

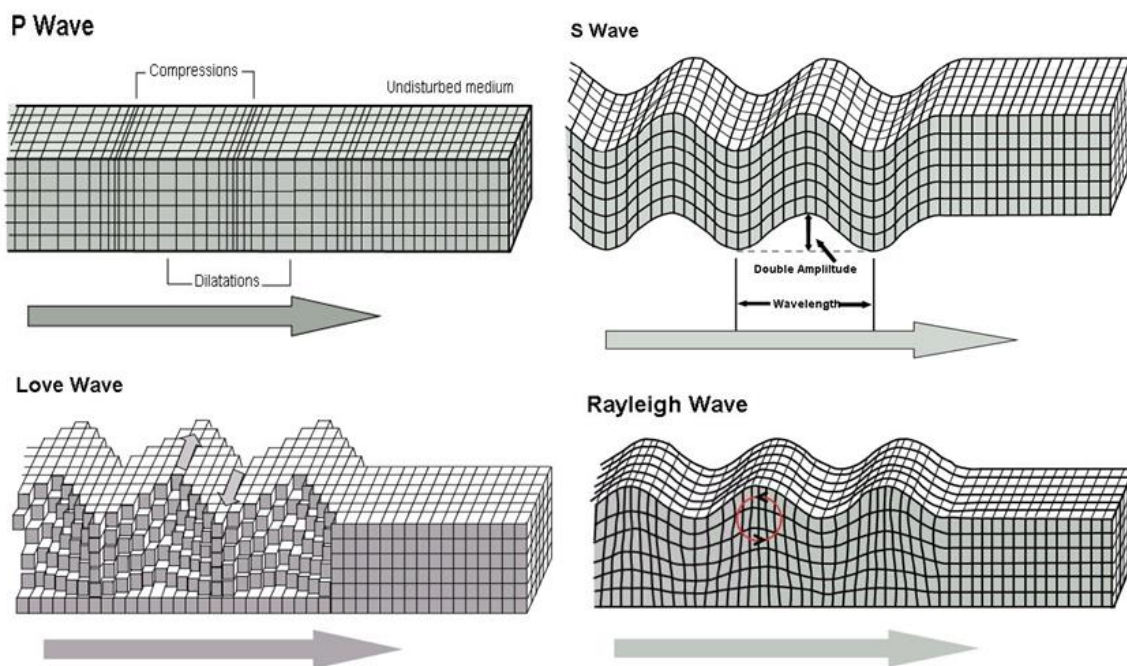
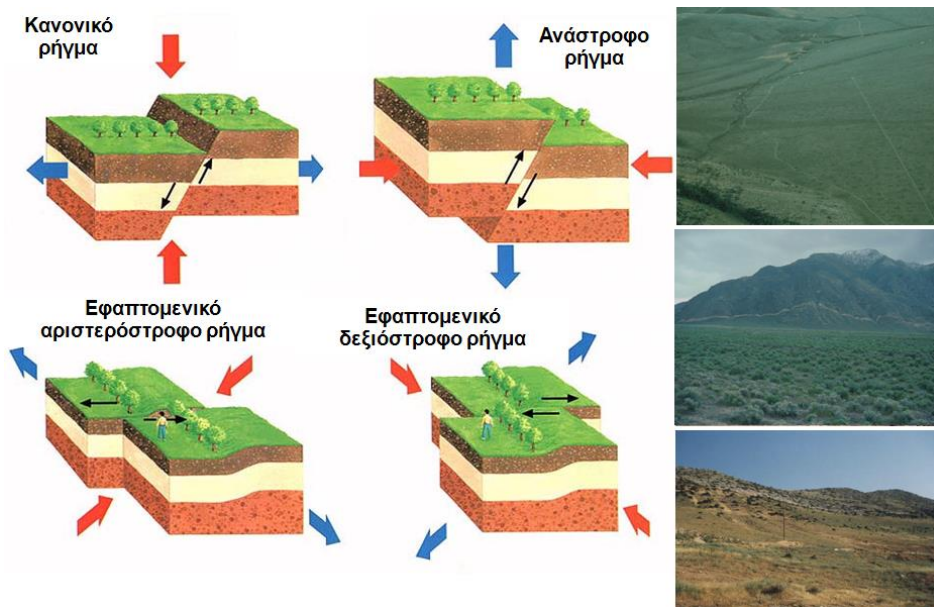
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στον Ευρωκώδικα 8

1.1 Εισαγωγή: Σεισμικότητα και γένεση των σεισμών

Οι σεισμοί γεννώνται εξαιτίας της απότομη διάρρηξης του στερεού φλοιού της γης όπου και όταν οι συσσωρευμένες τάσεις των γεωλογικών στρωμάτων υπερβούν την αντίστοιχη αντοχή δημιουργώντας σεισμικά ρήγματα. Τα ρήγματα αυτά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες (Σχήμα 1.1): (α) κανονικά ρήγματα όπου το τέμαχος της ανώτερης πλευράς της διάρρηξης ολισθαίνει προς τα κάτω, (β) ανάστροφα ρήγματα όπου τα υποκείμενα πετρώματα συμπιέζονται και στις δύο πλευρές του ρήγματος και (3) ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης (εφαπτομενικά) στα οποία η διάρρηξη εκτείνεται κατακόρυφα μέσα στο πέτρωμα και τα τεμάχια εκατέρωθεν του ρήγματος κινούνται οριζόντια είτε αριστερόστροφα είτε δεξιόστροφα. Από τη διάρρηξη των σεισμικών κυμάτων εκλύεται σεισμική ενέργεια η οποία διαδίδεται υπό μορφή κυμάτων. Τα πρωτεύοντα (primary) κύματα P είναι διαμήκη κύματα που ταξιδεύουν με τη μεγαλύτερη ταχύτητα (έως και 6km/sec εντός του βραχώδους υποβάθρου) και γι αυτό είναι τα πρώτα που γίνονται αντιληπτά ή καταγράφονται ενόργανα (Σχήμα 1.2). Συνήθως κατά την τελική άφιξη στην επιφάνεια διαδίδονται κατά την κατακόρυφη διεύθυνση γι αυτό και γίνονται αντιληπτά ως κίνηση πάνω-κάτω. Τα επόμενα κύματα που αφικνούνται στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους είναι τα δευτερεύοντα, γνωστά και ως κύματα S (secondary). Η ιδιαιτερότητα των κυμάτων αυτών έγκειται στο γεγονός ότι δε διαδίδονται μέσα στο νερό ή σε υγρά σώματα (π.χ. στον εξωτερικό πυρήνα της Γης) ενώ ταξιδεύουν με σχετικά μικρότερη ταχύτητα. Από την άλλη, φέρουν μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας και ως εκ τούτου είναι πιο ισχυρά και καταστρεπτικά από τα κύματα P. Για τον λόγο αυτόν, τα κύματα S χρησιμοποιούνται προκειμένου να αποτιμηθεί το μέγεθος ενός σεισμού. Τα δύο παραπάνω κύματα διέπονται από όλες τις αρχές διάδοσης των κυμάτων (ανάκλαση, διάθλαση, αρχή του Fermat και του Huygens).

Κατά την άφιξη των ανωτέρω σεισμικών κυμάτων στην επιφάνεια του εδάφους, δημιουργούνται δύο ακόμα τύποι (επιφανειακών) σεισμικών κυμάτων που χρονικά έπονται των άλλων δύο, εν προκειμένω, τα κύματα Love, τα οποία ονομάστηκαν από τον επιστήμονα που τα τεκμηρίωσε θεωρητικά και όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1 προκαλούν την ταλάντωση των σημείων του εδαφικού μέσου με έναν περισσότερο σύνθετο (γραμμικώς πολωμένο) τρόπο, καθώς και τα κύματα Rayleigh, επίσης ονομασθέντα από το όνομα του Strutt Rayleigh που τα ανακάλυψε, τα οποία προκαλούν την ταυτόχρονη ταλάντωση των σημείων του εδάφους σε ελλειπτικές τροχιές περί κατακόρυφων και παράλληλων προς τη διεύθυνση διάδοσης άξονες. Τα δύο τελευταία κύματα κινούνται πιο αργά από τα πρώτα (P και S) αλλά, ιδιαίτερα τα κύματα Love, είναι πιο καταστρεπτικά.

Τα σεισμικά κύματα, παρότι δεν αποτελούν ρητώς μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού των έργων πολιτικού μηχανικού, εντούτοις ουσιαστικά επηρεάζουν εμμέσως την απόκριση των κατασκευών καθώς φέρουν τη σεισμική ενέργεια την οποία προσπαθούν με γενικό τρόπο οι αντισεισμικοί κανονισμοί διεθνώς να εκφράσουν με όρους φασματικής επιτάχυνσης και τελικά, σεισμικών δράσεων (δυνάμεων) σχεδιασμού. Κατά συνέπεια, η τελική απλοποιημένη εικόνα που αποτυπώνεται στα φάσματα σχεδιασμού με τα οποία ο μελετητής διαστασιολογεί το έργο ώστε να φέρει «ασφαλώς» τα σεισμικά φορτία ή καλύτερα να αποκρίνεται στο επιθυμητό επίπεδο επιτελεσματικότητας το οποίο είναι σε κάθε χώρα νομικώς και οικονομικώς αποδεκτό, αποτελεί αποτέλεσμα πολυετούς μελέτης αλληλένδετων ζητημάτων τεχνικής σεισμολογίας, στατιστικής, εδαφομηχανικής και αντισεισμικής μηχανικής, ενώ παράλληλα αντανακλά και την αντίστοιχη οικονομική και επιστημονική πρόοδο. Ένα μέρος του μεγάλου αυτού ζητήματος το οποίο αφορά στις σεισμικές δράσεις σχεδιασμού όπως αυτές προδιαγράφονται στους σύγχρονους κανονισμούς θα παρουσιαστεί διεξοδικά στις επόμενες ενότητες.



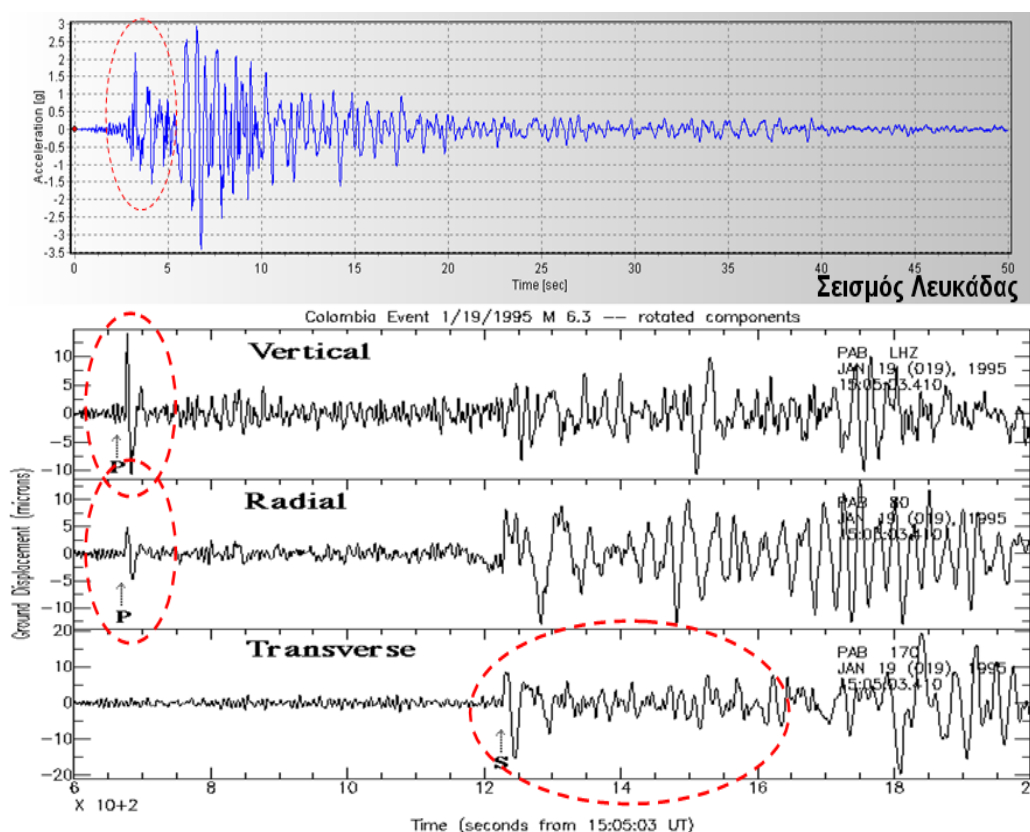
Σχήμα 1.1: Κατηγορίες σεισμικών ρηγμάτων (άνω) και σεισμικών κυμάτων (κάτω).

1.2 Ενόργανες καταγραφές σεισμικής κίνησης

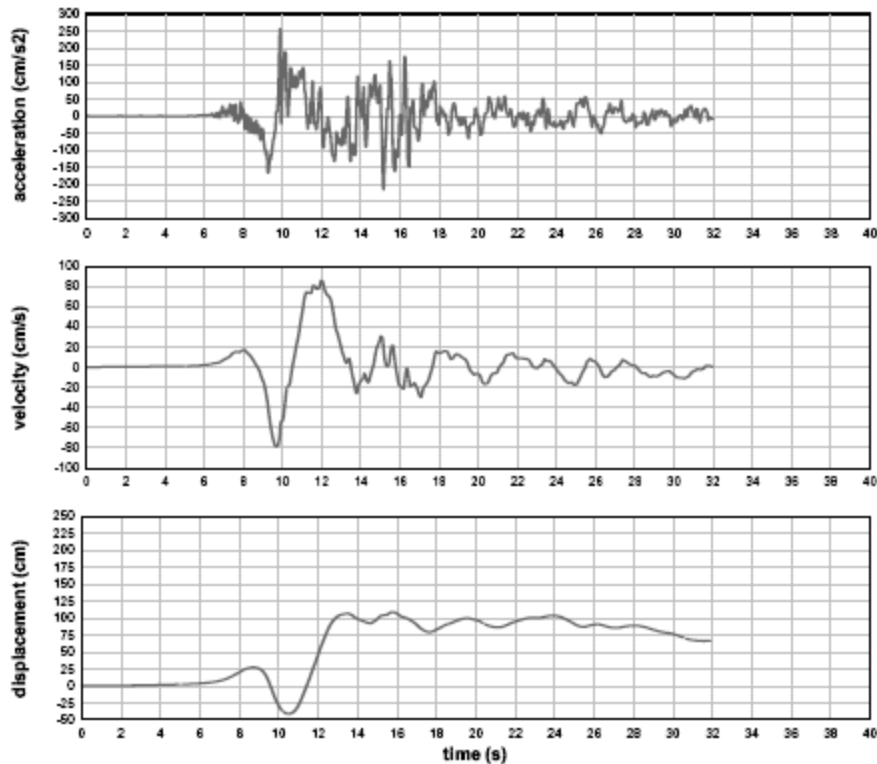
Τα όργανα καταγραφής των σεισμικών δονήσεων είναι τα σειμοσκόπια, οι σειμογράφοι, τα σεισμόμετρα και τα τελευταία χρόνια οι επιταχυνσιογράφοι. Η ενόργανη καταγραφή ονομάζεται σειμογράφημα ή σειμόγραμμα ή επιταχυνσιογράφημα αντίστοιχα. Στον ελληνικό χώρο υπάρχουν μόνιμα εγκατεστημένοι σειμογράφοι και επιταχυνσιογράφοι ενώ υπάρχει και η δυνατότητα εγκατάστασης φορητών δικτύων οργάνων καταγραφής σε περιοχές με αυξημένη σεισμική δραστηριότητα. Οι ενόργανες καταγραφές των σεισμών στην Ελλάδα ξεκινούν στην αρχή του αιώνα (1911) με την εγκατάσταση του πρώτου σειμομέτρου στην Αθήνα. Τα προγενέστερα του 1911 στοιχεία που αφορούν τη σεισμική δραστηριότητα βασίζονται σε περιγραφές κυρίως μακροσεισμικών αποτελεσμάτων καθώς και στην μελέτη ιστορικών σεισμών με βάση τις ιστορικές πηγές.

Τα επιταχυνσιογραφήματα, τα οποία περιγράφουν την μεταβολή της εδαφικής επιτάχυνσης με το χρόνο εξαιτίας της σεισμικής διέγερσης συν τω χρόνο και αξιοποιούνται συχνά για την δυναμική διέγερση των προσομοιωμάτων των κατασκευών απευθείας στο πεδίο του χρόνου, αποτελούν πραγματικές καταγραφές παρελθόντων σεισμικών συμβάντων. Για μεγάλο διάστημα τα επιταχυνσιογραφήματα αυτά καταγράφονταν από αναλογικά συστήματα καταγραφών τα οποία όμως χαρακτηρίζονταν από αρκετά μειονεκτήματα. Πλέον, περίπου πενήντα χρόνια από την πρώτη καταγραφή αναλογικού σεισμικού σήματος, χρησιμοποιούνται οι αντίστοιχοι ψηφιακοί επιταχυνσιογράφοι, οι οποίοι παρέχουν μεγαλύτερη πιστότητα στην καταγραφή των σεισμικών κυμάτων. Παράλληλα, με την αυτόματη ψηφιοποίηση του σήματος, είναι ευκολότερη κάθε είδους περαιτέρω επεξεργασία, χωρίς ασφαλώς αυτό να σημαίνει ότι παλαιότερες (αναλογικές) καταγραφές δεν δύνανται να αξιοποιηθούν κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας Boore και Bommer (2005). Η κυριότερη πάντως αξία των πραγματικών καταγραφών (επιταχυνσιογραφημάτων) είναι ότι παρέχουν πληθώρα πληροφοριών που αφορούν στο πλάτος της διέγερσης, το συχνοτικό περιεχόμενο, το ενεργειακό περιεχόμενο, τη διάρκεια του κραδασμού και τα χαρακτηριστικά της φάσης του σήματος, στοιχεία που εμμέσως παρέχουν πολύτιμη πηγή πληροφοριών για το υποκείμενο έδαφος, το εγγύς αλλά και το μακρινό πεδίο (Σχήμα 1.2-1.3).

Από την άλλη, ο βασικότερος ίσως περιορισμός που άπτεται της χρήσης των πραγματικών καταγραφών είναι η δυσκολία εύρεσης πραγματικών επιταχυνσιογραφημάτων που να πληρούν κάθε φορά τις απαιτήσεις του έργου που μελετάται, αναφορικά με το αναμενόμενο μέγεθος του σεισμού, την απόσταση της κατασκευής από τη σεισμική πηγή και το πραγματικό έδαφος στη θέση μελέτης.



Σχήμα 1.2: Χρονοϊστορίες επιτάχυνσης πραγματικής σεισμικής διέγερσης όπου είναι ορατή η πρώτη άφιξη των πρωτευόντων κυμάτων (P). Σεισμός Λευκάδας (14/8/2003, $M_s=6.2$).



Σχήμα 1.3: Χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης της συνιστώσας A-D της καταγραφής στη θέση Yarimca (YPT) κατά το σεισμό μεγέθους 7.2 της 17^{ης} Αυγούστου 1999 στην περιοχή Kocaeli της Τουρκίας (Durakal, 2002).

Το προαναφερθέν πρόβλημα αποτέλεσε ισχυρό κίνητρο για την ανάπτυξη και τη χρησιμοποίηση μεθόδων δημιουργίας συνθετικών (ή αλλιώς «τεχνητών») επιταχυνσιογραφημάτων (artificial accelerograms), έτσι ώστε αυτά να απηχούν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του σεισμικού σεναρίου – στόχου σε περιπτώσεις όπου η εύρεση διαθέσιμων καταγραφών είναι δυσχερής. Τα συνθετικά επιταχυνσιογραφήματα δημιουργούνται με τη χρήση κατάλληλων αλγορίθμων σύνθεσης με βάση είτε πραγματικά επιταχυνσιογραφήματα (conditional simulation) είτε επιδιώκοντας απευθείας σύγκλιση με το εκάστοτε επιδιωκόμενο φάσμα-«στόχο» (SIMQKE, Gasparini και Vanmarcke, 1976). Εναλλακτικές μέθοδοι είναι η προσομοίωση της τμηματικής διαδικασίας με τη μέθοδο της φασματικής αντιπροσώπευσης (spectral representation method, Shinozuka, 1972), η συνεκτίμηση διαφορετικών σε κάθε θέση εδαφικών συνθηκών (Deodatis, 1996), η χρήση φασμάτων συχνότητας - κυματάριθμου (F-K, Shinozuka, 1987), τεχνικές με βάση το εξελικτικό φάσμα (Loh & Lee, 1990 και Zerva, 1992) καθώς και η χρήση των κυματιδίων (wavelets) από τους Mukherjee et al. (2002). Πιο πρόσφατα έχει προταθεί μια συνολικότερη μεθοδολογία δημιουργίας συνθετικών σεισμικών κινήσεων συνεκτιμώντας τόσο τις τοπικές εδαφικές συνθήκες όσο και την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής (Σέξτος, 2001).

1.3 Σεισμική επικινδυνότητα, τρωτότητα και σεισμική διακινδύνευση

Για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίον διασυνδέεται η μελέτη της σεισμικής διέγερσης και της σεισμικής απόκρισης των κατασκευών ακολουθεί παρακάτω μια σύντομη μνεία βασικών εννοιών που αφορούν τη σεισμική επικινδυνότητα, την τρωτότητα των κατασκευών και τελικά τη συνολική σεισμική διακινδύνευση.

1.3.1 Σεισμική Επικινδυνότητα (Seismic Hazard)

Είναι η μέγιστη αναμενόμενη τιμή μιας σεισμικής παραμέτρου για δεδομένη περίοδο επανάληψης ή για συγκεκριμένη πιθανότητα μη υπέρβασης και συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Τα αποτελέσματα των μελετών σεισμικής επικινδυνότητας δίνονται με τη μορφή χαρτών ή καμπυλών που παρέχουν την κατανομή του

μέτρου εδαφικής κίνησης που επιλέχθηκε και την πιθανότητα να υπερβληθεί ή να μην υπερβληθεί αυτό σε ορισμένο χρονικό διάστημα. Συνήθως γίνεται εκτίμηση της κατανομής της πιθανότητας του 10% υπέρβασης (ή 90% μη υπέρβασης) μιας ορισμένης τιμής της εδαφικής κίνησης για το χρονικό διάστημα των 50 ετών ή ισοδύναμα, για μέση περίοδο επανάληψης 475 έτη.

1.3.2 Τρωτότητα (Vulnerability)

Η πιθανότητα μια κατασκευή να υποστεί ένα συγκεκριμένο επίπεδο βλάβης υπό ένα δεδομένο επίπεδο σεισμικών δυνάμεων. Εναλλακτικά, με γενικότερο τρόπο, ορίζεται ως ο βαθμός απωλειών από δεδομένο σεισμό, σε συγκεκριμένα στοιχεία της σεισμικής διακινδύνευσης ή στο σύνολο τέτοιων στοιχείων.

1.3.3 Σεισμική Διακινδύνευση (Seismic Risk)

Το επίπεδο απώλειας ή βλάβης που σχετίζεται με μια ομάδα κατασκευών οι οποίες είναι εκτεθειμένες σε συγκεκριμένο επίπεδο σεισμικής επικινδυνότητας δοθείσας της τρωτότητάς τους. Επίσης, ορίζονται ως «στοιχεία της σεισμικής διακινδύνευσης» (elements at seismic risk) ο πληθυσμός, τα κτίρια και τα τεχνικά έργα γενικά, οι οικονομικές δραστηριότητες, καθώς και οι δημόσιες και κοινωφελείς υπηρεσίες, που σε μια συγκεκριμένη περιοχή εκτίθενται στη σεισμική διακινδύνευση. Ο υπολογισμός της διακινδύνευσης προκύπτει από την συνέλιξη της σεισμικής επικινδυνότητας και του παράγοντα τρωτότητας (Sandi 1982), είναι δηλαδή:

$$SR = V * SH$$

Ως εκ τούτου, σημαντική σεισμική επικινδυνότητα οδηγεί σε άλλο επίπεδο σεισμικής διακινδύνευσης στην Καλιφόρνια σε σχέση με μια χώρα της Ασίας για παράδειγμα, καθώς στην πρώτη περίπτωση το υψηλότερο εν γένει βιοτικό, ερευνητικό και κατασκευαστικό επίπεδο έχει μειώσει σε σημαντικό βαθμό την τρωτότητα των κατασκευών. Συχνά, στην έννοια της διακινδύνευσης συμπεριλαμβάνεται και η έννοια του χρόνου έκθεσης στον σεισμικό κίνδυνο ή της σημασίας του εκτιθέμενου στοιχείου.

1.4 Κανονιστικό πλαίσιο σχεδιασμού

Οι Ευρωκώδικες απαρτίζονται από 10 κύρια Ευρωπαϊκά Πρότυπα, συμπεριλαμβάνουν όλους τους τρόπους δόμησης (σκυρόδεμα, χάλυβα κλπ) και υποδιαιρούνται σε μέρη λαμβάνοντας υπόψη και τη συμπεριφορά των κατασκευών στο σεισμό ή/και την πυρκαγιά. Παράλληλα, για κάθε μέρος Ευρωκώδικα, εκδίδεται από κάθε χώρα το «Εθνικό Προσάρτημα». Το Προσάρτημα αυτό περιέχει «Εθνικά Καθορισμένες Παραμέτρους» οι οποίες προκύπτουν και εκφράζουν τις ειδικές γεωγραφικές, γεωλογικές ή κλιματικές συνθήκες, καθώς και τα συγκεκριμένα επίπεδα προστασίας που ισχύουν στην επικράτεια του κάθε κράτους.

- Ευρωκώδικας 0 (EN1990): «Eurocode - Basis of structural design» «Ευρωκώδικας - Βάσεις σχεδιασμού δομημάτων»
- Ευρωκώδικας 1 (EN1991): «Basis of design and actions on structures», «Βάσεις σχεδιασμού και δράσεων στις κατασκευές»
- Ευρωκώδικας 2 (EN1992): «Design of concrete structures» - «Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα»
- Ευρωκώδικας 3 (EN1993): «Design of steel structures» - «Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών»
- Ευρωκώδικας 4 (EN1994): «Design of composite steel and concrete structures» - «Σχεδιασμός συμμείκτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα»
- Ευρωκώδικας 5 (EN1995): «Design of timber structures» - «Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών»
- Ευρωκώδικας 6 (EN1996): «Design of masonry structures» - «Κατασκευές από τοιχοποιία»
- Ευρωκώδικας 7 (EN1997): «Geotechnical design» - «Γεωτεχνικός σχεδιασμός»

- Ευρωκώδικας 8 (EN1998): «Design of structures for earthquake resistance» - «Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών»
- Ευρωκώδικας 9 (EN1999): «Design of aluminium structures» - «Σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο»

Ο Ευρωκώδικας 8 (Αντισεισμικός Σχεδιασμός) αποτελεί μέρος του συνόλου των Ευρωκωδίκων και αποτελείται από 6 διακριτά μέρη (Πίνακας 1.1). Το Μέρος 1 του Ευρωκώδικα 8 ειδικότερα, παρέχει τις γενικές απαιτήσεις σεισμικής συμπεριφοράς και τους κανόνες καθορισμού της σεισμικής δράσης για το σχεδιασμό κάθε τεχνικού έργου. Κυρίως όμως δίνει κριτήρια συμμόρφωσης και ειδικούς κανόνες για κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, χάλυβα, σύμμικτα, ξύλο ή φέρουσα τοιχοποιία και κτίρια με σεισμική μόνωση (Φαρδής, 2007). Σημειώνεται ότι αν και οι περισσότερες διατάξεις αφορούν το σύνολο των κρατών όπου ο Ευρωκώδικας 8 αποτελεί τον κανονισμό αντισεισμικού σχεδιασμού, όπως ισχύει για όλα τα κείμενα των Ευρωκωδίκων υπάρχουν η δυνατότητα παραμετροποίησής τους σε κάποιο βαθμό μέσα από τον καθορισμό των «εθνικώς προσδιοριζόμενων παραμέτρων» των οποίων η τιμή καθορίζεται σε ξεχωριστά σε κάθε χώρα. Οι ανωτέρω παράμετροι, οι οποίες διαφέρουν ανάμεσα στους Ευρωκώδικες διαφορετικών χωρών, π.χ συντελεστές ασφαλείας, περίοδος επανάληψης ή πιθανότητα υπέρβασης σε 50 χρόνια της σεισμικής δράσης σχεδιασμού, κ.λ.π.), κατηγορίες πλαστιμότητας ή επιτελεστικότητας (Φαρδής, 2007) που αφορούν τη χώρα μας περιγράφονται παρακάτω. Σε κάθε περίπτωση πάντως σε όλα τα κείμενα των Ευρωκωδίκων παρέχονται υπό μορφή σημειώσεων οι συνιστώμενες τιμές.

Πίνακας 1.1: Τίτλοι ισχυόντων Τμημάτων του Ευρωκώδικα 8 και Εθνικά Προσαρτήματα

Τίτλοι ισχυόντων Τμημάτων του Ευρωκώδικα	Εθνικά Προσαρτήματα
Part 1 (EN 1998-1:2004): General rules, seismic actions and rules for buildings Part 1 (EN 1998-1:2004/AC:2009): General rules, seismic actions and rules for buildings Μέρος 1 (ΕΛΟΤ EN 1998-1:2005): Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια Part 1 (EN 1998-1:2004/A1:2013): Design of structures for earthquake resistance - General rules, seismic actions and rules for buildings Μέρος 1: Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών - Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια	ΕΛΟΤ EN 1998-1: 2005/NA: 2010
Part 2 (EN 1998-2:2005): Bridges Part 2 (EN 1998-2:2005/AC:2010): Bridges Μέρος 2 (ΕΛΟΤ EN 1998-2:2006): Γέφυρες Part 2 (EN 1998-2:2005/A1:2009): Bridges Μέρος 2 (ΕΛΟΤ EN 1998-2:2006/A1:2009): Γέφυρες Part 2 (EN 1998-2:2005/A2:2011): Design of structures for earthquake resistance Bridges Μέρος 2: Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών – Γέφυρες	ΕΛΟΤ EN 1998-2: 2006/NA: 2010
Part 3 (EN 1998-3:2005): Assessment and retrofitting of buildings Part 3 (EN 1998-3:2005/AC:2010): Assessment and retrofitting of buildings Part 3 (EN 1998-3:2005/AC:2013): Assessment and retrofitting of buildings Μέρος 3 (ΕΛΟΤ EN 1998-3:2005): Αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας κτιρίων και επεμβάσεις	ΕΛΟΤ EN 1998-3: 2005/NA: 2010
Part 4 (EN 1998-4:2006): Silos, tanks and pipelines Μέρος 4 (ΕΛΟΤ EN 1998-4:2007): Σιλό, δεξαμενές και αγωγοί.	ΕΛΟΤ EN 1998-4: 2007/NA: 2010
Part 5 (EN 1998-5:2004): Foundations, retaining structures and geotechnical aspects Μέρος 5 (ΕΛΟΤ EN 1998-5:2005): Θεμελιώσεις, κατασκευές αντιστήριξης και γεωτεχνικά θέματα.	ΕΛΟΤ EN 1998-5: 2005/NA: 2010
Part 6 (EN 1998-6:2005): Towers, masts and chimneys Μέρος 6 (ΕΛΟΤ EN 1998-6:2005): Πύργοι, ιστοί και καπνοδόχοι	ΕΛΟΤ EN 1998-6: 2005/NA: 2010

1.5 Φορτιστικές καταστάσεις

Κάθε συνδυασμός δράσεων, με εξαίρεση τους ελέγχους που αφορούν στην κόπωση, πρέπει να περιλαμβάνει μία κυρίαρχη μεταβλητή δράση ή μία τυχηματική δράση. Αναφορικά με τους συνδυασμούς δράσεων για τις διάφορες καταστάσεις αστοχίας, χρησιμοποιούνται τα εξής σύμβολα:

- “+” = «προς συνδυασμό με ...»
- Σ = «το συνδυασμένο αποτέλεσμα του»
- G_k = χαρακτηριστική τιμή μόνιμης δράσης
- P = αντιπροσωπευτική δράση δύναμης προέντασης χαρακτηριστική τιμή μεμονωμένης μεταβλητής δράσης
- Q_k = χαρακτηριστική τιμή μεταβλητής δράσης
- A_{Ed} = τιμή σχεδιασμού για σεισμική δράση
- γ_G = επιμέρους συντελεστής για μόνιμη δράση
- γ_P = συντελεστής για τιμή συνδυασμού μεταβλητής δράσης, συντελεστής για συχνή τιμή μεταβλητής δράσης, συντελεστής για οιονεί μόνιμη τιμή μεταβλητής δράσης, μειωτικός συντελεστής για δυσμενείς μόνιμες δράσεις
- ψ_0 = συντελεστής για τιμή συνδυασμού μεταβλητής δράσης
- ψ_1 = συντελεστής για συχνή τιμή μεταβλητής δράσης
- ψ_2 = συντελεστής για για οιονεί μόνιμη τιμή μεταβλητής δράσης
- ξ = μειωτικός συντελεστής για δυσμενείς μόνιμες δράσεις

1.5.1 Σεισμικός συνδυασμός

Ο σεισμικός συνδυασμός, ο οποίος εφαρμόζεται στον Ευρωκώδικα 8, προκύπτει ως:

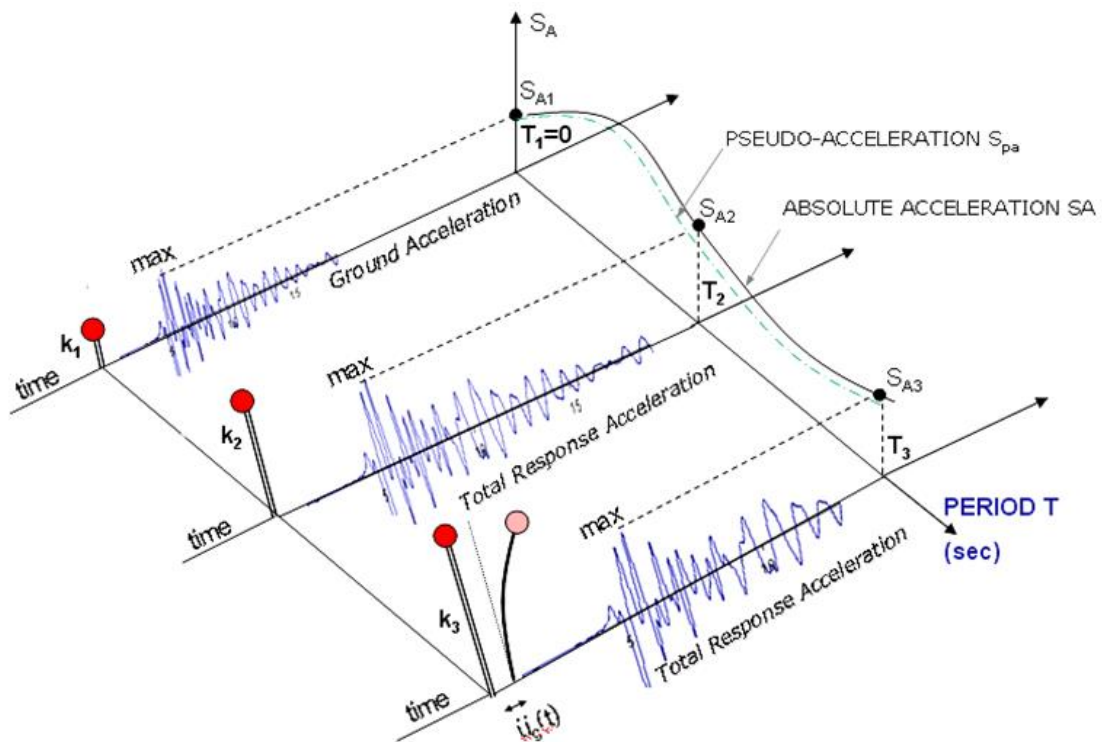
$$E_d = \Sigma G_{k,j} \text{“+”} P \text{“+”} A_{Ed} \text{“+”} \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}, i, j \geq 1$$

Οι προτεινόμενες τιμές συντελεστών ψ για κτίρια δίνονται στον Πίνακα A1.1 του Παραρτήματος Α του Ευρωκώδικα 0.

1.6 Φάσματα απόκρισης

Αναπόσπαστο μέρος του αντισεισμικού σχεδιασμού στη χώρα μας και διεθνώς αποτελεί το λεγόμενο φάσμα σχεδιασμού το οποίο θα παρουσιαστεί παρακάτω σε σχέση με το ελαστικό φάσμα του κανονισμού. Για τον λόγο αυτόν, κρίνεται σκόπιμη η σύντομη παρουσίαση της έννοιας του φάσματος απόκρισης των κατασκευών υπό τυχούσα φόρτιση βάσης. Υπενθυμίζεται συνεπώς πως ένα φάσμα απόκρισης, στη γενική περίπτωση είναι ένα διάγραμμα της μέγιστης απόκρισης ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή ο οποίος υποβάλλεται σε διέγερση με μια μεταβλητή στο χρόνο σεισμική δύναμη (ή επιτάχυνση) ως συνάρτηση της ιδιοπεριόδου του (Σχήμα 1.4). Η διαδικασία αυτή περιγράφεται αναλυτικά και στη διεθνή βιβλιογραφία (ενδεικτικά: Newmark and Hall, 1982 ή Clough and Penzien, 1993) ενώ τα φάσματα απόκρισης που συνήθως σχεδιάζονται (Σχήμα 1.5) αναφέρονται στη φασματική ψευδο-επιτάχυνση S_{pa} , τη ψευδοταχύτητα S_{pv} , και τη μετακίνηση S_d . Οι ποσότητες αυτές όπως είναι γνωστό συνδέονται από τη σχέση:

$$S_{pa} = \omega S_{pv} = \omega^2 S_d$$

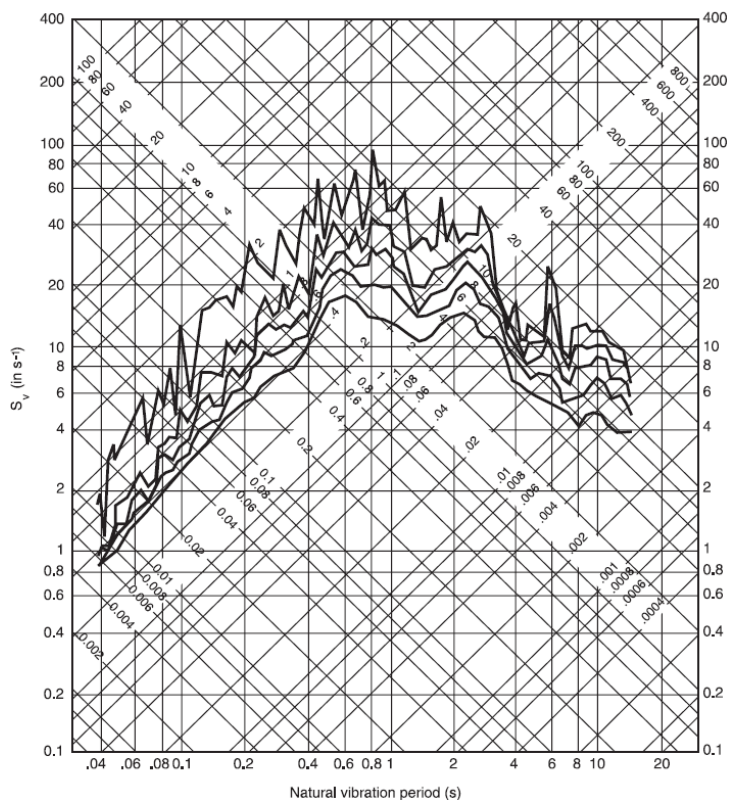


Σχήμα 1.4: Φάσμα απόκρισης μονοβάθμιου ταλαντωτή υπό τυχούσα διέγερση βάσης

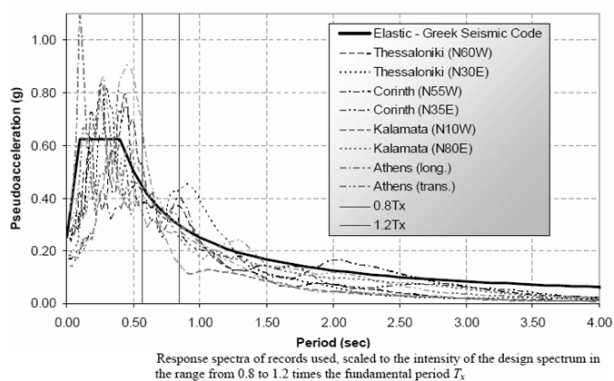
Σημειώνεται πως για λόγους σχεδιασμού, η φασματική ψευδο-επιτάχυνση S_{pa} είναι περισσότερο χρήσιμη από ότι «πραγματική» επιτάχυνση καθώς η πρώτη μπορεί απευθείας να συσχετιστεί με τις μέγιστες αναπτυσσόμενες δυνάμεις εντός της κατασκευής. Από την άλλη, η ψευδοταχύτητα S_{pv} αποτελεί ένα ικανοποιητικό μέτρο της καταστρεπτικότητας της σεισμικής κίνησης καθώς συναρτάται με την εισαγόμενη ενέργεια η οποία για την περίπτωση αμελητέας απόσβεσης ταλαντωτή μάζας m , ισούται όπως είναι γνωστό με $\frac{1}{2}mS_{pv}^2$. Επίσης θα πρέπει να επισημανθεί ότι πρόσφατα, σύγχρονες θεωρίες έχουν αναπτυχθεί σχετικά με το σχεδιασμό των κατασκευών με βάση τις μετακινήσεις και συνακόλουθα του φάσματος μετακινήσεων, παρόλα αυτά, έμφαση δίνεται στο παρόν στα φάσματα επιτάχυνσης καθώς ο σχεδιασμός τόσο κατά ΕΑΚ2000 όσο και κατά Ευρωκώδικα 8 πραγματοποιείται ως επί το πλείστον με βάσει τις δυνάμεις (και συνεπώς την επιτάχυνση).

Είναι φανερό πως μια συγκεκριμένη (σεισμική εν προκειμένω) διέγερση χαρακτηρίζεται από ένα και μοναδικό φάσμα απόκρισης το οποίο όπως εξηγήθηκε προηγουμένως περιγράφει την απόκριση όλων των συστημάτων διαφορετικής ιδιοπεριόδου στη διέγερση αυτή. Η μορφή του εκάστοτε φάσματος απόκρισης δεδομένης εδαφικής κίνησης εξαρτάται από μια σειρά παραμέτρων όπως ο μηχανισμός διάρρηξης, η επικεντρική απόσταση, το μέσο διάδοσης και οι τοπικές εδαφικές συνθήκες.

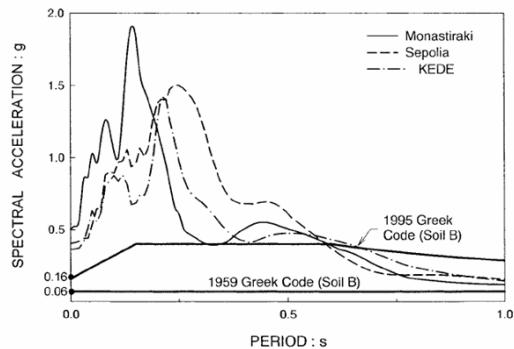
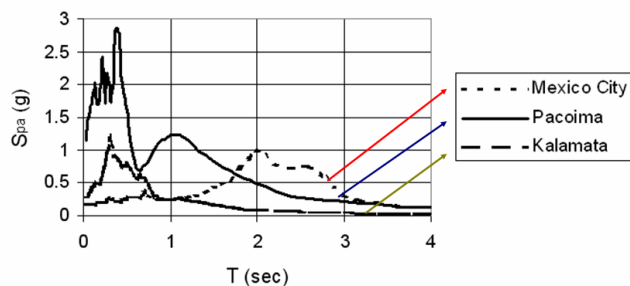
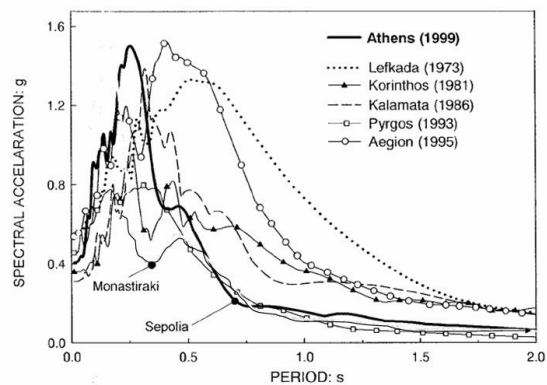
Υπό αυτή την έννοια, το φάσμα απόκρισης αποτελεί το «αποτύπωμα» της σεισμικής κίνησης και ως εκ τούτου αποτελεί ένα από τα βασικά εργαλεία εποπτικής της παρουσίασης. Από τη μελέτη των χιλιάδων διαθέσιμων σήμερα φασμάτων απόκρισης μπορεί πολύ εύκολα να γίνει η σύγκριση μεταξύ του συχνοτικού περιεχομένου των πραγματικών σε κάθε περιοχή σεισμικών κινήσεων και των προβλεπομένων φασμάτων του εκάστοτε αντισεισμικού κανονισμού. Είναι φανερό, όπως άλλωστε παρουσιάζεται και στο Σχήμα 1.6 ότι η πραγματική φασματική επιτάχυνση όπως καταγράφεται ενόργανα είναι δυνατόν να υπερβαίνει αυτή που προκύπτει από το φάσμα του Κανονισμού, συμπέρασμα που ισχύει και για την Ελλάδα (Κάππος και Παναγόπουλος, 2004) για λόγους που θα εξηγηθούν παρακάτω.



Σχήμα 1.5: Φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετακινήσεων της καταγραφής S00E του σεισμού του El Centro, για ποσοστά απόσβεσης 0, 2, 5, 10 και 20% (Naeim, 2001)



Kappos & Panagopoulos (2004)



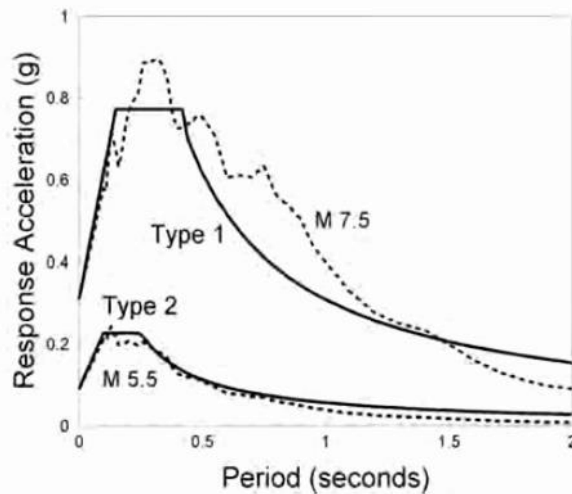
Σχήμα 1.6: Σύγκριση φασμάτων απόκρισης πραγματικών σεισμών και ελαστικού φάσματος των Ελληνικών Κανονισμών (NEAK 1995, EAK2000).

1.7 Ελαστικό φάσμα και φάσμα σχεδιασμού Ευρωκώδικα 8 στην οριζόντια διεύθυνση

Όπως και στον ΕΑΚ οι σεισμικές δυνάμεις σχεδιασμού καθορίζονται στον EC8, από την μέγιστη επιτάχυνση απόκρισης της κατασκευής, υπό τον σεισμό σχεδιασμού, ο οποίος αναπαρίσταται με το φάσμα επιταχύνσεων της κατασκευής. Το σημείο εκκίνησης είναι ένα ελαστικό φάσμα απόκρισης, το οποίο εν συνεχεία μειώνεται με συντελεστές που λαμβάνουν υπ' όψιν την ικανότητα της κατασκευής να απορροφά σεισμική ενέργεια μέσω ανελαστικών παραμορφώσεων. Το φάσμα επιταχύνσεων σχεδιασμού προκύπτει από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων με απόσβεση 5%, με διαίρεση των φασματικών επιταχύνσεων δια του συντελεστή συμπεριφοράς q . Σε οριζόντιο επίπεδο η σεισμική δράση δρα ταυτόχρονα και ανεξάρτητα σε δυο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις που έχουν το ίδιο φάσμα απόκρισης.

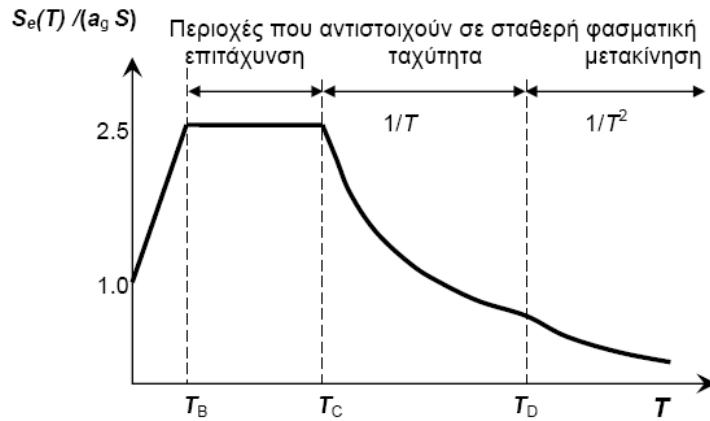
Σύμφωνα με τον EC8, προβλέπονται δύο διαφορετικά φάσματα σχεδιασμού, ένα για περιοχές υψηλότερης σεισμικότητας της νότιας Ευρώπης (Type 1) και το άλλο για υιοθέτηση σε περιοχές χαμηλότερης σεισμικότητας της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης (Type 2). Εν προκειμένω, το φάσμα τύπου 1 αναφέρεται σε μεγέθη σεισμού κοντά στο 7 ενώ το φάσμα τύπου 2 είναι κατάλληλο για σεισμούς μεγέθους μέχρι 5,5.

Στο επόμενο σχήμα δίνονται οι μέσες φασματικές τεταγμένες από τις εξισώσεις πρόβλεψης της κίνησης του Ευρωπαϊκού εδάφους των Ambraseys et al. (1996) για θέσεις βράχου σε απόσταση 10 km από μικρού και μεγάλου μεγέθους σεισμούς, σε σύγκριση με το φάσμα Τύπου 1 και Τύπου 2 για βράχο του EC8, βασισμένου στις μέσες τιμές προβλέψεων μέγιστης επιτάχυνσης εδάφους (PGA).



Σχήμα 1.7: Μέσες φασματικές τεταγμένες κατά Ambraseys σε σύγκριση με του EC8 (Elghazouli, 2009)

Το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων με απόσβεση 5% του EC8 δίνεται σχηματικά παρακάτω. Περιλαμβάνει μια περιοχή σταθερής φασματικής επιτάχυνσης, μεταξύ περιόδων T_B και T_C με τιμή 2.5 φορές τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση $a_g S$, (όπως στον ΕΑΚ 2000 μεταξύ των περιόδων T_1 και T_2) που ακολουθείται από μια περιοχή σταθερής φασματικής ταχύτητας μεταξύ περιόδων T_C και T_D , όπου η φασματική επιτάχυνση είναι ανάλογη του $1/T$, και μια περιοχή σταθερής φασματικής μετακίνησης, όπου η φασματική επιτάχυνση είναι ανάλογη του $1/T^2$.



Σχήμα 1.8: Ελαστικό φάσμα EC στην οριζόντια διεύθυνση για απόσβεση 5% (Fardis, 2009a)

Στις περιοχές σταθερής φασματικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης, το φάσμα σχεδιασμού προκύπτει από το ελαστικό με απόσβεση 5% με διαίρεση δια του q . Κατ' εξαίρεση, ο ανερχόμενος κλάδος για ιδιοπεριόδους T μέχρι $T \leq T_B$ προκύπτει από γραμμική παρεμβολή μεταξύ: (α) της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης S_{ag} , δια συντελεστή ίσου με 1.5 για $T=0$ και (β) της σταθερής επιτάχυνσης σχεδιασμού $2.5a_g/q$ για $T=T_B$. Επιπλέον, τίθεται ένα κάτω όριο στη φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού, ίσο με 20% της μέγιστης επιτάχυνσης στο βράχο, a_g . (Fardis, 2009a). Παρακάτω δίνονται οι σχέσεις οι οποίες περιγράφουν το φάσμα επιταχύνσεων σχεδιασμού (EC8 § 3.2.2.5(4)) :

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C}{T} \\ \geq b \cdot a_g \end{cases}$$

$$T_D \leq T : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \\ \geq b \cdot a_g \end{cases}$$

όπου:

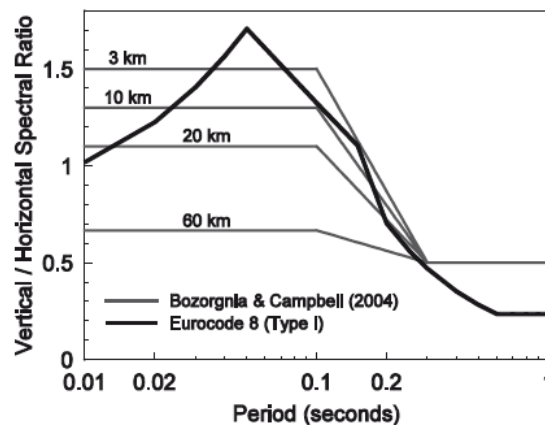
- $S_d(T)$ το φάσμα σχεδιασμού
- T η ιδιοπερίοδος ταλάντωσης ενός γραμμικού μονοβάθμιου συστήματος
- a_g η σεισμική επιτάχυνση σχεδιασμού του εδάφους σε εδάφη τύπου A ($a_g = \gamma_I a_{gR}$)
- γ_I ο συντελεστής σπουδαιότητας του κτιρίου
- T_B το κάτω όριο της περιόδου του σταθερού κλάδου του φάσματος επιταχύνσεων
- T_C το άνω όριο της περιόδου του σταθερού κλάδου του φάσματος επιταχύνσεων
- T_D η τιμή που ορίζει την αρχή της περιοχής σταθερής φασματικής μετακίνησης
- S ο συντελεστής εδάφους
- η ο διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης με τιμή αναφοράς $\eta=1$ για ποσοστό ιξώδους απόσβεσης 5%

- q ο συντελεστής συμπεριφοράς
- β το κάτω όριο για τη σεισμική επιτάχυνση σχεδιασμού (προτείνεται η τιμή $\beta=0.2$)

Σε σύγκριση με τον ΕΑΚ 2000, επισημαίνεται η μείωση των φασματικών επιταχύνσεων με την περίοδο σε συνάρτηση του $1/T$ για $T_B \leq T \leq T_D$ και του $1/T^2$ για $T \geq T_D$, αντί του $1/T^{2/3}$, και το χαμηλότερο κάτω όριο ($0.2a_g$, αντί $0.25a_g$).

1.8 Φάσμα σχεδιασμού κατακόρυφης διεύθυνσης

Η σπουδαιότητα της κατακόρυφης συνιστώσας του σεισμού σε όρους απαίτησης από τις κατασκευές είναι ένα ζήτημα ακόμη υπό συζήτηση αλλά υπάρχουν συγκεκριμένοι τύποι κατασκευών ή κατασκευαστικών στοιχείων, όπως οι δοκοί πρόβολοι, για τα οποία η κατακόρυφη φόρτιση θα μπορούσε να είναι σημαντική. Πολλοί αντισεισμικοί κανονισμοί δεν προβλέπουν κατακόρυφο φάσμα (ελαστικό ή σχεδιασμού) και αυτοί που παρέχουν γενικά το καθορίζουν ως συνάρτηση του οριζόντιου φάσματος, συνήθως με τεταγμένες μειωμένες κατά ένα τρίτο. Μετρήσεις σεισμικών επιταχύνσεων κοντά στην πηγή (ρήγμα) έχουν δείξει ότι στις μικρές περιόδους, η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής κίνησης μπορεί να ξεπεράσει την οριζόντια. Παράλληλα είναι γενικά αποδεκτό ότι το σχήμα (συχνοτικό περιεχόμενο) του φάσματος της κατακόρυφης απόκρισης είναι πολύ διαφορετικό από αυτό των οριζόντιων συνιστωσών κίνησης (Bozorgnia and Campbell, 2004). Από αυτή την άποψη, ο EC8 (§3.2.2.3) έχει το πλεονέκτημα ότι καθορίζει το φάσμα κάθετης απόκρισης ανεξάρτητα και όχι ως αναλογικό του οριζόντιου φάσματος. Στο Σχήμα 1.9 δίνεται ο λόγος κατακόρυφης προς οριζόντιας συνιστώσας της σεισμικής κίνησης για μαλακά εδάφη και φάσμα τύπου I του EC8 σε σύγκριση με τους μέσους λόγους που προβλέφθηκαν από τους Bozorgnia και Campbell (2004) για μαλακά εδάφη σε διάφορες αποστάσεις από την πηγή του σεισμού.



Σχήμα 1.9: Λόγος κατακόρυφης προς οριζόντιας συνιστώσας για την περίπτωση μαλακών εδαφών σύμφωνα με τον EC8 και πραγματικές καταγραφές (Bozorgnia και Campbell, 2004)

Για την κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δράσης, το φάσμα σχεδιασμού δίνεται από τις σχέσεις που διέπουν την οριζόντια συνιστώσα, με τη διαφορά ότι ο συντελεστής εδάφους S λαμβάνεται ίσος με 1.0, ο συντελεστής συμπεριφοράς q δεν επιτρέπεται να λαμβάνεται μεγαλύτερος από 1.5 (εκτός αν τεκμηριώνεται από κατάλληλη μελέτη), οι τιμές των περιόδων T_B , T_C , T_D αλλάζουν (δίνονται στον παρακάτω πίνακα), η μέγιστη κατακόρυφη επιτάχυνση a_{vg} αντικαθιστά την a_g , με τον τρόπο που φαίνεται επίσης στον ίδιο πίνακα, ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι λαμβάνονται όπως ορίζονται στην προηγούμενη παράγραφο.

Πίνακας 1.2: Παράμετροι κατακόρυφου ελαστικού φάσματος απόκρισης κατά EC8 (EC8 § 3.2.2.3 Table 3.4)

Τύπος φάσματος	a_{vg}/a_g	T_B	T_C	T_D
1	0.90	0.05	0.15	1.0
2	0.45	0.05	0.15	1.0

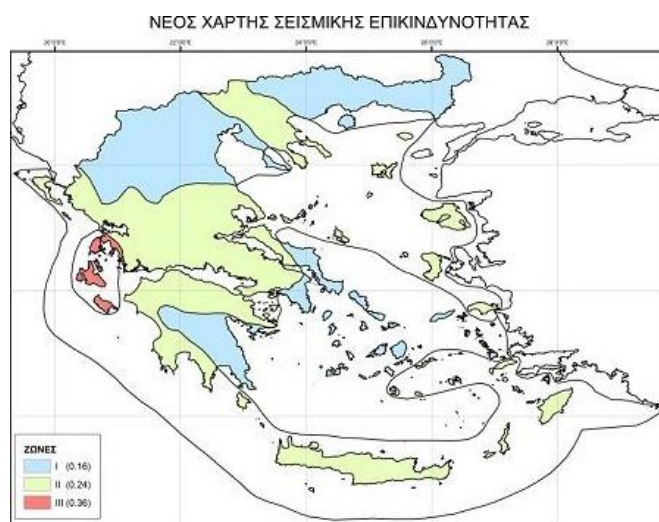
1.9 Παράμετροι του φάσματος σχεδιασμού

1.9.1 Συντελεστής σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους (a_g)

Σύμφωνα με τον EC8, η εξάρτηση της σεισμικής δράσης αναφοράς (δηλαδή αυτής με πιθανότητα υπέρβασης 10% σε 50 χρόνια), A_{EK} , από τη γεωγραφική θέση δίνεται σε όρους μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης αναφοράς a_{gR} στο βράχο (κατηγορία εδάφους A) από τον εθνικό χάρτη Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας. Το Εθνικό Προσάρτημα του EC8 υιοθετεί για το σκοπό αυτό τις τρεις Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας του EAK2000 και ως σεισμικές επιταχύνσεις στο βράχο τις αντίστοιχες τιμές εδαφικών επιταχύνσεων, οι οποίες παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα 1.3 και θεωρούνται ότι ισχύουν σε έδαφος κατηγορίας A κατά μέσο όρο, γεγονός που συνεπάγεται γενικώς επιβάρυνση των φασματικών επιταχύνσεων επί εδάφους B έως E κατά 15%-40%, σε σύγκριση με τον EAK2000. Η μέγιστη σεισμική επιτάχυνση στην επιφάνεια του εδάφους εξαρτάται από την κατηγορία εδάφους μιας και προκύπτει από την επιτάχυνση αναφοράς a_{gR} πολλαπλασιασμένη επί τον συντελεστή εδάφους S . Για έργα κατηγορίας σπουδαιότητας διαφορετικής της συνήθους (δηλαδή της κατηγορίας II), η μέγιστη σεισμική επιτάχυνση σχεδιασμού, a_g , ισούται με την τιμή αναφοράς, a_{gR} , επί το συντελεστή σπουδαιότητας, $a_g = \gamma a_{gR}$. Στο Σχήμα 1.10 που ακολουθεί δίνεται ο χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας κατά τον EAK 2000 (που έχει υιοθετηθεί και από το Εθνικό Προσάρτημα του EC8).

Πίνακας 1.3: Τιμές αναφοράς μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	I	II	III
a_g	0.16	0.24	0.36



Σχήμα 1.10: Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας Ελλάδος

1.9.2 Συντελεστής σπουδαιότητας κτιρίων (γ_I)

Τα κτίρια κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες σπουδαιότητας, ανάλογα με τις επιπτώσεις της κατάρρευσης για την ανθρώπινη ζωή, τη σπουδαιότητά τους για τη δημόσια ασφάλεια και την προστασία των πολιτών στην άμεση μετασεισμική περίοδο και τις κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις της κατάρρευσης. Οι τέσσερις κατηγορίες σπουδαιότητας χαρακτηρίζονται από διαφορετικούς συντελεστές σπουδαιότητας, γ_I , καθώς επίσης και από διαφορετικούς συντελεστές μείωσης, ν , οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της σεισμικής δράσης για τη στάθμη επιτελεστικότητας «περιορισμένες βλάβες». Σύμφωνα με τον EC8, η τιμή του συντελεστή σπουδαιότητας για την κατηγορία II πρέπει να είναι εξ' ορισμού ίση με 1.0, ενώ για τις υπόλοιπες κατηγορίες οι τιμές αυτές θα καθορίζονται από το Εθνικό Προσάρτημα. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι προτεινόμενες τιμές του συντελεστή σπουδαιότητας και του συντελεστή μείωσης για την κάθε κατηγορία σπουδαιότητας, σύμφωνα με τον EC8.

Πίνακας 1.4: Κατηγορίες σπουδαιότητας κτιρίων κατά EC8 (EC8 § 4.2.5 Table 4.3 και M. Fardis 2009a)

Κατηγορία σπουδαιότητας	Κτίρια	γ_I	ν
I	Κτίρια ήσσονος σημασίας για τη δημόσια ασφάλεια, π.χ. αγροτικά οικήματα.	0.8	0.5
II	Κανονικά κτίρια τα οποία δεν ανήκουν στις υπόλοιπες κατηγορίες	1.0	0.5
III	Κτίρια των οποίων η σεισμική αντίσταση είναι σημαντική σε ότι αφορά τις συνέπειες που συνδέονται με πιθανή κατάρρευση, π.χ. σχολεία, χώροι συνάθροισης κοινού.	1.2	0.4
IV	Κτίρια των οποίων η ακεραιότητα κατά τη διάρκεια των σεισμών είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία των πολιτών, π.χ. νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, σταθμοί παραγωγής ενέργειας.	1.4	0.4

1.9.3 Κατηγορία εδάφους

Σύμφωνα με τον EC8(§3.1.2), υπάρχουν πέντε τυποποιημένες κατηγορίες εδάφους (A, B, C, D, E) και δυο ειδικές κατηγορίες εδάφους (S_1, S_2) με τις οποίες λαμβάνεται υπόψη στις σεισμικές δράσεις η επιρροή των τοπικών εδαφικών συνθηκών. Η βασική παράμετρος για την κατάταξη σε κάποια από τις κατηγορίες αυτές είναι η μέση τιμή της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων στα ανώτατα 30 m από την επιφάνεια και η οποία δίνεται από την παρακάτω σχέση: (EC8 § 3.1.2 (3))

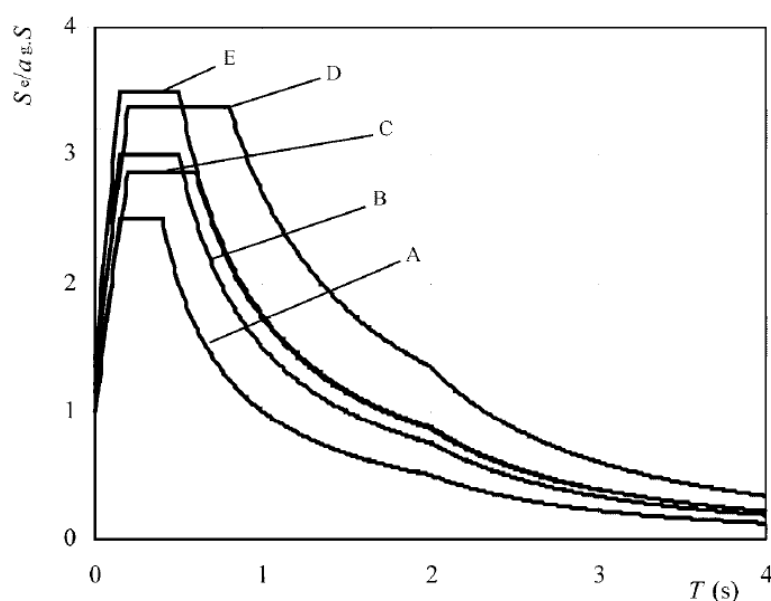
$$n_{s,30} = \frac{30}{\bar{a} \sum_{i=1,N} h_i \nu_i}$$

όπου h_i και ν_i είναι το πάχος (σε m) και η ταχύτητα διατμητικών κυμάτων (σε διατμητική παραμόρφωση 10^{-5} ή μικρότερη) του σχηματισμού i από N συνολικά. Αν δεν είναι διαθέσιμη η τιμή της $\nu_{s,30}$ μπορεί να χρησιμοποιείται για την κατάταξη σε κατηγορία ο αριθμός κρούσεων ανά 0.3 m στην Πρότυπη Δοκιμή Διείσδυσης N_{SPT} . Αν ούτε αυτός είναι διαθέσιμος, μπορεί να χρησιμοποιείται η αστράγγιστη αντοχή c_u . Στον πίνακα που ακολουθεί δίνεται η περιγραφή της κάθε κατηγορίας εδάφους, καθώς και οι τιμές των παραμέτρων προσδιορισμού τους.

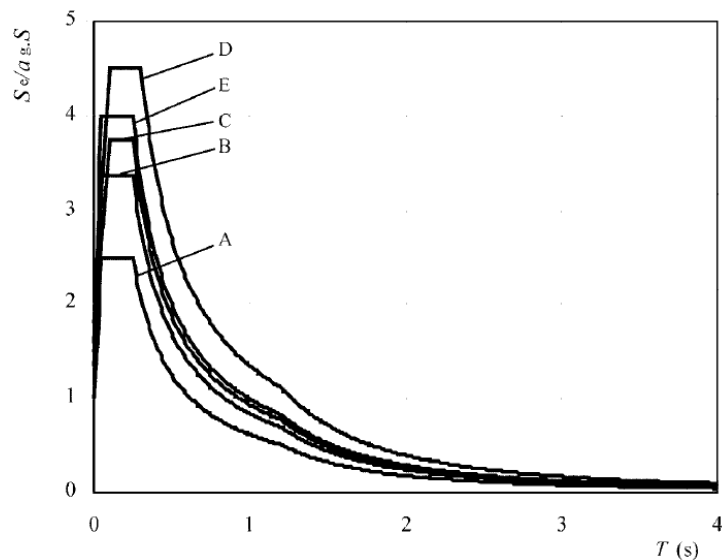
Τα παρακάτω Σχήματα 1.11-1.12 δείχνουν τα ελαστικά φάσματα απόκρισης σε οριζόντια διεύθυνση που ορίζονται από τον EC8 για κάθε τύπο εδάφους. Όπως προαναφέρθηκε, ο EC8 (§3.2.2.2(2)) ορίζει δύο κατηγορίες φασμάτων: Τύπου 1 για περιοχές υψηλής σεισμικότητας (ορίζεται ως $M > 5,5$), και Τύπου 2 για περιοχές μέσης σεισμικότητας ($M < 5,5$). Για κάθε μια από τις κατηγορίες αυτές, δίνονται φάσματα για πέντε διαφορετικούς τύπους εδαφών: A - βράχος, B - πολύ πυκνή άμμος ή αμμοχάλικο, ή πολύ σκληρή άργιλος, C - πυκνή άμμος ή αμμοχάλικο, ή σκληρή άργιλος, D - χαλαρό έως μέτριο μη συνεκτικό έδαφος, ή μαλακό έως σταθερό συνεκτικό έδαφος, E - εδαφικά προφίλ με επιφανειακή στρώση προσχώσεων πάχους 5-20 m. Ο κατακόρυφος άξονας είναι η φασματική επιτάχυνση μιας ελαστικής κατασκευής κανονικοποιημένη ως προς το a_g .

Πίνακας 1.5: Κατηγορία εδάφους κατά EC8 (EC8 § 3.1.2 Table 3.1).

Κατηγορία εδάφους	$v_{s,30}$ (m/sec)	N_{SPT}	c_u (kPa)
A: Βράχος, με 5m το πολύ επικάλυψη από μαλακότερο έδαφος	>800	-	-
B: Πολύ πυκνά κοκκώδη εδάφη ή πολύ σκληρή άργιλος, βάθους αρκετών δεκάδων μέτρων	360-800	>50	>250
C: Κοκκώδη εδάφη υψηλής ή μέσης πυκνότητας, ή σκληρή άργιλος βάθους αρκετών δεκάδων έως πολλών εκατοντάδων μέτρων	180-360	15-50	70-250
D: Κοκκώδη εδάφη μικρής έως μέσης πυκνότητας ή μαλακή άργιλος	<180	<15	<70
E: 5-20m έδαφος C ή D πάνω από βράχο			
S_1 : ≥ 10 m μαλακή άργιλος/ιλύς με δείκτη πλαστικότητας $PI > 40$ και υψηλή περιεκτικότητα νερού	<100	-	10-20
S_2 : Ευαίσθητη άργιλος, εδάφη ρευστοποιήσιμα ή εκτός A-E ή S_1			



Σχήμα 1.11: Προτεινόμενο ελαστικό φάσμα απόκρισης Τύπου 1 κατά EC8 για απόσβεση 5% (EC8 § 3.2.2.2).



Σχήμα 1.12: Προτεινόμενο ελαστικό φάσμα απόκρισης Τύπου 2 κατά EC8 για απόσβεση 5% (EC8 § 3.2.2.2)

Στη συνέχεια, παρατίθενται δυο πίνακες στους οποίους φαίνεται η επιρροή των τοπικών εδαφικών συνθηκών στις σεισμικές δράσεις, επιρροή η οποία υπεισέρχεται μέσω της φασματικής επιτάχυνσης του εδάφους από τις σχέσεις του φάσματος απόκρισης. Οι συντελεστές που εξαρτώνται άμεσα από την κατηγορία εδάφους είναι ο συντελεστής εδάφους, S , και οι περίοδοι T_B , T_C και T_D και οι τιμές των οποίων είναι αυτές που έχουν υιοθετηθεί από Εθνικό Προσάρτημα του EC8. Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στο γεγονός ότι ο EC8 προβλέπει διαφορετικές τιμές για τους συντελεστές αυτούς ανάλογα με το ελαστικό φάσμα απόκρισης που έχει υιοθετηθεί για την εκάστοτε περιοχή, μεταξύ δυο διαθέσιμων (Type 1 και Type 2).

Πίνακας 1.6: Τιμές παραμέτρων ελαστικού φάσματος Type 1 κατά EC8 (EC8 § 3.2.2.2 Table 3.2)

Κατηγορία εδάφους	S	T_B	T_C	T_D
A	1.0	0.15	0.4	2.0
B	1.2	0.15	0.5	2.0
C	1.15	0.20	0.6	2.0
D	1.35	0.20	0.8	2.0
E	1.4	0.15	0.5	2.0

Πίνακας 1.7: Τιμές παραμέτρων ελαστικού φάσματος Type 2 κατά EC8 (EC8 § 3.2.2.2 Table 3.3)

Κατηγορία εδάφους	S	T_B	T_C	T_D
A	1.0	0.05	0.25	1.2
B	1.35	0.05	0.25	1.2
C	1.5	0.10	0.25	1.2
D	1.8	0.10	0.30	1.2
E	1.6	0.05	0.25	1.2

1.9.4 Συντελεστής απόσβεσης (η)

Ο διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης, η , εκφράζει την επιρροή της ιξώδους απόσβεσης στην ελαστική περιοχή της συμπεριφοράς, όταν το ποσοστό της κρίσιμης απόσβεσης ξ είναι διάφορο του 5%. Η αύξηση της απόσβεσης στην ανελαστική περιοχή της συμπεριφοράς (υστερητική απόσβεση) συμπεριλαμβάνεται στην τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q . Ο διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης λαμβάνει τιμή αναφοράς $\eta=1$ για ποσοστό ιξώδους απόσβεσης της κατασκευής ίσο με $\xi=5\%$. Η τιμή του διορθωτικού συντελεστή απόσβεσης η μπορεί να προσδιοριστεί από την παρακάτω σχέση: (EC8 § 3.2.2.2(3))

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \chi}} \geq 0.55$$

όπου χ είναι το ποσοστό ιξώδους απόσβεσης της κατασκευής, εκφρασμένο ως ποσοστό επί τοις εκατό. Αν σε ιδιαίτερες περιπτώσεις, πρέπει ένα διαφορετικό από 5% ποσοστό ιξώδους απόσβεσης να χρησιμοποιηθεί, τότε η τιμή αυτή μπορεί να προσδιορισθεί σύμφωνα με την παράγραφο (EC8 § 3.2.2.2(4)).

1.10 Συντελεστής συμπεριφοράς q

Η μεγάλη διαφοροποίηση του EC8 σε σχέση με τον ΕΑΚ 2000 αφορά την επιλογή του συντελεστή συμπεριφοράς ο οποίος πλέον εξαρτάται όχι μόνον από το υλικό κατασκευής και το δομικό σύστημα, αλλά και από άλλους παράγοντες που σχολιάζονται στη συνέχεια, υποχρεώνοντας τον μελετητή να εκτιμήσει μια αρχική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς.

Υπενθυμίζεται ότι ο συντελεστής συμπεριφοράς q εκφράζει γενικά την ικανότητα ενός δομικού συστήματος να απορροφά ενέργεια μέσω πλάστιμης συμπεριφοράς των δομικών του μελών, χωρίς να μειώνεται δραστικά η αντοχή τους σε τοπικό και καθολικό επίπεδο. Με τον τρόπο αυτόν, απομειώνει τις σεισμικές επιταχύνσεις της κατασκευής λόγω μετελαστικής συμπεριφοράς, σε σχέση με τις επιταχύνσεις που θα επιβαλλόταν σε ένα απεριόριστα ελαστικό σύστημα. Με άλλα λόγια, ο συντελεστής συμπεριφοράς είναι μια προσέγγιση του λόγου των σεισμικών δυνάμεων που η κατασκευή θα δεχόταν, αν η απόκρισή της ήταν πλήρως ελαστική με ποσοστό ιξώδους απόσβεσης 5%, ως προς τις σεισμικές δυνάμεις σχεδιασμού.

Η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q , με την οποία διαιρείται το ελαστικό φάσμα που χρησιμοποιείται στην γραμμική ανάλυση, εξαρτάται από:

- την κατηγορία πλαστιμότητας που επιλέγεται για το σχεδιασμό
- τον τύπο του κατασκευαστικού συστήματος παραλαβής των σεισμικών φορτίων
- την κανονικότητα της κατασκευής.

Στη συνέχεια θα δοθεί η συσχέτιση του συντελεστή συμπεριφοράς με καθέναν από τους παραπάνω παράγοντες αφού πρώτα πραγματοποιηθεί μια εισαγωγή στην έννοια της πλαστιμότητας των κατασκευών, όπως αυτή συνεκτιμάται μέσω της Κατηγορίας Πλαστιμότητας του EC8.

1.10.1 Πλαστιμότητα - Κατηγορίες Πλαστιμότητας

Ο EC8 στοχεύει στην εξασφάλιση της προστασίας της ζωής σε μεγάλους σεισμούς ταυτόχρονα με τον περιορισμό των βλαβών από πιο συχνούς σεισμούς. Αν και ο κανονισμός επιτρέπει την παραλαβή των σεισμικών δυνάμεων είτε με απόσβεση ενέργειας (πλάστιμη συμπεριφορά) είτε χωρίς απόσβεση ενέργειας (ουσιαστικά ελαστική συμπεριφορά), διακρίνεται μια προτίμηση προς την πρώτη προσέγγιση.

Ως πλαστιμότητα ορίζεται η ικανότητα της κατασκευής ή μέλους της κατασκευής να υπόκειται σε μεγάλες παραμορφώσεις πέρα από το σημείο διαρροής (συχνά για πολλούς κύκλους) χωρίς θραύση. Στην εφαρμοσμένη αντισεισμική μηχανική, η πλαστιμότητα εκφράζεται σε όρους απαίτησης και διαθεσιμότητας. Η απαίτηση πλαστιμότητας είναι το μέγιστο επίπεδο πλαστιμότητας που πρέπει να φτάσει η κατασκευή κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, η οποία είναι συνάρτηση αμφοτέρων της κατασκευής και του σεισμού. Η διαθέσιμη πλαστιμότητα είναι η μέγιστη πλαστιμότητα που μπορεί η κατασκευή να διατηρήσει χωρίς θραύση, και αποτελεί καθαρά ιδιότητα της κατασκευής. Έτσι, μεγάλο μέρος του κανονισμού αποσκοπεί στην εξασφάλιση σταθερού και αξιόπιστου μηχανισμού απορρόφησης ενέργειας σε προκαθορισμένες κρίσιμες περιοχές, οι οποίες περιορίζουν τις αδρανειακές φορτίσεις που εμφανίζονται στις υπόλοιπες περιοχές της κατασκευής. Οι

γεωμετρικοί κανόνες και οι κανόνες κατασκευαστικής διαμόρφωσης επιτυγχάνουν την επιδιωκόμενη πλαστιμότητα σε αυτές τις κρίσιμες περιοχές (Elghazouli, 2009). Στην περίπτωση των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος, τέτοια συμπεριφορά μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τη διασφάλιση σταθερής πλαστικής συμπεριφοράς τέτοιων κρίσιμων ζωνών που δεν υπονομεύεται από ψαθυρούς τρόπους αστοχίας όπως διάτμηση ή σύνθλιψη στο σκυρόδεμα ή κάμψη του οπλισμού. Με αυτά τα δεδομένα, υιοθετούνται τρία επίπεδα απορρόφησης ενέργειας:

- Χαμηλό επίπεδο πλαστιμότητας (DCL, Ductility Class Low) στο οποίο εικονικά δεν επιδιώκεται υστερητική πλαστιμότητα και η αντίσταση στην σεισμική φόρτιση επιτυγχάνεται μέσω της αντοχής της κατασκευής παρά της πλαστιμότητας της ($q=1.5$).
- Μέσο (DCM, Ductility Class Medium) στο οποίο αρκετά υψηλά επίπεδα πλαστιμότητας επιτρέπονται και εισάγονται ανταποκρινόμενες σε αυτά απαιτήσεις σχεδιασμού και κατασκευαστικών διαμορφώσεων ($1.5 < q < 4$).
- Υψηλό (DCH, Ductility Class High) όπου πολύ μεγάλες ανελαστικές αποκρίσεις επιτρέπονται συνοδευόμενες από ακόμη πιο σύνθετες σχεδιαστικές και κατασκευαστικές απαιτήσεις ($q > 4$).

Η Κατηγορία Χαμηλής Πλαστιμότητας (KΠΧ/DCL) είναι ανάλογη με τον σχεδιασμό χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας κατά ΕΑΚ2000. Προβλέπει διαστασιολόγηση των μελών για την ένταση που προκύπτει από το σεισμό σχεδιασμού (των 475 χρόνων) με συντελεστή συμπεριφοράς $q=1.5$ και κατασκευαστική διαμόρφωση και λεπτομέρειες όπλισης όπως για το σχεδιασμό έναντι συνήθων, μη-σεισμικών δράσεων, με κάποιους περιορισμούς στα υλικά (ελάχιστη ποιότητα σκυροδέματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι η C16/20, αποφυγή ψαθυρών χαλύβων). Ο EC8 προτείνει ο σχεδιασμός με την DCL να περιορίζεται μόνο σε περιοχές χαμηλής σεισμικότητας (δηλαδή περιοχές με μέγιστη εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού κάτω από 0.10g). Σε περιοχές μέσης ή υψηλής σεισμικότητας, κτίρια σχεδιασμένα με την DCL δεν αναμένεται να είναι γενικά αποτελεσματικά από οικονομικής άποψης. Επίσης, δεδομένης της περιορισμένης πλαστιμότητας, είναι πιθανό να μην έχουν αξιόλογο περιθώριο ασφάλειας έναντι σεισμού ισχυρότερου από τη σεισμική δράση σχεδιασμού. Το Ελληνικό Εθνικό Προσάρτημα δεν επιτρέπει να σχεδιάζονται φορείς κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος χαμηλής πλαστιμότητας (DCL) στην Ελλάδα.

Στις δυο ανώτερες κατηγορίες πλαστιμότητας (DCM και DCH) ο σχεδιασμός βασίζεται σε αυξημένη πλαστιμότητα και ικανότητα απορρόφησης ενέργειας και χρησιμοποιεί τιμές συντελεστή συμπεριφοράς $q > 1.5$. Οι δυο αυτές κατηγορίες εκτός από διαφορετικούς συντελεστές συμπεριφοράς, διαφοροποιούνται και:

- στους γεωμετρικούς περιορισμούς και στα υλικά (ολκιμότητα χάλυβα)
- στα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού
- στους κανόνες ικανοτικού σχεδιασμού και τοπικής πλαστιμότητας (διαμόρφωσης λεπτομερειών)

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς, μπορεί να διαφέρει στις διαφορετικές οριζόντιες διευθύνσεις της κατασκευής, ενώ η κατηγορία πλαστιμότητας είναι προφανώς η ίδια σε όλες τις διευθύνσεις.

Οι δυο αυτές κατηγορίες θεωρούνται ισοδύναμες σε ότι αφορά την επίδοση των κατασκευών υπό το σεισμό σχεδιασμού. Ο σχεδιασμός με την DCM είναι πιο εύκολο να εκτελεστεί επί τόπου και μπορεί να παρέχει καλύτερη απόδοση σε μεσαίου μεγέθους σεισμούς. Ο σχεδιασμός με την DCH δείχνει να παρέχει μεγαλύτερα περιθώρια ασφάλειας από την DCM έναντι τοπικής ή καθολικής κατάρρευσης υπό σεισμούς μεγαλύτερους από το σεισμό σχεδιασμού. Πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι ο EC8 δεν συνδέει την επιλογή μεταξύ των δυο υψηλότερων κατηγοριών πλαστιμότητας με τη σεισμικότητα της περιοχής ή τη σπουδαιότητα του έργου, ούτε θέτει κάποιο όριο στην εφαρμογή του. Εξαρτάται από τα κράτη να επιλέξουν για τις διάφορες περιοχές και για τα διάφορα είδη κατασκευών ή ακόμα καλύτερα να αφήσουν την επιλογή αυτή στο μελετητή. Στην Ελλάδα, δεν επιτρέπεται ο σχεδιασμός με DCM σε κτίρια σπουδαιότητας III ή IV στις σεισμικές ζώνες Z2 ή Z3, με εξαίρεση τα προκατασκευασμένα κτίρια με τοιχώματα ή κυψελωτούς φορείς (Fardis, 2009a).

Είναι εύλογο ότι εάν οι δυνάμεις σχεδιασμού υπολογιστούν υπό την υπόθεση της πλάστιμης απόκρισης, είναι τότε απαραίτητο να διασφαλιστεί ότι η κατασκευή πράγματι θα συμπεριφερθεί με πλάστιμο τρόπο και ότι αποφευχθεί ψαθυρός τρόπος αστοχίας. Η απαίτηση αυτή αποτελεί την αρχή του Ικανοτικού Σχεδιασμού (capacity design). Ο ικανοτικός σχεδιασμός περιλαμβάνει:

- διασφάλιση δημιουργίας πλαστικών αρθρώσεων στις δοκούς πριν τα υποστυλώματα.
- παροχή επαρκούς περίσφιξης στο σκυρόδεμα χρησιμοποιώντας πυκνούς μεταλλικούς συνδετήρες.
- διασφάλιση ότι τα μεταλλικά στοιχεία αστοχούν μακριά από τις συνδέσεις.
- αποφυγή μεγάλων ακανονιστιών στην κατασκευαστική μορφή.
- διασφάλιση διατμητικών αντοχών σημαντικά υψηλότερων των καμπτικών.

1.10.2 Τύπος κατασκευαστικού συστήματος

Σύμφωνα με τον EC8 (§5.2.2.1) τα βασικά στατικά συστήματα κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος είναι τα κάτωθι:

- Τοιχωματικό σύστημα: τα τοιχώματα (όπως ορίζονται κατά EC2 ως κατακόρυφα στοιχεία με λόγο πλευρών διατομής μεγαλύτερο του 4.0) αναλαμβάνουν ποσοστό της σεισμικής τέμνουσας βάσης μεγαλύτερο από 65% κατά την ελαστική ανάλυση.
- Πλαισιακό σύστημα: τα πλαίσια δοκών-υποστυλωμάτων αναλαμβάνουν ποσοστό της σεισμικής τέμνουσας βάσης μεγαλύτερο από 65% κατά την ελαστική ανάλυση.
- Δυαδικό (ή διπλό) σύστημα: είτε τα τοιχώματα είτε τα πλαίσια αναλαμβάνουν ποσοστό της σεισμικής τέμνουσας βάσης μεταξύ 50% και 65% κατά την ελαστική ανάλυση. Ένα δυαδικό σύστημα μπορεί να είναι:
 - α) Δυαδικό σύστημα ισοδύναμο με τοιχωματικό: όπου τα τοιχώματα αναλαμβάνουν ποσοστό της σεισμικής τέμνουσας βάσης μεταξύ 50% και 65%.
 - β) Δυαδικό σύστημα ισοδύναμο με πλαισιακό: όπου τα πλαίσια δοκών-υποστυλωμάτων αναλαμβάνουν ποσοστό της σεισμικής τέμνουσας βάσης μεταξύ 50% και 65%.
- Στρεπτικά εύκαμπτο σύστημα: η ελάχιστη ακτίνα δυστρεψίας είναι σε κάποιον όροφο μικρότερη από την ακτίνα αδράνειας της μάζας του σε κάτοψη, με ενδεχόμενο αποτέλεσμα κυρίαρχες περί τον κατακόρυφο άξονα στρεπτικές ταλαντώσεις.
- Ανεστραμμένο εκκρεμές: τουλάχιστον η μισή μάζα βρίσκεται συγκεντρωμένη στο άνω τρίτο του ύψους, ή η ανελαστική παραμόρφωση και η απορρόφηση σεισμικής ενέργειας συγκεντρώνονται στη βάση ενός μόνο κατακόρυφου στοιχείου. Ο EC8 δεν θεωρεί ως ανεστραμμένα εκκρεμή μονώροφα πλαισιακά συστήματα με δοκούς και κατά τις δυο οριζόντιες διευθύνσεις, εφόσον η ανηγμένη αξονική δύναμη $v_d = N_d / A_c f_{cd}$ είναι μικρότερη από 0.3 σε όλα τα υποστυλώματα.

Σημειώνεται ότι οι πιο πρόσφατοι αντισεισμικοί κανονισμοί για το σχεδιασμό κτιρίων από σκυρόδεμα υιοθετούν χαμηλότερους συντελεστές συμπεριφοράς για τα τοιχωματικά συστήματα από ότι για τα πλαισιακά. Οι λόγοι είναι οι εξής:

- Τοιχώματα με μεγάλο μήκος l_w έχουν γενικά χαμηλότερα ποσοστά διαμήκους οπλισμού από ότι οι δοκοί και τα υποστυλώματα των πλαισίων. Επομένως η διάτμηση παίζει σπουδαιότερο ρόλο στην ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά τους και στην ικανότητα παραμόρφωσής τους.
- Η ακριβής συμπεριφορά υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση των τοιχωμάτων και των τοιχωματικών συστημάτων γενικότερα έχει διερευνηθεί σε μικρότερο βαθμό σε σχέση με τα πλαισιακά συστήματα διότι επιστημονικές έρευνες σε τοιχώματα είναι πρακτικά δύσκολες και αναλυτικές έρευνες είναι πιο απαιτητικές με αποτέλεσμα οι κανονισμοί να θέτουν μεγαλύτερα περιθώρια ασφαλείας (Fardis, 2009 b).

Παρόλα αυτά, εξαιτίας αφενός των εγγενών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει η σεισμική συμπεριφορά των τοιχωμάτων και αφετέρου από την εμπειρία για την ευνοϊκή συμπεριφορά τους έναντι πολύ ισχυρών σεισμών, υπάρχει τάση προς σύγκλιση των συντελεστών συμπεριφοράς των πλαισιακών και των τοιχωματικών συστημάτων.

1.10.3 Κανονικότητα της κατασκευής

Σε κτίρια που παρουσιάζουν μη-κανονικότητες σε κάτοψη ή καθ' ύψος, διαμορφώνεται συγκέντρωση απαιτήσεων πλαστιμότητας σε κάποιες θέσεις της κατασκευής, γεγονός που βρίσκεται σε αντίθεση με τις απαιτήσεις περί ομοιόμορφης κατανομής της πλαστιμότητας σε κανονικά κτίρια.

1.10.3.1 Κριτήρια κανονικότητας

1.10.3.1.1 Κριτήρια κανονικότητας καθ' ύψος

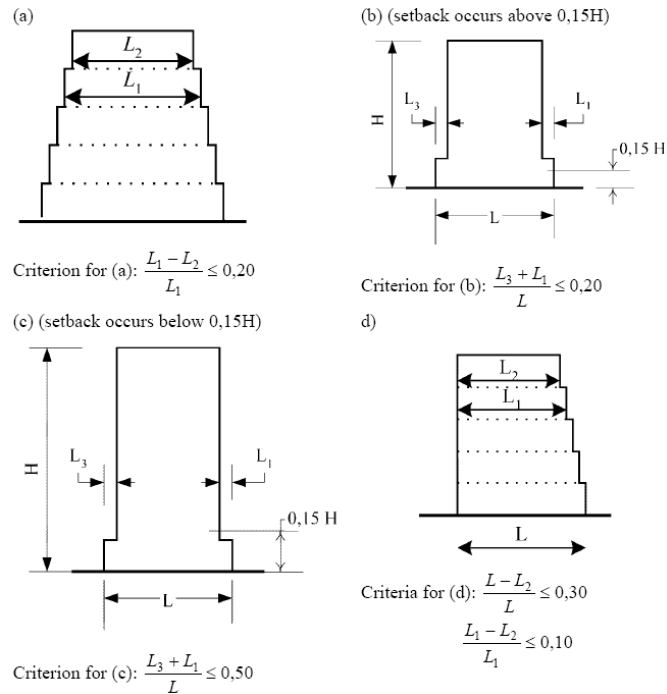
Ως κανονικά καθ' ύψος θεωρεί ο EC8(§4.2.3.3) τα κτίρια που πληρούν όλες τις παρακάτω συνθήκες:

- τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία (τοιχώματα και πλαίσια) πρέπει να συνεχίζονται χωρίς διακοπή μέχρι την κορυφή του αντίστοιχου τμήματος της κάτοψης.
- η μάζα των ορόφων και η δυσκαμψία των δομικών στοιχείων τους πρέπει να είναι η ίδια σ' όλους τους ορόφους ή να μειώνεται ομαλά από τη βάση προς την κορυφή.
- σε παισιακά δομικά συστήματα, δεν επιτρέπεται να υπάρχει έντονη ανομοιομορφία της υπεραντοχής έναντι οριζοντίων δράσεων (λόγος αντοχής προς σεισμική τέμνουσα ορόφου υπό το σεισμό σχεδιασμού) μεταξύ διαδοχικών ορόφων.
- κάθε εσοχή ορόφου από τον αμέσως κατώτερο δεν επιτρέπεται να ξεπερνά το 10% της παράλληλης ολικής διάστασης του αμέσως κατώτερου ορόφου.
- αν οι εσοχές στις δυο απέναντι πλευρές το κτιρίου στην υπόψη διεύθυνση δεν είναι συμμετρικές, η συνολική εσοχή του τελευταίου ορόφου ως προς τη βάση του κτιρίου δεν επιτρέπεται να ξεπερνά το 30% της παράλληλης διάστασης της κάτοψης στη βάση.
- αν οι εσοχές αφορούν μια μόνο στάθμη στο κάτω 15% του ύψους του κτιρίου, αυτές δεν επιτρέπεται να ξεπερνούν συνολικά (και προς τις δυο πλευρές του κτιρίου) το 50% της κάτοψης στη βάση.

Η μη ύπαρξη κανονικότητας καθ' ύψος αναμένεται γενικώς να έχει πιο σοβαρές επιπτώσεις σε επίπεδο σχεδιασμού αλλά και στην τελική σεισμική απόκριση ενός κτιρίου σε σχέση με την έλλειψη κανονικότητας σε κάτοψη. Για τον λόγο αυτόν:

- η στατική ανάλυση με (ισοδύναμα) οριζόντια σεισμικά φορτία επιτρέπεται να εφαρμόζεται μόνο σε κτίρια κανονικά καθ' ύψος, των οποίων η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος ικανοποιεί και στις δυο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις τις σχέσεις: $T \leq 2 \text{ sec}$ και $T \leq 4T_C$.
- σε μη-κανονικά καθ' ύψος κτίρια μειώνεται κατά 20% ο συντελεστής συμπεριφοράς q σε σχέση με αυτόν που ισχύει σε κτίρια κανονικά καθ' ύψος.

Κατά συνέπεια, η μη-κανονικότητα καθ' ύψος διαφοροποιεί, όχι μόνον την επιτρεπόμενη μέθοδο ελαστικής ανάλυσης, καθώς απαιτεί την χρήση ιδιομορφικής ανάλυσης, αλλά και το φάσμα σχεδιασμού στο οποίο αυτή βασίζεται (αφού μειώνεται ο συντελεστής συμπεριφοράς). Σημειώνεται ότι τα κριτήρια κανονικότητας καθ' ύψος στον Ευρωκώδικα 8 είναι ποιοτικά, ώστε να μπορούν να ελέγχονται εποπτικά και εύκολα χωρίς αναλυτικούς υπολογισμούς (Fardis, 2009b).



Σχήμα 1.13: Κριτήρια κανονικότητας καθ' ύψος σε κτίρια με εσοχές (EC8 §4.2.3.3)

1.10.3.1.2 Κριτήρια κανονικότητας σε κάτοψη

Ως κανονικά σε κάτοψη θεωρούνται από τον Ευρωκώδικα 8 (§4.2.3.2) τα κτίρια που πληρούν όλες τις παρακάτω συνθήκες. Και πάλι, τα κριτήρια αυτά μπορούν να ελέγχονται εύκολα χωρίς εκτενείς υπολογισμούς. Συγκεκριμένα, ένα κτίριο θεωρείται κανονικό σε κάτοψη εφόσον:

- η κατανομή της δυσκαμψίας και της μάζας και ως προς τους δυο ορθογωνικούς οριζόντιους άξονες της κάτοψης είναι περίπου συμμετρική
- η κάτοψη παρουσιάζει λόγο πλευρών περιγεγραμμένου ορθογωνίου που δεν υπερβαίνει το 4, ενώ οι εσοχές της περιμέτρου της ως προς το κυρτό πολυγωνικό της περίγραμμα δεν ξεπερνούν το 5% της επιφάνειας κάτοψης.
- οι πλάκες θεωρούνται πρακτικώς απαραμόρφωτες στο επίπεδό τους.
- η εκκεντρότητα του κέντρου μάζας κάθε ορόφου ως προς το αντίστοιχο κέντρο δυσκαμψίας δεν ξεπερνά, σε καμία από τις δυο οριζόντιες διευθύνσεις το 30% της αντίστοιχης ακτίνας δυστρεψίας των στοιχείων δυσκαμψίας δηλαδή (EC8 § 4.2.3.2(6)):

$$0.3r_x \geq e_x \text{ και } 0.3r_y \geq e_y$$

- το δομικό σύστημα δεν είναι στρεπτικά ευαίσθητο σε κανέναν όροφο (η ελάχιστη ακτίνα δυστρεψίας ορόφου πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ακτίνα αδράνειας της μάζας του σε κάτοψη) δηλαδή (EC8 § 4.2.3.2(6)):

$$r_x, r_y \geq I_s$$

όπου οι ακτίνες δυστρεψίας ενός ορόφου στις δυο οριζόντιες διευθύνσεις μπορεί να υπολογίζονται προσεγγιστικά από τις ροπές αδράνειας των κατακόρυφων στοιχείων ως:

$$r_x = \sqrt{\frac{S(x^2 EI_y + y^2 EI_x)}{S(EI_y)}}, \quad r_y = \sqrt{\frac{S(x^2 EI_y + y^2 EI_x)}{S(EI_x)}}$$

1.10.4 Διατάξεις του EC8 που αφορούν την τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς

Η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q μπορεί να λαμβάνεται για κάθε διεύθυνση σχεδιασμού από τη σχέση: (EC8 §5.2.2.2(1))

$$q = q_0 k_w \geq 1.5$$

όπου:

- q_0 η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς, εξαρτώμενη από τον τύπο του κατασκευαστικού συστήματος και από την κανονικότητα του καθ' ύψος
- k_w συντελεστής που εκφράζει την επιρροή της δεσπόζουσας μορφής αστοχίας σε συστήματα με τοιχώματα

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τιμές της βασικής τιμής του συντελεστή συμπεριφοράς q_0 ανάλογα με την κατηγορία πλαστιμότητας, για διάφορα κατασκευαστικά συστήματα και για κτίρια που είναι κανονικά καθ' ύψος.

Πίνακας 1.8: Βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς, q_0 , κανονικών καθ' ύψος κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος κατά EC8 (§ 5.2.2.2 Table 5.1 και Fardis, 2009)).

Τύπος Στατικού Συστήματος	KΠΜ	KΠΥ
Σύστημα ανεστραμμένου εκκρεμούς	1,5	2
Στρεπτικά εύκαμπο σύστημα	2,0	3,0
Τοιχωματικό σύστημα ασύζευκτων τοιχωμάτων	3	$4a_u/a_1$
Πλαισιασκό ή δυαδικό (διπλό) σύστημα, Σύστημα συζευγμένων τοιχωμάτων	$3 a_u/a_1$	$4.5 a_u/a_1$

Όπως προαναφέρθηκε, για κτίρια τα οποία δεν είναι κανονικά καθ' ύψος, η τιμή της βασικής τιμής του συντελεστή συμπεριφοράς q_0 πρέπει να μειώνεται κατά 20%. Η μείωση λόγω μη-κανονικότητας σε κάτοψη δεν είναι υποχρεωτική. Τα a_u και a_1 ορίζονται ως εξής:

- a_1 είναι η τιμή με την οποία η οριζόντια σεισμική δράση σχεδιασμού πολλαπλασιάζεται προκειμένου να εμφανισθεί η πρώτη πλαστική άρθρωση (εξάντληση καμπτικής αντοχής) σε μέλος της κατασκευής, ενώ όλες οι άλλες δράσεις σχεδιασμού παραμένουν σταθερές.
- a_u είναι η τιμή με την οποία η οριζόντια σεισμική δράση σχεδιασμού πολλαπλασιάζεται προκειμένου να σχηματιστούν πλαστικές αρθρώσεις σε ένα αριθμό θέσεων τα οποία να είναι αρκετά ώστε να αναπτυχθεί συνολική αστάθεια στην κατασκευή, ενώ όλες οι άλλες δράσεις σχεδιασμού παραμένουν σταθερές.

Σε περίπτωση κατά την οποία ο λόγος a_u/a_1 δεν έχει υπολογιστεί μέσω ανελαστικής στατικής ανάλυσης, τότε για κτίρια τα οποία είναι κανονικά σε κάτοψη μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες τιμές (EC8 §5.2.2.2(5)):

Πλαισιακά ή ισοδύναμα προς πλαισιακά δυαδικά συστήματα:

- μονώροφα κτίρια: $a_u/a_1 = 1.1$
- πολώροφα δίπτυλα πλαισιακά κτίρια: $a_u/a_1 = 1.2$
- πολώροφα πολύπτυλα πλαισιακά κτίρια ή ισοδύναμα προς πλαισιακά δυαδικά συστήματα: $a_u/a_1 = 1.3$

Τοιχωματικά ή ισοδύναμα προς τοιχωματικά δυαδικά συστήματα:

- τοιχωματικά συστήματα με μόνο δυο ασύζευκτα τοιχώματα ανά οριζόντια διεύθυνση: $a_u/a_1 = 1.0$
- όλα τα υπόλοιπα συστήματα ασύζευκτων τοιχωμάτων: $a_u/a_1 = 1.1$
- ισοδύναμα προς τοιχωματικά δυαδικά συστήματα ή συστήματα συζευγμένων τοιχωμάτων: $a_u/a_1 = 1.2$

Για κτίρια τα οποία δεν είναι κανονικά σε κάτοψη, η τιμή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το λόγο a_u/a_1 προκύπτει ως ο μέσος όρος του 1.0 και της τιμής που δίνεται σύμφωνα με την παραπάνω παράγραφο. Η μείωση όμως αυτή δεν είναι υποχρεωτική. Αν ο λόγος a_u/a_1 έχει υπολογιστεί μέσω ανελαστικής στατικής ανάλυσης, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί η υπολογισθείσα τιμή. Σε κάθε περίπτωση πάντως, ο λόγος a_u/a_1

δεν μπορεί να λάβει τιμή μεγαλύτερη από 1.5. Στον EC8 η υπεραντοχή των υλικών και των στοιχείων θεωρείται πως ανταποκρίνεται σε συντελεστή συμπεριφοράς $q=1.5$, ο οποίος αντιστοιχεί σε κτίρια σχεδιασμένα για DCL χωρίς καμία συσχέτιση με την πλαστιμότητα.

Σε ότι αφορά το συντελεστή k_w , η τιμή του λαμβάνεται ως εξής (EC8 §5.2.2.2(11)):

- για πλαισιακά ή μικτά πλαισιακά συστήματα: $k_w=1.0$
- για τοιχωματικά ή μικτά τοιχωματικά ή στρεπτικά ευαίσθητα συστήματα:

$$1.0 \geq k_w = (1 + \alpha_0) / 3 \geq 0.5$$

όπου:

- α_0 είναι η δεσπόζουσα αναλογία διαστάσεων, η οποία εφόσον οι λόγοι h_{wi}/l_{wi} όλων των τοιχωμάτων του συστήματος δεν διαφέρουν ιδιαίτερα, μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση (EC8 §5.2.2.2(12)) : $\alpha_0 = \sum h_{wi} / \sum l_{wi}$
- h_{wi} είναι το ύψος του τοιχώματος i και
- l_{wi} είναι το μήκος της διατομής του τοιχώματος i .

Ακολούθως παρατίθεται ένας πίνακας (Fardis, 2009) στον οποίον συνοψίζονται οι προκύπτουσες τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς q διαφορετικών δομικών συστημάτων, ανάλογα με την κατηγορία πλαστιμότητας που επιλέγεται και την κανονικότητα της κατασκευής σε κάτοψη ή καθ' ύψος.

Στον Πίνακα 1.9 συγκρίνονται οι τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος με αυξημένη πλαστιμότητα κατά ΕΑΚ, με τις αντίστοιχες του EC8 για τις δυο κατηγορίες Πλαστιμότητας που επιτρέπονται στην χώρα μας. Οι τιμές για EC8 βασίζονται στις ανωτέρω αντιπροσωπευτικές τιμές του συντελεστή υπεραντοχής λόγω υπερστατικότητας του συστήματος, a_u/a_1 , που προκαθορίζει ο EC8 για την περίπτωση που ο συντελεστής αυτός δεν υπολογίζεται με ανελαστική στατική ανάλυση. Στον ΕΑΚ προβλέπονται απαιτήσεις διαστασιολόγησης, κατασκευαστικής διαμόρφωσης και λεπτομερειών όπλισης μελών οι οποίες μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιστοιχούν περίπου στο μέσο επίπεδο σχεδιασμού κατά DCM και DCH του EC8, όντας πλησιέστερες στις διατάξεις της κατηγορίας DCM. Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει επίσης ότι, για κανονικά κτίρια, ο ΕΑΚ προβλέπει γενικώς μικρότερες τιμές συντελεστή συμπεριφοράς από ότι ο Ευρωκώδικας 8. Αντίθετα, για τα κτίρια με κατά τεκμήριο δυσμενέστερη σεισμική συμπεριφορά (τα μη-κανονικά, τα στρεπτικά εύκαμπτα, τα ανεστραμμένα εκκρεμή), προβλέπει γενικώς μεγαλύτερες τιμές συντελεστή συμπεριφοράς q σε σχέση με τον EC8.

Πίνακας 1.9: Τιμές συντελεστή συμπεριφοράς κτιρίων Ο/Σ που σχεδιάζονται για αυξημένη πλαστιμότητα κατά ΕΑΚ ή EC8 (Fardis, 2009).

	ΕΑΚ	EC8		ΕΑΚ	EC8		ΕΑΚ	EC8		ΕΑΚ	EC8	
		DCM	DCH		DCM	DCH		DCM	DCH		DCM	DCH
<i>Στρεπτικά ευαίσθητο</i>	3.5	2.0	3.0	3.5	2.0	3.0	3.5	1.6	2.4	3.5	1.6	2.4
<i>Ανεστραμμένο εκκρεμές</i>	2.0	1.5	2.0	2.0	1.5	2.0	2.0	1.5	1.6	2.0	1.5	1.6
<i>Τοιχωματικό με >2 ασύζευκτα τοιχώματα/διεύθυνση</i>	3.0	3.0	4.4	3.0	3.0	4.2	3.0	2.4	3.5	3.0	2.4	3.35
<i>Τοιχωματικό με 2 ασύζευκτα τοιχώματα/διεύθυνση</i>	3.0	3.0	4.0	3.0	3.0	4.0	3.0	2.4	3.2	3.0	2.4	3.2
<i>Μικτό τοιχωματικό, τοιχωματικό συζευγμένων τοιχωμάτων ή πολυώροφο πλαίσιακό ή μικτό πλαίσιακό με ένα άνοιγμα</i>	3.5	3.6	5.4	3.5	3.3	4.95	3.5	2.9	4.3	3.5	2.65	3.95
<i>Πολυώροφο πλαίσιακό ή μικτό πλαίσιακό</i>	3.5	3.9	5.85	3.5	3.45	5.2	3.5	3.1	4.7	3.5	2.75	4.15
<i>Μονώροφο πλαίσιακό ή μικτό πλαίσιακό</i>	3.5	3.3	4.95	3.5	3.15	4.7	3.5	2.65	3.95	3.5	2.5	3.8