρκεί σχεδόν σε όλους τους στόχους αποτίμησης που εισάγονται με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ (εξαιρείται η πολύ συντηρητική κατηγορία για συνήθη κτίρια, A1). Έτσι συμπεραίνεται πως οι διατάξεις των κανονισμών ΕΑΚ/ΕΚΩΣ2000 εξασφαλίζουν ικανοποιητικό επίπεδο ασφάλειας για συνήθεις στόχους αποτίμησης. Μάλιστα με μια σχολαστικότερη παρατήρηση του πίνακα 4.2 συμπεραίνεται πως το κτίριο οριακά δεν επαρκεί για τον εξαιρετικά δυσμενή στόχο αποτίμησης της κατηγορίας Γ4. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει από την οριακή τιμή του λόγου επάρκειας μέλους $\lambda=0,99$, έχοντας ως επιτρεπτό όριο την τιμή $\lambda=1$. Αυτό σημαίνει ότι με μία ελάχιστα συντηρητικότερη διαστασιολόγηση του κτιρίου, ο στόχος αποτίμησης Γ4 θα ικανοποιούταν. Η μη επάρκεια του κτιρίου για τους στόχους αποτίμησης A3, A4, B4 είναι αναμενόμενη και δεν προκαλεί κάποια ανησυχία για το επίπεδο ασφάλειας του κτιρίου. Αξιοσημείωτο είναι επίσης ότι ο μέγιστος λόγος επάρκειας μέλους για την κατηγορία B1 είναι $\lambda=0,79$ που σημαίνει ότι το κτίριο για στάθμη επιτελεστικότητας Προστασίας Ζωής, έχει περιθώριο ανάληψης επιπλέον σεισμικής επιτάχυνσης από την τιμή 0,24g.

4.3 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΚΤΙΡΙΩΝ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα Απαιτήσης – Ικανότητας των δύο κτιρίων για κοινούς στόχους αποτίμησης A2, B2, Γ1.



Σχήμα 9: 1ο Κτίριο: Διάγραμμα ADRS για στόχους A2 - B2 - Γ1



Σχήμα 10: 2ο Κτίριο: Διάγραμμα ADRS για στόχους A2-B2-Γ1

Για την συγκεκριμένη σύγκριση επιλέχθηκαν στόχοι αποτίμησης της φέρουσας ικανότητας που περιλαμβάνονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ (Πιν.2.1). Το βασικότερο συμπέρασμα είναι πως το 2^ο κτίριο το οποίο έχει διαστασιολογηθεί για μέγιστη σεισμική επιτάχυνση εδάφους ίδια με εκείνη που ελέγχεται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ (0,24g) παρουσιάζει πολύ καλύτερη συμπεριφορά και επαρκεί και για τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας που ελέγχθηκαν. Αντίθετα, το 1^ο

κτίριο που ελέγχθηκε για μέγιστη σεισμική επιτάχυνση μεγαλύτερη από αυτή που διαστασιολογήθηκε (0,24g έναντι 0,16g) επαρκεί μόνο στη στάθμη Ασφάλειας ζωής (SD).

5. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η παρούσα μελέτη:

- Κτίρια διαστασιολογημένα σύμφωνα με τους κανονισμούς ΕΚΩΣ και ΕΑΚ2000 και τα οποία έχουν διαστασιολογηθεί για σεισμική ζώνη ΙΙΙ με σεισμική επιτάχυνση εδάφους 0,24g και παρέμειναν στην ίδια σεισμική ζώνη και μετά την αναθεώρηση του ΕΑΚ το 2003 (μετονομασία σε σεισμική ζώνη ΙΙ) δεν χρειάζονται ενίσχυση για τους συνήθεις στόχους αποτίμησης κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.
- Κτίρια διαστασιολογημένα σύμφωνα με τους κανονισμούς ΕΚΩΣ και ΕΑΚ2000 και τα οποία έχουν διαστασιολογηθεί για σεισμική ζώνη ΙΙ με σεισμική επιτάχυνση εδάφους 0,16g και δεν παρέμειναν στην ίδια σεισμική ζώνη μετά την αναθεώρηση του ΕΑΚ το 2003 (αλλαγή σε σεισμική ζώνη ΙΙ κατά ΕΑΚ2003) ενδεχομένως να χρειαστούν ενίσχυση αν ο κύριος του έργου επιλέξει στόχο αποτίμησης συντηρητικότερο των Β2, Γ2 κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ (Πιν.2.1). Παραδείγματα αλλαγής της σεισμικής ζώνης είναι περιοχές των νομών Ευρυτανίας, Άρτας, Αιτωλοακαρνανίας όπως και οι Βόρειες Σποράδες του νομού Μαγνησίας.
- Κτίρια διαστασιολογημένα σύμφωνα με τους κανονισμούς ΕΚΩΣ και ΕΑΚ2000 έχουν μεγάλη πιθανότητα να αποφύγουν την κατάρρευση υποβαλλόμενα σε σεισμική δράση αρκετά μεγαλύτερη από εκείνη για την οποία διαστασιολογήθηκαν.
- Σε κτίρια διαστασιολογημένα σύμφωνα με τις ελάχιστες απαιτήσεις οπλισμού κατά ΕΚΩΣ και ΕΑΚ2000 η αστοχία των δοκαριών προηγείται αυτής των υποστρωμάτων, ένας τρόπος αστοχίας που είναι επιθυμητός.
- Σε κτίρια διαστασιολογημένα σύμφωνα με τους κανονισμούς ΕΚΩΣ και ΕΑΚ2000 παρατηρείται μεγάλη ικανότητα κατανάλωσης σεισμικής ενέργειας μέσω της δημιουργίας πλαστικών παραμορφώσεων. Αυτό σημαίνει πως ακόμη και μετά την διαρροή ορισμένων στοιχείων του φέροντα οργανισμού το κτίριο εξακολουθεί να απέχει αρκετά από το σημείο κατάρρευσης.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΕΑΚ 2000
- [2] ΚΑΝ.ΕΠΕ
- [3] ΕΑΚ 2003
- [4] LH Logismiki
- [5] EC7 Geotechnical design – EC7-1 § 5.2.2.2
- [6] EC8-1, § 6.5.2
- [7] Βοηθητικά κείμενα της LH Logismiki
- [8] Δρ. Μώκος Γ. Β., “Ο.Α.Σ.Π. – Κανονισμός Επεμβάσεων”
<http://www.oasp.gr/userfiles/file/Mokos.pdf>
- [9] Παπαδρακάκης Μ., “Μαθήματα Στατικής V, Πλαστική Ανάλυση Ραβδωτών Φορέων - Σύγχρονοι Μέθοδοι”, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις ΕΜΠ., Αθήνα, 2003
[http://users.civil.ntua.gr/papadrakakis/files/courses/u_statics_5/Statiki_V_\(Part_II\).pdf](http://users.civil.ntua.gr/papadrakakis/files/courses/u_statics_5/Statiki_V_(Part_II).pdf)
- [10] Σπύρου Δ., “Αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητας Υφισταμένου κτιρίου οπλισμένου σκυροδέματος & Ενισχύσεις”, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, 2011.
http://dSPACE.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/5416/3/spiroud_concrete.pdf