

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»**

**Παρουσίαση στα πλαίσια του μαθήματος:  
*Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από Υδραυλικά Έργα***

**Ποσοτική και ποιοτική θεώρηση της  
Λειτουργίας του ταμιευτήρα Πλαστήρα**

**Ανδρέας Ευστρατιάδης, Υποψήφιος Διδάκτορας  
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Τομέας Υδατικών Πόρων**

**Απρίλιος 2003**

**Διάρθρωση παρουσίασης**

1. Ιστορικό διαχείρισης
2. Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων
3. Μεθοδολογική προσέγγιση
4. Υδρολογική διερεύνηση
5. Μελέτη ποιότητας νερού
6. Συμπεράσματα



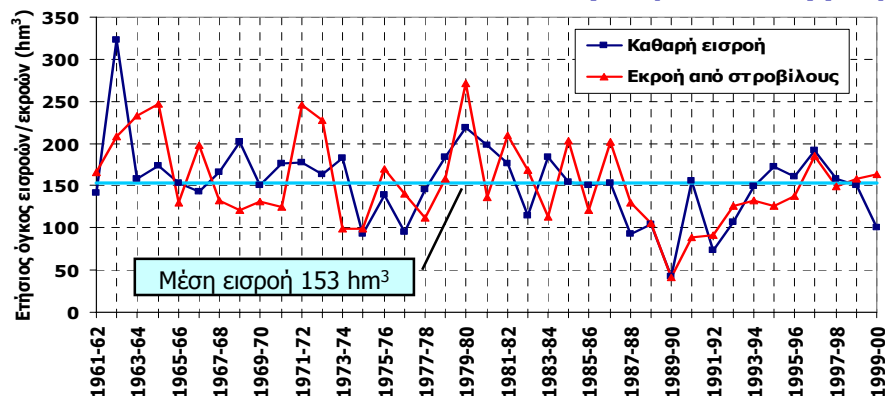
## Περιοχή μελέτης και έργα



Δορυφορική εικόνα Landsat – Λήψη 21/8/1999, ώρα 9:30 τοπική

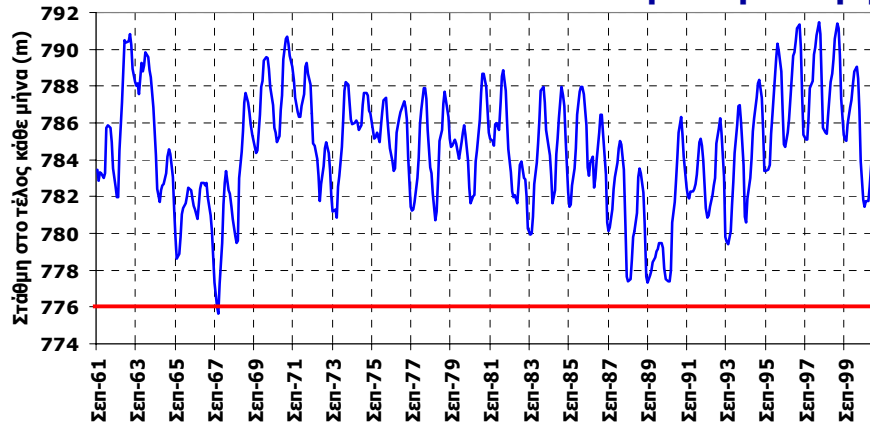
- Λεκάνη απορροής έκτασης 161.3 km<sup>2</sup>
- Μέγιστο υψόμετρο 2140 m, μέσο υψόμετρο 1459 m
- Τοξωτό φράγμα, ύψους 83 m
- Ταμιευτήρας μέγιστης χωρητικότητας 362 hm<sup>3</sup>, ωφέλιμης χωρητικότητας 286 hm<sup>3</sup> και έκτασης 25 km<sup>2</sup>
- Στάθμη υδροληψίας +776 m, στάθμη υπερχειλίσσης +792 m
- Εγκατεστημένη ισχύς 130 MW, ύψος πτώσης 577 m
- Ετήσιες υδατικές ανάγκες 160 hm<sup>3</sup> (145 hm<sup>3</sup> άρδευση, 15 hm<sup>3</sup> ύδρευση)

## Ιστορικό λειτουργίας ταμιευτήρα (1) Εισροές vs απολήψεις



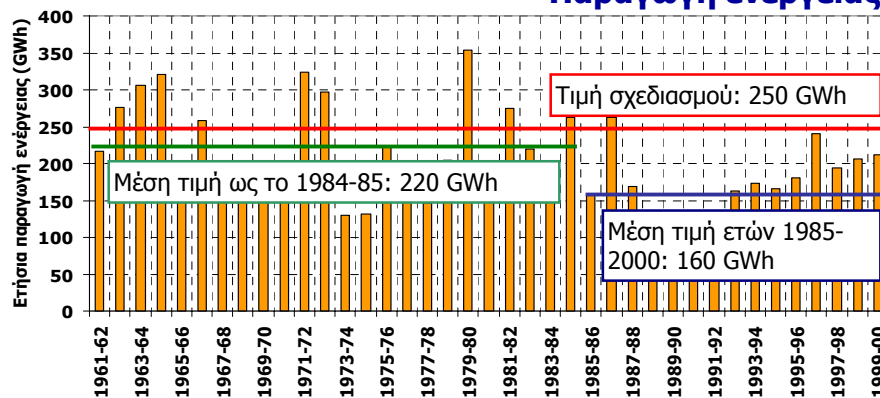
Η άμεση εξάρτηση των απολήψεων από τις υδρολογικές συνθήκες αναιρεί το ρυθμιστικό χαρακτήρα του ταμιευτήρα (= εξομάλυνση της ετήσιας διακύμανσης των εισροών), αφαιρώντας έτσι τη δυνατότητα μακροχρόνιου προγραμματισμού της γεωργικής παραγωγής

## Ιστορικό λειτουργίας ταμιευτήρα (2) Διακύμανση στάθμης



Η έντονη διακύμανση της στάθμης έχει ως αποτέλεσμα την αλλοίωση της φυσιογνωμίας του τοπίου και τη υποβάθμιση της ποιότητας του υδάτινου περιβάλλοντος

## Ιστορικό λειτουργίας ταμιευτήρα (3) Παραγωγή ενέργειας



Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, πραγματοποιείται αλλαγή του χαρακτήρα του έργου από ενεργειακό σε αρδευτικό, με αποτέλεσμα τη μείωση τη τόσο της ποσότητας όσο και της αξίας της παραγόμενης ενέργειας (δευτερεύουσα έναντι πρωτεύουσας)

## Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων

### Γεωγραφικά δεδομένα

Ψηφιοποιημένοι χάρτες, αεροφωτογραφίες και διαθέσιμα της ΓΥΣ



### Παράγωγα δεδομένα

Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής, καμπύλες ταμιευτήρα

### Δεδομένα υδροσυστήματος

Ιδιότητες και χαρακτηριστικά μεγέθη τεχνικών έργων

### Δεδομένα ζήτησης νερού

Χρήσεις νερού και υδατικές ανάγκες (μηνιαίες, ετήσιες)

### Υδρολογικά δεδομένα

Πρωτογενείς χρονοσειρές υδρομετεωρολογικών σταθμών περιοχής μελέτης, δεδομένα υδατικού ισοζυγίου ταμιευτήρα (από ΔΕΗ/ΔΑΥΕ)



### Παράγωγα δεδομένα

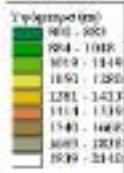
Μηνιαίες χρονοσειρές απορροής, βροχόπτωσης και εξάτμισης ταμιευτήρα

### Δεδομένα ποιότητας νερού

Ρυπαντικά φορτία και μετρήσεις χαρακτηριστικών ποιοτικών παραμέτρων

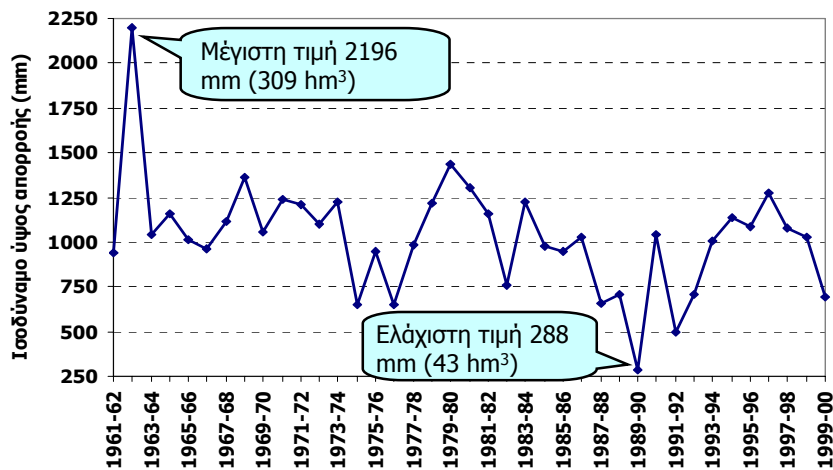
## Γεωγραφικά δεδομένα

Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου λεκάνης



Ψηφιακό μοντέλο πυθμένα ταμιευτήρα

## Υδρολογικά δεδομένα



Μέσο ετήσιο ύψος απορροής 1029 mm (147 hm<sup>3</sup>), με συντελεστή μεταβλητότητας 30% – Τυπικά μεγέθη για υπολεκάνη του Αχελώου

## Μέρος Α: Υδρολογική-ποσοτική θεώρηση

**Σκοπός:** Ο καθορισμός της σχέσης κατώτατου ορίου στάθμης λειτουργίας της λίμνης και εγγυημένης ετήσιας απόληψης, για δύο επίπεδα αξιοπιστίας (90% και 80%)

**Ετήσια απόληψη = f (ελάχιστη στάθμη, αξιοπιστία)**

### Πολιτική διαχείρισης ταμιευτήρα

- Επιλογή ελάχιστης στάθμης
- Θέσπιση σταθερής ετήσιας απόληψης (ανεξάρτητης των εκάστοτε υδρολογικών συνθηκών), για συγκεκριμένο επίπεδο αξιοπιστίας
- Προτεραιότητα στην τήρηση της ελάχιστης στάθμης έναντι της απόληψης

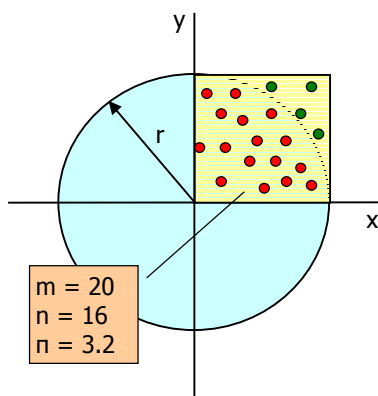
### Παράμετροι από τους οποίες εξαρτάται η εγγυημένη απόληψη

- Χαρακτηριστικά μεγέθη λειτουργίας ταμιευτήρα (γνωστά, σταθερά)
- Υδρολογικές συνθήκες (άγνωστες, χρονικά μεταβαλλόμενες)

## Η έννοια της αξιοπιστίας στη διαχείριση των υδατικών πόρων

- Τα συστήματα υδατικών πόρων μπορούν να εξασφαλίσουν μια συγκεκριμένη **ασφαλή (εγγυημένη) επίδοση** (π.χ., απόληψη, ενέργεια), ήτοι επίδοση για δεδομένο επίπεδο αξιοπιστίας
- Η αξιοπιστία είναι **πιθανοτικό μέγεθος**, το οποίο πρακτικά ορίζεται ως το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο η επίδοση του υπόψη έργου είναι ίση με την τιμή-στόχο που έχει τεθεί
- Η πιθανοτική αντιμετώπιση της λειτουργίας των υδροσυστημάτων οφείλεται στην **τυχειότητα** των φυσικών εισροών
- Η αξιοπιστία διαφοροποιείται ανάλογα με τη **σκοπιμότητα** του έργου (π.χ., το υδροσύστημα της Αθήνας λειτουργεί με αξιοπιστία 99% - επιτρέπεται αστοχία μία φορά, κατά μέσο όρο, στα 100 έτη)
- Η **αστοχία** δε συνεπάγεται πλήρη αδυναμία ικανοποίησης του στόχου, αλλά μειωμένη επίδοση σε σχέση με την επιθυμητή
- Η εκτίμηση της αξιοπιστίας δεν γίνεται αναλυτικά (π.χ. μέσω στατιστικής ανάλυσης) αλλά μέσω **στοχαστικής προσομοίωσης**

## Η έννοια της στοχαστικής προσομοίωσης



Στοχαστική προσομοίωση =  
«πειραματικά» μαθηματικά

### Υπολογισμός του αριθμού $\pi$

1. Μέσω μιας γεννήτριας τυχαίων ομοιόμορφων αριθμών παράγονται  $m$  ζεύγη  $(x, y)$  στο διάστημα  $[0, 1]$
2. Καταμετρώνται τα σημεία εκείνα τα οποία βρίσκονται μέσα στο τεταρτοκύκλιο, ήτοι τα σημεία για τα οποία ισχύει  $x^2 + y^2 \leq 1$
3. Αν  $n$  το πλήθος των σημείων αυτών, τότε ο λόγος  $n / m$  αποτελεί μέτρο εκτίμησης του αριθμού  $\pi / 4$ , ήτοι ο λόγος των εμβαδών του τεταρτοκυκλίου προς το τετράγωνο
4. Η ακρίβεια εκτίμησης του  $\pi$  εξαρτάται από το πλήθος των  $m$

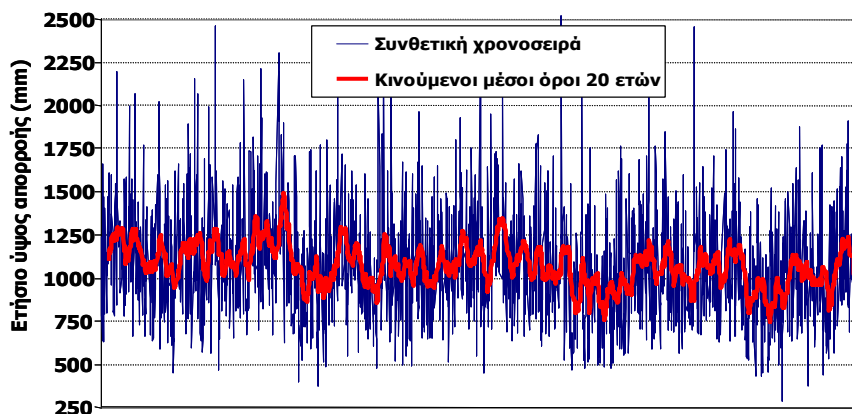
## Στοχαστική προσομοίωση ταμιευτήρα

Υπολογισμός του $\pi$	Υπολογισμός της αξιοπιστίας
Μέσω μιας γεννήτριας τυχαίων ομοιόμορφων αριθμών παράγονται $m$ ζεύγη σημείων $(x, y)$ στο διάστημα $[0, 1]$	Μέσω ενός στοχαστικού υδρολογικού μοντέλου παράγονται συνθετικές χρονοσειρές εισροών $I(t)$ , μήκους $m$
Καταμετρώνται τα σημεία εκείνα τα οποία βρίσκονται μέσα στο τεταρτοκύκλιο, ήτοι τα σημεία για τα οποία ισχύει: $x^2 + y^2 \leq 1$	Μέσω ενός μοντέλου προσομοίωσης παράγεται η χρονοσειρά απολήψεων $R(t)$ για συγκεκριμένη ζήτηση $D$ , και καταμετράται το πλήθος των ετών για τα οποία ισχύει $R(t) = D$
Αν $n$ το πλήθος των σημείων αυτών, τότε ο λόγος $n / m$ αποτελεί μέτρο εκτίμησης του αριθμού $\pi / 4$	Αν $n$ το πλήθος των ετών κατά τα οποία ικανοποιείται η ζήτηση, τότε η αξιοπιστία του ταμιευτήρα εκτιμάται ως ο λόγος $n / m$
Η ακρίβεια εκτίμησης του $\pi$ εξαρτάται από το πλήθος $m$	Η ακρίβεια εκτίμησης της αξιοπιστίας εξαρτάται από το μήκος $m$

Ανδρέας Ευστρατιάδης, Ποσοτική και ποιοτική θεώρηση της λειτουργίας του ταμιευτήρα Πλαστήρα

13

## Γέννηση συνθετικών εισροών

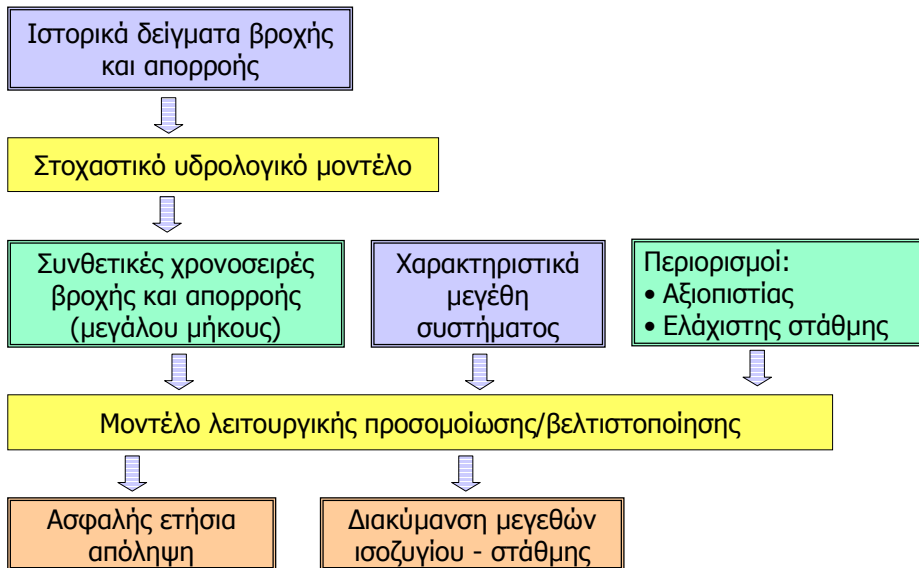


1. Διατήρηση των ουσιαστών στατιστικών χαρακτηριστικών των ιστορικών δειγμάτων απορροής και βροχόπτωσης (περιθώριες και από κοινού στατιστικές κατανομές) σε μηνιαία και ετήσια κλίμακα
2. Αναπαραγωγή περιόδων έμμονης ξηρασίας (φαινόμενο Hurst)

Ανδρέας Ευστρατιάδης, Ποσοτική και ποιοτική θεώρηση της λειτουργίας του ταμιευτήρα Πλαστήρα

14

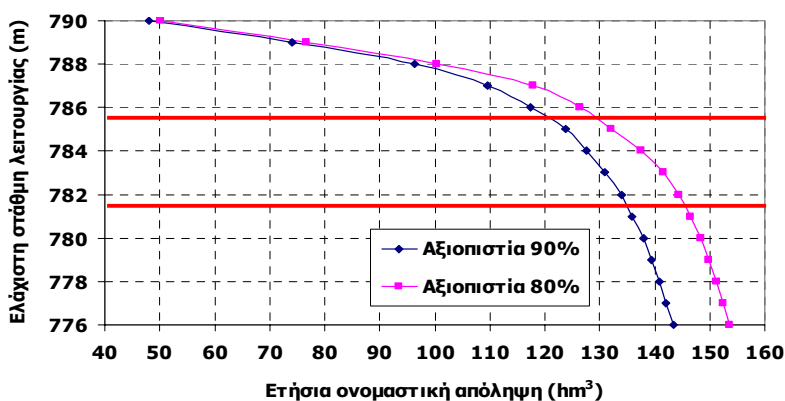
## Μεθοδολογία: Διάγραμμα ροής



Ανδρέας Ευστρατιάδης, Ποσοτική και ποιοτική θεώρηση της λειτουργίας του ταμιευτήρα Πλαστήρα

15

## Σχέση ασφαλούς ετήσιας απόληξης – ελάχιστης στάθμης λειτουργίας ταμιευτήρα



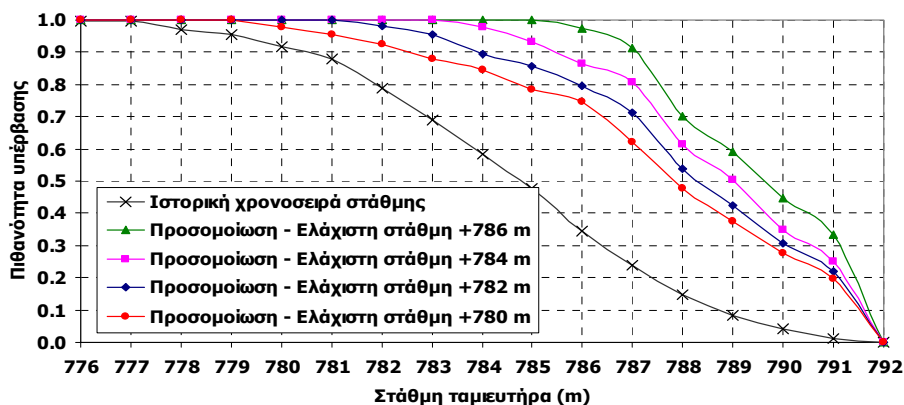
Για στάθμες μεγαλύτερες των +786 m, το απολήψιμο δυναμικό του ταμιευτήρα μειώνεται ραγδαία (απορριπτέα ζώνη), ενώ βελτιώνεται με βραδύ ρυθμό για στάθμες μικρότερες των +782 m

Ανδρέας Ευστρατιάδης, Ποσοτική και ποιοτική θεώρηση της λειτουργίας του ταμιευτήρα Πλαστήρα

16

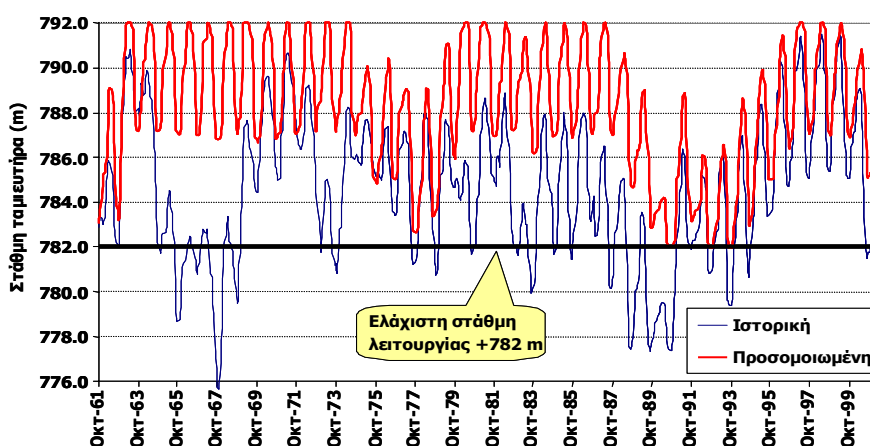


## Συχνότητες διακύμανσης της στάθμης



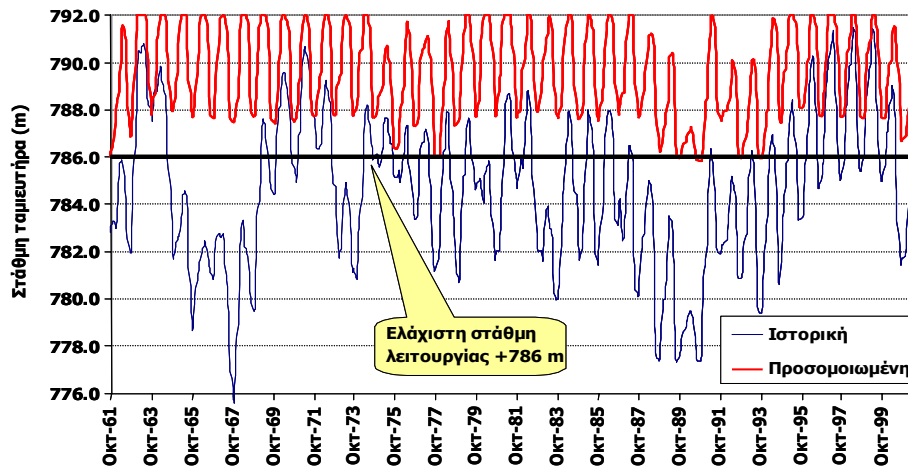
Η θέσπιση του ορίου ελάχιστης στάθμης, σε συνδυασμό με τη σταθεροποίηση της απόληψης, περιορίζουν τις έντονες διακυμάνσεις της στάθμης, η οποία διατηρείται 3 m τουλάχιστον πάνω από το ελάχιστο επιτρεπόμενο όριο κατά τη διάρκεια του 90% του χρόνου

## Παράδειγμα 1: Προσομοίωση ιστορικών εισροών με ελάχιστη στάθμη +782 m



Εξασφαλίζονται 134 hm<sup>3</sup>/έτος (απόληψη-στόχος), με αξιοπιστία 90%

## Παράδειγμα 2: Προσομοίωση ιστορικών εισροών με ελάχιστη στάθμη +786 m



Εξασφαλίζονται 117 hm<sup>3</sup>/έτος (απόληψη-στόχος), με αξιοπιστία 90%

## Μέρος Β: 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

## 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)

## 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 oligοτροφική 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

## 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

## Συμπεράσματα

- Η προτεινόμενη **πολιτική λειτουργίας** προϋποθέτει:
  1. επιλογή μιας ελάχιστης επιτρεπόμενης στάθμης
  2. θέσπιση μιας σταθερής ετήσιας απόληψης-στόχου
  3. σε περίπτωση αδυναμίας ικανοποίησης της τιμής-στόχου, αυστηρή τήρηση του περιορισμού στάθμης
- Μέσω της **υδρολογικής ανάλυσης**, προσδιορίστηκε η σχέση ελάχιστης στάθμης – ασφαλούς απόληψης – αξιοπιστίας, ενώ μέσω της **ποιοτικής ανάλυσης** εξετάστηκε η τροφική κατάσταση των υδάτων της λίμνης συναρτήσει της ελάχιστης στάθμης
- Από τις δύο προσεγγίσεις προέκυψε ένα εύρος τιμών ελάχιστης στάθμης μεταξύ +782 και +786 m, για τις οποίες εξασφαλίζονται ταυτόχρονα **καλή ποιότητα νερού** και **ικανοποιητική ασφαλής απόληψη** (από 134 ως 117 hm<sup>3</sup>, για 90% αξιοπιστία)
- Αν και η απόληψη που εξασφαλίζεται υπολείπεται των εκτιμώμενων αναγκών (160 hm<sup>3</sup>), το έλλειμμα μπορεί να εκμηδενιστεί με τη λήψη μέτρων **διαχείρισης της ζήτησης**