

Βάσεις Σχεδιασμού σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 0 και 2 (EN1990 – EN1992)

Ιωάννης Β. Κωνσταντόπουλος, ScD (MIT)

Ioannis.Constantopoulos@ulb.ac.be

Τί είναι;

- Ο Ευρωκώδικας 0 υλοποιεί σύγχρονη φιλοσοφία σχεδιασμού και αποτελεί τη **βάση** για τους άλλους Ευροκώδικες
- Είναι ανεξάρτητος υλικού

Πολύ παλιά...σχεδίασαν με ιδιοφυΐα και πείρα



...και τα έργα
τους επέζησαν
ακόμη και
εκρήξεις!



Άλλες φορές όμως έχασαν τη λειτουργικότητα...



Ακόμη και σήμερα...έχουμε καταστροφές σε προηγμένες χώρες



Σκοπός μίας Κατασκευής

Η κύρια αποστολή μιας σταθερής κατασκευής, μιας μηχανής, ή ενός στοιχείου τους είναι, συνήθως, ν'αντισταθούν στις εξωτερικές δυνάμεις, δηλαδή τα **φορτία**, που τούς επιβάλλονται

Τί θέλουμε από μία Κατασκευή ;

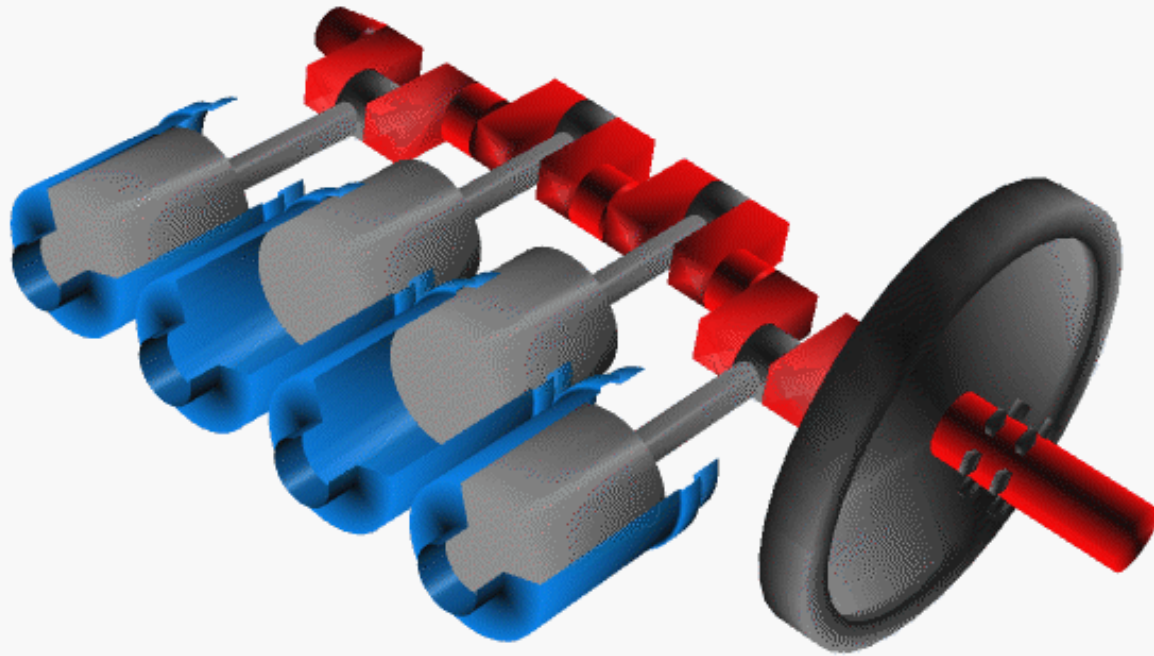
- Να εκπληρώνει την Λειτουργία της χωρίς Αστοχία
- Υπό Ορισμένες Συνθήκες

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

- ύπαρξη του συστήματος (π.χ. οροφή, φράγμα, πτέρυγα αεροσκάφους), ή
- κίνηση που αποδίδει όφελος (π.χ. κινούμενα μέρη μηχανής πρόωσης)

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ: ύπαρξη





ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ: κίνηση

ΑΣΤΟΧΙΑ

Συστήματος ή Στοιχείου του

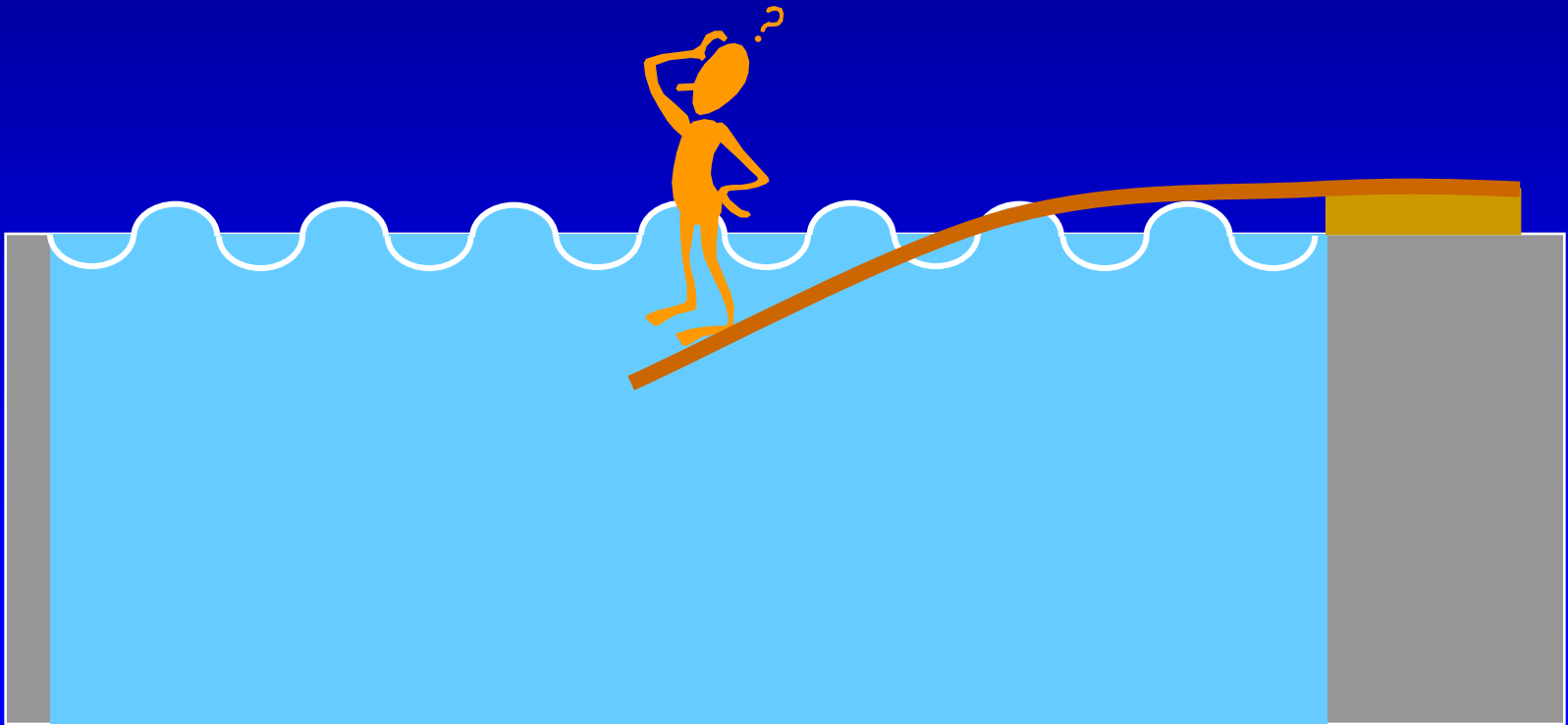
Κάθε συμπεριφορά του Συστήματος
ή Στοιχείου του που συνεπάγεται
ότι παύει να εκπληρώνει τη
προβλεπόμενη λειτουργία του

ΑΣΤΟΧΙΑ

Συστήματος ή Στοιχείου του

- Λέξη-κλειδί: **προβλεπομένη** λειτουργία
- Επομένως, με τον όρο **αστοχία** δεν εννοούμε κατ'ανάγκη τη θραύση του, δηλαδή τη λύση της συνεχείας του υλικού (**παράδειγμα**...ηλεκτρικές ασφάλειες, λειτουργία η τήξη τους!)

Αστοχία χωρίς Θραύση ή Πλαστικές Παραμορφώσεις

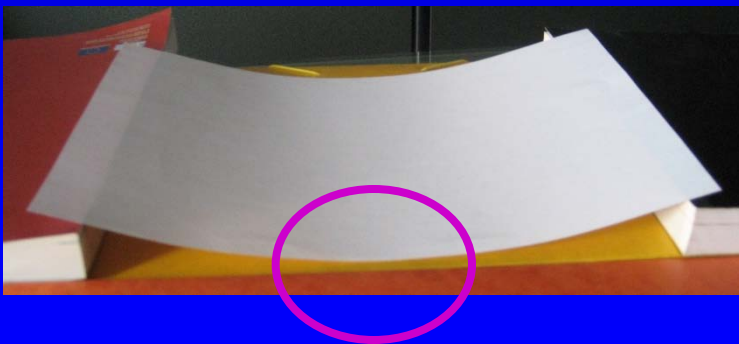


Σχεδιασμός: Τί θέλουμε;

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος και η ανάλυση της συμπεριφοράς του αποσκοπούν στον προσδιορισμό της κατάλληλης γεωμετρίας και του υλικού έτσι ώστε να εκπληρώσει την Λειτουργία του χωρίς Αστοχία

Σχεδιασμός

- Επιλογή **υλικού**: συνήθως μονόδρομος
- Προσδιορισμός **γεωμετρίας**: η συνηθέστερη διαδικασία σχεδιασμού (ΠΜ, ΗΜ, ΜΜ, ΧΜ)



Ορισμένες Συνθήκες ;

- Να εκπληρώνει την Λειτουργία της χωρίς Αστοχία
- Υπό Ορισμένες Συνθήκες δηλαδή τα **φορτία**

Φορτία: Πού τα βρίσκουμε

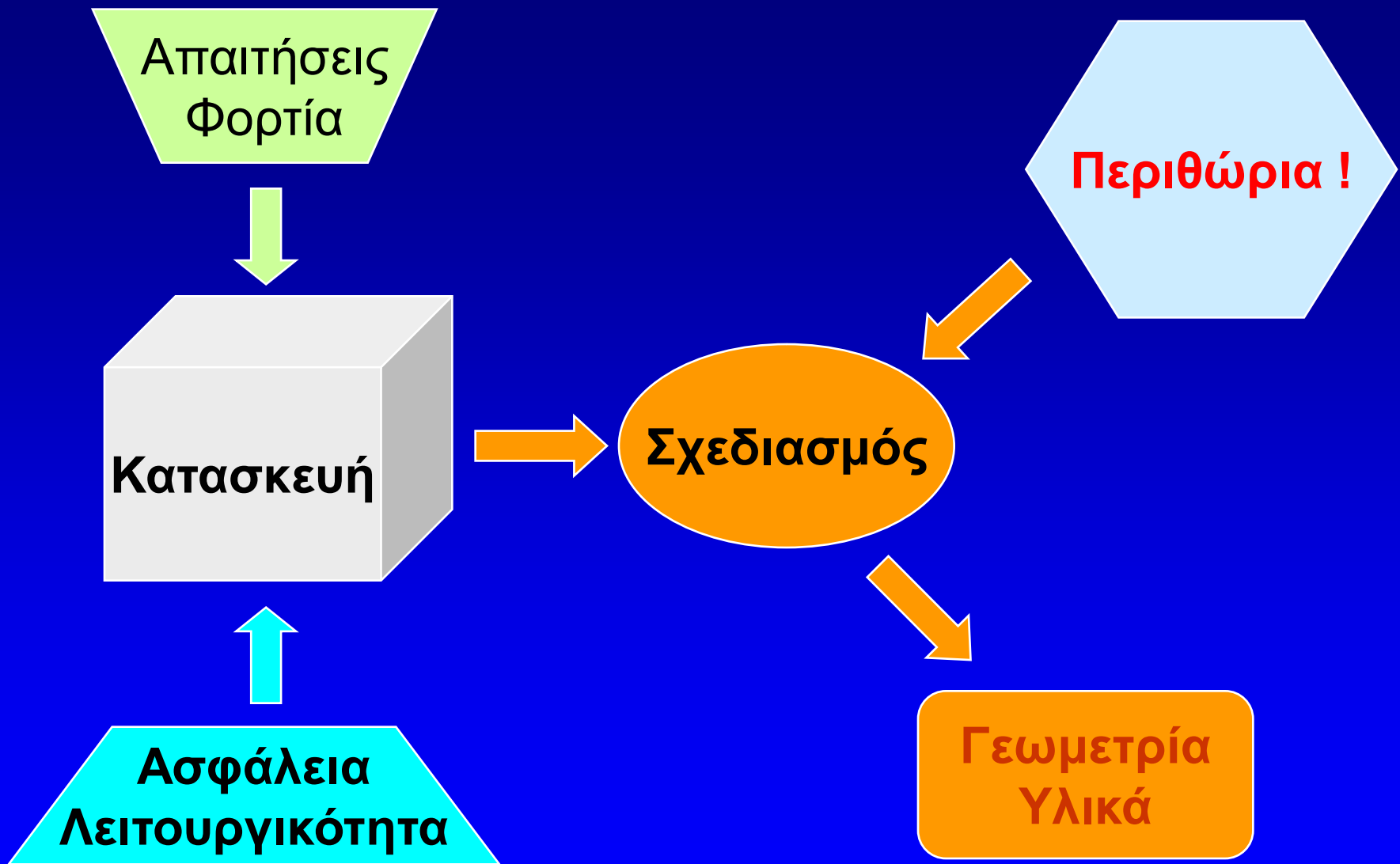
- Κανονισμοί (EN1991)
- Σε ειδικές περιπτώσεις τα προσδιορίζουμε εμείς με *ad hoc* μετρήσεις

ΑΣΤΟΧΙΑ

Συστήματος ή Στοιχείου του

Η αστοχία περιλαμβάνει δύο έννοιες:

- **Ασφάλεια** που συνήθως αντιστοιχεί σε τάσεις και αντοχή
- **Λειτουργικότητα** που συνήθως αντιστοιχεί σε παραμορφώσεις



Συνειδητοποιήσαμε ότι χρειαζόμαστε
Περιθώρια στο σχεδιασμό και
διαστασιολόγηση των κατασκευών
για να εξασφαλιστεί η **Αντοχή** και
Λειτουργικότητά τους

Γιατί Περιθώρια;

Απαιτήσεις
Φορτία



Ακρίβεια
Υπολογισμών



Αβεβαιότητες !

Ιδιότητες
Υλικών



Γεωμετρία
Ακρίβεια
Κατασκευής



Αντιμετώπιση Αβεβαιοτήτων

1. Συντελεστής Ασφαλείας
2. Μέθοδος Μερικών Συντελεστών
Load and Resistance Factor Design
(LRFD) ή Οριακής Αντοχής
3. Πιθανότητα Αστοχίας
4. Οριο Κινδύνου

Παλιά...Συντελεστής Ασφαλείας



Συντελεστής
Ασφαλείας

Μηχανικός
από τα παλιά

Παλιά...Συντελεστής Ασφαλείας

$$\text{Συντελεστής Ασφαλείας} = \frac{\text{Οριακή Τάση (π.χ. Θραύση, διαρροή)}}{\text{Μεγίστη Τάση Υπολογισμού}}$$

Ο Συντελεστής Ασφαλείας περίπου ίδιος
για «ξερά» και «χλωρά»
δηλαδή ποσότητες με μικρή αβεβαιότητα και άλλες με
μεγάλη και έμμεση θεώρηση της διάρκειας ζωής του
έργου

Συντελεστής Ασφαλείας

- Απλότητα
- Μακρά εμπειρία
- Επιβαρύνει εξίσου ποσότητες που γνωρίζουμε καλά (π.χ. Βάρος) και εκείνες που έχουν αξιόλογη αβεβαιότητα (π.χ. ανεμοπίεση)

Σχετικά πρόσφατα...



Αντιμετωπίζουμε τις κατασκευές με ενιαία φιλοσοφία και απαιτήσεις σχεδιασμού ανεξαρτήτως υλικού

Πυρηνικά - Πλατφόρμες

Ρητή θεώρηση διαφορετικής
συμπεριφοράς για συγκεκριμένες
φορτίσεις
OBE - SSE

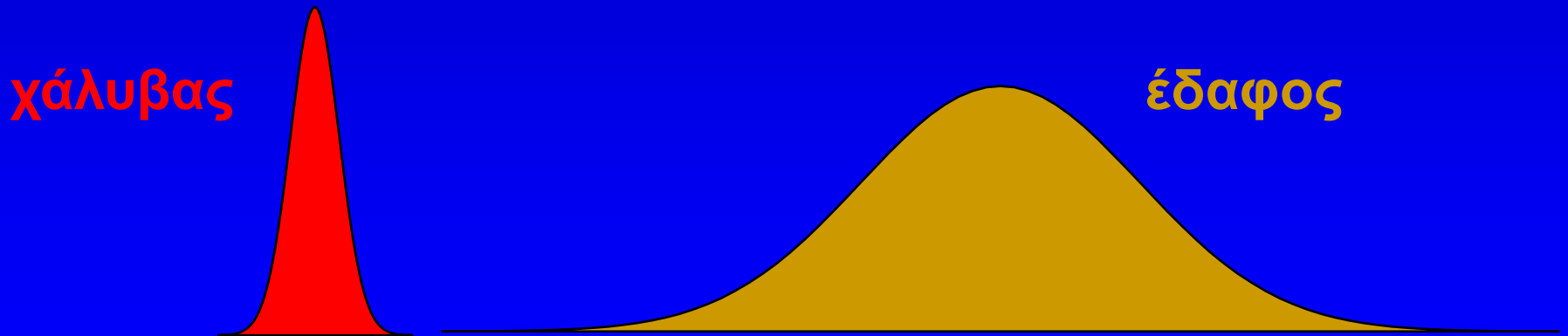
Μέθοδος Μερικών Συντελεστών Load and Resistance Factor Design (LRFD)

Διαφορετική αβεβαιότητα για κάθε κατηγορία φορτίου



Μέθοδος Μερικών Συντελεστών Load and Resistance Factor Design (LRFD)

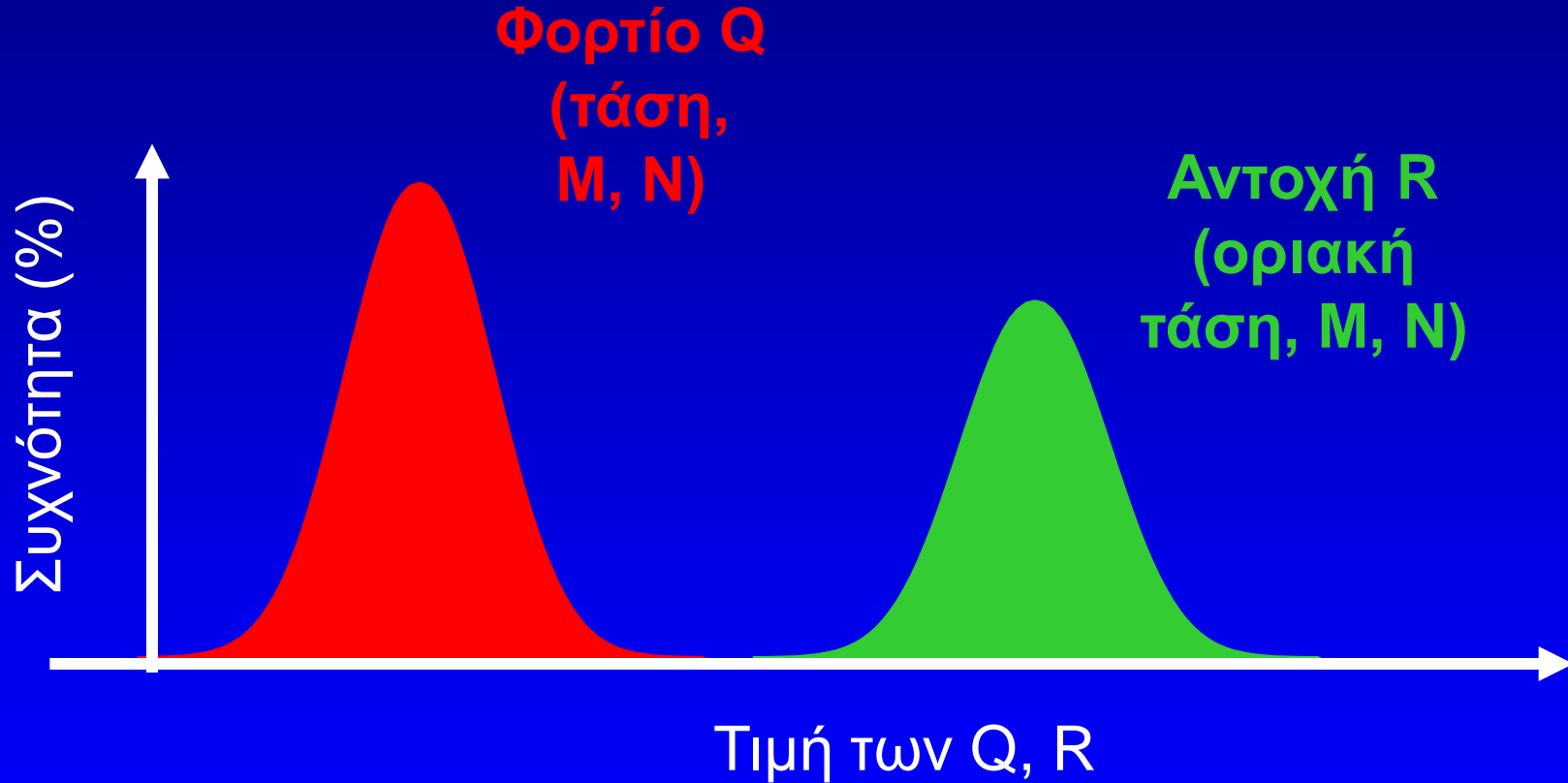
Διαφορετική αβεβαιότητα για ιδιότητες κάθε υλικού



Μέθοδος Μερικών Συντελεστών Load and Resistance Factor Design (LRFD)

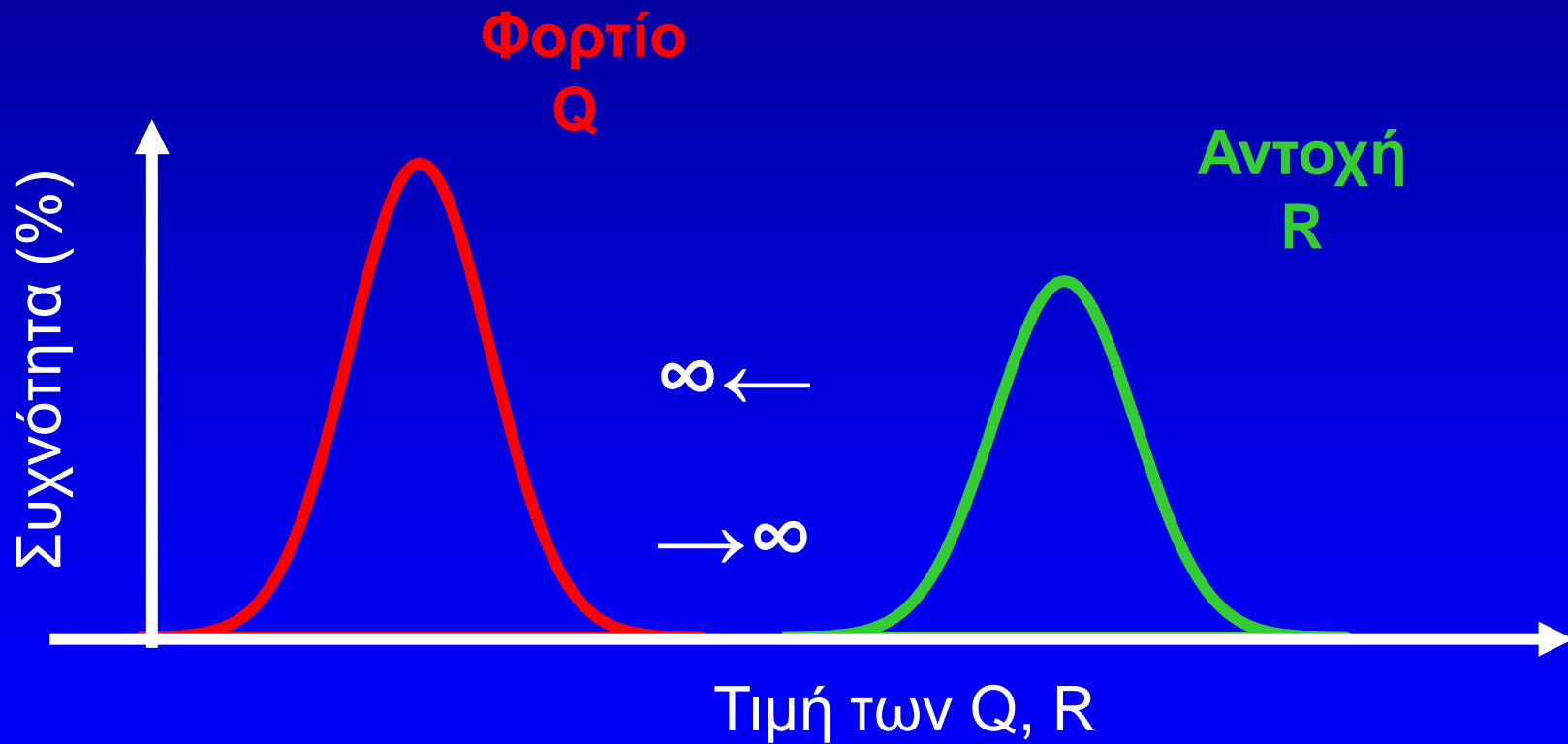
- Συνήθως εσωτερικές δυνάμεις (π.χ. M) αντί τάσεις
- Διαφορετικοί Συντελεστές για
 - κάθε κατηγορία φορτίου (π.χ. βάρος, δυναμικό, κινητό)
 - κάθε τύπο υλικού (π.χ. χάλυβας, σκυρόδεμα, έδαφος)

Πιθανότητα Αστοχίας – Κατανομές

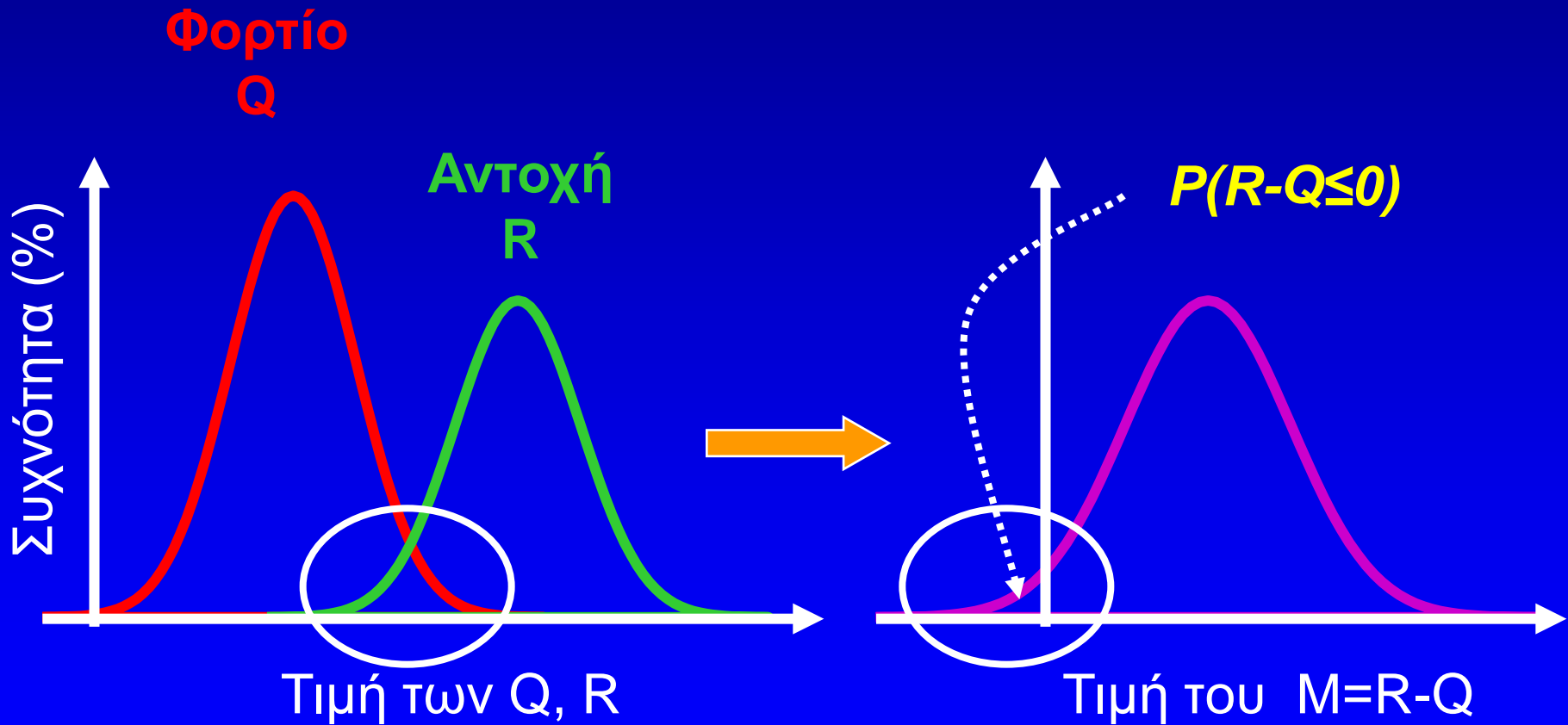


Πιθανότητα Αστοχίας

Πρακτικά Αποκλείεται Αστοχία



Πιθανότητα Αστοχίας

$$P(F) = P(R \leq Q) = P(R - Q \leq 0)$$


Διαφορές Μεθόδου Μερικών Συντελεστών (LRFD) και Μεθόδου Πιθανότητας Αστοχίας

- **Μέθοδος Μερικών Συντελεστών (LRFD):** Οι Συντελεστές επιβάλλονται από τους κανονισμούς
- **Μέθοδος Πιθανότητας Αστοχίας:** Εμείς υπολογίζουμε τις πιθανότητες

Ο Ευρωκώδικας 0 ή EN 1990 αποτελεί
τον κανονισμό που υλοποιεί την
φιλοσοφία αυτή και αποτελεί τη **βάση**
για όλους τους άλλους Ευροκώδικες
που αφορούν σε έργα με εφαρμογή
συγκεκριμένου υλικού

Ο Ευρωκώδικας 0 ή EN 1990

- καθιερώνει **αρχές** και **απαιτήσεις** σχεδιασμού των φορέων
- περιγράφει τη **βάση** για τον **σχεδιασμό** και τον **έλεγχο** τους
- παρέχει κατευθυντήριες οδηγίες για θέματα που σχετίζονται με τη συναφή **αξιοπιστία** του φορέα

Ο ΕΝ 1990 βασίζεται

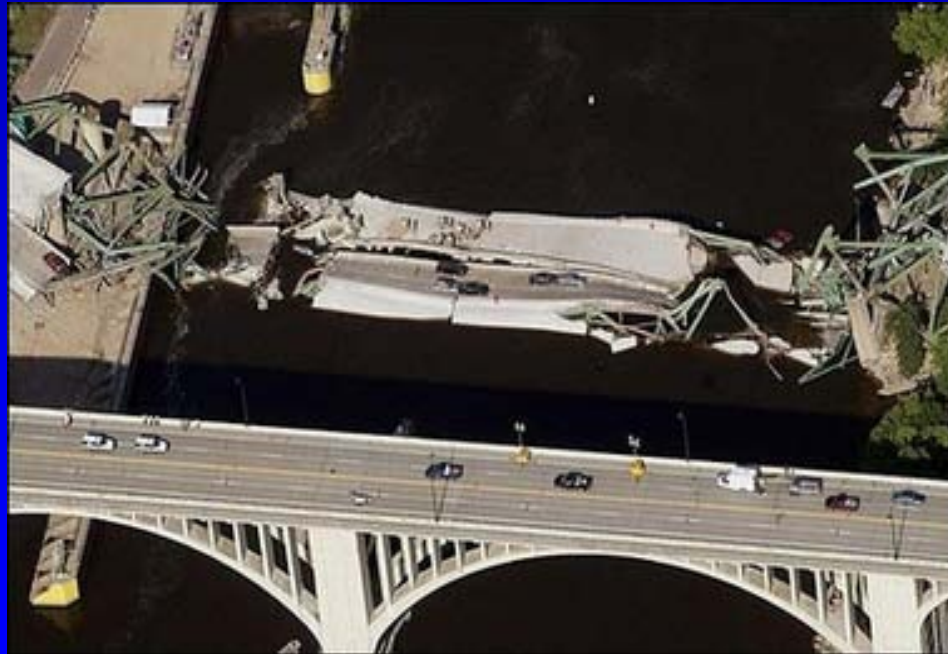
- Στην έννοια των Οριακών Καταστάσεων (Limit States)
- Στην εφαρμογή Επιμέρους Συντελεστών (Partial Factors) που προέρχονται από πιθανοτικές θεωρήσεις

Βασικές Απαιτήσεις που διατυπώνονται Ρητά

- Ασφάλεια
- Λειτουργικότητα
- Ανθεκτικότητα

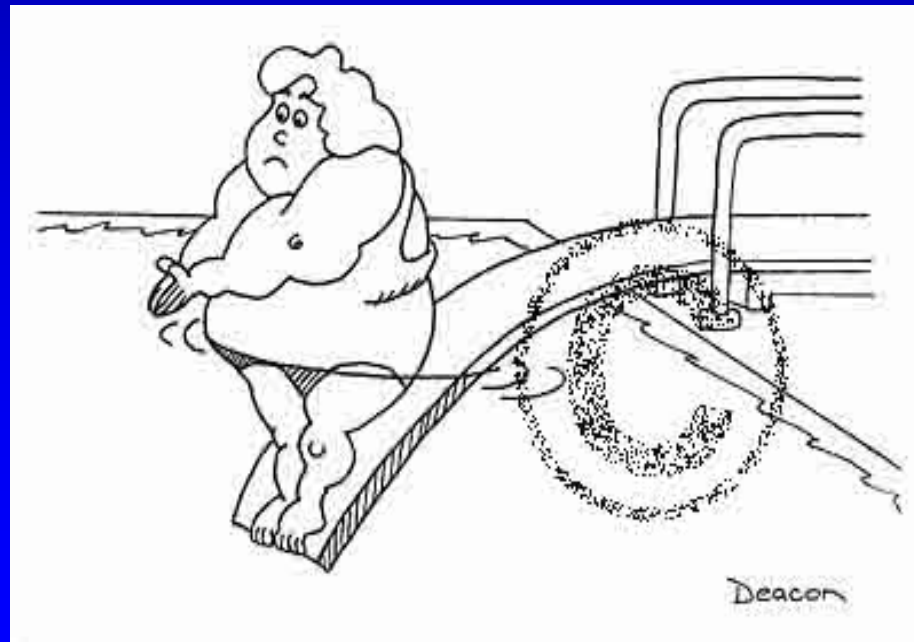
Βασική Απαίτηση-1: Ασφάλεια ανθρώπων και/ή φορέα

Αντίσταση - Ισορροπία



Βασική Απαίτηση-2: Λειτουργικότητα

Λειτουργία του έργου – Ανεση – Εμφάνιση –
Συνάρτηση φορτίου



Βασική Απαίτηση-3: Ανθεκτικότητα

Να μην εξασθενεί η επιτελεσματικότητα του φορέα με το χρόνο - Κόπωση

Οριακές Καταστάσεις

Η ικανοποίηση των Βασικών Απαιτήσεων
επιτυγχάνεται με τον έλεγχο των

Οριακών Καταστάσεων

Τί είναι οι Οριακές Καταστάσεις;

Καταστάσεις πέραν των οποίων ο φορέας δεν ικανοποιεί πλέον τα κριτήρια σχεδιασμού του

- Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας (Ultimate Limit States, ULS)
 - Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας (Serviceability Limit States, SLS)

Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας (Ultimate Limit States, ULS)

Καταστάσεις που συνδέονται με μορφές αστοχίας του φέροντος οργανισμού όπως:

- Κατάρρευση - Θραύση
- Ανατροπή ως στερεό σώμα
- Αστοχία από κόπωση
- ή άλλες παρόμοιες που γενικά αντιστοιχούν στη μέγιστη φέρουσα ικανότητα ενός φορέα ή ενός δομικού μέλους

Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας (Serviceability Limit States, SLS)

Καταστάσεις που συνδέονται με συνθήκες πέραν των οποίων, για φορέα ή δομικό μέλος, δεν πληρούνται οι καθορισμένες λειτουργικές απαιτήσεις όπως:

- Παραμορφώσεις
 - Δονήσεις
 - Ρηγματώσεις

Ροή Σχεδιασμού



Ελεγχος στις Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας

Αποτελέσματα
Δράσεων
Σχεδιασμού

$$E_d \leq R_d$$

Αντίσταση
Σχεδιασμού

Ελεγχος στις Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας

Αποτελέσματα
Δράσεων
Σχεδιασμού

$$E_d \leq C_d$$

Κριτήριο
Σχεδιασμού

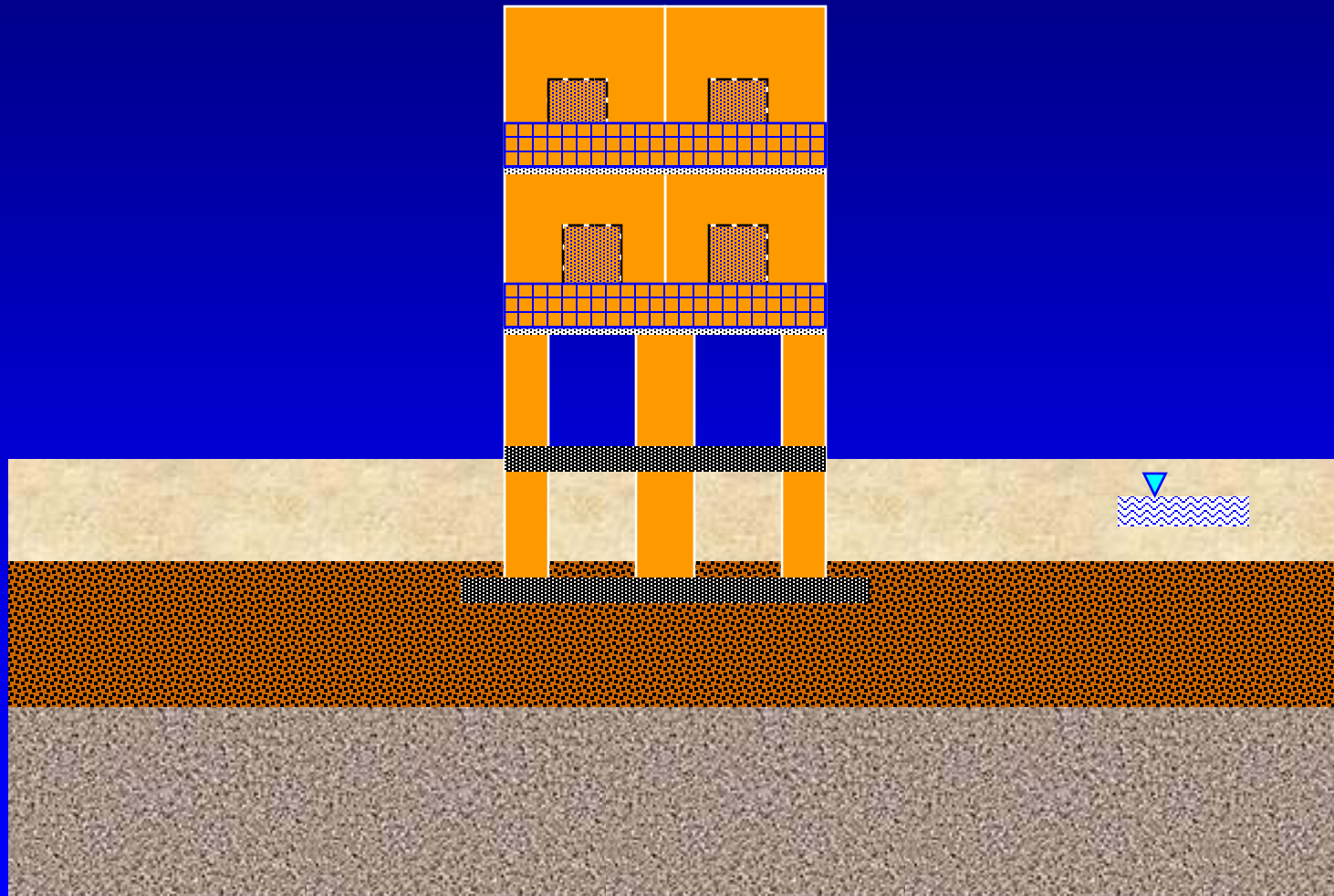
Βασικές Παράμετροι Σχεδιασμού

Γεωμετρία – Υλικά - Προσομοίωμα
Δράσεις – Συνδυασμοί Δράσεων
Αποτελέσματα Δράσεων

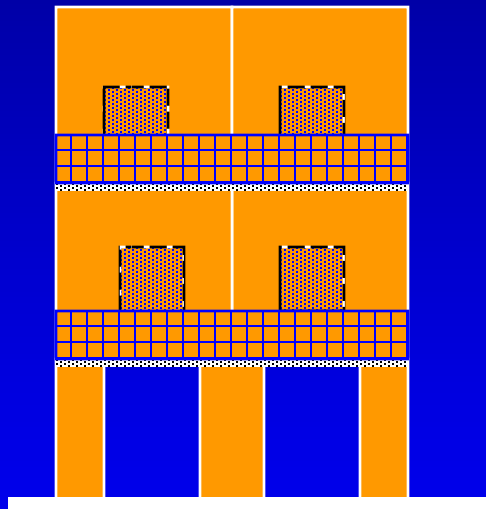
ΟΛΕΣ οι ανωτέρω ποσότητες που άμεσα ή έμμεσα υπεισέρχονται στους ελέγχους των Οριακών Καταστάσεων περιλαμβάνουν κατάλληλους επιμέρους Συντελεστές Ασφαλείας ως αποτέλεσμα της **πιθανοτικής** φιλοσοφίας του EN 1990

Δράσεις

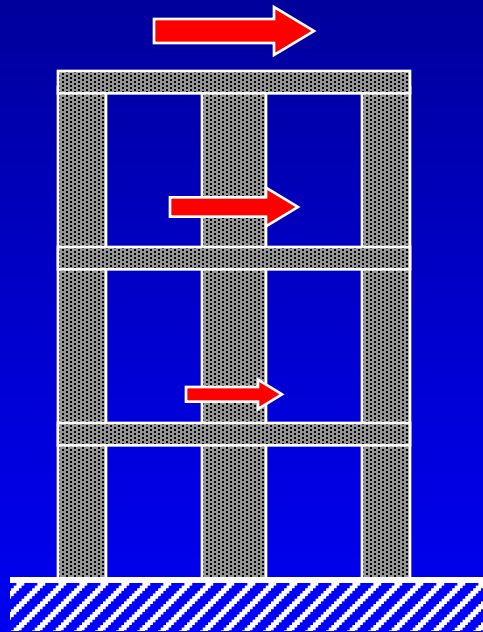
Πραγματικότητα



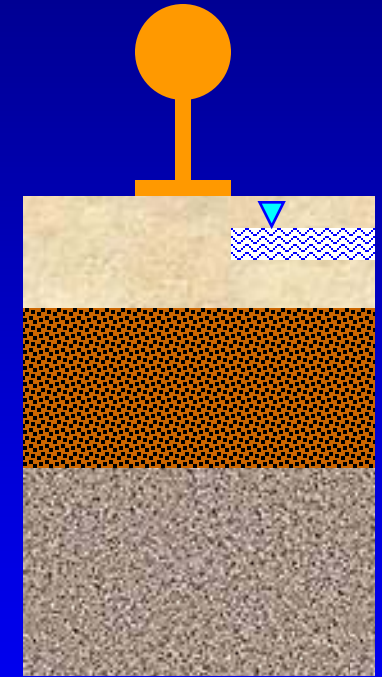
Τί «βλέπει» ο καθένας...



αρχιτέκτονας



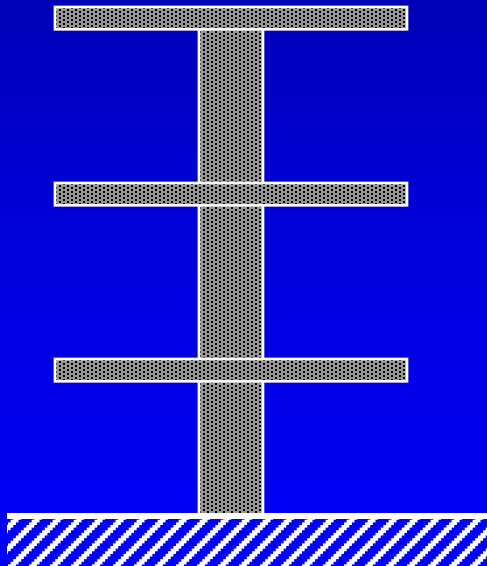
στατικός



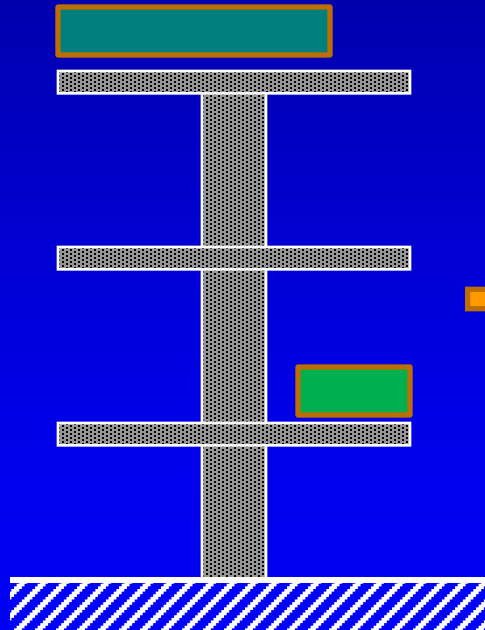
εδαφοδυναμικός

Δράσεις

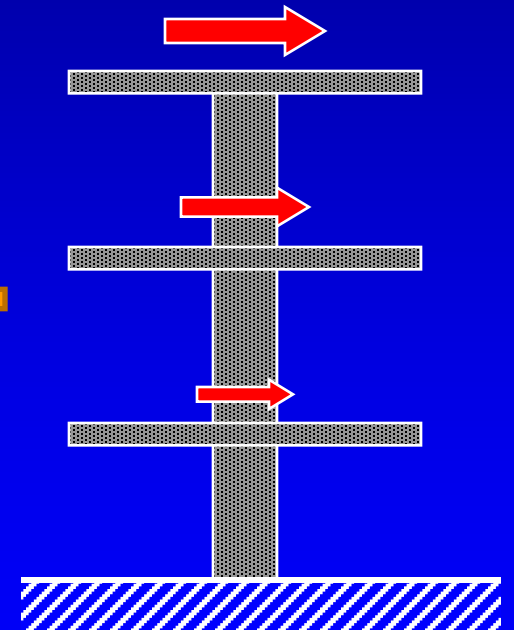
Μόνιμες



Μεταβλητές



Τυχηματικές



Κατηγοριοποίηση δράσεων

- **Μόνιμες G**: ίδιον βάρος, σταθερός εξοπλισμός, έμμεσες δράσεις από συστολή ξήρανσης και διαφορικές καθιζήσεις...
- **Μεταβλητές Q**: επιβαλλόμενα φορτία σε πατώματα, δοκούς κλπ, χιόνι, θερμοκρασία, ανεμοπίεση...
- **Τυχηματικές A**: σεισμός, εκρήξεις, πρόσκρουση...

Τιμές Δράσεων-1

- **Χαρακτηριστική τιμή F_k :**
κύρια αντιπροσωπευτική τιμή της δράσης που δίδεται από τον EN1991 με βάση πιθανοτικές θεωρήσεις
- Για ποσότητες με μικρή διακύμανση είναι συνήθως η μέση τιμή
- Αλλιώς, η τιμή με πιθανότητα υπέρβασης 2%/έτος

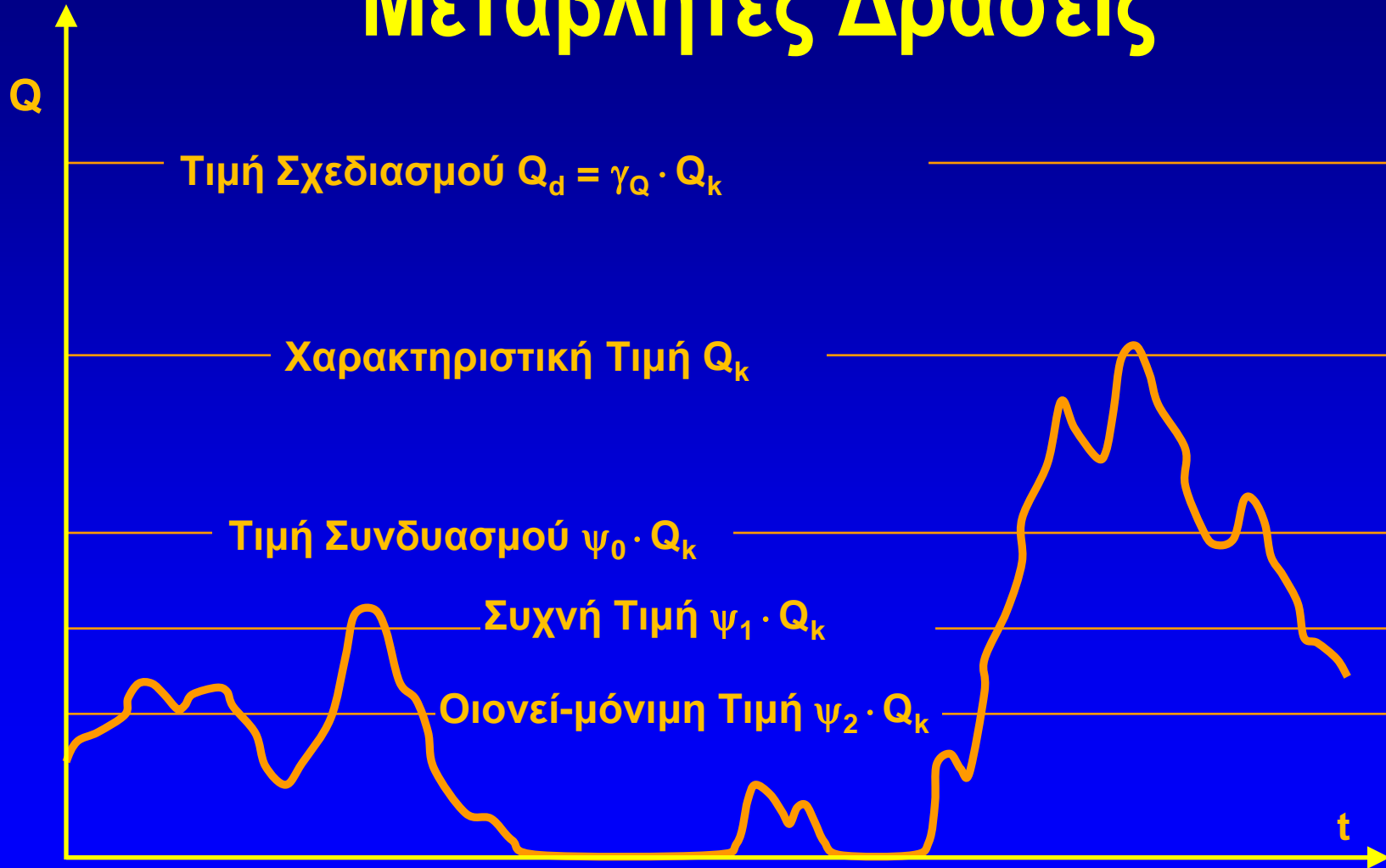
Τιμές Δράσεων-2

- **Συνοδευτική** τιμή μιας μεταβλητής δράσης ψQ_k ($\psi \leq 1$)
- Τιμή μιας μεταβλητής δράσης η οποία συνοδεύει την κύρια δράση σε έναν συνδυασμό
- Τα ψ φέρουν δείκτη στον EN1990 και έχουν τιμές ανάλογα με τη φύση της μεταβλητής δράσης

Συντελεστές συνδυασμού

- Ψ_0 : Συντελεστής για τιμή συνδυασμού μεταβλητής δράσης
- Ψ_1 : Συντελεστής για συχνή τιμή μεταβλητής δράσης
- Ψ_2 : Συντελεστής για οιονεί – μόνιμη τιμή μεταβλητής δράσης

Μεταβλητές Δράσεις



Τιμές Δράσεων-3

- F_{rep} αντιπροσωπευτική τιμή
- $F_{rep} = F_k$ ή $F_{rep} = (\psi Q_k)$
- Δηλαδή η αντιπροσωπευτική τιμή προκύπτει ως
 - (Χαρακτηριστική τιμή)
 - (Συνοδευτική τιμή)

Τιμές Δράσεων-4

- Τιμή **σχεδιασμού** μιας δράσης ή Δράση **σχεδιασμού** F_d
- Επισήμανση: δείκτης **d** (design)
 - $F_d = \gamma_f F_{rep}$
- F_{rep} **αντιπροσωπευτική τιμή**
- επιμέρους συντελεστής γ_f

Δεν τελειώσαμε...

Αποτελέσματα των δράσεων

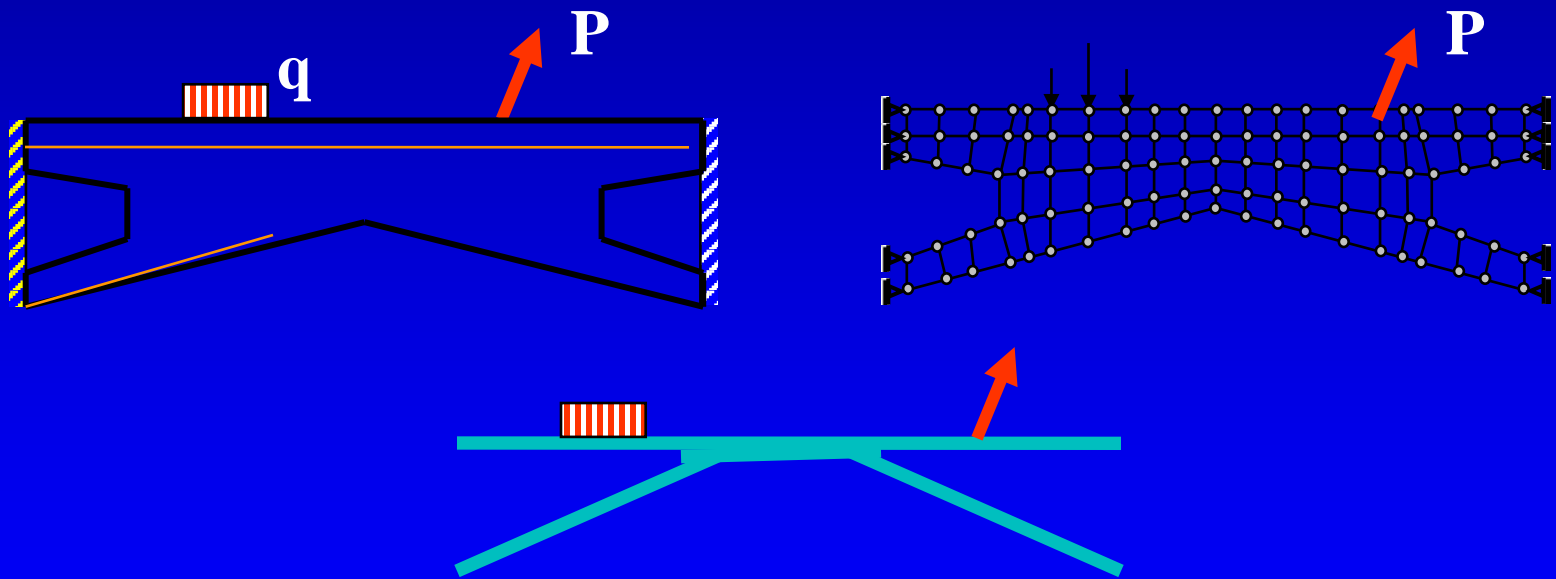
Τιμές σχεδιασμού

- Η Δράση σχεδιασμού F_d εισάγεται στον υπολογισμό
- Οδηγεί σε αποτέλεσμα E (π.χ. Αξονική)
- Ως αποτέλεσμα σχεδιασμού λαμβάνεται

$$E_d = \gamma_{Sd} E$$

- γ_{Sd} καλύπτει αβεβαιότητες προσομοίωσης

Αβεβαιότητες προσομοίωσης



ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ

Ιδιότητες Υλικού-1

- **Χαρακτηριστική τιμή X_k**
ιδιότητας υλικού ή προϊόντος
- Αν χαμηλή τιμή ιδιότητας υλικού (π.χ. Αντοχή) ή προϊόντος είναι δυσμενής, η χαρακτηριστική τιμή θα πρέπει να ορίζεται ως το ποσοστημόριο 5% της τιμής, δηλαδή το 95% των μετρήσεων υπερβαίνει την χαρακτηριστική τιμή

Ιδιότητες Υλικού-2

- Τιμή **σχεδιασμού** μιας ιδιότητας ή ιδιότητα **σχεδιασμού** X_d

- $X_d = \frac{X_k}{\gamma_M}$

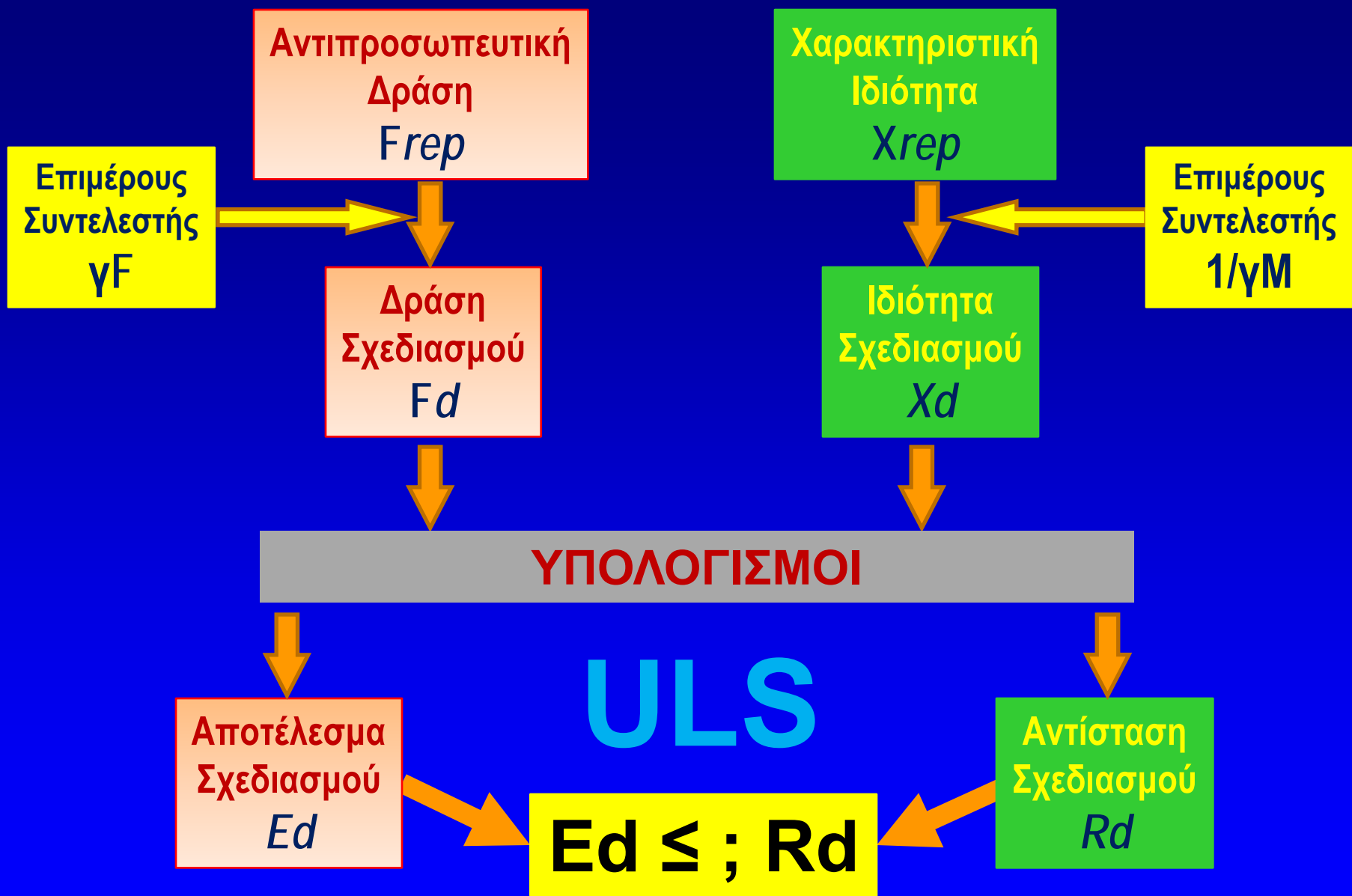
- X_k χαρακτηριστική τιμή
- επιμέρους συντελεστής γ_M

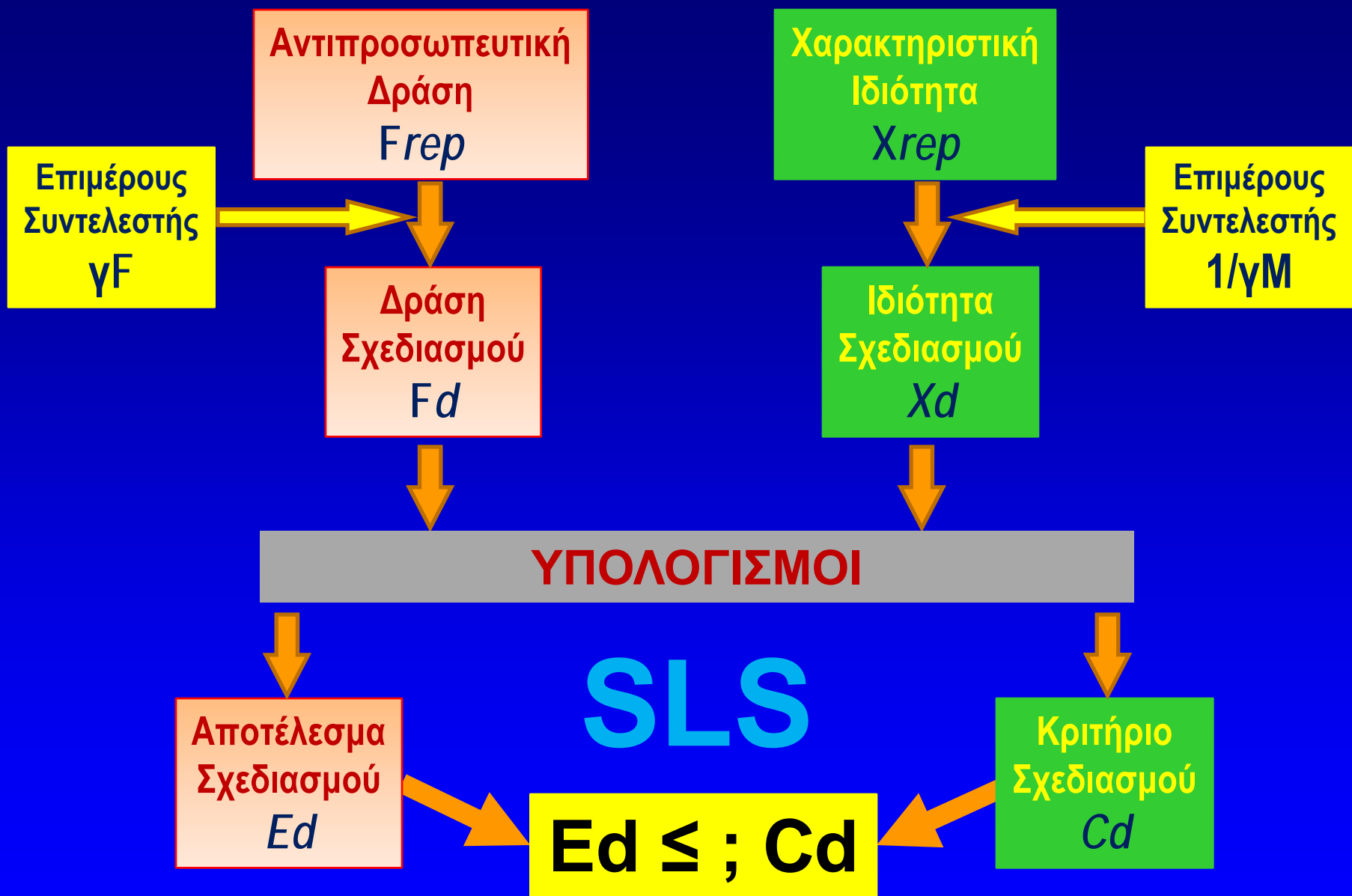
Αντίσταση Σχεδιασμού

- Ως Αντίσταση **σχεδιασμού** λαμβάνεται

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R$$

- γ_{Rd} για αβεβαιότητες προσομοίωσης
- R είναι η Αντίσταση (π.χ. Κάποιου μέλους) υπολογισμένη με την X_d





Γιατί όλα αυτά ;

- Για να λάβουμε υπόψη ρητά τις αβεβαιότητες
- Για ενιαίο επίπεδο ασφαλείας – ξεχωρίζουμε τα ξερά από τα χλωρά!

Μία συζητήσιμη συνέπεια...

Λειτουργικότητα ελέγχει τις κατασκευές

- Με την εξέλιξη των υλικών έχουμε στη διάθεσή μας **μεγάλες** αντοχές
- Επομένως οδηγούμεθα σε **μικρότερες** διατομές που ικανοποιούν τις Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας

Μία συζητήσιμη συνέπεια...

Λειτουργικότητα ελέγχει τις κατασκευές

- Ομως...τα μέτρα ελαστικότητας παραμένουν στα ίδια περίπου επίπεδα με τα παλιά!
- Συνεπώς, η ικανοποίηση των Οριακών Καταστάσεων Λειτουργικότητας (π.χ. Λόγος Βέλους/Ανοιγμα δοκού) οδηγεί σε επαύξηση των διατομών
- Δηλαδή, αναιρείται το πλεονέκτημα της αντοχής, η Αστοχία συχνά δεν ελέγχει τις διατομές αλλά η Λειτουργικότητα

Εύχομαι καλές κατασκευές...

