

[124] Αναστασιάδης Κ., Αβραμίδης Ι.Ε.

"Σχεδιασμός με Βάση την Επίδοση. Πλήρης-Μερική Αντισεισμική Προστασία".

Δελτίο Συλλόγου Πολ. Μηχ. Ελλάδας, τευχ. 287(Ιούν.-Ιούλ.), 26-30, και 288 (Αύγ.), 30-31, 2001.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΕΠΙΔΟΣΗ

ΠΛΗΡΗΣ - ΜΕΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

(performance - based design)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Δεν αποτελεί υπερβολή, ούτε άλλωστε ελληνική ιδιαιτερότητα, η έναρξη συζητήσεων για βελτίωση νέων ήδη και σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών και μάλιστα αμέσως μετά την έγκριση και θέση τους σε εφαρμογή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο υπόψη επιστημονικός χώρος συνεχίζει να βρίσκεται σε πλήρη ανάπτυξη, με γρήγορη παραγωγή γνώσης και χωρίς να έχει αντιμετωπίσει ακόμη ικανοποιητικά τα σχετικά προβλήματα έτσι εξηγείται και η συνεχής λειτουργία των επιτροπών σύνταξης των κανονισμών. Φυσικά, αναφερόμαστε σε ιδέες, προβληματισμούς και προτάσεις και όχι σε συνεχείς αναθεωρήσεις κανονισμών, διότι επιτέλους οι κανονισμοί δεν γίνονται για τους...συντάκτες τους, αλλά για τους μηχανικούς της πράξης που χρειάζονται επαρκή χρόνο ενημέρωσης και προσαρμογής.

Με την παραπάνω έννοια θα παρουσιασθούν στη συνέχεια οι κυριότερες ιδέες για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κτιρίων με βάση την σεισμική τους επίδοση (seismic performance based design) και θα συσχετισθούν με την πρόσφατη πρότασή μας για πλήρη ή μερική αντισεισμική προστασία (βλ. Ενημερωτικό Δελτίο ΤΕΕ, τεύχη 2024/27-3-2000 και 2120/9-10-2000). Οι ιδέες αυτές αναπτύχθηκαν στις ΗΠΑ κατά την τελευταία δεκαετία υπό την εποπτεία κυρίως της FEMA (Federal Emergency Management Agency) για την επισκευή-αποκατάσταση υφισταμένων κτιρίων και διατυπώθηκαν σε κείμενα μετά το 1995 (Vision 2000, ATC-40, FEMA 273 και 274). Τα κείμενα αυτά τον Νοέμβριο του 2000 παρουσιάσθηκαν με τη μορφή προδρόμου κανονισμού (FEMA 356), ο οποίος συνεχίζει να βρίσκεται υπό επεξεργασία και πιθανή μετατροπή του σε κανονισμό, οπότε είναι βέβαιο ότι θα επηρεάσει και τους κανονισμούς για νέα κτίρια. Υπό το τελευταίο αυτό πρίσμα γίνεται κυρίως και η παρουσίαση που ακολουθεί.

2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΕΠΙΔΟΣΗ (ΣΒΕ)

Πρόκειται για ένα οργανωμένο σύνολο ιδεών, κανόνων, μεθόδων και κριτηρίων, με ποιοτικό και ποσοτικό περιεχόμενο, που στοχεύει στον σχεδιασμό κτιρίων (ή κατασκευών γενικότερα) με προκαθορισμένη σεισμική συμπεριφορά (ή συμπεριφορές) για δεδομένο επίπεδο (ή επίπεδα) σεισμικής φόρτισης. Κεντρικό σημείο αναφοράς του υπόψη σχεδιασμού είναι η επιθυμητή (από τον κύριο του έργου) σεισμική επίδοση ή επιτελεστικότητα (seismic performance) του κτιρίου, δηλαδή η επιθυμητή (ή καλύτερα, ανεκτή) οριακή κατάσταση βλαβών μετά το σεισμό. Οι οριακές καταστάσεις βλαβών (επίπεδα επίδοσης) ορίζονται περιγραφικά με την μεγαλύτερη δυνατή λεπτομέρεια, τόσο για τα φέροντα όσο και για τα μη φέροντα στοιχεία, ενώ η επίτευξή τους ελέγχεται ποσοτικά με μεθόδους υπολογισμού και αντίστοιχα κριτήρια αποδοχής. Αναλυτικότερα, ο σχεδιασμός με βάση την επίδοση των κτιρίων περιλαμβάνει τα επόμενα πέντε μέρη :

- Επίπεδα επίδοσης
- Επίπεδα σεισμού
- Στόχοι σχεδιασμού
- Μέθοδοι υπολογισμού
- Κριτήρια αποδοχής

τα οποία περιγράφονται με συντομία στη συνέχεια.

2.1 Επίπεδα επίδοσης

Ορίζονται χωριστά επίπεδα επίδοσης (performance levels) για τα φέροντα και για τα μη φέροντα στοιχεία και στη συνέχεια από τον συνδυασμό τους προκύπτουν τα επίπεδα επίδοσης του συνολικού κτιρίου.

α. Φέροντα στοιχεία

Από την απειρία οριακών καταστάσεων βλαβών στα φέροντα στοιχεία γίνεται μια εμπειρική επιλογή τριών διακριτών επιπέδων επίδοσης με κριτήριο το εύκολα κατανοητό χρηστικό αποτέλεσμα των βλαβών, ήτοι :

- S - 1 : Άμεση χρήση (Immediate Occupancy - IO)
- S - 3 : Προστασία ζωής (Life Safety - LS)
- S - 5 : Πρόληψη κατάρρευσης (Collapse Prevention - CP)

και δύο περιοχών ή ζωνών επίδοσης μεταξύ των παραπάνω διακριτών επιπέδων:

S - 2 : Ζώνη ελεγχόμενων βλαβών

S - 4 : Ζώνη περιορισμένης ασφάλειας.

Σε κάθε διακριτό επίπεδο επίδοσης αντιστοιχεί μία οριακή κατάσταση βλαβών στα οριζόντια και στα κατακόρυφα φέροντα στοιχεία, η οποία περιγράφεται με λεπτομέρεια. Επιγραμματικά αναφέρουμε για τα διακριτά επίπεδα επίδοσης :

S - 1 : Πολύ περιορισμένες βλάβες. Τα κατακόρυφα και οριζόντια στοιχεία

διατηρούν σχεδόν ανέπαφη την προ του σεισμού αντοχή και

δυσκαμψία τους. Επιτρέπεται η άμεση χρήση.

S - 3 : Σημαντικές ή και σοβαρές βλάβες στα φέροντα στοιχεία, αλλά υπάρχει

αρκετή απόσταση από την μερική ή ολική κατάρρευση. Δεν

επιτρέπεται η χρήση χωρίς μέτρα υποσύλωσης. Οι βλάβες μπορεί να

είναι επισκευάσιμες ή όχι με βάση οικονομικά κριτήρια.

S - 5 : Εκτεταμένες σοβαρές βλάβες. Το κτίριο βρίσκεται στα πρόθυρα της

κατάρρευσης, δυνάμενο να φέρει μόνο τα κατακόρυφα φορτία όχι

όμως και οριζόντια.

Για τις ενδιάμεσες ζώνες επίδοσης S-2 και S-4 γίνεται κατάλληλη "παρεμβολή" των οριζομένων για τα διακριτά επίπεδα επίδοσης.

β. Μη φέροντα στοιχεία και εγκαταστάσεις

Για τα στοιχεία αυτά ορίζονται τα επόμενα πέντε διακριτά επίπεδα επίδοσης :

N-A : Συνέχιση λειτουργίας (Operational)

N-B : Άμεση χρήση (Immediate Occupancy)

N-C : Προστασία ζωής (Life Safety)

N-D : Πρόληψη εκτεταμένων κινδύνων (Hazards Reduced)

N-E : Αδιάφορη (Not Considered).

Οι οριακές καταστάσεις βλαβών των παραπάνω επιπέδων επίδοσης περιγράφονται με λεπτομέρεια. Επιγραμματικά αναφέρεται ότι στο επίπεδο N-A οι βλάβες είναι ασήμαντες και δεν εμποδίζουν την κανονική λειτουργία όλων των στοιχείων ή εγκαταστάσεων όπως και πριν από τον σεισμό. Ορισμένες ειδικές εγκαταστάσεις (π.χ. επικοινωνιακές) απαιτούν πρόσθετα μέτρα προηγμένης τεχνολογίας μη δομικού τύπου. Τα επίπεδα N-B, N-C και N-D αντιστοιχούν στα S-1, S-3 και S-5 των φερόντων στοιχείων, ενώ στο τελευταίο επίπεδο N-E η τρωτότητα των μη φερόντων στοιχείων, για διάφορους λόγους, δεν λαμβάνεται υπόψη.

γ. Συνολικό κτίριο

Τα επίπεδα επίδοσης του συνολικού κτιρίου προκύπτουν με συνδυασμό των επιπέδων επίδοσης των φερόντων και μη φερόντων στοιχείων. Οι υπόψη συνδυασμοί εντάσσονται στο παρακάτω μητρώο επιπέδων επίδοσης του κτιρίου και παριστάνονται αλφαριθμητικά με πρώτο χαρακτήρα τον αριθμό του επιπέδου επίδοσης των φερόντων στοιχείων και δεύτερο χαρακτήρα το γράμμα του επιπέδου επίδοσης των μη φερόντων στοιχείων.

Μητρώο επιπέδων επίδοσης κτιρίου

Μη φέροντα στοιχεία	Φέροντα στοιχεία				
	(IO) S-1	S-2	(LS) S-3	S-4	(CP) S-5
N-A (OP)	1-A	2-A	-	-	-
N-B (IO)	1-B	2-B	3-B	-	-
N-C (LS)	1-C	2-C	3-C	4-C	5-C
N-D (CP)	-	2-D	3-D	4-D	5-D
N-E	-	-	-	4-E	5-E

Είναι προφανές, ότι όλοι οι συνδυασμοί του μητρώου δεν είναι μηχανικώς εφικτοί. Έτσι, π.χ., δεν είναι δυνατόν ο σκελετός να έχει επίδοση S-5 (πρόθυρα κατάρρευσης) και οι τοιχοποιίες να έχουν επίδοση N-A ή N-B. Γενικά όλοι οι συνδυασμοί που βρίσκονται επάνω στην κύρια διαγώνιο του μητρώου είναι μηχανικώς εφικτοί, καθώς επίσης και εκείνοι που βρίσκονται μία βαθμίδα επάνω ή κάτω από την κύρια διαγώνιο. Αλλά και από αυτούς περισσότερο πρακτικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι παρακάτω συνδυασμοί (στο παραπάνω μητρώο με έντονους χαρακτήρες), με τους οποίους διασφαλίζεται η παραπλεύρως αναφερόμενη σεισμική επίδοση του κτιρίου :

1-A : Ανεπηρέαστη συνέχιση λειτουργίας (Operational)

1-B : Άμεση χρήση μετά το σεισμό (Immediate Occupancy)

3-C: Προστασία ζωής (Life Safety)

5-E: Πρόληψη κατάρρευσης (Collapse Prevention)

Επίσης, όπως θα δούμε παρακάτω, οι επιδόσεις αυτές των κτιρίων χρησιμοποιούνται κατά κανόνα για τον καθορισμό των στόχων του σχεδιασμού.

2.2 Επίπεδα σεισμικού κινδύνου

Ορίζονται (πιθανοτικά) τέσσερα επίπεδα σεισμικού κινδύνου με πιθανότητα υπέρβασης σε 50 χρόνια και μέση περίοδο επανάληψης (σε χρόνια) ως ακολούθως :

Επίπεδο σεισμικού κινδύνου	Πιθανότητα υπέρβασης σε 50 χρόνια	Μέση περίοδος επανάληψης (σε χρόνια)
1. 50% / 50	50%	72
2. 20% / 50	20%	225
3. BSE - 1	10%	474
4. BSE - 2	2%	2475

Τα δύο τελευταία επίπεδα χαρακτηρίζονται ως σεισμοί βασικής ασφάλειας 1 και 2 (Basic Safety Earthquakes). Για κάθε σεισμό δίδεται η διαδικασία προσδιορισμού του αντίστοιχου ελαστικού φάσματος απόκρισης για ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης 5%. Επίσης προβλέπεται η χρήση τουλάχιστον τριών ομάδων φυσικών ή τεχνητών επιταχυνσιογραφημάτων για την περίπτωση εκτέλεσης χρονολογικών αναλύσεων.

2.3 Στόχοι Σχεδιασμού

Η επίτευξη ενός ή περισσότερων επιπέδων επίδοσης για δεδομένο επίπεδο σεισμικού κινδύνου αποτελεί τον τελικό στόχο του σχεδιασμού. Έτσι, για τα τέσσερα επίπεδα σεισμικού κινδύνου και τα τέσσερα επίπεδα σεισμικής επίδοσης 1-A (OP), 1-B (IO), 3-C (LS) και 5-E (CP) που προαναφέρθηκαν, προκύπτει το ακόλουθο μητρώο στόχων:

Μητρώο Στόχων Σχεδιασμού

Επίπεδο σεισμού	Επίπεδο επίδοσης κτιρίου			
	1-A OP	1-B IO	3-C LS	5-E CP
50% / 50	a	b	c	d
20% / 50	e	f	g	h
BSE - 1	i	j	k	l
BSE - 2	m	n	o	p

Ο δίδυμος στόχος **k+p** θεωρείται βασικός στόχος ασφάλειας (Basic Safety Objective - BSO) και θα πρέπει να ικανοποιείται σε κάθε περίπτωση ενίσχυσης υφιστάμενου κτιρίου. Ο στόχος αυτός μαζί με έναν από τους υπόλοιπους που βρίσκονται επάνω στην κύρια διαγώνιο ή και κάτω από την κύρια διαγώνιο του μητρώου θεωρείται διευρυμένος στόχος, με εξαίρεση τους m, n και o που θεωρούνται και από μόνοι τους διευρυμένοι στόχοι (ανώτεροι του βασικού). Οι στόχοι επάνω από την κύρια διαγώνιο του μητρώου θεωρούνται περιορισμένοι (κατώτεροι του βασικού). Με τον βασικό στόχο καλύπτεται η παραδοσιακή απαίτηση ασφάλειας: ασήμαντες βλάβες για συχνούς σεισμούς, επισκευάσιμες βλάβες για τον σπάνιο σεισμό BSE-1 και πρόληψη κατάρρευσης για τον πολύ σπάνιο σεισμό BSE-2. Με τους διευρυμένους στόχους καλύπτονται απαιτήσεις είτε ειδικών κτιρίων (σχολεία, νοσοκομεία, σταθμοί, κλπ), είτε επιπλέον απαιτήσεις του ιδιοκτήτη του έργου. Τέλος, οι περιορισμένοι στόχοι μπορεί να αφορούν περιπτώσεις υφιστάμενων κτιρίων, των οποίων επιδιώκεται η βελτίωση χωρίς σημαντικό κόστος.

2.3 Μέθοδοι υπολογισμού

Προβλέπεται η εφαρμογή των παρακάτω τεσσάρων μεθόδων υπολογισμού :

- Γραμμική στατική μέθοδος
- Γραμμική δυναμική μέθοδος
- Μη γραμμική στατική μέθοδος
- Μη γραμμική δυναμική μέθοδος.

Αντικείμενο όλων των μεθόδων είναι ο προσδιορισμός της σεισμικής έντασης και παραμόρφωσης των φορέων για τον θεωρούμενο σε κάθε περίπτωση σεισμό. Οι γραμμικές μέθοδοι εφαρμόζονται σε κανονικά κτίρια ή σε κτίρια στα οποία τα δομικά τους στοιχεία εμφανίζουν λόγο σεισμικής επιπόνησης προς διαθέσιμη αντοχή $DCR \leq 2$ ($DCR = Demand Capacity Ratio$). Η σημαντικότερη διαφορά των μεθόδων αυτών από τις αντίστοιχες μεθόδους που εφαρμόζονται σήμερα για νέα κτίρια αφορά στο χρησιμοποιούμενο φάσμα και στο μέγεθος των σεισμικών φορτίων. Ως φάσμα σχεδιασμού χρησιμοποιείται το ελαστικό φάσμα χωρίς τροποποιήσεις, τα δε ελαστικά σεισμικά φορτία όχι μόνον δεν διαιρούνται με οποιονδήποτε συντελεστή συμπεριφοράς, αλλά αντίθετα πολλαπλασιάζονται με τρεις αυξητικούς συντελεστές C_1, C_2, C_3 . Με τον πρώτο λαμβάνεται υπόψη η αυξημένη ανελαστική παραμόρφωση (σε σχέση με την υποτιθέμενη ελαστική) των δύσκαμπτων κατασκευών, με τον

δεύτερο η όποια υποβάθμιση δυσκαμψιών/αντοχών και με τον τρίτο η δυναμική επήρεια P-Δ. Με τον τρόπο αυτό γίνεται καλύτερη προσέγγιση των ανελαστικών παραμορφώσεων (καμπτικών), ενώ για τις μη πλάστιμες επιπονήσεις, όπως θα δούμε στην επόμενη παράγραφο, ακολουθεί διαίρεση με τα C_1 , C_2 , C_3 , ώστε να κατέλθουν στη στάθμη της ελαστικής συμπεριφοράς (δηλ. με $q = 1$).

Η μη γραμμική στατική μέθοδος αποτελεί ουσιαστικά προσαρμογή της γνωστής από παλιά υπερ-ωθητικής ανάλυσης (Push-over analysis). Η μέθοδος αυτή ισχύει αυστηρά μόνο για επίπεδα συστήματα με μικρή συμμετοχή των ανώτερων ιδιομορφών ταλάντωσης, εφαρμόζεται όμως κατ' οικονομία γενικότερα μαζί με την γραμμική δυναμική μέθοδο.

Η μη γραμμική δυναμική μέθοδος εφαρμόζεται σε οποιαδήποτε περίπτωση κατασκευής. Η εφαρμογή της όμως είναι επίπονη και απαιτεί ιδιαίτερη εμπειρία όσον αφορά τα χρησιμοποιούμενα μοντέλα των δομικών στοιχείων, τη χρήση των επιταχυνσιογραφημάτων και την ερμηνεία και αξιοποίηση των αποτελεσμάτων. Για τους λόγους αυτούς προβλέπεται ο έλεγχος της μελέτης και από ανεξάρτητο μηχανικό με αναγνωρισμένη εμπειρία σε τέτοιου είδους αναλύσεις.

2.5 Κριτήρια αποδοχής

Οι εσωτερικές δυνάμεις και οι παραμορφώσεις που υπολογίζονται με τις προηγούμενες μεθόδους θα πρέπει να μην υπερβαίνουν ορισμένα όρια, τα οποία καθορίζονται για καθένα από τα τρία διακριτά επίπεδα επίδοσης των φερόντων στοιχείων (άμεση χρήση: IO, προστασία ζωής : LS, πρόληψη κατάρρευσης: CP) με αντίστοιχα κριτήρια αποδοχής (acceptance criteria).

α. Γραμμικές μέθοδοι

Στην περίπτωση εφαρμογής γραμμικών μεθόδων οι εσωτερικές δυνάμεις διαχωρίζονται σε πλάστιμου τύπου (π.χ. ροπές κάμψης, τέμνουσες δυνάμεις σε τοιχώματα):

$$Q_{UD} = Q_G \pm Q_E \quad (\alpha)$$

και σε μη πλάστιμου τύπου (π.χ. αξονικές, τέμνουσες σε πλαίσια):

$$Q_{UF} = Q_G \pm \frac{Q_E}{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3} \quad (\beta)$$

όπου τα Q_G οφείλονται στα φορτία βαρύτητας και τα Q_E στο σεισμό. Οι παραπάνω δυνάμεις θα πρέπει να ικανοποιούν τις συνθήκες :

$$Q_{UD} \leq m \cdot Q_{CE} \quad (\gamma)$$

$$Q_{UF} \leq 1 \cdot Q_{CE} \quad (\delta)$$

όπου Q_{CE} η αντοχή του στοιχείου και m ένας, ανάλογος προς τον q , συντελεστής συμπεριφοράς (m -factor), με τον οποίο λαμβάνεται υπόψη η ικανότητα πλάστιμης παραμόρφωσης του στοιχείου. Οι τιμές του m δίδονται σε πίνακες για κάθε επίπεδο επίδοσης και σε συνάρτηση με τη γενικότερη (πέρα από την καμπτική) επιπόνηση του στοιχείου. Έτσι, π.χ., στα υποστυλώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα λαμβάνεται $m=1,25$ έως 2 για επίδοση IO (άμεση χρήση), $m=1,5$ έως 3 για επίδοση LS (προστασία ζωής) και $m=1,75$ έως 4 για επίδοση CP (πρόληψη κατάρρευσης).

Σύμφωνα λοιπόν, με τα προηγούμενα εμφανίζονται οι παρακάτω σημαντικότερες διαφορές σε σχέση με τα ισχύοντα σήμερα στους κανονισμούς για νέα κτίρια:

- Για τις μη πλάστιμες επιπονήσεις (αξονικές, τέμνουσες σε πλαίσια) λαμβάνεται πάντοτε $m=1$ (δηλαδή $q=1$).
- Εγκαταλείπεται ο ενιαίος συντελεστής συμπεριφοράς q του κτιρίου και εισάγεται ο τοπικός συντελεστής m για κάθε διατομή και είδος επιπόνησης.
- Με το m διαιρούνται και τα εντατικά μεγέθη από τα φορτία βαρύτητας!

β. Μη γραμμικές μέθοδοι

Για τις μη πλάστιμες επιπονήσεις Q_{UF} ισχύει και πάλι η προηγούμενη συνθήκη (δ), ενώ για τις πλάστιμες επιπονήσεις τα κριτήρια αποδοχής εφαρμόζονται πλέον άμεσα επί των πλαστικών παραμορφώσεων (γωνιών στροφής). Έτσι, οι πλαστικές γωνίες στροφής δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν ορισμένα όρια, τα οποία δίδονται σε πίνακες για καθένα από τα επιθυμητά επίπεδα επίδοσης (π.χ. στα υποστυλώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα οι μέγιστες επιτρεπόμενες γωνίες στροφής σε rad είναι 0.005, 0.015 και 0.020 για τα επίπεδα επίδοσης IO, LS, και CP, αντίστοιχα).

3. ΠΛΗΡΗΣ - ΜΕΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Στην παράγραφο 3 της πρότασής μας για πλήρη και μερική αντισεισμική προστασία των κτιρίων (βλ. Ενημερωτικό Δελτίο ΤΕΕ, τεύχος 2094/27-3-2000) αναφέραμε ότι :

"Η προτεινόμενη αυτή στρατηγική αντισεισμικού σχεδιασμού με δυνατότητες περισσότερων εναλλακτικών επιλογών εκ μέρους του κυρίου του έργου για την επιθυμητή συμπεριφορά της κατασκευής υπό ισχυρό σεισμό εμπίπτει στη λογική ενός αντισεισμικού σχεδιασμού με βάση την 'αντισεισμική επίδοση' του κτιρίου, δηλαδή με βάση την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων μηχανικής συμπεριφοράς του κτιρίου, οι οποίοι τίθενται από τον κύριο του έργου και πρέπει να επιτευχθούν μέσα από κατάλληλο σχεδιασμό και υπολογισμό της κατασκευής (performance based design)".

Πράγματι, κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα της πρότασης είναι τα ακόλουθα :

- Ρητή θεώρηση τριών επιπέδων μηχανικής συμπεριφοράς για $q = 1$, $q = (1/2) q_{max}$ και $q = q_{max}$.
- Προτροπή για χρήση ικανού αριθμού τοιχωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα με στόχο την (στο μέτρο του δυνατού) επίτευξη του πρώτου επιπέδου ($q = 1$).
- Προστασία των μη φερόντων στοιχείων (τοιχοποιϊών, επενδύσεων κλπ), λόγω της μεγάλης δυσκαμψίας των τοιχωμάτων και των συνακόλουθων μικρών παραμορφώσεων.
- Έλεγχος των ανελαστικών παραμορφώσεων στην περίπτωση του τρίτου επιπέδου μηχανικής συμπεριφοράς ($q = q_{max}$) με εκτέλεση υπερ-ωθητικής ανάλυσης (Push-over analysis).

Επίσης, θα πρέπει να τονισθεί ότι η πρόταση αφορά στον αντισεισμικό σχεδιασμό νέων κτιρίων και ότι κινείται μέσα στο γνωστό πλαίσιο των σχετικών ευρωπαϊκών κανονισμών και ειδικότερα του ελληνικού αντισεισμικού κανονισμού (ΕΑΚ/2000).

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τις ιδέες για πλήρη και μερική αντισεισμική προστασία, θα επαναπαρουσιάσουμε με συντομία τα πέντε μέρη του «σχεδιασμού βάσει επίδοσης» (ΣΒΕ), ώστε να καταφανεί η πλήρης εναρμόνιση των ιδεών αυτών με την λογική του ΣΒΕ.

3.1 Επίπεδα επίδοσης

α. Φέροντα στοιχεία

Σε αντιστοιχία με την παράγραφο 1.1α και τους συμβολισμούς της παραγράφου αυτής, ορίζονται τα επόμενα τρία διακριτά επίπεδα επίδοσης:

- $q = 1$ (S-1) : Πλήρης προστασία.
Πολύ περιορισμένες βλάβες, άμεση χρήση.
- $q = (1/2) q_{\max}$ (S-2): Μερική προστασία
Ελεγχόμενες βλάβες μικρής έκτασης και επισκευάσιμες.
- $q = q_{\max}$ (S-3) : Μερική προστασία.
Σημαντικές ή και σοβαρές βλάβες. Προστασία ζωής.

Είναι προφανές, ότι το αναφερόμενο στην παράγραφο 1.1α επίπεδο επίδοσης S-5 (πρόληψη κατάρρευσης) δεν έχει νόημα για νέα κτίρια. Άλλωστε, σε οποιαδήποτε περίπτωση, τίθεται το ερώτημα, 'πώς είναι δυνατόν να αποδείξει κανείς υπολογιστικά με αξιόπιστο τρόπο ότι ένα κτίριο βρίσκεται στα πρόθυρα της κατάρρευσης;'

β. Μη φέροντα στοιχεία και εγκαταστάσεις.

Ισχύουν τα τρία επίπεδα επίδοσης A, B και C της παραγράφου 1.1α. Η επίτευξη των δύο πρώτων στηρίζεται κυρίως στην εκτεταμένη χρήση τοιχωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα.

γ. Συνολικό κτίριο

Για το συνολικό κτίριο ορίζεται ένα μητρώο επιδόσεων ανάλογο προς εκείνο της παραγράφου 1.1γ, από το οποίο προκύπτουν τα παρακάτω τέσσερα επίπεδα επιδόσεων :

- 1-A (για $q = 1$) : Πλήρης προστασία (ΠΠ1), συνέχιση λειτουργίας
- 1-B (για $q = 1$) : Πλήρης προστασία (ΠΠ2), άμεση χρήση
- 2-B (για $q = (1/2)q_{\max}$) : Μερική προστασία (ΜΠ1), ελεγχόμενες βλάβες
- 3-C (για $q = q_{\max}$) : Μερική προστασία (ΜΠ2), προστασία ζωής.

3.2 Επίπεδα σεισμικού κινδύνου

Σύμφωνα με τον ΕΑΚ/2000 ορίζεται ένα μόνο επίπεδο σεισμού, ο λεγόμενος σεισμός σχεδιασμού (ΣΣ), με πιθανότητα υπέρβασης 10% σε 50 χρόνια και μέση περίοδο επανάληψης 474 χρόνια (όπως και ο BSE-1 της παραγράφου 1.2). Στην πραγματικότητα όμως με την εισαγωγή του συντελεστή σπουδαιότητας γ_i ορίζονται έμμεσα και άλλοι σεισμοί (συχνότεροι ή σπανιότεροι από τον ΣΣ), οι οποίοι αντιστοιχούν στις τιμές $\gamma_i = 0.85, 1.15$ και 1.30 . Επομένως, μπορούμε τελικά να θεωρήσουμε τα παρακάτω τέσσερα επίπεδα σεισμικού κινδύνου :

Επίπεδο σεισμικού κινδύνου	Ορισμός (ΣΣ=σεισμός σχεδιασμού)
1.	0,85 (ΣΣ)
2.	1,00 (ΣΣ)
3.	1,15 (ΣΣ)
4.	1,30 (ΣΣ)

3.3 Στόχοι σχεδιασμού

Με βάση τα τέσσερα επίπεδα ΠΠ1, ΠΠ2, ΜΠ1 και ΜΠ2 επιδόσεων του κτιρίου και τα τέσσερα επίπεδα σεισμού προκύπτει το παρακάτω μητρώο στόχων του αντισεισμικού σχεδιασμού:

Μητρώο Στόχων Σχεδιασμού

γ_i (Επίπεδο σεισμού)	$q = 1$ ΠΠ1	$q = 1$ ΠΠ2	$(1/2)q_{max}$ ΜΠ1	q_{max} ΜΠ2
0,85 (ΣΣ)	a	b	c	d
1,00 (ΣΣ)	e	f	g	h
1,15 (ΣΣ)	i	j	k	l
1,30 (ΣΣ)	m	n	o	p

Βασικός στόχος είναι ο f. Οι δίδυμοι στόχοι f+k ή f+p επιτυγχάνονται άνετα με απλά μέσα (π.χ. εμπειρική πύκνωση συνδετήρων στις κρίσιμες ζώνες), διότι για $q=1$ θα έχουμε μεγάλες διαθέσιμες αντοχές και οι λόγοι DCR (Demand Capacity Ratio) θα

είναι μικροί. Όλοι οι στόχοι κάτω από την κύρια διαγώνιο θα είναι διευρυμένοι στόχοι (πλήρης προστασία) ενώ πάνω από την κύρια διαγώνιο θα είναι περιορισμένοι στόχοι (μερική προστασία), με εξαίρεση τους b και o.

3.4 Μέθοδοι υπολογισμού

Προβλέπεται η εφαρμογή των παρακάτω τριών μεθόδων υπολογισμού:

- Απλοποιημένη φασματική μέθοδος (γραμμική ανάλυση)
- Δυναμική φασματική μέθοδος (γραμμική ανάλυση)
- Μη γραμμική στατική μέθοδος (υπερ-ωθητική ανάλυση)

Οι δύο πρώτες εφαρμόζονται, όπως προδιαγράφεται στον ΕΑΚ/2000, για τα επίπεδα επίδοσης ΠΠ1, ΠΠ2 και ΜΠ1. Η τρίτη μέθοδος εφαρμόζεται για το επίπεδο επίδοσης ΜΠ2 (με $q=q_{\max}$).

3.5 Διαστασιολόγηση – Κριτήρια αποδοχής

Για τα δύο πρώτα επίπεδα επίδοσης ΠΠ1 και ΠΠ2 δεν τίθεται κανένα ειδικό πρόβλημα διαστασιολόγησης, διότι η αναμενόμενη μηχανική συμπεριφορά των στοιχείων θα είναι ελαστική ή σχεδόν ελαστική. Για τα επόμενα δύο επίπεδα επίδοσης ΜΠ1 και ΜΠ2 επιβάλλεται ο διαχωρισμός των επιπονήσεων σε πλάστιμες και μη πλάστιμες και η διαστασιολόγηση στη δεύτερη περίπτωση με $q=1$. Στο τέταρτο επίπεδο επίδοσης ΜΠ2 επιβάλλεται ο απευθείας έλεγχος των πλαστικών γωνιών στροφής, όπως αναπτύχθηκε στην παράγραφο 2.5 .

4. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Μπορεί να υποστηριχθεί βάσιμα, ότι πολλές από τις ιδέες του ΣΒΕ υπάρχουν υπό απλοποιημένη μορφή και στους σημερινούς αντισεισμικούς κανονισμούς. Παράδειγμα ο ΕΑΚ/2000, στον οποίο εκτός από το επίπεδο επίδοσης $q=q_{\max}$ (προστασία ζωής) προδιαγράφεται, έστω στοιχειωδώς, η δυνατότητα επιλογής $q=1,5$ και $q=1$ (βλ. παραγράφους 4.1.4[5] και 2.3.5[3] του ΕΑΚ/2000). Είναι όμως αληθές ότι οι σημερινοί κανονισμοί θεωρούν ουσιαστικά έναν μόνο στόχο (προστασία ζωής για τον σεισμό σχεδιασμού), χωρίς να είναι ξεκάθαρη η αναμενόμενη επίδοση (επίπεδο βλαβών), και χωρίς επίσης να προβλέπεται κριτήριο επίτευξης ή όχι του στόχου. Έτσι, ο μηχανικός εκλέγει κατευθείαν $q=q_{\max}$ χωρίς να ρωτήσει τον ιδιοκτήτη και χωρίς να εξηγήσει τι ακριβώς συνεπάγεται η βασική αυτή επιλογή.

Με τον ΣΒΕ θεσμοθετούνται περισσότεροι στόχοι με καθορισμένα επίπεδα επίδοσης, από την ελαστική με $q\approx 1$ (ασήμαντες βλάβες) μέχρι τα πρόθυρα της

κατάρρευσης (για υφιστάμενα κτίρια) και με αντίστοιχα κριτήρια επίτευξης ή όχι των στόχων αυτών. Η επιλογή του συγκεκριμένου στόχου γίνεται σε συνεργασία με τον ιδιοκτήτη, ανάλογα με το επιθυμητό (ανεκτό) επίπεδο επίδοσης. Τέλος, προς την ίδια κατεύθυνση κινείται και η πρότασή μας για Πλήρη και Μερική Αντισεισμική Προστασία.