

Η φιλοσοφία του αντισεισμικού σχεδιασμού και το θεμελιώδες ερώτημα κατά την έναρξη της αντισεισμικής μελέτης

Ι. ΑΒΡΑΜΙΔΗΣ

Εργαστήριο Στατικής και Δυναμικής των Κατασκευών, Τμήμα Πολ. Μηχ., Α.Π.Θ.



Πλάσσιμη
κατάρρευση!

Σύνοψη της πορείας της ομιλίας

- Δυνητική αποδοχή (με συντεταγμένο τρόπο) βλαβών υπό τον σεισμό σχεδιασμού.
- Τί σημαίνει υπολογιστικά αποδοχή βλαβών;
 - Ελαστική ανάλυση του φ/ο όχι για ολόκληρο τον σεισμό σχεδιασμού, αλλά για ένα μόνο μέρος του, με παράλληλη απομείωση της δυσκαμψίας του.
- Πώς παραλαμβάνεται το υπόλοιπο μέρος του σεισμού;
 - Κατανάλωση σεισμικής ενέργειας μέσω ελεγχόμενων πλαστικοποιήσεων (=βλαβών).
- Ποιό επίπεδο βλαβών (μέγεθος, είδος) είμαστε διατιθειμένοι να υποστούμε και με ποιόν τρόπο το επιτυγχάνουμε αυτό;
 - Αυτό είναι το **θεμελιώδες ερώτημα** κατά την έναρξη της αντισεισμικής μελέτης μιας κατασκευής.
- Ποιές οι συνέπειες από την επιλεγείσα απάντηση στο θεμελιώδες ερώτημα;
 - Κόστος κατασκευής, συμπεριφορά κατασκευής κ.ά..
- Πρόταση - Σύσταση

Υποκείμενες διαπιστώσεις και εκτιμήσεις σχετικά με την ιδιαιτερότητα της σεισμικής δράσης:

- μικρή πιθανότητα εκδήλωσης υψηλών εντάσεων - μεγάλη διασπορά υψηλών εντάσεων
- πολυάριθμοι πιθανοτικού χαρακτήρα συντελεστές που καθορίζουν την σεισμική απόκριση των κατασκευών :
 - άγνωστη η ένταση της διέγερσης
 - άγνωστη η διεύθυνση της διέγερσης
 - άγνωστο το συχνοτικό περιεχόμενο της διέγερσης
 - άγνωστη η διάρκεια της διέγερσης ('εισερχόμενη' ενέργεια)

=> σεισμός = επιπόνηση τυχηματικού χαρακτήρα
(πιθανολογικός καθορισμός σεισμικής επικινδυνότητας, δηλ. του **σεισμού σχεδιασμού**)

=> καταστρεπτικός σεισμός = σπάνια επιπόνηση μικρού ποσοστού
των κτιρίων μιας χώρας

Συμπεράσματα και ισχύουσες επιλογές :

1. Η κατασκευή σεισμικώς **άτρωτων κτιρίων** (καθόλου βλάβες) είναι **ανέφικτη**. (= **απόλυτη** αντισεισμική προστασία)
2. Η κατασκευή **όλων** των κτιρίων μιας χώρας έτσι ώστε να μην υποστούν **καμία βλάβη υπό τον σεισμό σχεδιασμού** θεωρείται ως **οικονομικά επαχθής**. (= **πλήρης** αντισεισμική προστασία)
3. Ο συγκερασμός οικονομίας και ηθικής (προστασία ανθρώπινης ζωής) οδηγεί σε μια **διαβαθμισμένη αποδοχή βλαβών** υπό τον σεισμό σχεδιασμού. (= **μερική** αντισεισμική προστασία)

Κατασκευές **υψηλού** κινδύνου – Κατασκευές **κανονικού** κινδύνου
(ειδικές κατασκευές) (συνήθεις, συμβατικές κατασκευές)

→ Κλιμάκωση της αντισεισμικής ασφάλειας σε 2 επίπεδα :

- **Κατασκευές υψηλού κινδύνου**

Η ενδεχόμενη βλάβη έχει βαριές συνέπειες σε ευρύτερη περιοχή (π.χ. πυρηνικά ή χημικά εργοστάσια)

=> **Βλάβες μη αποδεκτές**

Απαίτηση πλήρως ελαστικής συμπεριφοράς, δηλαδή **πλήρης αντισεισμική προστασία**

=> Ειδικοί κανονισμοί

- **Κατασκευές κανονικού κινδύνου**

Η ενδεχόμενη βλάβη περιορίζεται στο ίδιο το έργο και την άμεση γειτονία του.

=> **Βλάβες αποδεκτές**

Αποδοχή **χαμηλότερου** επιπέδου, δηλαδή **μερική αντισεισμική προστασία**

=> ΕΑΚ, ΕΚ8 και άλλοι σύγχρονοι κανονισμοί

Ισχύουσα Φιλοσοφία Αντισεισμικού Σχεδιασμού για συνήθη κτίρια κανονικού κινδύνου

ΕΛΑΧΙΣΤΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (ΕΑΚ, ΕΚ8)

- Μικρής έντασης σεισμοί → χωρίς βλάβες (κατασκευή ελαστική!)
- Μέσης έντασης σεισμοί → αποδεκτές βλάβες μόνο σε μη φέροντα δομικά στοιχεία (π.χ. τοιχοποιίες)
- Μεγάλης έντασης σεισμοί (Σεισμός σχεδιασμού)
10% πιθανότητα υπέρβασης στα 50 έτη → αποδεκτές βλάβες και στον φ/ο, αλλά αποκλεισμός κατάρρευσης !
ΕΑΚ: πιθανότητα κατάρρευσης επαρκώς μικρή !

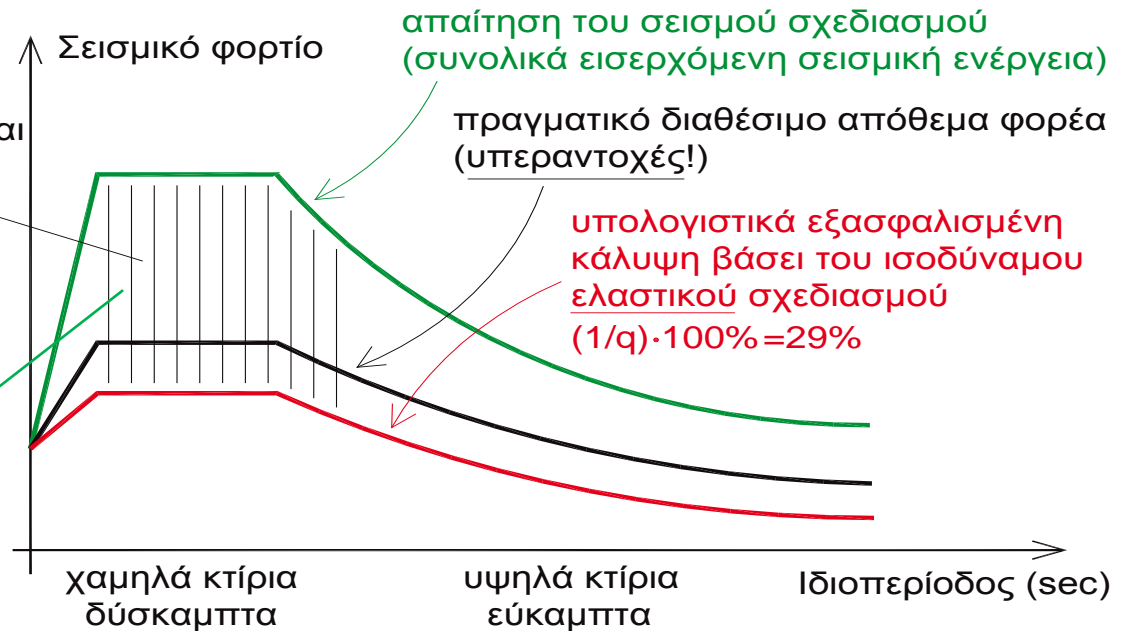
Αποδοχή βλαβών → Πολύ μεγάλο μέρος της σεισμικής ενέργειας **καταναλώνεται** μέσω των πλαστικοποιήσεων βάσει της **διαθέσιμης πλαστιμότητας** της κατασκευής.

→ **Ελαστικός** υπολογισμός του φ/ο για σεισμικά φορτία **μειωμένα κατά α** (συντελεστής μείωσης σεισμικών φορτίων ή **συντελεστής συμπεριφοράς**).

Ισχύουσα Φιλοσοφία Αντισεισμικού Σχεδιασμού

π.χ. ΕΑΚ-2000

Ενέργεια που καταναλώνεται
μέσω πλαστικοποιήσεων
 $(1-1/q) \cdot 100\% = 71\%$
[για $q=3.5$]



«Εξωλογιστική» κάλυψη πλαστικοποιήσεων (=βλαβών)

- α. Μέτρα μεγιστοποίησης της διασποράς της σεισμικής ενέργειας (π.χ. κανονικότητα φ/ο)
- β. Μέτρα μη κατάρρευσης (ικανοτικός σχεδιασμός, ιεράρχηση αντοχών/πλαστιμοτήτων)
- γ. Μέτρα μεγιστοποίησης της κατανάλωσης σεισμικής ενέργειας (τοπική πλαστιμότητα)

(Δηλαδή: Γίνεται **εκμετάλλευση της διαθέσιμης πλαστιμότητας** του φ/ο)

Υπολογιστική υλοποίηση (Ανάλυση του φ/o):

Λόγω των πλαστικοποιήσεων \rightarrow “Κανονικά” απαιτείται η χρήση μη γραμμικών (ανελαστικών) μεθόδων ανάλυσης του φ/o .

Όμως: Αβεβαιότητες & υπερβολική απαίτηση για συνήθεις κατασκευές.

Γι' αυτό απλούστευση:

- Αποδοχή πλαστικοποιήσεων (=βλαβών), μέσω των οποίων καταναλώνεται το μεγαλύτερο μέρος της σεισμικής ενέργειας **χωρίς αναλυτική υπολογιστική κάλυψη**.
- Η υπόλοιπη ($1/q$) παραλαμβάνεται **ελαστικά** από τον **μειωμένης** δυσκαμψίας (λόγω των πλαστικοποιήσεων/ρηγματώσεων) φ/o .

\rightarrow **«Ισοδύναμη» ελαστική ανάλυση ενός επιπέδου**

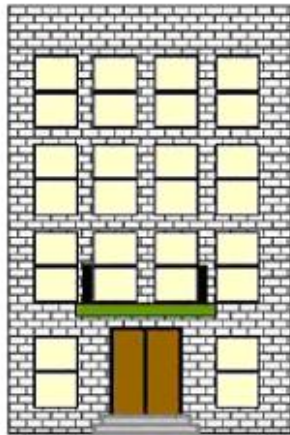
(ελαστικός υπολογισμός του φ/o με μειωμένες δυσκαμψίες για μειωμένα σεισμικά φορτία)

$$q \leq \max q$$

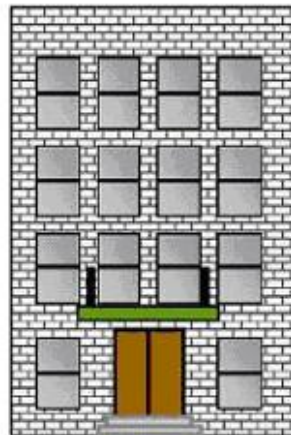
Το $\max q$ καθορίζεται από τους κανονισμούς και αντιστοιχεί στο **κατ' ελάχιστον** επιτρεπτό επίπεδο αντισεισμικής ασφάλειας (επιτελεστικότητας).

ΕΑΚ
ΕΚ8

Στόχοι σχεδιασμού Επίπεδα επίδοσης (επιτελεστικότητας) κτιρίου			
Operational (Σχεδόν) μηδενικές βλάβες	Immediate Occupancy Πολυ περιορισμένες βλάβες	Life Safety Σημαντικές βλάβες στον φ/ο	Collapse prevention Εκτεταμένες σοβαρές βλάβες



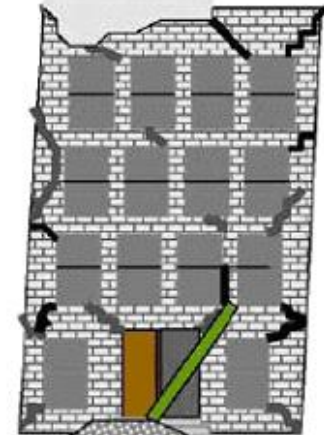
Operational



Immediate Occupancy



Life Safety



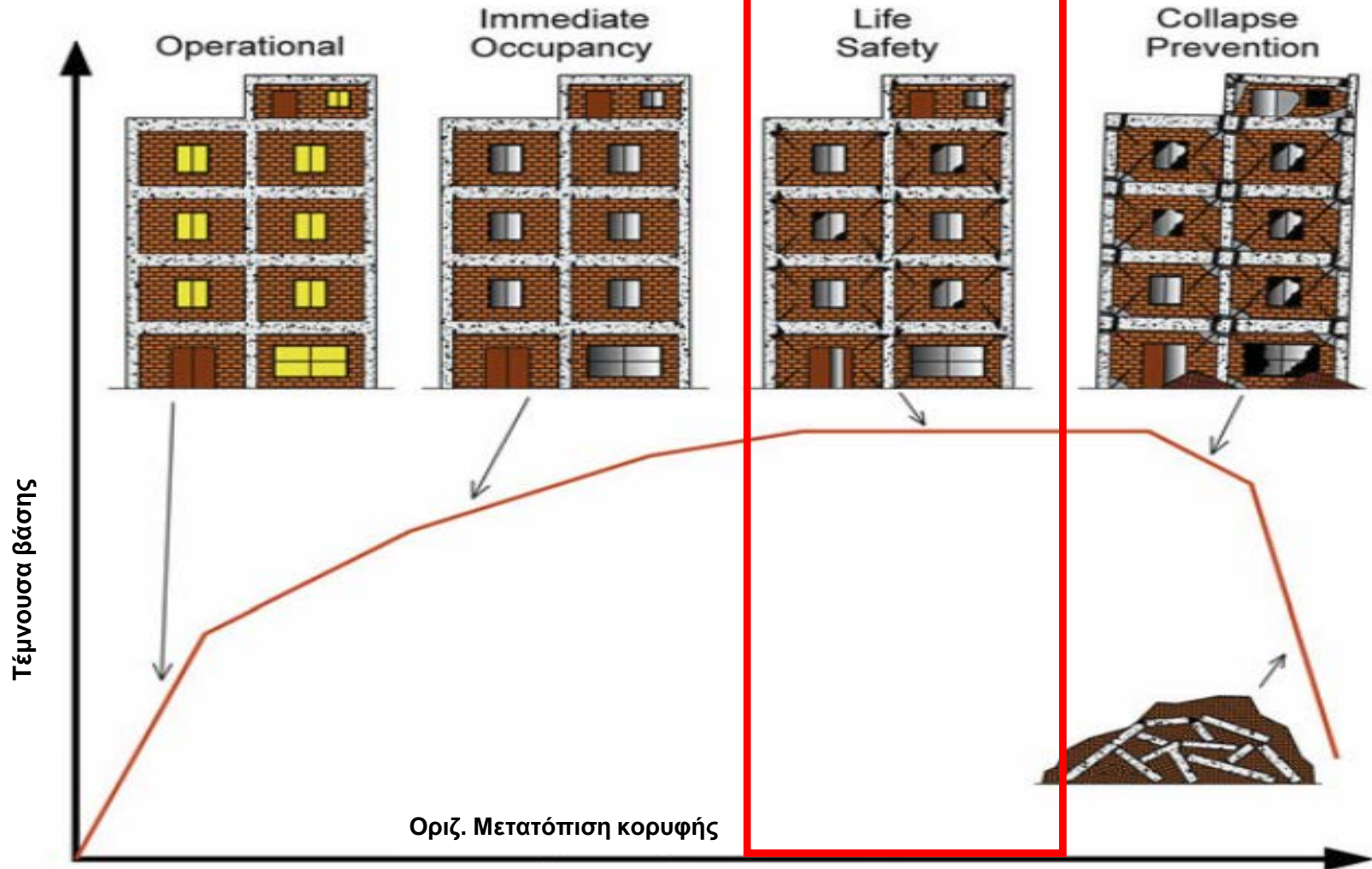
Collapse Prevention

ΚΑΝΕΠΕ: Στάθμες επιτελεστικότητας του φ/ο		
Άμεση χρήση μετά τον σεισμό (καθόλου ή τριχοειδείς μόνο ρωγμές στον φ/ο)	Προστασία ζωής (έως σημαντικές/εκτεταμένες, αλλά επισκευάσιμες βλάβες στον φ/ο)	Αποφυγή οιονεί κατάρρευσης (μη επισκευάσιμες βλάβες, διατήρηση οριακής φέρουσας ικανότητας για κατακόρυφα φορτία)

Στόχοι σχεδιασμού Επίπεδα επίδοσης (επιτελεστικότητας) κτιρίου

EAK
EK8

(Σχεδόν) μηδενικές βλάβες	Πολυ περιορισμένες βλάβες	Σημαντικές βλάβες στον φ/ο	Εκτεταμένες σοβαρές βλάβες
---------------------------	---------------------------	----------------------------	----------------------------



ΠΡΟΣΟΧΗ: Η πλαστιμότητα δεν αρκεί.
Απαιτείται επαρκής δυσκαμψία & επαρκής αντοχή.



Σύνοψη των προηγούμενων

- Δυνητική αποδοχή (με συντεταγμένο τρόπο) βλαβών υπό τον σεισμό σχεδιασμού.
- Τί συνεπάγεται υπολογιστικά η αποδοχή βλαβών;
 - Ελαστική ανάλυση της κατασκευής όχι για ολόκληρο τον σεισμό σχεδιασμού, αλλά για ένα μόνο μέρος του, δηλ. μείωση σεισμικών φορτίων διαιρώντας τα δια του **q**.
- Πώς παραλαμβάνεται το υπόλοιπο μέρος του σεισμού;
 - Με εκμετάλλευση της διαθέσιμης πλαστιμότητας της κατασκευής, δηλ. με την κατανάλωση σεισμικής ενέργειας μέσω ελεγχόμενων πλαστικοποιήσεων.

Απομένει να συζητήσουμε:

- Ποιό επίπεδο βλαβών είμαστε διατιθειμένοι να υποστούμε;

Δηλαδή: Σε ποιό βαθμό θα εκμεταλλευτούμε τη διαθέσιμη πλαστιμότητα προς κατανάλωση της εισερχόμενης σεισμικής ενέργειας;

(Αυτό είναι το **θεμελιώδες ερώτημα** κατά την έναρξη της αντισεισμικής μελέτης)

Δηλαδή πρακτικά: Ποιά τιμή θα επιλέξουμε για το **q**;

Υπενθύμιση: (1) Προσδιορισμός της ανώτατης επιτρεπτής τιμής **maxq** από τους κανονισμούς
(Ελάχιστο επιτρεπτό επίπεδο επιτελεστικότητας: Προστασία ζωής)

(2) Επιλογή της τιμής του **q** \leq **maxq** από τον κύριο του έργου

(**ΟΧΙ** αυτενέργεια μελετητή!)

- Ποιές οι συνέπειες από την επιλεγείσα απάντηση στο θεμελιώδες ερώτημα;

Υπενθύμιση για τους «παλιούς»:
Η ιδέα μιας κλιμακούμενης επιτελεστικότητας
ήδη υπήρχε εν σπέρματι στον ΕΑΚ-2000.

Η τιμή $q_{max}=3.5$ για Ο/Σ δεν είναι υποχρεωτική.

Στον ΕΑΚ-2000 δίνονται οι μέγιστες τιμές q_{max} του συντελεστή συμπεριφοράς.
(→ 'Μερική αντισεισμική προστασία')

- ΕΑΚ-2000, παράγρ. 4.1.4 [5] :

Αν επιλεγεί $q \leq 1.5$ ή $q \leq q_{max}/2$ (→ 'Μερική αντισεισμική προστασία')

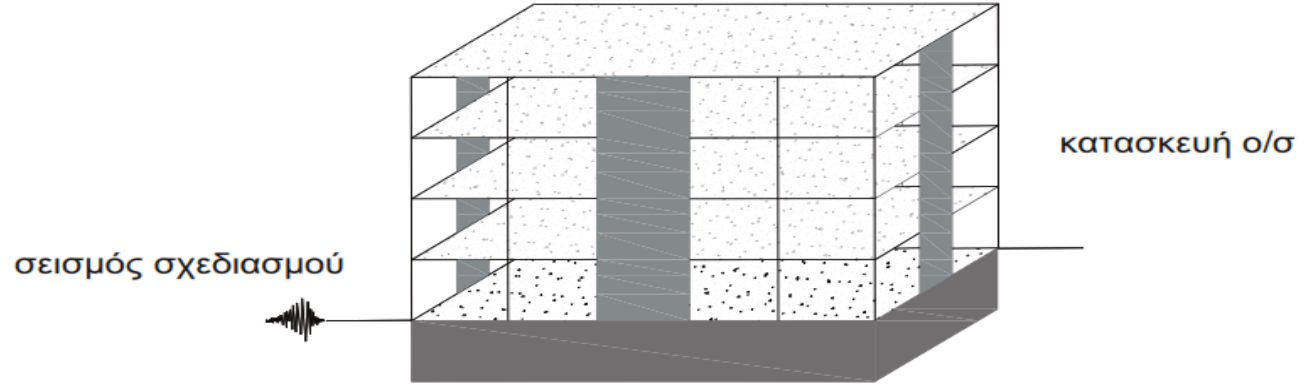
→ Δεν απαιτούνται έλεγχοι εξασφάλισης
αξιόπιστου ελαστοπλαστικού μηχανισμού

- ΕΑΚ-2000, παράγρ. 2.3.5 [3] :

Σε περίπτωση επιθυμητής **ελαστικής** συμπεριφοράς λαμβάνεται $q=1$.
(→ 'Πλήρης αντισεισμική προστασία')

Θεμελιώδες ερώτημα κατά την έναρξη της αντισεισμικής μελέτης:

Σχεδιασμός χωρίς ή με εκμετάλλευση της διαθέσιμης πλαστιμότητας;
Και αν με, σε ποιο βαθμό;



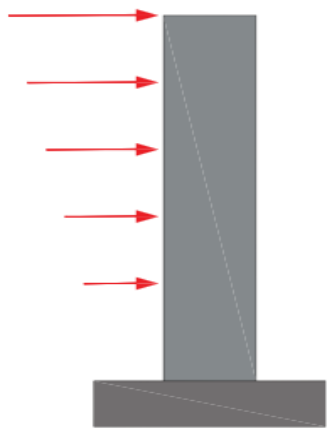
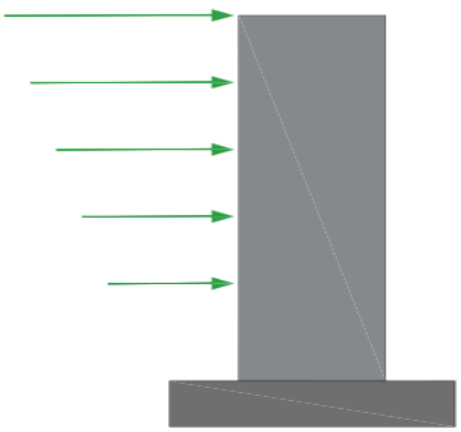
Σχεδιασμός

χωρίς εκμετάλλευση της πλαστιμότητας

με εκμετάλλευση της πλαστιμότητας

→ μικρό $q_{\text{απαιτ}}$, δηλαδή μικρή απομείωση του σεισμού σχεδιασμού

→ μεγάλο $q_{\text{απαιτ}}$, δηλαδή μεγάλη απομείωση του σεισμού σχεδιασμού



→ Δεν απαιτείται

→ Απαιτείται

υπολογιστική εξασφάλιση πλαστιμότητας,

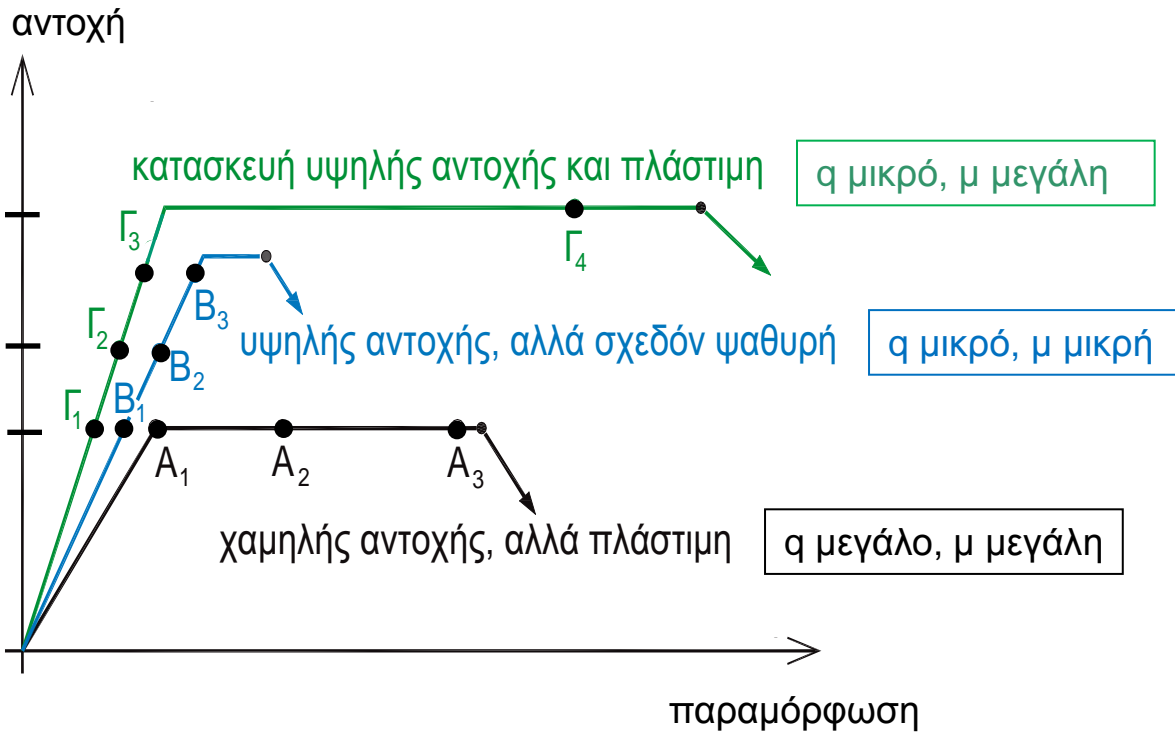
είναι όμως ευκατάρη η προικοδότηση του φ/ο με υψηλό επίπεδο πλαστιμότητας
 → κατασκευή **υψηλής σεισμικής επίδοσης**

έτσι ώστε η διαθέσιμη ($q_{\text{διαθ}}$) να είναι τουλάχιστον ίση με την απαιτούμενη
 → κατασκευή **χαμηλής σεισμικής επίδοσης**

Μεγαλύτερη δυσκαμψία - Μεγαλύτερη αντοχή
 → **μικρότερες βλάβες** υπό το σεισμό σχεδιασμού

Μικρότερη δυσκαμψία - Μικρότερη αντοχή
 → **μεγαλύτερες βλάβες** υπό το σεισμό σχεδιασμού

Συνέπειες της επιλογής του επιπέδου επιτελεστικότητας



Απόκριση σε σεισμούς			
1 μικρής έντασης (συχνοί)	2 μέσης έντασης (περιστασιακοί)	3 μεγάλης έντασης (σπάνιοι) [σεισμός σχεδιασμού]	4 πολύ υψηλής έντασης (πολύ σπάνιοι) [$>$ σεισμού σχεδιασμού]
A1 χωρίς διαρροές (βλάβες)	A2 με μικρές διαρροές (βλάβες)	A3 με μεγάλες διαρροές (βλάβες)	---
→ Ο σεισμός παραλαμβάνεται <u>με</u> εκμετάλλευση της διαθέσιμης πλαστιμότητας			Αστοχία
B1 χωρίς διαρροές (βλάβες)	B2 χωρίς διαρροές (βλάβες)	B3 χωρίς διαρροές (βλάβες)	---
→ Ο σεισμός παραλαμβάνεται <u>χωρίς</u> εκμετάλλευση της (ούτως ή άλλως αμελητέας) διαθέσιμης πλαστιμότητας			Αστοχία
Γ1 χωρίς διαρροές (βλάβες)	Γ2 χωρίς διαρροές (βλάβες)	Γ3 χωρίς διαρροές (βλάβες)	Γ4 με μικρές=μεγάλες βλάβες
→ ο σεισμός παραλαμβάνεται <u>χωρίς</u> εκμετάλλευση της διαθέσιμης πλαστιμότητας			
			<u>με</u> εκμετάλλευση της διαθέσιμης πλαστιμότητας

Περί του πρακτέου

Καθορισμός (επιλογή) σε συμφωνία με τον κύριο του έργου
του επιπέδου αντισεισμικής επίδοσης (επιτελεστικότητας)
για το οποίο θα μελετηθεί η κατασκευή.

Πρακτικά : Επιλογή του $q \leq \max q$
για το οποίο θα μελετηθεί η κατασκευή

Πώς επηρεάζει η τιμή του q το κόστος κατασκευής ;

(Οικονομικές συνέπειες της επιλεγείσας απάντησης στο θεμελιώδες ερώτημα;)

Ποσοστιαία αύξηση συνολικού κόστους κτιρίων Ο/Σ
έναντι υπολογισμού για $q=3.5$ (ΕΑΚ-2000)

Νέος Χάρτης		$q=1.5$	$q=1$
	Z.Σ.Ε. I 0.12g	2.5 – 3.5 %	3.0 – 7.0 %
Z.Σ.Ε. I	Z.Σ.Ε. II 0.16g	4.0 – 5.5 %	5.0 – 8.5 %
Z.Σ.Ε. II	Z.Σ.Ε. III 0.24g	11.0 – 14.0 %	14.5 – 18.5 %
Z.Σ.Ε. III	Z.Σ.Ε. IV 0.36g	≤ 15.0 %	≤ 22.0 %

→ Δεν στέκει η άποψη περί πολλαπλάσιου κόστους αντισεισμικών κατασκευών που μελετώνται για (σχεδόν) ελαστική συμπεριφορά (μικρό q) υπό τον σεισμό σχεδιασμού.

Πρόταση - Σύσταση

για πλήρη ή σχεδόν πλήρη αντισεισμική προστασία ($q \leq 1.75$)

Οι κατασκευές να μελετώνται για ελαστική ή σχεδόν ελαστική συμπεριφορά υπό τον σεισμό σχεδιασμού

(δηλ. επιλογή $q \leq 1.75$),

εκτός αν ρητά και εγγράφως ο ιδιοκτήτης ζητήσει χαμηλότερη στάθμη αντισεισμικής προστασίας (δηλ. μεγαλύτερο q).

(Υψηλή επιτελεστικότητα επιτυγχάνεται κυρίως με τοποθέτηση ισχυρών τοιχωμάτων)

Ταυτόχρονα να εξασφαλίζεται σε κάθε περίπτωση υψηλό επίπεδο διαθέσιμης πλαστιμότητας του φ/o .

Διότι: με την πλήρη ή σχεδόν πλήρη αντισεισμική προστασία ($q \leq 1.75$)

ικανοποιείται το κοινωνικό αίτημα αποφυγής θυμάτων και οικονομικά δυσβάστακτων ζημιών τόσο σε ατομικό όσο και σε συλλογικό επίπεδο.



**Τίτλος άρθρου σε
εφημερίδα του έτους
1978**



Μόνο ο αγιασμός δεν μπορεί να μας σώσει

Βιβλιογραφία

Το υλικό των διαφανειών αντλήθηκε από τα εξής συγγράμματα:

Αβραμίδης Ι. Ε., Αθανατοπούλου Α., Μορφίδης Κ., Σέξτος Α.

"Αντισεισμικός σχεδιασμός κτιρίων Ο/Σ και Αριθμητικά παραδείγματα ανάλυσης & διαστασιολόγησης σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες"

Εκδ.: Αυτοέκδοση των συγγραφέων, ISBN 978-960-6706-00-4, Θεσσαλονίκη, 2011.

Avramidis, I., Athanatopoulou, A., Morfidis, K., Sextos, A., Giaralis, A.

"Eurocode-Compliant Seismic Analysis and Design of R/C Buildings - Concepts, Commentary and Worked Examples with Flowcharts" .

SPRINGER, Series: Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering, Vol. 38, Hardcover ISBN 978-3-319-25269-8, Series ISSN 1573-6059; eBook ISBN 978-3-319-25270-4; DOI 10.1007/978-3-319-25270-4), Jan. 2016.