

ΠΠΜ 325: Ανάλυση Κατασκευών με Η/Υ

***Σεισμοί 2/2023 στην Τουρκία -
συνέπειες και προβληματισμοί***

Εαρινό εξάμηνο 2024

*Πέτρος Κωμοδρόμος
komodromos@ucy.ac.cy*

<https://www.eng.ucy.ac.cy/petros>

Θέματα

- Εισαγωγή
- Κύριες σεισμικές διεγέρσεις 2/2023
 - Σεισμικότητα της περιοχής
 - Θύματα, τραυματίες, ζημιές και επιπτώσεις
- Ενδεχόμενες συνέπειες για την Κύπρο
- Μέτρα που θα πρέπει να ληφθούν στην Κύπρο
 - Κατάσταση κτηριακής υποδομής στην Κύπρο
 - Έλεγχος παλαιών κατασκευών χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό
 - Θεσμοθέτηση τακτικών ελέγχων κατασκευών
- Πυρηνικός σταθμός Άκκουγιου – ενδεχόμενοι κίνδυνοι
- Τι κάνουμε σε περίπτωση σεισμού;
- Επίλογος: *Είναι απόλυτα άτρωτο ένα άρτια αντισεισμικά σχεδιασμένο κτήριο, έναντι οποιουδήποτε σεισμού;*



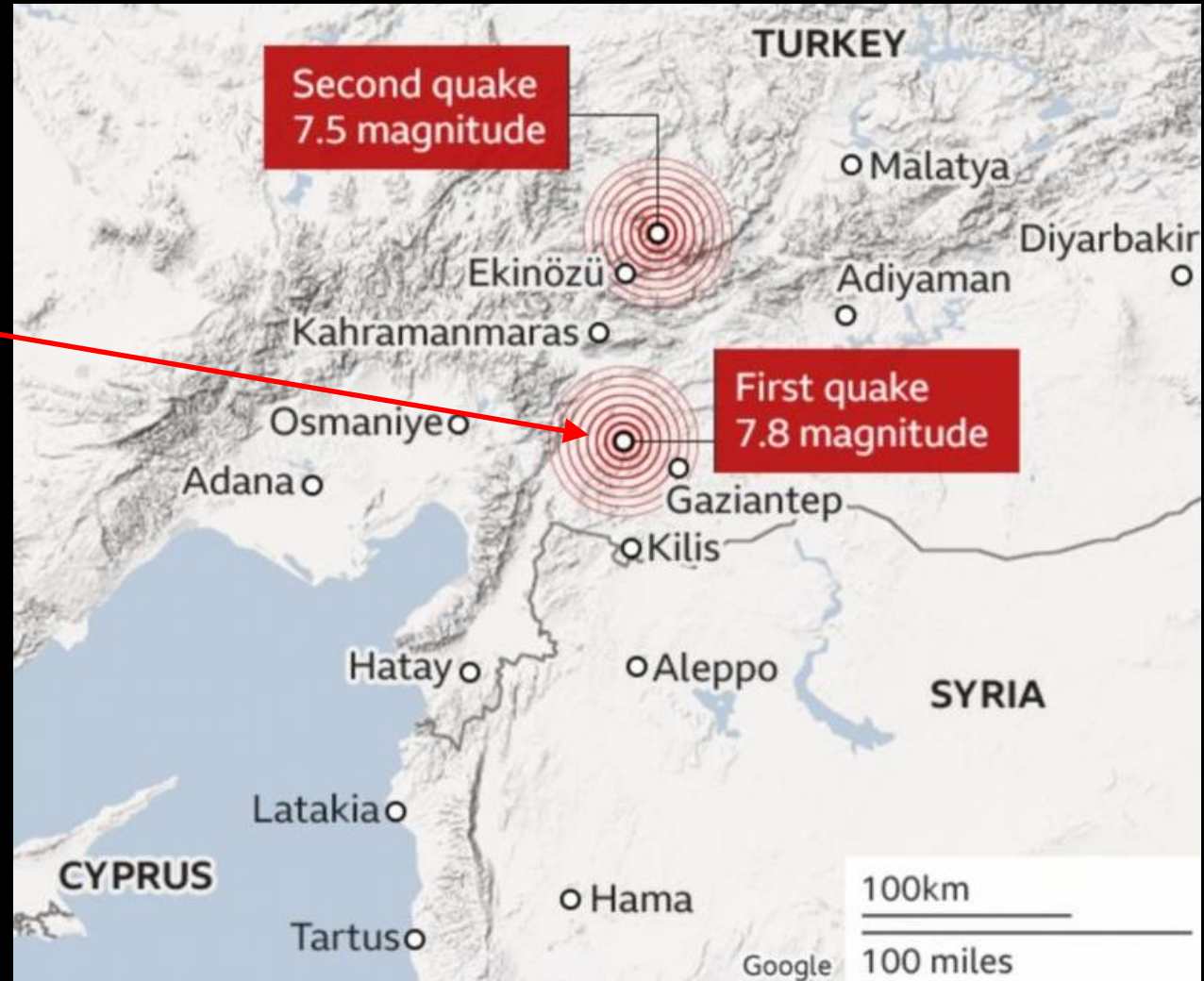
Εισαγωγή

- Δύο πολύ ισχυροί σεισμοί έπληξαν την Τουρκία στις 6/2/23
 - Σεισμός μεγέθους 7.8 R τις πρώτες πρωινές ώρες
 - Ακολουθούμενος, μετά από 9 ώρες, από σεισμό μεγέθους 7.5 R
- Πολλές χιλιάδες μετασεισμοί έχουν συμβεί και θα συμβαίνουν για μεγάλο χρονικό διάστημα (μηνών ή/και χρόνων)

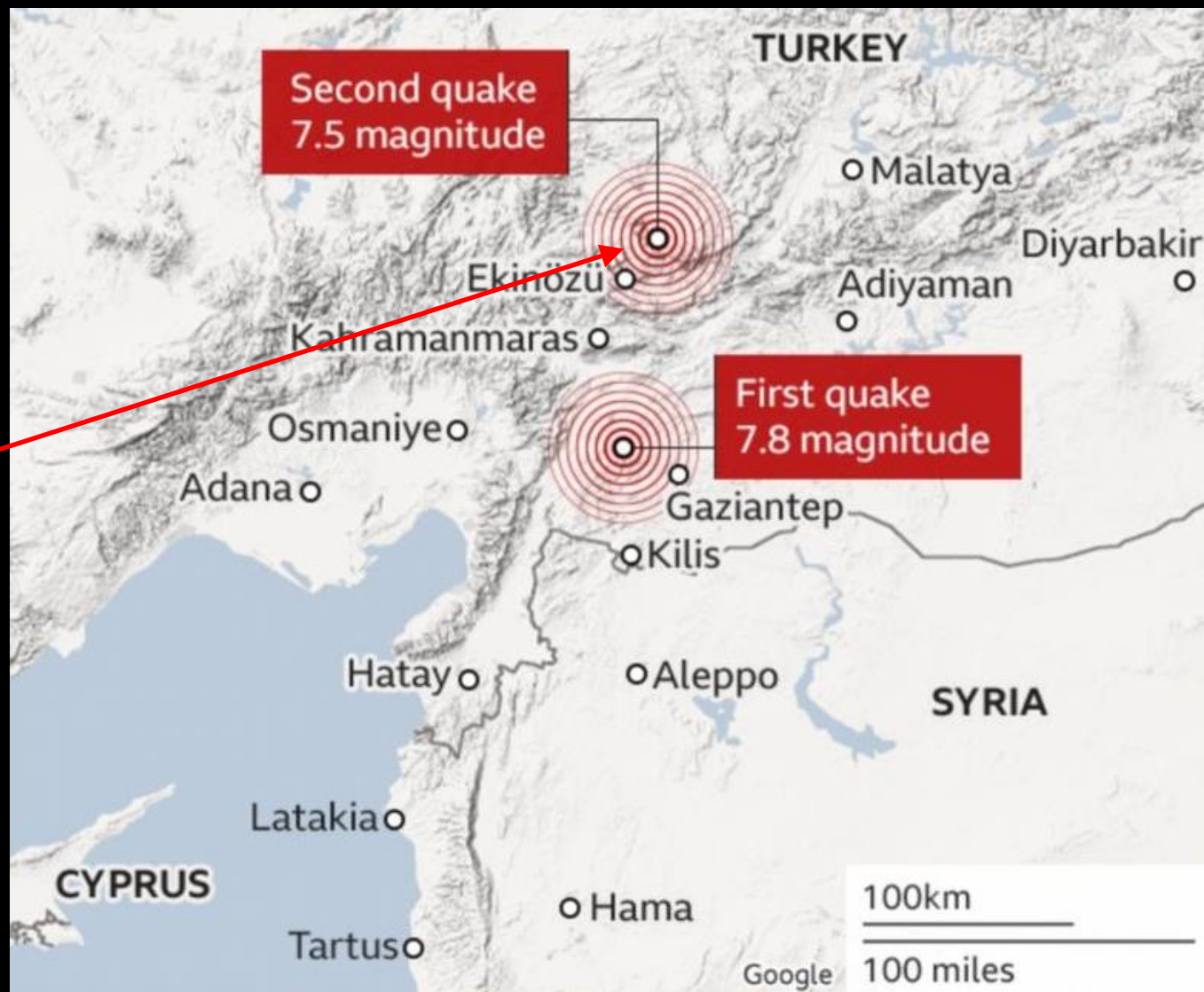


Κύριες σεισμικές διεγέρσεις Φεβρουαρίου 2023

- Επιφανειακός, με εστιακό βάθος περί τα 9-18 χλμ.), πολύ ισχυρός σεισμός, μεγέθους 7.7-7.8 R, μεγάλης διάρκειας, 40 χλμ. βορειοδυτικά της πόλης Gaziantep και 33 χλμ νοτιοανατολικά της πόλης Kahramanmaras, στις 4:17 π.μ. τοπική ώρα (03:17 π.μ. ώρα Κύπρου), τη Δευτέρα 6/2/2023.



▪ Ακολουθούμενος, από 2^ο σεισμό, επίσης επιφανειακό, εστιακού βάθους 7-10 χλμ, πολύ ισχυρό σεισμό μεγέθους 7.5 R, βορειοανατολικά της πόλης Ekinözü στις 1:24 μ.μ. τοπική ώρα (12:24 μ.μ. ώρα Κύπρου), μετά το μεσημέρι στις 6/2/2023.

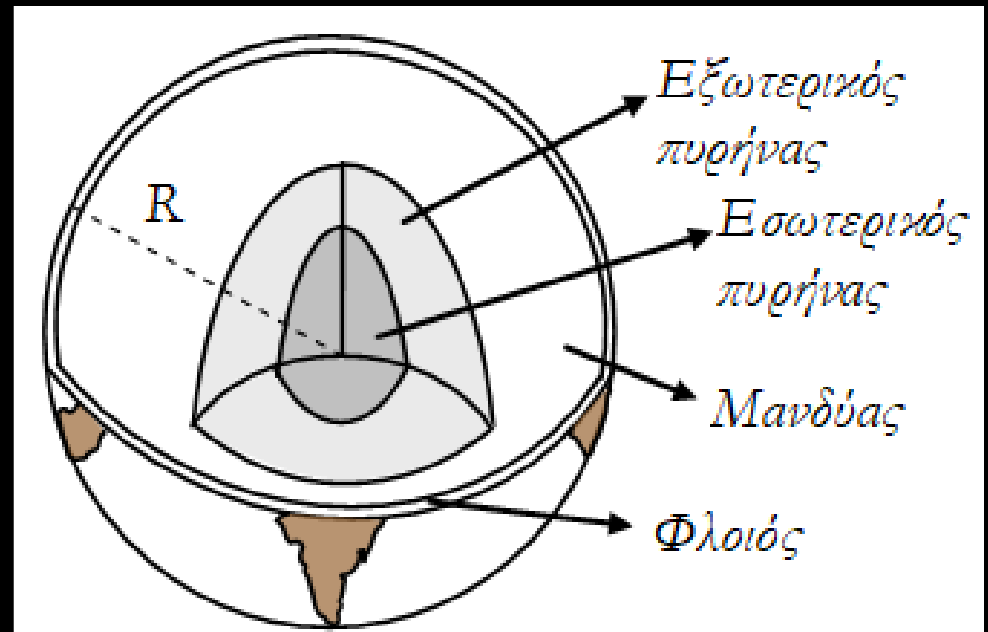


Σεισμικότητα της περιοχής

Οι σεισμοί οφείλονται κυρίως στις σχετικές μετακινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών στην ασθενόσφαιρα.

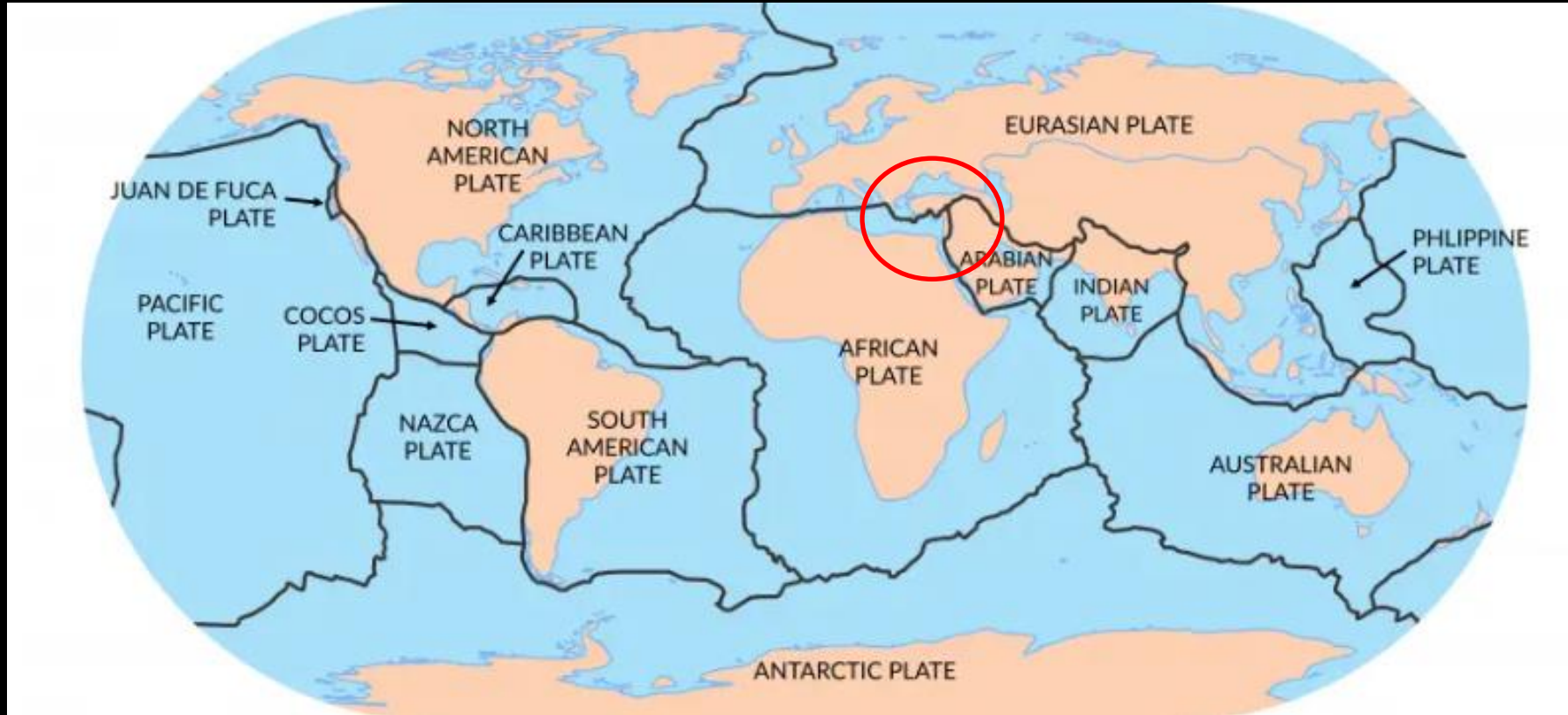
Η γη, η οποία έχει ακτίνα γύρω στα 6500 χιλιόμετρα (km), αποτελείται από το φλοιό, δηλαδή το εξωτερικό περίβλημα, που έχει πάχος 10-35 km, το μανδύα πάχους σχεδόν 3000 km και τον πυρήνα, του οποίου το εξωτερικό μέρος είναι σε ρευστή κατάσταση, ενώ το εσωτερικό μέρος είναι σε στερεή κατάσταση.

Η λιθόσφαιρα είναι ουσιαστικά ένα δύσκαμπτο στρώμα, πάχους περίπου 80-100 km και αποτελείται από το στερεό φλοιό και ένα μέρος του στερεού ανώτερου μανδύα κάτω από το στερεό φλοιό.



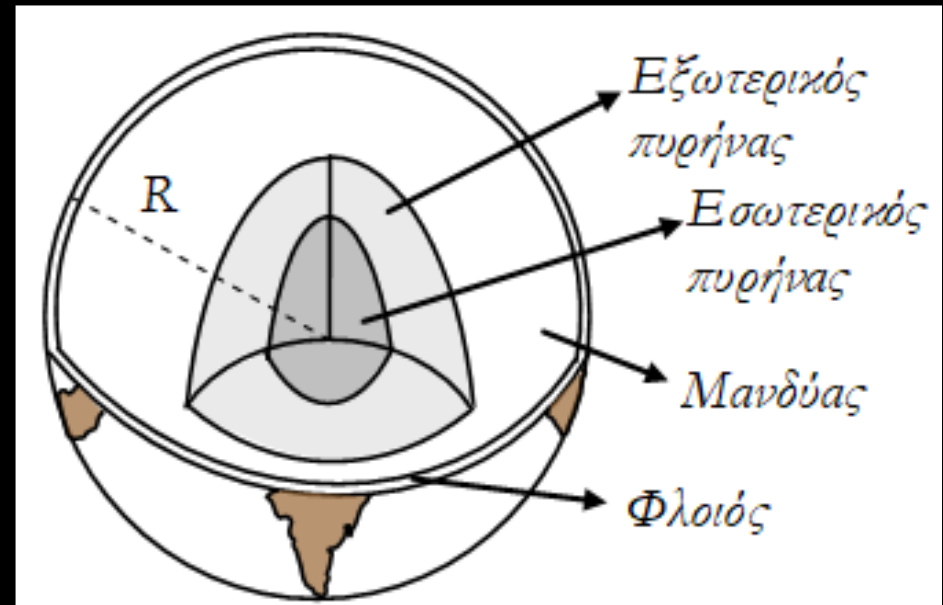
Η λιθόσφαιρα είναι κατακερματισμένη σχηματίζοντας τις λιθοσφαιρικές πλάκες, οι οποίες τείνουν να έχουν κάποιες σχετικές μετακινήσεις μεταξύ τους, αφού επιπλέον πάνω στην ημίρρευστη ασθενόσφαιρα.

Η λιθόσφαιρα είναι κατακερματισμένη σε 7 περίπου κύριες πλάκες και άλλες 10 περίπου πιο μικρές λιθοσφαιρικές πλάκες.



Θα μπορούσε κάποιος να χαρακτηρίσει τη γη με τις σχετικά πολύ λεπτές κατακερματισμένες λιθοσφαιρικές πλάκες στο εξωτερικό της, με ένα αυγό του οποίου το τσόφλι έχει έντονα σπάσει, δηλαδή ρηγματωθεί.

Με τη σχετική κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών συσσωρεύεται ελαστική ενέργεια παραμόρφωσης στα πετρώματα, όπως συγκρούονται οι λιθοσφαιρικές πλάκες, όταν η τάση υπερβεί τα όρια αντοχής του υλικού προκαλείται απότομα θραύση, δηλαδή σεισμικό ρήγμα, και η συσσωρευμένη δυναμική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική με σχετική κίνηση των πλακών, δημιουργώντας την αντίστοιχη σεισμική κίνηση.

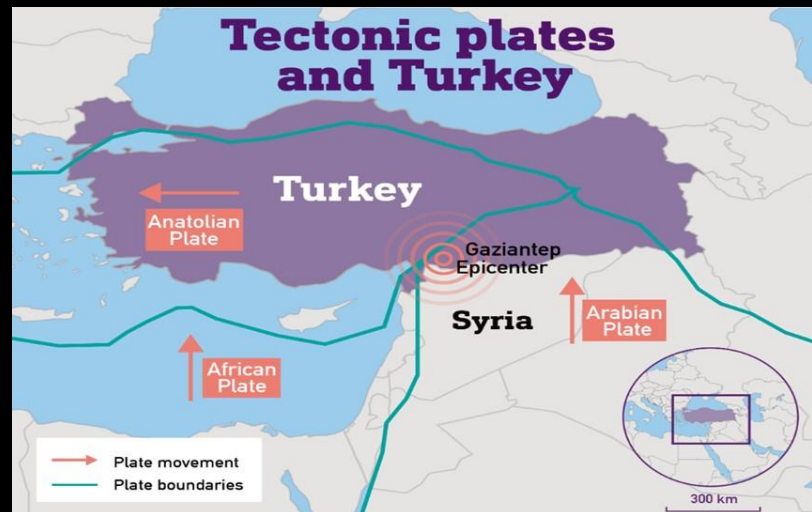


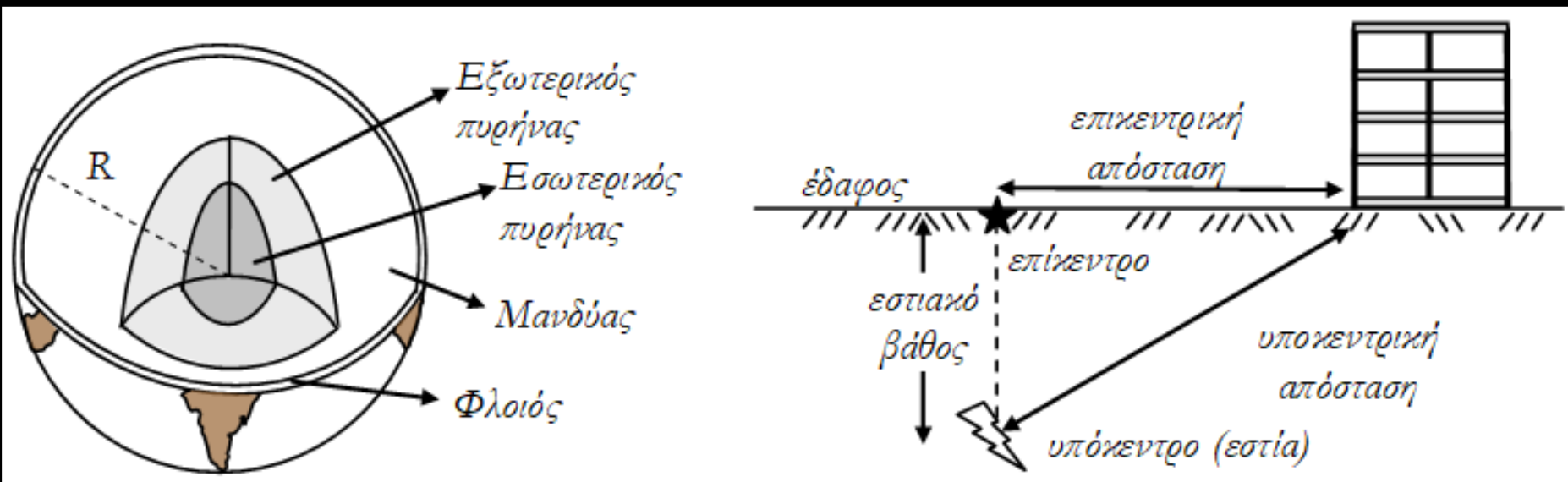
▪ Οι σεισμοί αυτοί συνέβησαν στο Ανατολικό Ρήγμα της Ανατολίας, καθώς η Αραβική Λιθосφαιρική Πλάκα κινείται βόρεια/βορειοδυτικά, συγκρουόμενη με τη Λιθосφαιρική Πλάκα της Ανατολίας, η οποία κινείται προς τα δυτικά σπρώχνοντας την Πλάκα του Αιγαίου προς τα νοτιοδυτικά.

▪ Στα νότια η Αφρικάνικη Λιθосφαιρική Πλάκα κινείται προς τα βόρεια, και στα βόρεια η Ευρασιατική Λιθосφαιρική Πλάκα κινείται προς τα νότια.



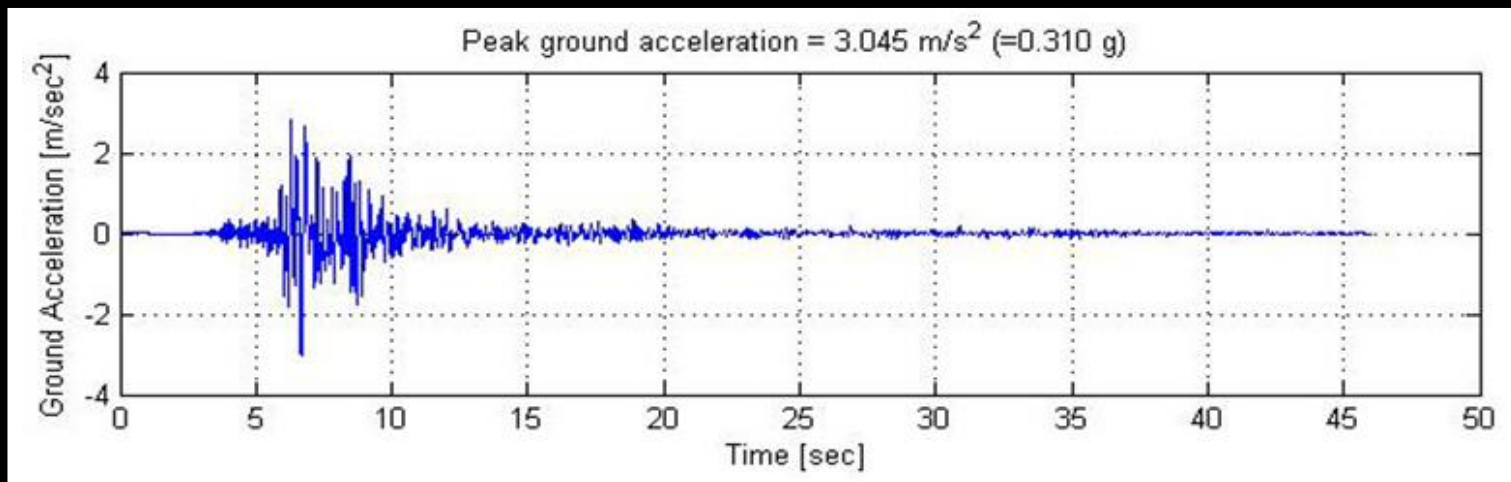
▪ Τα δύο κύρια σεισμικά ρήγματα στην Τουρκία είναι το **Βόρειο Ρήγμα της Ανατολίας**, το οποίο αναμένεται να δώσει πολύ ισχυρούς σεισμούς θέτοντας σε μεγάλο σεισμικό κίνδυνο την Κωνσταντινούπολη, και το **Ανατολικό Ρήγμα της Ανατολίας**, όπου συνέβησαν οι πρόσφατοι πολύ ισχυροί σεισμοί.



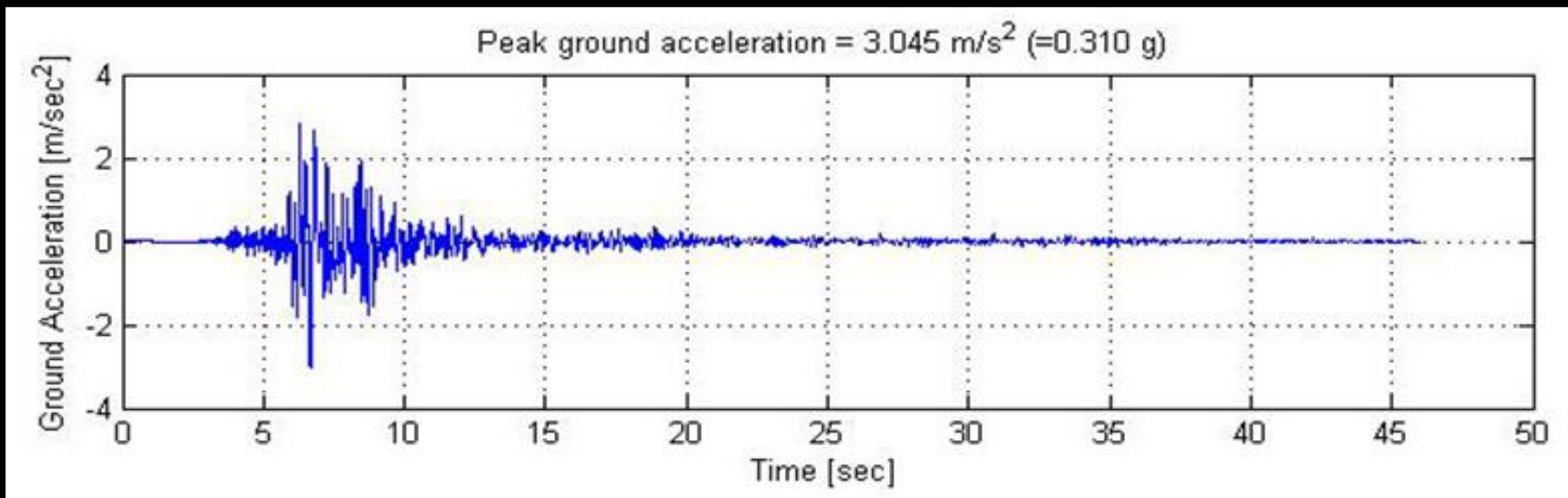


- **Υπόκεντρο** ενός σεισμού είναι το σημείο όπου ξεκινά η θραύση των πετρωμάτων, ενώ **επίκεντρο** είναι η κατακόρυφη προβολή του στην επιφάνεια της γης.
- Η απόσταση μεταξύ υπόκεντρου και επίκεντρου ενός σεισμού ονομάζεται **εστιακό βάθος** του σεισμού.
- Η ενέργεια που απελευθερώνεται στο σεισμικό ρήγμα μεταφέρεται στην επιφάνεια της γης και το δομημένο περιβάλλον μέσω διαμηκών (P-waves), εγκάρσιων (S-waves) και επιφανειακών (Love και Rayleigh) σεισμικών κυμάτων.

- Οι σεισμοί καταγράφονται με διάφορα όργανα, αλλά όσον αφορά τις κατασκευές πολιτικού μηχανικού, πιο χρήσιμες καταγραφές είναι οι επιταχύνσεις του εδάφους.
- Η επιτάχυνση του εδάφους καταγράφεται κατά τη διάρκεια ενός σεισμού από επιταχυνσιογράφους ισχυρών κινήσεων ανά πολύ μικρά χρονικά διαστήματα, της τάξης του 1/100 του δευτερολέπτου (0.01 s) ή και μικρότερου, π.χ. 0.005 s.
- Τα επιταχυνσιογραφήματα ενός σεισμού, συνήθως στις δύο οριζόντιες και στην κατακόρυφη διεύθυνση, παρέχονται στους μηχανικούς και ερευνητές για δυναμικές αναλύσεις κατασκευών.



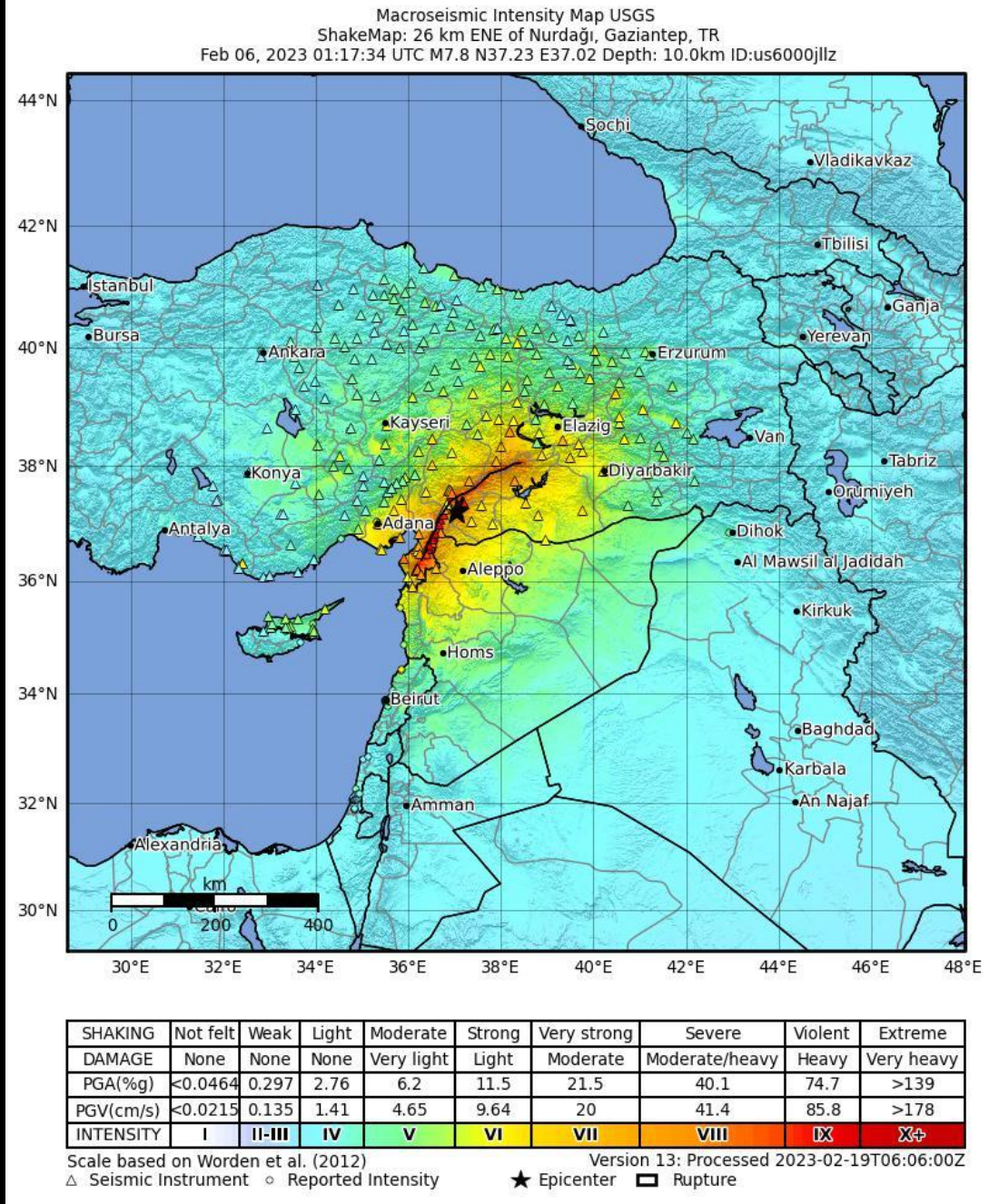
- Η μέγιστη, σε απόλυτη τιμή, επιτάχυνση του εδάφους συμβολίζεται σαν **PGA** (*Peak Ground Acceleration*).
- Όπως φαίνεται και στο πιο κάτω επιταχυνσιογράφημα του σεισμού της Αθήνας, στα Σεπόλια, 1999, η επιτάχυνση του εδάφους είναι τυχηματική και ακανόνιστη, ενώ η μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους ήταν 3.045 m/s^2 .
- Αυτό που έχει σημασία στις ζημιές που μπορεί να προκαλέσει μια σεισμική διέγερση είναι η **μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους**, η **διάρκεια των έντονων εδαφικών επιταχύνσεων** και το **συχνοτικό περιεχόμενο** τους σε σχέση με τα δυναμικά χαρακτηριστικά των κατασκευών, αφού αυτό που είναι πιο κρίσιμο είναι τα **φαινόμενα συντονισμού**.



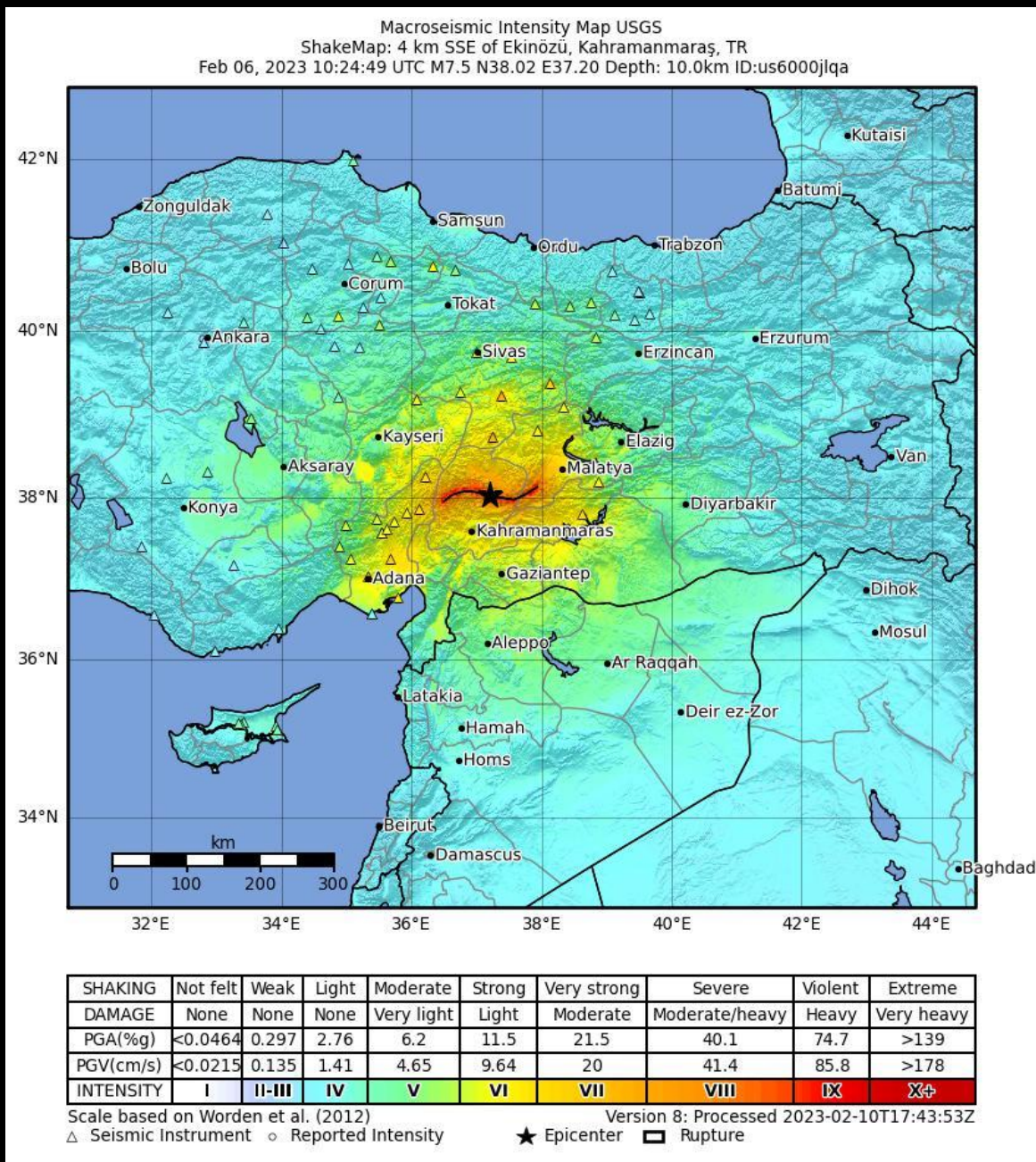
- Το **μέγεθος M** ενός σεισμού, το οποίο χαρακτηρίζει την ενέργεια που εκλύεται κατά τη διάρκεια του σεισμού, μετρείται με διάφορες κλίμακες, όπως η κλίμακα Ρίχτερ, και είναι απόλυτο χαρακτηριστικό του σεισμού.
- Η κλίμακα Ρίχτερ (Richter), η οποία είναι λογαριθμική, ορίζεται βάσει του μέγιστου πλάτους του σεισμικού κύματος όπως θα καταγράφονταν σε ένα σειсмоγράφο τύπου Wood-Anderson σε απόσταση 100 χιλιομέτρων από το επίκεντρο του σεισμού.
- Αύξηση κατά μία μονάδα του μεγέθους (*magnitude*) του σεισμού, εκφρασμένου στην κλίμακα Ρίχτερ, αντιστοιχεί σε 30 φορές μεγαλύτερη έκλυση σεισμικής ενέργειας.
- Ο βαθμός και το είδος των επιπτώσεων ενός σεισμού, δηλαδή ζημιών, χαρακτηρίζονται από την ένταση (*intensity*) του σεισμού, η οποία διαφέρει από περιοχή σε περιοχή, και εξαρτάται από τη **μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους, τη διάρκεια της σεισμικής διέγερσης και το συχνοτικό περιεχόμενο στη συγκεκριμένη περιοχή**, και **ΟΧΙ** άμεσα το μέγεθος του σεισμού, όπως λανθασμένα αφήνεται να εννοηθεί.

- Οι επιπτώσεις ενός σεισμού στις κατασκευές εξαρτώνται από την απόσταση από το επίκεντρο του σεισμού, το εστιακό βάθος, τα εδάφη μεταξύ υποκέντρου και κατασκευής κ.λπ.

- Η γνωστότερη κλίμακα μέτρησης της έντασης ενός σεισμού, της οποίας η μέτρηση είναι υποκειμενική, είναι η κλίμακα Mercalli.



▪ Η κλίμακα Mercalli, η οποία έχει 12 στάθμες (από I έως XII) εκτίμησης της έντασης μέσω των επιπτώσεων ενός σεισμού, χρησιμοποιείται κυρίως για εκτίμηση της έντασης ενός σεισμού σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.



Θύματα, τραυματίες, ζημιές και επιπτώσεις

- Οι επίσημα επιβεβαιωμένοι νεκροί ξεπέρασαν τις 55 χιλιάδες, και οι τραυματίες τις 130 χιλιάδες.
- Επηρεάστηκαν πέραν των 15 εκατομμυρίων, που έμειναν άστεγοι είτε γιατί καταστράφηκαν οι κατοικίες τους είτε γιατί έπαθαν ζημιές και ζουν με το φόβο νέων σεισμών που μπορεί να προκαλέσουν νέες ζημιές και καταρρεύσεις, στα κτήριά τους που έχουν ήδη υποστεί ζημιές.





➤ Πόλεις, χωριά και κρίσιμες υποδομές στην Τουρκία και στη Συρία έχουν καταστραφεί και ισοπεδωθεί.

➤ Οι ζωές πέραν των 10 εκατομμυρίων ανθρώπων έχουν άμεσα επηρεαστεί με σημαντικό ποσοστό να έχει μείνει άστεγο.

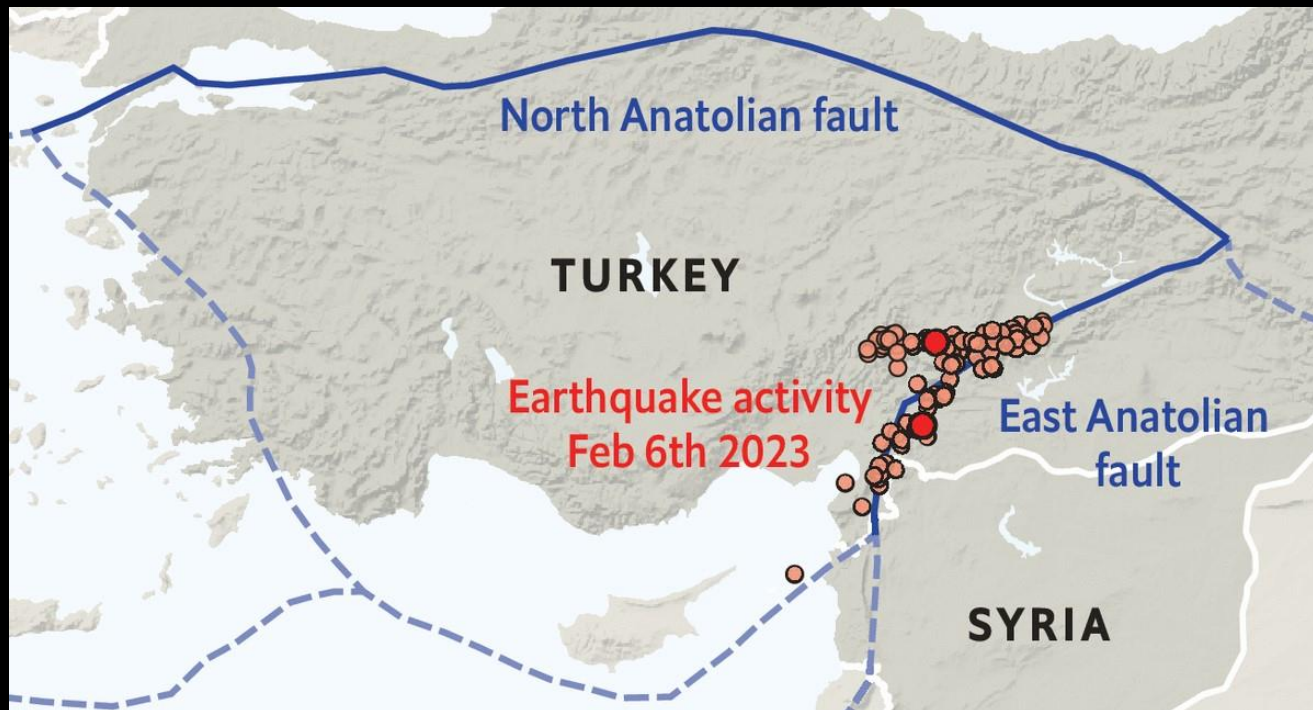


Παράγοντες που συνέτειναν στην καταστροφή

- Πολύ ισχυρές σεισμικές διεγέρσεις που προκάλεσαν πολύ μεγάλες επιταχύνσεις και τεράστιες μετακινήσεις του εδάφους θεμελίωσης των κατασκευών, λόγω του μικρού εστιακού βάθους, της εγγύτητας των ρηγμάτων σε κατοικημένες περιοχές (μικρή υπόκεντρο/επίκεντρο απόσταση) και του μεγέθους (7.8 R και 7.5 R) των σεισμών.
- Μεγάλης διάρκειας σεισμικές διεγέρσεις που υπέβαλαν τις κατασκευές σε πολύ μεγάλο αριθμό διαδοχικών δυναμικών καταπονήσεων.
- Δύο πολύ ισχυροί σεισμοί με πολλούς μετασεισμούς που προκάλεσαν περαιτέρω ζημιές και καταρρεύσεις σε κατασκευές που είχαν ήδη υποστεί σοβαρές ζημιές και δεν είχαν επαρκείς εναπομένουσες αντοχές για να αντέξουν νέες σεισμικές δονήσεις.
- Κακής ποιότητας κατασκευές, χωρίς επαρκή ή και καθόλου αντισεισμικό σχεδιασμό, που αστόχησαν ψαθυρά χωρίς να δώσουν χρόνο στους ενοίκους να τις εκκενώσουν.
- Ο κύριος σεισμός έγινε τις πρώτες πρωινές ώρες, κατά τις οποίες ο περισσότερος κόσμος κοιμόταν, χωρίς να μπορεί εύκολα να αντιδράσει.

Ενδεχόμενες συνέπειες για την Κύπρο

- Δραστηριοποίηση Κυπριακού Τόξου
 - Το μέγεθος των σεισμών που έγιναν είναι τόσο μεγάλο και η εγγύτητα με την Κύπρο και το Κυπριακό Τόξο, το οποίο βασικά είναι προέκταση του Ανατολικού Ρήγματος της Ανατολίας που δεν μπορεί να αποκλειστεί το ενδεχόμενο επίδρασης των σεισμών στο Κυπριακό Τόξο και μια ενδεχόμενη σεισμική δραστηριότητα.



▪ Ενδεχόμενο μεταναστευτικό κύμα

- Αναμενόμενο είναι να υπάρξουν μεταναστευτικά κύματα προσφύγων που έχουν χάσει τις περιουσίες και της οικογένειές τους στους πρόσφατους σεισμούς.



Μέτρα που θα πρέπει να ληφθούν στην Κύπρο

- Τους σεισμούς δεν μπορούμε να τους προβλέψουμε (δηλαδή τι μεγέθους, πότε ακριβώς και που ακριβώς θα συμβεί ένας σεισμός).
- Και να μπορούσαμε να τους προβλέψουμε, τα θύματα από τη δημοσιοποίηση μιας πληροφορίας για ένα ενδεχόμενο ισχυρό σεισμό και του πανικού που θα επικρατούσε στους δρόμους μπορεί να ήταν περισσότερα από ότι από το σεισμό εάν είμαστε επαρκώς προετοιμασμένοι/ες.
- Ούτως ή άλλως ΔΕΝ μπορούμε να τους προβλέψουμε!
- Ούτε μπορούμε να αποτρέψουμε τους σεισμούς.
- **Συνεπώς οφείλουμε να προετοιμαστούμε κατάλληλα και έγκαιρα για να τους αντιμετωπίσουμε με κατασκευές που να είναι επαρκώς σχεδιασμένες βάσει κάποιου σύγχρονου αντισεισμικού κανονισμού**

Κατάσταση κτηριακής υποδομής στην Κύπρο

- Οι σύγχρονες κατασκευές στην Κύπρο, γενικά, φαίνεται να είναι πιο ανθεκτικές έναντι σεισμών από αυτές που πλήγηκαν στην Τουρκία και στη Συρία με τους πρόσφατους σεισμούς.
- Όμως, είχαμε μια βεβιασμένη/εσπευσμένη ανοικοδόμηση κατοικιών και προσφυγικών συνοικισμών μετά την Τουρκική Εισβολή του 1974, με κακής ποιότητας υλικά, χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό και χωρίς επίβλεψη κατά την κατασκευή, βασιζόμενοι στο φιλότιμο του μηχανικού, του εργολάβου, των οικοδόμων, σιδεράδων, κ.λπ.
 - 1994 - Εφαρμογή Κυπριακού Αντισεισμικού Κανονισμού
 - 1998 – Εφαρμογή υποχρεωτικής επίβλεψης κατασκευών
 - 2012 - Εφαρμογή Ευρωκωδίκων (Ευρωκώδικας 8 για τη σχεδίαση και διαστασιολόγηση αντισεισμικών κατασκευών)
- **Άμεση ανάγκη αποτίμησης στατικής επάρκειας και αντισεισμικής αναβάθμισης ή αντικατάστασης (με νέες αντισεισμικά σχεδιασμένες κατασκευές) κτηρίων που στεγάζουν κρίσιμες υπηρεσίες.**

Έλεγχος κατασκευών χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό

- Θα πρέπει να ελεγχθούν οι παλαιότερες κατασκευές που δεν είχαν σχεδιαστεί βάσει κάποιου αντισεισμικού κανονισμού
- Προτεραιότητα θα πρέπει να δοθεί στις δημόσιες κτηριακές κατασκευές που στεγάζουν κρίσιμες υπηρεσίες και φιλοξενούν σημαντικούς αριθμούς ατόμων (σχολεία, νοσοκομεία, κ.λπ.).
- **Όπου απαιτείται, θα πρέπει να γίνεται κατάλληλη αντισεισμική αναβάθμιση ώστε να μπορούν να αντέξουν τις αναμενόμενες σεισμικές δράσεις χωρίς ψαθυρές αστοχίες και καταρρεύσεις.**
- Θα έπρεπε να συνδυαστεί, με τη βοήθεια της ΕΕ, η επιδοτούμενη ενεργειακή αναβάθμιση με την αντισεισμική αναβάθμιση, αφού είναι παράλογο να επενδύονται τεράστια ποσά για την ενεργειακή αναβάθμιση κτηριακής υποδομής που θα κινδυνεύει να καταστραφεί σε περίπτωση ισχυρού σεισμού με ανυπολόγιστες ζημιές και πολλά θύματα. Επιπλέον, με την ενεργειακή αναβάθμιση θα αποκρύβονται αδυναμίες και προβλήματα των συγκεκριμένων κτηρίων, ενώ θα είναι πιο δύσκολη η μελλοντική τους αντισεισμική αναβάθμιση.

Θεσμοθέτηση τακτικών ελέγχων κατασκευών

- Αναγκαιότητα νομοθετικής ρύθμισης τακτικών επιθεωρήσεων κτηριακών και άλλων δομικών κατασκευών και έκδοσης σχετικών πιστοποιητικών, παρόμοιων με των ελέγχων MOT για αυτοκίνητα.
- Υποχρεωτικός έλεγχος στατικής επάρκειας και αντισεισμικής ικανότητας κατασκευών κάθε κάποια χρόνια, με τακτικές, π.χ. κάθε 5-10 χρόνια, επιθεωρήσεις από πολιτικούς μηχανικούς.
- Οπτικοί έλεγχοι από διπλωματούχους πολιτικούς μηχανικούς, ακολουθούμενους, όπου απαιτείται, από τους αναγκαίους εργαστηριακούς ελέγχους των υλικών και λεπτομερείς υπολογισμούς για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας των κατασκευών σε σχέση με τις αναμενόμενες σεισμικές δράσεις.
- Αντισεισμική ενίσχυση και αναβάθμιση με κάποια δόκιμη μέθοδο:
 - π.χ. χρήση μανδυνών Ο/Σ ή σύνθετων υλικών για ενίσχυση υποστυλωμάτων και άλλων κρίσιμων δομικών στοιχείων.

Πυρηνικός σταθμός Άκκουγιου – ενδεχόμενοι κίνδυνοι

- Μεγάλος κίνδυνος για τεράστια καταστροφή στην ευρύτερη περιοχή της νοτιοανατολικής Μεσογείου στην περίπτωση πολύ ισχυρού σεισμού στην περιοχή του Ακκουγιού, όπου κατασκευάζεται και θα λειτουργήσει πυρηνικό εργοστάσιο, το οποίο θα έχει 4 μονάδες παραγωγής που θα παράγουν 1200 MW η κάθε μια.
- Η ψύξη του πυρηνικού σταθμού θα γίνεται με νερό θαλάσσης.



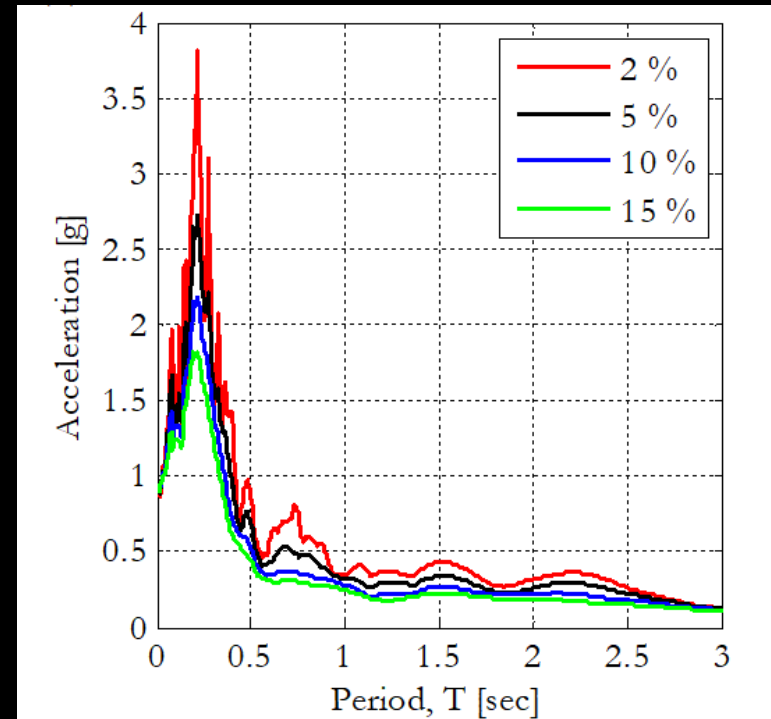
Τι κάνουμε σε περίπτωση σεισμού

- Αντισεισμική προστασία (Από Γραφείο Πολιτικής Άμυνας, Ασφάλειας και Υγείας)
- Μέτρα αυτοπροστασίας και ασφάλειας από το σεισμό (Δύναμη Πολιτικής Άμυνας)
- Από Οργανισμό Αντισεισμικής Προστασίας (ΟΑΣΠ)
 - Τι πρέπει να κάνεις ΑΠΟ ΤΩΡΑ
 - Τι πρέπει να κάνεις ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ του σεισμού
 - Τι πρέπει να κάνεις ΜΕΤΑ το σεισμό

Επίλογος: Είναι απόλυτα άτρωτο ένα άρτια αντισεισμικά σχεδιασμένο κτήριο, έναντι οποιουδήποτε σεισμού;

- Ακόμη και να σχεδιαστεί με τον πλέον σύγχρονο αντισεισμικό κανονισμό μια κτηριακή κατασκευή ΔΕΝ μπορεί να διασφαλιστεί ότι θα παραμείνει **άθικτη** σε ένα πολύ ισχυρό σεισμό.
- Ο αντισεισμικός σχεδιασμός κτηριακών κατασκευών στηρίζεται στη διασφάλιση επαρκούς πλαστιμότητας, δηλαδή της ικανότητας των δομικών μελών να αναπτύσσουν ανελαστικές παραμορφώσεις, αναλώνοντας με αυτό τον τρόπο σημαντικό ποσοστό, της εισερχόμενης στην κατασκευή, σεισμικής ενέργειας.
- Η κατασκευή πλήρως άτρωτων δομημάτων, έναντι οποιουδήποτε σεισμού, βάσει του κλασικού αντισεισμικού σχεδιασμού και των αντίστοιχων αντισεισμικών κανονισμών είναι πρακτικά ανέφικτη, τόσο για τεχνοοικονομικούς όσο και για λειτουργικούς και αισθητικούς λόγους.

- Το βασικό πρόβλημα που παρουσιάζεται κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό σχετικά δύσκαμπτων κατασκευών, χαμηλού ή μεσαίου ύψους, όπως οι συνήθεις κτηριακές κατασκευές στον Ελλαδικό και Κυπριακό χώρο, είναι το γεγονός ότι η θεμελιώδης ιδιοσυχνότητά τους, εμπίπτει στο εύρος των κυριαρχουσών συχνοτήτων των πλείστων σεισμικών διεγέρσεων.
- Όπως φαίνεται και από το φάσμα απόκρισης ψευδοεπιταχύνσεων, η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος τέτοιων κτηρίων βρίσκεται εντός των επικρατουσών περιόδων των σεισμών, παρατηρείται σημαντική ενίσχυση των επιταχύνσεων και των αντίστοιχων σεισμικών φορτίων που μεταφέρονται στην ανωδομή λόγω του συντονισμού.



- Οι αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις και τα αντίστοιχα σεισμικά φορτία, σε περίπτωση πολύ ισχυρού σεισμού, είναι πρακτικά αδύνατο να παραληφθούν χωρίς ανελαστική συμπεριφορά της κατασκευής και τις συνεπακόλουθες ζημιές στα κτήρια όσο και στο περιεχόμενό τους.
- Έτσι, ο συμβατικός αντισεισμικός σχεδιασμός στηρίζεται στον ικανοτικό σχεδιασμό και στην πλαστιμότητα μιας κατασκευής για να μπορέσει να αντέξει διαδοχικούς κύκλους ανελαστικών παραμορφώσεων, αποφεύγοντας ψαθυρές αστοχίες και καταρρεύσεις, με ενδεχομένως ανθρώπινες απώλειες, αλλά επιτρέποντας, σε περίπτωση ισχυρού σεισμού, αναπόφευκτες βλάβες τόσο στα φέροντα όσο και στα μη φέροντα στοιχεία της κατασκευής, λόγω των μεγάλων σχετικών μετακινήσεων και παραμορφώσεων, καθώς και ζημιές στα περιεχόμενα των κατασκευών, λόγω των μεγάλων απόλυτων επιταχύνσεων.

- Οι αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις και τα αντίστοιχα σεισμικά φορτία, σε περίπτωση πολύ ισχυρού σεισμού, είναι πρακτικά αδύνατο να παραληφθούν χωρίς ανελαστική συμπεριφορά της κατασκευής και τις συνεπακόλουθες ζημιές στα κτήρια όσο και στο περιεχόμενό τους.
- Έτσι, ο συμβατικός αντισεισμικός σχεδιασμός στηρίζεται στον ικανοτικό σχεδιασμό και στην πλαστιμότητα μιας κατασκευής για να μπορέσει να αντέξει διαδοχικούς κύκλους ανελαστικών παραμορφώσεων, αποφεύγοντας ψαθυρές αστοχίες και καταρρεύσεις, με ενδεχομένως ανθρώπινες απώλειες, αλλά επιτρέποντας, σε περίπτωση ισχυρού σεισμού, αναπόφευκτες βλάβες τόσο στα φέροντα όσο και στα μη φέροντα στοιχεία της κατασκευής, λόγω των μεγάλων σχετικών μετακινήσεων και παραμορφώσεων, καθώς και ζημιές στα περιεχόμενα των κατασκευών, λόγω των μεγάλων απόλυτων επιταχύνσεων.

- Δηλαδή, στην πραγματικότητα, μια σχετικά δύσκαμπτη κατασκευή σε μια έντονα σεισμογόνο περιοχή που σχεδιάζεται βάσει των προνοιών ακόμη και των πλέον σύγχρονων κανονισμών συμβατικού αντισεισμικού σχεδιασμού δεν είναι άτρωτη από σεισμούς, αλλά αντιμετωπίζει τον κίνδυνο εκδήλωσης σοβαρών βλαβών, στην περίπτωση ενός ισχυρού σεισμού, λόγω ισχυρών σεισμικών φορτίων που αναπόφευκτα προκαλούνται κυρίως από φαινόμενα συντονισμού των θεμελιωδών ιδιοσυχνοτήτων των συνήθων, σχετικά δύσκαμπτων, κατασκευών με τις επικρατούσες συχνότητες των σεισμικών διεγέρσεων στις πλείστες σεισμογόνες περιοχές.
- Έτσι, οι περισσότεροι σύγχρονοι κώδικες συμβατικού αντισεισμικού σχεδιασμού στοχεύουν στο σχεδιασμό κατασκευών με τέτοιο τρόπο που να μπορούν να αποφύγουν οποιαδήποτε βλάβη σε ασθενείς σεισμικές διεγέρσεις, να αντέχουν σε σεισμικές διεγέρσεις μεσαίου μεγέθους με περιορισμένες βλάβες σε μη φέροντα στοιχεία και να περιορίζονται πρακτικά στην αποτροπή δομικής κατάρρευσης, αναπτύσσοντας όμως βλάβες σε φέροντα και μη φέροντα στοιχεία, σε ισχυρές σεισμικές διεγέρσεις.

- Δηλαδή, ο κύριος στόχος των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών είναι η πρόληψη σοβαρών δομικών αστοχιών και η αποφυγή ανθρώπινων απωλειών, και όχι ο περιορισμός των βλαβών και των λειτουργικών αστοχιών, σε περίπτωση ισχυρών σεισμών, οπότε είναι αποδεκτό και το ενδεχόμενο αναγκαίας κατεδάφισης της κατασκευής μετά το πέρας ενός πολύ ισχυρού σεισμού.
- Ουσιαστικά, οι βλάβες που προκαλούνται λόγω των ανελαστικών παραμορφώσεων κατά τη διάρκεια ισχυρών σεισμικών διεγέρσεων, συνιστούν την ασφαλιστική δικλείδα για την απόσβεση της τεράστιας σεισμικής ενέργειας που αναπόφευκτα εισέρχεται στην κατασκευή, λόγω της διέγερσης του εδάφους θεμελίωσης και του συντονισμού της κατασκευής με αυτήν, ώστε να μειωθεί η πιθανότητα κατάρρευσης της.

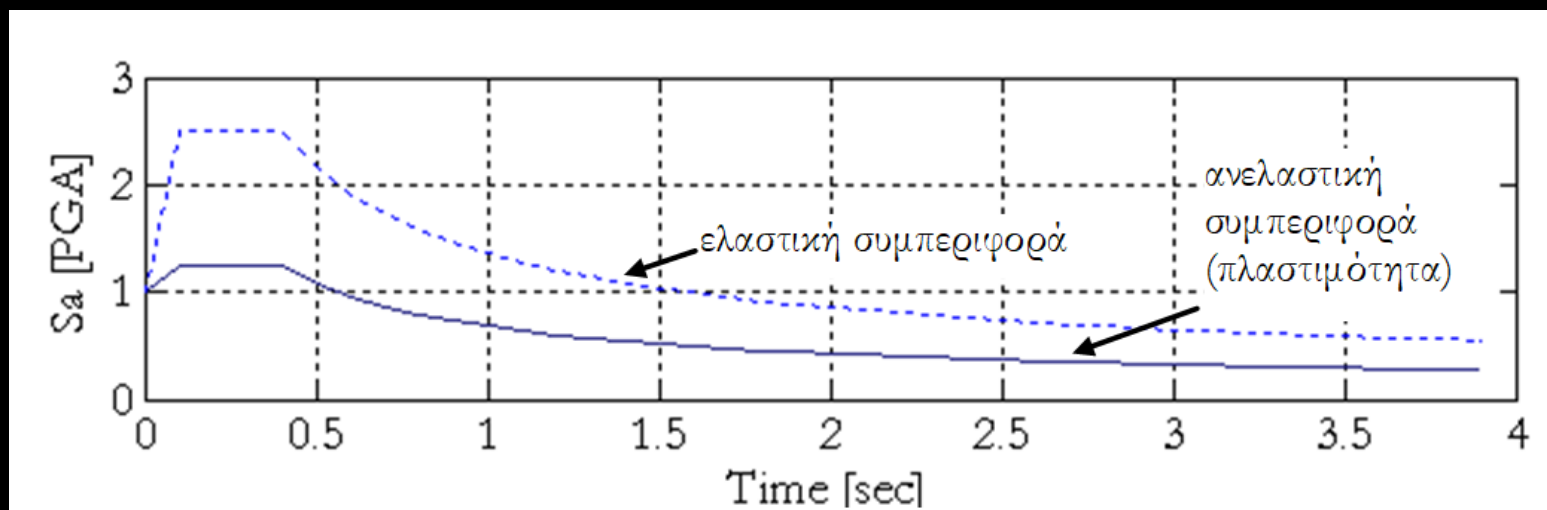
Eurocode 8 (EN 1998-1) - Fundamental Requirements:

Structures in seismic regions shall be designed and constructed in such a way that the following requirements are met, each with an adequate degree of reliability.

- **No-collapse requirement:** The structure shall be designed and constructed to withstand the design seismic action defined in Section 3 without local or global collapse, thus retaining its structural integrity and a residual load bearing capacity after the seismic events.
- **Damage limitation requirement:** The structure shall be designed and constructed to withstand a seismic action having a larger probability of occurrence than the design seismic action, without the occurrence of damage and the associated limitations of use, the costs of which would be disproportionately high in comparison with the costs of the structure itself.

- Με την επιλεκτική διαρροή κάποιων δομικών στοιχείων με συγκεκριμένη ανελαστική συμπεριφορά επιτυγχάνεται η υστερητική απόσβεση σεισμικής ενέργειας, όταν η κατασκευή υπόκειται σε διαδοχικούς κύκλους ανελαστικών παραμορφώσεων.
- Διενεργώντας ελαστική ανάλυση, η ενέργεια που αναλώνεται λόγω ανελαστικών παραμορφώσεων λαμβάνεται έμμεσα, αλλά σχετικά προσεγγιστικά, υπόψη μέσω κάποιου μειωτικού συντελεστή που σχετίζεται με τη μετελαστική συμπεριφορά των δομικών στοιχείων.
- Συγκεκριμένα, στον Ευρωκώδικα 8, η μείωση επιτυγχάνεται με την εισαγωγή του συντελεστή συμπεριφοράς q , ο οποίος αντιστοιχεί σε μια προσέγγιση του λόγου των σεισμικών δυνάμεων στις οποίες θα υποβαλλόταν ο φορέας εάν η απόκρισή του ήταν απεριόριστα ελαστική με λόγο ιξώδους απόσβεσης ίσο με 5%, προς τις σεισμικές δυνάμεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη μελέτη, με ένα συμβατικό προσομοίωμα ελαστικής ανάλυσης, εξασφαλίζοντας όμως ικανοποιητική απόκριση του φορέα.

- Οι περισσότεροι αντισεισμικοί κανονισμοί για να ορίσουν την εδαφική επιτάχυνση, υπό την οποία θα πραγματοποιηθεί η φασματική ανάλυση μιας κατασκευής, κάνουν χρήση των ανελαστικών φασμάτων σχεδιασμού, τα οποία είναι απομειωμένα σε σχέση με τα ελαστικά, με την απομειώσις να αντιστοιχούν στη σεισμική ενέργεια που μπορεί να αποσβεστεί λόγω πλαστιμότητας, δηλαδή αποδοχής κάποιου επίπεδου ζημιών.



- Συνεπώς, οι πλείστοι κώδικες συμβατικού αντισεισμικού σχεδιασμού δε βασίζονται στα πραγματικά οριζόντια φορτία στα οποία θα πρέπει να αντισταθεί μια κατασκευή ώστε να παραμείνει ελαστική, αλλά σε απομειωμένα φορτία τα οποία μπορεί να αναλάβει η κατασκευή με επιθυμητές ανελαστικές παραμορφώσεις και αυξημένες μετακινήσεις που να μην προκαλούν όμως την κατάρρευσή της.
- Λαμβάνοντας υπόψη κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες, οι ανελαστικές παραμορφώσεις και οι βλάβες συγκεκριμένων δομικών μελών θεωρούνται αποδεκτές, υπό τις προϋποθέσεις πως η ανελαστική συμπεριφορά έχει όλκιμο χαρακτήρα και πως δε διακυβεύεται η ακεραιότητα της κατασκευής κατά τη διάρκεια και αμέσως μετά το τέλος της δράσης ενός ισχυρού σεισμού, ώστε να αποφεύγονται ανθρώπινες απώλειες.
- Η δε επιθυμητή ικανότητα σε πλαστιμότητα της κατασκευής επιτυγχάνεται μέσω ειδικών σχεδιαστικών προνοιών και κατασκευαστικών πρακτικών, οι οποίες καθορίζονται από τους αντίστοιχους κώδικες αντισεισμικού σχεδιασμού.

- Έτσι, ο κλασικός αντισεισμικός σχεδιασμός ΔΕΝ εξασφαλίζει την, εσφαλμένα αναμενόμενη από το μέσο πολίτη, ικανότητα των κατασκευών για να αποκριθούν ικανοποιητικά σε οποιαδήποτε ισχυρή σεισμική διέγερση χωρίς βλάβες.
- Σε αντίθεση με την επικρατούσα κοινωνική αντίληψη, είναι πιθανόν, αλλά και επιτρεπτό, να αναπτυχθούν σημαντικές βλάβες στο φέροντα οργανισμό μιας κτηριακής κατασκευής αλλά και σε μη φέροντα στοιχεία κατά τη διάρκεια ενός ισχυρού σεισμού.
- Είναι σημαντική η κατανόηση αυτού του δεδομένου από τους μηχανικούς και η αντίστοιχη ενημέρωση του αγοραστικού κοινού, ώστε να μη βασίζεται στην εσφαλμένη εντύπωση για δήθεν απόλυτα διασφαλισμένες άτρωτες κατασκευές έναντι οποιασδήποτε ισχυρής σεισμικής διέγερσης όταν αυτές σχεδιαστούν, αναλυθούν και διαστασιοποιηθούν βάσει ενός σύγχρονου αντισεισμικού κανονισμού.

- Δυστυχώς, το κοινό πληροφορείται για τους περιορισμούς του συμβατικού αντισεισμικού σχεδιασμού μόνο μετά από καταστροφικά γεγονότα, έχοντας δηλαδή βιώσει τις ολέθριες συνέπειες μια σεισμικής δόνησης.
- Εφόσον το κοινό αγνοεί τους περιορισμούς και αδυναμίες του συμβατικού αντισεισμικού σχεδιασμού, δεν δέχεται εύκολα την υιοθέτηση καινοτόμων μεθόδων σχεδιασμού, οι οποίες προϋποθέτουν κάποιο επιπλέον αρχικό κόστος, έστω και εάν αυτές οι επιπλέον δαπάνες είναι ασήμαντες, σε σχέση τόσο με το κόστος άλλων διακοσμητικών στοιχείων της κατασκευής όσο και της ζημιάς που μπορεί να αποφευχθεί σε περίπτωση ισχυρού σεισμού.
- Άλλωστε, η υπάρχουσα εμπειρία καταδεικνύει πως, πέραν από το σημαντικό κίνδυνο απωλειών και καταστροφής ανθρώπινων ζωών, σε ένα πολύ ισχυρό σεισμό, το κόστος επιδιόρθωσης σεισμικά βλαμμένων κτηρίων ενδέχεται να είναι ιδιαίτερα υψηλό, ενώ οι εργασίες επιδιόρθωσης είναι χρονοβόρες και ίσως να απαιτούν εκκένωση του κτηρίου από τους ενοίκους.

- Κατά συνέπεια, είναι προφανής η ανάγκη, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη σεισμική δραστηριότητα, για μια εναλλακτική φιλοσοφία αντισεισμικού σχεδιασμού, επικεντρωμένη στον περιορισμό, ή αν είναι εφικτό στην πλήρη αποτροπή, των βλαβών και στη μείωση μακροπρόθεσμων δαπανών που συνεπάγονται οι επιδιορθώσεις τυχόν βλαβών μετά από τη δράση ισχυρών σεισμικών διεγέρσεων.
- Μπορεί αυτό να είναι εφικτό;
 - Ναι, με τη χρήση σεισμικής μόνωσης, η οποία σε αντίθεση με αυτή του συμβατικού αντισεισμικού σχεδιασμού, ο οποίος προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει τις συνέπειες των αναπόφευκτα, λόγω συντονισμού, μεγάλων σεισμικών φορτίων σε περίπτωση ισχυρής σεισμικής διέγερσης, βασίζεται στην τροποποίηση των δυναμικών χαρακτηριστικών της κατασκευής, ώστε, αποτρέποντας το φαινόμενο του συντονισμού, να περιοριστούν σημαντικά οι επιταχύνσεις στην ανωδομή και τα εισερχόμενα σεισμικά φορτία.
 - Περισσότερα στην επόμενη διάλεξη:
 - **Εισαγωγή στη Σεισμική Μόνωση**

- <https://www.hurriyetdailynews.com/seismic-isolation-devices-prevent-damage-in-four-hospitals-180830>
- 4 νοσοκομεία (Elbistan State Hospital, Hatay Dörtyol State Hospital, Malatya Battalgazi State Hospital και το Maternity and Children's Hospital στη Malatya) δεν είχαν την παραμικρή ζημιά, χάρις στο σύστημα σεισμικής μόνωσής τους.



<https://www.youtube.com/watch?v=XPpzX75iOzk>