

Γη



ύδωρ



χρόνος



και  
εμείς

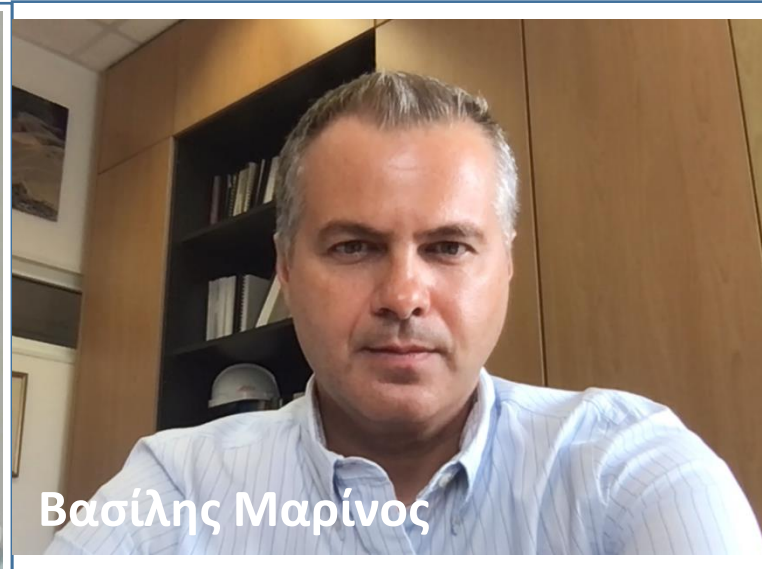


**Γεωλογία (1<sup>ο</sup> εξάμηνο), Υδρολογία (5<sup>ο</sup> εξάμηνο)  
και οι χρονικές κλίμακες των έργων Πολιτικού Μηχανικού (ΠΜ)**

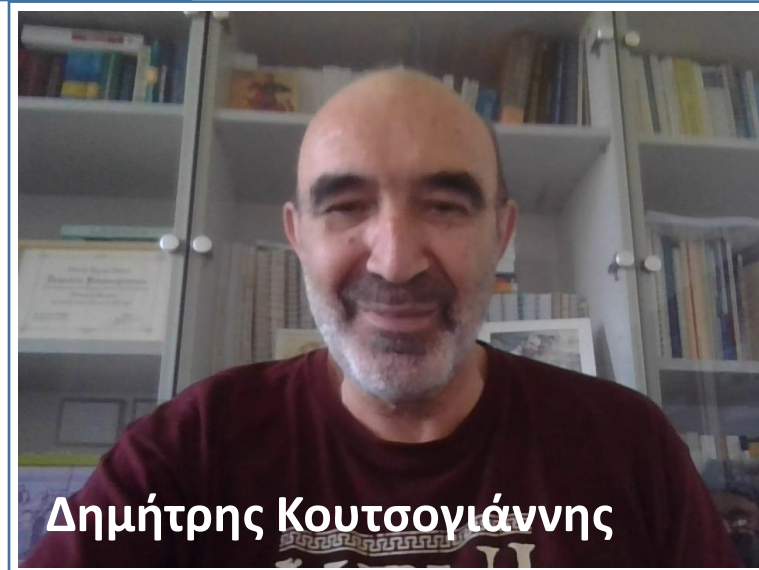
Μαρίνα Πανταζίδου, Χάρης Σαρόγλου, Βασίλης Μαρίνος, Άνυ Ηλιοπούλου, Δημήτρης Κουτσογιάννης  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)

## Μια ομιλία – καλωσόρισμα στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ

- για τους πρωτοετείς της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών (ΠΜ)
- για τελιόφοιτους Λυκείου με ενδιαφέρον για σπουδές πολιτικού μηχανικού



**οι  
συντελεστές  
της ομιλίας**



# **Ενότητα 1. ζωή/ηλικία έργων πολιτικού μηχανικού**

## Πόσο ζουν τα έργα πολιτικού μηχανικού;

- Ρωτάμε: Για πόσα χρόνια είναι σχεδιασμένα να συμπεριφερθούν με έναν προκαθορισμένο επιθυμητό τρόπο;

**Παρατήρηση:** Όταν τα έργα μας δεν συμπεριφέρονται με έναν προκαθορισμένο επιθυμητό τρόπο λέμε ότι «αστοχούν». Η αστοχία είναι ο πιο γενικός όρος. Π.χ. ένα κτήριο λέμε ότι αστόχησε όταν εμφανίσει ρωγμές πέραν του αποδεκτού, δεν χρειάζεται να καταρρεύσει.

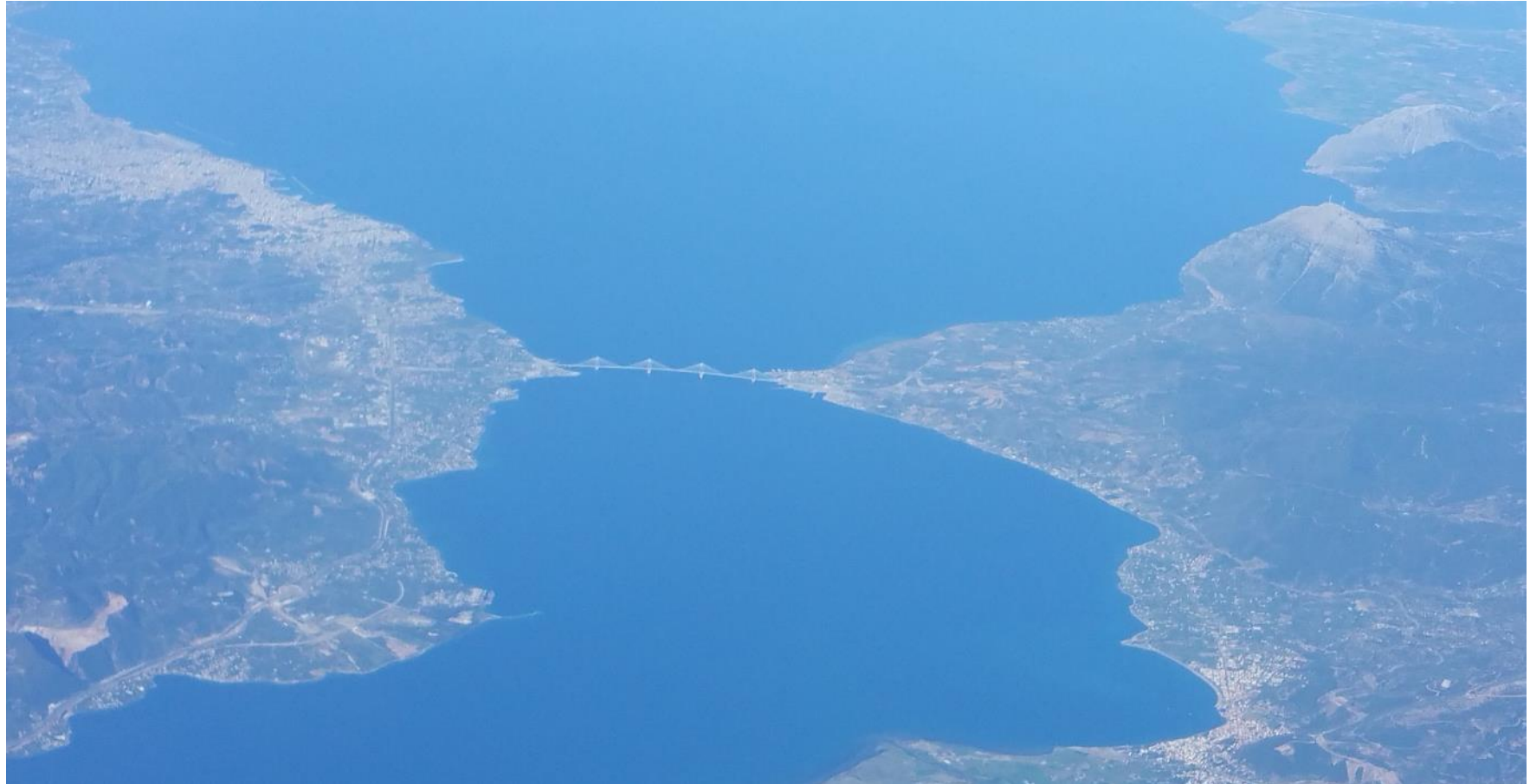
- Το ίδιο ερώτημα σε γλώσσα πολιτικού μηχανικού: Ποια η ωφέλιμη διάρκεια ζωής ενός έργου;

## Πόσο ζει ένα κτήριο;

- Γνωστός σας έμαθε ότι μπήκατε στη Σχολή ΠΜ και σας ρωτάει πόσο ζει ένα σπίτι. Τι απαντάτε; (μία απάντηση ή παραπάνω)
  - 50 χρόνια
  - 100 χρόνια
  - 200 χρόνια
  - εξαρτάται από τη συντήρηση

# Ζωή έργων πολιτικού μηχανικού συγκρίσιμη με ανθρώπινη ζωή

Τυπικά έργα  
Πολιτικού  
Μηχανικού  
σχεδιάζονται  
για 50 – 100  
χρόνια



50, 75, 100 χρόνια: ίδια τάξη μεγέθους = δεκαετίες

# Παραδείγματα από ιστορικά κτήρια - διατηρητέα της Αθήνας

<http://archaeologia.eie.gr/archaeologia/gr/arxeio.aspx>



Αιόλου 52 & Μιλτιάδου 26, Έτος: **1840-1850**



Φιλελλήνων 1 & Όθωνος, Έτος: **1917**, από σπλισμένο σκυρόδεμα



Λουκιανού 27 & Σπευσίππου, Έτος: **1930**



# Βρείτε την ηλικία ενός έργου πολιτικού μηχανικού!

Επιλέξτε ένα έργο πολιτικού μηχανικού στην Ελλάδα που σας κινεί το ενδιαφέρον



Κ. Βολανάκης, Εγκαίνια Διώρυγας Κορίνθου (Συλλογή ΤτΕ)

- Θα χαρούμε να μας συστήσετε το αγαπημένο σας έργο. Αν θέλετε, μας στέλνετε ([mpanta@central.ntua.gr](mailto:mpanta@central.ntua.gr)) τις σχετικές πληροφορίες:
  - (α) ποιο το έργο;
  - (β) τοποθεσία με αρκετή ακρίβεια για να βρεθεί από άλλον
  - (γ) ηλικία έργου
  - (δ) πού βρήκατε την ηλικία; (πηγή)

## Σε ποια χρονική κλίμακα σκέφτεται ο πολιτικός μηχανικός;

- Διάρκεια τυπικών έργων πολιτικού μηχανικού: πολλές δεκαετίες
- Αρκεί να σκεφτόμαστε σ' αυτήν τη χρονική κλίμακα;
- Και ναι και όχι
- Γιατί όχι;
- Ας σκεφτούμε την ηλικία όλων των υλικών που εμπλέκονται στα έργα ΠΜ

## Τα έργα πολιτικού μηχανικού θεμελιώνονται στη γη – ποια η ηλικία της;

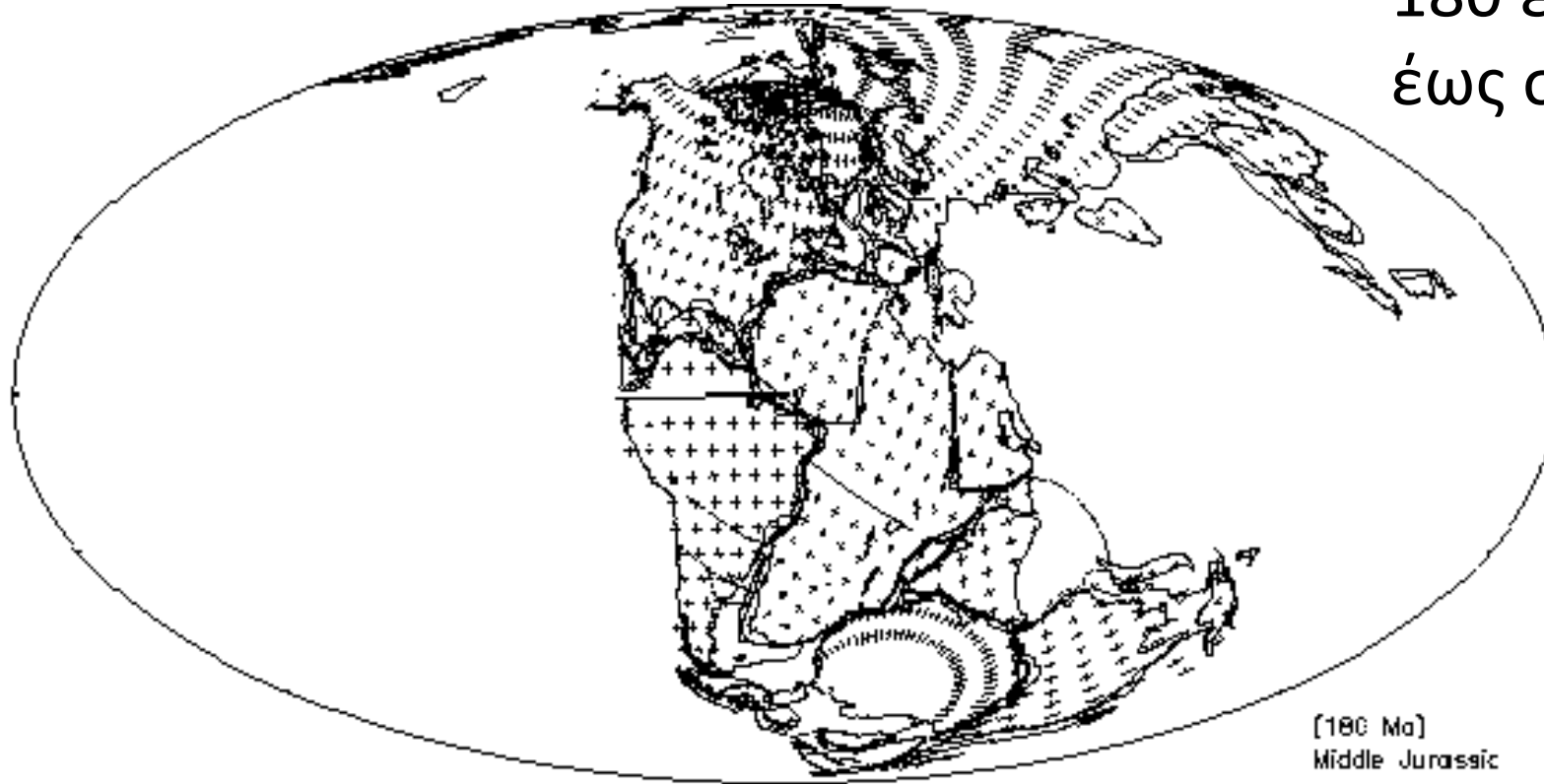
- Ποια η τάξη μεγέθους της ηλικίας της γης; Σημειώστε όλες τις απαντήσεις που σας φαίνονται σωστές, μία ή παραπάνω.
  - A. εκατομμύρια χρόνια
  - B. εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια
  - Γ. χιλιάδες εκατομμύρια χρόνια **[ΣΩΣΤΟ] 4 600 εκατομμύρια χρόνια**
  - Δ. εκατομμύρια εκατομμύρια χρόνια
  - Ε. δισεκατομμύρια χρόνια **[ΣΩΣΤΟ, ίδιο με Γ] 4.6 δισεκατομμύρια χρόνια**

Επειδή η Γη έχει μεγάλη ηλικία, συχνά δεν καταλαβαίνουμε ότι αλλάζει στο χρονικό παράθυρο της ζωής μας.

## **Ενότητα 2. Η γη ζει - Το γεωλογικό περιβάλλον και μεταβολές που συμβαίνουν στον γεωλογικό χρόνο**

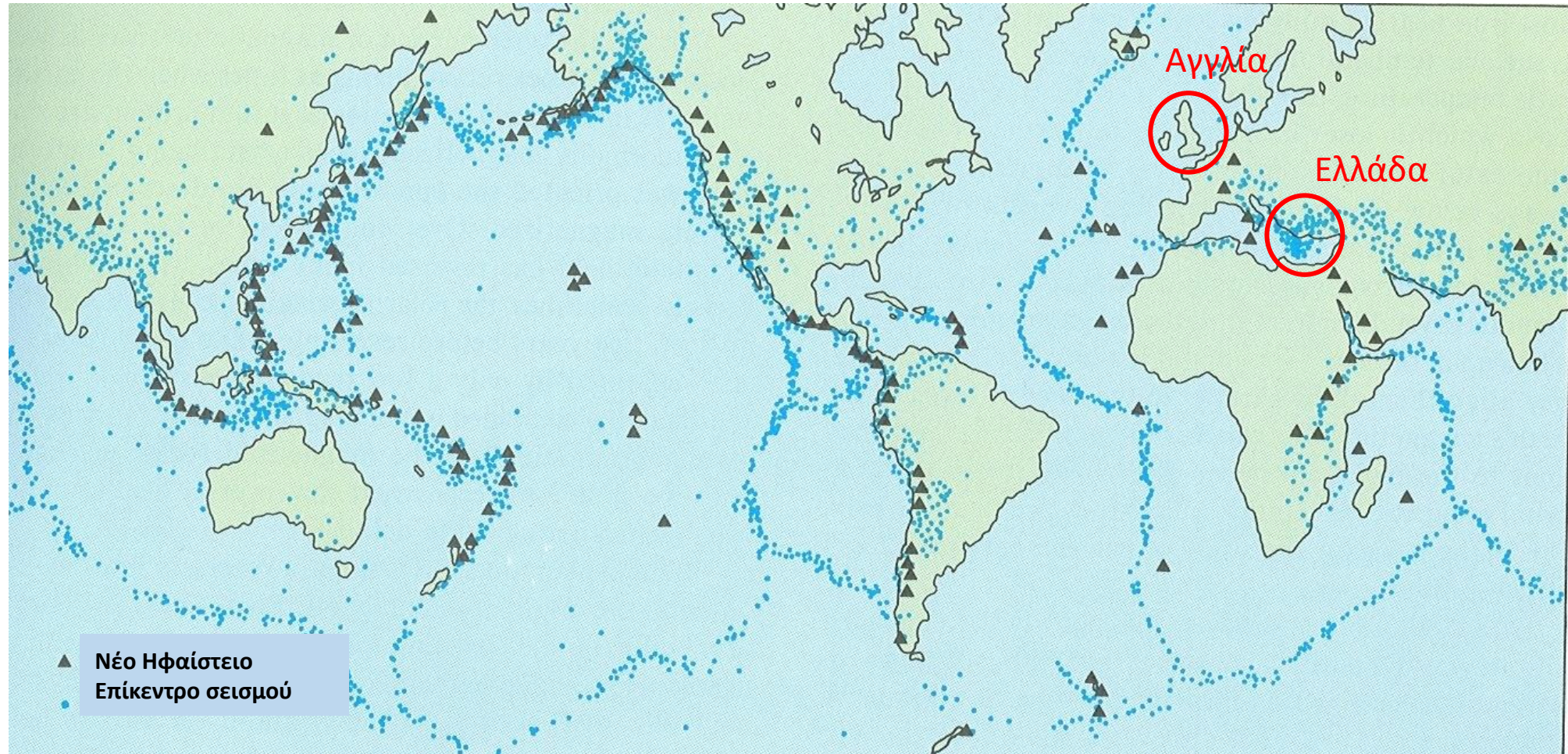
## Και όμως, κινείται

180 εκ χρόνια πριν  
έως σήμερα



Το ανώτερο «στερεό» στρώμα της γης αποτελείται από διακριτές (λιθοσφαιρικές) πλάκες που επιπλέουν στο ημίρρευστο εσωτερικό της πλησιάζοντας ή απομακρυνόμενες η μία από την άλλη

## Το γεωλογικό «σήμερα»



Τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών ορίζουν τη σεισμική και ηφαιστειακή δραστηριότητα στην επιφάνεια της Γης

# Δυο γεωλογικά περιβάλλοντα σε αντιπαράθεση

Αγγλία



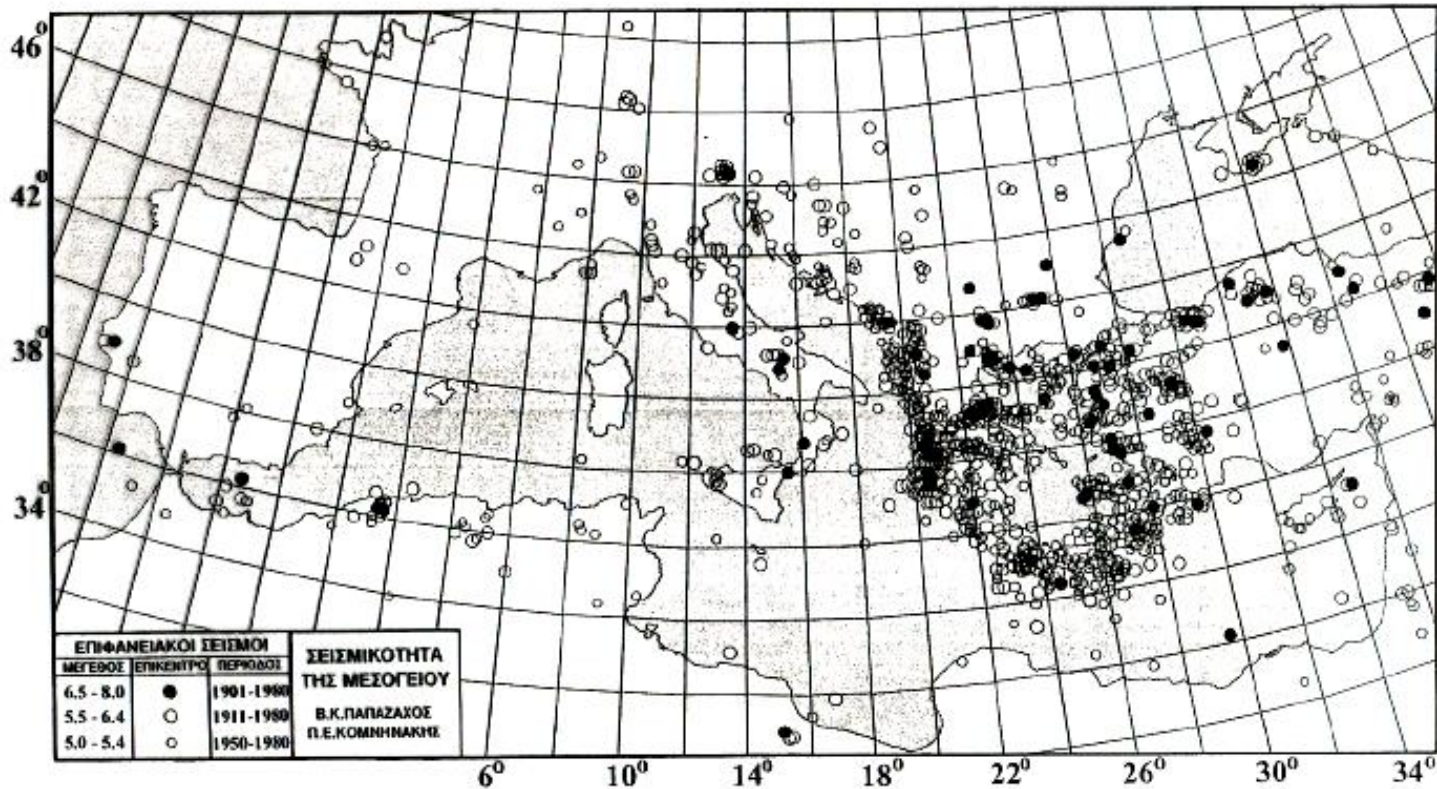
Ελλάδα



Το γεωλογικό περιβάλλον καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται και κατασκευάζονται τα έργα του ΠΜ

# Ας γνωρίσουμε ένα «ενεργό» γεωλογικό περιβάλλον

Υψηλή σεισμική δραστηριότητα στην Ελλάδα



Γεωγραφική κατανομή επικέντρων επιφανειακών σεισμών (βάθος < 60 km) στην περιοχή της Μεσογείου (περίοδος 1901 – 1978)

Parazachos & Comninakis (1978)



Το χωριό Βρίσα καταστράφηκε ολοσχερώς



## Και ένα λιγότερο «ενεργό» γεωλογικό περιβάλλον

Η Αγγλία έχει πολύ μικρή (μηδενική) σεισμική δραστηριότητα

Αλλά έχει **άλλα γεωλογικά προβλήματα**: Υποχώρηση της ακτογραμμής

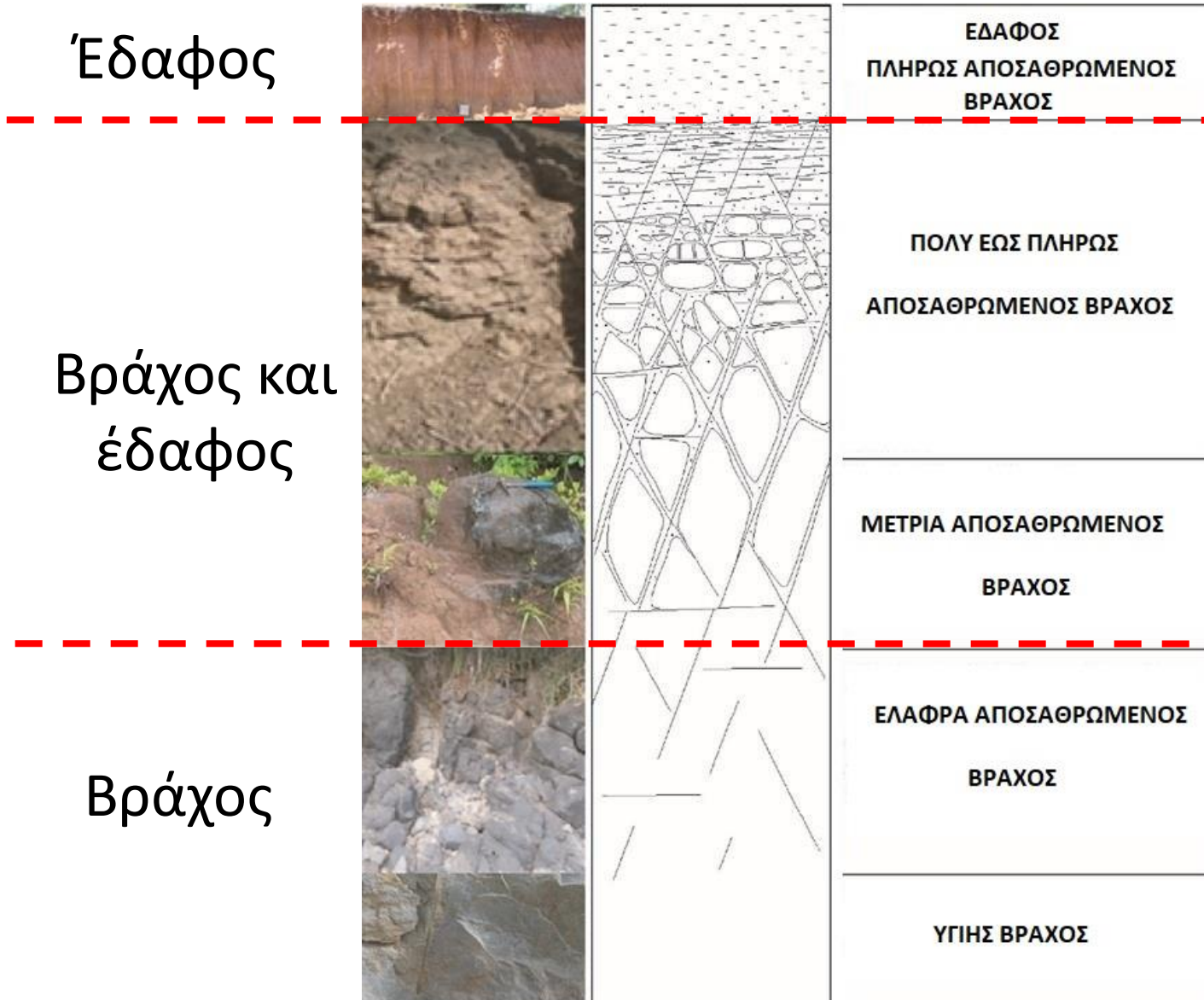
Η ακτογραμμή της νότιας Αγγλίας υποχωρεί με ρυθμό **μεταξύ 0.5 και 1.0 μέτρου ανά έτος τα τελευταία 100 χρόνια** (DEFRA, 2002)



# Ποια η σχέση του βράχου με το έδαφος;

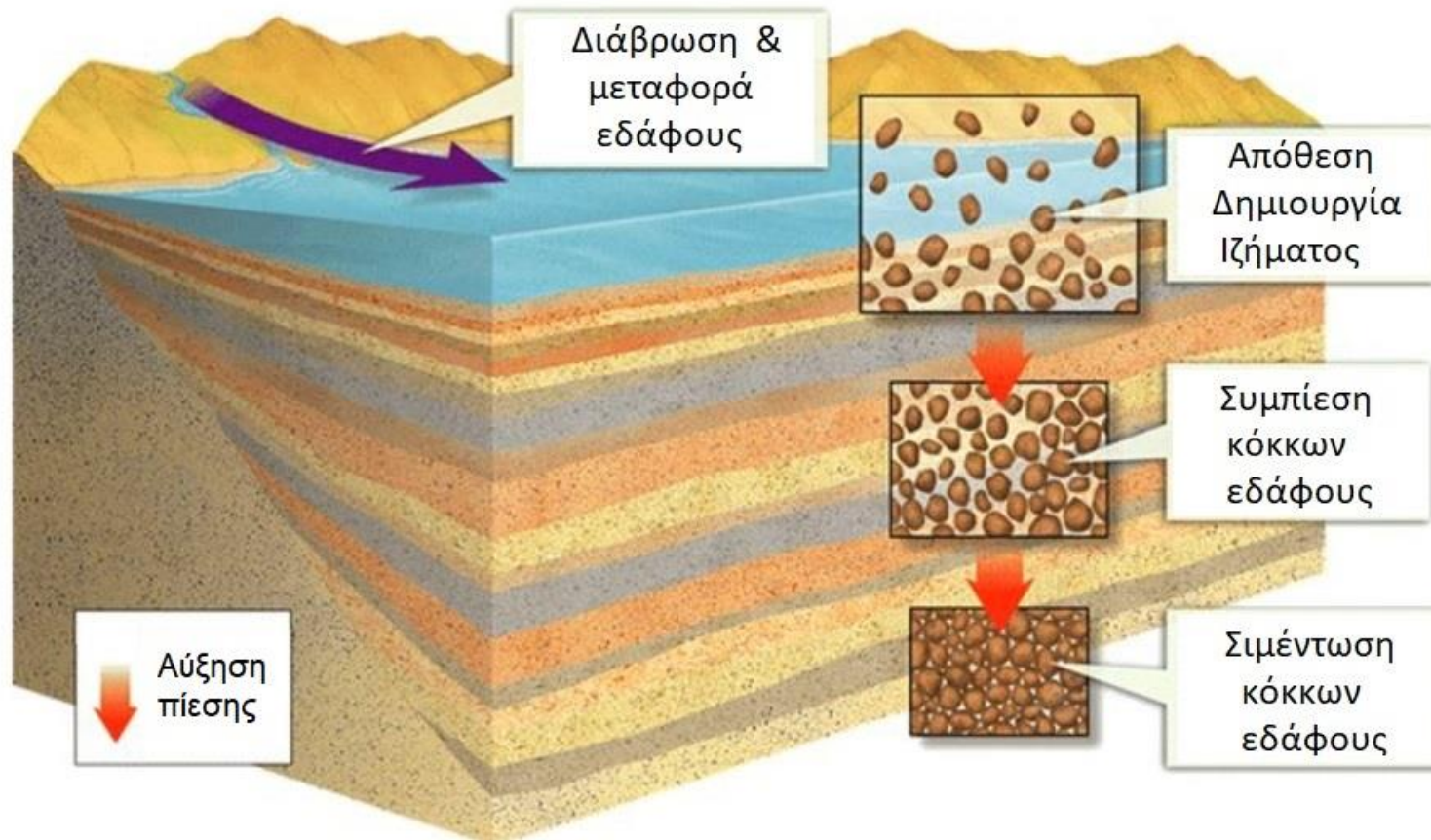


# Δημιουργία εδάφους από βράχο: Χρονική κλίμακα



Ο χρόνος που απαιτείται είναι της τάξης κάποιων εκατοντάδων έως χιλιάδων ετών (100δες – 1000δες χρόνια)

# Δημιουργία βράχου από έδαφος: Χρονική κλίμακα



Ο χρόνος που απαιτείται για τη λιθογένεση ή «βραχοποίηση» είναι της τάξης εκατοντάδων χιλιάδων μέχρι και εκατομμυρίων χρόνων (100 000δες – 1000 000α χρόνια)

Η «βραχοποίηση» του εδάφους πολύ πιο αργή διαδικασία από την «εδαφοποίηση» του βράχου.

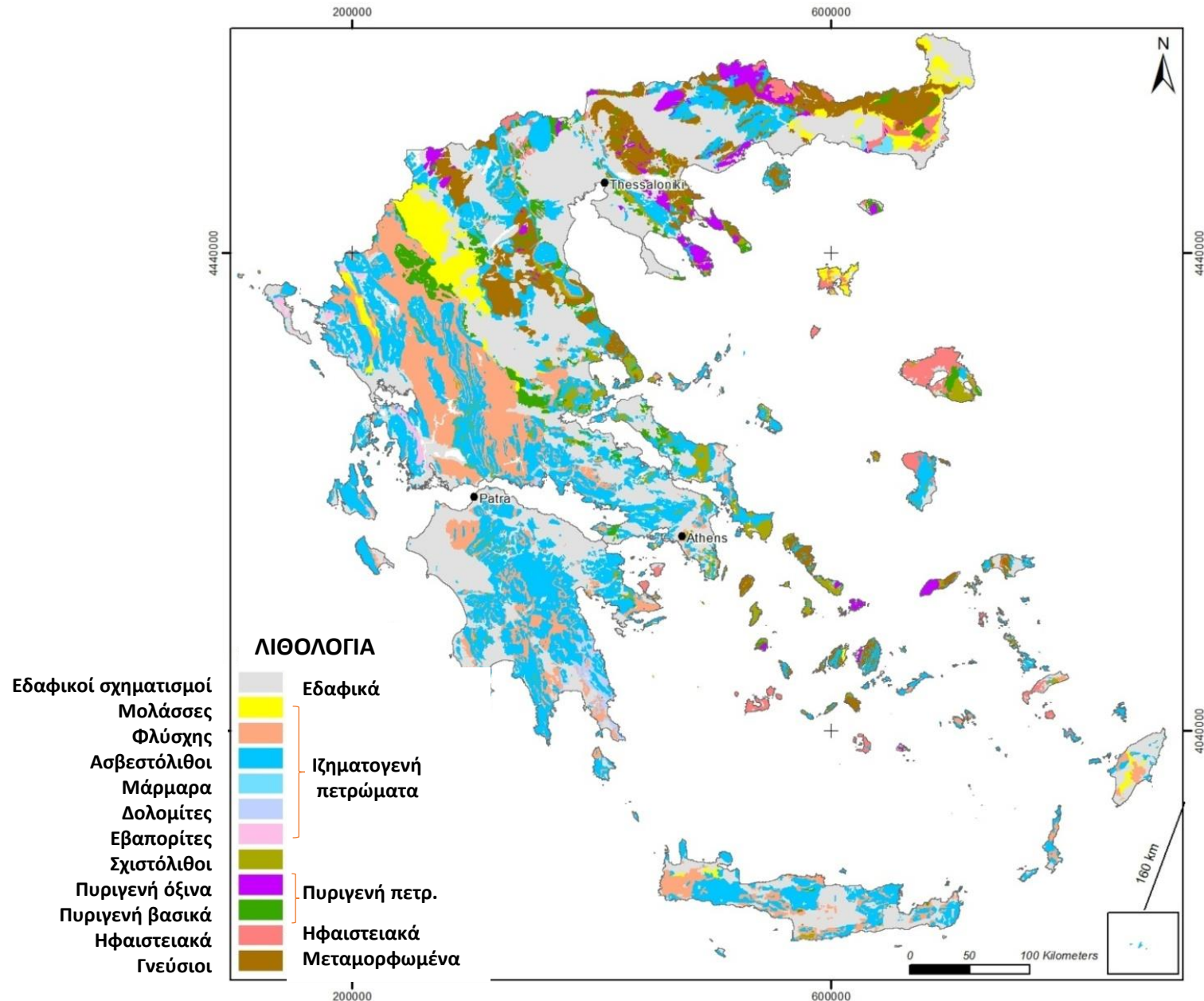
Σημείωση:

Η διαδικασία δημιουργίας βράχου από το έδαφος αφορά τα κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα

## Βράχος & έδαφος στην Ελλάδα;

- Η Ελλάδα χαρακτηρίζεται περισσότερο από έδαφος ή από βράχο;
  - Περισσότερο έδαφος
  - Περισσότερο βράχο
  - Περίπου ίσα

# Βράχος & έδαφος στην Ελλάδα



Εμφάνιση βραχωδών  
σχηματισμών στην  
επιφάνεια σε ποσοστό 70%  
(γκρι = έδαφος 30%)

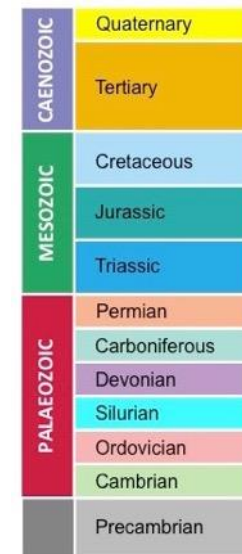
(Saroglou 2019)

## **Ενότητα 3. Τα έργα Π.Μ. μέσα στον «Γεωλογικό χρόνο»: Μια «δυναμική» σχέση**

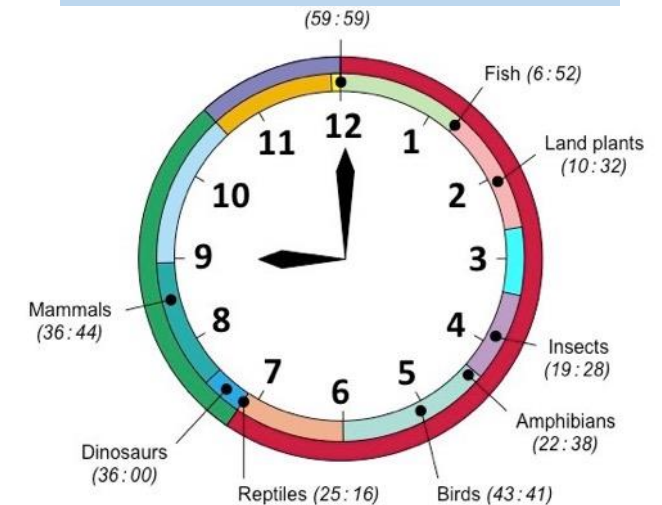
# Γεωλογικές διεργασίες μόνο σε “slow motion”?

- Οι γεωλογικές διεργασίες διαρκούν συνήθως πολλές χιλιάδες ή και εκατομμύρια χρόνια.
- Μπορούν όμως να αλλάξουν ραγδαία κατά τη διάρκεια ζωής των έργων Π.Μ.;
- Ναι μπορούν σε ορισμένες περιπτώσεις:
  - Με ένα σεισμό
  - Με ταχεία πρόσφατη ιζηματογένεση
  - Με μια κατολίσθηση

Geological Periods



Άνθρωπος: 59:59



ib.bioninja.com.au



# Σεισμικότητα και έργα Π.Μ.: Πώς μπορούν να συνυπάρχουν τα έργα με ενεργά ρήγματα που δίνουν σεισμούς;

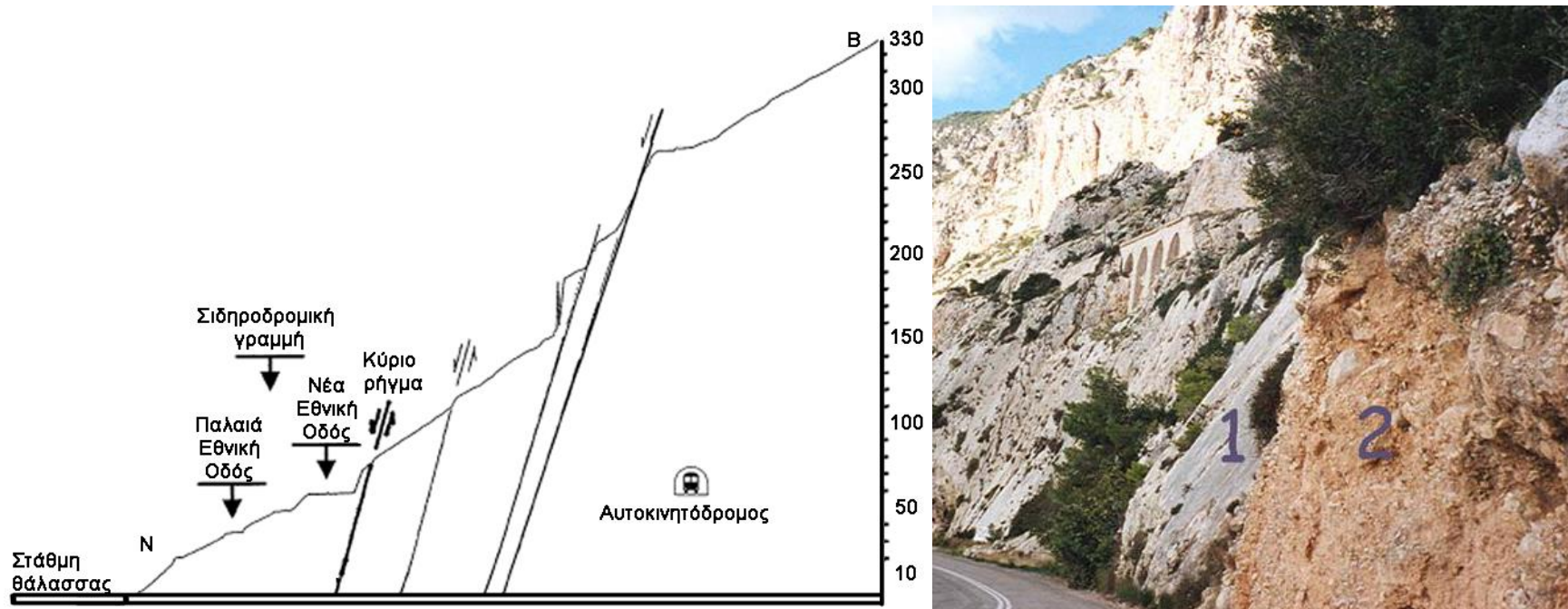
**Η πρόκληση:** Να κατασκευάσουμε σειρά από μεγάλα τεχνικά έργα σε ένα πολύ απότομο ανάγλυφο, σε περιοχή ενεργών σεισμικών ρηγμάτων.



- Πετρώματα πολύ παλιά (εκατ. χρόνια)
  - Όμως σε «πρόσφατο» ανάγλυφο
- Ο γκρεμός της Κακιάς Σκάλας δημιούργημα σεισμικών ρηγμάτων

## Έργα Π.Μ. σε περιβάλλον ενεργών ρηγμάτων

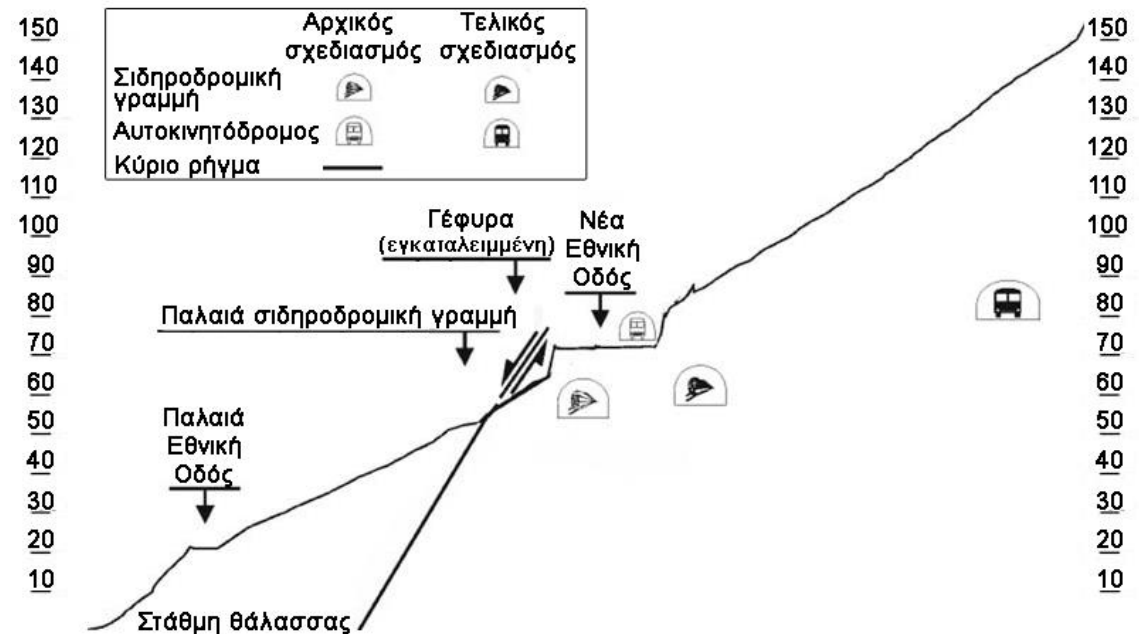
- Τα έργα μας: Νέα Εθνική Οδός (αυτοκινητόδρομος) + Νέος Σιδηρόδρομος Υψηλών ταχυτήτων + Παλαιά εθνική οδός. Πώς χωράνε σε αυτό το απότομο ανάγλυφο;
- Η πρώτη μας σκέψη: Να μην κάνουμε σήραγγες που κοστίζουν περισσότερο αλλά γέφυρες και ορύγματα



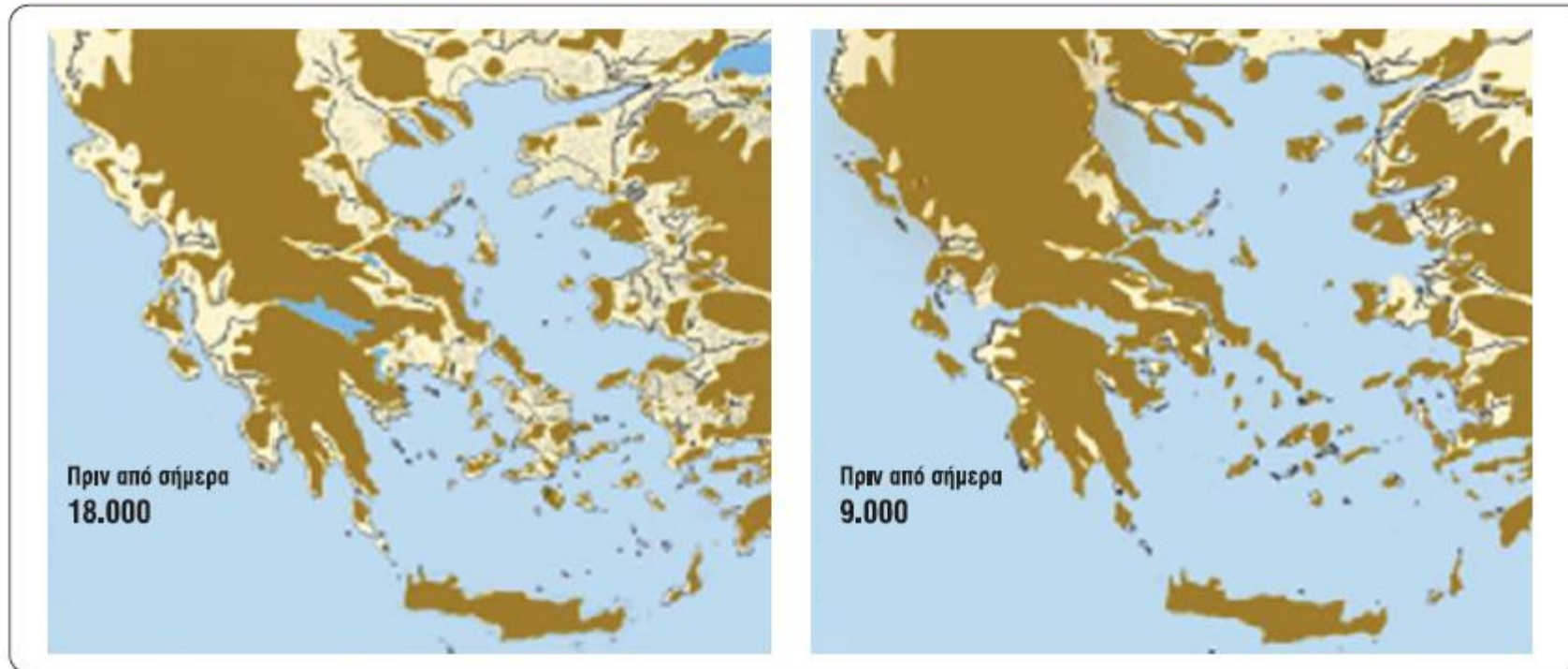
*Rondoyanni & Marinou, 2008*

# Χάραξη γραμμικών έργων Π.Μ.: Αποφυγή σεισμικών ρηγμάτων ή σχεδιασμός με τη μέγιστη αναμενόμενη σχετική μετακίνηση

- Η γεωλογική έρευνα έδειξε ότι τα βάρθρα της γέφυρας θα ήταν πάνω στα ρήγματα
- Αλλαγή της χάραξης: Αποφυγή των σεισμικών ρηγμάτων με σήραγγες
- Δεν θα «κόψουμε» κάπου το σεισμικό ρήγμα; Πιθανώς ναι και εκεί πρέπει να σχεδιάσουμε κατάλληλα



# Ταχεία ιζηματογένεση και μεταβολές της στάθμης της θάλασσας στην «σύγχρονη - γεωλογικά - εποχή»



Γεωμορφολογική απεικόνιση της Ελλάδας κατά την έναρξη της τελευταίας ανόδου της στάθμης της θάλασσας (πριν από 18.000 χρόνια) και λίγο μετά την έναρξη του Ολόκαινου (10 χιλ. χρόνια) (Van Andel & Shackleton, 1982)

# Πρόσφατη ιζηματογένεση: Οι «επεισοδιακές» πρόσφατες προσχώσεις στον Μαλιακό κόλπο και η αλληλεπίδραση με τα νέα έργα του αυτοκινητοδρόμου

- «Στενό Θερμοπυλών»: Την περιοχή την γνωρίζετε πολύ καλά από την ιστορία μας.
- Δεν είναι όμως πια στενό! Η μάχη ξέρουμε ότι έγινε το 480 π.Χ. Άρα πέρασαν 2500 χρόνια. από τότε. Πώς γίνεται να «γέμισε» η περιοχή αυτή με έδαφος και η θάλασσα να βρίσκεται πλέον μακριά και όχι δίπλα στον βράχο;
- Αυτή η γρήγορη ιζηματογένεση τι πληροφορίες μας δίνει για την ποιότητα των εδαφών;

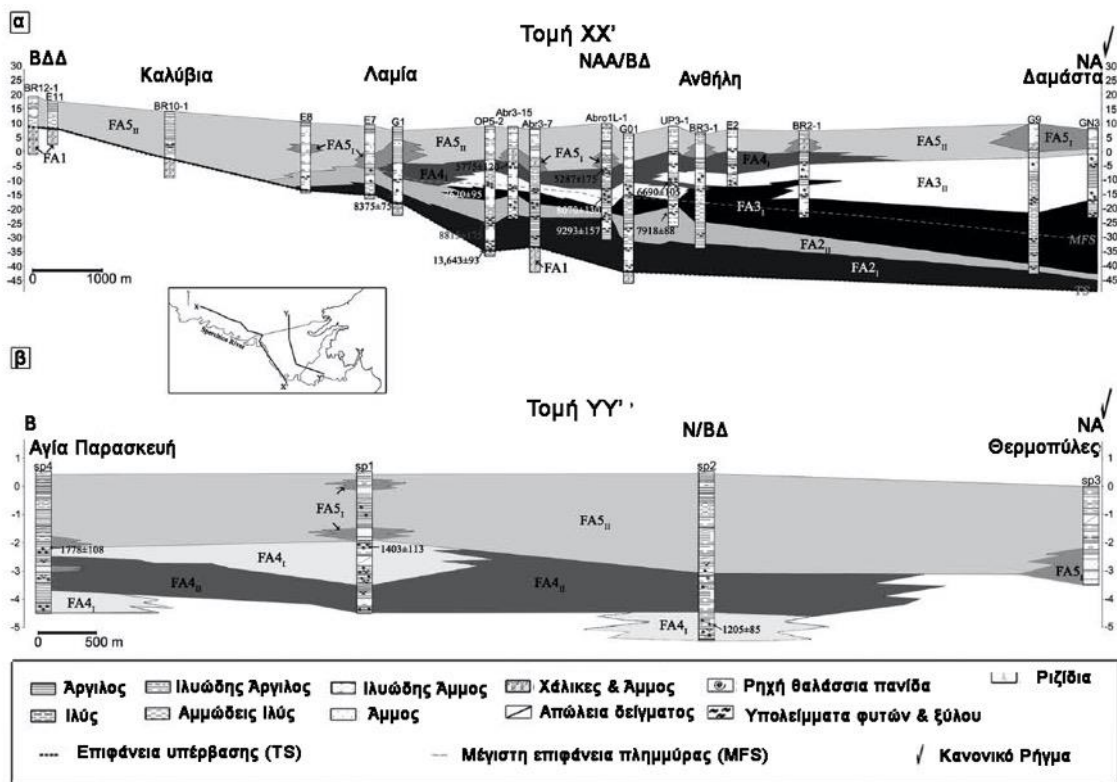


Σήμερα



# Πρόσφατη ιζηματογένεση και φύση εδαφών

- Ο Σπερχειός ποταμός μεταφέρει νέα ιζήματα σε κάθε πλημμυρικό επεισόδιο: «ακατάστατες» αποθέσεις από αργίλους, ιλύς, αμμοχάλικα και οργανικά υλικά
- Ο Μαλιακός κόλπος γεμίζει γρήγορα με ιζήματα κι έτσι αλλάζει συνεχώς η γραμμή της θάλασσας
- Γιατί αυτή η πλούσια παροχή ιζημάτων σε αυτή την περιοχή;



Pechlivanidou et al., 2014

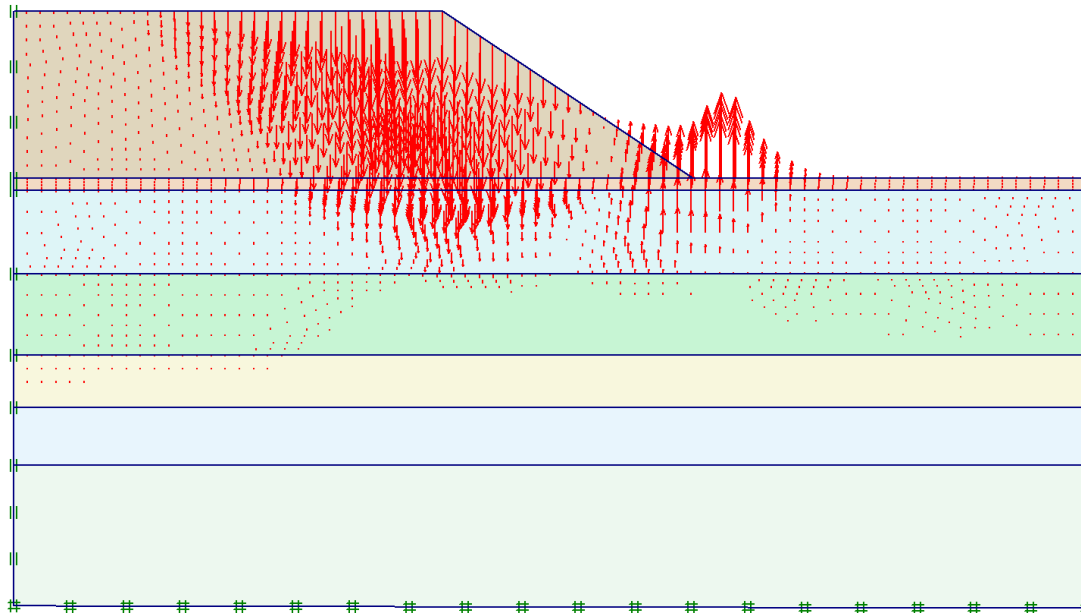


Vouvalidis et al., 2010

# Η προβληματική συμπεριφορά των πρόσφατων μαλακών και χαλαρών ιζημάτων και τα απαιτούμενα μέτρα βελτίωσης ποιότητας για τα έργα

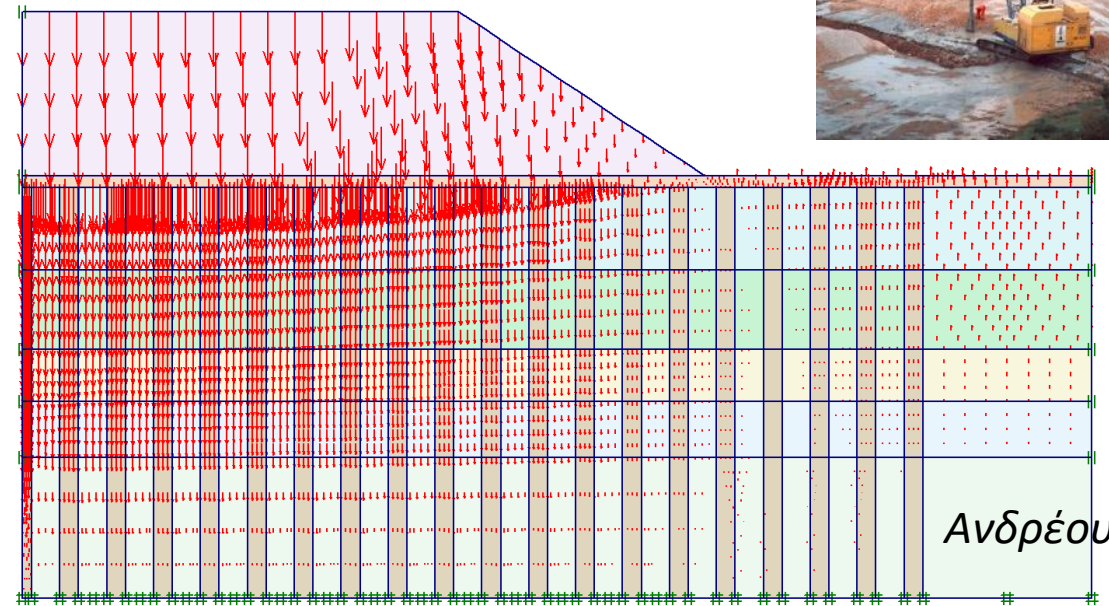
- Ο μεγαλύτερος αυτοκινητόδρομος της χώρας περνάει από τέτοια ιζήματα
- Βρίσκεται πάνω σε ένα επίχωμα
- Πώς γίνεται να μην «βουλιάξει» αφού δεν έχει προλάβει να συμπυκνωθεί;

Χωρίς μέτρα βελτίωσης

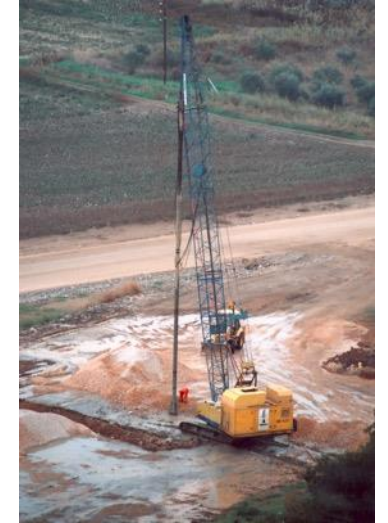


Υπολογισθείσες μετακινήσεις : 103 cm

Με μέτρα βελτίωσης εδάφους



Υπολογισθείσες μετακινήσεις : 21 cm



Ανδρέου, 2006

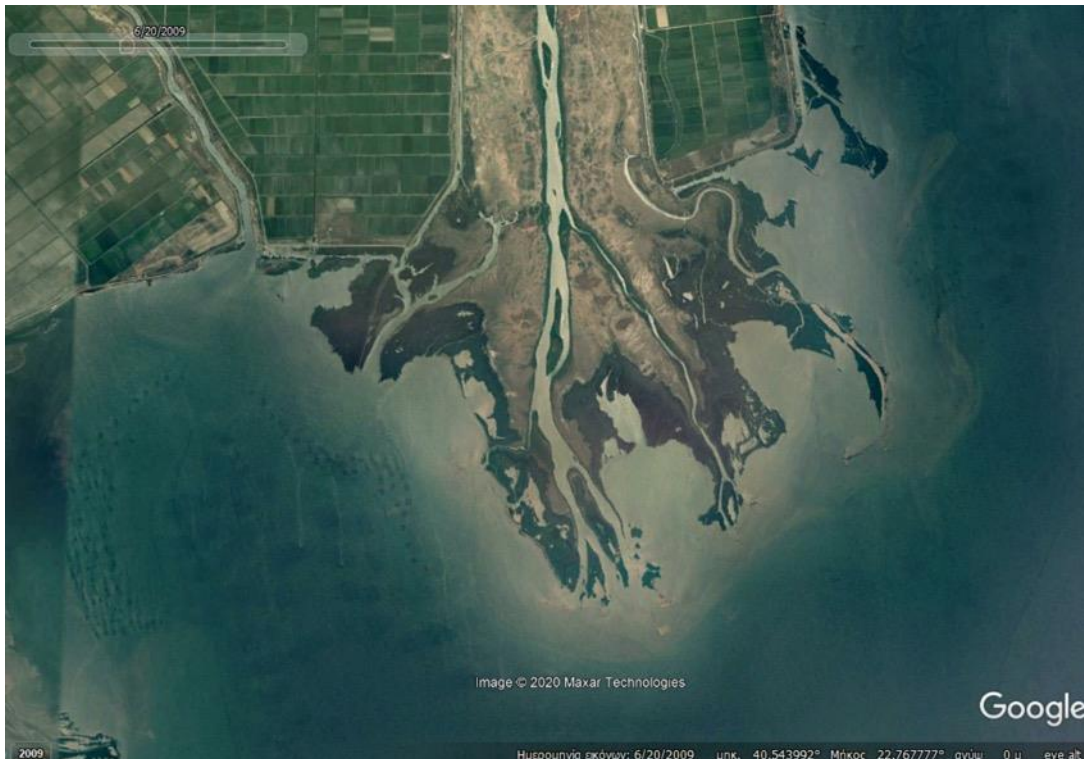
# Ιζηματογένεση και ανθρώπινες δραστηριότητες

- Μπορεί η ανθρώπινη δραστηριότητα να επηρεάσει την ιζηματογένεση μια περιοχής;
- Εδώ το παράδειγμα του δέλτα Αξιού ΠΡΙΝ και ΜΕΤΑ την οικονομική κρίση (ορυχεία άμμου)

2009

Δέλτα Αξιού

2019





# Κατολισθήσεις: οι «εκπλήξεις» που μπορεί να κρύβει η γεωλογία

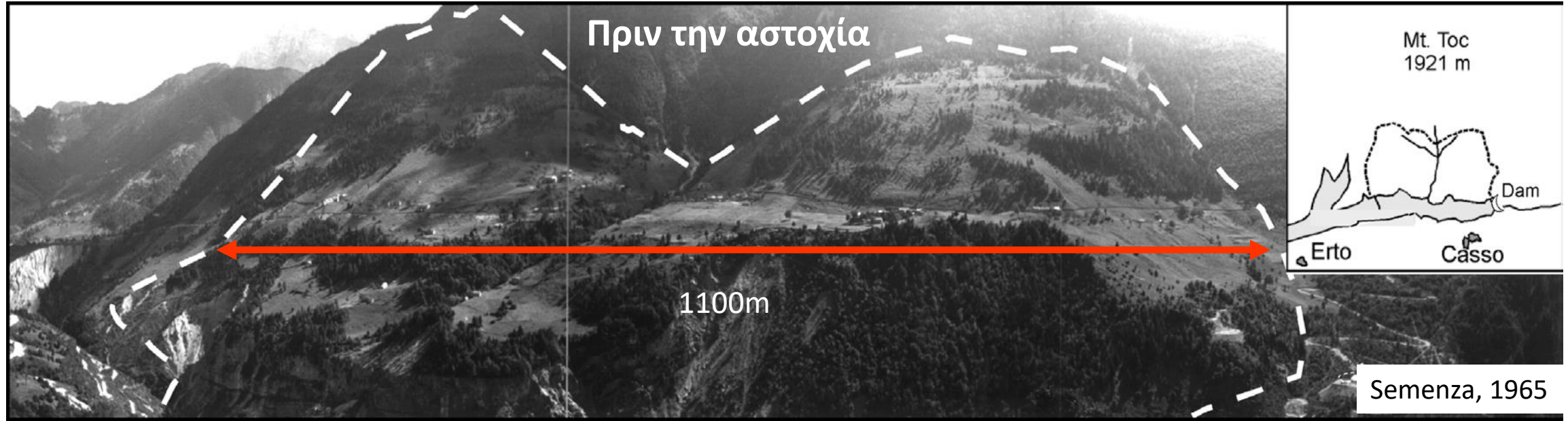
Η τραγικότερη και μεγαλύτερη αστοχία έργου Πολιτικού Μηχανικού ενώ η ίδια η κατασκευή δεν αστόχησε!



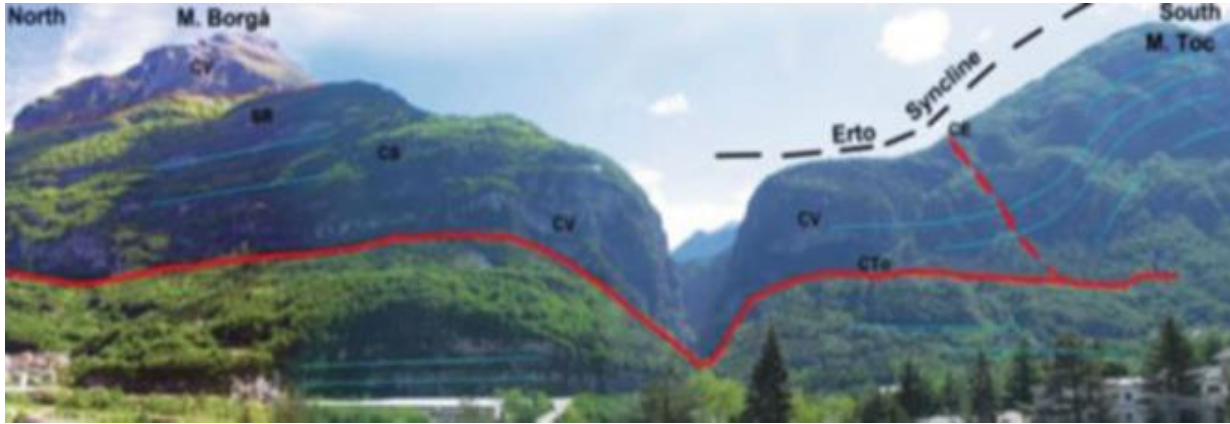
- Φράγμα Vajont: Τοξωτό, ύψους 262m
- Στις 9 Οκτωβρίου 1963 το έργο αστόχησε από γεωλογικά αίτια
- Γιγαντιαία κατολίσθηση σε πρανές του ταμιευτήρα, όγκου  $270 \times 10^6 \text{ m}^3$ , ταχύτητας 30 m/s
- 200m ύψος Τσουνάμι πάνω από τη στέψη του φράγματος προκάλεσε περίπου 2000 θανάτους

Card postal, από [flickr.com](https://www.flickr.com)

# Κατολίσθηση κλίμακας βουνού: Το έναυσμα, το έργο του Π.Μ.

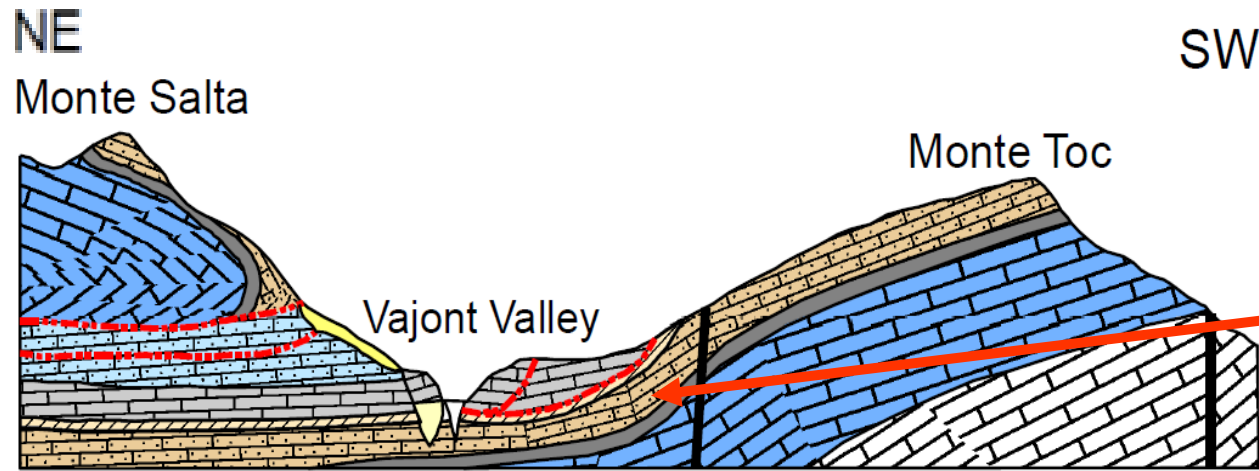


# Οι γεωλογικές «εκπλήξεις»: Μια παλαιά κατολίσθηση και μια ασθενής ζώνη



Superchi et al. 2013

- Γιατί φτιάχτηκε εκεί το φράγμα; Ένας εξαιρετικής αντοχής ασβεστόλιθος κατάλληλος για τοξωτό φράγμα.
- Η κατολίσθηση έγινε σε ένα από τα πιο σταθερά πετρώματα, τον ασβεστόλιθο.
- Όλο το βουνό του ασβεστόλιθου γλίστρησε πάνω σε μια ζώνη αργιλικής σύστασης σε βάθος περίπου 150m.



Semenza & Ghirotti, 2000



Γεωλογία: συμπαγείς ασβεστόλιθοι αλλά με μαλακή ενδιάστρωση αργιλικού στρώματος σε βάθος.

# Τα αίτια μιας κατολίσθησης: Συνήθως το υπόγειο νερό

- Μεγάλη μάζα παλαιάς κατολίσθησης που επαναδραστηριοποιήθηκε
- Η παρουσία αργιλικής ζώνης μέσα στον συμπαγή ασβεστόλιθο με δυσμενή γεωμετρία
- Η αύξηση της στάθμης οδήγησε σε ανάπτυξη τεράστιων υδατικών πιέσεων μέσα στο βράχο και κυρίως στην αργιλική ζώνη



# Οι δραματικές συνέπειες της κατολίσθησης και μια μεγάλη απορία

- Το τοξωτό φράγμα, έργο του Π.Μ. άντεξε τις μεγάλες πιέσεις και δεν καταστράφηκε!
- Ο όγκος νερού που εκτινάχθηκε (30 εκ. m<sup>3</sup>) προκάλεσε περίπου 2000 θανάτους και κατέστρεψε ολοσχερώς 5 χωριά

**Η απορία:** Γιατί δεν ερμηνεύτηκε σωστά από τις μετακινήσεις η ταχύτητα εξέλιξης της κατολίσθησης, ώστε να δοθεί εντολή εκκένωσης της περιοχής;

- Υπερεκτιμήθηκαν οι δυνατότητες του τεχνητού ελέγχου
- Εκτιμούσαν ότι η κατολίσθηση θα εξελιχθεί πιο αργά

**Από το Vajont κρατάμε:** Πιο εύκολη η πρόβλεψη αν θα αστοχήσει ένα έργο από το πότε θα αστοχήσει ή πόσο γρήγορα θα εξελιχθεί η αστοχία



# Αστοχία φράγματος Vajont: Ένα σπουδαίο μάθημα στην ύπαιθρο για τους φοιτητές της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ



Φοιτητές ΕΜΠ σε περιστατικά μεγάλων αστοχιών έργων Π.Μ. (Ιταλία – Γαλλία – Ελβετία) συνδεδεμένα με τη Γεωλογία στο πλαίσιο του μαθήματος «Τεχνική Γεωλογία»

## **Ενότητα 4. Μελετάμε το παρελθόν, για να προβλέψουμε το μέλλον**

## Γιατί μας ενδιαφέρει το παρελθόν ενώ σχεδιάζουμε για το μέλλον;

- *«Όσοι δεν μπορούν να θυμηθούν το παρελθόν είναι καταδικασμένοι να το επαναλάβουν.»* (“*Those who cannot remember the past are condemned to repeat it*” —George Santayana.)
- Παράφραση: *Όσοι δεν διαβάζουν ιστορία, είναι καταδικασμένοι να επαναλάβουν λάθη που έγιναν στο παρελθόν.*
- Ειδικά ο πολιτικός μηχανικός χρειάζεται την προοπτική που δίνουν τα μεγάλα παράθυρα παρατήρησης.

[https://en.wikiquote.org/wiki/George\\_Santayana](https://en.wikiquote.org/wiki/George_Santayana)



# Μερικά απαραίτητα μεγέθη για τον σχεδιασμό διαφορετικών έργων πολιτικού μηχανικού

- **ΓΕΦΥΡΑ – ΠΟΤΑΜΟΣ** Ποια είναι η μέγιστη πλημμυρική παροχή που θα περάσει σε μια διατομή ποταμού κάτω από μια γέφυρα στην ωφέλιμη διάρκεια ζωής της;
- **ΟΥΡΑΝΟΞΥΣΤΗΣ – ΑΝΕΜΟΣ** Ποιο είναι το μέγιστο φορτίο ανέμου που θα δεχτεί ένας ουρανοξύστης στην ωφέλιμη διάρκεια ζωής του;
- **ΦΡΑΓΜΑ – ΣΕΙΣΜΟΣ** Ποιο είναι το μέγιστο σεισμικό φορτίο που θα δεχτεί ένα φράγμα στην ωφέλιμη διάρκεια ζωής του;
- **ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟΣ – ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ** Ποιο είναι το μέγιστο φορτίο από θερμική φόρτιση (λόγω διαστολής) που θα δεχτεί μια σιδηροδρομική γραμμή στην ωφέλιμη διάρκεια ζωής της;

Με ποια μέθοδο θα προβλέψουμε αυτά τα μεγέθη;

## Με ποια μέθοδο θα προβλέψουμε αυτά τα μεγέθη;

- Προφητική μέθοδος (αδόκιμη αλλά διαδεδομένη τελευταία): Τρέχουμε μοντέλα που προβλέπουν το μέλλον (π.χ. το κλίμα το 2100).
- Ιστορική μέθοδος (δόκιμη):
  - (1) Κοιτάμε τι συνέβη στο παρελθόν επιστρατεύοντας μετρήσεις που έχουν γίνει (πλημμυρικών παροχών, ταχυτήτων ανέμου, σεισμικών επιταχύνσεων, θερμοκρασιών) ή και ανακατασκευές βάσει υποκατάστατων δεδομένων.
  - (2) Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε θεωρία πιθανοτήτων για να κατασκευάσουμε πιθανές μελλοντικές «φορτίσεις».

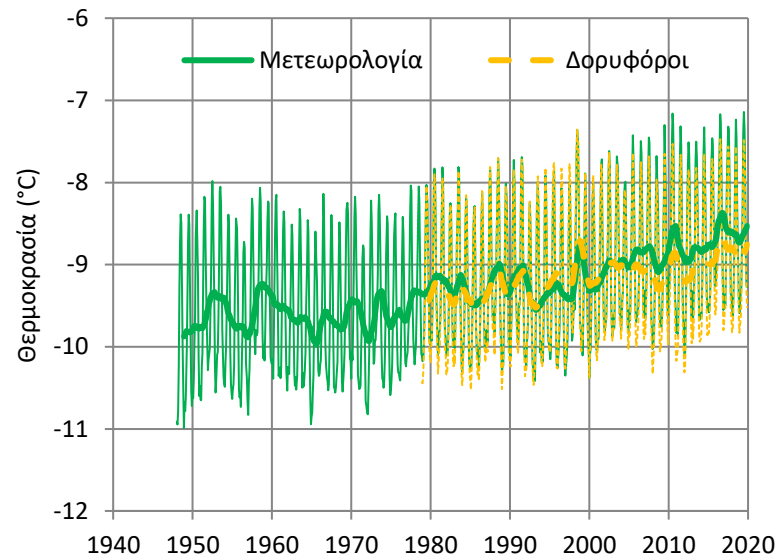
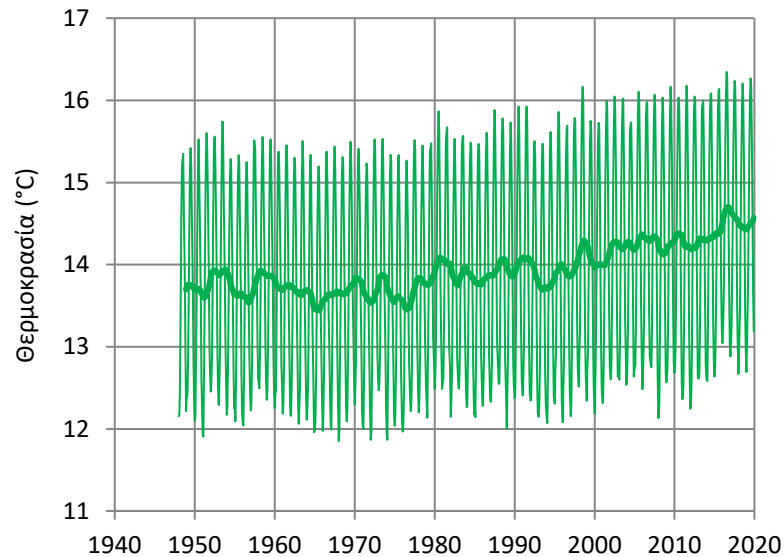
**Σημαντική παρατήρηση:** Οι ανθρώπινες κατασκευές δεν είναι απόλυτα ασφαλείς. Όσο προχωρημένη κι αν είναι η γνώση μας κι όσο καλοί κι αν είναι οι μηχανικοί ή τα υλικά, πάντα υπάρχει διακινδύνευση ή ρίσκο (πιθανότητα αστοχίας). Ο στόχος είναι να μειώσουμε το ρίσκο σε ανεκτό επίπεδο.

## **Ενότητα 5. Διαφορετικές εικόνες για θερμοκρασία - στάθμη θάλασσας & βροχόπτωση σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες**

## Με τι ρυθμό γίνεται η «υπερθέρμανση του πλανήτη»;

- Με ποιον ρυθμό αυξάνει η μέση θερμοκρασία του πλανήτη τις τελευταίες δεκαετίες;
  - 0.1-0.2 °C/δεκαετία
  - 1-2 °C/δεκαετία
  - 10-20 °C/δεκαετία

# Τελευταία 70 χρόνια: μέση θερμοκρασία της Γης



Λεπτές γραμμές: Μηνιαία κλίμακα (ο μέσος όρος 30 × 24 μέσων ωριαίων θερμοκρασιών)  
Χοντρές γραμμές: Ετήσια κλίμακα (ο μέσος όρος των προηγούμενων 12 μηνιαίων τιμών).

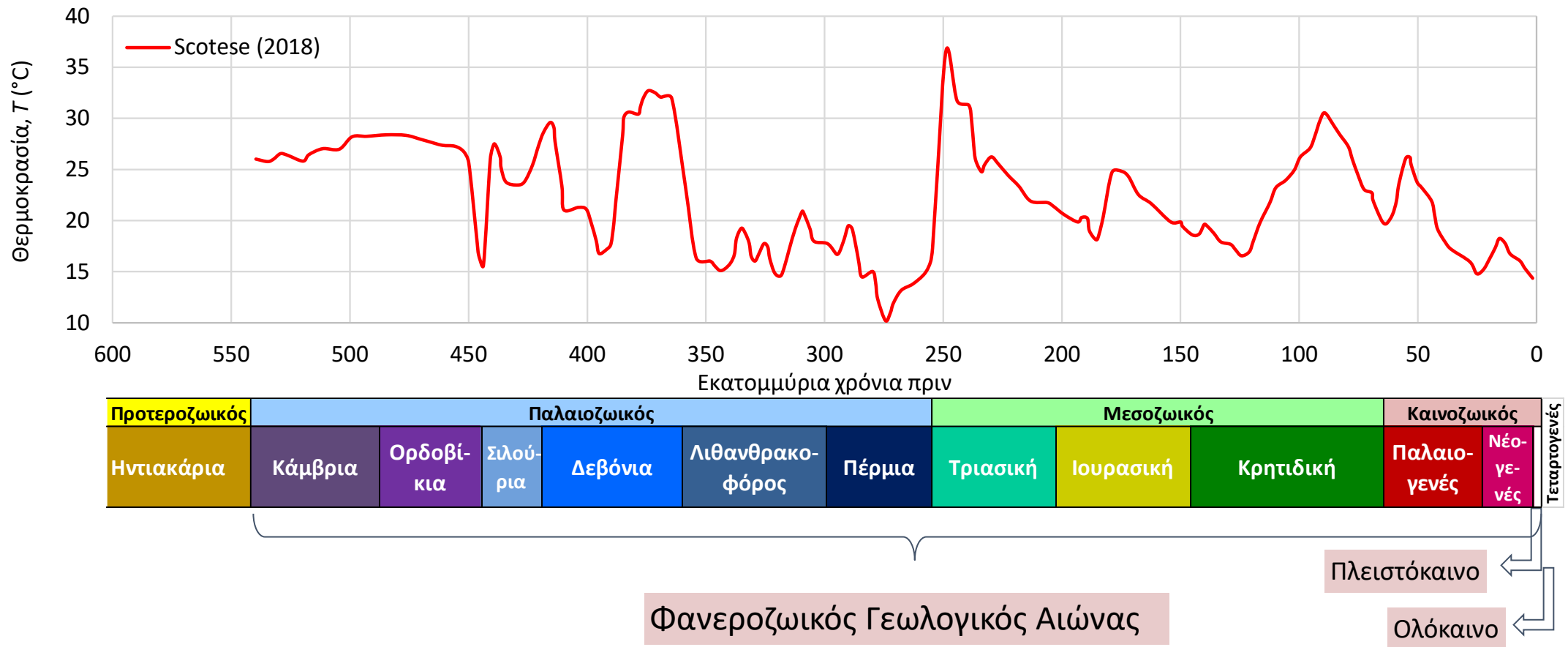
## Ρυθμός αύξησης θερμοκρασίας

- ΑΡΙΣΤΕΡΑ: 0.19 °C/δεκαετία στην επιφάνεια της γης
- ΔΕΞΙΑ: 0.13 °C/δεκαετία στην κατώτερη τροπόσφαιρα στο χαμηλότερο κομμάτι της ατμόσφαιρας (υψόμετρο  $\approx 4.5$  km – οι μετρήσεις δεν επηρεάζονται από την τεχνητά αυξημένη θερμοκρασία σε πόλεις)

Koutsoyiannis (2020)

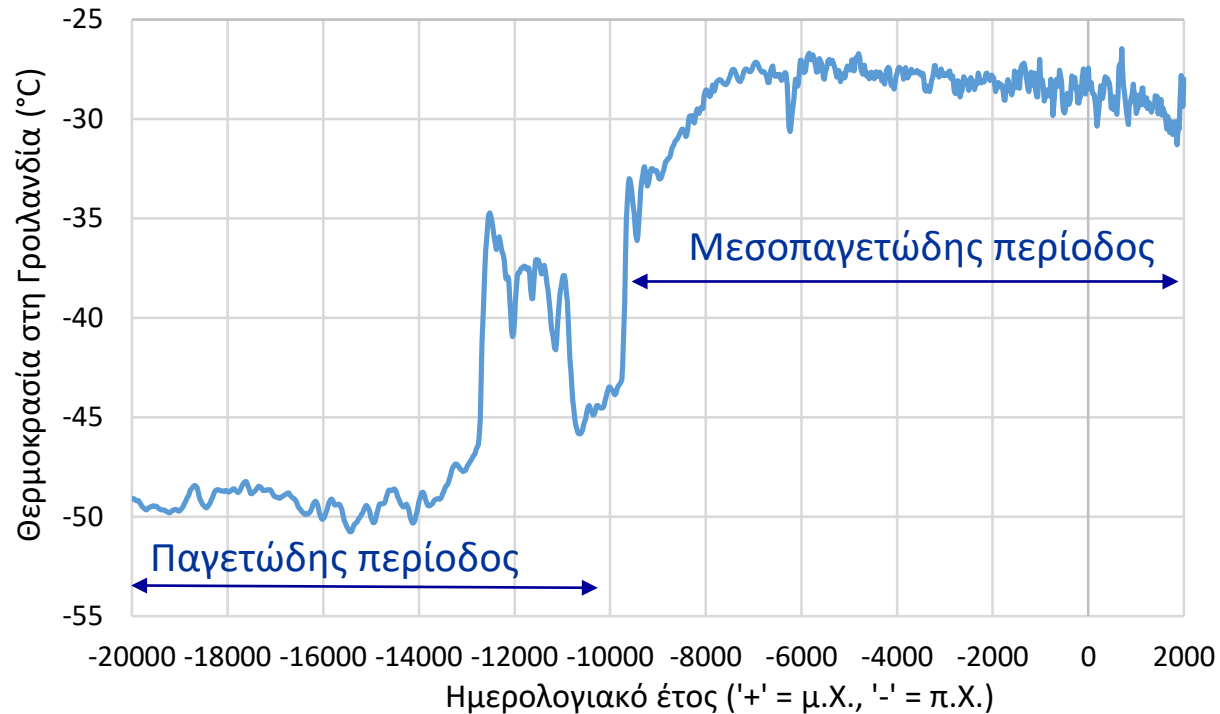
Στην μεθεπόμενη διαφάνεια θα δούμε ότι στο γεωλογικό παρελθόν σημειώθηκαν πολύ πιο γρήγοροι ρυθμοί αύξησης (0.85 °C/δεκαετία) αλλά και μείωσης...

# Τελευταία 500 εκατομμύρια χρόνια: Πιθανή εξέλιξη της μέσης θερμοκρασίας της Γης



Χρονολόγηση γεωλογικών εποχών: International Commission on Stratigraphy, <https://stratigraphy.org/chart>.

# Τελευταία 20 χιλιάδες χρόνια: Θερμοκρασία Γροιλανδίας



Ανακατασκευή με βάση  
πυρήνες πάγων

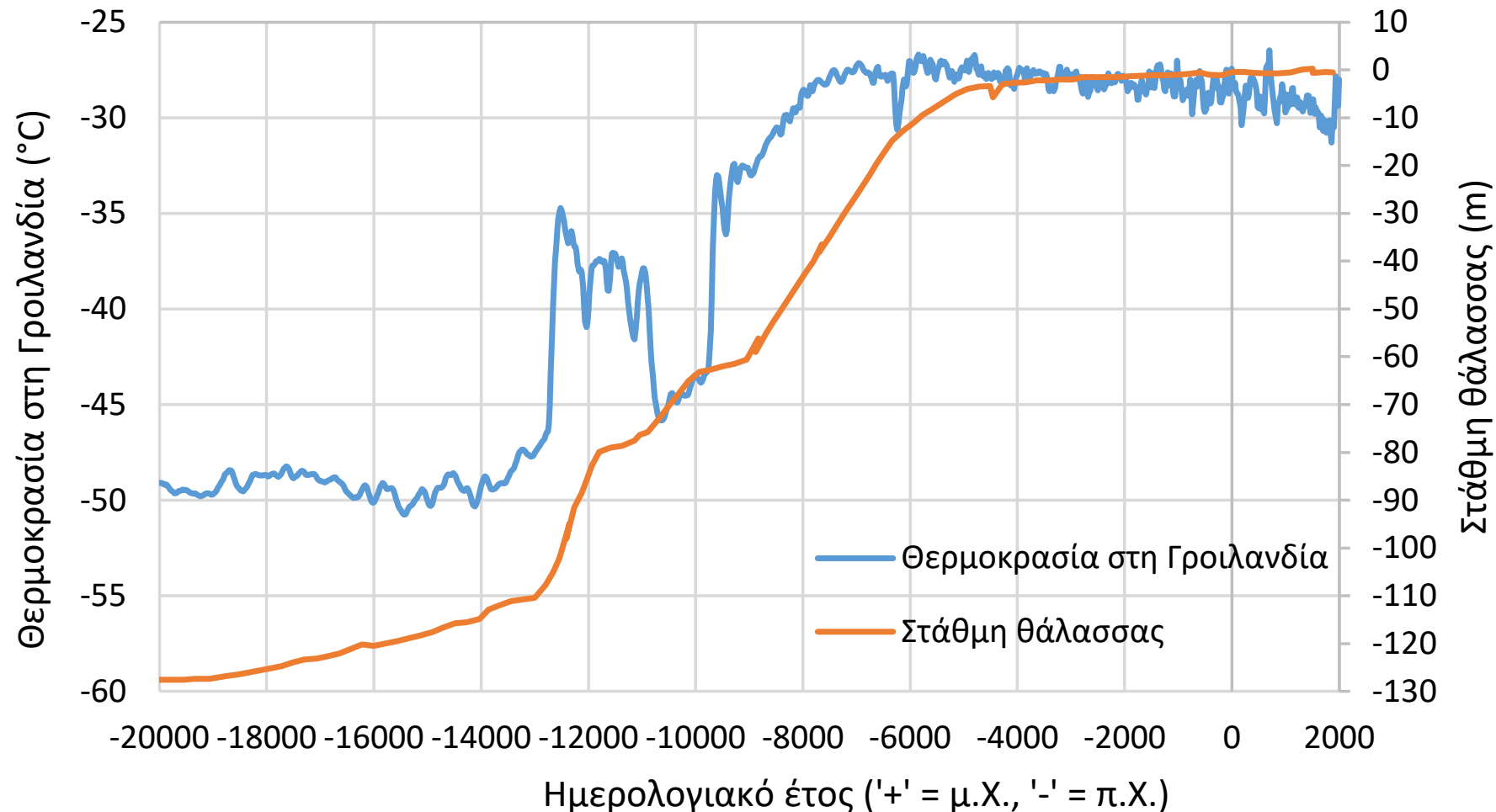
Πειραματική γεώτρηση:  
Greenland Ice Cap, 2005,  
[https://earthobservatory.nasa.gov/features/Paleoclimatology\\_IceCores](https://earthobservatory.nasa.gov/features/Paleoclimatology_IceCores)



## Αξίζει να προσέξουμε:

- (1) Η διαφορά θερμοκρασίας από την παγετώδη στη μεσοπαγετώδη περίοδο είναι  $> 20$  °C.
- (2) Σε περιόδους αύξησης της θερμοκρασίας, ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής ήταν  $8.5$  °C/αιώνα ( $0.85$  °C/δεκαετία).
- (3) Σε περιόδους μείωσης, ο μέγιστος ρυθμός ήταν  $-4.3$  °C/αιώνα ( $-0.43$  °C/δεκαετία).

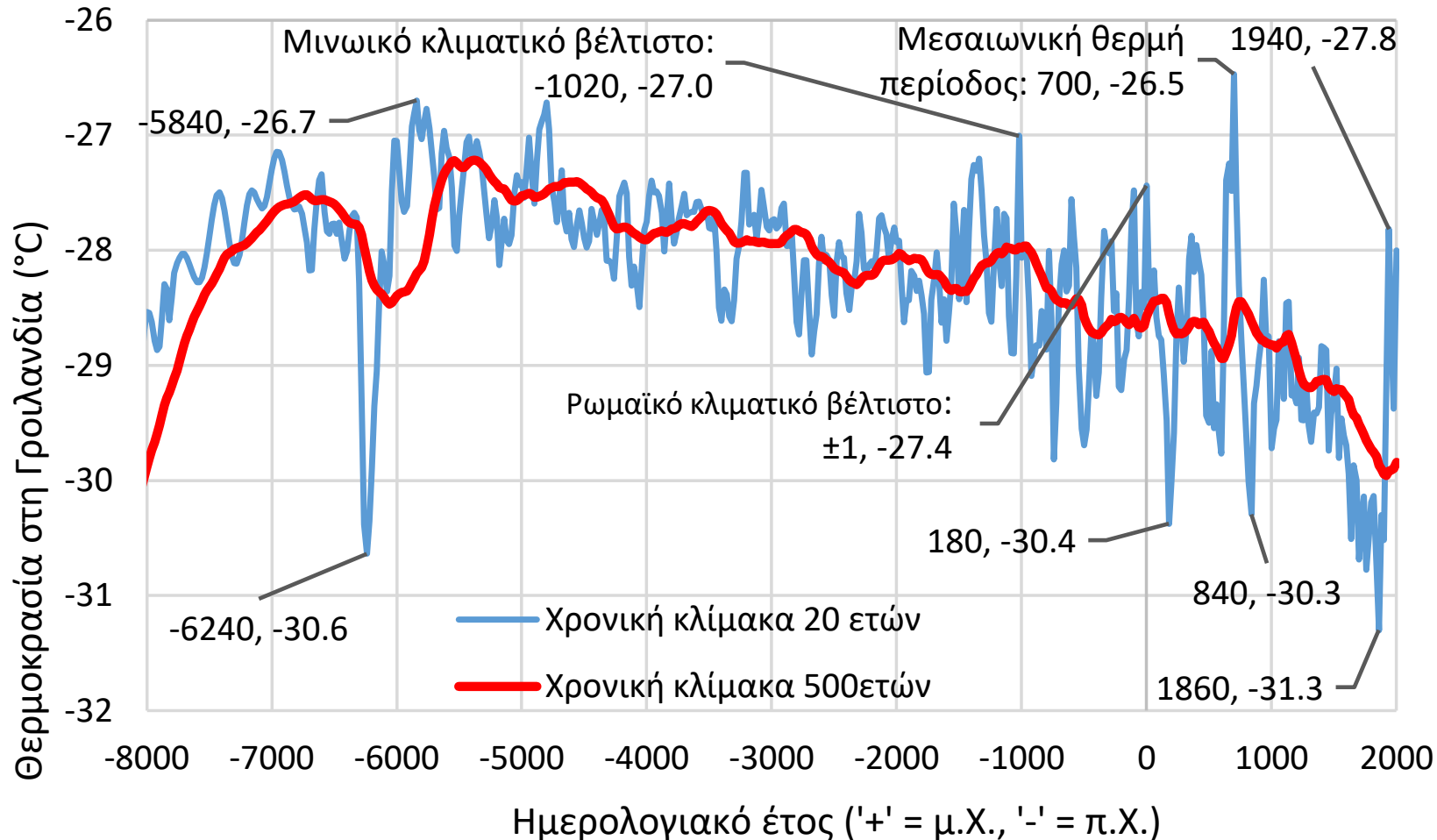
# Τελευταία 20 χιλιάδες χρόνια (τελευταία τήξη παγετώνων): Συνεξέλιξη θερμοκρασίας και στάθμης θάλασσας



Πηγή στάθμης θάλασσας: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Post-Glacial\\_Sea\\_Level.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Post-Glacial_Sea_Level.png)



# Τελευταία 10 χιλιάδες χρόνια: Θερμοκρασία Γροιλανδίας



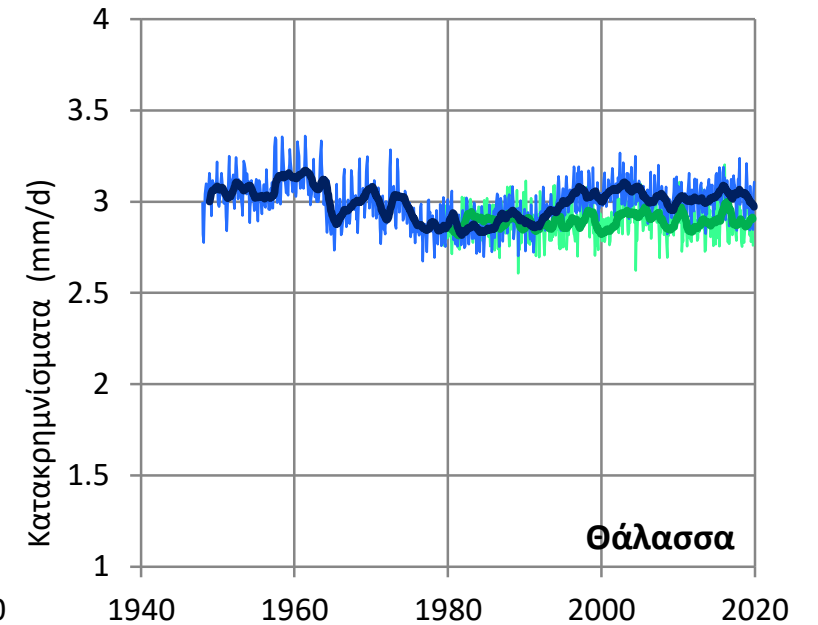
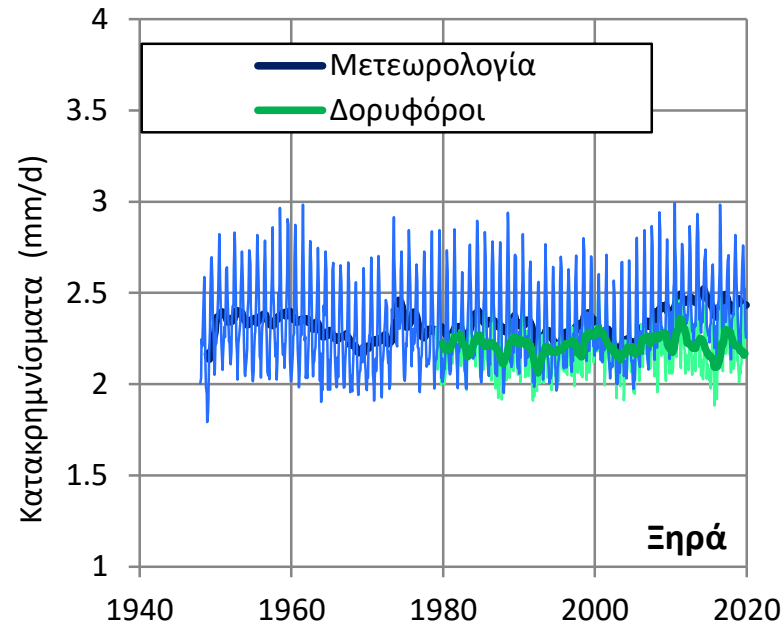
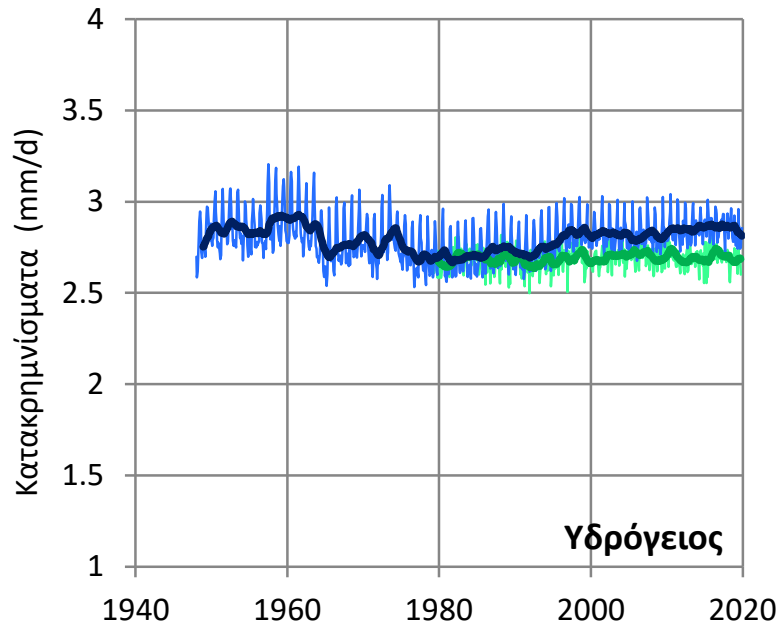
Οι τιμές του διαγράμματος είναι κινούμενοι μέσοι όροι για τις αντίστοιχες κλίμακες.

Π.χ. η τιμή που δίνεται για το 2000 και για κλίμακα 500 ετών είναι η μέση θερμοκρασία της περιόδου από το 1500 μέχρι το 2000.

## Αξίζει να προσέξουμε:

- (1) Το 1940 ήταν πιο θερμό απ' ό,τι σήμερα
- (2) Η θερμότερη περίοδος ήταν γύρω στο 700 μ.Χ.
- (3) Για περισσότερα από 7000 χρόνια, κυρίαρχη είναι η τάση για ψύξη.

# Τελευταία 70 χρόνια: Μέση ημερήσια βροχόπτωση



- Η βροχόπτωση έχει αυξομειώσεις, δεν αυξάνεται

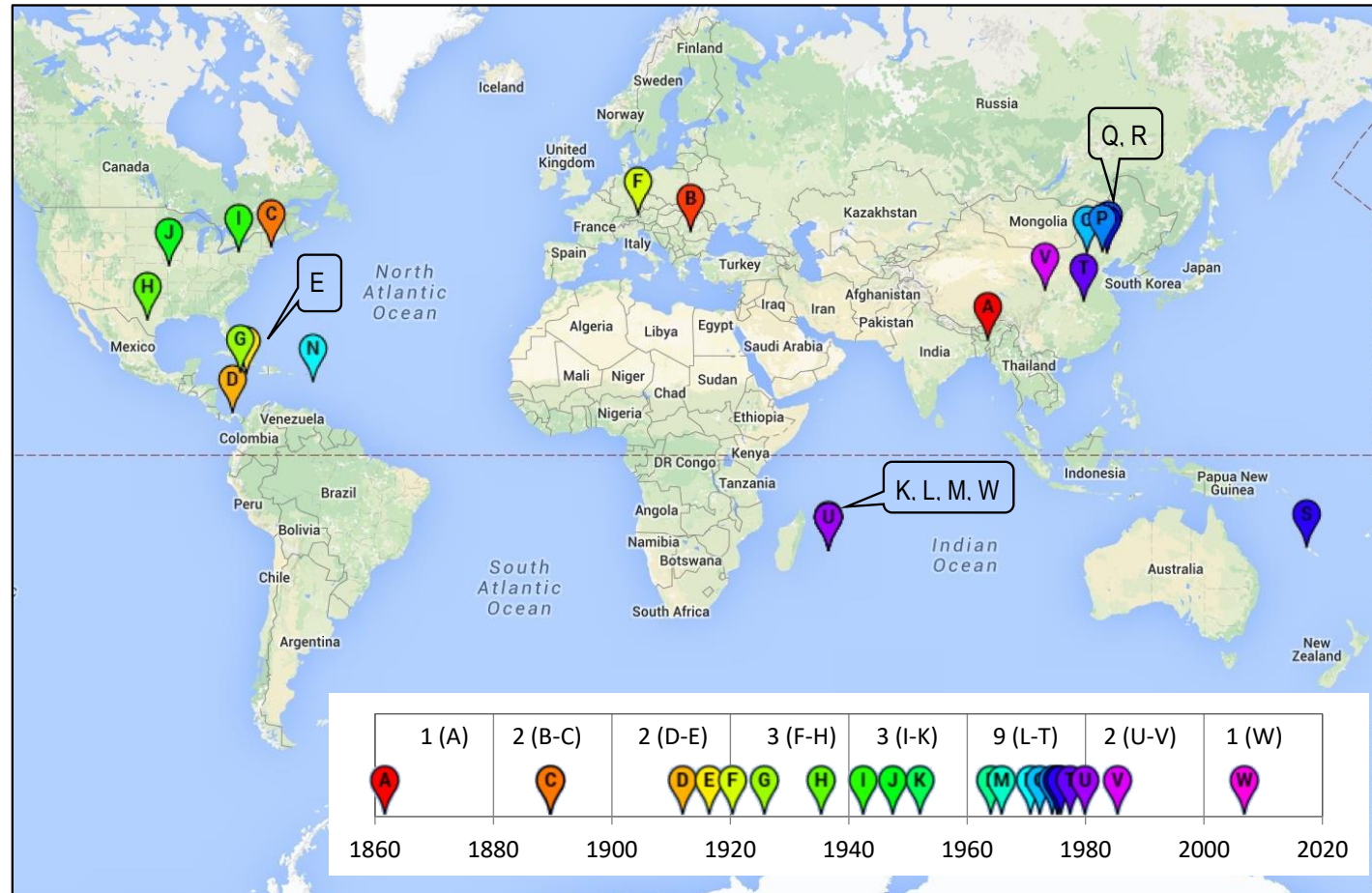
Koutsoyiannis (2020)

# Τελευταία 150 χρόνια, δεδομένα σημειακής βροχόπτωσης: παγκόσμια ρεκόρ

Koutsoyiannis and Papalexiou (2017)

Μετρημένα παγκόσμια ρεκόρ βροχόπτωσης

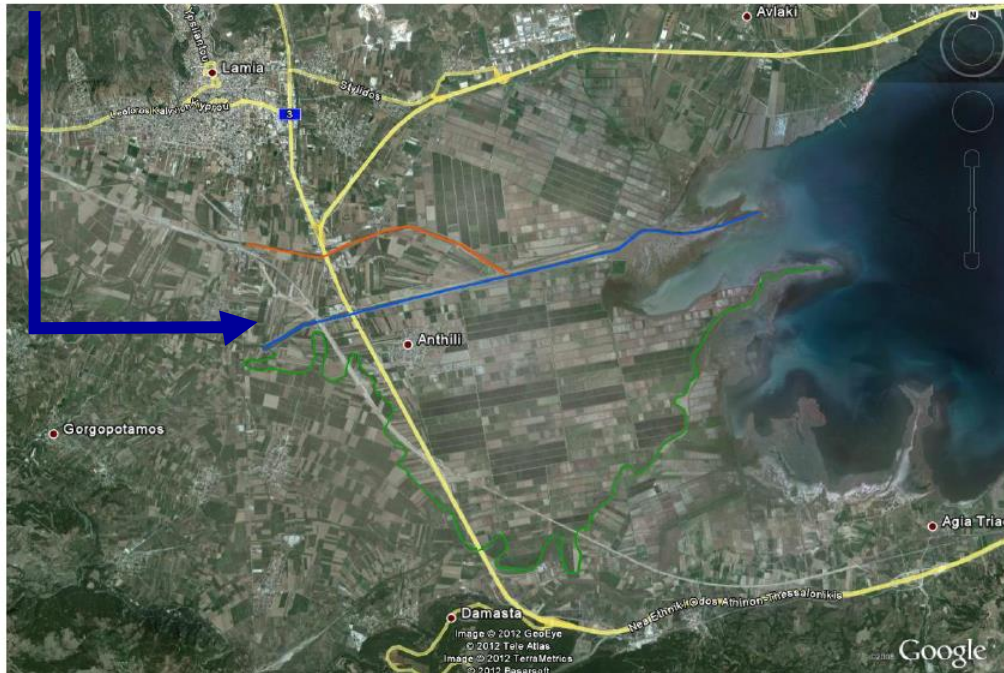
Μέσες τιμές σε χρονικές κλίμακες από 1 λεπτό έως 2 χρόνια



- Το γράφημα δείχνει τις γεωγραφικές και χρονικές συντεταγμένες των γεγονότων που παρήγαγαν ρεκόρ βροχόπτωσης για διάφορες χρονικές κλίμακες.
- Η υψηλότερη συχνότητα ρεκόρ σημειώθηκε την περίοδο 1960-80. Αργότερα η συχνότητα μειώθηκε σημαντικά.

# Τα έργα Π.Μ. ως προστασία ενάντια στις διαχρονικές προκλήσεις της Φύσης

1957



- Τάφρος Λαμίας
  - Τεχνητή Κοίτη Σπερχειού
  - Φυσική Κοίτη Σπερχειού
- (ΕΓΥ, 2017)

**Αντιπλημμυρικά έργα στον Σπερχειό ποταμό (1957-2020)**

2020

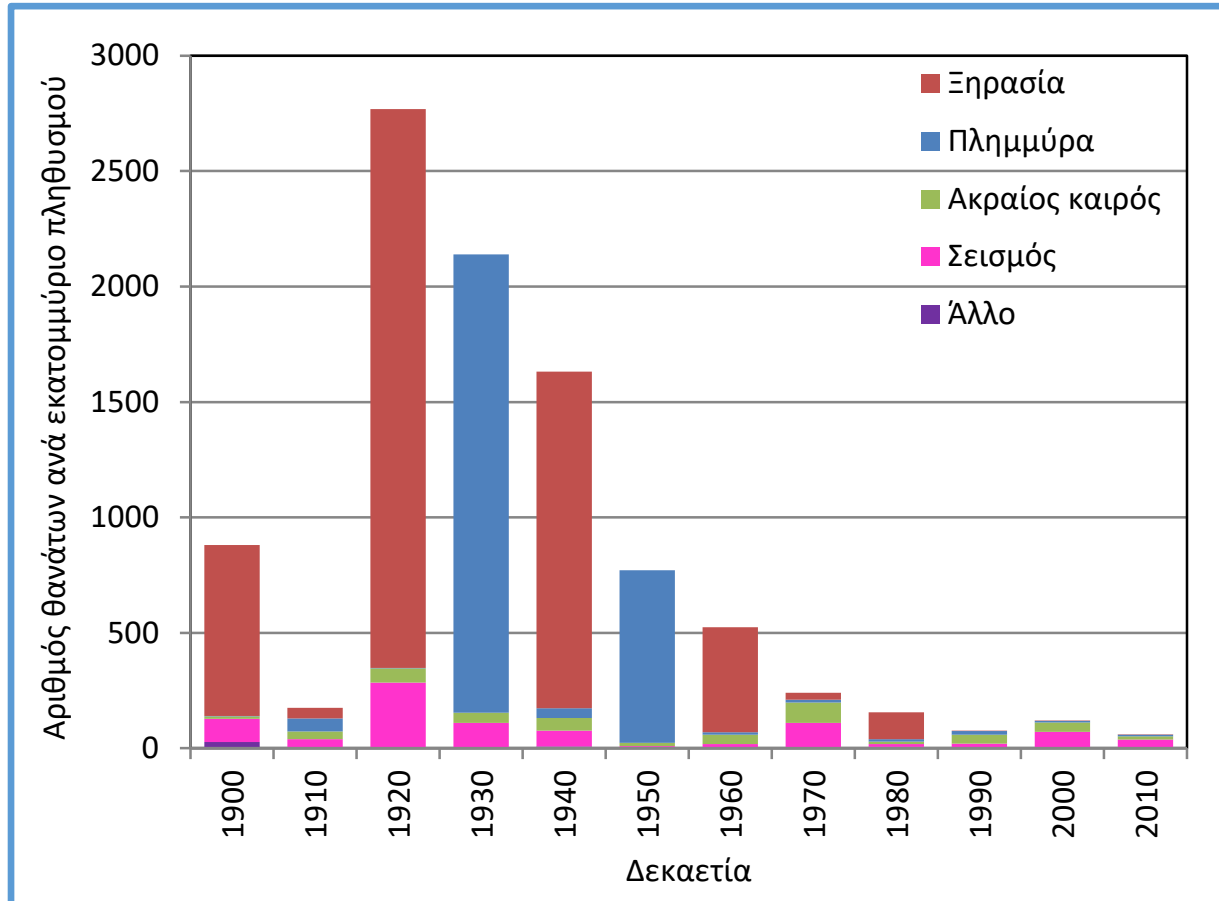


**Επίλογος**

## Η γη αλλάζει, τα πάντα ρει...

- Είναι κίνδυνος η αλλαγή;
- Η αλλαγή είναι παντοτινή.
- Ο πολιτικός μηχανικός εκτιμά τις αλλαγές (συχνά με βάση το παρελθόν) και σχεδιάζει τα έργα έτσι ώστε να μειώσει τον κίνδυνο ή τις επιπτώσεις του.

# Επινίκιο των μηχανικών: μείωση επιπτώσεων του κινδύνου



Πηγαίνοντας αρκετά πίσω στον χρόνο, βλέπουμε ότι οι μηχανικοί μείωσαν τις επιπτώσεις των κινδύνων.

Πηγαίνοντας αρκετά πίσω στον χρόνο, βλέπετε την παράδοση που συνεχίζετε έχοντας επιλέξει σπουδές πολιτικού μηχανικού.

Koutsoyiannis (2020)

## Ευχαριστίες

- Η Μαρίνα Πανταζίδου ευχαριστεί τον **Χρήστο Ζέρη** για το φροντιστήριο για τους κανονισμούς που αφορούν τις συμβατικές υποχρεώσεις για τη διάρκεια ζωής των κατασκευών και την τεχνολογία σκυροδέματος.
- Ο Βασίλης Μαρίνος ευχαριστεί τον **Κωνσταντίνο Βουβαλίδη** για τη διάθεση υλικού από την περιοχή του Μαλιακού κόλπου και τον Αξιόποταμό, τον **Παναγιώτη Ανδρέου** για τη διάθεση φωτογραφικού υλικού και υλικό της διδακτορικής διατριβής του από την περιοχή της Δαμάστας και τον **Σπύρο Νικολόπουλο** για τη διάθεση της φωτογραφίας της Κακιάς Σκάλας.



# Πηγές υλικού διαφανειών & Βιβλιογραφικές αναφορές

- Διαφάνεια 1 (Δ1): Γη: "Earth" by Kevin M. Gill is licensed under CC BY 2.0, Ύδωρ: "blue water texture" by ErrorTribune is licensed under CC BY-SA 2.0, Χρόνος: "In Search Of Lost Time" by bogenfreund is licensed under CC BY-SA 2.0
- Δ8: Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, <http://archaeologia.eie.gr/archaeologia/gr/arxeio.aspx>
- Δ13: Κινησομοίωση από <https://imgur.com/gallery/7XCUCAS/comment/398510169?nc=1>
- Δ14: Σχήμα από Ροντογιάννη-Τσιαμπάου, Θ. *Γεωλογία. Θεμελιώδεις έννοιες για Μηχανικούς*. Εκδόσεις Τζιόλα, 2018
- Δ15: Εικόνες από [https://en.wikipedia.org/wiki/Law\\_enforcement\\_in\\_the\\_United\\_Kingdom](https://en.wikipedia.org/wiki/Law_enforcement_in_the_United_Kingdom), [https://en.wikipedia.org/wiki/Anti-austerity\\_movement\\_in\\_Greece](https://en.wikipedia.org/wiki/Anti-austerity_movement_in_Greece)
- Δ16: Σχήμα από Παπαζαχός, Β.Κ. & Κομνινάκης, Π.Ε. (1978) Deep structure and tectonics of the Eastern Mediterranean, *Tectonophysics*, 46(3–4):285-296 [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(78\)90208-1](https://doi.org/10.1016/0040-1951(78)90208-1)
- Δ17: Εικόνα: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-4629238/Second-cliff-collapses-East-Sussex.html>, Αναφορά: DEFRA (2002). Environment Agency Flood and Coastal R and D Programme (United Kingdom). *Soft cliffs Prediction of recession rates and erosion control techniques*, London (United Kingdom) : DEFRA Flood Management Division.
- Δ19: Σχήμα τροποποιημένο από Geological Society Engineering Group Working Party, (1990). Tropical residual soils. Engineering Group Working Party Report. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 23, 1-101.
- Δ20: Εικόνα τροποποιημένη από <https://en.wikipedia.org>
- Δ22: Σχήμα τροποποιημένο από Saroglou, C. (2019) GIS-based rockfall susceptibility in Greece. *Geosciences*, 2019, 9(4), 163; <https://doi.org/10.3390/geosciences9040163>

# Πηγές υλικού διαφανειών & Βιβλιογραφικές αναφορές

- Δ24: [ib.bioninja.com.au: https://ib.bioninja.com.au/standard-level/topic-5-evolution-and-biodi/51-evidence-for-evolution/geological-time-scale.html](https://ib.bioninja.com.au/standard-level/topic-5-evolution-and-biodi/51-evidence-for-evolution/geological-time-scale.html)
- Δ25: Η άδεια για τη φωτογραφία παραχωρήθηκε ευγενικά από τον κ Σπύρο Νικολόπουλο.
- Δ26 και Δ27: Rondoyanni, Th., Marinou, P. (2008) The Athens–Corinth highway and railway crossing a tectonically active area in Greece. *Bull Eng Geol Environ* (2008) 67:259–266 DOI 10.1007/s10064-008-0134-5
- Δ28: Andel, T. H. van & Shackleton, J. 1982. Late Paleolithic and Mesolithic coastlines of Greece and the Aegean. - *Journal of Field Archaeology* 9: 445-454. Boston.
- Δ29: Βικιπαίδεια. [https://el.wikipedia.org/wiki/Μάχη\\_των\\_Θερμοπυλών](https://el.wikipedia.org/wiki/Μάχη_των_Θερμοπυλών)
- Δ30: Pechlivanidou, S., Vouvalidis, K., Løvlie, R., Nesje, A., Albanakis, K., Pennos, C., Syrides, G., Cowie, P., Gawthorpe, R.A. multi-proxy approach to reconstructing sedimentary environments from the Sperchios delta, Greece. *The Holocene*, 2014, Vol. 24(12) 1825–1839. Reprints and permissions: [sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav](http://sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav) DOI: 10.1177/0959683614551219
- Δ30: Vouvalidis, K., Syrides, G., Pavlopoulos, K., Pechlivanidou, S., Tsourlos, P., Papakonstantinou, M-F (2010). *Geodinamica Acta* 23/5-6 241-253
- Δ31: Andreou, P., Papadopoulos, V., Zervogiannis, H. (2006) Finite Element Modeling of Stone Columns – A Case Study. *Proceedings ELU-ULS*
- Δ33: <https://www.pinterest.com/pin/336362665892631464/>
- Δ34: Semenza, E. (1965) - Sintesi degli studi geologici sulla frana del Vajont dal 1959 al 1964. *Mem. Museo Tridentino Sc. Nat.*, 16:1-52. In Italian

# Πηγές υλικού διαφανειών & Βιβλιογραφικές αναφορές

- Δ35: Superchi, L. , Zorzi, L., Ferri, F., Genevois, R., Lafelice, M. (2013) A Geomechanical Evaluation of the Rock Mass Involved in the 1963 Vajont Landslide (NE Italy) C. Margottini et al. (eds.), Landslide Science and Practice, Vol. 6, DOI 10.1007/978-3-642-31319-6\_16, # Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Δ35: Semenza, E. & GhiRotti, M. (2000) - History of 1963 Vajont Slide. The importance of the geological factors to recognize the ancient landslide. Bull. Eng. Geol. Env., 59: 87-97.
- Δ36: Genevois, R., Rosella, P. (2013) TECCA THE VAJONT LANDSLIDE: STATE-OF-THE-ART. Italian Journal of Engineering Geology and Environment - Book Series (6) DOI: 10.4408/IJEGE.2013-06.B-02
- Δ37: ιστοσελίδα CONSIGLIO NAZIONALE DEI GEOLOGI (<http://www.cngeologi.it/t/vajont/>)
- Δ45: Koutsoyiannis, D., 2020. Revisiting global hydrological cycle: Is it intensifying?, Hydrology and Earth System Sciences, 24, 3899–3932, doi: 10.5194/hess-24-3899-2020
- Δ46: Scotese, C.R. Phanerozoic Temperatures: Tropical Mean Annual Temperature (TMAT), Polar Mean Annual Temperature (PMAT), and Global Mean Annual Temperature (GMAT) for the last 540 Million Years. Earth's Temperature History Research Workshop, Smithsonian National Museum of Natural History, 30–31 March 2018, Washington, D.C. Available online: <https://www.researchgate.net/publication/324017003> (accessed on 8 September 2020).

# Πηγές υλικού διαφανειών & Βιβλιογραφικές αναφορές

- Δ47, Δ48, Δ49 Buizert, C., Keisling, B.A., Box, J.E., He, F., Carlson, A.E., Sinclair, G., & DeConto, R.M., 2018. Greenland-wide seasonal temperatures during the last deglaciation. *Geophysical Research Letters*, 45, 1905–1914, doi: 10.1002/2017GL075601. Σημείωση για γράφημα: Ανακατασκευή θερμοκρασίας από πυρήνες πάγου στη Γροιλανδία – μέσες τιμές απ’ τους πυρήνες GISP2, NGRIP και NEEM όπως δίνονται από τους Buizert et al. (2018) για χρονικό βήμα 20 ετών (διαθέσιμα στο: <https://www.ncdc.noaa.gov/paleo-search/study/23430>).
- Δ50: Koutsoyiannis, D., 2020. Revisiting global hydrological cycle: Is it intensifying?, *Hydrology and Earth System Sciences*, 24, 3899–3932, doi: 10.5194/hess-24-3899-2020.
- Δ51: Koutsoyiannis, D., and Papalexiou, S.M., 2017. Extreme rainfall: Global perspective. *Handbook of Applied Hydrology*, Second Edition, ed. by Singh, V.P., 74.1–74.16, McGraw-Hill, New York. Σημείωση για γράφημα: Μετρημένα παγκόσμια ρεκόρ βροχόπτωσης για χρονικές κλίμακες από 1 λεπτό έως 2 χρόνια, με βάση κατάλογο που καταρτίστηκε από τους Koutsoyiannis and Papalexiou (2017).
- Δ52: Εικόνες από: Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ), 2017. 1<sup>η</sup> Αναθεώρηση σχεδίου διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (EL07), [http://wfdver.ypeka.gr/wp-content/uploads/2017/09/EL07\\_1REV\\_P08\\_TYS\\_ITYS\\_v01.pdf](http://wfdver.ypeka.gr/wp-content/uploads/2017/09/EL07_1REV_P08_TYS_ITYS_v01.pdf) , <https://www.defence-point.gr/news/ergose-paradothikan-ta-antiplimmyrika-erga-ston-potamo-spercheio-foto>
- Δ55: Koutsoyiannis, D., 2020. Revisiting global hydrological cycle: Is it intensifying?, *Hydrology and Earth System Sciences*, 24, 3899–3932, doi: 10.5194/hess-24-3899-2020. Σημείωση για γράφημα: Σχήμα B5 (Παράρτημα Β), με δεδομένα από: <https://ourworldindata.org/world-population-growth>; <https://ourworldindata.org/ofdacred-international-disaster-data>

# Σας ευχαριστούμε για το ενδιαφέρον σας!

Άνυ Ηλιοπούλου, theano\_any@hotmail.com  
Δημήτρης Κουτσογιάννης, dk@itia.ntua.gr  
Βασίλης Μαρίνος, marinosv@civil.ntua.gr  
Μαρίνα Πανταζίδου, mpanta@central.ntua.gr  
Χάρης Σαρόγλου, saroglou@central.ntua.gr

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ

