

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

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

**Υδρολογική και ποιοτική θεώρηση της
λειτουργίας του ταμιευτήρα Πλαστήρα**

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

Μάρτιος 2004

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

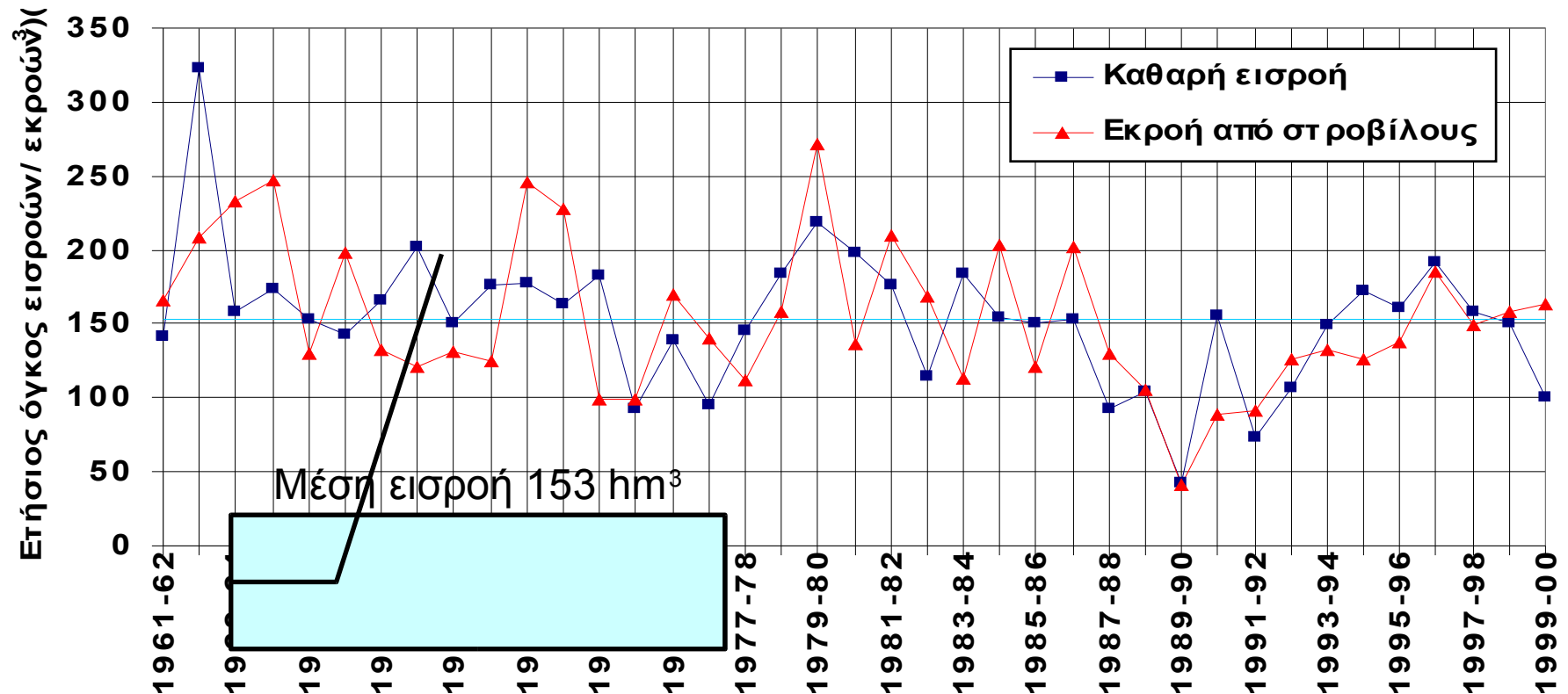


Δορυφορική εικόνα Landsat – Λήψη
21/8/1999, ώρα 9:30 τοπική

- ★ Λεκάνη απορροής έκτασης 161.3 km², με μέση ετήσια καθαρή εισροή 153 hm³
- ★ Μέγιστο υψόμετρο 2140 m, μέσο υψόμετρο 1459 m
- ★ Τοξωτό φράγμα, ύψους 83 m
- ★ Ταμιευτήρας μέγιστης χωρητικότητας 362 hm³, ωφέλιμης χωρητικότητας 286 hm³ και έκτασης 25 km²
- ★ Στάθμη υδροληψίας +776 m, στάθμη υπερχείλισης +792 m
- ★ Εγκατεστημένη ισχύς 130 MW, ύψος πτώσης 577 m
- ★ Ετήσιες υδατικές ανάγκες 160 hm³ (145 hm³ άρδευση, 15 hm³ ύδρευση) – Μεγαλύτερες της μέσης ετήσιας απορροής!

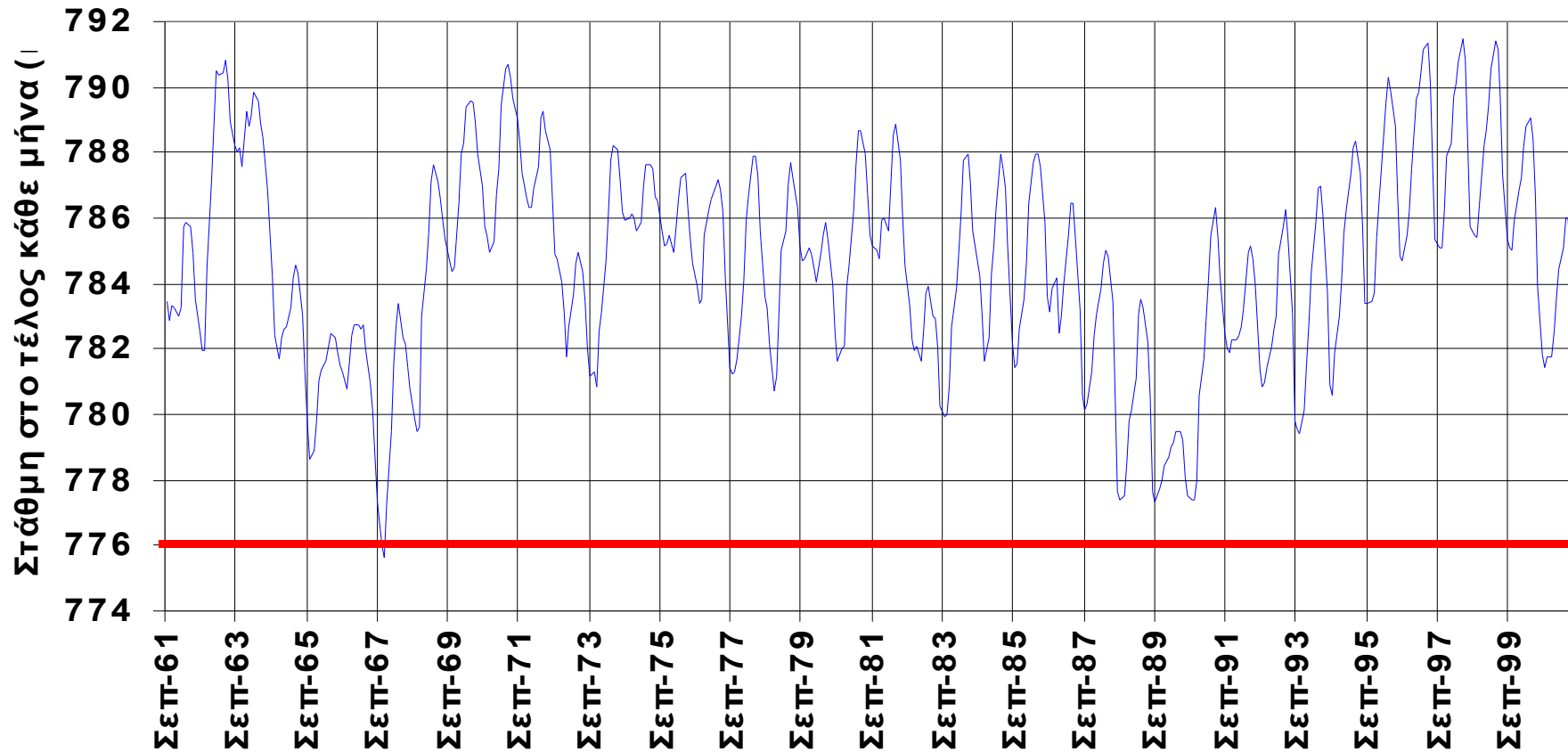
Ιστορικό λειτουργίας ταμιευτήρα (1)

Εισροές vs απολήψεις



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

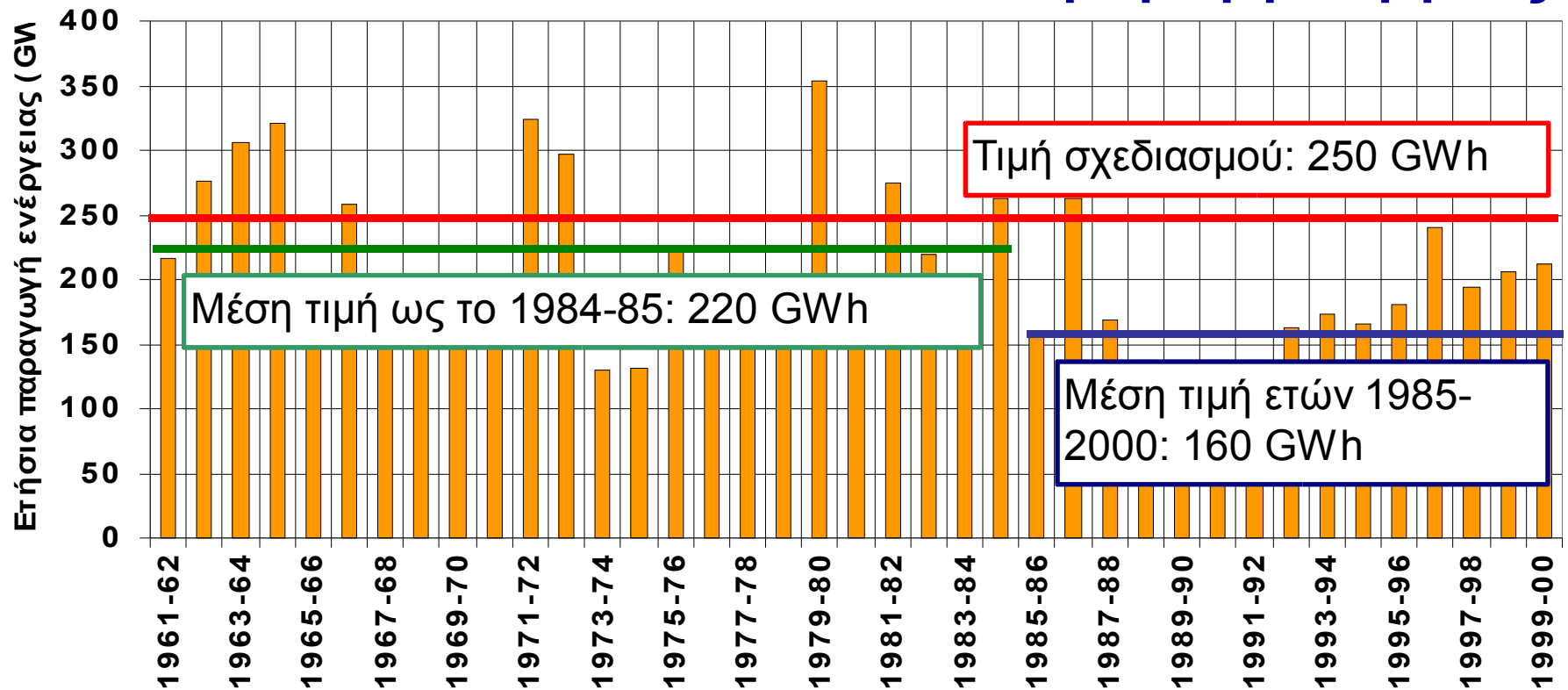
Ιστορικό λειτουργίας ταμιευτήρα (2) Διακύμανση στάθμης



Η έντονη διακύμανση της στάθμης έχει ως αποτέλεσμα την αλλοίωση της φυσιγνωμίας 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 τόσο της ποσότητας όσο και της οικονομικής αξίας της παραγόμενης ενέργειας (δευτερεύουσα έναντι πρωτεύουσας)

Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων

Γεωγραφικά δεδομένα
Ψηφιοποιημένοι χάρτες,
αεροφωτογραφίες και
διαθετικά της ΓΥΣ



Παράγωγα δεδομένα
Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης
απορροής, καμπύλες στάθμης-
αποθέματος και στάθμης-επιφάνειας
ταμιευτήρα

Δεδομένα υδροσυστήματος
Ιδιότητες και χαρακτηριστικά
μεγέθη τεχνικών έργων

Δεδομένα ζήτησης νερού
Χρήσεις νερού και υδατικές
ανάγκες (μηνιαίες, ετήσιες)

Υδρολογικά δεδομένα
Πρωτογενή δείγματα
υδρομετεωρολογικών σταθμών
περιοχής μελέτης, δεδομένα
μηνιαίου ισοζυγίου στάθμης,
απολήψεων και παραγωγής
ενέργειας (από ΔΕΗ/ΔΑΥΕ)

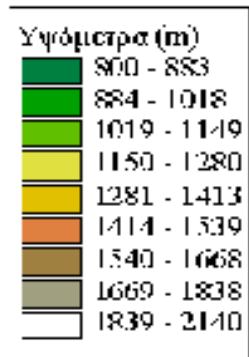


Παράγωγα δεδομένα
Μηνιαίες χρονοσειρές απορροής,
βροχόπτωσης και εξάτμισης
ταμιευτήρα

Δεδομένα ποιότητας νερού
Ρυπαντικά φορτία και μετρήσεις
χαρακτηριστικών ποιοτικών
παραμέτρων

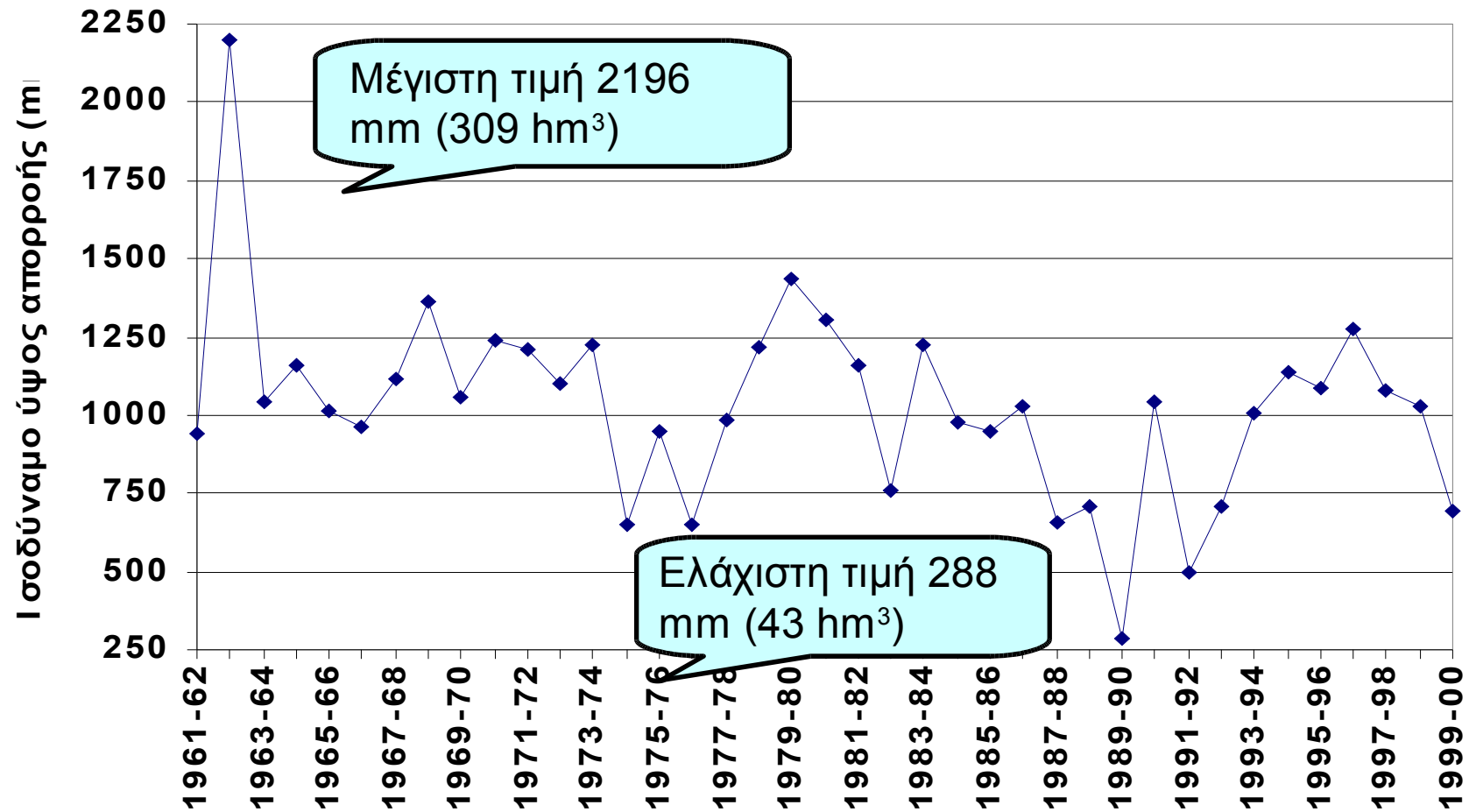
Γεωγραφικά δεδομένα

Ψηφιακό μοντέλο
αναγλύφου λεκάνης



Ψηφιακό μοντέλο
πυθμένα ταμιευτήρα

Υδρολογικά δεδομένα



Μέση τιμή ετήσιου ύψους απορροής 1029 mm (147 hm³), συντελεστής μεταβλητότητας 30% – Τυπικά μεγέθη για υπολεκάνη του Αχελώου

Μέρος Α: Υδρολογική-ποσοτική θεώρηση

Σκοπός: Ο καθορισμός της σχέσης κατώτατης στάθμης λειτουργίας του ταμιευτήρα (= ελάχιστη στάθμη πραγματοποίησης αρδευτικών και υδρευτικών απολήψεων) και εγγυημένης ετήσιας απόληψης, για δύο επίπεδα αξιοπιστίας (90% και 80%)

Ετήσια απόληψη = f (ελάχιστη στάθμη, αξιοπιστία)

Πολιτική διαχείρισης ταμιευτήρα

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

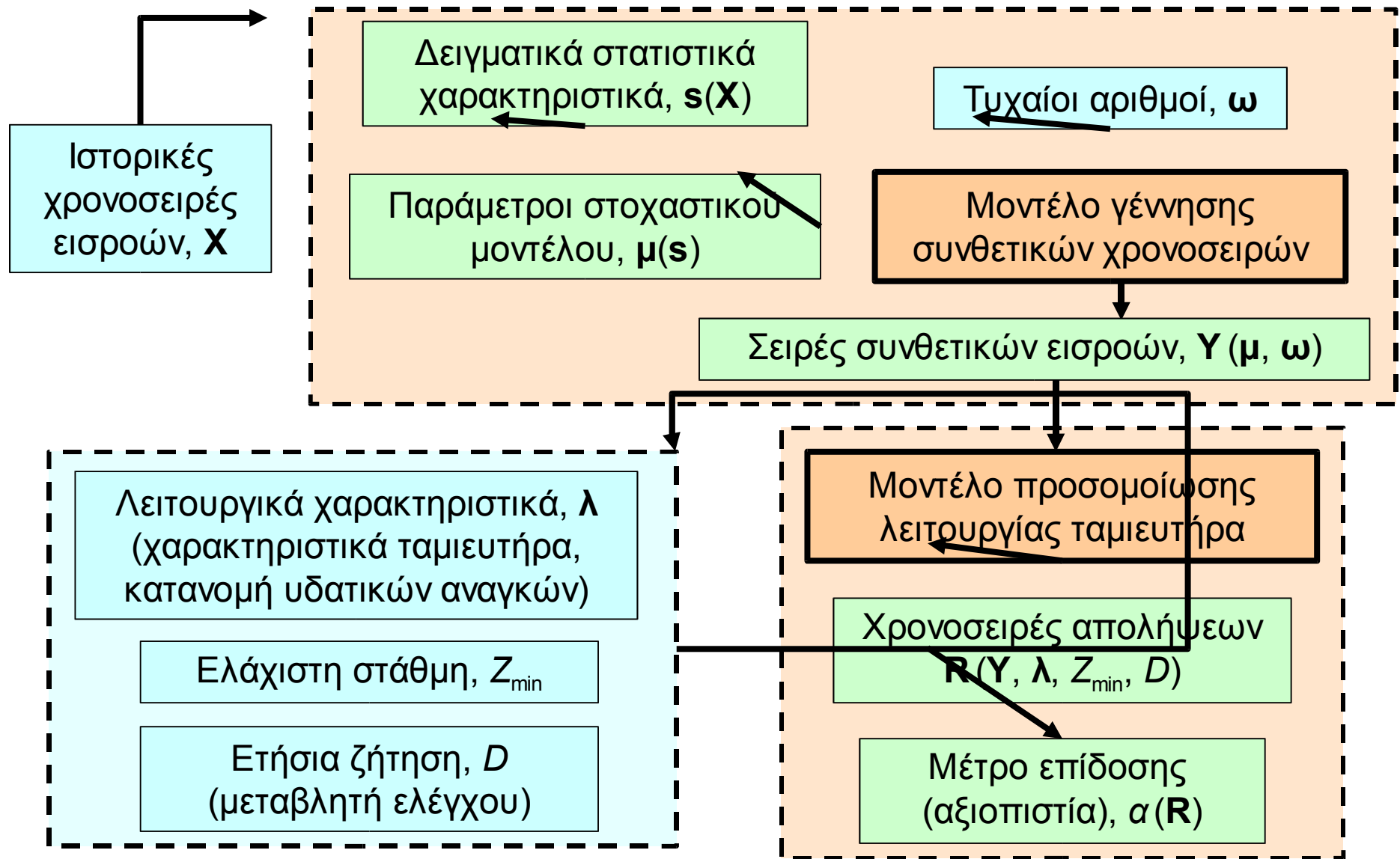
Παράμετροι από τους οποίες εξαρτάται η εγγυημένη απόληψη

- Χαρακτηριστικά μεγέθη λειτουργίας ταμιευτήρα και μηνιαία κατανομή αρδευτικών αναγκών (γνωστά, σταθερά)
- Υδρολογικές συνθήκες (άγνωστες, χρονικά μεταβαλλόμενες)

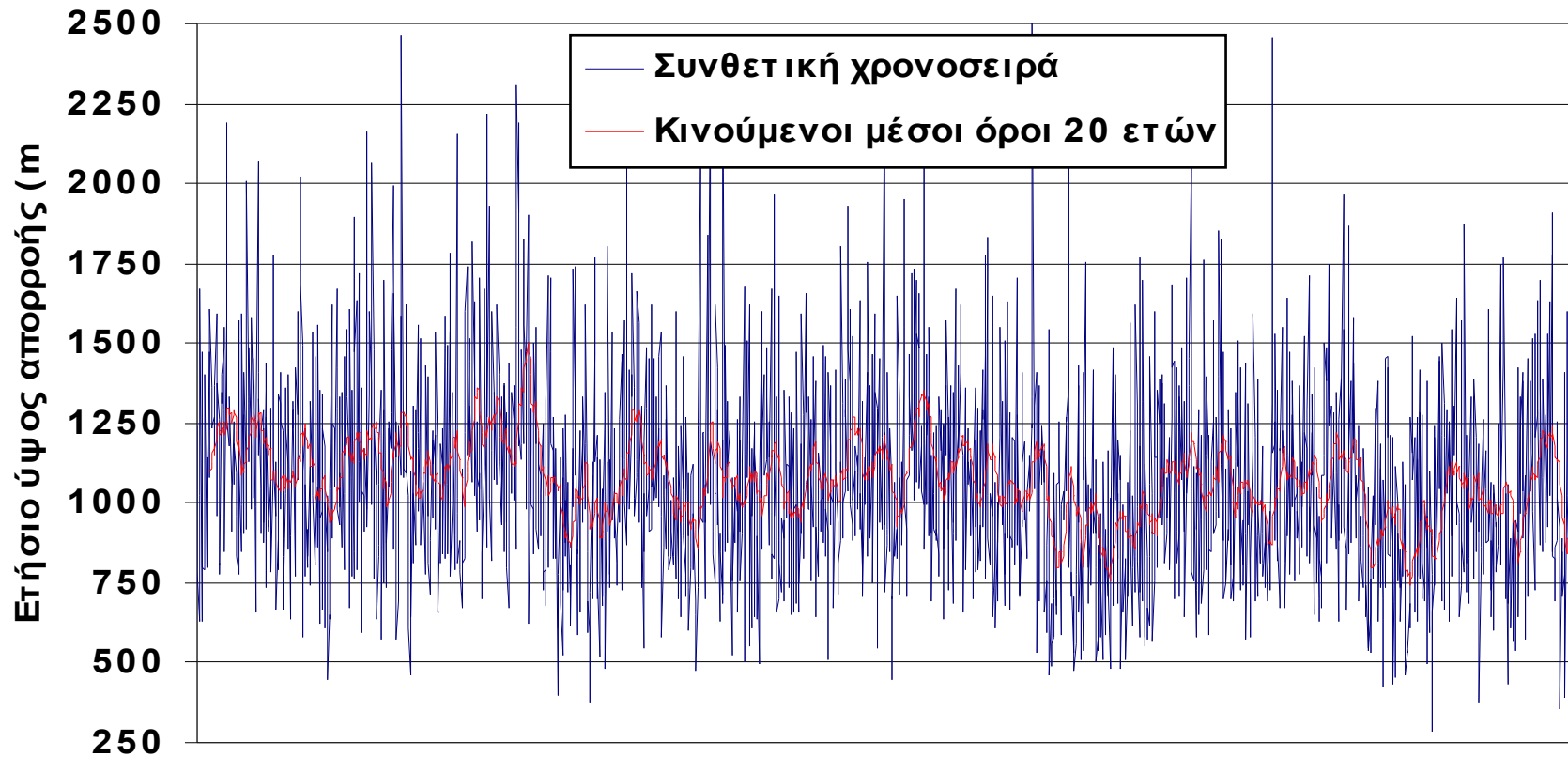
Η έννοια της αξιοπιστίας στη διαχείριση των υδατικών πόρων

- ❶ Τα έργα αξιοποίησης των υδατικών πόρων μπορούν να εξασφαλίσουν μια συγκεκριμένη **ασφαλή (εγγυημένη) επίδοση** (π.χ., απόληψη, ενέργεια), ήτοι επίδοση για δεδομένο επίπεδο αξιοπιστίας.
- ❷ Η αξιοπιστία είναι **πιθανοτικό μέγεθος**, που εμπειρικά ορίζεται ως η συχνότητα επίτευξης της τιμής-στόχου που έχει τεθεί ($\alpha = 1 - n / N$, όπου n το πλήθος των αστοχιών επί συνόλου N υδρολογικών ετών).
- ❸ Η πιθανοτική αντιμετώπιση της λειτουργίας των υδροσυστημάτων οφείλεται στην **τυχειότητα** των φυσικών εισροών. Επειδή οι εισροές είναι τυχαίες μεταβλητές, οι απολήψεις είναι επίσης τυχαίες μεταβλητές.
- ❹ 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).
- ❺ Η **αστοχία** δεν συνεπάγεται πλήρη αδυναμία ικανοποίησης ενός στόχου, αλλά μειωμένη επίδοση σε σχέση με την επιθυμητή.
- ❻ Λόγω της πολυπλοκότητας του προβλήματος, η εκτίμηση της αξιοπιστίας δεν είναι εφικτή αναλυτικά (π.χ. με στατιστικές τεχνικές). Ακολουθείται η προσεγγιστική μέθοδος της **στοχαστικής προσομοίωσης**.

Μεθοδολογία στοχαστικής προσομοίωσης

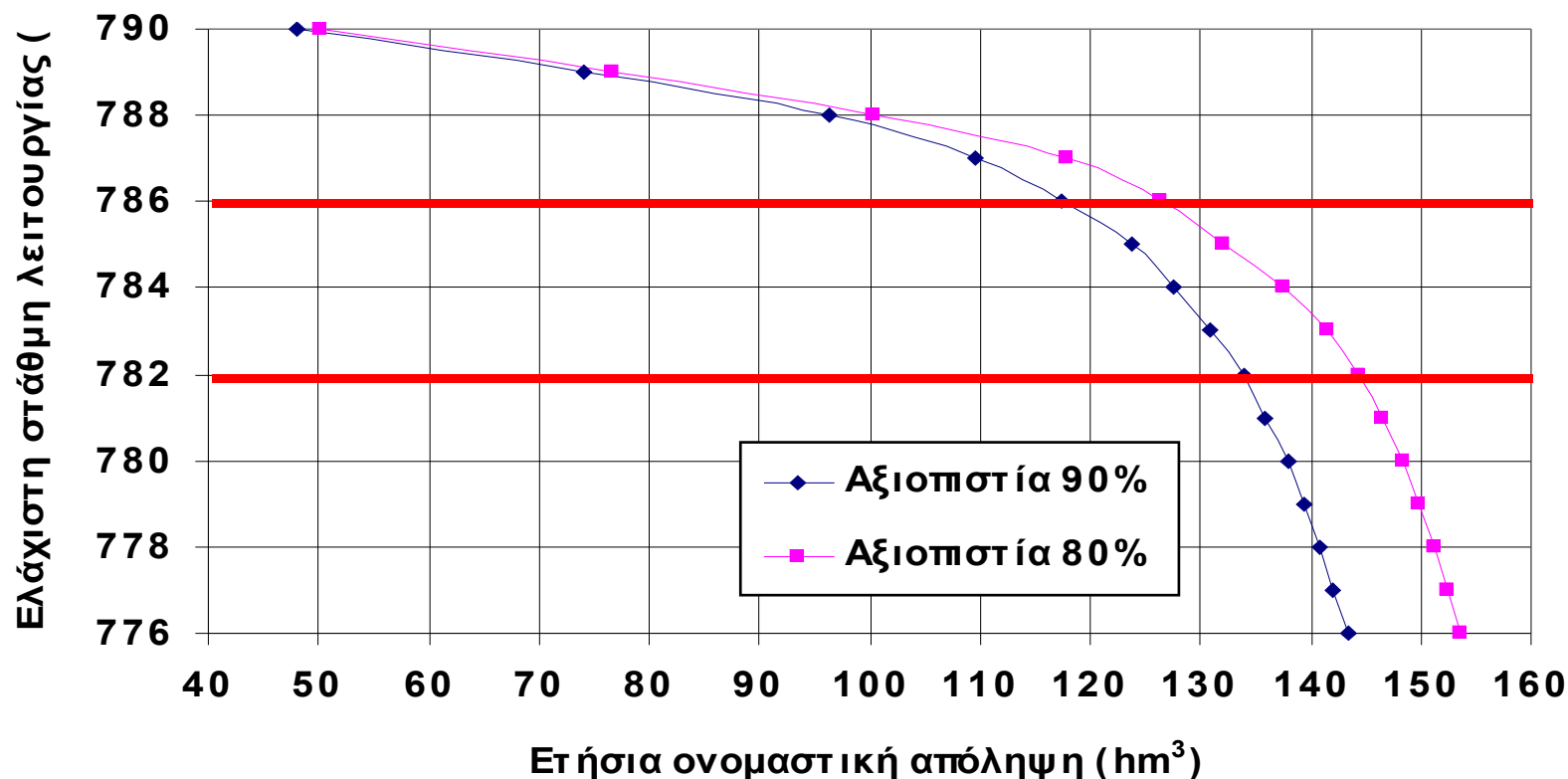


Γέννηση συνθετικών εισροών



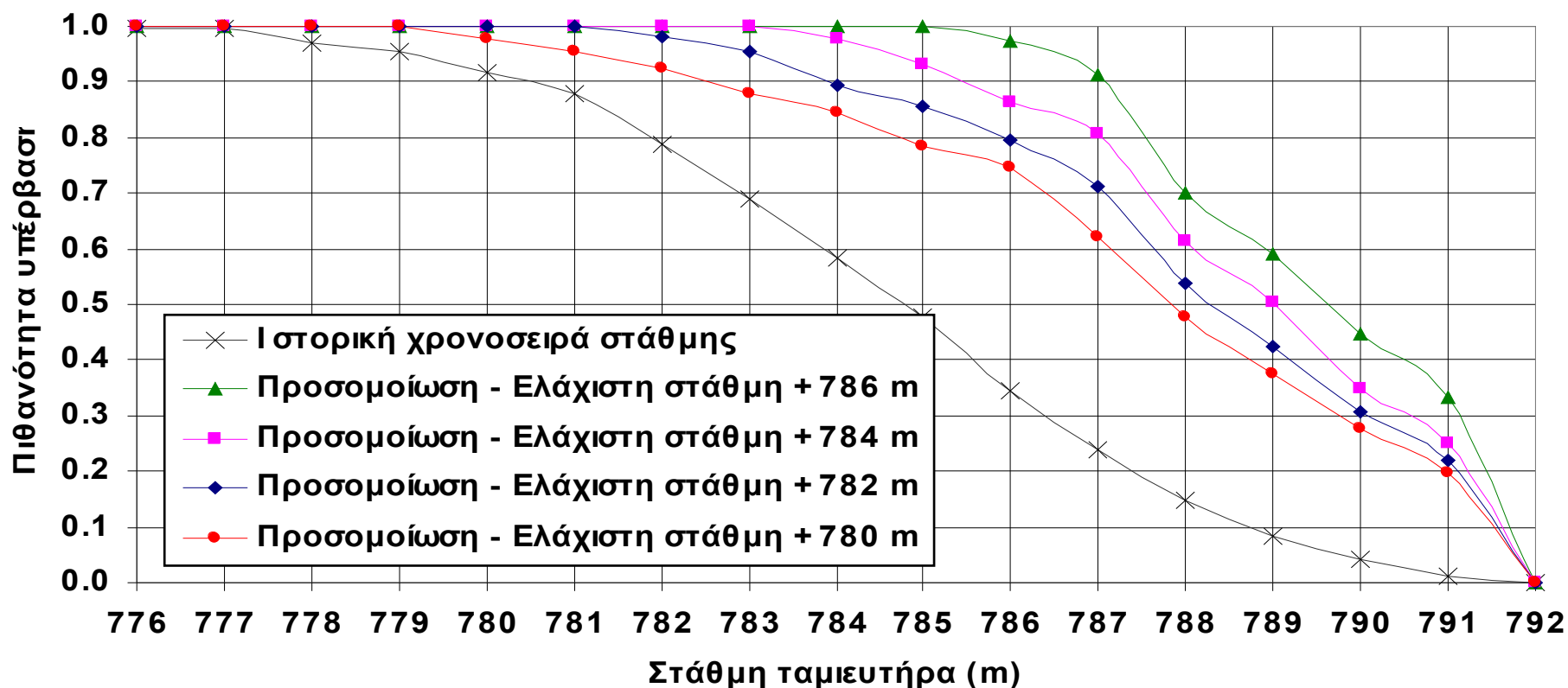
1. Διατήρηση των ουσιωδών στατιστικών χαρακτηριστικών των ιστορικών δειγμάτων απορροής και βροχόπτωσης (περιθώριες και από κοινού στατιστικές κατανομές), σε μηνιαία και ετήσια χρονική κλίμακα
2. Αναπαραγωγή υδρολογικής εμμονής (φαινόμενο που σχετίζεται με την εμφάνιση μακροχρόνιων περιόδων ξηρασίας και υδροκλιματικών αλλαγών)

Σχέση ασφαλούς ετήσιας απόληψης – ελάχιστης στάθμης λειτουργίας ταμιευτήρα



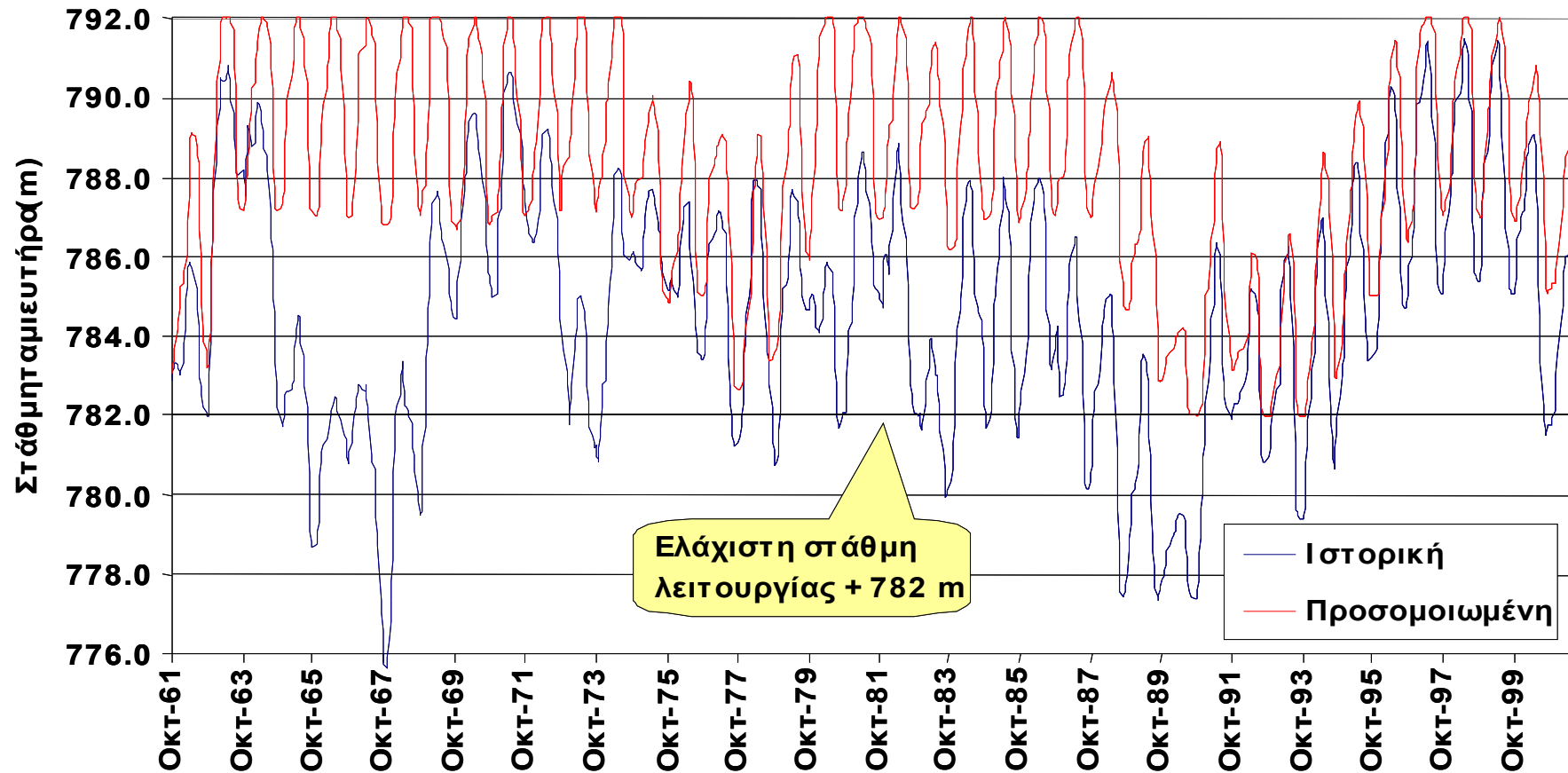
Για ελάχιστη στάθμη λειτουργίας μεγαλύτερη των +786 m, το ασφαλές απολήψιμο δυναμικό του ταμιευτήρα μειώνεται ραγδαία (απορριπτέα ζώνη), ενώ βελτιώνεται με βραδύ ρυθμό για στάθμες μικρότερες των +782 m

Συχνότητες διακύμανσης της στάθμης



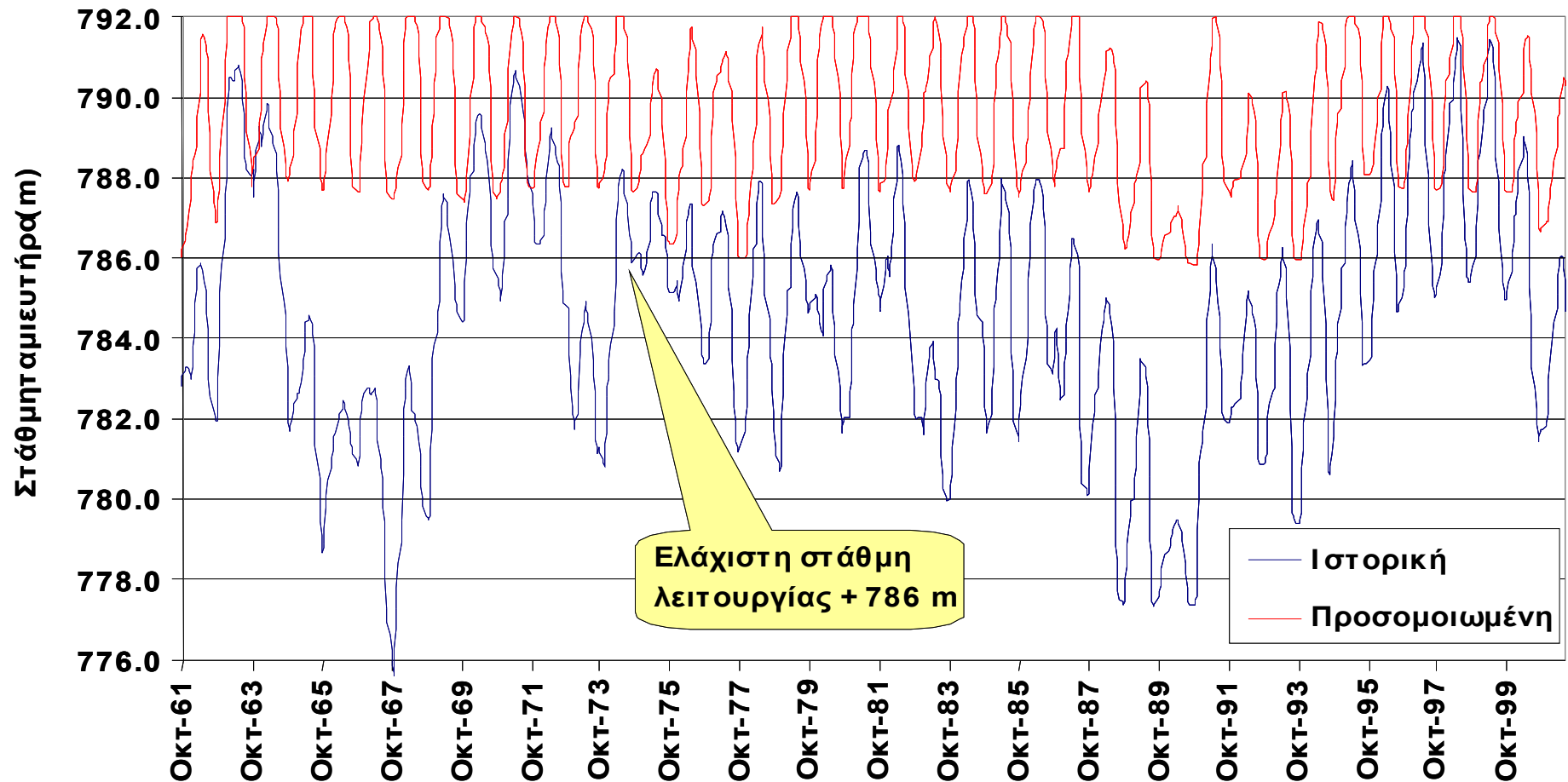
Η θέσπιση του ορίου ελάχιστης στάθμης, σε συνδυασμό με τη σταθεροποίηση της απόληψης, περιορίζουν τις έντονες διακυμάνσεις της στάθμης, η οποία διατηρείται 3 m τουλάχιστον πάνω από το ελάχιστο επιτρεπόμενο όριο κατά τη διάρκεια του 90% του χρόνου

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



Εξασφαλίζονται 134 hm³/έτος (απόληψη-στόχος), με επίπεδο αξιοπιστίας 90%

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



Εξασφαλίζονται 117 hm³/έτος (απόληψη-στόχος), με επίπεδο αξιοπιστίας 90%

Μέρος Β: Ποιοτική θεώρηση

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

Γενική μεθοδολογία

2. Επιλογή χαρακτηριστικών σεναρίων ελάχιστης στάθμης, με χρήση των ιστορικών χρονοσειρών εισροών και των προσομοιωμένων χρονοσειρών απολήψεων, οι οποίες ελήφθησαν από την υδρολογική μελέτη λειτουργίας του ταμιευτήρα
3. Επιλογή περιόδου δυσμενών υδρολογικών συνθηκών (περιλαμβάνεται η ξηρασία των αρχών της δεκαετίας του 1990)
4. Εκτίμηση ρυπαντικών φορτίων
5. Προσομοίωση δυναμικής βασικών ποιοτικών παραμέτρων (με έμφαση στη χλωροφύλλη-α και το διαλυμένο οξυγόνο), μέσω δύο διαφορετικών μοντέλων
6. Βαθμονόμηση μοντέλων με στοιχεία πεδίου
7. Ερμηνεία αποτελεσμάτων

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

- Πραγματοποιήθηκε προσομοίωση των υδροδυναμικών διεργασιών του ταμιευτήρα για τέσσερα σενάρια ελάχιστης στάθμης (+780, +782, +784 και +786 m), θεωρώντας τις ιστορικές εισροές 5 υδρολογικών ετών (1988-89 έως 1992-93).
- 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.

Μοντέλο ευτροφισμού (EUTRO-SEL)

Μεθοδολογία

- Προσομοίωση φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών, οι οποίες περιγράφονται μέσω εξισώσεων κινητικής και διατήρησης της μάζας.
- Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που εξετάζονται είναι το φυτοπλαγκτόν (με όρους χλωροφύλλης), το αμμωνιακό και οξειδωμένο άζωτο, ο οργανικός και ανόργανος φώσφορος, το BOD και το διαλυμένο οξυγόνο

Αποτελέσματα

- Πραγματοποιήθηκε προσομοίωση των βιοχημικών διεργασιών του ταμιευτήρα για τρία σενάρια ελάχιστης στάθμης (+782, +784 και +786 m), θεωρώντας τις εισροές 8 υδρολογικών ετών (1988-89 έως 1995-96).
- Οι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης που προέκυψαν κυμαίνονται εντός του εύρους τιμών που έχουν μετρηθεί (0.7-3.7 $\mu\text{g/L}$).
- 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

- ① 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
- ① 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.
- ① 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 ασφαλή απόληψη** (από 134 ως 117 hm³, για 90% αξιοπιστία).
- ① Αν και η απόληψη που εξασφαλίζεται υπολείπεται των εκτιμώμενων αναγκών (160 hm³), το έλλειμμα μπορεί να εκμηδενιστεί με τη λήψη μέτρων **εξοικονόμησης νερού** και **διαχείρισης της ζήτησης**.