

**Υδραυλικές Κατασκευές – Φράγματα**  
8ο εξάμηνο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών

---

**Εισαγωγικά στοιχεία φραγμάτων και  
συνοδών έργων**

---

**Ανδρέας Ευστρατιάδης**

Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ακαδημαϊκό έτος 2022-23

# Περιεχόμενα μαθήματος

---

- Γενική διάταξη φραγμάτων & συνοδών έργων
  - Επιλογή τύπου και χωροθέτηση σώματος φράγματος
  - Χωροθέτηση συνοδών έργων
- Ταμιευτήρες
  - Χαρακτηριστικά μεγέθη
  - Υδρολογικός σχεδιασμός ταμιευτήρα (μέσω προσομοίωσης)
- Κατασκευαστικά στοιχεία φραγμάτων
  - Φράγματα σκυροδέματος
  - Γεωφράγματα
  - Αρχιτεκτονική – αισθητική φραγμάτων
- Συστήματα υπερχείλισης
  - Υδραυλικοί υπολογισμοί υπερχειλιστή (διόδευση πλημμύρας σχεδιασμού)
  - Σχεδιασμός έργων προσαγωγής πλημμύρας και καταστροφής ενέργειας
- Σχεδιασμός έργων εκτροπής (σήραγγες, προφράγματα)
- Λοιπά συνοδά έργα (εκκενωτές, υδροληψίες)
- Λειτουργία και παρακολούθηση φραγμάτων
- Θεσμικά και περιβαλλοντικά θέματα

**+ Θέμα εξαμήνου (50%):  
Προμελέτη φράγματος  
(τεχνική έκθεση, σχέδια)**

# Βασικές έννοιες φραγμάτων

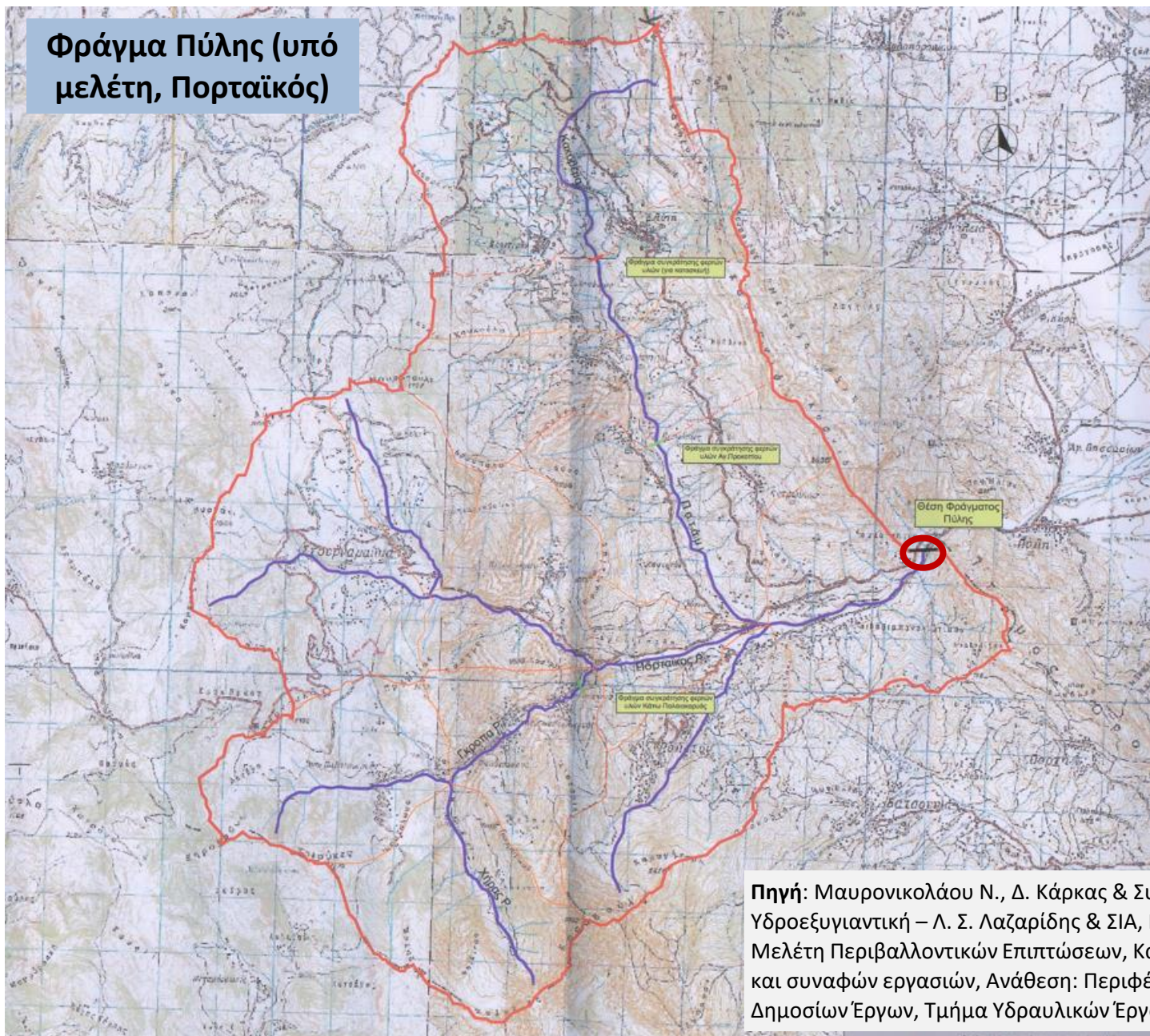
- **Φράγμα:** Εγκάρσια κατασκευή επί υδατορεύματος, που σε συνδυασμό με ένα σύνολο συνοδών τεχνικών έργων αποσκοπεί στην συγκέντρωση και αποθήκευση ύδατος, προκειμένου να μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά ελεγχόμενο τρόπο.
- Ως συνέπεια της φραγής της ροής, ανάντη του φράγματος διαμορφώνεται τεχνητή λίμνη (**ταμιευτήρας**), τα χαρακτηριστικά μεγέθη της οποίας (έκταση, χωρητικότητα) εξαρτώνται από το ύψος του φράγματος και τη γεωμετρία του αναγλύφου.
- Η αποθήκευση του νερού γίνεται για την εξυπηρέτηση συγκεκριμένων χρήσεων και ποσοτικοποιημένων υδατικών αναγκών, μεμονωμένων ή συνδυαστικών (**έργα πολλαπλού σκοπού**):
  - Ύδρευση
  - Άρδευση
  - Υδροηλεκτρική παραγωγή
  - Αντιπλημμυρική προστασία (παρέχεται εξ ορισμού)
  - Άλλες (ιχθυοκαλλιέργεια, αναψυχή, ναυσιπλοΐα, κλπ)
- Τα οφέλη που εξυπηρετεί ένας τέτοιας κλίμακας έργο οφείλουν να αντισταθμίζουν:
  - το ιδιαίτερα υψηλό κόστος κατασκευής
  - τις επιπτώσεις στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον
- Τυπικός χρόνος ζωής: 100 έτη (στην πράξη παραπάνω)

# Συνοδά έργα

- Για να κατασκευαστεί και να λειτουργήσει ένα φράγμα, απαιτείται η πρόβλεψη μιας σειράς **συνοδών (βοηθητικών) κατασκευών και συσκευών** για:
  - την ασφάλεια στο στάδιο κατασκευής και λειτουργίας του
  - την ελεγχόμενη απόληψη
  - την εκκένωση
  - τη λειτουργία και συντήρηση
- Συχνά, ο όρος «φράγμα» χρησιμοποιείται για να περιγράψει όχι μόνο το έργο φραγής αλλά το πλήρες σύστημα τεχνικών έργων, καθώς και τον ταμιευτήρα.
- Σε ελάχιστες περιπτώσεις ένα φράγμα μπορεί να λειτουργήσει ως αυτόνομο έργο (π.χ. φράγματα αποκλειστικά για αντιπλημμυρική προστασία ή την εξυπηρέτηση της ναυσιπλοΐας σε μεγάλους πτωτούς ποταμούς). Κατά κανόνα, το φράγμα και τα συνοδά του έργα εντάσσονται σε ένα ευρύτερο **σύστημα έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων**, ή, απλούστερα, **υδροσύστημα**, που περιλαμβάνει:
  - έργα συλλογής και αποθήκευσης υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων)
  - έργα μεταφοράς, επεξεργασίας και διανομής νερού
  - έργα παραγωγής, κατανάλωσης και αποθήκευσης ενέργειας
- Ο σχεδιασμός του φράγματος λαμβάνει υπόψη τη συνδυαστική λειτουργία των υπόψη έργων, που μπορεί να εκτείνονται σε μία ή περισσότερες **λεκάνες απορροής**.

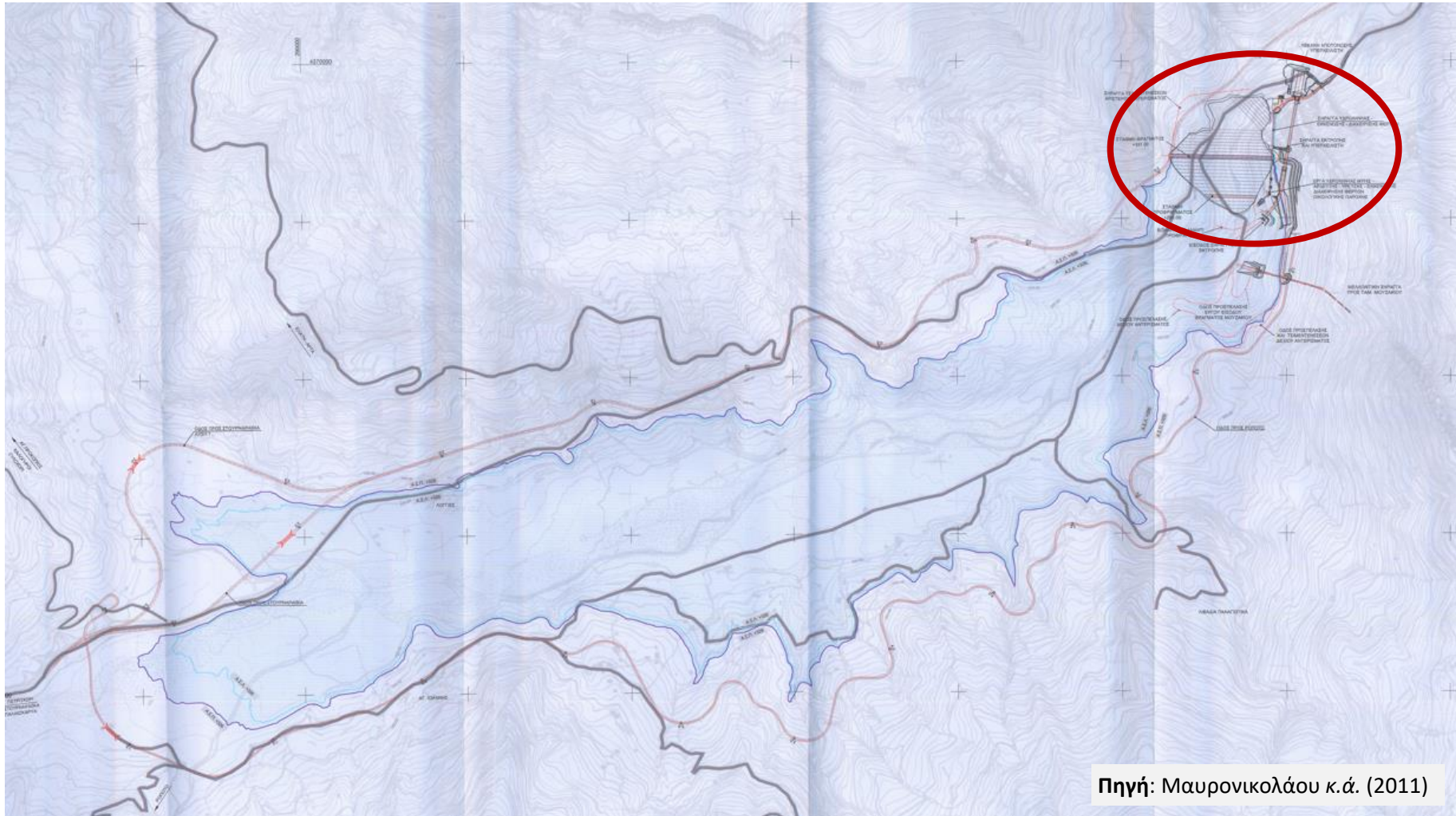
# Ανάντη σύστημα: λεκάνη απορροής

Φράγμα Πύλης (υπό μελέτη, Πορταϊκός)



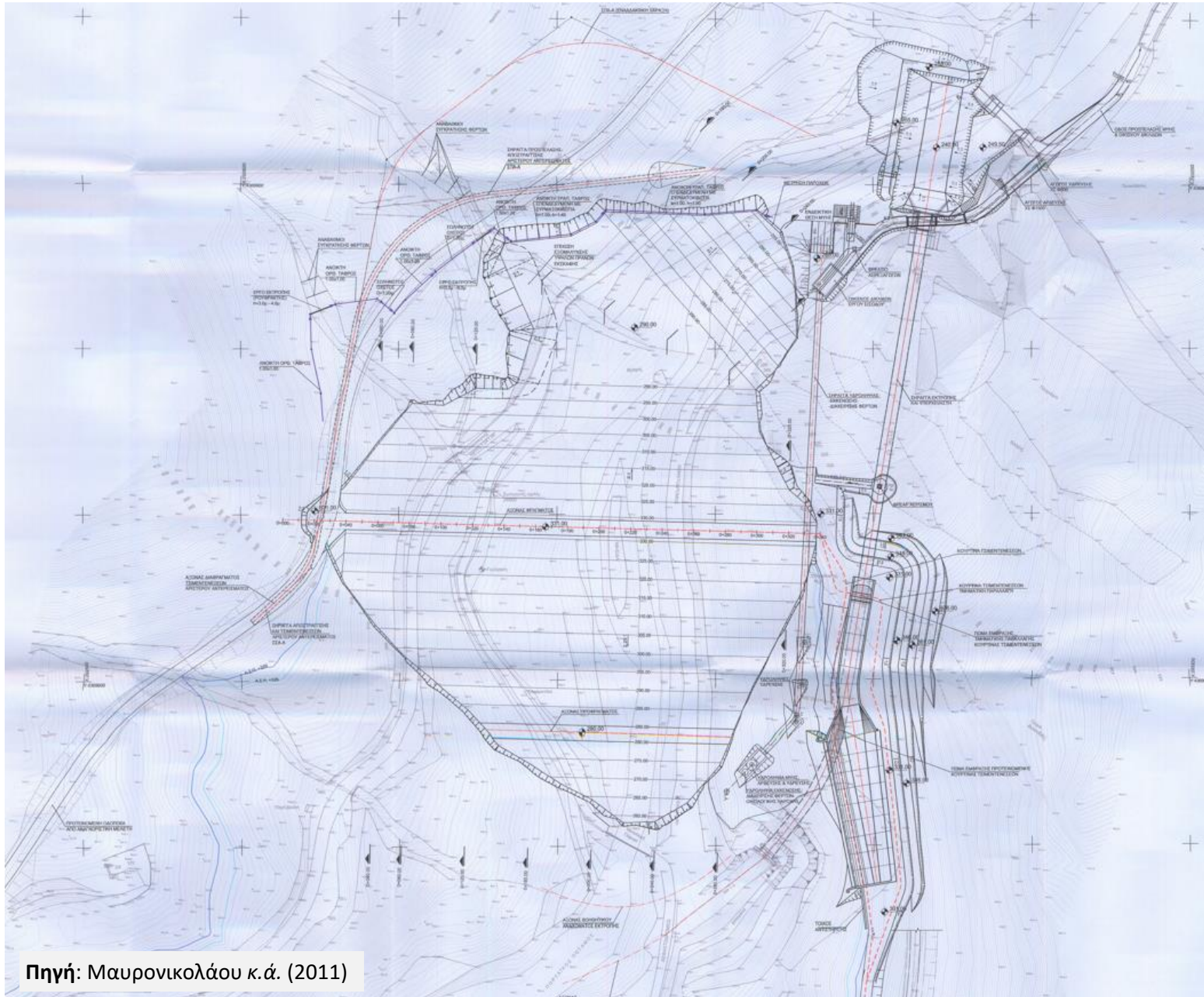
Πηγή: Μαυρονικολάου Ν., Δ. Κάρκας & Συν/τες – «ΥΔΡΕΤΜΕ», Υδροεξυγιαντική – Λ. Σ. Λαζαρίδης & ΣΙΑ, Γραφείο Μαχαίρα, κ.ά., Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, Κατασκευή φράγματος Πύλης και συναφών εργασιών, Ανάθεση: Περιφέρεια Θεσσαλίας, Διεύθυνση Δημοσίων Έργων, Τμήμα Υδραυλικών Έργων, Αθήνα, Νοέμβριος 2011.

# Φράγμα → λεκάνη κατάκλυσης (ταμιευτήρας) → μετατροπή ποτάμιου συστήματος σε λιμναίο



Πηγή: Μαυρονικολάου κ.ά. (2011)

# Γύρω από το φράγμα: συνοδά έργα



Πηγή: Μαυρονικολάου κ.ά. (2011)

# Κατάντη σύστημα: χρήστες νερού



**Πηγή:** Μαυρονικολάου Ν., Δ. Κάρκας & Συν/τες – «ΥΔΡΕΤΜΕ», Υδροεξυγιαντική – Λ. Σ. Λαζαρίδης & ΣΙΑ, Γραφείο Μαχαίρα, κ.ά., Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, Κατασκευή φράγματος Πύλης και συναφών εργασιών, Ανάθεση: Περιφέρεια Θεσσαλίας, Διεύθυνση Δημοσίων Έργων, Τμήμα Υδραυλικών Έργων, Αθήνα, Νοέμβριος 2011.



# Δημιουργία και ζωή φραγμάτων

---

- Ως **σύνθετα έργα** (complex projects), τα φράγματα συνδυάζουν:
  - Μεγάλη κλίμακα (του ιδίου έργου και του χώρου επίδρασής του)
  - Τεχνική πολυπλοκότητα
  - Χρηματοδοτική πολυπλοκότητα
  - Πολυπλοκότητα και διάρκεια προγραμματισμού
  - Πολιτική και κοινωνική διάσταση
- **Κύκλος ζωής φραγμάτων**
  - Μελέτες, σε διάφορα στάδια
  - Αναγνωριστικές έρευνες
  - Κατασκευή φραγμάτων
    - Προσωρινά έργα
    - Μόνιμα έργα
  - Διαχείριση και λειτουργία φραγμάτων
    - Λειτουργία και χρήση
    - Μετρήσεις, επιθεωρήσεις, συντήρηση
  - Ολοκλήρωση κύκλου οικονομικής ζωής
    - Καθαίρεση ή ανακαίνιση/επέκταση/τροποποίηση

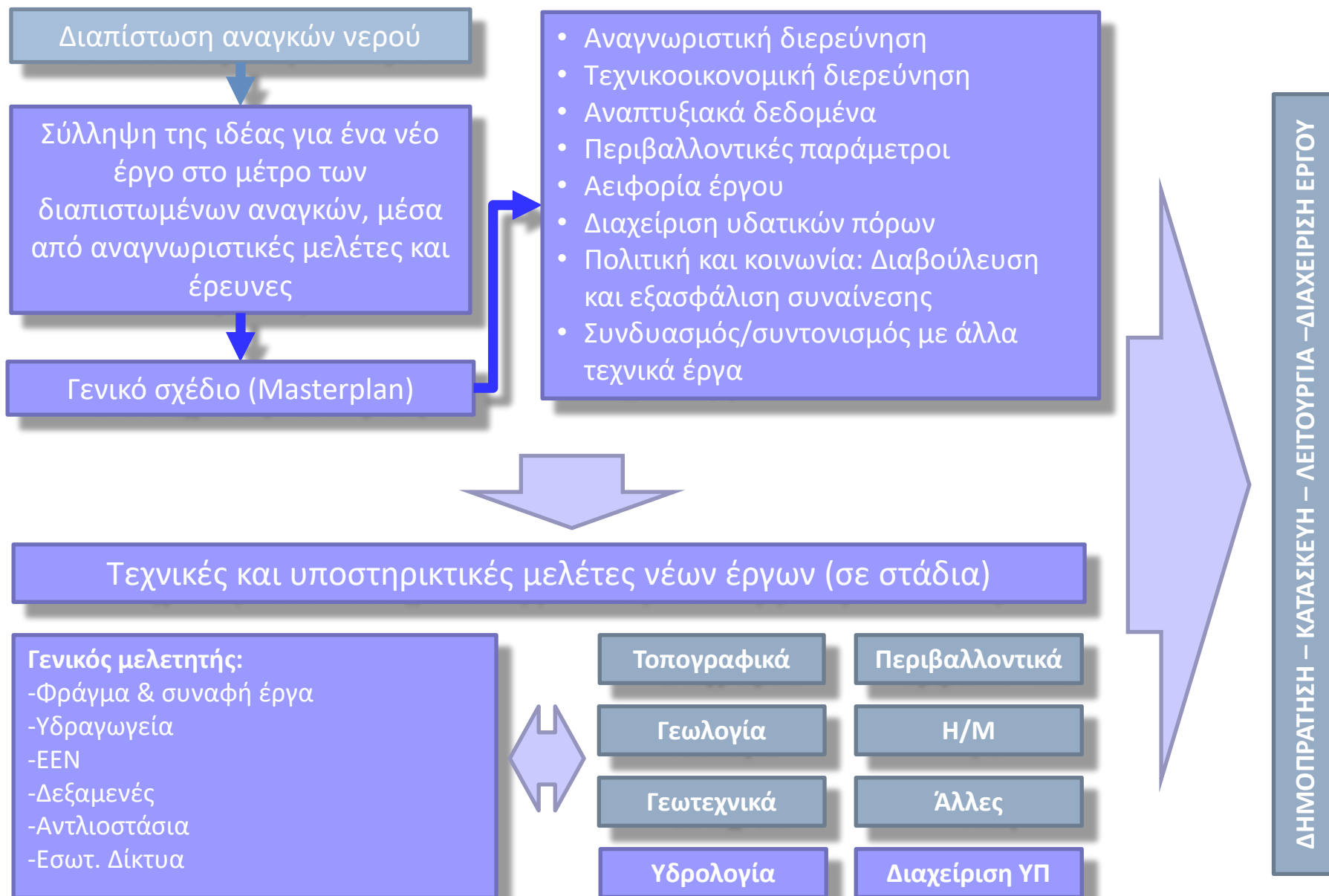
# Μελέτες φραγμάτων

- Εντοπισμός της ανάγκης κατασκευής νέων έργων ανάπτυξης υδατικών πόρων
- Γενικό σχέδιο (masterplan)
  - Υδρολογικές μελέτες
  - Διαχειριστικές μελέτες (Οδηγία 2000/60/ΕΚ)
  - Στρατηγικές μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- Καθορισμός του έργου – επιλογή φράγματος ως λύση → τεκμηρίωση σκοπιμότητας

- **Αναγνωριστική μελέτη**
  - Αξιολόγηση διαφορετικών συνολικών λύσεων
- **Προμελέτη**
  - Διεξοδική εξέταση συγκεκριμένων εναλλακτικών λύσεων
- **Οριστική μελέτη**
  - Διεξοδική τεκμηρίωση της επιλεγμένης λύσης
  - Καθορισμός υλικών, μεθόδων, ποσοτήτων
- **Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων**

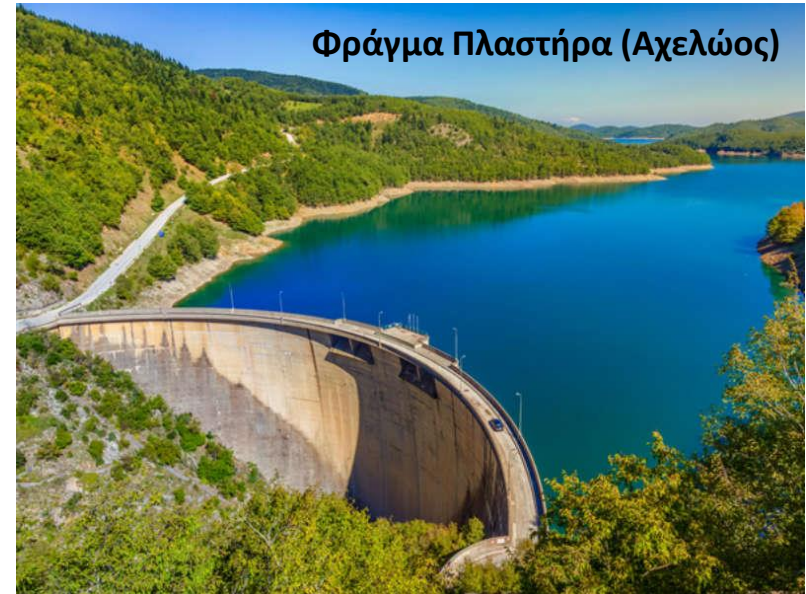
- Προκήρυξη κατασκευής
- Μελέτη εφαρμογής (κατά την κατασκευή)
  - Εφαρμογή της οριστικής μελέτης στα πραγματικά δεδομένα

# Σχεδιασμός φραγμάτων



# Κύριοι τύποι φραγμάτων

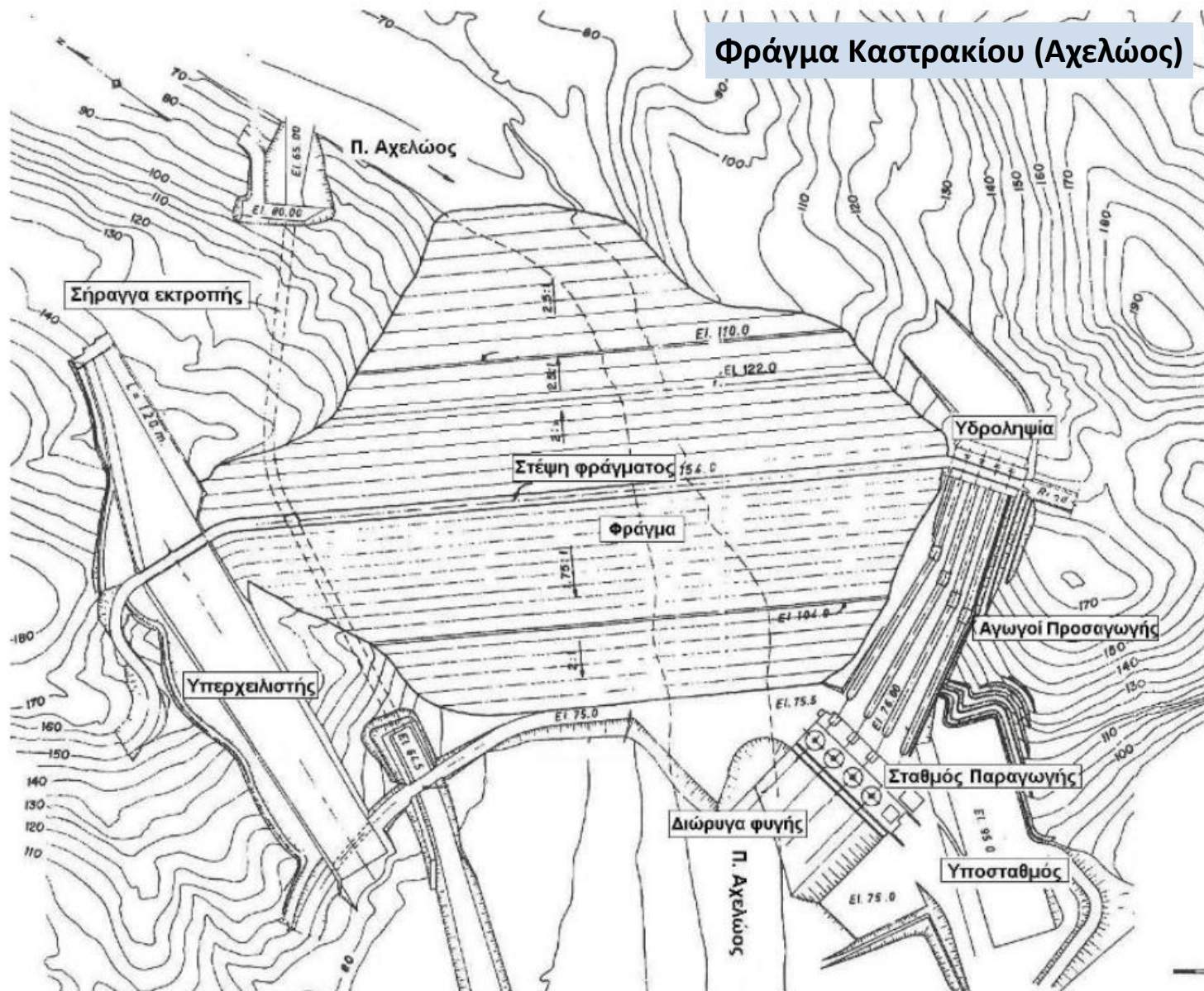
- Σκυροδέματος
  - Βαρύτητας
    - Σκυρόδεμα (συμβατικό)
    - Κυλινδρούμενο σκυρόδεμα
    - Σκληρό επίχωμα (ή ισχύο κυλινδρούμενο σκυρόδεμα)
  - Αντηριδωτά
  - Τοξωτά
- Γεωφράγματα (γαιώδη υλικά, αναχώματα)
  - Χωμάτινα
    - Ομοιογενή
    - Διαζωνισμένα
  - Λιθόρριπτα με αδιαπέρατο στοιχείο
    - Με αδιαπέρατο αργιλικό πυρήνα
    - Με ανάντη στεγάνωση
      - Πλάκα σκυροδέματος
      - Μεμβράνη



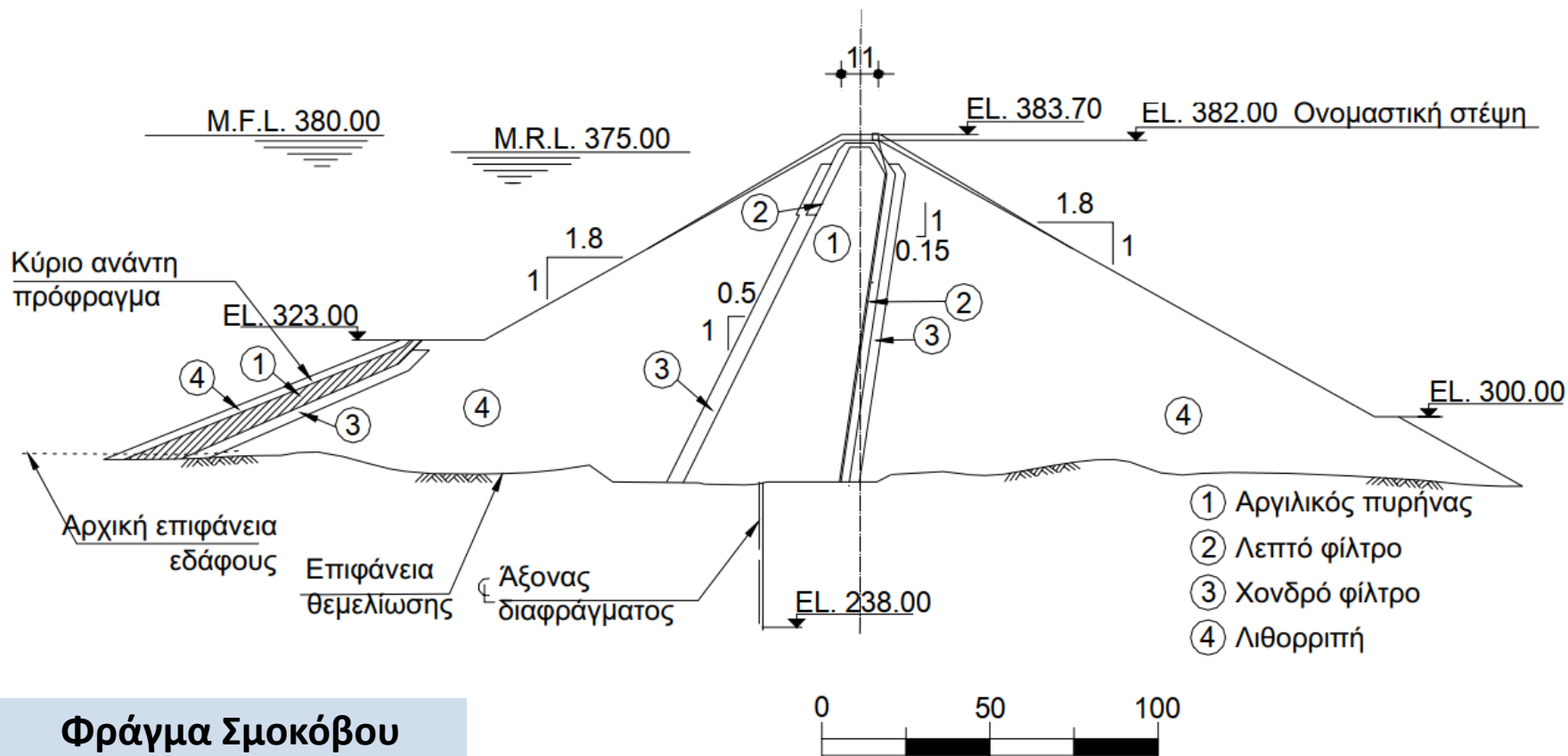
# Παράδειγμα: φράγμα Καστρακίου, Αχελώος



# Χαρακτηριστικά σχέδια: Οριζοντιογραφία



# Χαρακτηριστικά σχέδια: Τυπική διατομή

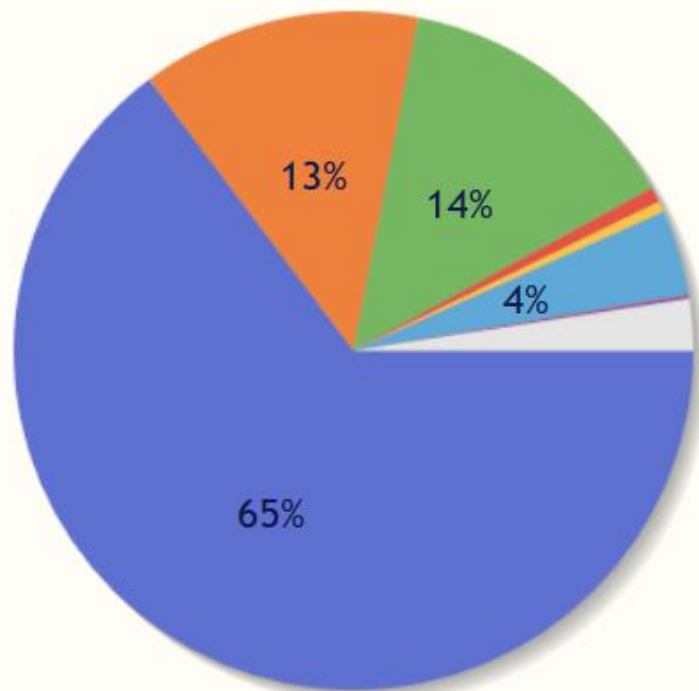


**Φράγμα Σμοκόβου  
(λιθορριπτο, με αργιλικό  
πυρήνα, ύψους 109 m)**

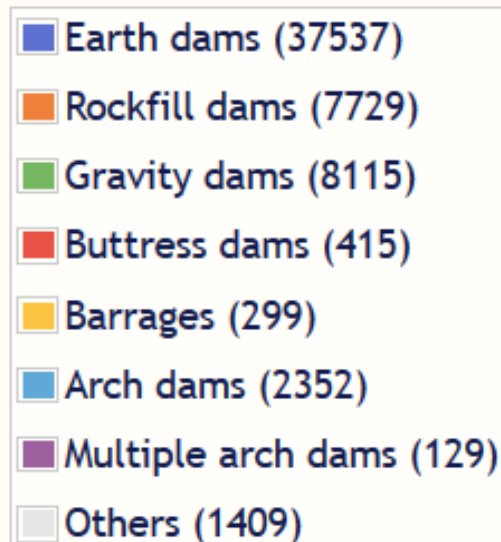
**Πηγή:** Καραβοκύρης, Ι. Γ., Γ. Θ. Ντουνιάς, Δ. Νικολάου, Α. Καστούδης, και Γ. Ανδριώτης, Ολοκλήρωση και πρώτη πλήρωση του φράγματος Σμοκόβου, 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων, Λάρισα, Νοέμβριος 2008.

# Στατιστικά στοιχεία μεγάλων φραγμάτων

- International Commission on Large Dams (ICOLD): <https://www.icold-cigb.org/>
- Ορισμός μεγάλου φράγματος:** Ύψος φράγματος ίσο ή μεγαλύτερο των 15 m, μετρούμενο από το χαμηλότερο υψόμετρο θεμελίωσης έως τη στέψη, ή φράγμα ύψους 5 ως 15 m, το οποίο δημιουργεί ταμιευτήρα μεγαλύτερο ή ίσο των 3.0 hm<sup>3</sup>.
- Πλήθος μεγάλων φραγμάτων:** 57 985 (1. Κίνα: 23 841, 2. ΗΠΑ: 9 263, 3. Ινδία: 4 408, 4. Ιαπωνία: 3 130, 5. Βραζιλία: 1 365, ..., 9. Ισπανία: 1 064, 10. Τουρκία: 973, ... 19. Αλβανία: 308, ... 29. Ελλάδα: 162, ..., 50. Κύπρος: 57)



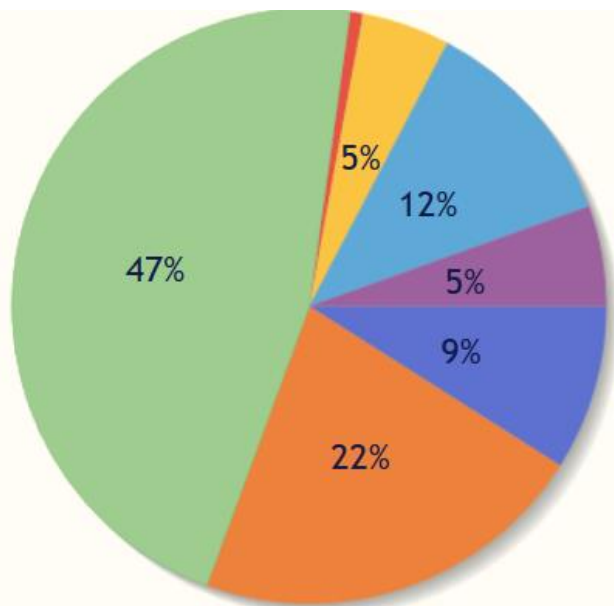
Παγκόσμια κατανομή ανά τύπο φράγματος



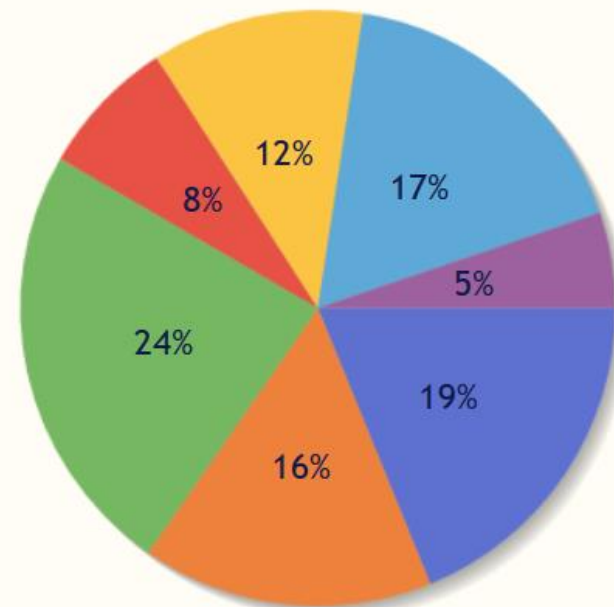


# Παγκόσμια κατανομή φραγμάτων ανά χρήση νερού

## Φράγματα μεμονωμένου σκοπού

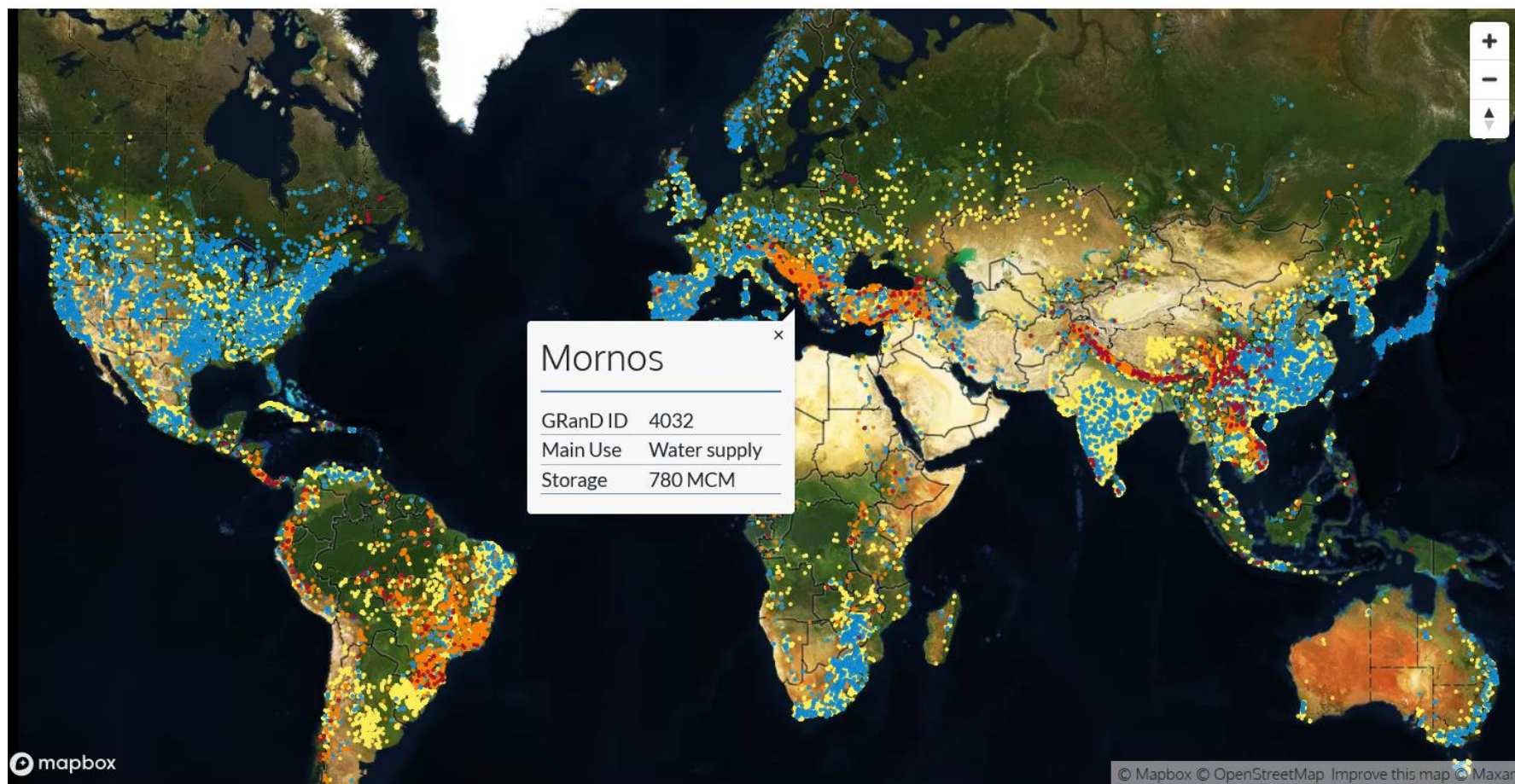


## Φράγματα πολλαπλού σκοπού

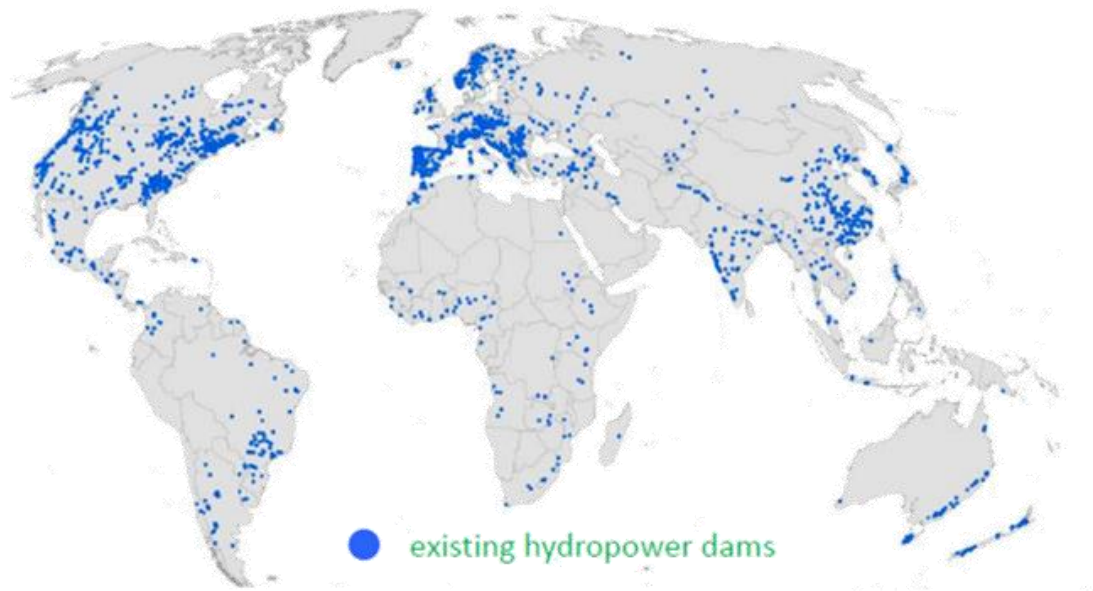


# Παγκόσμια βάση δεδομένων ταμιευτήρων & φραγμάτων (Global Reservoir & Dam Database, GRanD)

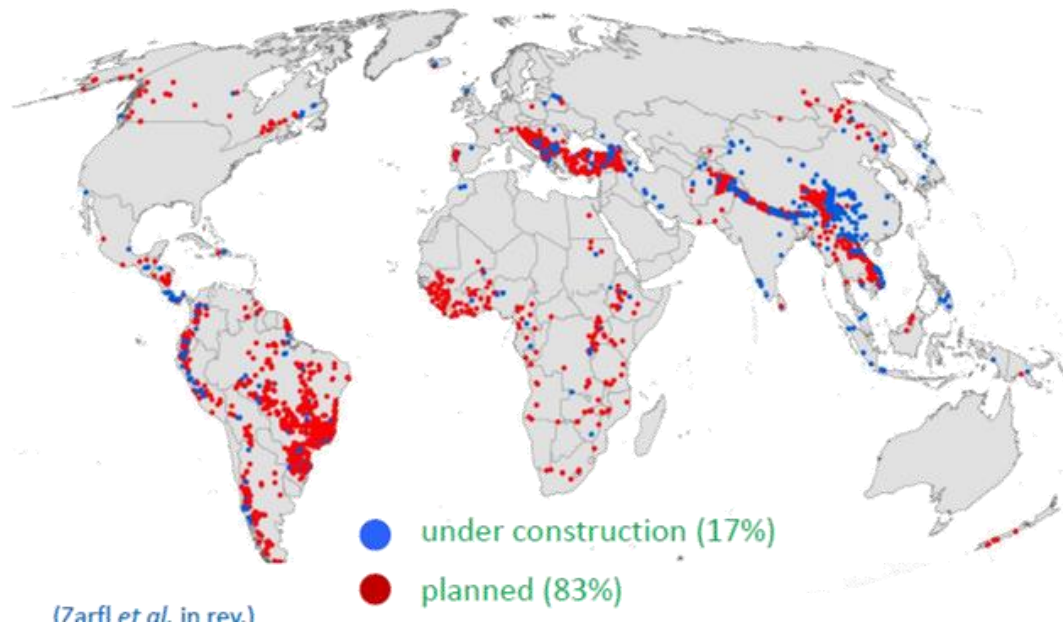
- ❑ Ιστοσελίδα: <http://globaldamwatch.org/grand/>
- ❑ Γεωγραφικά δεδομένα υφιστάμενων και μελλοντικών έργα (38 660 καταγεγραμμένες θέσεις, δεδομένα για 7 320 φράγματα ύψους > 15 m, 3 700 φράγματα υπό σχεδιασμό)



# Φράγματα και υδροηλεκτρική ενέργεια



Σήμερα λειτουργούν περισσότερα από 6100 μεγάλα υδροηλεκτρικά φράγματα



Κατασκευάζονται ή έχουν μελετηθεί 3700 νέα μεγάλα υδροηλεκτρικά φράγματα (Αφρική, ΝΑ Ασία, Νότια Αμερική)

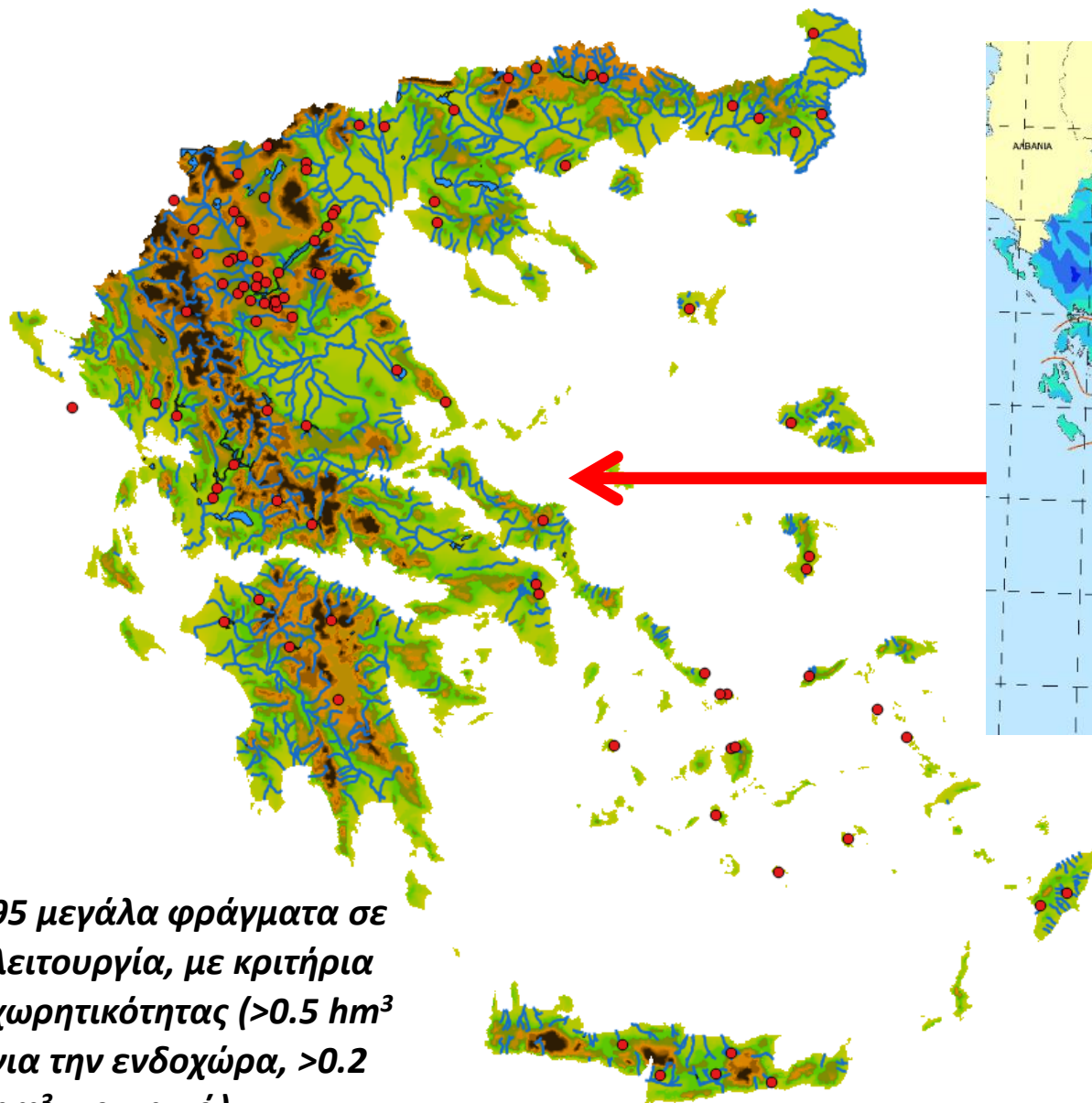
(Zarfl et al. in rev.)

# Τα παγκόσμια (και ελληνικά) ρεκόρ

- Τα υψηλότερα γεωφράγματα
  - Rogun\*, Τατζικιστάν: 335 m
  - Shuangjiangkou\*, Κίνα: 312 m
  - Νουρέκ, Τατζικιστάν: 300 m
  - [Θησαυρός: 170 m]
- Το υψηλότερο φράγμα βαρύτητας
  - Grande Dixence, Ελβετία: 285 m
  - [Σφηκιά: 95 m]
- Το υψηλότερο τοξωτό φράγμα
  - Jinping 1, Κίνα: 305 m
  - [Πλαστήρας: 83 m]
- Οι μεγαλύτεροι ταμιευτήρες
  - Robert-Bourassa, Καναδάς: 460 703 hm<sup>3</sup>
  - Kariba, Ζιμπάμπουε/Ζάμπια: 180 600 hm<sup>3</sup>
  - Bratsk, Ρωσία: 169 000 hm<sup>3</sup>
  - [Κρεμαστά: 4 500 hm<sup>3</sup>]
- Οι μεγαλύτερες παροχές σχεδιασμού υπερχειλιστή
  - Nagarjunasagar Tail Pond\*, Ινδία: 1 600 000 m<sup>3</sup>/s
  - Mid Manair Project\*, Ινδία: 508 000 m<sup>3</sup>/s
  - Maopingxi, Κίνα: 124 300 m<sup>3</sup>/s
  - [Πουρνάρι: 6 100 m<sup>3</sup>/s]
- Η μεγαλύτερη ΥΗΕ εγκατάσταση
  - Sanxia, Κίνα: 22 500 MW
  - [Κρεμαστά: 437 MW]
- Η μεγαλύτερη αρδευόμενη από φράγμα έκταση
  - Shentian, Κίνα: 315 000 km<sup>2</sup>
  - [Σμόκοβο\*: 252 km<sup>2</sup>]

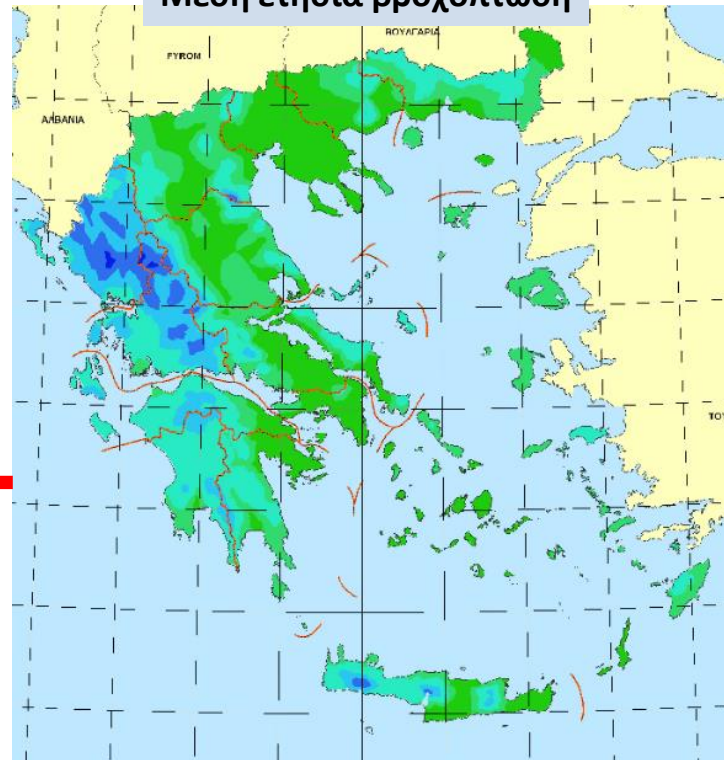
(\*) Με αστερίσκο σημειώνονται τα φράγματα υπό κατασκευή

# Τα μεγάλα φράγματα της Ελλάδας



**95 μεγάλα φράγματα σε λειτουργία, με κριτήρια χωρητικότητας ( $>0.5 \text{ hm}^3$  για την ενδοχώρα,  $>0.2 \text{ hm}^3$  για νησιά)**

Μέση ετήσια βροχόπτωση



Πηγή: Κουτσογιάννης κ.ά. (2008)

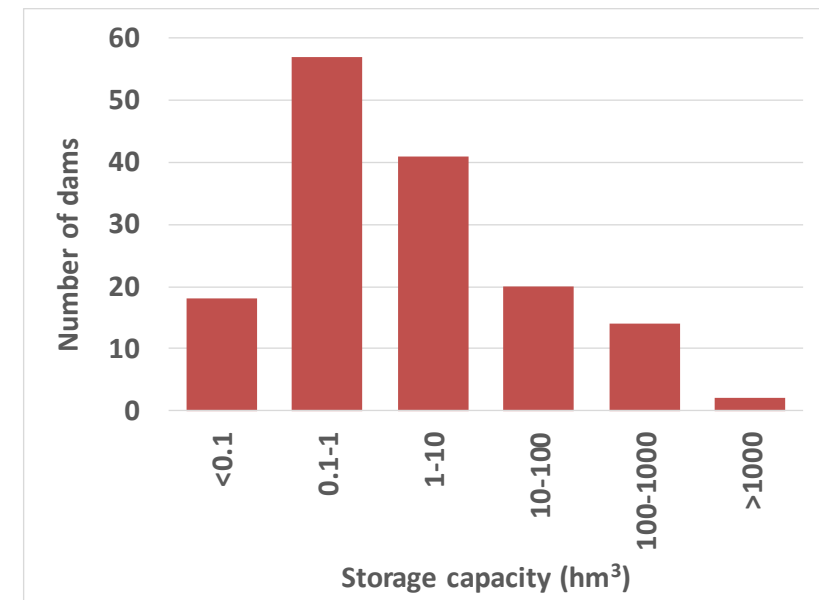
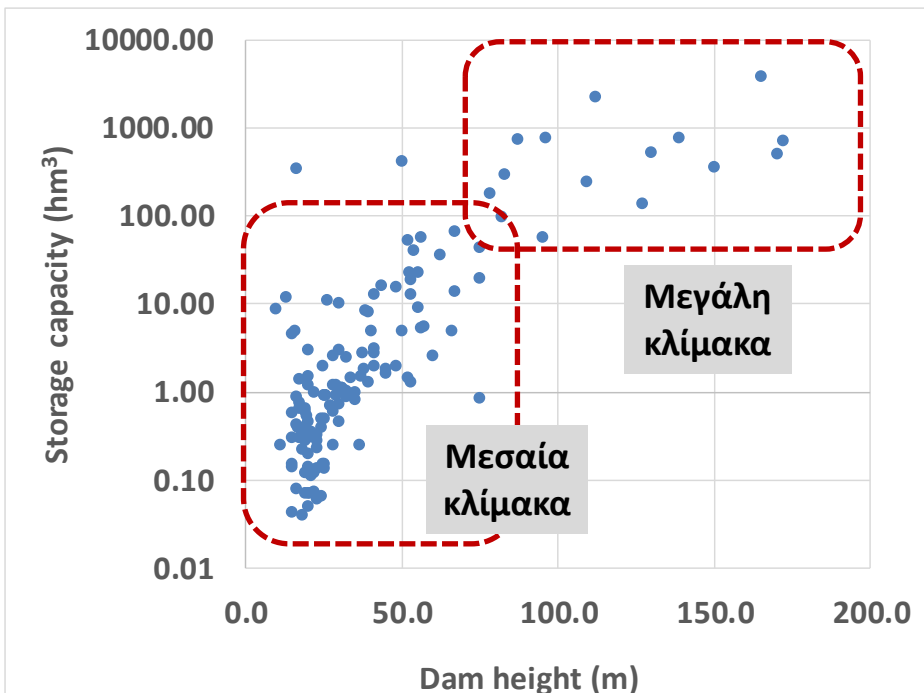
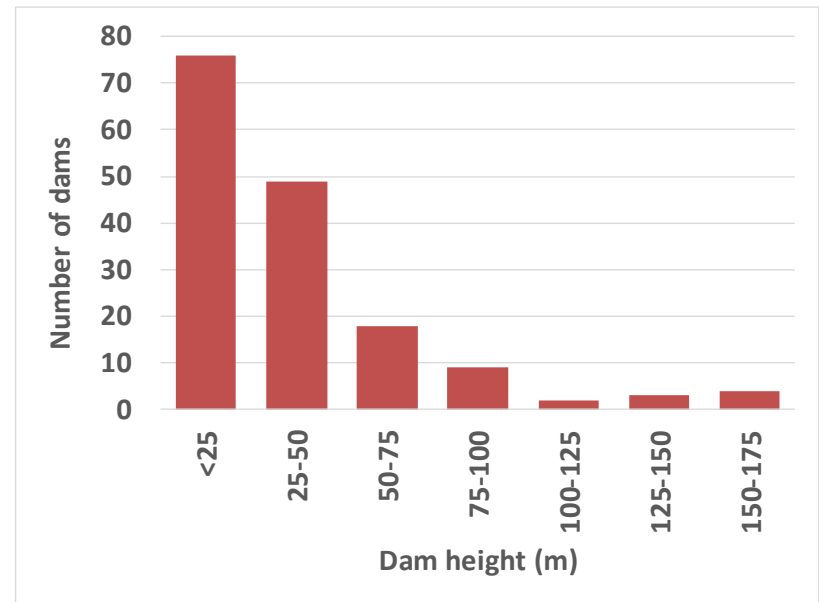
**Πληροφορίες για τα φράγματα της Ελλάδας: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων (ΕΕΜΦ, <http://www.eeft.gr/>)**

# Συνοπτική επισκόπηση μεγάλων φραγμάτων

- Τα περισσότερα κατασκευάστηκαν από την ΔΕΗ, από τα τέλη της δεκαετίας του 1950 έως τα τέλη της δεκαετίας του 1990, για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας.
- Μεγάλα συστήματα φραγμάτων:
  - Αχελώος: Πλαστήρας, Μεσοχώρα, Συκιά\*, Αυλάκι\*, Κρεμαστά, Καστράκι, Στράτος
  - Αλιάκμονας: Ιλαρίωνας, Πολύφυτο, Σφηκιά, Ασώματα, Αγία Βαρβάρα
  - Νέστος: Θησαυρός, Πλατανόβρυση, Τέμενος\*
  - Άραχθος: Αγ. Νικόλαος\*, Πουρνάρι I, Πουρνάρι II
  - Υδροδοτικό σύστημα Αθήνας: Εύηνος, Μόρνος, Μαραθώνας
- Φράγματα εκτροπής:
  - Μαραθώνας, Μόρνος (πλήρης εκτροπή για ύδρευση της Αθήνας)
  - Εύηνος (μερική εκτροπή στον Μόρνο)
  - Πλαστήρας (πλήρης εκτροπή στη Θεσσαλική πεδιάδα)
  - Πηγές Αώου (μερική εκτροπή στον Άραχθο)
  - Συκιά\* (μερική εκτροπή στη Θεσσαλική πεδιάδα)
- Έργα αντλησιοταμίευσης:
  - Σφηκιά ↔ Ασώματα
  - Θησαυρός ↔ Πλατανόβρυση

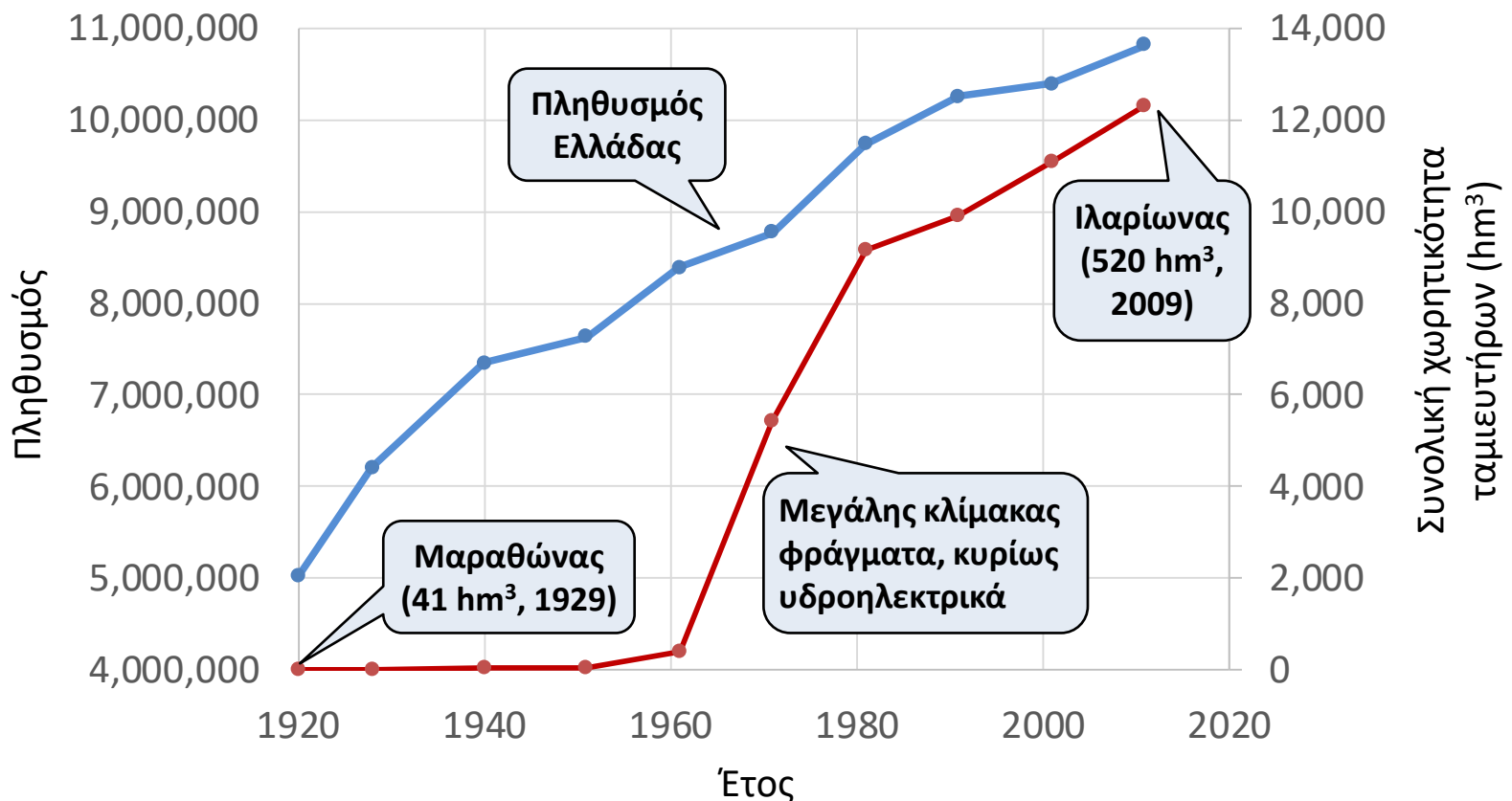
# Μερικά στατιστικά στοιχεία

- 32 φράγματα μεγάλης κλίμακας, ύψους >50 m, τέσσερα εκ των οποίων υπερβαίνουν τα 150 m, κυρίως για παραγωγή ενέργειας (υψηλότερο: Θησαυρός, Νέστος, 172 m)
- 125 μεσαίας κλίμακας φράγματα, με ύψος από 5 ως 50 m, για ύδρευση και άρδευση
- 16 ταμιευτήρες ολικής χωρητικότητας >100 hm<sup>3</sup>, δύο εκ των οποίων υπερβαίνουν τα 1000 hm<sup>3</sup> (Κρεμαστά, Αχελώος, 4500 hm<sup>3</sup>)



# Ιστορική εξέλιξη

- ❑ Συνολική χωρητικότητα ~ 12 800 hm<sup>3</sup> (Κρεμαστά + Πολύφυτο = 6070 hm<sup>3</sup>)
- ❑ Χωρητικότητα ανά κάτοικο: 1951: 5 m<sup>3</sup>, 1961: 47 m<sup>3</sup>, 1971: 620 m<sup>3</sup>, 1981: 943 m<sup>3</sup>, 1991: 965 m<sup>3</sup>, 2001: 1065 m<sup>3</sup>, 2011: 1140 m<sup>3</sup>
- ❑ Η τρέχουσα χωρητικότητα των ταμιευτήρων της Ελλάδας μπορεί δυνητικά να καλύψει ημερήσια κατά κεφαλή ζήτηση νερού της τάξης των 300 L.



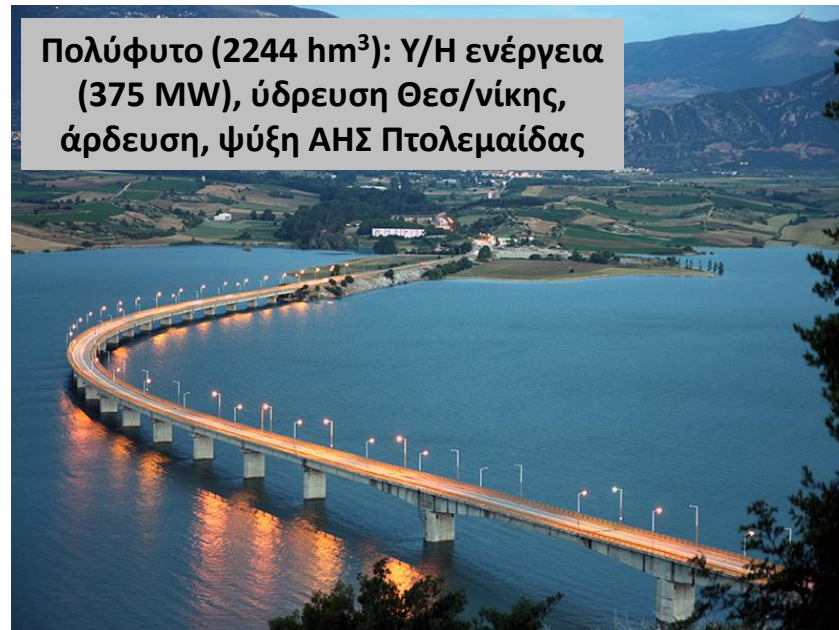


# Τα μεγαλύτερα φράγματα της ΔΕΗ

**Κρεμαστά (3828 hm<sup>3</sup>):**  
**Υ/Η ενέργεια (437 MW)**



**Πολύφυτο (2244 hm<sup>3</sup>):** Υ/Η ενέργεια  
(375 MW), ύδρευση Θεσ/νίκης,  
άρδευση, ψύξη ΑΗΣ Πτολεμαΐδας



**Θησαυρός (705 hm<sup>3</sup>):**  
**Υ/Η ενέργεια (384 MW)**



**Καστράκι (785 hm<sup>3</sup>):** Υ/Η ενέργεια  
(320 MW), ύδρευση Αγρινίου



# Τα μεγαλύτερα υδρευτικά και αρδευτικά φράγματα

Μόρνος (764 hm<sup>3</sup>): ύδρευση



Εύηνος (138 hm<sup>3</sup>): ύδρευση



Σμόκοβο (240 hm<sup>3</sup>):  
άρδευση & ύδρευση



Πηνειός (420 hm<sup>3</sup>): άρδευση



# Το μέλλον των φραγμάτων

---

- ❑ Τα φράγματα παρουσιάζουν μεγάλα πλεονεκτήματα σε ότι αφορά την εξυπηρέτηση των αναγκών του ανθρώπου. Από την άλλη, οι επιπτώσεις τους είναι σημαντικές.
- ❑ Οι αναμενόμενες επιπτώσεις από την κατασκευή των φραγμάτων αποτελούν σήμερα βασικό πυλώνα αξιολόγησης της σκοπιμότητάς τους.
- ❑ Διεθνείς οργανισμοί (επιστημονικοί ή χρηματοδότες) αναζητούν διαρκώς τρόπους μετριασμού των επιπτώσεων και δικαιότερης διαδικασίας εκτίμησής τους.
- ❑ Πλέον, έχουν εξελιχθεί σημαντικά οι τεχνικές ανάλυσης της βιωσιμότητας και προώθησης των φραγμάτων και σχετικών έργων.
- ❑ Κατά τα ευρήματα της ICOLD (Dams and Development, 2001), οι βασικοί άξονες προεραιοτήτων σε σχέδια κατασκευής μεγάλων φραγμάτων είναι:
  - Κοινωνική αποδοχή
  - Διεξοδική και διαφανής εξέταση επιλογών και εναλλακτικών
  - Σωστή διαχείριση των υφιστάμενων φραγμάτων
  - Προστασία των ποταμών και των οικοσυστημάτων τους
  - Αναγνώριση δικαιωμάτων και συμμετοχή στα οφέλη
  - Εξασφάλιση της τήρησης των όρων χρήσης
  - Διακρατική συνεργασία για την ειρήνη και την ασφάλεια