

ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΣΥΜΜΙΚΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

Γιάννης Βάγιας
Καθηγητής Ε.Μ.Π
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών
Αθήνα
e-mail : vastahl@central.ntua.gr

Βασίλης Σαραντόπουλος
Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., Μ.Δ.Ε. Δ.Σ.Α.Κ. Ε.Μ.Π.
Αθήνα,
e-mail: vsarand@gmail.com

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία έχει στόχο την τεχνικοοικονομική αξιολόγηση εναλλακτικών συστημάτων πλευρικής ευστάθειας κτιρίου γραφείων από σύμμικτη κατασκευή. Προς τούτο εξετάζεται διώροφο κτίριο του οποίου η πλευρική ευστάθεια εξασφαλίζεται με διαφορετικά συστήματα δυσκαμψίας. Η αξιολόγηση γίνεται για τέσσερα συστήματα και όλες τις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας του ΕΑΚ. Το πρώτο στατικό σύστημα αποτελείται από χωρικά πλαίσια ενώ στα υπόλοιπα τρία η πλευρική ευστάθεια ενισχύεται με κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας. Εξετάζονται κλασσικοί κεντρικοί σύνδεσμοι μορφής X, κεντρικοί σύνδεσμοι X με συνδέσεις απορρόφησης ενέργειας τύπου INERD και έκκεντροι σύνδεσμοι. Οι δώδεκα λύσεις που προκύπτουν μελετώνται βάσει των ισχυρότων κανονισμών και κατόπιν αξιολογείται η οικονομικότητα και η αποδοτικότητα του σχεδιασμού τους. Μέσω ανελαστικών αναλύσεων μελετάται η συμπεριφορά, η επάρκεια και η ασφάλεια των λύσεων, τόσο για το σεισμό σχεδιασμού όσο και για υπέρβασή του σε επίπεδα ανώτερα των απαιτήσεων του σχεδιασμού. Τέλος ορίζεται σύνθετο κριτήριο με το οποίο αξιολογείται η επίδοση κάθε λύσης σε ασφάλεια και κόστος.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

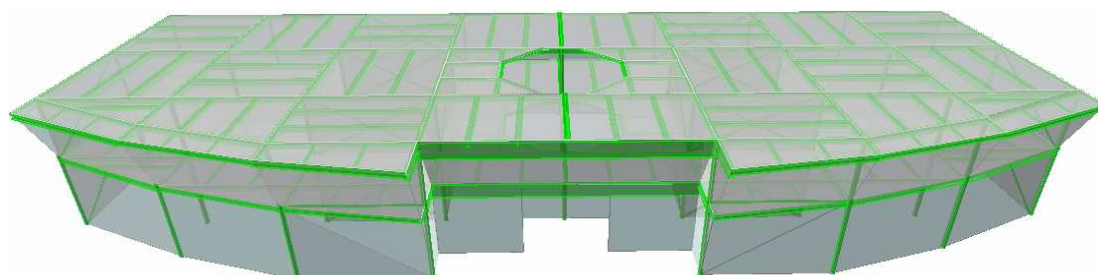
Η πλευρική ευστάθεια μεταλλικών κτιρίων εξασφαλίζεται με διάφορα συστήματα δυσκαμψίας όπως επίπεδα περιμετρικά ή χωρικά πλαίσια, κεντρικούς συνδέσμους μορφής X, Λ ή V, έκκεντρος συνδέσμους διαφόρων μορφών, τοιχεία χαλύβδινα, σύμμικτα ή από σκυρόδεμα κλπ. Οι επιδόσεις των ανωτέρω συστημάτων ποικίλλουν τόσο από τεχνική όσο και από οικονομική άποψη. Η δυσκαμψία και η ολκιμότητα κάθε συστήματος διαφέρει, ώστε δεν είναι κατ' αρχήν σαφές ποιό είναι το βέλτιστο σύστημα ως προς τη σεισμική συμπεριφορά. Επιπροσθέτως τόσο το κόστος κατασκευής όσο και το κόστος επισκευής

μετά από ενδεχόμενο σεισμό ποικίλλουν για κάθε σύστημα ώστε δεν είναι γνωστό εξ' αρχής το οικονομικά αποδοτικότερο σύστημα δυσκαμψίας. Τέλος η αποτελεσματικότητα του σχεδιασμού ενός δομικού έργου εξαρτάται από την ασφάλεια που είναι σε θέση αυτό να παράσχει τόσο στις προβλεφθείσες από τους κανονισμούς όσο και σε δυσμενέστερες αυτών συνθήκες.

Είναι λοιπόν εξαιρετικά σημαντικό να γνωρίζουν όλοι όσοι εμπλέκονται στη διαδικασία μελέτης ενός τεχνικού έργου ότι οι κανονισμοί εξασφαλίζουν τη δημιουργία κτιρίων αποδεκτά ασφαλών αλλά όχι βέλτιστων, αναφορικά με το κόστος, τη συμπεριφορά, την ικανότητα και τα επίπεδα ασφάλειάς τους. Σε αυτή την κατεύθυνση μπορεί να συνδράμει η χρησιμοποίηση κατάλληλων εργαλείων τεχνικοοικονομικής αξιολόγησης του παραγόμενου σχεδιασμού. Ένα τέτοιο εργαλείο θα μπορούσε να αποτελέσει η προτεινόμενη διαδικασία της παρούσας εργασίας ως απλή, γρήγορη, εποπτική και αξιόπιστη.

3. ΑΞΙΟΛΟΓΟΥΜΕΝΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΣΥΜΜΙΚΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΓΡΑΦΕΙΩΝ

Εξετάζεται διώροφο κτίριο γραφείων συνολικής επιφάνειας 3000m² περίπου (Σχ. 1). Δεδομένων των αρχιτεκτονικών και λειτουργικών περιορισμών είναι δυνατή η χρήση συγκεκριμένων φατνωμάτων για την τοποθέτηση κατακόρυφων συστημάτων δυσκαμψίας. Το σύστημα παραλαβής των κατακόρυφων φορτίων είναι κοινό στο σύνολο των λύσεων με τις πλάκες και τις δευτερεύουσες δοκούς να έχουν σύμμικτη λειτουργία, ενώ οι κύριες δοκοί και τα υποστυλώματα λειτουργούν ως αμιγώς μεταλλικά μέλη. Τα εξεταζόμενα συστήματα εξασφάλισης της πλευρικής ευστάθειας και οι σχεδιαζόμενες λύσεις που προκύπτουν για τις τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας παρουσιάζονται στον Πίν. 1.



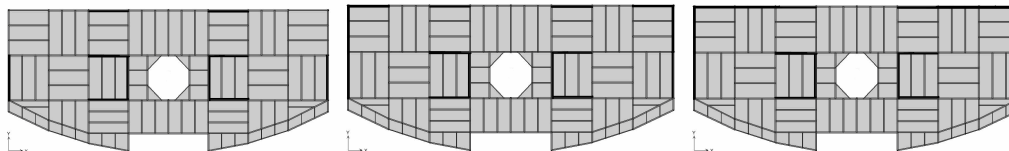
Σχ. 1. Μελετούμενο κτίριο γραφείων

Σύστημα Δυσκαμψίας	Συντελεστής Συμπεριφοράς η	Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού A		
		A=0.16g	A=0.24g	A=0.36g
1. Χωρικά πλαίσια	4	Κτίριο 1	Κτίριο 2	Κτίριο 3
2. Χωρικά πλαίσια ενισχυμένα με χιαστί συνδέσμοις	3	Κτίριο 4	Κτίριο 5	Κτίριο 6
3. Χωρικά πλαίσια ενισχυμένα με χιαστί συνδέσμοις τύπου INERD	4	Κτίριο 7	Κτίριο 8	Κτίριο 9
4. Χωρικά πλαίσια ενισχυμένα με έκκεντρους συνδέσμοις δυσκαμψίας.	4	Κτίριο 10	Κτίριο 11	Κτίριο 12

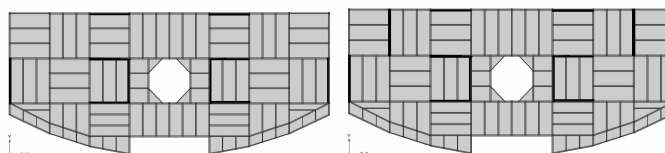
Πίν. 1. Χαρακτηριστικά αξιολογούμενων λύσεων

3.1 ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ

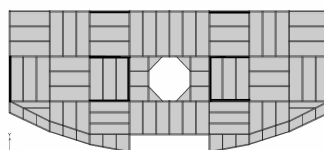
Στα κτίρια 1, 2 και 3 τα χωρικά πλαίσια αναλαμβάνουν την εξασφάλιση την πλευρικής ευστάθειας ενώ στα κτίρια 4 έως 12 η πλευρική δυσκαμψία των κτιρίων ενισχύεται με την προσθήκη συνδέσμων δυσκαμψίας. Ο αριθμός, ο τύπος και η θέση των συνδέσμων δυσκαμψίας μεταβάλλονται κατάλληλα συναρτήσει των απαιτήσεων σχεδιασμού. Η θέση των συνδέσμων δυσκαμψίας στην κάτοψη του κτιρίου δίνεται στα Σχ. 2-4.



Σχ. 2. Τοπολογία συνδέσμων δυσκαμψίας κτιρίων 4, 5 και 6 αντίστοιχα



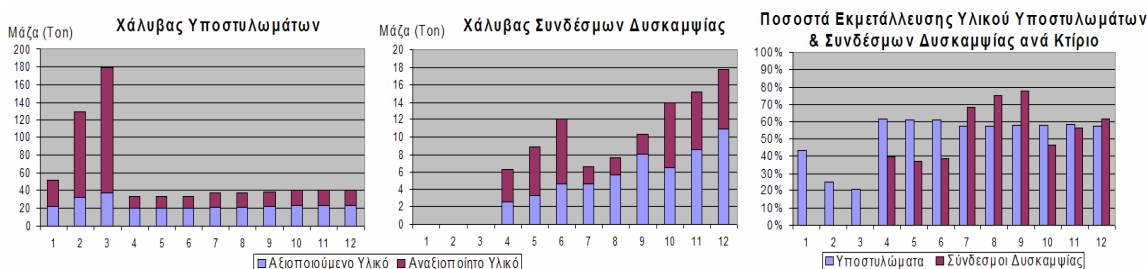
Σχ. 3. Τοπολογία συνδέσμων δυσκαμψίας κτιρίων 7, 8 (αριστερά) και 9 (δεξιά)



Σχ. 4. Τοπολογία συνδέσμων δυσκαμψίας κτιρίων 10, 11 και 12 αντίστοιχα

4. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΛΥΣΕΩΝ

Ως κριτήριο αξιολόγησης λαμβάνεται το συνολικό βάρος και το ποσοστό εκμετάλλευσης των υποστυλωμάτων και των συνδέσμων δυσκαμψίας, οριζόμενο ως ο λόγος απαίτησης – ικανότητας σε επίπεδο σχεδιασμού. Οι κύριες δοκοί δεν συμπεριλαμβάνονται στο κριτήριο καθώς ο σχεδιασμός τους δεν επηρεάζεται, στο συγκεκριμένο κτίριο, από το σύστημα δυσκαμψίας. Τα στατιστικά στοιχεία των σχεδιασμών που ενδιαφέρουν για την αξιολόγηση της οικονομικότητας και της αποδοτικότητάς τους δίνονται στο Σχ. 5.



Σχ. 5. Στατιστικά στοιχεία σχεδιασμών

5. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ, ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΛΥΣΕΩΝ

Για την περαιτέρω διερεύνηση της συμπεριφοράς των διαφόρων συστημάτων στο σεισμό, τον προσδιορισμό του σημείου επιτελεστικότητας και του επιπέδου ασφάλειας που εξασφαλίζει η χρήση τους, πραγματοποιήθηκαν μη γραμμικές στατικές αναλύσεις. Η προσομοίωση των πλαστικών αρθρώσεων, οι οποίες αναμένεται να σχηματισθούν σε συγκεκριμένες θέσεις του φορέα κατά την είσοδό του στη μετελαστική περιοχή, γίνεται σύμφωνα με το κείμενο FEMA 273 ενώ εφαρμόζεται η Μέθοδος Φάσματος Ικανότητας του ATC 40 για τη διερεύνηση της απόκρισης της κατασκευής στη σεισμική διέγερση.

Τα εξετασθέντα επίπεδα επιτελεστικότητας είναι:

- Επίπεδο Άμεσης Κατάληψης (Immediate Occupancy – IO)
- Επίπεδο Ασφάλειας Ζωής (Life Safety - LS)
- Επίπεδο Αποφυγής Κατάρρευσης (Collapse Prevention – CP)

5.1 ΒΗΜΑΤΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Τα βήματα της ακολουθούμενης διαδικασίας αποτίμησης της συμπεριφοράς, της ικανότητας καθώς επίσης και της ασφάλειας κάθε λύσης, είναι τα εξής:

1. Εφαρμογή Μεθόδου Φάσματος Ικανότητας.
2. Ορισμός και Εξεύρεση Χαρακτηριστικών Σημείων Ικανότητας, Συμπεριφοράς & Επιτελεστικότητας. Το σημείο CP ορίζεται ως χαρακτηριστικό της ικανότητας του κτιρίου, το σημείου «στόχος» P.P (Performance Point) ως χαρακτηριστικό της συμπεριφοράς ενώ τα σημεία IO και LS ως χαρακτηριστικά της επιτελεστικότητας κάθε σχεδιασμού.
3. Κανονικοποίηση Καμπύλης Ικανότητας ως προς το Βάρος.
4. Τοποθέτηση Χαρακτηριστικών Σημείων στην Κανονικοποιημένη ως προς το Βάρος Καμπύλη Ικανότητας.
5. Διγραμμοποίηση Καμπύλης Ικανότητας.
6. Υπολογισμός Συντελεστών Συμπεριφοράς q.
7. Καταγραφή Αριθμού και Επιπέδου Επιτελεστικότητας Σχηματιζόμενων Πλαστικών Αρθρώσεων σε καθένα από τα Χαρακτηριστικά Σημεία.
8. Κατανάλωση Ενέργειας στα Χαρακτηριστικά Σημεία.
9. Υπολογισμός Επιμέρους Συντελεστών Ασφάλειας Έναντι Κατάρρευσης.
10. Υπολογισμός Συνολικού Συντελεστή Ασφάλειας Έναντι Κατάρρευσης.

5.2 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΛΥΣΕΩΝ

Αποδεχόμενοι τα δυσμενέστερα αποτελέσματα της ανάλυσης, που έγινε σε κάθε κύρια διεύθυνση ως χαρακτηριστικά του εκάστοτε κτιρίου συνολικά, είμαστε σε θέση να εξάγουμε συμπεράσματα για τη συμπεριφορά των κτιρίων.

Η ικανότητα κάθε λύσης περιγράφεται από τα εξής στοιχεία:

- Την Υπολογιζόμενη Φασματική Απαίτηση Κατάρρευσης. Με τη Μέθοδο Φάσματος Ικανότητας υπολογίζεται η Φασματική Επιτάχυνση για την οποία το σημείο «στόχος», (Performance Point), ταυτίζεται με το σημείο κατάρρευσης (Collapse Prevention).
- Το Συντελεστή Μεγέθυνσης Φασματικής Απαίτησης. Ο συντελεστής αυτός δείχνει πόσο μεγαλύτερη είναι η φασματική επιτάχυνση στην οποία επέρχεται οριακά η κατάρρευση του δομήματος από τη φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού.

Η συμπεριφορά κάθε λύσης περιγράφεται στην εργασία αυτή απο τα εξής στοιχεία:

- Τον Υπολογιζόμενο Συντελεστή Συμπεριφοράς q στο επίπεδο Σχεδιασμού, το οποίο ταυτίζεται με το Επίπεδο Φασματικής Απαιτήσης αλλά και στο επίπεδο Κατάρρευσης.
- Το Συντελεστή Μεγέθυνσης του q . Διαφαίνεται έτσι η πλαστιμότητα και η υπεραντοχή που διαθέτει κάθε λύση μέχρι και την κατάρρευσή της.
- Το Ποσοστό της Ενέργειας που Καταναλώνεται Πλαστικά, μέσω του Σχηματισμού Πλαστικών Αρθρώσεων, στα επίπεδα Απαιτήσης και Κατάρρευσης.

Στον Πίν.2 παρατίθενται ενδεικτικά δεδομένα ικανότητας και συμπεριφοράς των κτιρίων που σχεδιάστηκαν για $A=0.24g$.

Κτίριο	Κύριες Διευθύνσεις	Σημεία Αξιολόγησης Συμπεριφοράς και Ικανότητας	Φασματική Επιτάχυνση Απαιτήσης και Φασματική Επιτάχυνση Κατάρρευσης Κτιρίων	Συντελεστής Μεγέθυνσης Φασματικής Ικανότητας	Συντελεστής Συμπεριφοράς Κυρίων Διευθύνσεων $q=q_e * q_m$	Συνολικός Συντελεστής Συμπεριφοράς Κτιρίων q	Μεγέθυνση Συντελεστή Συμπεριφοράς q	Ενέργεια που Καταναλώνεται ανα Διεύθυνση για το Σχηματισμό Πλαστικών Αρθρώσεων	Ποσοστό Ενέργειας που Καταναλώνεται μέσω του Σχηματισμού Πλαστικών Αρθρώσεων $E_{pl}/E_{tot} \%$
Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας (II): $A=0,24g$									
2	Y	P.P 0,24g C.P 0,31g	P.P 0,24g	1,29	1,52 2,10	P.P 1,36	1,54	42,09% 78,80%	P.P 22,89%
	X	P.P 0,24g C.P 0,38g	C.P 0,31g		1,36 2,26	C.P 2,10		22,89% 73,46%	C.P 73,46%
5	Y	P.P 0,24g C.P 0,42g	P.P 0,24g	1,75	7,83 14,00	P.P 7,83	1,79	27,24% 99,40%	P.P 27,24%
	X	P.P 0,24g C.P 0,44g	C.P 0,42g		14,72 15,17	C.P 14,00		35,63% 99,03%	C.P 99,03%
8	Y	P.P 0,24g C.P 0,45g	P.P 0,24g	1,79	4,91 11,01	P.P 4,91	2,24	28,13% 98,72%	P.P 27,62%
	X	P.P 0,24g C.P 0,43g	C.P 0,43g		6,15 14,15	C.P 11,01		27,62% 99,42%	C.P 98,72%
11	Y	P.P 0,24g C.P 0,43g	P.P 0,24g	1,75	5,18 11,41	P.P 5,18	2,18	28,58% 98,42%	P.P 28,58%
	X	P.P 0,24g C.P 0,42g C.P 0,50g	C.P 0,42g		5,37 11,28 10,20	C.P 11,28		31,32% 98,57% 98,65%	C.P 98,42%

Πίν.2. Χαρακτηριστικά αξιολογούμενων λύσεων

5.3 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΛΥΣΕΩΝ

Προκειμένου να αποτιμηθεί η ασφάλεια κάθε λύσης υπολογίζεται ο συντελεστής ασφάλειας έναντι κατάρρευσης, γ_i (όπου i : αύξων αριθμός λύσης, $i \leq 12$):

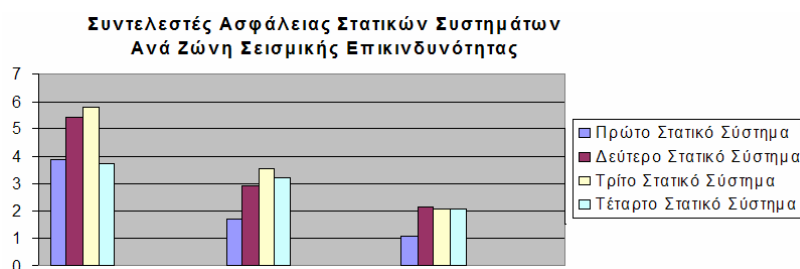
- Ολοκληρώνεται κατάλληλα η κανονικοποιημένη ως προς το βάρος της κατασκευής καμπύλη ικανότητας κάθε κύριας διεύθυνσης ώστε υπολογίζονται τα ποσά σεισμικής ενέργειας τα οποία καταναλώνονται μέσω απόσβεσης και ελαστοπλαστικών παραμορφώσεων τόσο στο επίπεδο σχεδιασμού $E_j^{total,PP}$ όσο και στο επίπεδο κατάρρευσης $E_j^{total,CP}$ (όπου j : η εξεταζόμενη κύρια διεύθυνση).
- Υπολογίζονται τα απόθεμα ασφάλειας e_x και e_y των δύο κύριων διευθύνσεων, ως:

$$e_x = \sqrt{\left(\frac{E_x^{total,CP}}{E_x^{total,PP}}\right)^2 + 0.3 \times \left(\frac{E_y^{total,CP}}{E_y^{total,PP}}\right)^2} \quad \text{και} \quad e_y = \sqrt{\left(\frac{E_y^{total,CP}}{E_y^{total,PP}}\right)^2 + 0.3 \times \left(\frac{E_x^{total,CP}}{E_x^{total,PP}}\right)^2} \quad (1)$$

Τα αποθέματα ασφάλειας κάθε διεύθυνσης υπολογίζονται κατ' αντιστοιχία του δυσμενέστερου σεισμικού συνδιασμού του ΕΑΚ. Με την παραδοχή ότι η σεισμική ενέργεια καταναλώνεται με τον ίδιο ρυθμό στις δύο κύριες διευθύνσεις, δεδομένου ότι η δυσκαμψία και ο ρυθμός απομείωσής της στις δύο διευθύνσεις είναι σχεδόν ίδιος, τα αποθέματα ασφάλειας υπολογίζονται ως συνδιασμός των δυνατοτήτων κατανάλωσης της εισερχόμενης ενέργειας και στις δύο διευθύνσεις κάθε κτιρίου.

- Τέλος λαμβάνεται το μικρότερο εκ των e_x και e_y , ως συνολικός συντελεστής ασφάλειας έναντι κατάρρευσης της εξεταζόμενης λύσης.

$$\gamma_i = \min(e_x, e_y) \quad (2)$$



Σχ. 6. Συντελεστές Ασφάλειας Στατικών Συστημάτων ανά Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας

6. ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ – ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΛΥΣΕΩΝ

Η τεχνικοοικονομική αξιολόγηση έχει ως κριτήρια την ασφάλεια και το κόστος κάθε συστήματος δυσκαμψίας. Υπολογίζεται το κόστος σε υλικό, ο συντελεστής ασφάλειας, καθώς και το κόστος ανά μονάδα συντελεστή ασφάλειας (Πίν. 3.).

Κτίρια	Χρησιμοποιούμενο Υλικό Συστήματος Δυσκαμψίας (Ton)	Συντελεστής Ασφάλειας	Απαιτούμενο Υλικό Ανά Μονάδα Συντελεστή Ασφάλειας (Ton)
Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας (I): A=0,16g			
1	51,53	3,89	13,25
4	40,02	5,40	7,41
7	43,77	5,85	7,48
10	53,69	3,74	14,35
Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας (II): A=0,24g			
2	128,18	1,69	75,84
5	42,58	2,94	14,48
8	44,78	3,56	12,58
11	54,92	3,21	17,11
Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας (III): A=0,36g			
3	179,27	1,08	165,99
6	45,68	2,02	22,61
9	48,32	2,15	22,48
12	58,00	2,02	28,71

Πίν.3. Ασφάλεια και Κόστος Λύσεων

Τα συστήματα δυσκαμψίας που χρησιμοποιήθηκαν διαφέρουν σημαντικά όσον αφορά τις επιδόσεις τους σε ασφάλεια και κόστος. Τα χωρικά πλαίσια αποδεικνύονται ανεπαρκή ενώ η προσθήκη συνδέσμων δυσκαμψίας οδηγεί σε κτίρια ασφαλέστερα και οικονομικότερα. Οι κεντρικοί σύνδεσμοι δυσκαμψίας εξασφαλίζουν υψηλότερους και οικονομικότερους συντελεστές ασφάλειας συγκριτικά με τους έκκεντρους συνδέσμους δυσκαμψίας κάτι το οποίο ενισχύεται περαιτέρω με τη χρήση συνδέσεων τύπου INERD.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα εξετασθέντα συστήματα διαφέρουν μεταξύ τους σημαντικά σε σχέση με το βάρος του χάλυβα, τη σεισμική συμπεριφορά, την ικανότητα και το επίπεδο ασφάλειας, όπως αυτά ορίζονται στην παρούσα εργασία. Τα σημαντικότερα συμπεράσματα είναι:

- Χωρικά Πλαίσια Ροπής: Πρόκειται για εύκαμπτα συστήματα με κρίσιμο τον περιορισμό της γωνιακής παραμόρφωσης. Καθώς οδεύουν προς την αστοχία παραμένουν στην ελαστική περιοχή ώστε το υλικό προσφέρει μόνο δυσκαμψία χωρίς να αξιοποιείται για την κατανάλωση της εισερχόμενης σεισμικής ενέργειας. Τα χωρικά πλαίσια παρέχουν μικρή ασφάλεια σε επίπεδα μεγενθυμένων απαιτήσεων σε φασματικές επιταχύνσεις.
- Κλασικοί Κεντρικοί Σύνδεσμοι X: Προσφέρουν δυσκαμψία ανάλογη του αριθμού τους. Το υλικό αξιοποιείται σε μικρό βαθμό στο επίπεδο σχεδιασμού (παραδοχή συνεισφοράς των εφελκόμενων μόνο μελών). Καθώς τα κτίρια οδεύουν προς την αστοχία η ικανότητα, η συμπεριφορά και τα επίπεδα ασφάλειας είναι ικανοποιητικά.
- Κεντρικοί Σύνδεσμοι X με Συνδέσεις Απορρόφησης Ενέργειας INERD: Σε επίπεδο σχεδιασμού εξασφαλίζεται η οικονομικότητα και αποδοτικότητα του υλικού όπως επίσης και η λειτουργική ελευθερία που παρέχει η δυνατότητα περιορισμού του αριθμού των συνδέσμων. Τόσο τα θλιβόμενα όσο και τα εφελκόμενα μέλη συμμετέχουν στην παραλαβή των φορτίων, ενώ οι ζημιές είναι στοχευμένες και εύκολα επισκευάσιμες. Εξασφαλίζεται μεγάλος συντελεστής ασφάλειας με μικρότερο κόστος.
- Έκκεντροι σύνδεσμοι: Το υλικό σε επίπεδο σχεδιασμού φαίνεται να μην αξιοποιείται. Στην οριακή κατάσταση σχηματίζονται πλαστικές αρθρώσεις στις δοκούς σύζευξης που δύσκολα επθσκειάζονται, ενώ οι συντελεστές ασφάλειας είναι μικρότεροι και επιτυγχάνονται με μεγαλύτερο κόστος από αυτό των κεντρικών συνδέσμων.

Αξίζει να αναφερθεί ότι τα παραπάνω συμπεράσματα αφορούν το συγκεκριμένο κτίριο. Οι αποφάσεις που λαμβάνονται παραδοσιακά σύμφωνα με την εμπειρία, τη συνήθεια και άλλους αστάθμητους παράγοντες, φαίνεται πως επηρεάζουν συνολικά την οικονομικότητα, τη συμπεριφορά, την ικανότητα, την επιτελεστικότητα και την ασφάλεια του κτιρίου. Η πραγματοποίηση ανάλογων τεχνικοοικονομικών αξιολογήσεων μπορούν να συνδράμουν στον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης, ανάλογα με τα κριτήρια που ορίζονται ως κρίσιμα από το μελετητή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΟΑΣΠ., ΣΠΜΕ., Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000, Απρίλιος 2000
- [2] FEMA-273, FEMA-356, FEMA-440, Federal Emergency Management Agency
- [3] Eurocode 3, Design of steel structures
- [4] Eurocode 8, Design provisions for earthquake resistance of structures
- [5] "Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings", Volume 1, Applied Technology Council (ATC 40)

COST AND PERFORMANCE BASED EVALUATION OF BRACING SYSTEMS FOR COMPOSITE BUILDINGS

I. Vayas

Professor

NTUA, School of Civil Engineering

Athens, Greece

e-mail : vastahl@central.ntua.gr

V. Sarantopoulos

Civil. Engineer, PDS ADERS NTUA

Athens, Greece

e-mail: vsarand@gmail.com

1. ABSTRACT

The present study aims at evaluating the performance in terms of safety and economy of alternative bracing systems for composite steel-concrete office buildings. This is done by examination of a two storey office building whose lateral stability is provided by different bracing systems. The evaluation concerns four different systems applied for three seismic zones defined in the Greek Seismic Code. The first system is a space moment resisting frame, while the lateral stability for the other three is provided by various bracing systems. The examined systems are classical concentric X-braces, concentric X-braces with ductile energy dissipative INERD connections and eccentric bracing systems. The solutions are first designed according to the current design codes and are then examined in terms of performance and economy. By means of inelastic analyses, the performance, capacity and safety of the systems is studied both for the design earthquake and for higher requirements compared to the regulated ones. Finally, a mixed technical and economical criterion is proposed that enables the evaluation of the performance of each option in terms of safety and construction cost.