

**ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗ
ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ**

**ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ
από οπλισμένο σκυρόδεμα**

ΤΟΜΟΣ Β΄

Στατική και Σεισμική Ανάλυση

ISBN set 978-960-85506-6-7
ISBN τ. Β΄ 978-960-85506-0-5

Copyright: Απόστολος Κωνσταντινίδης
Αλέκτορος 7, ΤΚ 116 32, ΑΘΗΝΑ

Ο νόμος 2121/93 κατοχυρώνει την πνευματική ιδιοκτησία και απαγορεύει την αναπαραγωγή με κάθε τρόπο ή μέσο, όλου ή τμήματος του έργου χωρίς τη γραπτή άδεια του συγγραφέα.

6. Σεισμικές επιταχύνσεις και φορτίσεις κτιρίου

6.1 Σεισμική απόκριση κτιρίου

Η σεισμική δόνηση του εδάφους προκαλεί σεισμικές επιταχύνσεις στο φορέα. Η σεισμική απόκριση του φορέα, δηλαδή οι επιταχύνσεις επί του φορέα, δημιουργούν παραμορφώσεις και εντάσεις στον φορέα.

Η σεισμική απόκριση του φορέα εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες: από την Σεισμική Ζώνη στην οποία ανήκει το κτίριο, από τον Συντελεστή Σπουδαιότητας του κτιρίου, από τον Τύπο του Εδάφους του κτιρίου, από την Ιξώδη Απόσβεση του κτιρίου και από τον Συντελεστή Συμπεριφοράς του φορέα και βέβαια από το μέγεθος και τη κατανομή των δυσκαμψιών EI καθώς και των μαζών M του φορέα.

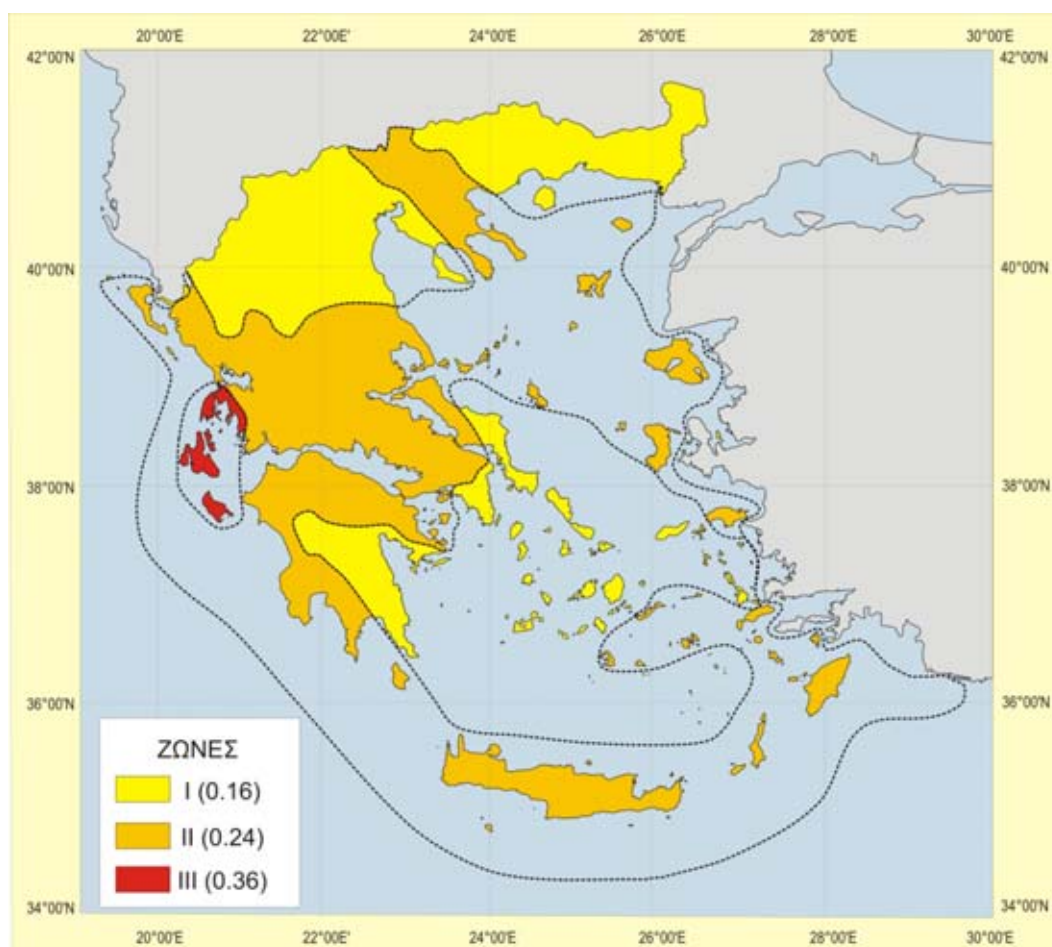
Στη συνέχεια εξετάζονται οι παράγοντες της σεισμικής απόκρισης ενός κτιρίου.

6.1.1 Σεισμικές ζώνες

Η σεισμική δόνηση του εδάφους περιγράφεται από την επιτάχυνση a_{gR} που είναι η μέγιστη σεισμική επιτάχυνση αναφοράς σε έδαφος τύπου A.

Κάθε σεισμική χώρα είναι χωρισμένη σε Ζώνες ανάλογα με την σεισμική επικινδυνότητά τους και σε κάθε ζώνη υπάρχει μία συγκεκριμένη επιτάχυνση αναφοράς a_{gR} .

Η Ελλάδα είναι χωρισμένη σε 3 ζώνες Ζώνη 1: $a_{gR}=0.16g$, Ζώνη 2: $a_{gR}=0.24g$, Ζώνη 3: $a_{gR}=0.36g$, όπου g η επιτάχυνση βαρύτητας της γης.



Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδος

6.1.2 Σπουδαιότητα του κτιρίου

Τα κτίρια ταξινομούνται σε 4 κατηγορίες σπουδαιότητας, ανάλογα με τις συνέπειες ενδεχόμενης κατάρρευσης αμέσως μετά τον σεισμό. Κάθε κατηγορία σπουδαιότητας έχει ένα συντελεστή σπουδαιότητας γ_i ο οποίος συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 0.80 και 1.40

Η επιτάχυνση σχεδιασμού a_g σε έδαφος τύπου A προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της επιτάχυνσης αναφοράς επί τον συντελεστή σπουδαιότητας του κτιρίου, δηλαδή είναι $a_g = \gamma_i \cdot a_{gR}$

Κατηγορίες και συντελεστές σπουδαιότητας γ_i για κτίρια

Κατηγορία	γ_i	Χρήση κτιρίου
I	0.8	Κτήρια δευτερεύουσας σημασίας για την δημόσια ασφάλεια π.χ. γεωργικά κτήρια κλπ.
II	1.0	Συνήθη κτίρια που δεν ανήκουν στις προηγούμενες κατηγορίες.
III	1.2	Κτίρια των οποίων η σεισμική ασφάλεια είναι σημαντική, λαμβάνοντας υπόψη τις συνέπειες κατάρρευσης, π.χ. σχολεία, αίθουσες συνάθροισης, κλπ.
IV	1.4	Κτίρια των οποίων η ακεραιότητα κατά τη διάρκεια σεισμών είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία των πολιτών, π.χ. νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, σταθμοί παραγωγής ενέργειας, κλπ.

6.1.3 Τύπος του εδάφους

Τα εδάφη ενός κτιρίου ταξινομούνται σε 5 + 2 κατηγορίες ώστε να είναι δυνατή η αποτίμηση της επιρροής των τοπικών εδαφικών συνθηκών στη σεισμική δράση.

Οι κατηγορίες εδάφους A, B, C, D, και E, καθορίζονται από την στρωματογραφία και τις παραμέτρους που δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Για περιοχές με εδαφικές συνθήκες που εμπίπτουν σε οιαδήποτε από τις δύο ειδικές εδαφικές κατηγορίες S_1 ή S_2 , απαιτείται ειδική μελέτη για τον καθορισμό της σεισμικής δράσης. Για τις κατηγορίες αυτές, και ειδικότερα για την S_2 , θα λαμβάνεται υπόψη η πιθανότητα αστοχίας του εδάφους υπό την σεισμική δράση.

Κατηγορία Εδάφους	Περιγραφή στρωματογραφίας	Παράμετροι		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (κρούσεις/30cm)	c_u (kPa)
A	Βράχος ή άλλος βραχώδης γεωλογικός σχηματισμός, που περιλαμβάνει το πολύ 5 m ασθενέστερου επιφανειακού υλικού.	> 800	–	–
B	Αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλίκων, ή πολύ σκληρής αργίλου, πάχους τουλάχιστον αρκετών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος.	360 – 800	> 50	> 250
C	Βαθιές αποθέσεις πυκνής ή μετρίως πυκνής άμμου, χαλίκων ή σκληρής αργίλου πάχους από δεκάδες έως πολλές εκατοντάδες μέτρων.	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Αποθέσεις χαλαρών έως μετρίως χαλαρών μη συνεκτικών υλικών (με ή χωρίς κάποια μαλακά στρώματα συνεκτικών υλικών), ή κυρίως μαλακά έως μετρίως σκληρά συνεκτικά υλικά.	< 180	< 15	< 70
E	Εδαφική τομή που αποτελείται από ένα επιφανειακό στρώμα ιλύος με τιμές v_s κατηγορίας C ή D και πάχος που ποικίλλει μεταξύ περίπου 5m και 20m, με υπόστρωμα από πιο σκληρό υλικό με $v_s > 800$ m/s.			
S_1	Αποθέσεις που αποτελούνται, ή που περιέχουν ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 10 m μαλακών αργίλων/ιλών με υψηλό δείκτη πλαστικότητας ($PI > 40$) και υψηλή περιεκτικότητα σε νερό.	< 100 (ενδεικτικό)	–	10 - 20
S_2	Στρώματα ρευστοποιήσιμων εδαφών, ευαίσθητων αργίλων, ή οποιαδήποτε άλλη εδαφική τομή που δεν περιλαμβάνεται στους τύπους A – E ή S_1			

Ο τύπος του εδάφους επηρεάζει την ένταση των επιταχύνσεων πολλαπλασιάζοντας τις επί το συντελεστή S που έχει την μικρότερη τιμή $S=1.0$ στη περίπτωση εδάφους τύπου A. Επηρεάζει επίσης και την κατανομή των επιταχύνσεων, ανάλογα με την εκάστοτε τιμή της ιδιοπεριόδου T , και συγκεκριμένα, ανάλογα με τις χαρακτηριστικές ιδιοπεριόδους T_B , T_C , T_D του φάσματος, που αντιστοιχούν στη συγκεκριμένη κατηγορία εδάφους. Οι τιμές των S , T_B , T_C , T_D ανάλογα με τον εδαφικό τύπο δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Τιμές των παραμέτρων των φασμάτων ελαστικής απόκρισης¹

Εδαφικός τύπος	S	T _B (sec)	T _C (sec)	T _D (sec)
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	1.40	0.15	0.5	2.0

6.1.4 Ιξώδης απόσβεση

Η ιξώδης απόσβεση λαμβάνεται υπόψη μέσω του διορθωτικού συντελεστή απόσβεσης η ο οποίος λαμβάνεται από την έκφραση: $\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55$ όπου ξ είναι ο λόγος ιξώδους απόσβεσης του φορέα, εκπεφρασμένος σαν ποσοστό επί τις εκατό.

Ο λόγος της ιξώδους απόσβεσης συνήθως λαμβάνεται ίσος με 5%, οπότε ο διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης συνήθως είναι $\eta=1.0$

6.1.5 Συντελεστής συμπεριφοράς q

Οι φορείς από Οπλισμένο Σκυρόδεμα έχουν την ικανότητα απόδοσης ενέργειας, κυρίως μέσω της πλαστικής συμπεριφοράς των στοιχείων τους. Η επιρροή της πλαστιμότητας του φορέα, μειώνει την σεισμική απόκριση του και η μείωση αυτή λαμβάνεται υπόψη στο **φάσμα σχεδιασμού** για ελαστική ανάλυση, σύμφωνα με το **συντελεστή συμπεριφοράς q** .

Ο συντελεστής q εξαρτάται από τον τύπο του φορέα, από την κανονικότητά του σε κάτοψη και όψη και από την κατηγορία πλαστιμότητας.

6.1.5.1 Τύποι στατικών συστημάτων [EC8 §5.2.2.1]

Τα κτίρια από σκυρόδεμα επιβάλλεται να κατατάσσονται σε ένα από τα ακόλουθα 6+1 στατικά συστήματα, ανάλογα με τη συμπεριφορά τους υπό οριζόντιες σεισμικές δράσεις:

Υποστώλωμα είναι το κατακόρυφο στοιχείο που έχει λόγο πλευρών $l_w/h_w \leq 4$, ενώ τοιχίο είναι το κατακόρυφο στοιχείο που έχει λόγο πλευρών $l_w/h_w > 4$. Στο ισόγειο της κατασκευής ονομάζουμε V_F τη σεισμική τέμνουσα που αναλαμβάνουν όλα τα υποστυλώματα, V_W τη σεισμική τέμνουσα που αναλαμβάνουν όλα τα τοιχία και $V_{tot} = V_F + V_W$ τη συνολική σεισμική τέμνουσα του ισογείου.

1. Πλαισιωτό σύστημα

Είναι το στατικό σύστημα που έχει μόνο υποστυλώματα, ή υποστυλώματα και τοιχία, όπου όμως κυριαρχούν τα υποστυλώματα ώστε $V_F/V_{tot} > 0.65$.

2. Σύστημα πλάστιμων τοιχωμάτων (συζευγμένων ή όχι)

Είναι το στατικό σύστημα που έχει μόνο τοιχία, ή τοιχία και υποστυλώματα, όπου όμως κυριαρχούν τα τοιχία ώστε $V_W/V_{tot} > 0.65$.

3. Διπλό σύστημα ισοδύναμο με πλαισιωτό

¹ Στο ελληνικό προσάρτημα η μόνη αλλαγή είναι στις τιμές του T_D που λαμβάνονται 2.5 sec αντί 2.0 sec

Είναι το στατικό σύστημα που έχει και υποστυλώματα και τοιχεία, όπου $V_F/V_{tot} > 0.50$ και ταυτόχρονα $V_F/V_{tot} \leq 0.65$, γιατί αλλιώς θα είναι καθαρά πλαισιωτό σύστημα.

4. Διπλό σύστημα ισοδύναμο με σύστημα τοιχωμάτων

Είναι το στατικό σύστημα που έχει και τοιχεία και υποστυλώματα όπου $V_W/V_{tot} > 0.50$ και ταυτόχρονα $V_W/V_{tot} \leq 0.65$ αλλιώς θα είναι καθαρά σύστημα τοιχωμάτων.

5. Σύστημα μεγάλων ελαφρά οπλισμένων τοιχωμάτων

Είναι το σύστημα που έχει τουλάχιστον 2 τοιχώματα προς την εξεταζόμενη διεύθυνση με τις παρακάτω 3 προϋποθέσεις:

- Η οριζόντια διάσταση είναι $l_w \geq \min(4.0 \text{ m}, 2h_w/3)$,
- Φέρουν από κοινού τουλάχιστον το 20% του συνολικού φορτίου βαρύτητας του φορέα στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού.
- Η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του φορέα είναι $\leq 0.5 \text{ sec}$

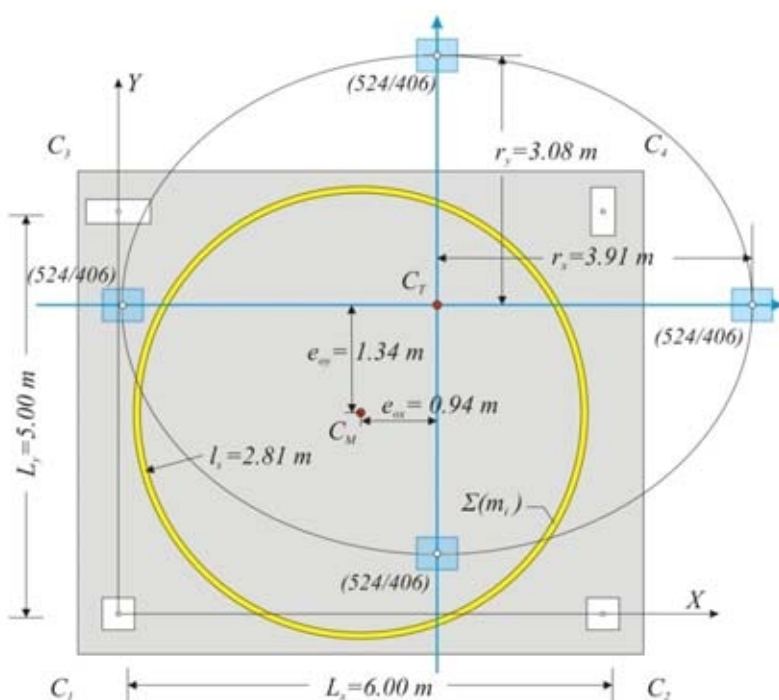
Αν το στατικό σύστημα ικανοποιεί την πρώτη συνθήκη, αλλά δεν μπορεί να ικανοποιήσει τη δεύτερη, είτε την τρίτη συνθήκη, τότε κατατάσσεται στο σύστημα των πλάστιμων τοιχωμάτων, οπότε και τα μεγάλα τοιχώματα ακολουθούν τη διαμόρφωση των πλάστιμων τοιχείων.

6. Σύστημα ανεστραμμένου εκκρεμές

Είναι το σύστημα στο οποίο 50% ή περισσότερο της μάζας βρίσκεται στο ανώτερο 1/3 του ύψους του φορέα.

Μονόροφα κτίρια στα οποία έχουν τοποθετηθεί πλαισιακές δοκοί και προς τις δύο κατευθύνσεις και σε κανένα υποστυλώμα η ανηγμένη τιμή του αξονικού φορτίου v_d δεν υπερβαίνει την τιμή του 0.30, δεν ανήκουν σε αυτό το σύστημα.

7. Στρεπτικά εύκαμπτο σύστημα [EC8, 5.2.2.1(4)P]



Εφόσον στο χαρακτηριστικό όροφο του κτιρίου² ισχύει $r_x < l_s$, είτε $r_y < l_s$, τότε το σύστημα θεωρείται στρεπτικά εύκαμπτο. Στο συγκεκριμένο όροφο του παραδείγματος είναι $\min(r_x, r_y) = \min(3.91, 3.08) = 3.08 \text{ m} > l_s = 2.81 \text{ m}$, άρα το κτίριο δεν είναι στρεπτικά εύκαμπτο.

Παρατήρηση:

- Με εξαίρεση το στρεπτικά εύκαμπτο σύστημα, ένα κτίριο μπορούν να κατατάσσεται σε δύο διαφορετικά συστήματα κατά τους δύο άξονες x και y .

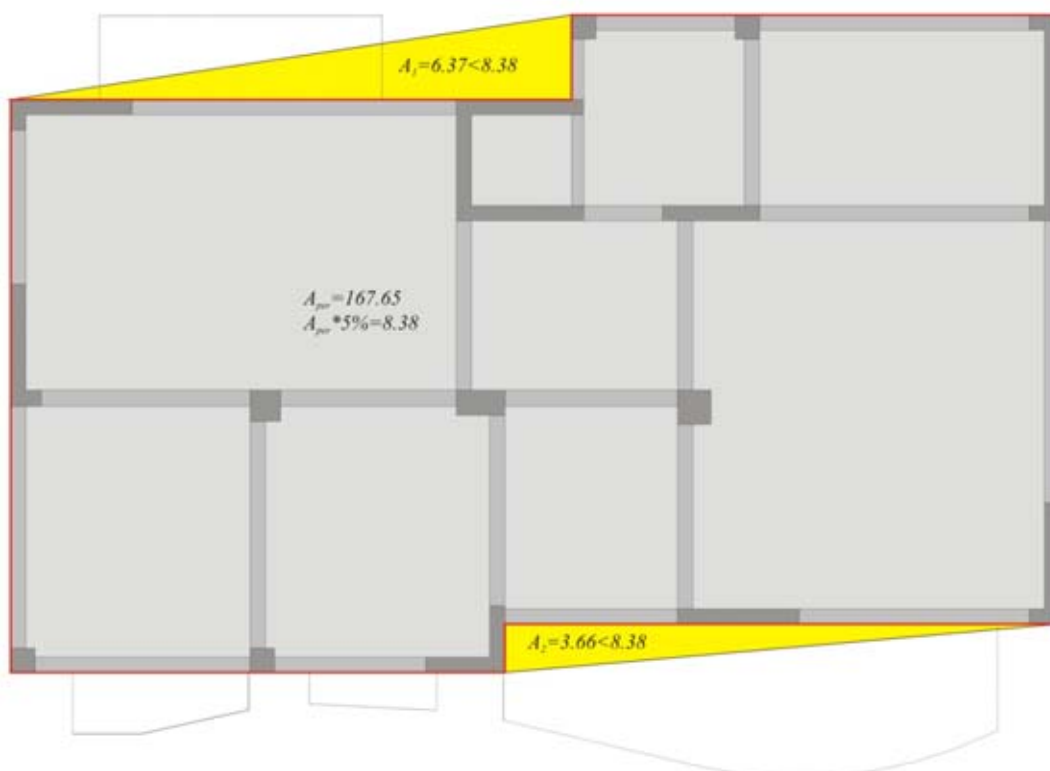
² Επειδή δεν αναφέρεται συγκεκριμένα στο κείμενο του EC8 ο χαρακτηριστικός όροφος, αυτός θα μπορούσε να λαμβάνεται το ισόγειο ή ο δυσμενέστερος όροφος απ' όλους τους ορόφους του κτιρίου ή η υπόδειξη του Ελληνικού Προσαρτήματος [ELOT EN 1998-1:2005/NA 2.12], ο όροφος που η στάθμη του είναι πιο κοντά στο 80% του ύψους του κυρίως κτιρίου.

6.1.5.2 Κανονικότητα σε κάτοψη [EC8 §4.2.3.2]

Για να θεωρηθεί ένα κτίριο ως κανονικό σε κάτοψη θα πρέπει να ικανοποιεί όλους του παρακάτω όρους:

- i. Το κτίριο θα είναι κατά προσέγγιση συμμετρικό σε κάτοψη από γεωμετρική και φορτιστική κατάσταση, σε σχέση με δύο ορθογώνιους άξονες.

Το σύνολο των πλακών του ορόφου οριοθετείται με μία κυρτή πολυγωνική γραμμή. Εάν υπάρχουν ανωμαλίες στην περίμετρο, αυτές δεν θα πρέπει να επηρεάζουν τη δυσκαμψία της πλάκας στο επίπεδό της. Σε κάθε ανωμαλία, η περιοχή μεταξύ του περιγράμματος της πλάκας και της κυρτής πολυγωνικής γραμμής που περιβάλλει την πλάκα, δεν υπερβαίνει το 5% της επιφάνειας του ορόφου.



- ii. Η δυσκαμψία των πλακών ορόφων μέσα στο επίπεδό τους θα είναι αρκετά μεγάλη σε σύγκριση με την οριζόντια δυσκαμψία των κατακόρυφων φερόντων στοιχείων, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη διαφραγματική λειτουργία. Ο όρος αυτός, στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, κατά κανόνα ικανοποιείται.
- iii. Η λυγνρότητα λ του κτιρίου θα είναι $\lambda = L_{max}/L_{min} \leq 4$
- iv. Σε κάθε στάθμη θα πρέπει:
 $e_{ox} \leq 0.30r_x$ & $e_{oy} \leq 0.30r_y$ [εννοείται ότι ταυτόχρονα δεν θα είναι και εύστρεπτο, δηλαδή $\min(r_x, r_y) \geq l_s$]

Παράδειγμα:

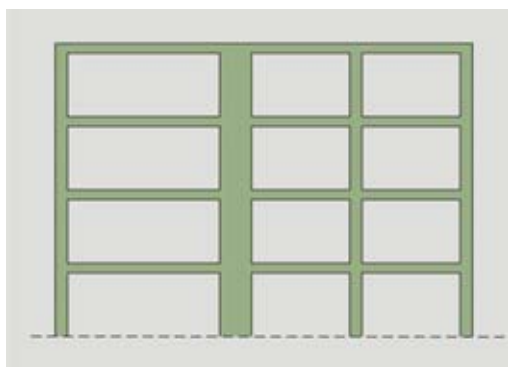
Στον όροφο που αντιστοιχεί το προηγούμενο 4στυλο παράδειγμα ισχύει:

$\min(r_x, r_y) = \min(3.91, 3.08) = 3.08 \text{ m} > l_s = 2.81 \text{ m}$ άρα είναι στρεπτικά δύσκαμπτο (όσον αφορά το συγκεκριμένο όροφο). Είναι $e_{ox} = 0.94 \text{ m} \leq 0.30r_x = 0.30 \times 3.91 = 1.17 \text{ m}$, αλλά $e_{oy} = 1.34 \text{ m} > 0.30r_y = 0.30 \times 3.08 = 0.92 \text{ m}$ που δεν ικανοποιεί την αναγκαία συνθήκη, επομένως το κτίριο στο οποίο ανήκει ο συγκεκριμένος όροφος δεν είναι κανονικό σε κάτοψη.

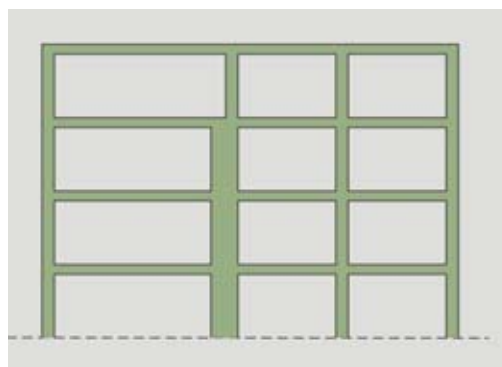
6.1.5.3 Κανονικότητα σε όψη [EC8 §4.2.3.3]

Για να ταξινομηθεί ένα κτίριο ως κανονικό σε όψη, θα πρέπει να ικανοποιεί όλους τους παρακάτω όρους:

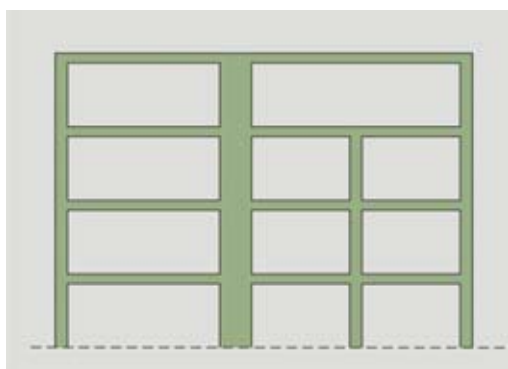
- i. Όλα τα συστήματα ανάληψης οριζοντίων φορτίων, όπως πυρήνες, φέροντα τοιχώματα ή πλαίσια θα είναι συνεχή, χωρίς διακοπή, από τα θεμέλια έως την άνω επιφάνεια του κτιρίου, ή, εάν υπάρχουν ζώνες εσοχών με διαφορετικά ύψη, έως την άνω επιφάνεια της σχετικής ζώνης του κτιρίου. Στα παρακάτω σκαριφήματα φαίνονται μερικές περιπτώσεις κανονικών και μη κανονικών κτιρίων σε όψη.



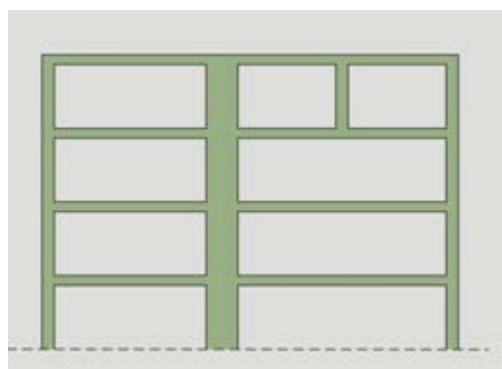
κανονικό κτίριο σε όψη



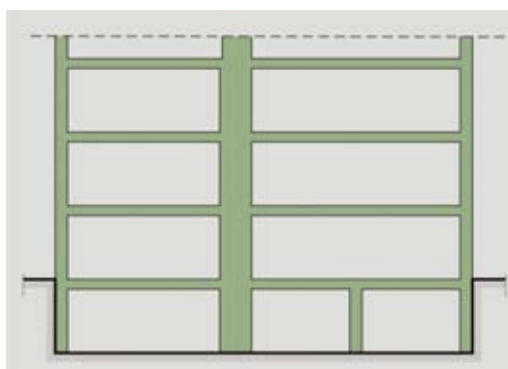
κτίριο μη κανονικό σε όψη
(Αλλαγή διάστασης κολόνας)



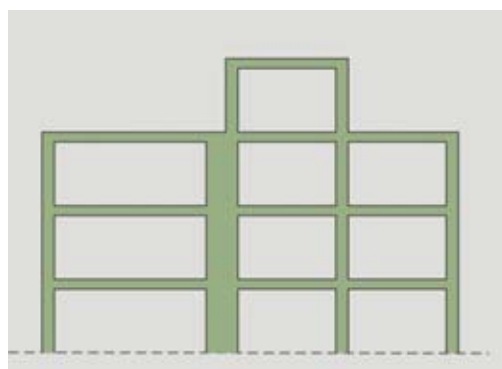
κτίριο μη κανονικό σε όψη
(Έλλειψη συνέχειας κολόνας)



κτίριο μη κανονικό σε όψη
(Φυτευτό υποστύλωμα)



κτίριο κανονικό σε όψη
(Προσθήκη κολόνας σε υπόγειο)

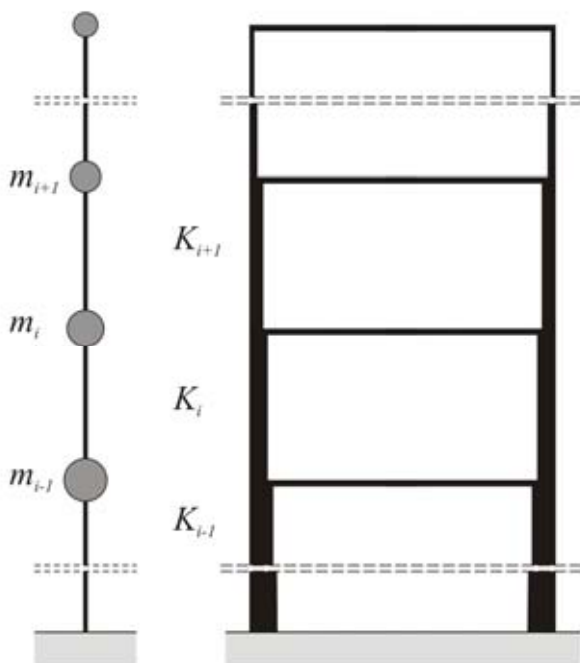


κτίριο κανονικό σε όψη
(Το δώμα δεν προσμετράται σαν όροφος)

- ii. Η μεταφορική δυσκαμψία και η μάζα των επιμέρους ορόφων θα παραμένουν σταθερές, ή θα μειώνονται βαθμιαία, χωρίς απότομες αλλαγές από τη βάση προς την κορυφή του κτιρίου.

Δυσκαμψία ενός ορόφου είναι ο λόγος της σεισμικής δύναμης που εξασκείται στον όροφο προς τη σχετική μεταφορική μετατόπιση αυτού του ορόφου (ή ισοδύναμα, με τη μετατόπιση του κέντρου ελαστικής στροφής αυτού του ορόφου).

Με προσεγγιστικό τρόπο, η δυσκαμψία του ορόφου θα μπορούσε να λαμβάνεται το άθροισμα των δυσκαμψιών όλων των υποστυλωμάτων του ορόφου, δηλαδή το $\Sigma(E \cdot I/h^3)$.



Αυξομείωση μάζας και δυσκαμψίας

Ο EC8 δεν αναφέρει συγκεκριμένα όρια αυξομείωσης των δυσκαμψιών και των μαζών, θα μπορούσαν όμως να λαμβάνονται ως εξής³:

Αύξηση μάζας $\Delta M_i = (M_{i+1} - M_i) \leq 0.35 M_i$,

Μείωση μάζας $\Delta M_i = (M_i - M_{i+1}) \leq 0.50 M_i$, ενώ σε κάθε μία από τις κύριες διευθύνσεις x,y

Αύξηση σχετικής δυσκαμψίας

$\Delta K_i = (K_{i+1} - K_i) \leq 0.35 K_i$,

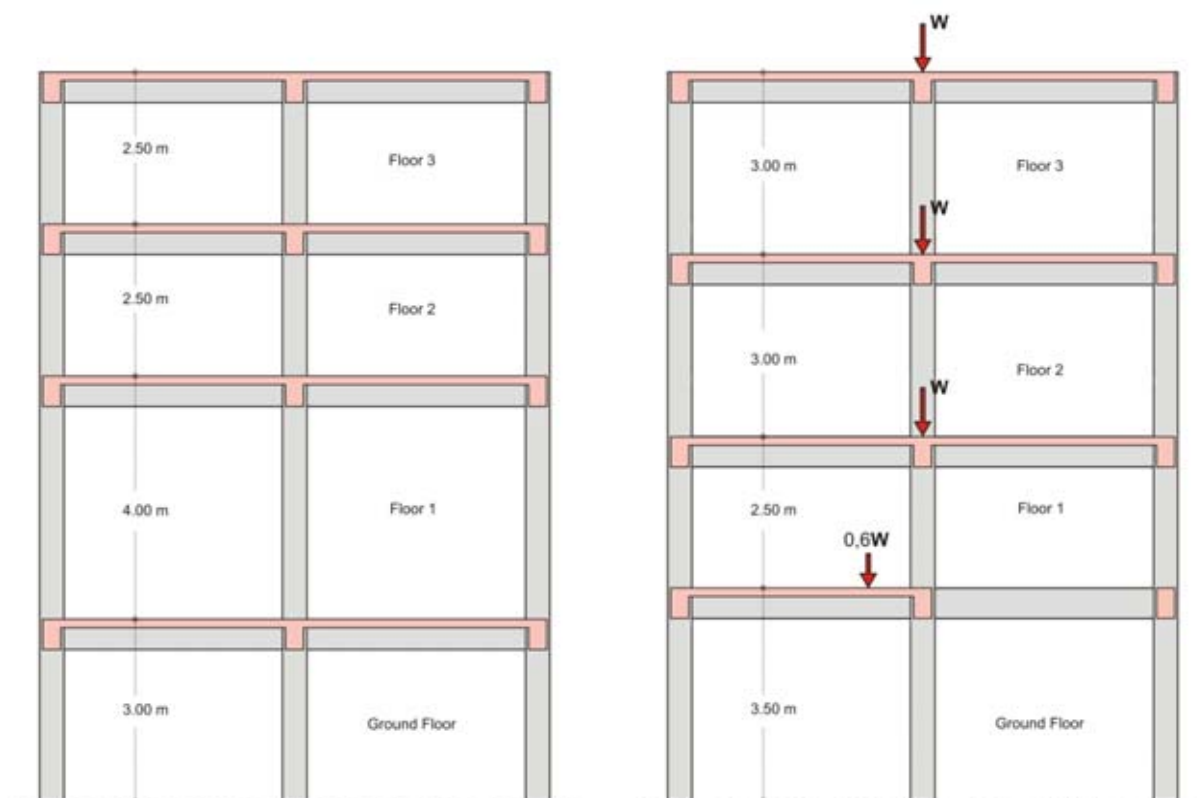
Μείωση σχετικής δυσκαμψίας

$\Delta K_i = (K_i - K_{i+1}) \leq 0.50 K_i$,

Παρατηρήσεις

- Η διακύμανση του ποσοστού των δυσκαμψιών είναι πολύ ευαίσθητη και ο πιο κρίσιμος παράγοντας είναι το ύψος του ορόφου, που υπεισέρχεται άμεσα ή έμμεσα στη δυσκαμψία κάθε υποστυλώματος με την 3^η δύναμη. Έτσι για παράδειγμα δύο όροφοι με ίδια υποστυλώματα και ίδια φορτία που ο ένας έχει ύψος 4.0 m και ο άλλος ύψος 3.0 m, αυτός των 4.0 m είναι πιο εύκαμπτος κατά το λόγο $(4.0/3.0)^3 = 2.4$ και επομένως το κτίριο θα είναι μη κανονικό σε κάτοψη. Αν το ύψος του ορόφου είναι 6.0 m, τότε ο όροφος αυτός είναι πιο εύκαμπτος κατά το λόγο $(6.0/3.0)^3 = 8$. Οι όροφοι αυτοί λέγονται και μαλακοί όροφοι και η επιρροή τους δεν είναι μόνο δυσμενής στον καθορισμό της μη κανονικότητας του κτιρίου σε κάτοψη, αλλά και σε όλη την εντατική και παραμορφωσιακή συμπεριφορά του κτιρίου.
- Ένα κτίριο όπου οι δύο επάλληλοι όροφοι έχουν τα ίδια τοιχώματα και πλαίσια, αλλά ένας από τους δύο έχει λιγότερες πλάκες π.χ. περίπτωση παταριών, τότε τα φορτία αυτού του ορόφου υπολείπονται των φορτίων του άλλου ορόφου. Αυτό μπορεί να έχει επίπτωση στο ποσοστό ανομοιομορφίας των μαζών, ώστε τελικά να χαρακτηρίζεται μη κανονικό σε κάτοψη.

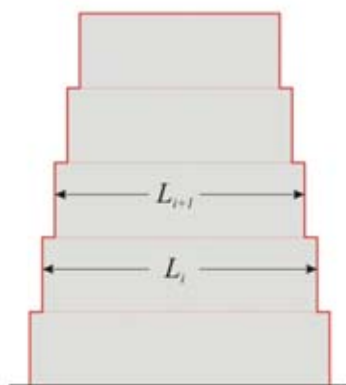
³ Ο κανόνας αυτός υπήρχε στον ΕΑΚ 2000



Μη κανονικό κτίριο σε όψη, λόγω έντονης διαφοράς δυσκαμψιών (μαλακός όροφος)

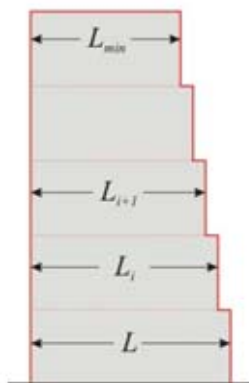
Μη κανονικό κτίριο σε όψη, λόγω έντονης διαφοράς μαζών (περίπτωση παταριού)

- iii. Ειδικά σε πλαισιωτό σύστημα ο λόγος της πραγματικής αντοχής των υποστυλωμάτων και δοκών προς τις αναγκαίες αντοχές από τους υπολογισμούς, σε κάθε όροφο δεν πρέπει να διαφέρει σημαντικά από τον αντίστοιχο λόγο υπεραντοχής του υπερκείμενου και του υποκείμενου ορόφου.
Σε επόμενο κεφάλαιο υπάρχουν οι σχετικοί όροι και οι επεξηγήσεις. Σε κάθε όροφο και σε κάθε κατεύθυνση αθροίζονται οι ροπές αντοχής των υποστυλωμάτων κατά τις δύο κατευθύνσεις (+x, -x) και (+y, -y) $\Sigma M_{c,Rd}$ και $\Sigma M_{b,Rd}$ οι 2 αντίστοιχες των δοκών $\Sigma M_{b,Rd}$.
- iv. Σε περίπτωση εσοχών ισχύουν οι ακόλουθες πρόσθετες συνθήκες κανονικότητας σε κάθε κατεύθυνση:
 - ο Εάν διατηρείται η αξονική συμμετρία του φορέα, η εσοχή σε οποιονδήποτε όροφο δεν θα είναι μεγαλύτερη από το 20% της διάστασης του προηγούμενου ορόφου στη διεύθυνση της εσοχής.



Πρέπει $\frac{L_i - L_{i+1}}{L_i} \leq 0.20$

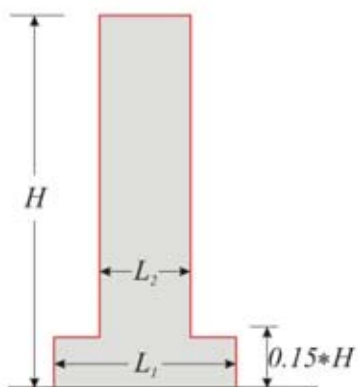
- Εάν δεν διατηρείται η αξονική συμμετρία του φορέα, η εσοχή σε οποιονδήποτε όροφο δεν θα είναι μεγαλύτερη από το 10% της διάστασης του προηγούμενου ορόφου στη διεύθυνση της εσοχής και επιπλέον, η μικρότερη διάσταση ορόφου σε εσοχή δεν θα είναι μεγαλύτερη από το 30% της διάστασης του ισογείου πάνω από τη θεμελίωση ή επάνω από την επιφάνεια άκαμπτου υπόγειου.



Πρέπει $\frac{L_i - L_{i+1}}{L_i} \leq 0.10$

και $\frac{L - L_{min}}{L} \leq 0.30$

- Στην ειδική περίπτωση που έχουμε μία μονάχα εσοχή (ή εξοχή) και αυτή έχει ύψος όχι μεγαλύτερο του 15% του συνολικού ύψους του κτιρίου, τότε θα πρέπει το μήκος αυτής της εσοχής να μην είναι μεγαλύτερο του 50% της προηγούμενης διάστασης. Σ' αυτή την περίπτωση θα πρέπει επιπλέον το τμήμα του κατώτερου ορόφου που περιλαμβάνεται στην προβολή του ορόφου σε εσοχή να αναλαμβάνει τουλάχιστον το 75% της τέμνουσας που θα αναπτυσσόταν στην ίδια ζώνη σε παρόμοιο κτίριο χωρίς τη διεύρυνση του κάτω μέρους.



Πρέπει $\frac{L_1 - L_2}{L_1} \leq 0.50$

6.1.5.4 Κατηγορίες πλαστιμότητας [EC8 §5.2.1]

Οι αντισεισμικές κατασκευές επιλέγονται να ανήκουν από τον μελετητή μηχανικό να ανήκουν σε μία από τις 3 κατηγορίες πλαστιμότητας,

(α) ΚΠΧ από τα αρχικά των λέξεων Κατηγορία Πλαστιμότητας **Χαμηλή**

(β) ΚΠΜ από τα αρχικά των λέξεων Κατηγορία Πλαστιμότητας **Μέση**

(γ) ΚΠΥ από τα αρχικά των λέξεων Κατηγορία Πλαστιμότητας **Υψηλή**

ΚΠΧ

Στην Κατηγορία Πλαστιμότητας **Χαμηλή** ανήκουν τα κτίρια που μελετώνται για χαμηλή ικανότητα απόδοσης ενέργειας και μικρή πλαστιμότητα, εφαρμόζοντας τους κανόνες του EC2 όσον αφορά την διαστασιολόγηση χωρίς βέβαια να λαμβάνει υπόψη τις μειώσεις των σεισμικών δυνάμεων, δηλαδή θα έχει πάντοτε συντελεστή συμπεριφοράς $q=1$. Η μόνη κατασκευαστική απαίτηση είναι η χρησιμοποίηση χάλυβα κατηγορίας B ή C (βλέπε τόμο Γ' (ή 2^ο μέρος) §1.2).

Στην κατηγορία αυτή συνιστάται⁴ να κατατάσσονται τα κτίρια που βρίσκονται σε περιοχές χαμηλής σεισμικότητας.

ΚΠΜ

Στην Κατηγορία Πλαστιμότητας **Μέση** ανήκουν τα κτίρια που μελετώνται για μεσαία ικανότητα απόδοσης ενέργειας και μεσαία πλαστιμότητα, εφαρμόζοντας τους συγκεκριμένους υπολογιστικούς και κατασκευαστικούς κανόνες του EC8.

Στο Εθνικό Προσάρτημα⁵ μπορεί να απαγορεύεται η χρησιμοποίηση μέσης πλαστιμότητας για κατασκευές υψηλής επικινδυνότητας και να επιβάλλεται η χρησιμοποίηση υψηλής πλαστιμότητας.

ΚΠΥ

Στην Κατηγορία Πλαστιμότητας **Υψηλή** ανήκουν τα κτίρια που μελετώνται για υψηλή ικανότητα απόδοσης ενέργειας και υψηλή πλαστιμότητα, εφαρμόζοντας πιο αυστηρούς υπολογιστικούς και κατασκευαστικούς κανόνες της ΚΠΜ.

Στην κατηγορία αυτή απαγορεύεται η κατάταξη κτιρίων με Πλαισιακό Σύστημα και ψαθυρή τοιχοποιία.

Παρατηρήσεις

- Οι παραπάνω ταξινομήσεις αναφέρονται τόσο σε κατασκευές με μονολιθικά σκυροδετούμενα στοιχεία, όσο και σε κατασκευές με προκατασκευασμένα στοιχεία.
- Πλαίσια με ζυγώματα ζώνες πλακών, χωρίς δοκούς, δεν αντιμετωπίζονται πλήρως από τον EC8.

⁴ Στο Ελληνικό Προσάρτημα [ELOT EN 1998-1:2005/NA 2.19] δεν επιτρέπεται η χρησιμοποίηση ΚΠΧ για ανωδομές, εκτός από την περίπτωση χρησιμοποίησης σεισμικής μόνωσης.

⁵ Στο Ελληνικό Προσάρτημα [ELOT EN 1998-1:2005/NA 2.19] δεν επιτρέπεται η χρησιμοποίηση ΚΠΜ για κτίρια σπουδαιότητας III ή IV, όταν ανήκουν σε σεισμική ζώνη Z2 ή Z3. Εξαίρεση σ' αυτό αποτελούν οι σκελετοί από προκατασκευασμένα τοιχεία, ή προκατασκευασμένες κυψέλες.

6.1.5.5 Βασικός συντελεστής πλαστιμότητας q_0 [EC8 §5.2.2.2]

Βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q_0

Τύπος Στατικού Συστήματος	ΚΓΜ		ΚΠΥ	
	Κανονικό σε όψη	Μη κανονικό σε όψη	Κανονικό σε όψη	Μη κανονικό σε όψη
Φορέας ανεστραμμένου εκκρεμούς (6)	1.5	1.2	2.0	1.6
Στρεπτικά εύκαμπτος φορέας (7)	2.0	1.6	3.0	2.4
Τοιχωματικός φορέας με ασύζευκτα τοιχώματα [μερική περίπτωση (2)]	3.0	2.4	$4.0a_u/a_1$	$3.2a_u/a_1$
Πλαισιωτός φορέας (1), διπλό σύστημα (3), (4), σύστημα συζευγμένων τοιχωμάτων (2) ⁶	$3.0a_u/a_1$	$2.4a_u/a_1$	$4.5a_u/a_1$	$3.6a_u/a_1$

Οι τιμές του λόγου a_u/a_1 μπορούν να υπολογιστούν με push over ανάλυση ή να ληφθούν από το επόμενο πίνακα:

Τιμές του πολλαπλασιαστικού συντελεστή a_u/a_1

Τύπος στατικού συστήματος	Είδος κτιρίου	Κανονικό σε κάτοψη	Μη κανονικό σε κάτοψη
		a_u/a_1	a_u/a_1
Πλαισιωτό σύστημα(1) ή διπλό σύστημα ισοδύναμο με πλαισιωτό(3)	Μονώροφο κτίριο	1.10	1.05
	Πολυώροφο κτίριο με δίστυλο πλαίσιο προς την εξεταζόμενη κατεύθυνση	1.20	1.10
	Λοιπά πολυώροφα κτίρια	1.30	1.15
Σύστημα πλαστιμων τοιχωμάτων(2)		1.20	1.10
Διπλό σύστημα ισοδύναμο με σύστημα τοιχωμάτων(4)	Με μόνο δύο τοιχώματα στην εξεταζόμενη κατεύθυνση	1.00	1.00
	Υπόλοιπα	1.10	1.05
Σύστημα μεγάλων ελαφρά οπλισμένων τοιχωμάτων(5)		1.00	1.00

Σε σύστημα ανεστραμμένου εκκρεμούς(6) ή σε στρεπτικά εύκαμπτο σύστημα(7), δεν τίθεται θέμα λόγου a_u/a_1

Παρατηρήσεις στους δύο παραπάνω πίνακες

- Οι τιμές της βασικής τιμής του συντελεστή συμπεριφοράς q_0 σε περίπτωση μη κανονικότητας σε όψη, έχουν προκύψει από τις αντίστοιχες τιμές με κανονικότητα σε όψη πολλαπλασιασμένες επί 0.80.
- Οι τιμές του πολλαπλασιαστικού συντελεστή a_u/a_1 σε περίπτωση μη κανονικότητας σε κάτοψη, έχουν προκύψει από τις αντίστοιχες τιμές με κανονικότητα σε όψη σύμφωνα με τη σχέση $(1+a_u/a_1)/2$.

⁶ Προφανώς δεν αναφέρεται και σε μεγάλα ελαφρά οπλισμένα τοιχώματα, επειδή η σύζευξη τόσο μεγάλων τοιχωμάτων πρακτικά δεν επηρεάζει τη λειτουργία τους.

Αν συνοψίσουμε όλα αυτά έχουμε τον επόμενο συνολικό πίνακα:

Βασικές τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς q_o

Τύπος συστήματος			Κατηγορία πλαστιμότητας		
			ΚΠΜ	ΚΠΥ	
			a_u/a_1	a_{qo}	
(6)	Εκκρεμές		1.0	1.5	2.0
(7)	Εύστρεπτο		1.0	2.0	3.0
(5)	Μεγάλα ελαφρά οπλισμένα τοιχώματα		1.0	3.0	4.0
(4)	Διπλό σύστημα ισοδύναμο με τοιχωματικό	Δύο τοιχώματα στην εξεταζόμενη διεύθυνση	1.0	3.0	4.5
		Περισσότερα από δύο τοιχώματα	1.1	3.0	4.5
(3) & (1)	Πλαισιωτό ή διπλό σύστημα ισοδύναμο με πλαισιωτό	Μονώροφο κτίριο	1.1	3.0	4.5
		Πολυώροφο κτίριο με δίστηλο πλαίσιο στην εξεταζόμενη διεύθυνση	1.2	3.0	4.5
		Λοιπά πολυώροφα κτίρια	1.3	3.0	4.5
(2)	Σύστημα πλάστιμων τοιχωμάτων	Ασύζευκτα τοιχώματα στην εξεταζόμενη διεύθυνση	1.2	3.0	4.0
		Συζευγμένα τοιχώματα στην εξεταζόμενη διεύθυνση	1.2	3.0	4.5
κανονικότητα σε όψη – κανονικότητα σε κάτοψη: $q_o = a_{qo} \cdot a_u/a_1$ κανονικότητα σε όψη – μη κανονικότητα σε κάτοψη: $q_o = a_{qo} \cdot (1 + a_u/a_1)/2$ μη κανονικότητα σε όψη – κανονικότητα σε κάτοψη: $q_o = 0.8 \cdot a_{qo} \cdot a_u/a_1$ μη κανονικότητα σε όψη – μη κανονικότητα σε κάτοψη: $q_o = 0.8 \cdot a_{qo} \cdot (1 + a_u/a_1)/2$					

Παραδείγματα για διπλό σύστημα ισοδύναμο με τοιχωματικό (4) και πολλά τοιχώματα:

Κανονικό σε όψη – κανονικό σε κάτοψη:

$$\text{για ΚΠΜ } q_o = 3.0 \times 1.1 = 3.30, \quad \text{για ΚΠΥ } q_o = 4.5 \times 1.1 = 4.95$$

Κανονικό σε όψη – μη κανονικό σε κάτοψη:

$$\text{για ΚΠΜ } q_o = 3.0 \times 1.05 = 3.15, \quad \text{για ΚΠΥ } q_o = 4.5 \times 1.05 = 4.725$$

Μη κανονικό σε όψη – κανονικό σε κάτοψη:

$$\text{για ΚΠΜ } q_o = 0.8 \times 3.0 \times 1.1 = 2.64, \quad \text{για ΚΠΥ } q_o = 0.8 \times 4.5 \times 1.1 = 3.96$$

Μη κανονικό σε όψη – μη κανονικό σε κάτοψη:

$$\text{για ΚΠΜ } q_o = 0.8 \times 3.0 \times 1.05 = 2.52, \quad \text{για ΚΠΥ } q_o = 0.8 \times 4.5 \times 1.05 = 3.78$$

6.1.5.6 Συντελεστής μορφής αστοχίας k_w [EC8 §5.2.2.2]

Ο συντελεστής συμπεριφοράς $q=k_w q_o \geq 1.5$ όπου q_o είναι ο βασικός συντελεστής πλαστιμότητας που εξετάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο και k_w είναι ο συντελεστής μορφής αστοχίας.

$K_w=1.0$ στην περίπτωση πλαισιωτού συστήματος (1), ή διπλού συστήματος ισοδύναμου με πλαισιωτό (3), ενώ στην περίπτωση όλων των άλλων συστημάτων που έχουν τοιχώματα (2), (4), (5), $K_w=(1+a_o)/3$, όπου a_o είναι ο λόγος όψεως των τοιχωμάτων με $a_o=\sum h_{w,i}/\sum l_{w,i}$. Σε κάθε περίπτωση πρέπει $0.50 \leq k_w \leq 1.0$.

Ο συντελεστής τοιχωματικής μορφής αστοχίας k_w είναι ≤ 1.0 εφόσον $a_o \leq 2.0$, που σημαίνει τοιχώματα κατά μέσον όρο $l_w > h_w/2$, δηλαδή σε μονώροφο κτίριο ύψους $h_w=3.0$ m για τοιχώματα με μήκος $l_w > 3.0/2=1.50$ m, σε διώροφο κτίριο ύψους $h_w=2 \times 3.0=6.0$ m για τοιχώματα με μήκος $l_w > 6.0/2=3.0$ m και αντίστοιχα για ανάλογο 4οροφο κτίριο για τοιχώματα με $l_w > 6.0$ m και για 10οροφο κτίριο για τοιχώματα με $l_w > 15$ m. Δηλαδή για συνήθη πολυώροφα κτίρια, χωρίς μεγάλα ελαφρά οπλισμένα τοιχώματα, είναι $k_w=1.0$.

6.1.5.7 Συμπέρασμα

Με βάση όσα αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, μερικά συνοπτικά συμπεράσματα είναι τα παρακάτω:

- Για συνήθη κτίρια, ο συντελεστής συμπεριφοράς q είναι ίσος με το βασικό συντελεστή συμπεριφοράς q_o , δηλαδή είναι $q=q_o$.
- Για ΚΠΜ το q κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1.50 και 3.90 ενώ, για ΚΠΥ κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1.60 και 5.85
- Σε σύστημα ανεστραμμένου εκκρεμούς (6) η τιμή του q είναι ανεξάρτητη της κανονικότητας σε κάτοψη, σε περίπτωση ΚΠΜ η τιμή του q είναι ανεξάρτητη και της κανονικότητας σε όψη και είναι $q=1.50$, ενώ στην περίπτωση ΚΠΥ είναι $q=1.60$ ή 2.0
- Σε εύστρεπτο σύστημα (7) η τιμή του q είναι ανεξάρτητη της κανονικότητας σε κάτοψη, σε περίπτωση ΚΠΜ η τιμή του q είναι 1.60 ή 2.0 και στην περίπτωση ΚΠΥ είναι 2.40 ή 3.0
- Σε διπλό σύστημα ισοδύναμο με τοιχωματικό (4), σε περίπτωση ΚΠΜ το q κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 2.40 και 3.30 και σε περίπτωση ΚΠΥ κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 3.60 και 4.95.
- Σε σύστημα πλάστιμων τοιχωμάτων (2), σε περίπτωση ΚΠΜ το q κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 2.88 και 3.60 και σε περίπτωση ΚΠΥ κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 3.60 και 5.40⁷.
- Σε πλαισιωτό (1) ή διπλό σύστημα ισοδύναμο με πλαισιωτό (3), ισχύουν οι μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς. Σε περίπτωση ΚΠΜ το q κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 2.88 και 3.90 και σε περίπτωση ΚΠΥ κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 4.32 και 5.85. Βέβαια αντισεισμικό πλαισιωτό σύστημα με οπτοπινθοδομές δεν επιτρέπεται.
- Η μικρότερη τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς είναι $q=1.50$, δηλαδή σε οποιοδήποτε σύνθετο ή όχι κτίριο μπορεί να επιλεγεί $q=1.50$ χωρίς καμία ταξινόμηση και κανένα έλεγχο κανονικότητας. Η περίπτωση αυτή δεν είναι μόνο υπέρ της ασφαλείας, αλλά καλύπτει και τις περιπτώσεις ριζικής αλλαγής του φορέα του κτιρίου λόγω ανακαίνισης, αλλαγής χρήσης ή οποιασδήποτε άλλου λόγου, κατά τη διάρκεια της ζωής του κτιρίου.
- Η πρόταση? των συγγραφέων για $q=1.0$ αλλά με υποχρεωτική κατασκευαστική ένταξη σε κατηγορία ΚΠΜ ή ακόμη καλύτερα σε κατηγορία ΚΠΥ, σίγουρα αποτελεί καλή ασφαλή αντισεισμική επιλογή. Βέβαια, αν ο φορέας μορφωθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να έχει και q μεγαλύτερο από π.χ. 3.50, τότε η κατασκευή θα τείνει στην ύψιστη αντισεισμική ασφάλεια. [γενικά το παραπάνω χρειάζεται λίγο καλύτερη διατύπωση, χωρίς όμως να χάνεται ο 'παλμός'].

⁷ Το σύστημα πλάστιμων τοιχωμάτων (2) και το διπλό σύστημα ισοδύναμο με τοιχωματικό (4), είναι τα πιο συνήθη της πράξης με το q να κυμαίνεται μεταξύ 2.40 και 5.40. Ο ΕΑΚ 2000 είχε ένα μόνο επίπεδο πλαστιμότητας και έδινε μία μόνο τιμή $q=3.50$ για όλα αυτά τα συστήματα.

6.1.6 Φάσμα σχεδιασμού οριζόντιων σεισμικών δράσεων

Για τις οριζόντιες συνιστώσες της σεισμικής δράσης το φάσμα σχεδιασμού, $S_d(T)$, ορίζεται από τις ακόλουθες εκφράσεις:

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

$$T_B \leq T < T_C: \quad S_d(T) = \gamma_I \cdot a_{gR} \cdot S \cdot \frac{2.5}{q}$$

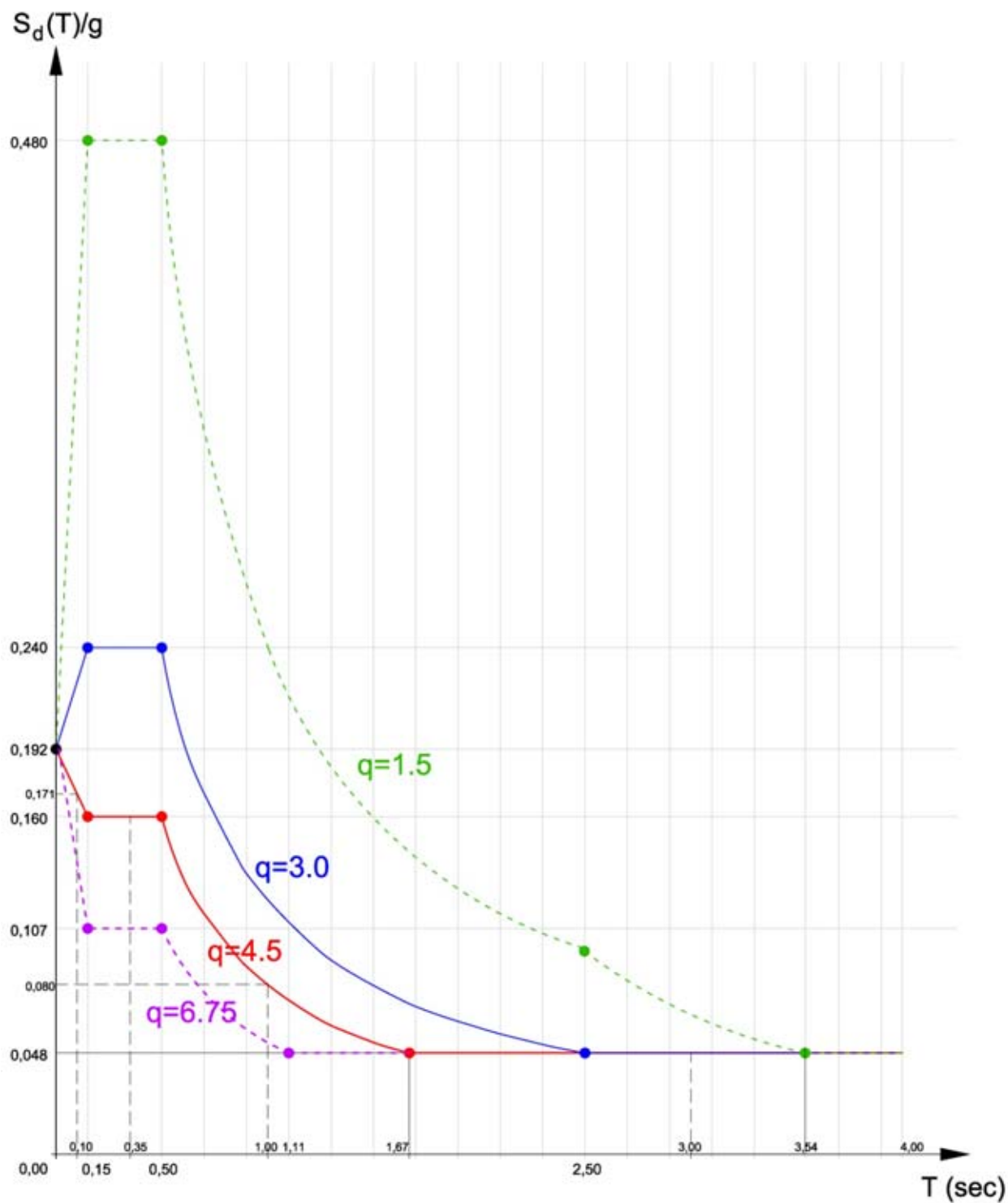
$$T_C \leq T < T_D: \quad S_d(T) = \max \left[\gamma_I \cdot a_{gR} \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C}{T}, \beta \cdot \gamma_I \cdot a_{gR} \right]$$

$$T_D \leq T: \quad S_d(T) = \max \left[\gamma_I \cdot a_{gR} \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2}, \beta \cdot \gamma_I \cdot a_{gR} \right]$$

Όπου $\beta=0.20$ η συνιστώμενη τιμή του EC8 και η ελληνική αποδεκτή τιμή.

Παράδειγμα 1^ο: για κατηγορία σπουδαιότητας II $\rightarrow \gamma_I=1.0$, τύπο εδάφους B $\rightarrow S=1.2$, σεισμική ζώνη Z₂ $\rightarrow a_{gR}=0.24$ και $q=4.5$, για τιμές του T 0.1, 0.25, 1.0 και 3.0, λαμβάνουμε αντίστοιχες τιμές του S_d 0.171g, 0.16g, 0.08g και 0.048g

Στο παράδειγμα της §3.3.1 έχει προκύψει $q=1.5$ (επειδή ...) κύρια ιδιοπερίοδος κατά x-x $T=0.425$ sec $\rightarrow T_C \leq T < T_D \rightarrow S_d = \gamma_I \cdot a_{gR} \cdot S \cdot 2.5/q = 1.0 \cdot 0.24 \cdot 1.2 \cdot 2.5/3.3 = 0.480$



Φάσμα σχεδιασμού οριζόντιων δυνάμεων (α) για $q=4.5$, (β) για $q=3.0$ και (γ) για $q=1.5$

Ζώνη σεισμικότητας II, Τύπος εδάφους B, κατηγορία σπουδαιότητας II

για $a_{gR}=0.24$, $S=1.2$, $\gamma_I=1.0$ έχουμε $\gamma_I a_{gR} S = 1.0 \times 0.24 \times 1.2 = 0.288$ και για 4 διαφορετικά q έχουμε τις παρακάτω εξισώσεις:

Για $q=6.75$ έχουμε $2.5/q=2.5/6.75=0.3703$

$0 \leq T < 0.15$: $S_d(0)=0.288 \times 2/3=0.192$, $S_d(0.15)=0.288 \times 2.5/6.75=0.107$ και επομένως η ευθεία που ενώνει τα 2 σημεία $(0.0, 0.192)$, $(0.15, 0.107)$ $S_d(T)=0.288 \times [2/3+T/0.15 \times (2.5/6.75-2/3)]=0.192-0.569T$

$0.15 \leq T < 0.50$: καμπύλη $S_d(T)=0.107$ σταθερό σε όλο το εύρος

$0.50 \leq T < 2.50$: καμπύλη $S_d(T)=\max(\gamma_I a_{gR} \cdot S \cdot 2.5/q [T_C/T], \beta \cdot \gamma_I a_{gR})=\max(0.107 \cdot 0.50/T, 0.048)$ το σημείο καμπής στο $T=1.11$, δηλαδή μετά το $T=1.11$ έχουμε ευθεία

$2.50 \leq T < 4.0$: καμπύλη $S_d(T)=\max(\max(\gamma_I a_{gR} \cdot S \cdot 2.5/q [T_C T_D/T^2], \beta \cdot \gamma_I a_{gR})=\max(0.107 \cdot 1.25/T^2, 0.048)$ το σημείο καμπής στο $T=1.67 \rightarrow$ όλο είναι ευθύγραμμο τμήμα

Για $q=4.5$ έχουμε $2.5/q=2.5/4.5=25/45=0.5555555556$

$0 \leq T < 0.15$: $S_d(0)=0.288 \cdot 2/3=0.192$, $S_d(0.15)=0.288 \cdot 25/45=0.16$ και επομένως η ευθεία που ενώνει τα 2 σημεία $(0.0, 0.192)$, $(0.15, 0.16)$ $S_d(T)=0.288 \cdot [2/3+T/0.15 \cdot (2.5/4.5-2/3)]=0.192-0.213T$

$0.15 \leq T < 0.50$: καμπύλη $S_d(T)=0.16$ σταθερό σε όλο το εύρος

$0.50 \leq T < 2.50$: καμπύλη $S_d(T)=\max(\gamma_I a_{gR} \cdot S \cdot 2.5/q [T_C/T], \beta \cdot \gamma_I a_{gR})=\max(0.16 \cdot 0.50/T, 0.048)$ το σημείο καμπής στο $T=1.67$, δηλαδή μετά το $T=1.67$ έχουμε ευθεία

$2.50 \leq T < 4.0$: καμπύλη $S_d(T)=\max(\max(\gamma_I a_{gR} \cdot S \cdot 2.5/q [T_C T_D/T^2], \beta \cdot \gamma_I a_{gR})=\max(0.16 \cdot 1.25/T^2, 0.048)$ το σημείο καμπής στο $T=2.04 \rightarrow$ όλο είναι ευθύγραμμο τμήμα

Για $q=3.0$ έχουμε $2.5/q=2.5/3.0=25/30=0.8333333333333333$

$0 \leq T < 0.15$: $S_d(0)=0.288 \cdot 2/3=0.192$, $S_d(0.15)=0.288 \cdot 0.8333333333333333=0.24$ και επομένως η ευθεία που ενώνει τα 2 σημεία $(0.0, 0.192)$, $(0.15, 0.24)$ $S_d(T)=0.288 \cdot [2/3+T/0.15 \cdot (2.5/3.0-2/3)]=0.192+0.32T$

$0.15 \leq T < 0.50$: καμπύλη $S_d(T)=0.24$ σταθερό σε όλο το εύρος

$0.50 \leq T < 2.50$: καμπύλη $S_d(T)=\max(\gamma_I^* a_{gR}^* S^* \cdot 2.5/q [T_C/T], \beta^* \gamma_I^* a_{gR}^*)=\max(0.24 \cdot 0.50/T, 0.048)$ το σημείο καμπής στο $T=2.5 \rightarrow$ δεν υπάρχει ευθύγραμμο τμήμα

$2.50 \leq T < 4.0$: καμπύλη $S_d(T)=\max(\max(\gamma_I^* a_{gR}^* S^* \cdot 2.5/q [T_C T_D/T^2], \beta^* \gamma_I^* a_{gR}^*)=\max(0.24 \cdot 1.25/T^2, 0.048)$

Το σημείο καμπής στο $T=2.5 \rightarrow$ άρα όλο το τμήμα ευθεία στο 0.048

Για $q=1.5$ έχουμε $2.5/q=2.5/1.5=25/15=0.8333333333333333$

$0 \leq T < 0.15$: $S_d(0)=0.288 \cdot 2/3=0.192$, $S_d(0.15)=0.288 \cdot 1.666666666666667=0.48$ και επομένως η ευθεία που ενώνει τα 2 σημεία $(0.0, 0.192)$, $(0.15, 0.48)$ $S_d(T)=0.288 \cdot [2/3+T/0.15 \cdot (2.5/1.5-2/3)]=0.192+1.92T$

$0.15 \leq T < 0.50$: καμπύλη $S_d(T)=0.48$ σταθερό σε όλο το εύρος

$0.50 \leq T < 2.50$: καμπύλη $S_d(T)=\max(\gamma_I^* a_{gR}^* S^* \cdot 2.5/q [T_C/T], \beta^* \gamma_I^* a_{gR}^*)=\max(0.48 \cdot 0.50/T, 0.048)$ το σημείο καμπής στο $T=5.0$, δηλαδή δεν υπάρχει ευθύγραμμο τμήμα

$2.50 \leq T < 4.0$: καμπύλη $S_d(T)=\max(\max(\gamma_I^* a_{gR}^* S^* \cdot 2.5/q [T_C T_D/T^2], \beta^* \gamma_I^* a_{gR}^*)=\max(0.48 \cdot 1.25/T^2, 0.048)$

Το σημείο καμπής στο $T=3.54 \rightarrow$ άρα το τμήμα από $T=3.54$ έως $T=4.0$ ευθεία στο 0.048