

*Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
Διατμηματικό μάθημα: Περιβάλλον & Ανάπτυξη  
Μάιος 2005*

---

*Ταμιευτήρες: αναγκαιότητα, επιπτώσεις  
και διαχείρισή τους  
Το παράδειγμα του ταμιευτήρα Ταυρωπού*

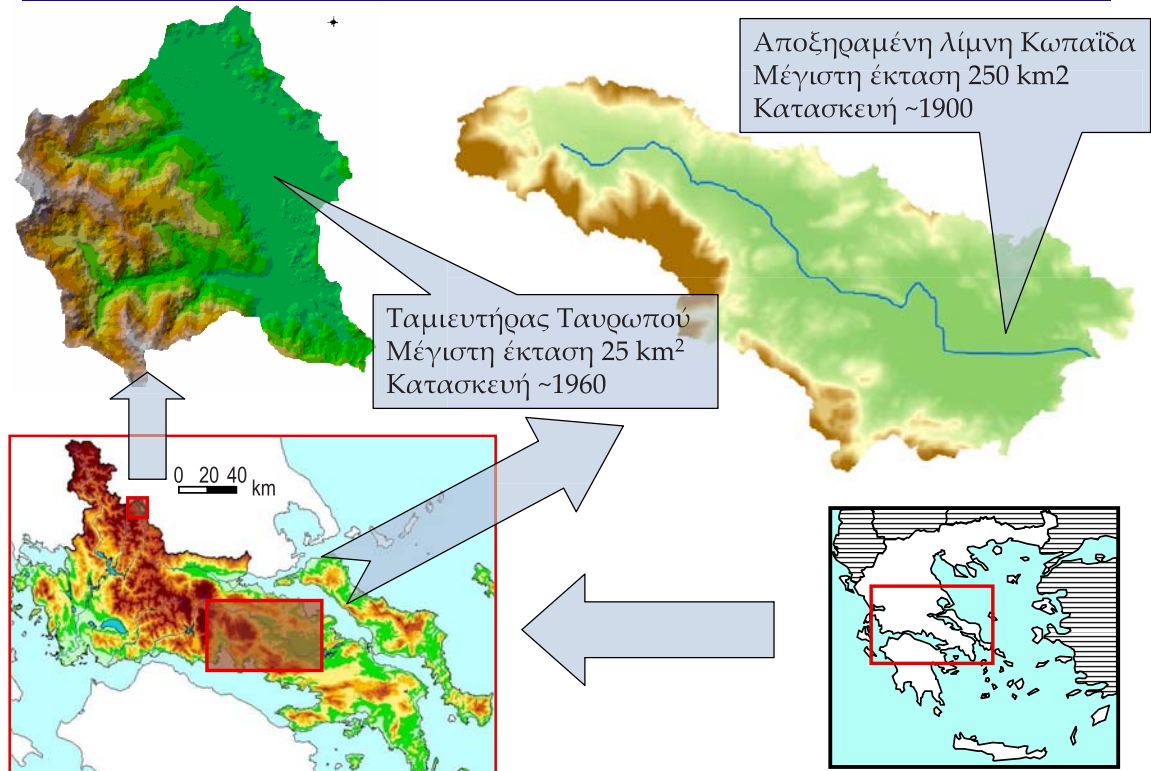
---

*Αλεξάνδρα Κατσίρη & Δημήτρης Κουτσογιάννης  
Τομέας Υδατικών Πόρων  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*

*Μέρος Α*

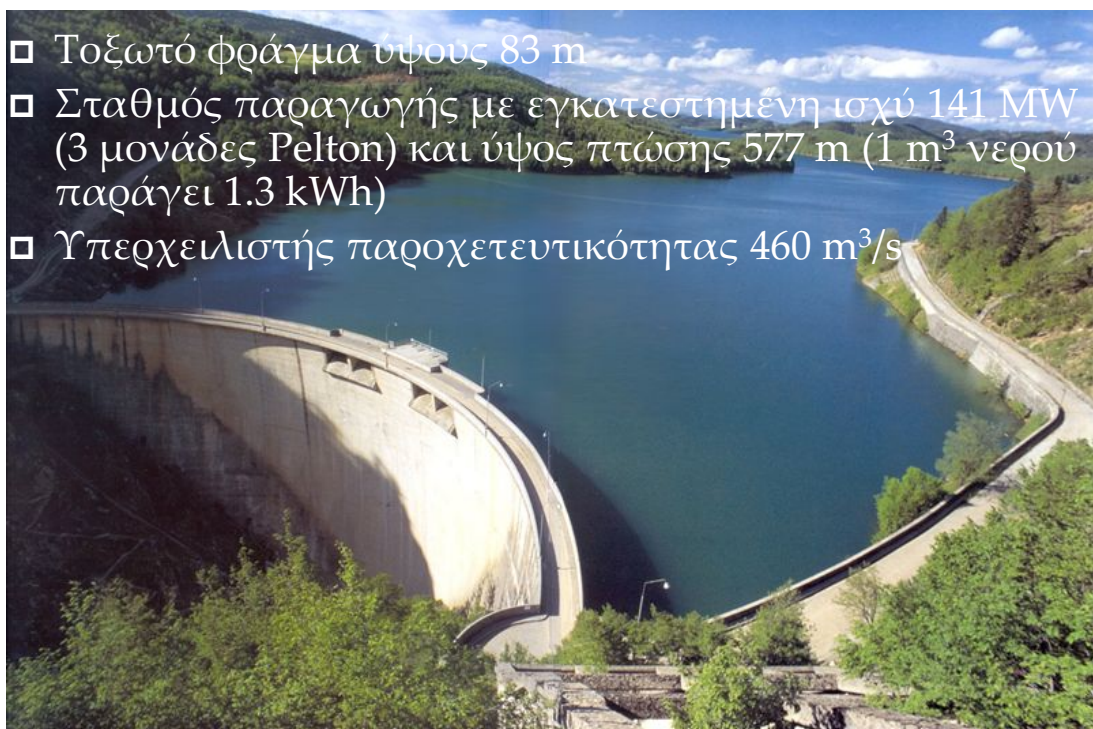
*Ταμιευτήρες: αναγκαιότητα,  
επιπτώσεις και διαχείρισή τους*

## Τεχνικά έργα και τροποποίηση του περιβάλλοντος



## Το φράγμα Ταυρωπού (Μέγδοβα, Πλαστήρα)

- ❑ Τοξωτό φράγμα ύψους 83 m
- ❑ Σταθμός παραγωγής με εγκατεστημένη ισχύ 141 MW (3 μονάδες Pelton) και ύψος πτώσης 577 m (1 m<sup>3</sup> νερού παράγει 1.3 kWh)
- ❑ Υπερχειλιστής παροχευτικότητας 460 m<sup>3</sup>/s



## Ο ταμιευτήρας Ταυρωπού και οι λειτουργίες του

- ❑ Καταλαμβάνει 25 από τα 167 km<sup>2</sup> (15% - άνευ προηγουμένου!) της λεκάνης απορροής του Ταυρωπού (παραποτάμου του Αχελώου)
- ❑ **Εκτρέπει νερό του Αχελώου** στη Θεσσαλία (χωρίς να αφήνει σταγόνα στα κατάντη! – πλην υπερχειλίσεων)
- ❑ Δίνει νερό σε καταναλωτικές χρήσεις: άρδευση (ετήσιες ανάγκες 145 hm<sup>3</sup>), ύδρευση (ετήσιες ανάγκες 15 hm<sup>3</sup>)
- ❑ Παράγει ενέργεια (250 GWh ετησίως κατά το σχεδιασμό, ~200 GWh στην πραγματικότητα)
- ❑ Διαμορφώνει ένα **τεχνητό περιβάλλον** με υψηλή αισθητική που αποτελεί βάση τουριστικής ανάπτυξης

## Αναπτυξιακές διαστάσεις του έργου

Προσέγγιση με βάση απόψεις κατοίκων του Νομού Καρδίτσας

Η λίμνη Ταυρωπού αποτελεί αξιοθέατο;	98% Ναι
Το φράγμα αποτελεί αξιοθέατο;	92% Ναι
Πώς θα είχε αναπτυχθεί ο Νομός Καρδίτσας χωρίς το φράγμα;	61% Καθόλου
Έχει συμβάλει η λίμνη στην τουριστική ανάπτυξη;	98% Ναι
Υπήρχαν φόβοι ή ενστάσεις πριν κατασκευαστεί το φράγμα;	83% Όχι*
Ποιος πήρε την απόφαση να κατασκευαστεί το φράγμα;	83% Πλαστήρας*

\*Ανιστόρητες απαντήσεις

Πηγή: Σαργέντης (1998).

## Αναγκαιότητα κατασκευής ταμιευτήρων

---

- ❑ Οι υδατικοί πόροι είναι ανανεώσιμοι – όχι αποθεματικοί
- ❑ Η φυσική προσφορά νερού είναι μη προβλέψιμη και έχει έντονες διακυμάνσεις σε όλες τις χρονικές κλίμακες (πλημμύρες, ξηρασίες)
- ❑ Η παροχή νερού στην κατανάλωση (άρδευση, ύδρευση) πρέπει να γίνεται σε ρυθμούς που καθορίζονται από τη ζήτηση
- ❑ Άρα χρειάζεται αποθήκευση νερού
- ❑ Οι φυσικές αποθήκες νερού (λίμνες, υδροφορείς) δεν επαρκούν ή δεν βρίσκονται εκεί που υπάρχει ζήτηση
- ❑ Παράλληλα, οι ταμιευτήρες αποσοβούν το μεγαλύτερο μέρος των πλημμυρών στις κατάντη περιοχές
- ❑ Το νερό έχει και εξέχουσα ενεργειακή αξία και αποτελεί ενεργειακό πόρο αλλά και μέσο αποθήκευσης (συντελεστής απόδοσης > 0.90)
- ❑ Οι ταμιευτήρες εξασφαλίζουν σημαντικό ύψος πτώσης – άρα μεγιστοποιούν το ενεργειακό δυναμικό του νερού

## Οικονομικές ωφέλειες από τους ταμιευτήρες

### Υδροηλεκτρική ενέργεια

---

- ❑ Η υδροηλεκτρική ενέργεια διακρίνεται σε **πρωτεύουσα** (συνεχώς διαθέσιμη) και **δευτερεύουσα** (περίσσεια). Ακόμη, διακρίνεται σε ενέργεια **αιχμής** (παράγεται σε ώρες αιχμής της ζήτησης) και μη αιχμής ή **βάσης**. Συνήθως η πρωτεύουσα ενέργεια είναι και ενέργεια αιχμής.
- ❑ Το όφελος θεωρείται ίσο με το **κόστος υποκατάστασης** της υδροηλεκτρικής ενέργειας/ισχύος με θερμοηλεκτρική ενέργεια/ισχύ (από μονάδες αεριοστροβιλικές, συνδυασμένου κύκλου, πετρελαϊκές ατμοηλεκτρικές, ή ατμοηλεκτρικές στερεού καυσίμου – π.χ. λιγνιτικές). Ειδικότερα, θεωρείται ότι η υποκατάσταση της πρωτεύουσας ενέργειας γίνεται με ευέλικτες μονάδες κυμαινόμενου φορτίου (π.χ. αεριοστροβιλικές, συνδυασμένου κύκλου), ενώ για τη δευτερεύουσα λαμβάνεται υπόψη το φτηνότερο καύσιμο (π.χ. λιγνίτης).

## Οικονομικές ωφέλειες από τους ταμιευτήρες Καταναλωτικές χρήσεις νερού – Αντιπλημμυρική προστασία

---

- Όφελος γεωργικής παραγωγής
  - Θεωρείται ίσο με το καθαρό αγροτικό εισόδημα που πραγματοποιείται μετά την άρδευση των καλλιεργειών μείον το καθαρό αγροτικό εισόδημα που πραγματοποιείται χωρίς άρδευση.
- Όφελος υδροδότησης
  - Μπορεί να εκτιμηθεί εναλλακτικά:
    - Με βάση το κόστος υποκατάστασης με άλλο έργο υδροδότησης·
    - Με βάση τρέχουσες τιμές κατανάλωσης υδρευτικού νερού·
    - Με βάση εκτίμηση της τιμής που οι καταναλωτές θα πλήρωναν με προθυμία.
- Όφελος αντιπλημμυρικής προστασίας
  - Η εκτίμησή του είναι δύσκολη και προϋποθέτει την οικονομική ανάλυση των ζημιών που προκαλούνται από τις πλημμύρες

## Ενδεικτικά μοναδιαία μεγέθη κόστους και οφέλους

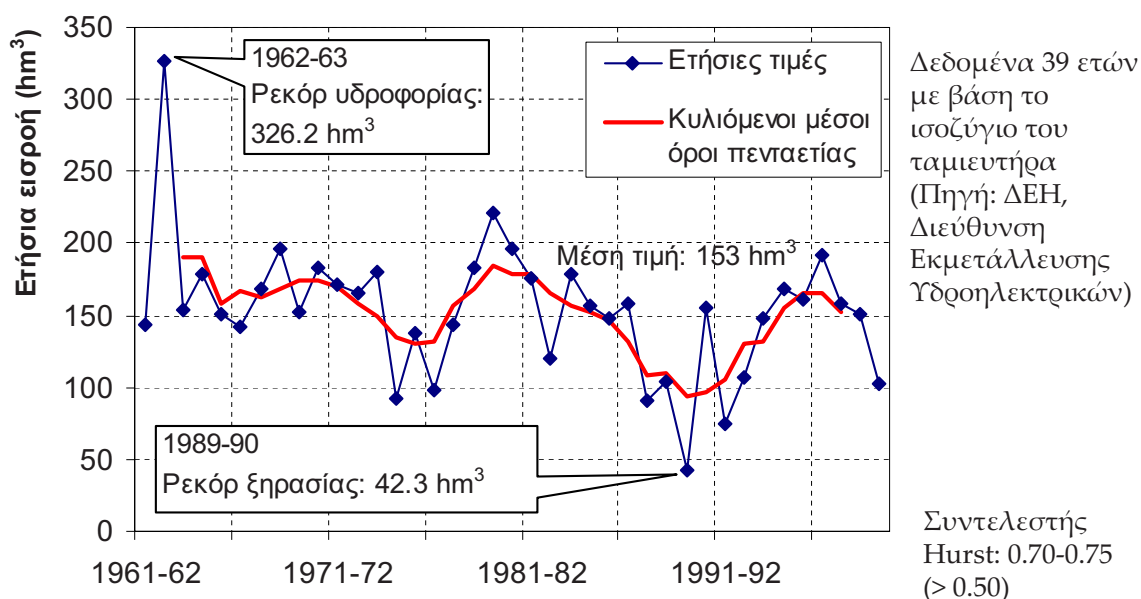
---

### Τιμές 2003

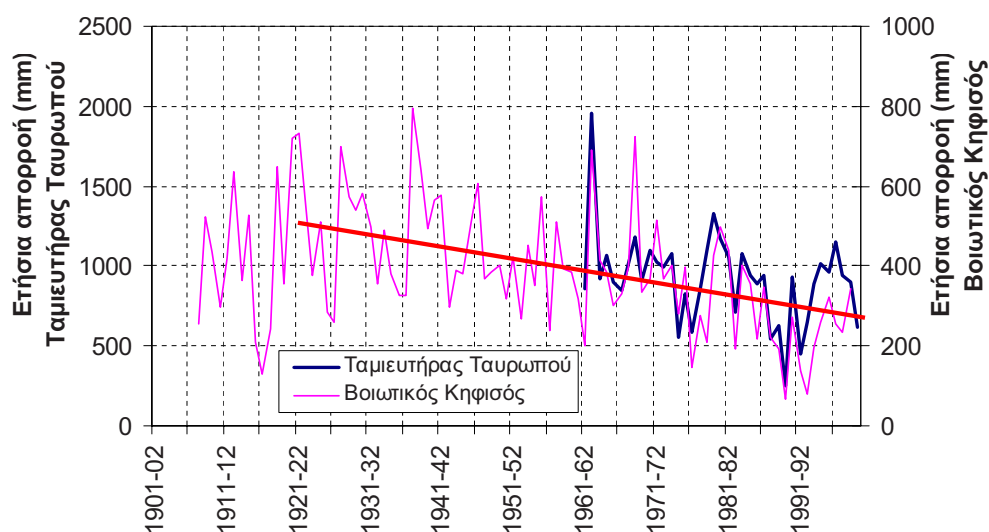
- Υδροηλεκτρική ενέργεια
  - Τυπικό όφελος πρωτεύουσας ενέργειας: 0.032-0.044 €/kWh
  - Τυπικό όφελος δευτερεύουσας ενέργειας: 0.018-0.024 €/kWh
  - Τιμή πώλησης ενέργειας ΔΕΗ (οικιακή χρήση/χαμηλή κατανάλωση): 0.067 €/kWh
  - Τιμή αγοράς ενέργειας ΔΕΗ (από τρίτους παραγωγούς): 0.053 €/kWh
- Γεωργικό όφελος
  - Τυπικό καθαρό όφελος: 0.06-0.15 €/m<sup>3</sup> αρδευτικού νερού
- Υδρευτική χρήση
  - Τιμή πώλησης νερού ΕΥΔΑΠ (οικιακή χρήση/χαμηλή κατανάλωση): 0.38 €/m<sup>3</sup>
  - Κόστος νερού από φράγμα Ευήνου (μόνο κατασκευαστικό κόστος φράγματος και σήραγγας): 0.06 €/m<sup>3</sup>
  - Κόστος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού σε ελληνικά νησιά: 1.80-3.00 €/m<sup>3</sup> (λειτουργικό 1.20-1.80 €/m<sup>3</sup>)
  - Κόστος μεταφοράς νερού με πλωτά μέσα σε ελληνικά νησιά: 1.50-7.00 €/m<sup>3</sup>
  - Τυπικό κόστος νερού από λιμνοδεξαμενή χωρητικότητας 200 000 m<sup>3</sup>: 4.40 €/m<sup>3</sup>



## Ανάλυση της αναγκαιότητας των ταμιευτήρων: Μεταβλητότητα των εισροών στον ταμιευτήρα Ταυρωπού



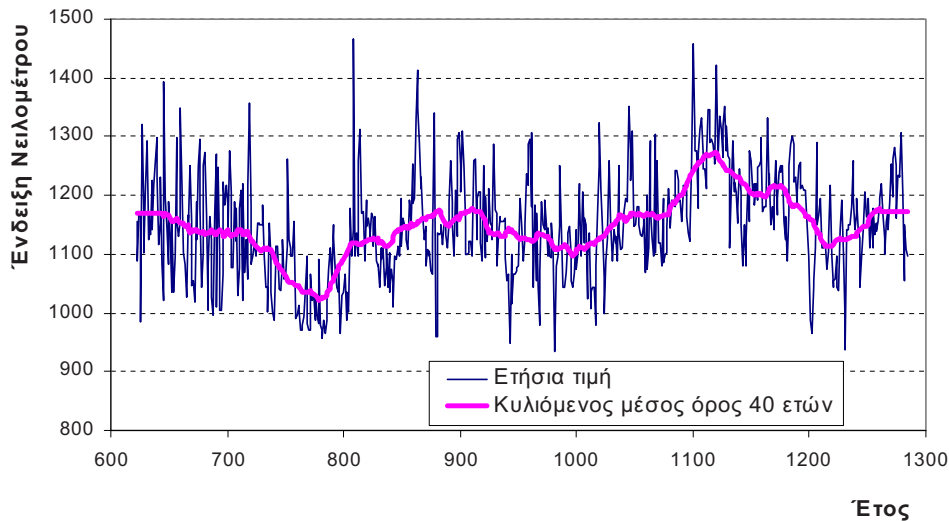
## Συμπεριφορά μακράς κλίμακας των ετήσιων απορροών Ταυρωπού και Βοιωτικού Κηφισού



- Συμφωνία εξάρσεων-υφέσεων
- Εντοπισμός της μεγαλύτερης ξηρασίας του 20ου αιώνα το 1989-90
- Μεγαλύτερη μεταβλητότητα & μείωση απορροής μετά το 1920

## Υδρολογική εμμονή: Διαπίστωση με βάση τη χρονοσειρά του Νειλομέτρου

Ελάχιστη στάθμη του ποταμού Νείλου



## Υδρολογική (γεωφυσική) εμμονή

- Ανακάλυψη από τον E. H. Hurst (1951) στα πλαίσια της μελέτης των παροχών του Νείλου ⇒ Φαινόμενο Hurst
- Πρώτη στοχαστική μοντελοποίηση από τον Mandelbrot (1965-1971) ⇒ Φαινόμενο Ιωσήφ
- Έχει πολύ λίγο κατανοηθεί ως σήμερα
- Σχετίζεται με μεταβολές στο κλίμα
- Έχει δυσμενείς συνέπειες στην αξιοποίηση υδατικών πόρων (μεγαλύτεροι όγκοι ταμιευτήρων – μικρότερες απολήψεις νερού)
- Μεγεθύνει δραματικά την αβεβαιότητα προγνώσεων μακράς κλίμακας (κλιματικών)
- Ως σήμερα δεν έχει ενσωματωθεί στις κλιματολογικές αναλύσεις, ούτε στις πρακτικές υδρολογικού σχεδιασμού και διαχείρισης υδατικών πόρων

## Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ταμιευτήρων - σύνοψη

---

- Κατάκλυση περιοχών
  - Καταστροφή χερσαίων οικοσυστημάτων
  - Καταστροφή τμημάτων ποταμών με τυρβώδη ροή με επιπτώσεις στους ποτάμιους οργανισμούς
  - Καθίζηση φερτών
  - Αύξηση θρεπτικών
  - Αέρια θερμοκηπίου
- Μετακίνηση πληθυσμών
  - Επιπτώσεις στην υγεία
  - Αλλαγές στις χρήσεις γης
- Ρύθμιση της ροής (flow regulation)
  - Αποξήρανση των κατάντη υγροτόπων με συνεπαγόμενη μείωση παραγωγικότητας
  - Τροποποίηση της δυναμικής των δέλτα των ποταμών
  - Εκτεταμένη μεταβολή των υδάτινων οικοσυστημάτων
  - Παρεμπόδιση της ελεύθερης κίνησης και διασποράς των ψαριών που οδηγούν σε απώλειες ολόκληρων πληθυσμών
- Κατάτμηση του ποταμού (fragmentation)

## Επιπτώσεις από την ύπαρξη του φράγματος και τη δημιουργία της τεχνητής λίμνης

---

- Επιπτώσεις της τεχνητής λίμνης στα ανάντη του φράγματος
- Αλλαγές στη γεωμορφολογία του ποταμού κατάντη του φράγματος
- Αλλαγές στην ποιότητα των νερών
- Μείωση της βιοποικιλότητας του οικοσυστήματος του ποταμού



## Η μετατροπή του ποταμού σε λίμνη στα ανάντη του φράγματος

---

- Κατάκλυση της περιοχής που καταλαμβάνει η λίμνη και καταστροφή χερσαίων οικοσυστημάτων
- Οι οικολογικές συνέπειες είναι πολύ μεγαλύτερες από το μέγεθος της έκτασης που καταστρέφεται
  - Καταστροφή τροπικών δασών στη Νότια Αμερική και ΝΑ Ασία με μεγάλη βιοποικιλότητα
  - Καταστροφή λεκανών κατάκλυσης κατά μήκος της κοίτης του ποταμού που αποτελούν πλούσια οικοσυστήματα
  - Αντικατάστασή τους από ένα σχετικά ομοιόμορφο οικοσύστημα με μικρή ποικιλία ειδών
- Μετεγκατάσταση πληθυσμών
  - Παράδειγμα: Τιθορέα στη λεκάνη φράγματος Μόρνου

## Αλλαγές στη γεωμορφολογία του ποταμού κατάντη του φράγματος

---

- Αλλαγές στη γεωμορφολογία της κοίτης, των οχθών, του δέλτα εκβολής και της ακτογραμμής εξαιτίας της μείωσης της στερεοπαροχής και της συγκράτησης των φερτών από τον ταμιευτήρα
  - Παράδειγμα το φράγμα του Assuan στην Αίγυπτο: μείωση της στερεοπαροχής κατά 98%
  - Στο ποταμό Rhone στη Γαλλία από 12 εκ. τον. 19ο αιώνα σε 4-5 εκ. τον. σήμερα
  - Το διαυγές νερό τείνει να επανακτήσει την αρχική στερεοπαροχή διαβρώνοντας την κατάντη κοίτη, τις όχθες και την ακτογραμμή
  - Η κοίτη γίνεται στενότερη και βαθύτερη
  - Μείωση της βιοποικιλότητας

## Αλλαγές στην ποιότητα του νερού

---

- Διαταραχή των φυσικών βιο-γεωχημικών κύκλων του άνθρακα, του οξυγόνου του αζώτου και του φωσφόρου με αποτέλεσμα μεταβολές στη θερμοκρασία, θολότητα, στρωμάτωση, διαλυμένο οξυγόνο, θρεπτικά, βαριά μέταλλα
- Αποσύνθεση βλάστησης που έχει κατακλυστεί και παραγωγή αέριων θερμοκηπίου, CO<sub>2</sub> και CH<sub>4</sub>
- Αύξηση φυτοπλαγκτού λόγω αύξησης του χρόνου παραμονής του νερού
  - Μέση αύξηση 3 φορές, από 16 σε 47 ημέρες
- Οξείδωση του ανόργανου υδραργύρου σε μεθυλιούχο υδράργυρο που είναι τοξικός

## Αλλαγές στη βιοποικιλότητα

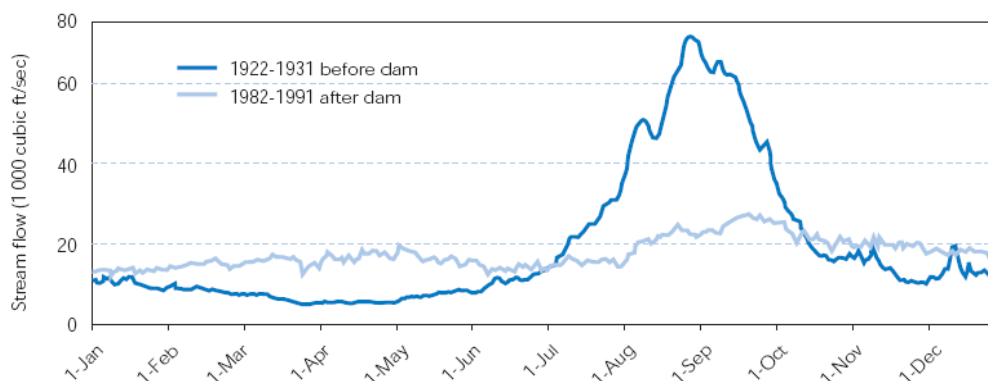
---

- Διακόπτεται η συνεχής ροή του ποταμού και εμποδίζεται η κίνηση των ψαριών προς τα ανάντη (σολομός) ή προς τα κατάντη (χέλια)
- Σπάει η συνέχεια μεταξύ της κοίτης και των λεκανών κατάκλυσης
- Συχνά επικρατούν είδη περισσότερο ανθεκτικά, όπως σαλιγκάρια, νούφαρα, που εκτοπίζουν τον ενδημικό πληθυσμό

## Επιπτώσεις από την αλλαγή της διαίτας της ροής του ποταμού

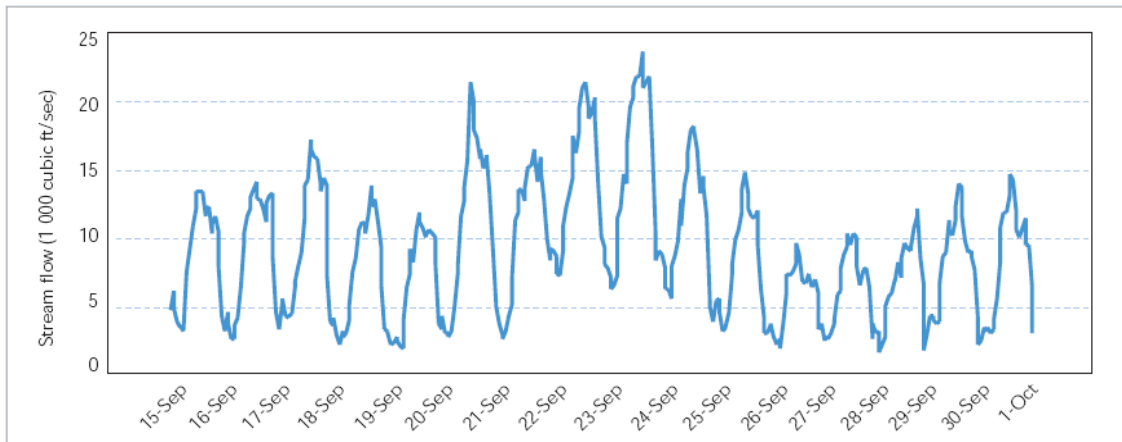
- Η ζωή στον ποταμό είναι απόλυτα συνδεδεμένη με το καθεστώς και τη διαίτα της ροής
  - Μείωση της ολικής παροχής του ποταμού
  - Μείωση και αλλαγή των εποχιακών διακυμάνσεων
  - Μεγάλες ημερήσιες διακυμάνσεις παροχής ανάλογα με τη λειτουργία του φράγματος

## Αλλαγή στη ετήσια διαίτα της παροχής στον ποταμό Colorado μετά την κατασκευή φράγματος



Πηγή: United States Geological Survey, 2000.

## Ημερήσια διακύμανση της παροχής που οφείλεται στη λειτουργία του ταμιευτήρα



Πηγή: United States Bureau of Reclamation, 2000

## Επιχειρήματα υπέρ των φραγμάτων

- Η συνολική επιφάνεια Γης που καλύπτεται από τις τεχνητές λίμνες είναι 0.5 εκ km<sup>2</sup> ή < 1% της κατοικημένης ή αρδευόμενης έκτασης της Γης ενώ εξυπηρετούν με νερό και ηλεκτρισμό το 20-30% του πληθυσμού της γης
- Οι βασικές επιπτώσεις που προαναφέρθηκαν αφορούν στα μεγάλα φράγματα με παροχές 100-1000 m<sup>3</sup>/s ενώ το 90% των φραγμάτων βρίσκεται σε ποταμούς με παροχή < 1 m<sup>3</sup>/s
- Το 80% των μεγάλων φραγμάτων βρίσκεται σε ποταμούς που είναι ξεροί το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου – άρα η κατασκευή του φράγματος βελτιώνει αυτή την κατάσταση

## Ηθικά και κοινωνικο-πολιτικά διλήμματα

---

- Διατήρηση των φυσικών πόρων ή αξιοποίηση φυσικών πόρων για την ικανοποίηση αναγκών
- Δικαιώματα μιας μικρής τοπικής ομάδας πληθυσμού που εκτοπίζεται ή ζημιώνεται έναντι πολυπληθέστερων ομάδων που ωφελούνται από το έργο
- Συμφέροντα των διεθνών χρηματοδοτικών φορέων έναντι των συμφερόντων λιγότερο αναπτυγμένων χωρών που ωφελούνται από το έργο

## Μέτρα για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων

---

- Μέτρα για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας κατά το σχεδιασμό
  - Μεταφορά ειδών που κινδυνεύουν σε άλλο οικοσύστημα
  - Στην Ινδία υπάρχει η υποχρέωση να «φυτευθεί» νέο δάσος σε άλλη θέση για να αντικαταστήσει αυτό που καταστρέφεται
  - Δημιουργία «περιβαλλοντικών οργανώσεων»
- Βελτιστοποίηση του καθεστώτος και της διαίτας της ροής κατάντη του φράγματος, «οικολογική παροχή»
- Ανοίγματα για τη διέλευση των ψαριών
- Διαχείριση του προβλήματος των φερτών
- Μείωση των προβλημάτων ποιότητας του νερού μέσω προσεκτικής επιλογής της θέσης του φράγματος
- Λήψη μέτρων για τη διαχείριση του προβλήματος του ευτροφισμού κατά τη λειτουργία του φράγματος

## Οικολογική παροχή

---

- ❑ Πρόκειται για την ελάχιστη παροχή που απελευθερώνεται συνεχώς προς τα κατάντη
- ❑ Αρχικώς προσδιοριζόταν αυθαίρετα ως ποσοστό της μέσης ετήσιας ή θερινής παροχής
- ❑ Αργότερα αποφασίστηκε να ορίζεται μετά από μελέτη των απαιτήσεων του οικοσυστήματος αλλά και των απαιτήσεων των κατάντη αναγκών σε νερό

## Η περιβαλλοντική άποψη για τα φράγματα

---

- ❑ Τα μεγάλα φράγματα έχουν κυρίως αρνητικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα
- ❑ Οι επιπτώσεις είναι σύνθετες και πολύπλοκες, εμφανίζονται μετά από πολλά έτη και έχουν επιφέρει ανεπανόρθωτες βλάβες στη φύση
- ❑ Τα μέτρα που έχουν παρθεί μέχρι σήμερα έχουν φέρει μικρά αποτελέσματα γεγονός που οφείλεται κυρίως στην μη κατανόηση των προβλημάτων και των μηχανισμών του περιβάλλοντος
- ❑ Στη Νορβηγία έχουν τοποθετηθεί 34 δίοδοι ψαριών στα 40 υφιστάμενα φράγματα. Από αυτές μόνο το 26% έχουν καλή απόδοση, 41% λιγότερο καλή ενώ 32% δεν δουλεύουν καθόλου. Γενικά η απόδοση θεωρείται μη ικανοποιητική και έχει επιδράσει δυσμενώς στην ιχθυοπαραγωγή. Μη ικανοποιητικές αποδόσεις έχουν αναφερθεί στην Ταϊλάνδη, στην Αυστραλία, τον Καναδά και την Β. Αμερική.



## Πως διαμορφώνεται η σημερινή κατάσταση παγκοσμίως

---

- Υπάρχουν > 45 000 μεγάλα φράγματα (άνω των 15 m) με χωρητικότητα ταμιευτήρων > 6500 km<sup>3</sup> ή το 15% της ετήσιας παροχής των ποταμών. Τα περισσότερα (περίπου 22 000) βρίσκονται στην Κίνα World Commission on Dams, 2000.
- Πάνω από 300 χαρακτηρίζονται ως γιγαντιαία (>150 m ύψος, ή >15 hm<sup>3</sup> ή > 25 km<sup>3</sup>)
- Το μεγαλύτερο φράγμα στον κόσμο είναι αυτό των Τριών Φαραγγιών (Three Gorges) στον ποταμό Chang Jiang (Yangtze) στην Κίνα (181 m ύψος, >35 km<sup>3</sup> χωρητικότητα, έναρξη κατασκευής 1994, έναρξη πλήρωσης ταμιευτήρα 2003, πλήρης λειτουργία 2009, βλ. wikipedia, 2005)

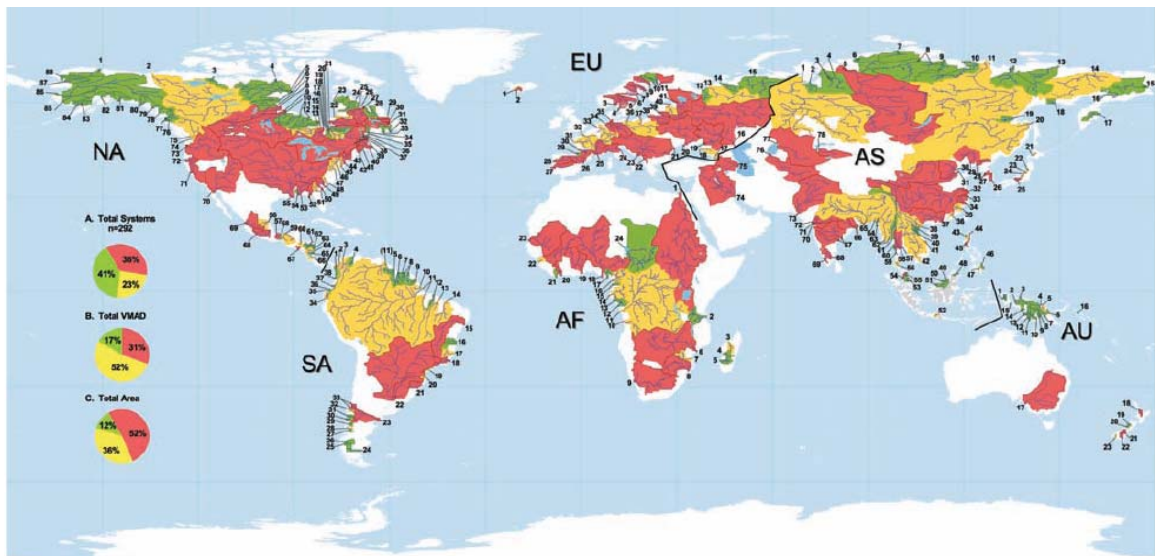
## Ποιες είναι οι επιπτώσεις των φραγμάτων παγκοσμίως (Αποτελέσματα πρόσφατης έρευνας\*)

---

- Αφορά 292 μεγαλύτερα ποτάμια του κόσμου με παροχή πριν τη διευθέτηση 790 000 m<sup>3</sup>/s ή 60% της συνολικής ποτάμιας παροχής με συνολική λεκάνη απορροής το 54% της παγκόσμιας έκτασης της Γης
- Κατέταξαν τα ποτάμια σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το βαθμό κατάτμησης και το βαθμό ρύθμισης της παροχής
  - Με μικρές αλλοιώσεις
  - Με μέτριες αλλοιώσεις
  - Με μεγάλες αλλοιώσεις
- Οι λεκάνες απορροής περιλαμβάνουν κάποιο τμήμα και από τα 16 βασικά χερσαία οικοσυστήματα και για τα 11 από αυτά σε ποσοστό >50%
  - 87% των δασών 50-60 μοίρες βόρεια (τάγκα)
  - 83% των βοσκοτόπων και περιοχών σαβάνας
- Τα οικοσυστήματα που επηρεάζονται λιγότερο είναι τα βραχώδη, τα παγετωνικά και τα Μεσογειακά δάση
- 72 ποτάμια καλύπτουν ένα μόνο οικοσύστημα ενώ το σύστημα Γάγγη-Βραχμαπούτρα καλύπτει 10 διαφορετικά οικοσυστήματα και του Αμαζόνιου –Ορινόκο 8

\* Nilsson (2005)

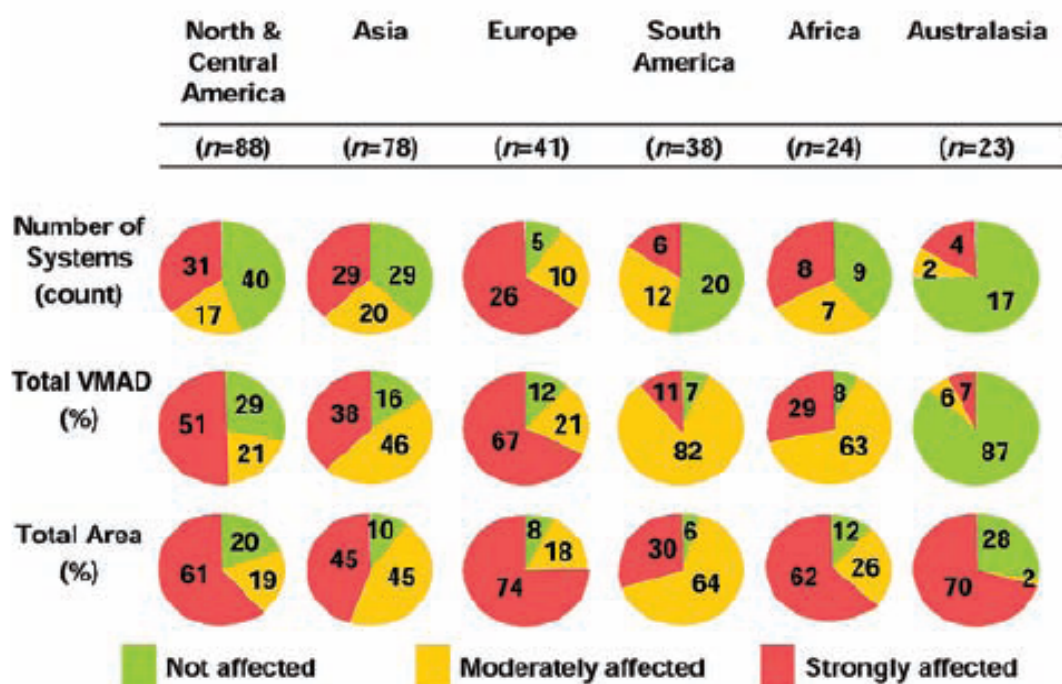
## Ποιες είναι οι επιπτώσεις των φραγμάτων παγκοσμίως - 2 (Αποτελέσματα πρόσφατης έρευνας\*)



\*Πηγή: Nilsson et al. (2005)

Not affected      Moderately affected      Strongly affected

## Ποιες είναι οι επιπτώσεις των φραγμάτων παγκοσμίως - 2 (Αποτελέσματα πρόσφατης έρευνας\*)



Πηγή: Nilsson et al. (2005)

## Ποιό είναι το σημερινό επίπεδο ανάπτυξης των υδατικών πόρων στην Ελλάδα, συγκριτικά με άλλες Ευρωπαϊκές και Μεσογειακές χώρες;

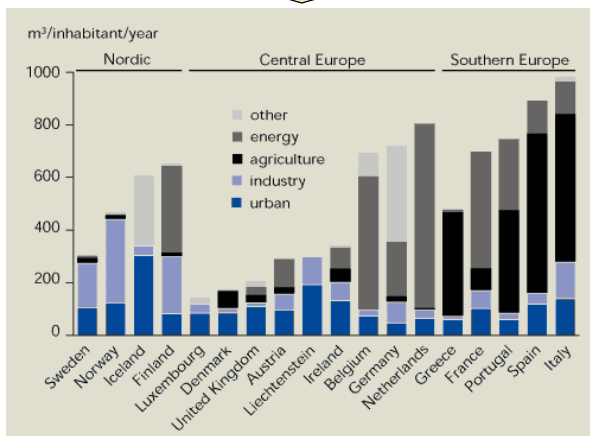
Ευρωπαϊκές και Μεσογειακές χώρες με περισσότερα από 50 μεγάλα φράγματα και αντίστοιχος αριθμός φραγμάτων

Ισπανία	1196	Αυστρία	149
Τουρκία	625	Τσεχία	118
Γαλλία	569	Αλγερία	107
Ιταλία	524	Πορτογαλία	103
Ηνωμένο Βασίλειο	517	Μαρόκο	92
Νορβηγία	335	Ρωσία	91
Γερμανία	311	Τυνησία	72
Αλβανία	306	Γιουγκοσλαβία	69
Ρουμανία	246	Φινλανδία	55
Σουηδία	190	Κύπρος	52
Βουλγαρία	180	Σλοβακία	50
Ελβετία	156	Ελλάδα	46

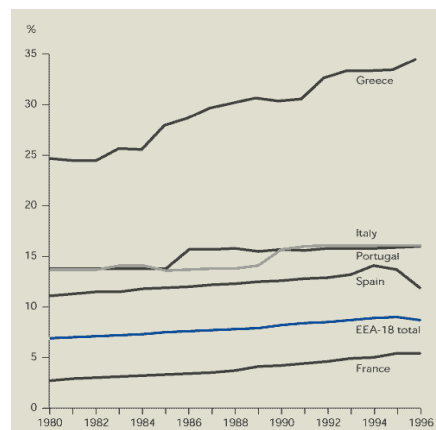
Πηγή: World Commission on Dams (2000, Annex V).

## Μήπως το χαμηλό επίπεδο ανάπτυξης των υδατικών πόρων στην Ελλάδα αντανακλά αντικειμενικά χαμηλές ανάγκες σε νερό;

Συνολική ανά κάτοικο κατανάλωση νερού ανά Ευρωπαϊκή χώρα και ανά χρήση



Αρδευόμενη επιφάνεια ως ποσοστό της συνολικής για διάφορες χώρες της Ευρώπης



Πηγές: EEA, FAO, Eurostat/NewCronos

## Από τεχνική άποψη, υπάρχουν δυνατότητες περαιτέρω ανάπτυξης των υδατικών πόρων;

Μελλοντικά υδροηλεκτρικά έργα που έχουν μελετηθεί	Ποταμός	Θέση μελλοντικού έργου
	Νέστος	Τέμενος
	Αραχθος	Μετσοβίτικος*, Στενό, Καλαρίτικος, Άγιος Νικόλαος (ή/και Πιστιανά)
	Καλαμάς	Μινίνα, Βροσίνα, Σουλόπουλο, Γλύζιανη
	Αώος	Άρματα, Βωβούσα, Ελεύθερο, Αγία Βαρβάρα*, Πυρσόγιαννη, Επταχώρι
	Αλιάκμονας	Ιλαρίωνας*, Ελάφι, Νεστόριο, Κορομηλιά, Σπήλαιο, Μετόχι, Τρίκωμο
	Αχελώος	Μεσοχώρα*, Συκιά*, Τρικεριώτης, Μαρκόπουλο, Βίνιανη, Αυλάκι

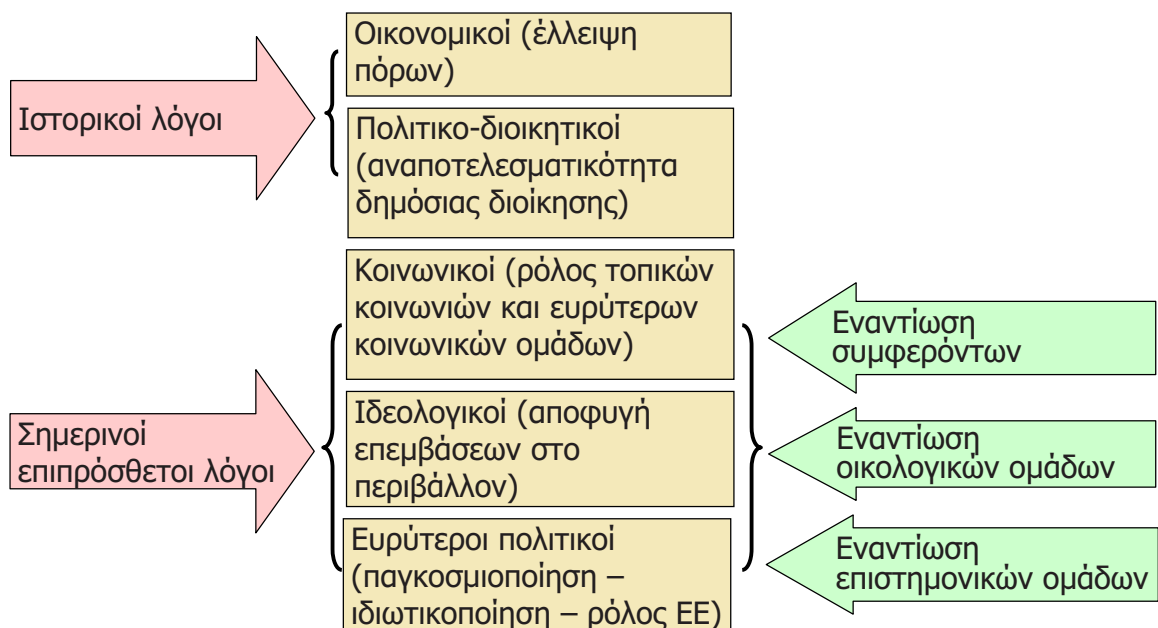
  

Μελλοντικά έργα αξιοποίησης επιφανειακών νερών στη Θεσσαλία	Ποταμός	Θέση μελλοντικού έργου
	Πηνειός (ευρύτερη λεκάνη)	Γυρτώνη και μικροί ταμιευτήρες Κάρλας, Κάρλα, Μουζάκι, Πύλη, Καλούδα, Παλιοδερλί, Νεοχώρι, Παλαιομονάστηρο, Λοιπά μικρά φράγματα Πηνειού

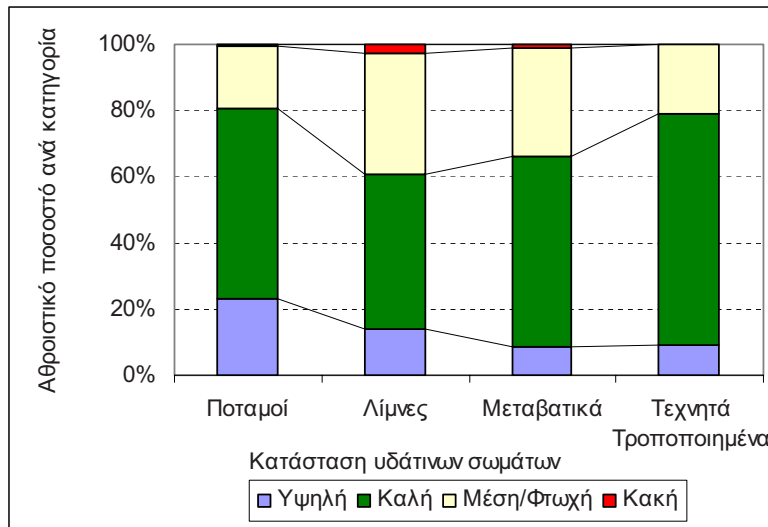
• Σε φάση κατασκευής

Πηγές: (1) Λαζαρίδης κ.ά. 1996, (2) Στεφανάκος (2002), (3) Θεοδωράκης κ.ά. 2000.

## Ποιοι είναι η λόγοι της καθυστέρησης στην ανάπτυξη των υδατικών πόρων στην Ελλάδα;



## Στην Ελλάδα υπάρχει περιβαλλοντική υποβάθμιση λόγω των έως τώρα επεμβάσεων στα φυσικά υδάτινα σώματα;



Πηγή: Tsouni, κ.α. (2001).

## Ειδικότερα, πως αξιολογούνται από περιβαλλοντική άποψη τα μεγάλα υδροενεργειακά έργα στην Ελλάδα;

Σύμφωνα με έρευνα του Πανεπιστημίου Αιγαίου για τη ΔΕΗ:

- ❑ «οι τεχνητές λίμνες της ΔΕΗ έχουν εξελιχθεί σε ωραιότατους υγροβιοτόπους, διατηρώντας και αυξάνοντας τη βιοποικιλότητα στην περιοχή επίδρασής τους»
- ❑ «τα μεγάλα έργα και η τεχνολογία δεν συμβαδίζουν πάντα με την καταστροφή της φύσης, όπως υποστηρίζουν οι κάθε λογής 'οικολογούντες', εναντιούμενοι σχεδόν σε κάθε κατασκευή τεχνολογικού έργου που στοχεύει στη βελτίωση της ζωής μας»

Πηγή: Θεοδωράκης κ.ά. (2000).

## Μέρος Β

# Η διαχείριση του ταμιευτήρα Ταυρωπού

Κυριότερη πηγή: Ομάδα ερευνητικού έργου Πλαστήρα (2002)

### Προσέγγιση

---

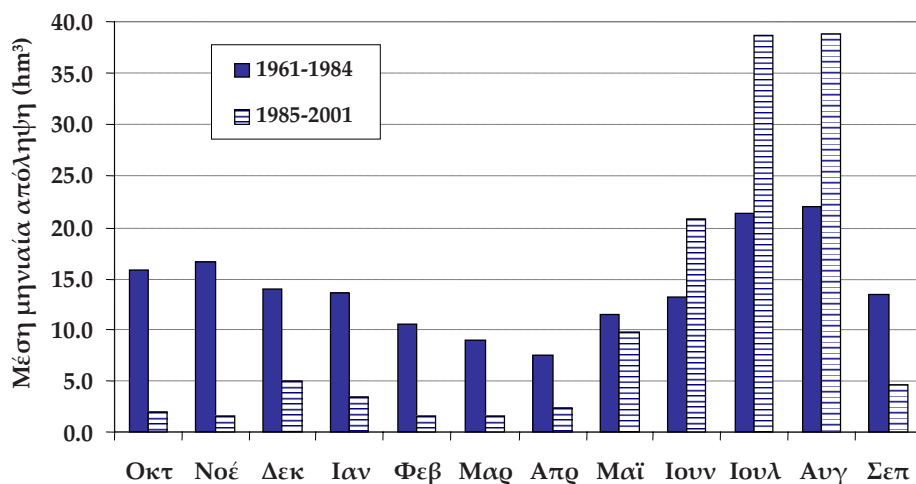
- Υδρολογική - Ποσοτική:
  - Εξασφάλιση της αναγκαίας ποσότητας
- Ποιοτική:
  - Επίδραση της στάθμης της λίμνης στην ποιότητα του νερού
- Τοπίο:
  - Επίδραση της διακύμανσης της στάθμης στην αισθητική του τοπίου



## Μεθοδολογική προσέγγιση: Τρόπος λειτουργίας ταμιευτήρα

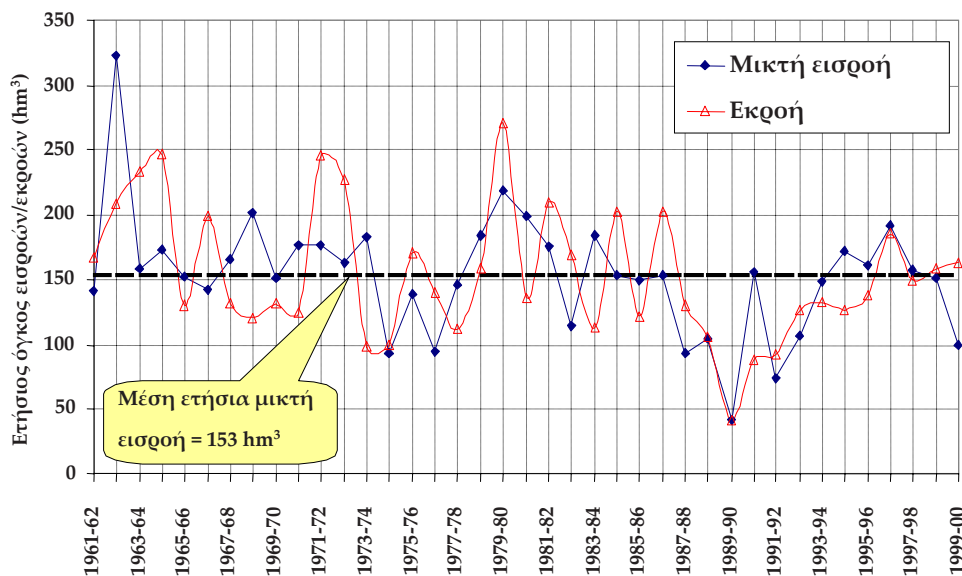
- Επιλογή ελάχιστης στάθμης
- Τήρηση σταθερής ετήσιας απόληψης (ανεξάρτητης των εισροών – συγκεκριμένο επίπεδο αξιοπιστίας, π.χ. 90%)
- Μεγαλύτερη προτεραιότητα στην τήρηση της ελάχιστης στάθμης
- Ετήσιος προγραμματισμός απολήψεων
- Παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται η εγγυημένη απόληψη
  - Χαρακτηριστικά μεγέθη ταμιευτήρα (γνωστά, σταθερά)
  - Υδρολογικές συνθήκες (άγνωστες, χρονικά μεταβαλλόμενες)
- Ετήσια απόληψη =  $f$  (ελάχιστη στάθμη, αξιοπιστία)

## Η λειτουργία του ταμιευτήρα ως σήμερα



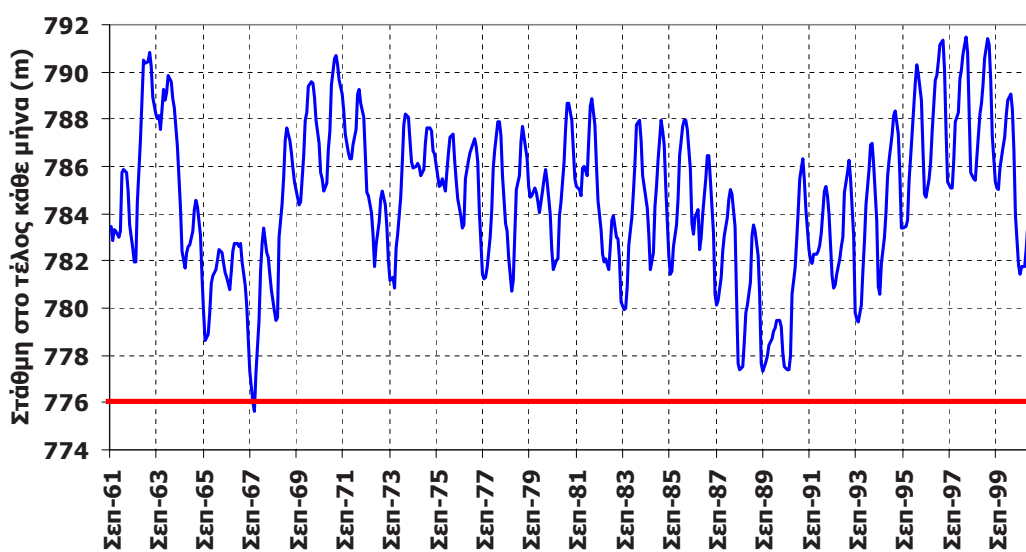
- Κύρια χρήση
  - Τα πρώτα 25 χρόνια: Υδροηλεκτρική αξιοποίηση
  - Τα επόμενα χρόνια: Άρδευση
- Άλλες χρήσεις:
  - Άρδευση, αναψυχή, περιβαλλοντική διατήρηση

## Ιστορική διακύμανση των ετήσιων απολήψεων



- Μη αξιοποίηση του υπερετήσιου ρυθμιστικού χαρακτήρα του ταμιευτήρα
- Απολήψεις σημαντικά μεγαλύτερες της μέσης ετήσιας εισροής των 153 hm<sup>3</sup> (π.χ. 185 hm<sup>3</sup> το 1996-97, 163 hm<sup>3</sup> το 1999-2000)
- Αδυναμία μακροχρόνιου προγραμματισμού της γεωργικής παραγωγής

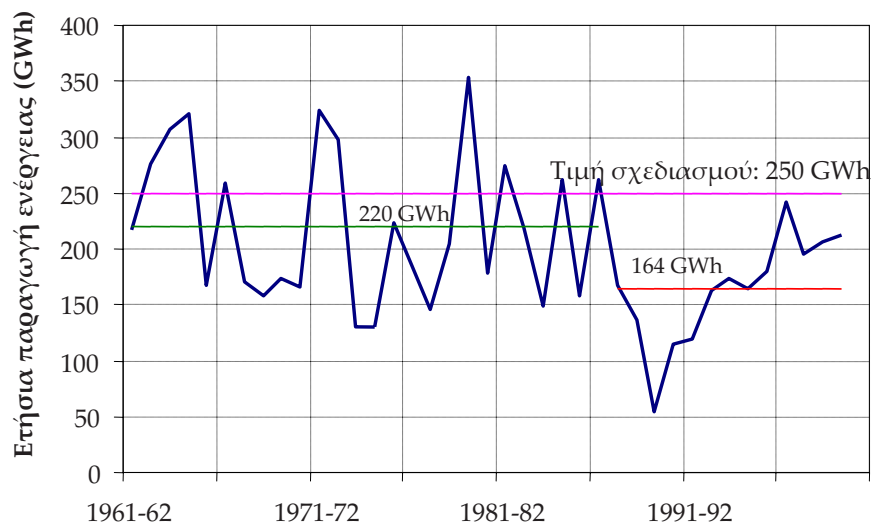
## Ιστορική διακύμανση της στάθμης



Η έντονη διακύμανση της στάθμης έχει ως αποτέλεσμα

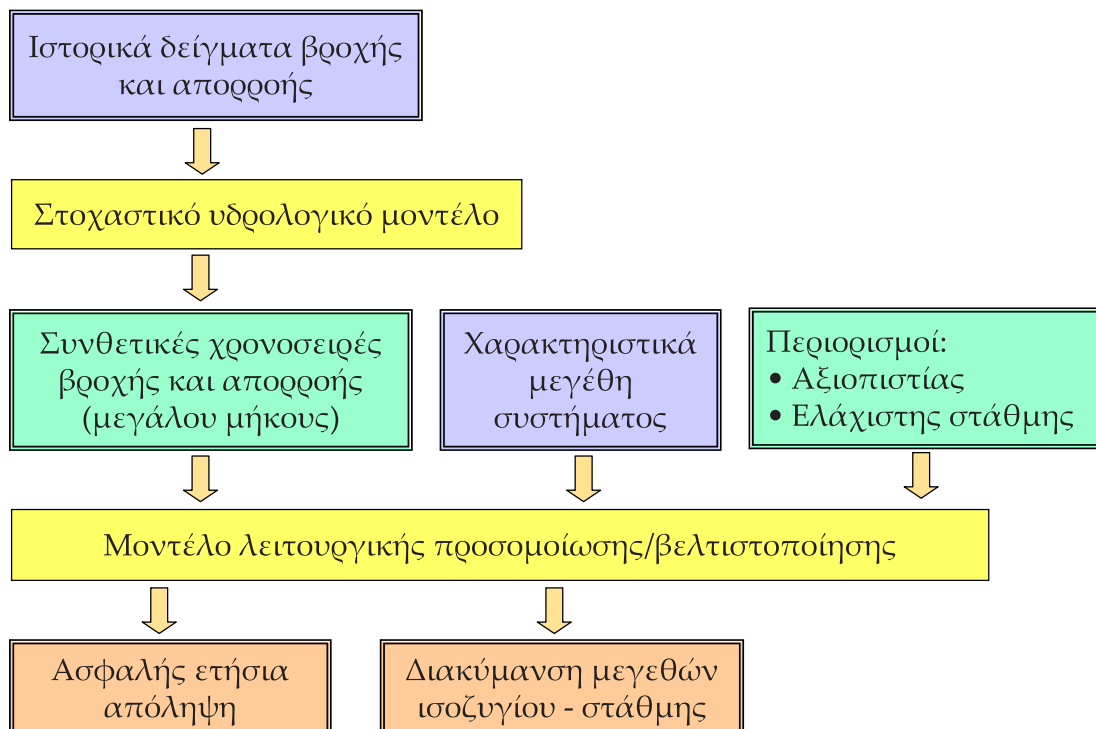
- την αλλοίωση της φυσιογνωμίας του τοπίου
- την υποβάθμιση της ποιότητας του υδάτινου περιβάλλοντος

## Ιστορική διακύμανση της παραγωγής ενέργειας

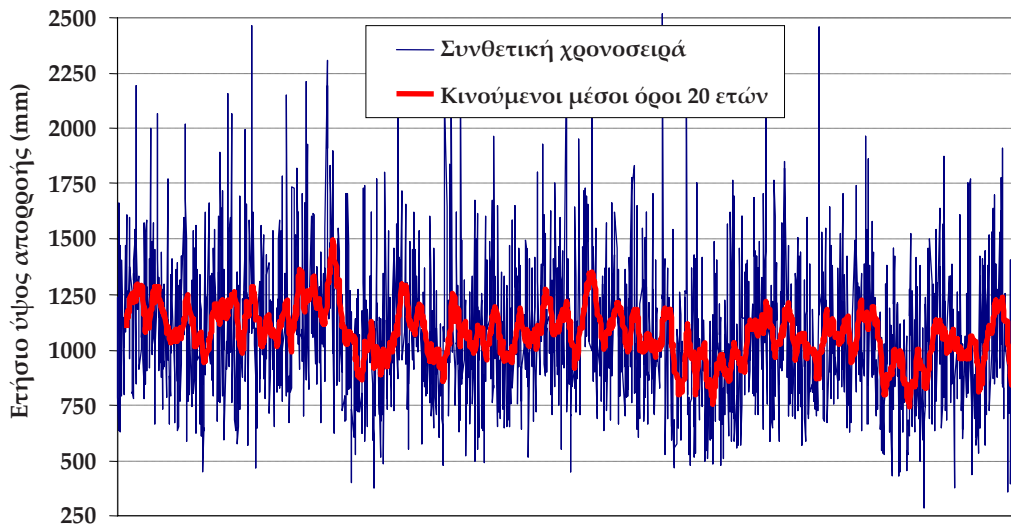


- ❑ Μείωση της ποσότητας της ενέργειας σε σχέση με το σχεδιασμό
- ❑ Μείωση της αξίας της ενέργειας λόγω δέσμευσης του προγραμματισμού της παραγωγής από τις αρδευτικές απολήψεις

## Μεθοδολογική προσέγγιση ποσότητας

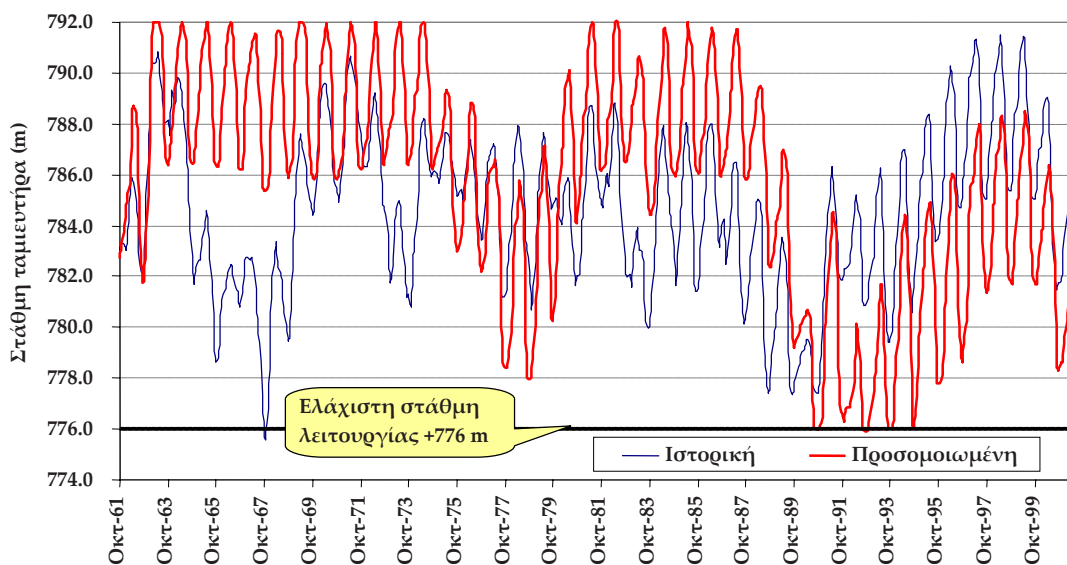


## Παράδειγμα στοχαστικής προσομοίωσης εισροών



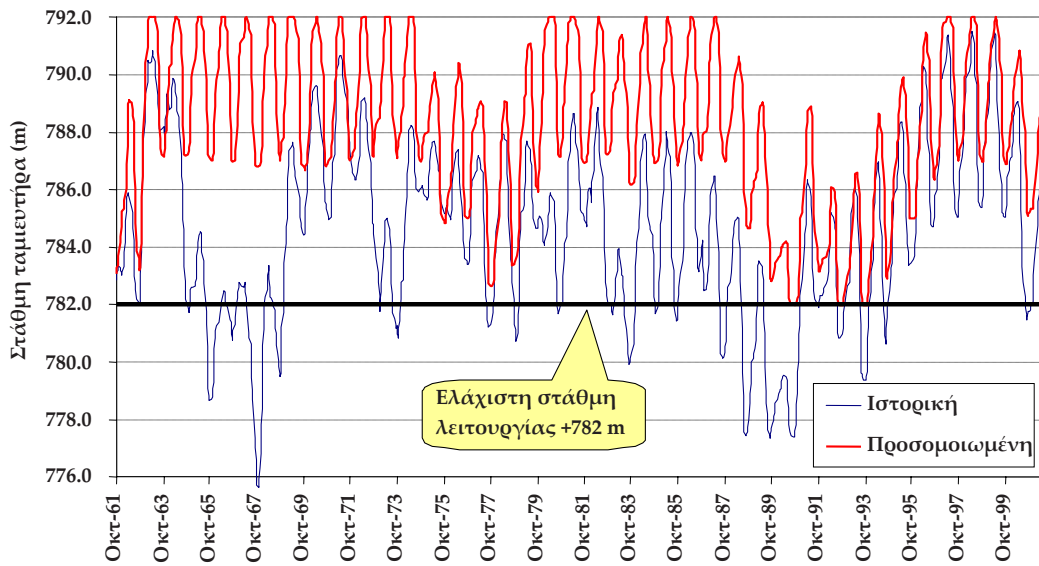
- 2000 χρόνια συνθετικών δεδομένων
- Διαδοχή ξηρών και υγρών περιόδων
- Διατήρηση του φαινομένου Hurst (Ιωσήφ)

## Σενάριο 0: Προσομοίωση χωρίς περιορισμό στάθμης



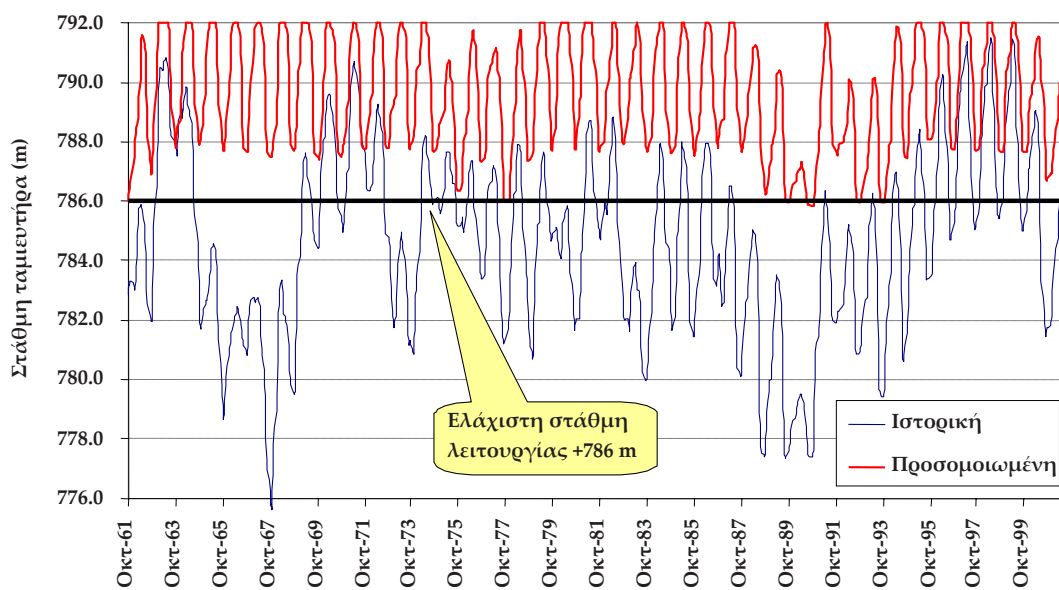
- Απώληση  $143 \text{ hm}^3$  ετησίως
- Αξιοπιστία 90%

## Σενάριο 1: Προσομοίωση με ελάχιστη στάθμη +782 m



- Απόληψη  $134 \text{ hm}^3$  ετησίως
- Αξιοπιστία 90%

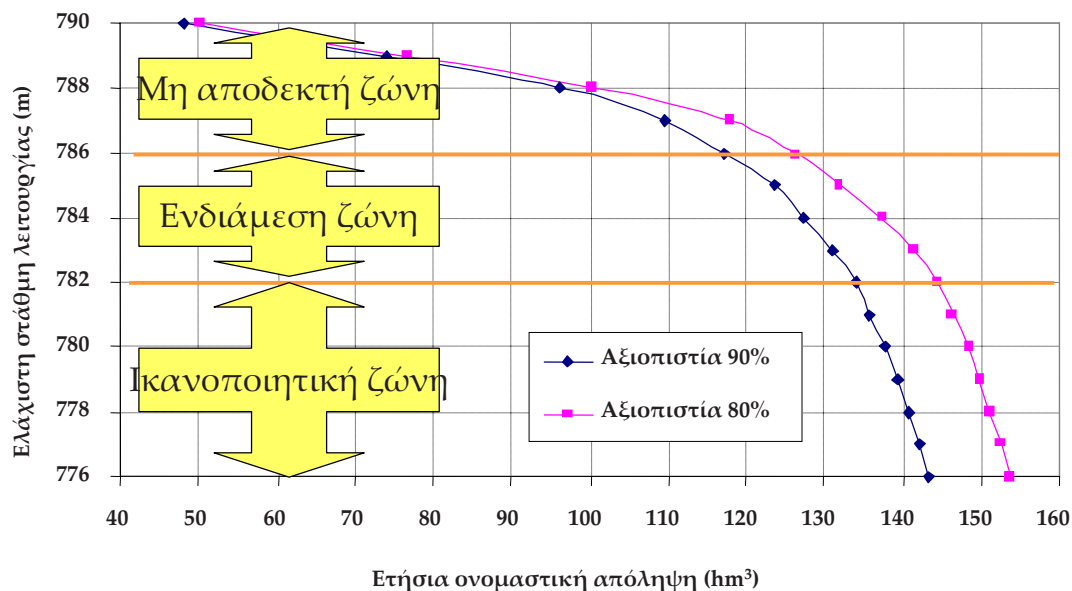
## Σενάριο 2: Προσομοίωση με ελάχιστη στάθμη +786 m



- Απόληψη  $117 \text{ hm}^3$  ετησίως
- Αξιοπιστία 90%

# Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Ασφαλής απόληψη σε σχέση με την ελάχιστη στάθμη



## Ποιοτική θεώρηση

**Σκοπός:** Η διερεύνηση της τροφικής κατάστασης των υδάτων της λίμνης, για διάφορα σενάρια ελάχιστης στάθμης

### Γενική μεθοδολογία

- Επιλογή χαρακτηριστικών σεναρίων ελάχιστης στάθμης, με χρήση των ιστορικών χρονοσειρών εισροών και των προσομοιωμένων χρονοσειρών απολήψεων, οι οποίες ελήφθησαν από τη μελέτη λειτουργίας του ταμιευτήρα
- Επιλογή περιόδου δυσμενών υδρολογικών συνθηκών
- Εκτίμηση ρυπαντικών φορτίων
- Προσομοίωση δυναμικής βασικών ποιοτικών παραμέτρων (με έμφαση στη χλωροφύλλη-α και το διαλυμένο οξυγόνο), μέσω δύο διαφορετικών μοντέλων
- Βαθμονόμηση μοντέλων με στοιχεία πεδίου



## Ποιοτικά στοιχεία ταμιευτήρα

---

- Λίμνη ολιγοτροφική
  - Chlorophyll-α 0.7-3.7 μg/l
  - Νιτρικά στο επιλίμνιο 4-30 μg/l
  - Νιτρικά στο υπολίμνιο 135-202 μg/l
  - Ανόργανος φώσφορος 1-4 μg/l
- Θερινή στρωμάτωση
  - Βάθος θερμοκλινούς 6 m
  - Θερμοκρασία υπολιμνίου 5.5-8.0 °C
  - Θερμοκρασία επιλιμνίου 5.5-26 °C

## Ρυπαντικά φορτία

---

### Σημειακές πηγές

- Ρύποι που μεταφέρονται στον ταμιευτήρα μέσω των αποχετευτικών δικτύων των παραλίμνιων οικισμών και των υδατορευμάτων που τροφοδοτούν τη λίμνη
- Εκτίμηση με βάση τις χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής
- Διαφοροποιημένες τιμές για την τουριστική (Δεκέμβριος, Απρίλιος, Ιούλιος, Αύγουστος) και μη τουριστική περίοδο

### Μη σημειακές πηγές

- Ρύποι που μεταφέρονται στον ταμιευτήρα μέσω της επιφανειακής απορροής
- Κύρια πηγή μη σημειακών ρύπων είναι η γεωργία (εξαιτίας της χρήσης λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων)

## Προσομοίωση ποιότητας νερού

---

- Χρήση μονοδιάστατου μοντέλου ευτροφισμού
  - Διαλυμένο οξυγόνο
  - Chlorophyll-α
  - Άζωτο και φώσφορος
- Δείκτης ποιότητας νερού: Chlorophyll-α
  - < 5 µg/L Πολύ καλή (Class I)
  - 5-10 µg/L Καλή (Class II)
  - 10-20 µg/L Μέτρια (Class III)
  - 20-50 µg/L Κακή (Class IV)

## Μοντέλο ευτροφισμού (EUTRO-SEL)

---

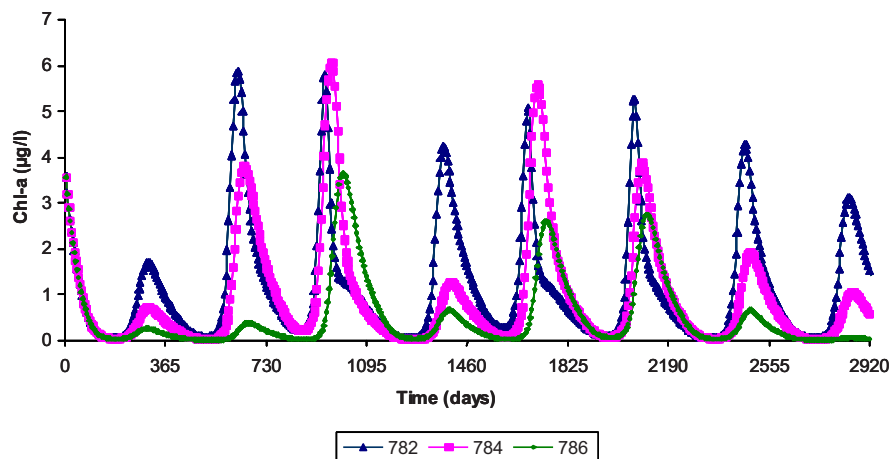
### Μεθοδολογία

- Προσομοίωση φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών, οι οποίες περιγράφονται μέσω εξισώσεων κινητικής και διατήρησης της μάζας

### Αποτελέσματα

- Οι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης που προέκυψαν κυμαίνονται εντός του εύρους τιμών που έχουν μετρηθεί (0.7-3.7 µg/L)
- Η υιοθέτηση ελάχιστης στάθμης +786 m εξασφαλίζει πολύ καλή ποιότητα νερού και κατατάσσει τη λίμνη στην κατηγορία I, ενώ για τις στάθμες +782 και +784 m, η ποιότητα διατηρείται καλή, με κατάταξη όμως της λίμνης στην αμέσως επόμενη κατηγορία

## Αποτελέσματα προσομοίωσης Chlorophyll-α



## Υδροδυναμικό μοντέλο (MERES)

### Μεθοδολογία

- Διακριτοποίηση ταμιευτήρα σε δύο στρώματα (επιλίμνιο και υπολίμνιο)
- Μεταφορά μάζας μέσω τυρβώδους διάχυσης
- Αυτόματη μετάβαση από ένα στα δύο στρώματα και αντίστροφα, ανάλογα με τη διαφορά θερμοκρασίας

### Αποτελέσματα

- Η λίμνη οδηγείται προς τη μεσοτροφική κατάσταση, εφόσον η ελάχιστη στάθμη τεθεί στα +780 m, ενώ χαρακτηρίζεται ολιγοτροφική για στάθμες από +782 m και άνω
- Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές συγκεντρώσεων του διαλυμένου οξυγόνου στο επιλίμνιο είναι πολύ καλές, ενώ κατά την περίοδο της στρωμάτωσης παρατηρούνται σχετικά χαμηλές τιμές στο υπολίμνιο

## Τοπίο – Όψεις

---



## Επιπτώσεις στο τοπίο

---



## Πολυκριτηριακή ανάλυση

- Χρήση τριών δεικτών
  - Ασφάλεια απώλησεων νερού
  - Ποιότητα νερού
  - Αισθητική αξία τοπίου
- Διακύμανση στάθμης
  - Ελάχιστη +776 (στάθμη υδροληψίας ποσίμου)
  - Μέγιστη +790

## Προσέγγιση 1: Πολυκριτηριακός πίνακας

Επιτρεπτή κατώτατη στάθμη (m)	Ασφαλής απώληση (hm <sup>3</sup> /y), για αξιοπιστία 90%	Χρονική κατανομή της στάθμης και χαρακτηρισμός αισθητικής	Κλάση ποιότητας νερού
+780	137.9	7% Κακή 8% Μέτρια 12% Καλή 27% Πολύ καλή 46% Άριστη	II
+782	134.0	8% Μέτρια 11% Καλή 28% Πολύ καλή 53% Άριστη	II
+784	127.5	10% Καλή 29% Πολύ καλή 61% Άριστη	II
+786	117.3	26% Πολύ καλή 74% Άριστη	I
+788	96.3	100% Άριστη	I

## Προσέγγιση 2: χρήση δεικτών και βαρών

- Δείκτης ποσότητας  $r(z)$

$$r(z) = \frac{R_{\max}(z) - R(z)}{R_{\max}(z) - R_{\min}(z)} \quad R = \text{απόληψη για στάθμη } z$$

- Δείκτης ποιότητας  $q(z)$

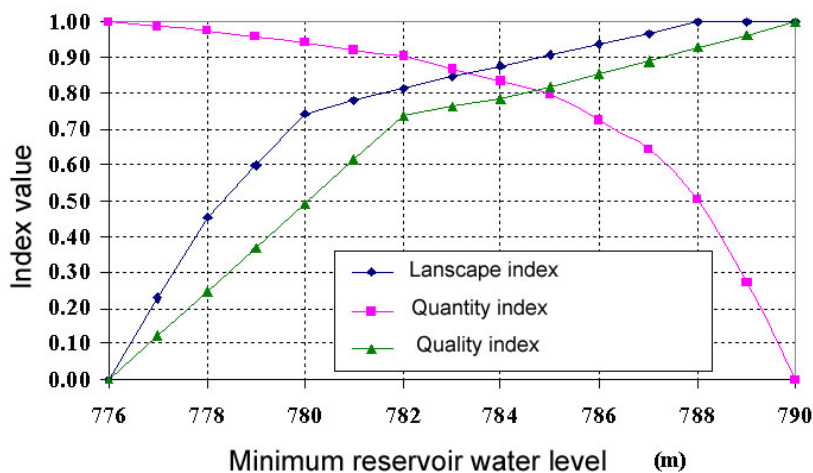
Ανάλογη έκφραση με βάση τη συγκέντρωση chlorophyll- $\alpha$

- Δείκτης τοπίου  $I(z)$

$$I(z) = 0.25 \times p_1(z) + 0.50 \times p_2(z) + 0.75 \times p_3(z) + 1.0 \times p_4(z)$$

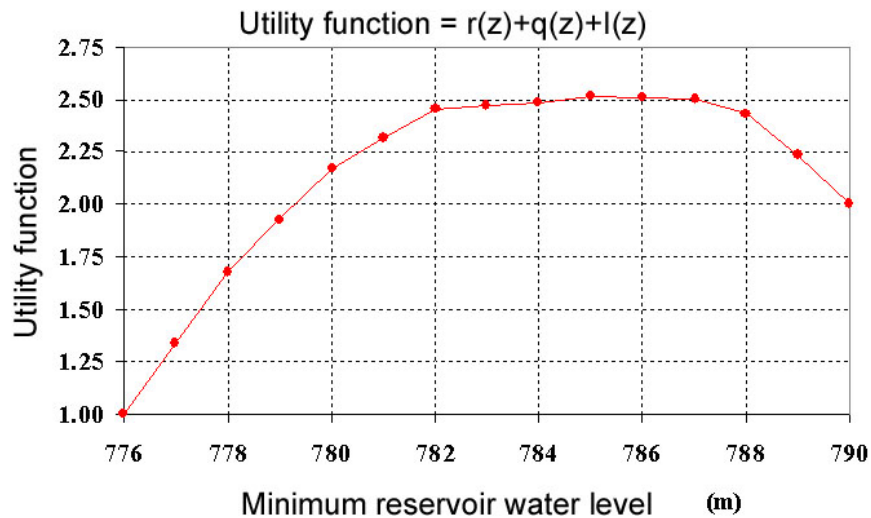
$p_1, p_2, p_3, p_4$  = συχνότητα με την οποία η στάθμη πέφτει κάτω από +782, +784, +786 και +788 αντίστοιχα

## Μεταβολή δεικτών με τη στάθμη της λίμνης





## Συνισταμένη για ίσα βάρη



## Συμπεράσματα – Πρόταση διαχείρισης

- Προτάθηκε ελάχιστη επιτρεπτή στάθμη στα +784 m με σύσταση για +786 m
- Θεωρήθηκε ικανοποιητική αξιοπιστία 90%
- Προτάθηκε ως ετήσια σταθερή απόληψη τα  $127 \text{ hm}^3$
- Σε περιπτώσεις αστοχίας (κατά μέσο όρο μια φορά στα δέκα χρόνια) προτάθηκε η μη παραβίαση της ελάχιστης στάθμης και η μείωση της απόληψης
- Με αυτή την πολιτική εξασφαλίζεται:
  - πολύ καλή ποιότητα νερού (Chlorophyll- $\alpha$ :  $< 5.0 \text{ } \mu\text{g/L}$ )
  - πολύ καλή ποιότητα τοπίου

# Αναφορές

---

- Θεοδωράκης, Μ., Ν. Σ. Μάργαρης και Η. Καϊνάδας, Υγροβιότοποι της ΔΕΗ, Καστανιώτης, Αθήνα, 2000.
- Λαζαρίδης, Λ., Γ. Καλαούζης, Δ. Κουτσογιάννης, και Π. Μαρίνος, Βασικά τεχνικά και οικονομικά μεγέθη σχετικά με τη διαχείριση των υδατικών πόρων στη Θεσσαλία, Πρακτικά του Διεθνούς Συνεδρίου Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Λάρισα, Οκτώβριος 1996, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 1996.
- Ομάδα ερευνητικού έργου Πλαστήρα 2002, Συνοπτική έκθεση, *Διερεύνηση των δυνατοτήτων διαχείρισης και προστασίας της ποιότητας της Λίμνης Πλαστήρα*, Τεύχος 1, 23 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 2002. (<http://www.itia.ntua.gr/g/docinfo/490/>)
- Σαργέντης, Γ.-Φ., Το αισθητικό στοιχείο στο νερό, τα υδραυλικά έργα και τα φράγματα, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, 1998.
- Στεφανάκος, Ι. Το Υδροδυναμικό της Ελλάδας. Προοπτικές για παραπέρα ανάπτυξη και αξιοποίηση στην παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας, Επιστημονικό συνέδριο Ενέργεια 2002, ΕΜΠ, Χαλκίδα, 2002.
- Costanza et al., The value of the world's ecosystem services and natural capita, *Nature*, 387(15 May), 253-260, 1997.
- Graf, W. L., Dam nation: a geographic census of American dam and their large scale hydrologic impacts", *Water Resources Research*, 35(4), 1305-1311, 1999.
- Graf, W. L., Damage control: restoring the physical integrity of America's rivers, *Annals of the Association of American Geographers*, 91(1), 1-27, 2001.
- National Research Council, (1991). Committee on Opportunities in the Hydrologic Sciences, *Opportunities in the Hydrologic Sciences*, National Academy Press, Washington, DC.
- Nilsson, C. et al., Fragmentation and Flow Regulation of the World's Large river Systems, *Science*, 308, 15 April 2005
- Tsouni, A., N. Zervos, K. Hadjibiros, and A. Andreadakis, A database for freshwater ecological status in Greece, EurAqua 8th Scientific and Technical Review, Helsinki, 2001.
- Wikipedia, The Three Gorges Dam, 2005 ([http://en.wikipedia.org/wiki/Three\\_Gorges\\_Dam](http://en.wikipedia.org/wiki/Three_Gorges_Dam))
- World Commission on Dams, *Dams and Development: A New Framework for Decision-Making*, 2000 ([http://www.icold-cigb.org/PDF/wcd\\_overview.PDF](http://www.icold-cigb.org/PDF/wcd_overview.PDF) και [http://www.dams.org/report/wcd\\_overview.htm](http://www.dams.org/report/wcd_overview.htm)).
- World Wide Fund for Nature, Rivers at Risk: Dams and the future of freshwater ecosystems, ([www.panda.org/downloads/freshwater/riversatriskfullreport.pdf](http://www.panda.org/downloads/freshwater/riversatriskfullreport.pdf)).