

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων

Διερεύνηση των δυνατοτήτων διαχείρισης και προστασίας της ποιότητας
της Λίμνης Πλαστήρα

Τεύχος 2: Υδρολογική μελέτη

Α. Ευστρατιάδης, Α. Κουκουβίνος, Δ. Κουτσογιάννης και Ν. Μαμάσης

Αθήνα, Μάρτιος 2002

Διερεύνηση των δυνατοτήτων διαχείρισης και προστασίας της ποιότητας της Λίμνης Πλαστήρα

Περίοδος εκτέλεσης: Μάιος 2001 - Ιανουάριος 2002

Προϋπολογισμός: 18 000 000 δραχμές (€ 52 825) συμπερ. ΦΠΑ

Ανάθεση: Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Καρδίτσας και Δήμος Καρδίτσας

Ανάδοχος: Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Επιστημονικός υπεύθυνος: Κ. Χατζημπίρος

Κύριος ερευνητής: Δ. Κουτσογιάννης

Συμμετείχαν: Α. Ανδρεαδάκης, Α. Κατσίρη, Α. Στάμου, Α. Βαλασσόπουλος, Ε. Γαβαλάκη, Α. Ευστρατιάδης, Ι. Κατσίρης, Μ. Καπετανάκη, Α. Κουκουβίνος, Ν. Μαμάσης, Κ. Νουτσόπουλος, Γ.-Φ. Σαργέντης, Α. Χριστοφίδης

Όλα τα τεύχη του ερευνητικού έργου θα είναι διαθέσιμα από 12 Ιουλίου 2002 στη διεύθυνση

<http://www.itia.ntua.gr/g/projinfo/77/>. Επιπλέον πληροφορίες για το έργο, όπως το σύνολο των φωτογραφιών που τραβήχτηκαν στα πλαίσια της μελέτης, θα διατίθενται στη διεύθυνση <http://www.itia.ntua.gr/2002plastiras/>.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	v
Abstract	v
1 Εισαγωγή	1
1.1 Αντικείμενο του τεύχους και ιστορικό	1
1.2 Η διαχείριση του ταμιευτήρα Πλαστήρα.....	1
1.2.1 Ιστορική αναδρομή	1
1.2.2 Υδρολογική θεώρηση.....	4
1.3 Διάρθρωση του τεύχους	4
2 Γεωγραφικά δεδομένα και επεξεργασίες	6
2.1 Γενικά	6
2.2 Περιοχή μελέτης.....	6
2.3 Λεκάνη απορροής.....	7
2.4 Καμπύλες στάθμης-επιφάνειας και στάθμης-αποθέματος ταμιευτήρα	10
2.4.1 Φωτογραμμετρική απόδοση υψομέτρων.....	10
2.4.2 Κατασκευή μοντέλου υψομέτρων.....	10
2.4.3 Σύγκριση με την καμπύλη στάθμης-αποθέματος της ΔΕΗ.....	13
3 Υδρολογικά δεδομένα και επεξεργασίες	16
3.1 Σκοπός και μεθοδολογία.....	16
3.2 Εκτίμηση καθαρών εισροών ταμιευτήρα	16
3.3 Εκτίμηση εισροών λόγω βροχόπτωσης	17
3.4 Εκτίμηση απωλειών λόγω εξάτμισης	18
3.4.1 Η μέθοδος Thornwaite	18
3.4.2 Κατάρτιση μηνιαίου δείγματος εξάτμισης.....	20
3.5 Εκτίμηση εισροών λόγω απορροής	21
3.5.1 Κατάρτιση μηνιαίου δείγματος απορροής	21
3.5.2 Υδρολογική ανάλυση χρονοσειράς απορροής	22
4 Μελέτη λειτουργίας ταμιευτήρα Πλαστήρα	26
4.1 Γενικά	26
4.2 Δεδομένα εισόδου.....	26
4.2.1 Χαρακτηριστικά μεγέθη λειτουργίας ταμιευτήρα.....	26
4.2.2 Υδατικοί πόροι	29
4.2.3 Υδατικές ανάγκες.....	30
4.3 Μοντέλο προσομοίωσης-βελτιστοποίησης	31

4.3.1	Μεθοδολογία λειτουργικής προσομοίωσης	31
4.3.2	Μοντέλο βελτιστοποίησης	32
4.4	Συνθετικές χρονοσειρές εισροών.....	33
4.4.1	Μεθοδολογία στοχαστικής προσομοίωσης.....	34
4.4.2	Στατιστικές παράμετροι που διατηρούνται	35
4.4.3	Γέννηση συνθετικών εισροών.....	35
4.5	Αποτελέσματα στοχαστικής προσομοίωσης	39
4.5.1	Μεμονωμένη λειτουργία ταμιευτήρα Πλαστήρα.....	39
4.5.2	Συνδυασμένη λειτουργία ταμιευτήρα Πλαστήρα και έργου εκτροπής Κερασιώτη	42
4.5.3	Διερεύνηση για διάφορες τιμές ελάχιστης στάθμης λειτουργίας.....	44
4.5.4	Σύγκριση με τα ιστορικά δεδομένα ισοζυγίου	46
5	Συμπεράσματα	50
	Αναφορές	52
	Παράρτημα Α: Υδρομετεωρολογικά δεδομένα	54
	Παράρτημα Β: Υδατικό ισοζύγιο ταμιευτήρα Πλαστήρα	60

Περίληψη

Η προστασία της λίμνης Πλαστήρα προϋποθέτει τη διατήρηση υψηλής ποιότητας του φυσικού τοπίου, ικανοποιητικής ποιότητας των νερών, διευθέτηση των αλληλοσυγκρουόμενων απαιτήσεων και χρήσεων νερού και καθιέρωση αποτελεσματικής διαχείρισης. Το τεύχος αυτό αναφέρεται στην υδρολογική θεώρηση της λειτουργίας του ταμιευτήρα, η οποία είναι μία από τις τρεις συνιστώσες της διαχείρισής του. Η ανάλυση βασίζεται στη συλλογή και επεξεργασία των απαραίτητων γεωγραφικών, υδρολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων. Το κύριο αντικείμενο της μελέτης είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων ασφαλούς απόληξης για διάφορα σενάρια ελάχιστης στάθμης λειτουργίας του ταμιευτήρα, με εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων στοχαστικής προσομοίωσης και βελτιστοποίησης. Το τελικό προϊόν είναι η διατύπωση προτάσεων ορθολογικής διαχείρισης, μέσω της οποίας θα μπορεί να εξασφαλιστεί η μεγιστοποίηση των υδρευτικών και αρδευτικών απολήψεων για υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας, μετά τη θεσμοθέτηση του ορίου κατώτατης στάθμης.

Abstract

To protect the Plastiras Lake, a high quality of the natural landscape and a satisfactory water quality must be ensured, the conflicting water uses and demands must be arranged and effective water management practices must be established. This report refers to the hydrological point-of-view of reservoir's operation, which is one of the three components of its management. The analysis is based on the collection and processing of the necessary geographical, hydrological and meteorological data. The main subject of the study is to investigate the safe yield capabilities for several minimum allowable reservoir level scenarios, by applying modern stochastic simulation and optimisation methods. The final product is to propose suitable management policies, through which we can ensure the maximisation of water supply and irrigation withdrawals for a high reliability level, after imposing the minimum reservoir level restriction.

1 Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο του τεύχους και ιστορικό

Η σύνταξη του παρόντος τεύχους έγινε στα πλαίσια του ερευνητικού έργου *Διερεύνηση των δυνατοτήτων διαχείρισης και προστασίας της ποιότητας της Λίμνης Πλαστήρα*, το οποίο ανατέθηκε από τη Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Καρδίτσας στον Τομέα Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

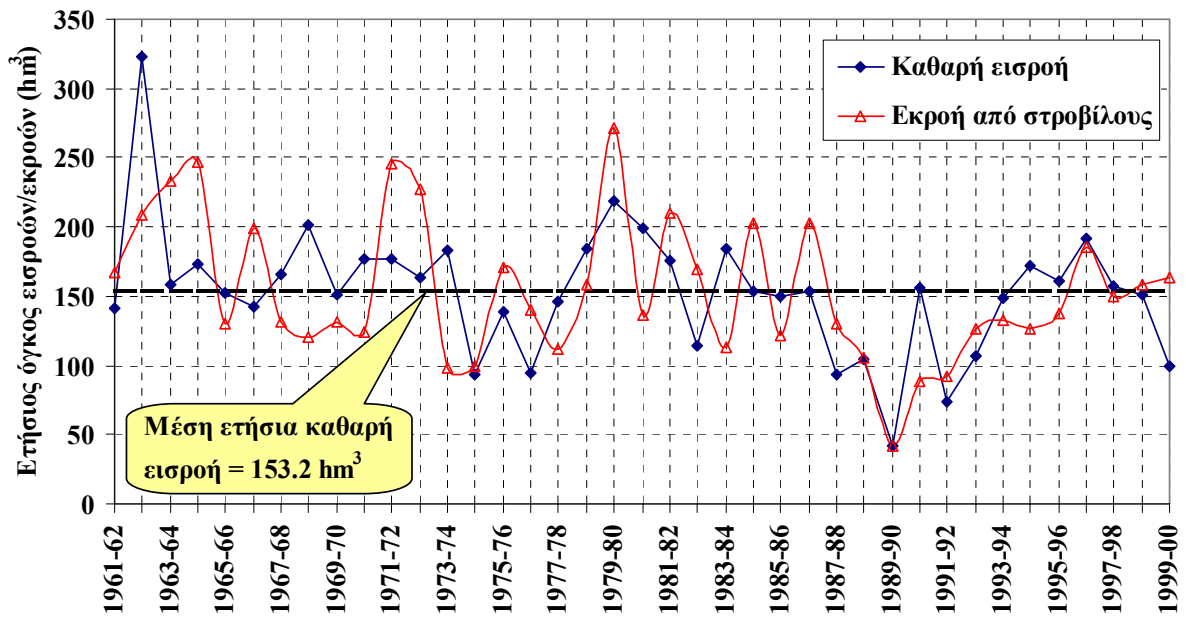
Η προστασία της λίμνης Πλαστήρα απαιτεί τη διατήρηση υψηλής ποιότητας του φυσικού τοπίου, ικανοποιητικής ποιότητας των νερών, διευθέτηση των αλληλοσυγκρουόμενων απαιτήσεων και χρήσεων νερού και θέσπιση ορθολογικών αρχών διαχείρισης. Για τον σκοπό αυτό διερευνάται η λειτουργία του ταμιευτήρα από τρεις σκοπιές, και συγκεκριμένα την υδρολογία, την ποιότητα του νερού και την αισθητική του τοπίου. Η παραπάνω προσέγγιση είναι απόλυτα σύμφωνη με τη σύγχρονη αντίληψη περί διαχείρισης των υδατικών πόρων, η οποία απαιτεί ολοκληρωμένη αντιμετώπιση του προβλήματος, με ενσωμάτωση όλων των τεχνικών, περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών παραμέτρων της διαχείρισης.

Το τεύχος αυτό εξετάζει την υδρολογική-ποσοτική συνιστώσα της διαχείρισης του ταμιευτήρα Πλαστήρα. Για το σκοπό αυτό απαιτήθηκε η συλλογή και επεξεργασία ενός μεγάλου πλήθους γεωγραφικών, υδρολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων, καθώς και η συλλογή στοιχείων σχετικών με τα χαρακτηριστικά μεγέθη λειτουργίας του έργου και τις χρήσεις νερού που αυτό εξυπηρετεί. Στη συνέχεια, καταστρώθηκε το μοντέλο λειτουργικής προσομοίωσης του ταμιευτήρα, βάσει του οποίου μελετήθηκαν διάφορα σενάρια διαχείρισης συναρτήσει της εκάστοτε ελάχιστης επιτρεπόμενης στάθμης λειτουργίας και της εκάστοτε επιθυμητής αξιοπιστίας. Με τον τρόπο αυτό εκτιμήθηκε η υδρολογική επίδοση του ταμιευτήρα ή αλλιώς η ασφαλής απόληψη που θα μπορεί να εξασφαλιστεί ανάλογα με το κατώτατο ορίου στάθμης λειτουργίας της λίμνης. Το όριο αυτό πρόκειται να θεσπιστεί λαμβάνοντας υπόψη τόσο την παρούσα υδρολογική ανάλυση όσο και τα ποιοτικά και αισθητικά κριτήρια, τα οποία εξετάζονται σε άλλα τεύχη του ερευνητικού έργου.

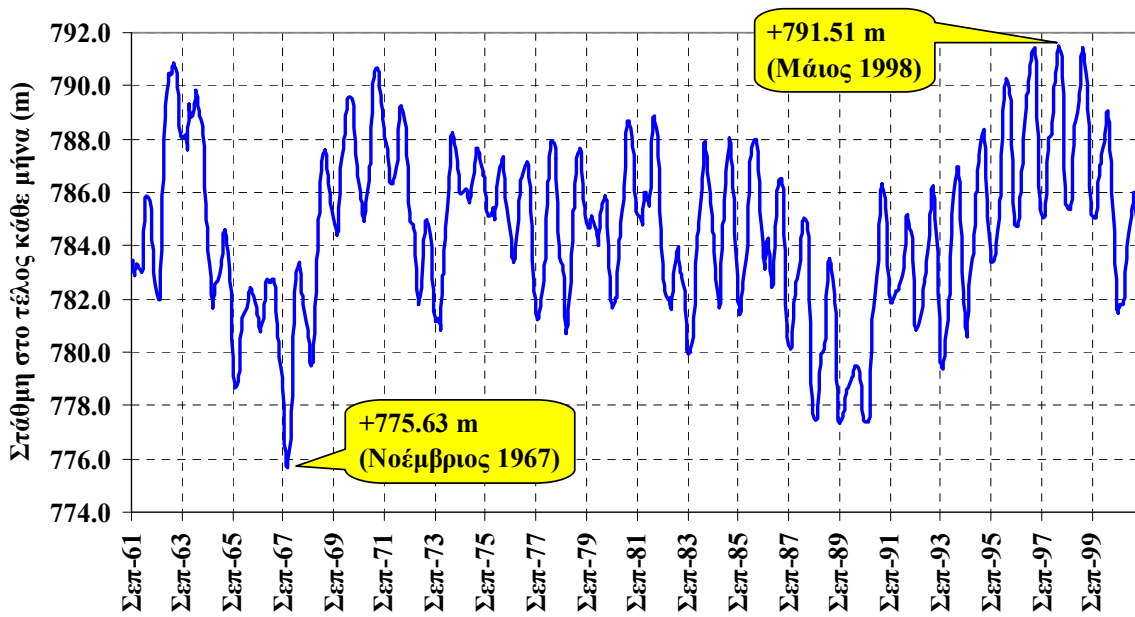
1.2 Η διαχείριση του ταμιευτήρα Πλαστήρα

1.2.1 Ιστορική αναδρομή

Το ιστορικό καθεστώσ της διαχείρισης του ταμιευτήρα χαρακτηρίζεται από εντατική και ανεξέλεγκτη χρήση των διαθέσιμου υδατικού δυναμικού του, είτε για ενεργειακούς είτε για αρδευτικούς σκοπούς. Καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του έργου (40 έτη), η ετήσια απόληψη ήταν άμεσα εξαρτώμενη από τις υδρολογικές εισροές, με αποτέλεσμα να εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις από έτος σε έτος (Σχήμα 1.1). Αντίστοιχα έντονες ήταν και οι διακυμάνσεις της στάθμης, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο διάγραμμα του Σχήματος 1.2.

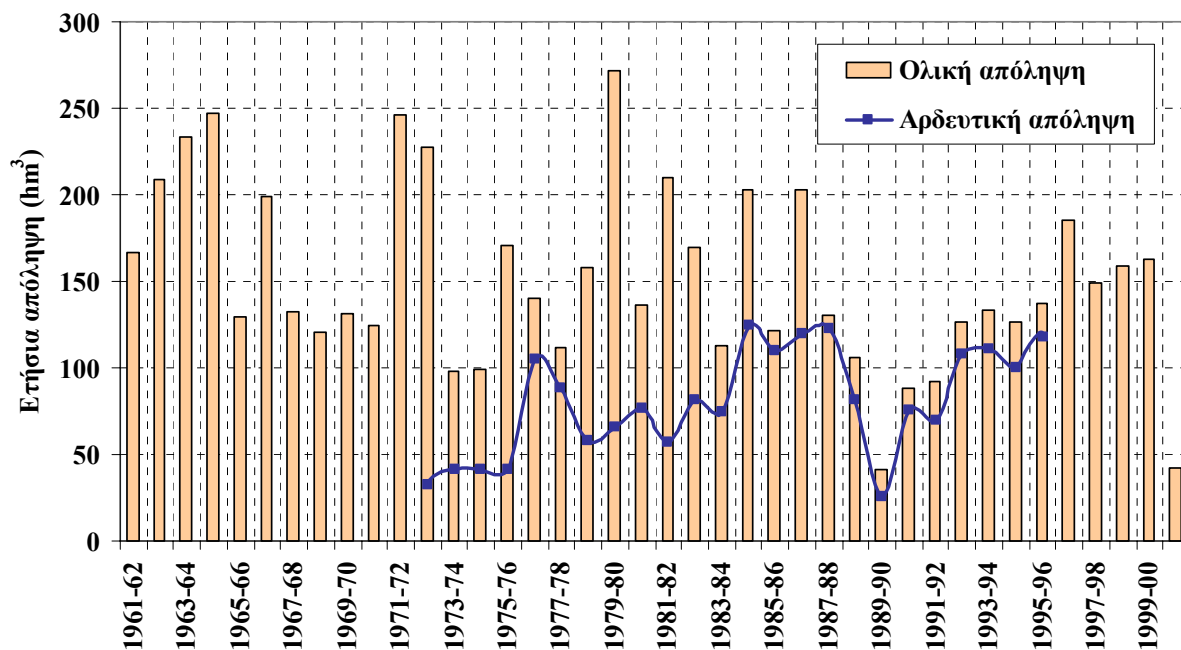


Σχήμα 1.1: Ιστορική χρονοσειρά διακύμανσης ετήσιων εισροών και εκροών ταμιευτήρα Πλαστήρα (Πηγή: ΔΕΗ - Διεύθυνση Εκμετάλλευσης).



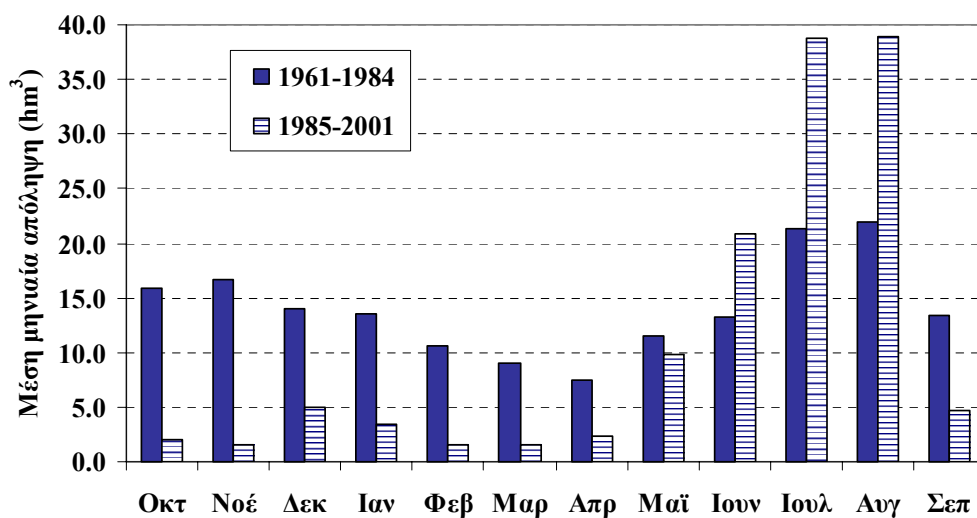
Σχήμα 1.2: Ιστορική χρονοσειρά διακύμανσης στάθμης ταμιευτήρα Πλαστήρα (Πηγή: ΔΕΗ - Διεύθυνση Εκμετάλλευσης).

Ο ταμιευτήρας Πλαστήρα, αν και σχεδιάστηκε ως έργο ενεργειακής σκοπιμότητας, κατά τα τελευταία 15 έτη περίπου εξελίχθηκε σε έργο αρδευτικού κυρίως σκοπού. Στο Σχήμα 1.3 απεικονίζονται οι ετήσιες χρονοσειρές ολικής και αρδευτικής απόληξης, οι οποίες τείνουν πλέον να ταυτιστούν.



Σχήμα 1.3: Ιστορική χρονοσειρά ετήσιας εκροής από στροβίλους από τον ταμειυτήρα Πλαστήρα. Για λόγους σύγκρισης απεικονίζεται η χρονοσειρά ετήσιας αρδευτικής απόληψης, για την οποία υπάρχουν στοιχεία μόνο για την περίοδο 1972-73 ως 1995-96 (Πηγή: ΔΕΗ - Διεύθυνση Εκμετάλλευσης).

Η αλλαγή του χαρακτήρα του έργου από ενεργειακό σε αρδευτικό είχε ως αποτέλεσμα να αλλάξει σημαντικά η μηνιαία κατανομή των απολήψεων, οι οποίες ενώ μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1980 παρουσίαζαν μια σχετική ομοιομορφία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, έκτοτε πραγματοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά κατά τη θερινή περίοδο (Σχήμα 1.4). Η ανισοκατανομή των εκροών και η πλήρης εξάρτησή της από τις αρδευτικές ανάγκες αφαιρεί από τη ΔΕΗ τη δυνατότητα ορθολογικού ενεργειακού προγραμματισμού, ενώ η αδυναμία παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας (ενέργειας δηλαδή εγγυημένης στο 100% του χρόνου) έχει οδηγήσει σε μείωση κατά 50% της αξίας της. Αλλά και η άμεση εξάρτηση των απολήψεων από τις υδρολογικές συνθήκες αφαιρεί από τους αρμόδιους φορείς τη δυνατότητα μακροπρόθεσμου προγραμματισμού της γεωργικής παραγωγής.



Σχήμα 1.4: Μηνιαία κατανομή των απολήψεων κατά τις περιόδους 1961-1984 και 1985-2001.

1.2.2 Υδρολογική θεώρηση

Η αβεβαιότητα που διέπει την προσφορά του φυσικού συστήματος (υδρολογικές εισροές) καθιστά απαραίτητη την εισαγωγή της έννοιας της αξιοπιστίας στη διαχείριση ενός ταμιευτήρα. Η αξιοπιστία ενός ταμιευτήρα (ή γενικότερα ενός συστήματος έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων) πρακτικά ορίζεται ως η συχνότητα ικανοποίησης της ζήτησης νερού. Προφανώς, στην περίπτωση που η τιμή της ζήτησης διαμορφώνεται ανάλογα με το εκάστοτε καθεστώς των εισροών (όπως συμβαίνει στην ως τώρα διαχείριση του ταμιευτήρα Πλαστήρα), τότε αίρεται πλήρως η έννοια της αξιοπιστίας. Με άλλα λόγια, ο ταμιευτήρας χάνει το ρόλο του ως έργου υπερετήσιας ρύθμισης της παροχής, που έχει ως στόχο να αποθηκεύει νερό κατά τις περιόδους υψηλής υδροφορίας και να το αποδίδει κατά τις περιόδους χαμηλής υδροφορίας.

Κατά συνέπεια, η ορθολογική διαχείριση του ταμιευτήρα Πλαστήρα προϋποθέτει καταρχήν τη σταθεροποίηση της τιμής της ετήσιας απόληψης. Η παραπάνω πολιτική παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με το υφιστάμενο, ανεξέλεγκτο καθεστώς των απολήψεων. Σταθερή απόληψη συνεπάγεται δεδομένη προσφορά νερού, ανεξαρτήτως των υδρολογικών συνθηκών και με συγκεκριμένο επίπεδο αξιοπιστίας. Αυτό συνεπάγεται πολύ καλύτερο προγραμματισμό όλων των παραγωγικών δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη λειτουργία του ταμιευτήρα (π.χ., γεωργικές καλλιέργειες).

Το ερώτημα στο οποίο καλείται να δώσει απάντηση η υδρολογική ανάλυση είναι η τιμή της εγγυημένης απόληψης που θα μπορεί να εξασφαλιστεί μετά τη θέσπιση του κατώτατου ορίου στάθμης λειτουργίας. Η ορθολογική αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος απαιτεί την εφαρμογή σύγχρονων τεχνικών στοχαστικής προσομοίωσης και βελτιστοποίησης. Η προσομοίωση είναι μια τεχνική αναπαράστασης των δυναμικών διεργασιών που διέπουν τη λειτουργία ενός πραγματικού συστήματος (εν προκειμένω του ταμιευτήρα Πλαστήρα), οι οποίες διατυπώνονται με τη μορφή μαθηματικών εξισώσεων και κωδικοποιούνται σε κάποια γλώσσα προγραμματισμού. Η στοχαστική προσομοίωση αναφέρεται σε συστήματα των οποίων ορισμένες τουλάχιστον από τις συνιστώσες διέπονται από τυχαιότητα. Στην περίπτωση του ταμιευτήρα Πλαστήρα, η τυχαία συνιστώσα αναφέρεται στις υδρολογικές εισροές. Μέσω της στοχαστικής προσομοίωσης επιτυγχάνεται η διερεύνηση ενός πολύ μεγάλου αριθμού δυνατών καταστάσεων του συστήματος, οι οποίες παράγονται με κάποια συγκεκριμένη μεθοδολογία (π.χ., συνθετικές χρονοσειρές εισροών), και η απόκρισή του σε αυτές. Τέλος, η βελτιστοποίηση είναι μια τεχνική συστηματικής αναζήτησης των τιμών των παραμέτρων ενός συστήματος (εν προκειμένω της ετήσιας απόληψης), για τις οποίες επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση της επίδοσής του.

Το τελικό προϊόν της μελέτης είναι διαγράμματα τα οποία σχετίζουν την τιμή της ασφαλούς απόληψης με την ελάχιστη επιτρεπόμενη στάθμη λειτουργίας, για διάφορα επίπεδα αξιοπιστίας. Μέσω των διαγραμμάτων αυτών είναι δυνατή η αντικειμενική αποτίμηση της υδρολογικής επίδοσης του ταμιευτήρα για όλο το δυνατό εύρος τιμών της εν λόγω στάθμης. Τα διαγράμματα αυτά, μαζί με τα συμπεράσματα που προκύπτουν βάσει της ποιοτικής και αισθητικής ανάλυσης, χρησιμοποιήθηκαν για τη διατύπωση της τελικής πρότασης σχετικά με τη "βέλτιστη" ελάχιστη στάθμη λειτουργίας, μέσω της οποίας εξασφαλίζεται τόσο η ποιότητα του νερού όσο και αυτή του φυσικού τοπίου.

1.3 Διάρθρωση του τεύχους

Το παρόν τεύχος περιλαμβάνει, εκτός από την εισαγωγή (Κεφάλαιο 1), τέσσερα ακόμη κεφάλαια και δύο παραρτήματα.

Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφεται η επεξεργασία των γεωγραφικών δεδομένων, τα οποία αναφέρονται στον ταμιευτήρα και τη λεκάνη απορροής του.

Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται η ανάλυση και επεξεργασία των υδρομετεωρολογικών δεδομένων, με τελικό προϊόν την κατάρτιση ιστορικών δειγμάτων απορροής, βροχόπτωσης και εξάτμισης του ταμιευτήρα.

Στο Κεφάλαιο 4 μελετάται η λειτουργία του ταμιευτήρα Πλαστήρα υπό μορφή σεναρίων στοχαστικής προσομοίωσης, με στόχο την διερεύνηση της επίδοσής του για διάφορες τιμές της ελάχιστης επιτρεπόμενης στάθμης.

Στο Κεφάλαιο 5 συνοψίζονται τα κυριότερα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης.

Στο Παράρτημα Α δίνονται οι πρωτογενείς και επεξεργασμένες χρονοσειρές των υδρολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της μελέτης.

Τέλος, στο Παράρτημα Β δίνονται, υπό μορφή πινάκων, τα μηνιαία μεγέθη ισοζυγίου του ταμιευτήρα, για όλη την περίοδο λειτουργίας του.

2 Γεωγραφικά δεδομένα και επεξεργασίες

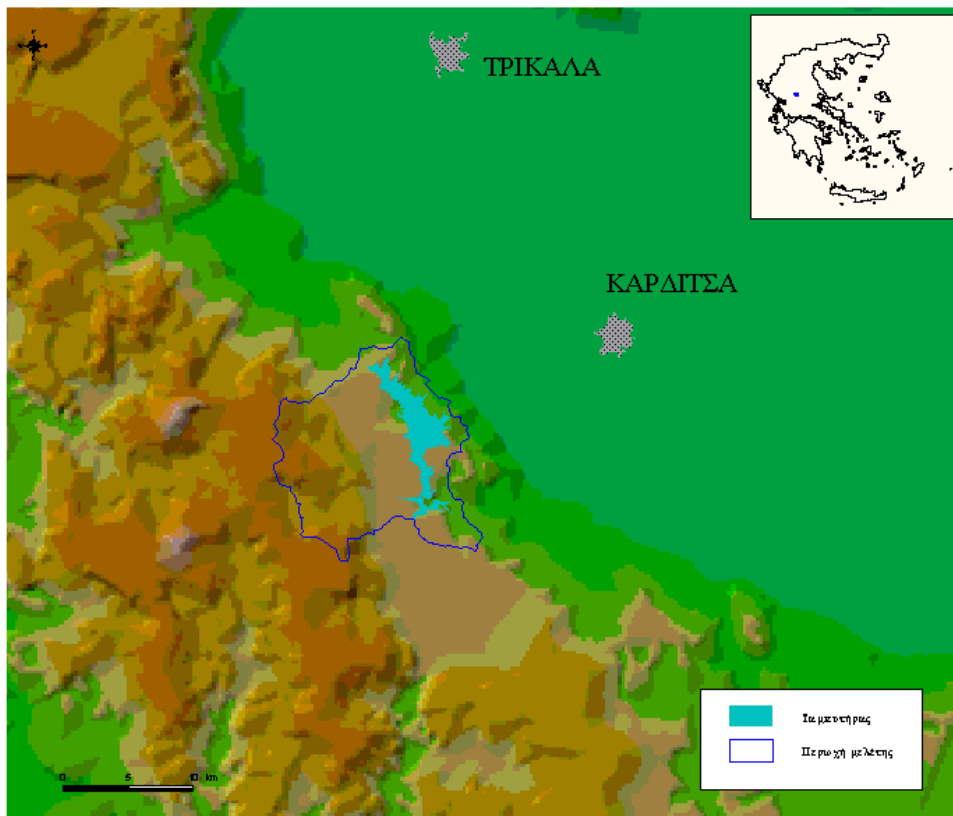
2.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται η επεξεργασία των γεωγραφικών δεδομένων της περιοχής μελέτης, τα οποία μπορούν να διακριθούν δύο κατηγορίες, αυτά που αναφέρονται στην λεκάνη απορροής και αυτά που αναφέρονται στον ταμιευτήρα. Τα δεδομένα της πρώτης κατηγορίας έχουν προέλθει κυρίως από χάρτες κλίμακας 1:50000 και η ακρίβεια τους είναι γενικά καλύτερη από 15 m στην οριζοντιογραφία. Από την άλλη πλευρά, τα δεδομένα της δεύτερης κατηγορίας έχουν προέλθει κυρίως από αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:42000, οι οποίες ελήφθησαν το 1945. Η ακρίβεια τους είναι γενικά καλύτερη από 5 m στην οριζοντιογραφία και 7 m στην υψομετρία.

Όλα τα δεδομένα που περιγράφονται στην συνέχεια, καθώς και οι επεξεργασίες τους, αναφέρονται στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87).

2.2 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης ορίζεται από τη λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα Πλαστήρα, ενώ η ευρύτερη περιοχή μελέτης μπορεί να θεωρηθεί ότι ταυτίζεται με τα διοικητικά όρια του Νομού Καρδίτσας (Σχήμα 2.1). Η τεχνητή λίμνη Πλαστήρα, η οποία βρίσκεται 18 km δυτικά της πόλης της Καρδίτσας, δημιουργήθηκε από την κατασκευή τοξωτού φράγματος από σκυρόδεμα στον παραπόταμο Ταυρωπό (Μέγδοβα) του Αχελώου, κατά τη χρονική περίοδο 1956-62. Το σχήμα της λίμνης είναι επίμηκες, με κατεύθυνση βορρά-νότου. Ο ταμιευτήρας έχει μέγιστο μήκος 14 km, μέγιστο πλάτος 4 km και μέγιστο βάθος περί τα 60 m, ενώ το μήκος της ακτογραμμής του ξεπερνά τα 70 km. Ο ταμιευτήρας εξυπηρετεί πολλαπλές χρήσεις νερού (άρδευση, ύδρευση, παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, αναψυχή) και είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την οικονομικές και κοινωνικές δραστηριότητες της ευρύτερης περιοχής μελέτης.



Σχήμα 2.1: Χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης, στον οποίο απεικονίζονται τα όρια της λεκάνης απορροής του ταμιευτήρα.

2.3 Λεκάνη απορροής

Η λεκάνη απορροής ανάντη του φράγματος έχει έκταση 161.3 km². Ο δυτικός υδροκρίτης της λεκάνης ορίζεται από την οροσειρά των Αγράφων, από όπου πηγάζουν τα κύρια υδατορεύματα της περιοχής, το Μεγάλο Ποτάμι και ο Καρυτσιώτης. Το πρώτο πηγάζει από τα βορειοδυτικά και εκβάλλει στην περιοχή του οικισμού Καλύβια. Το δεύτερο πηγάζει από τα νοτιοδυτικά και εκβάλλει νότια του οικισμού Μπελοκομίτη. Η λεκάνη απορροής φαίνεται στην δορυφορική εικόνα του Σχήματος 2.2. Η εικόνα έχει ληφθεί από τον δορυφόρο Landsat στις 21/8/1999, ώρα 9:30 τοπική.

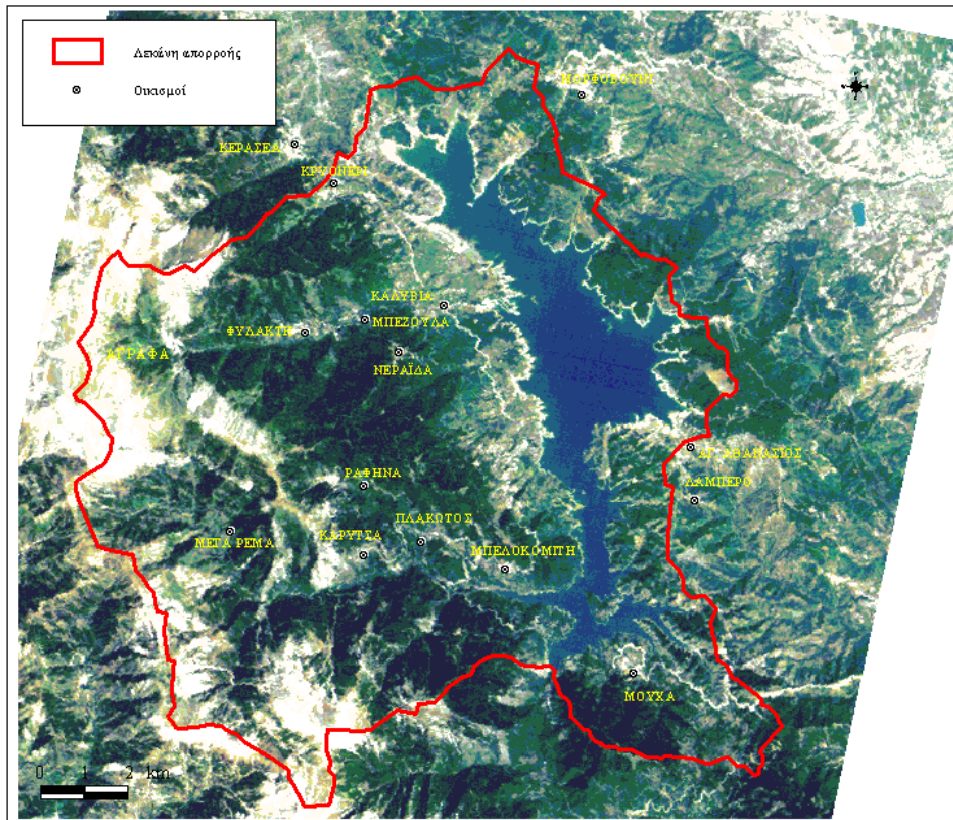
Για να εκτιμηθούν τα υψομετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, υλοποιήθηκε ένα ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων. Χρησιμοποιήθηκαν ισοϋψείς καμπύλες, σημεία γνωστού υψομέτρου και η θέση των υδατορευμάτων. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από χάρτες κλίμακας 1:50000 (Σχήμα 2.3). Το μοντέλο υψομέτρων με μορφή ψηφιδωτής διαμέρισης, το οποίο έχει στοιχειώδη διάσταση 30 × 30 m², απεικονίζεται στο Σχήμα 2.4. Από το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων κατασκευάστηκαν ακόμη τα μοντέλα κλίσεων και προσανατολισμού, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν σε άλλες εφαρμογές του ερευνητικού έργου (Σαργέντης και Χριστοφίδης, 2002).

Τα χαρακτηριστικά υψομετρικά μεγέθη της λεκάνης απορροής συνοψίζονται στον Πίνακα 2.1.

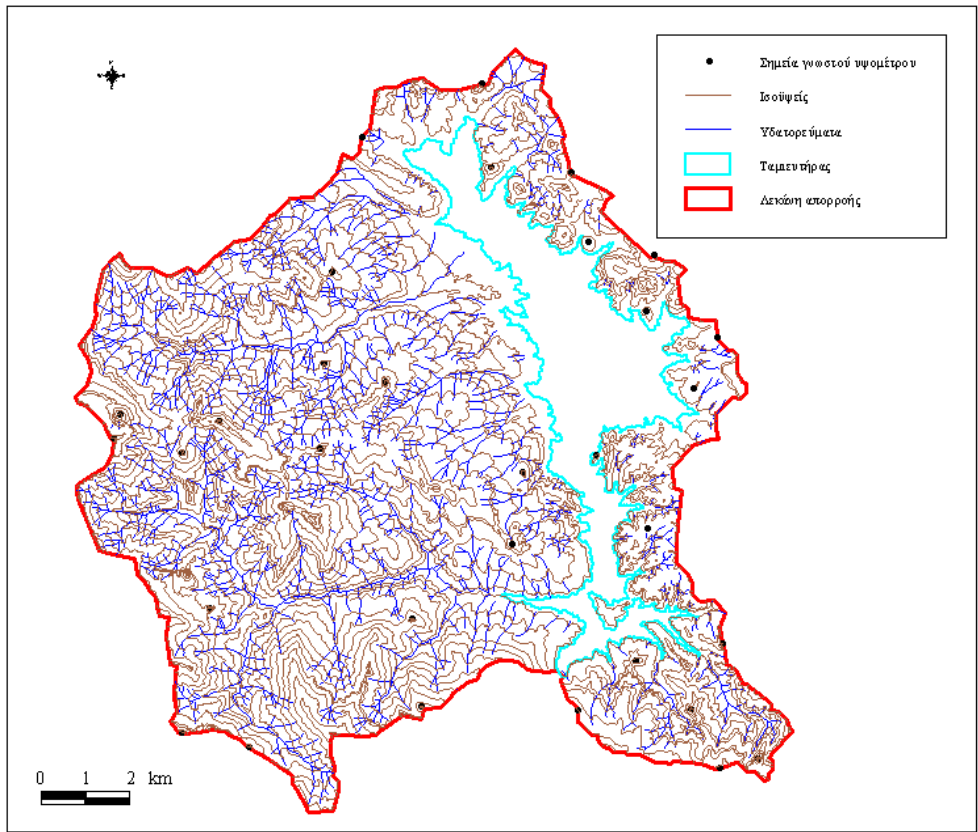
Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά υψομετρικά μεγέθη λεκάνης απορροής.

Ελάχιστο υψόμετρο (m)	800
Μέγιστο υψόμετρο (m)	2140
Μέσο υψόμετρο (m)	1459
Ελάχιστη κλίση (°) ¹	0
Μέγιστη κλίση (°) ¹	64
Μέση κλίση (°) ¹	32

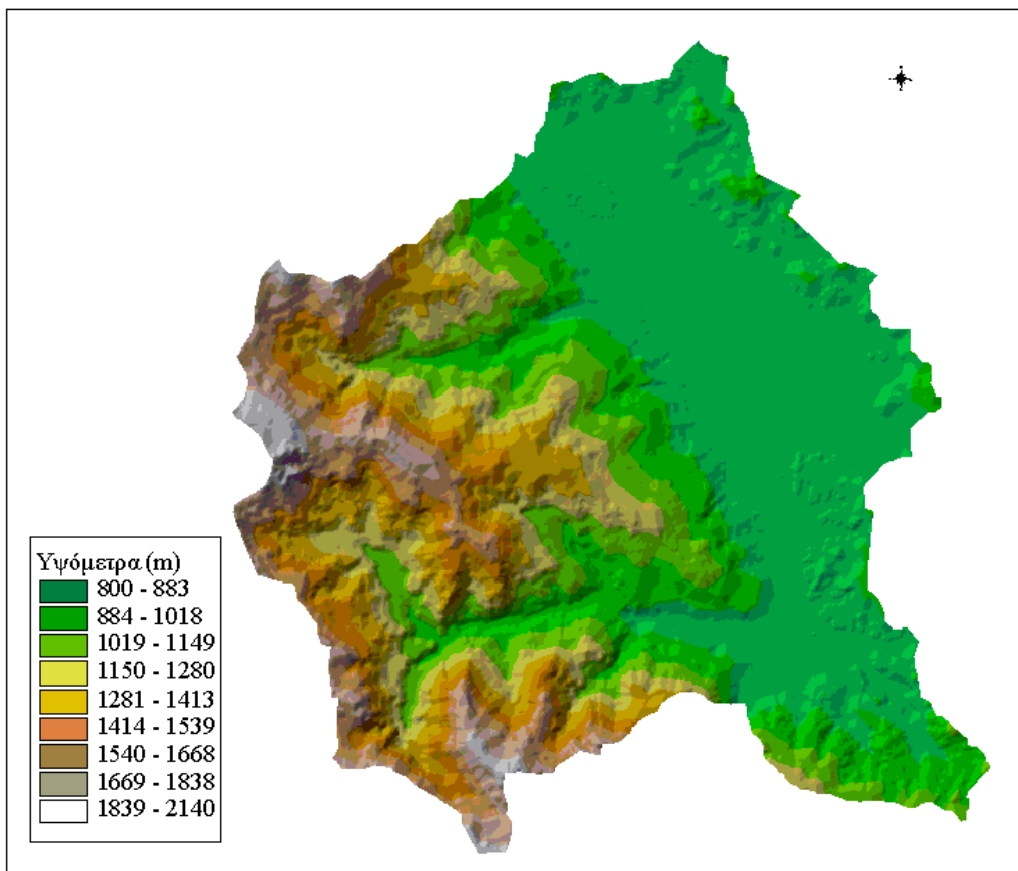
(1) Οι κλίσεις του εδάφους έχουν υπολογιστεί χρησιμοποιώντας ανάλυση κανάβου 30 × 30 m².



Σχήμα 2.2: Δορυφορική εικόνα λεκάνης απορροής.



Σχήμα 2.3: Υψομετρία και υδρογραφικό δίκτυο λεκάνης απορροής.



Σχήμα 2.4: Ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων λεκάνης απορροής.

2.4 Καμπύλες στάθμης-επιφάνειας και στάθμης-αποθέματος ταμιευτήρα

Για την κατασκευή των καμπυλών στάθμης-επιφάνειας και στάθμης-αποθέματος του ταμιευτήρα Πλαστήρα, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια της υδρολογικής ανάλυσης, υλοποιήθηκε ένα μοντέλο υψομέτρων του ταμιευτήρα. Εφαρμόστηκαν φωτογραμμετρικές μέθοδοι για την αποτύπωση της περιοχής πριν την κατάκλυση και μέθοδοι παρεμβολής για την δημιουργία του μοντέλου υψομέτρων.

2.4.1 Φωτογραμμετρική απόδοση υψομέτρων

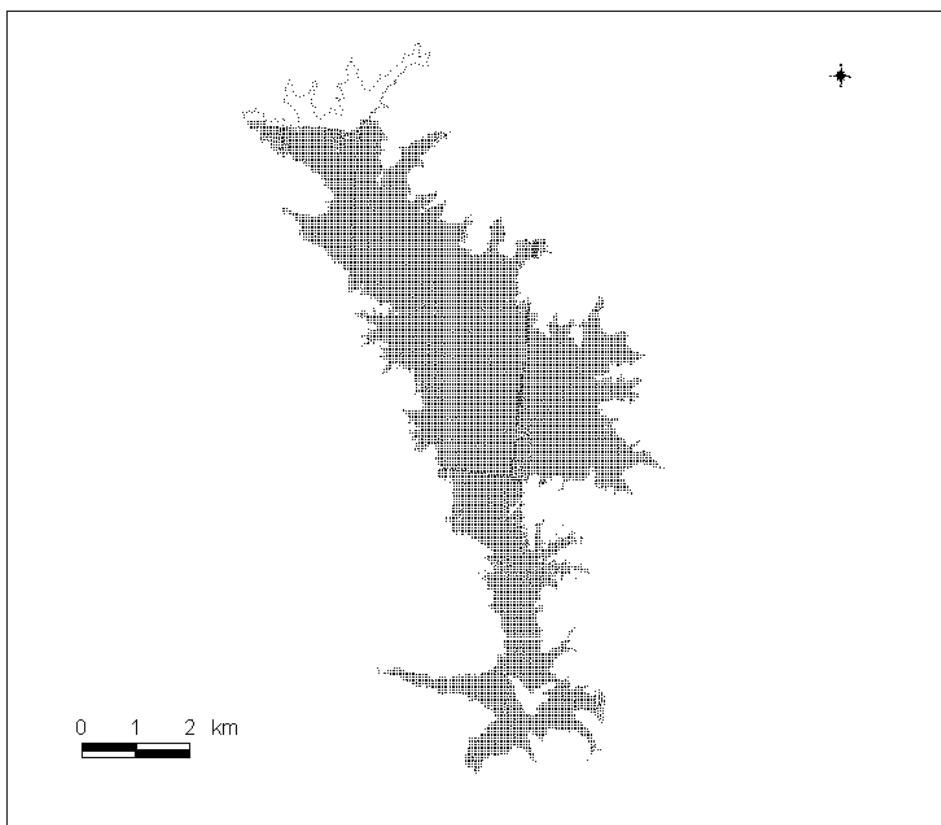
Για τη φωτογραμμετρική απόδοση των υψομέτρων, χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τρία ζεύγη αεροφωτογραφιών και διαθετικών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ), χρονολογίας λήψεως 1945 και κλίμακας 1:42000 (Φ183-82 και Φ182-83, Φ183-8 και Φ183-9, Φ183-9, Φ183-10). Επίσης χρησιμοποιήθηκαν 10 φύλα χάρτη της ΓΥΣ, κλίμακας 1:5000, και τέσσερα φύλα χάρτη, κλίμακας 1:50000. Οι συντεταγμένες των φωτοσταθερών φαίνονται στον Πίνακα 2.2. Για κάθε ζεύγος διαθετικών σκοπεύτηκαν τουλάχιστον 10 σημεία σύνδεσης. Οι τιμές αυτές απέδωσαν επαρκή αριθμό δεδομένων για την επίλυση του αεροτριγωνισμού. Με τον τρόπο αυτό, αποδόθηκαν υπό μορφή κανάβου, στοιχειώδους διάστασης $40 \times 40 \text{ m}^2$, τα σημεία της περιοχής του ταμιευτήρα.

Πίνακας 2.2: Συντεταγμένες φωτοσταθερών.

id	X (m)	Y (m)	Z (m)
103	306530.538	4349594.800	793
104	304150.567	4349853.527	914
106	311244.722	4356160.438	210
107	310528.852	4356131.573	226
108	308192.679	4356334.315	496
109	306007.213	4355678.418	817
110	304763.832	4355546.423	826
111	301024.672	4353016.271	868
113	300607.826	4355809.297	870
114	300619.334	4356219.170	857
115	301350.894	4351271.295	1291
117	301861.691	4352182.410	1122

2.4.2 Κατασκευή μοντέλου υψομέτρων

Από τα σημεία του κανάβου που περιγράφεται στο προηγούμενο εδάφιο, επιλέχθηκαν εκείνα με υψόμετρο μικρότερο από 800 m. Εξαιτίας της έλλειψης των διαθετικών, ο κανάβος δεν καλύπτει ένα μικρό τμήμα του ταμιευτήρα στα βορειοανατολικά. Για την εκτίμηση των υψομέτρων εκεί, επιλέχθηκαν σημεία από την ισοϋψή των 800 m. (Σχήμα 2.5). Για την κατασκευή της επιφάνειας παρεμβολής χρησιμοποιήθηκε τελικά ένα σύνολο 17696 σημείων, τα στατιστικά χαρακτηριστικά των οποίων δίνονται στον Πίνακα 2.3.

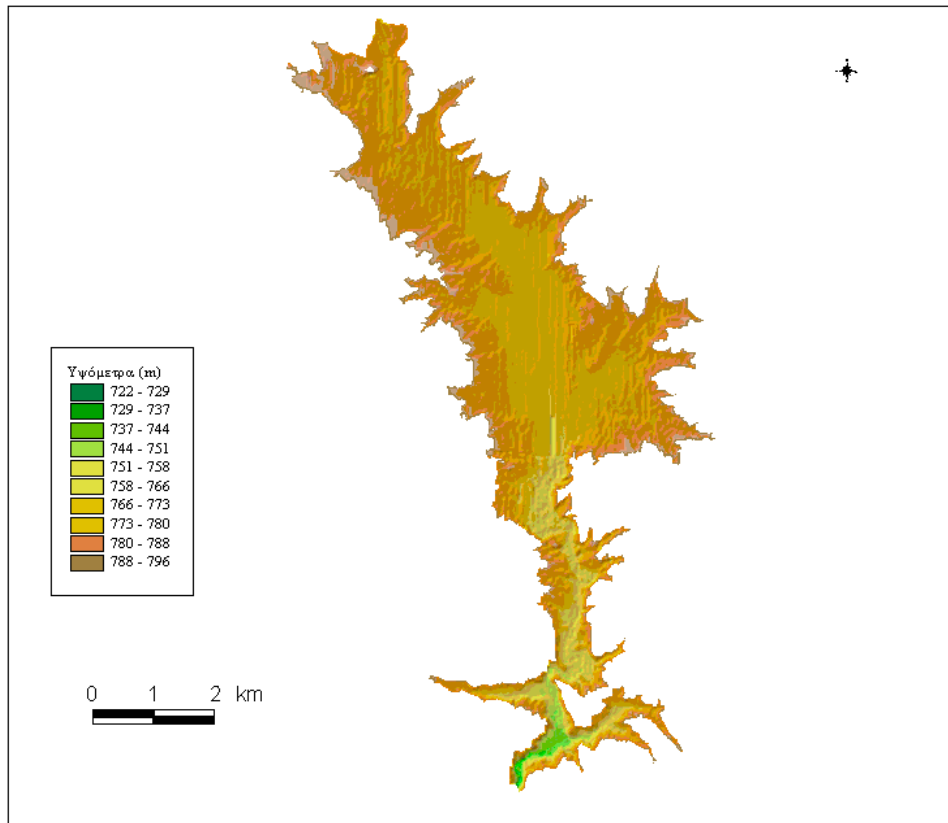


Σχήμα 2.5: Κανάβος σημείων υψόμετρου μικρότερου από 800 m.

Πίνακας 2.3: Στατιστικά χαρακτηριστικά κατανομής σημείων υψόμετρου μικρότερου από 800 m.

Ελάχιστο υψόμετρο (m)	722.89
Μέγιστο υψόμετρο (m)	800.00
Μέσο υψόμετρο (m)	779.12
Τυπική απόκλιση (m)	11.27
Συντελεστής ασυμμετρίας	-0.34
Συντελεστής κύρτωσης	3.35

Για την κατασκευή του μοντέλου επιφάνειας του ταμιευτήρα Πλαστήρα εφαρμόστηκαν διάφορες μέθοδοι παρεμβολής, χρησιμοποιώντας κάθε φορά διαφορετικές παραμέτρους. Σε όλες τις περιπτώσεις, τα μέσα υψομετρικά σφάλματα ήταν μικρότερα από το μισό της ακρίβειας του κανάβου, δηλαδή 7 m. Τελικά, επιλέχθηκε το μοντέλο επιφάνειας που διατηρεί τις τιμές των υψομέτρων του κανάβου και χρησιμοποιεί 10 έως 15 σημεία για κάθε εκτίμηση. Βάσει αυτού, κατασκευάστηκε το μοντέλο υψομέτρων του ταμιευτήρα που έχει τη μορφή ψηφιδωτής διαμέρισης, με διάσταση στοιχειώδους κυττάρου $20 \times 20 \text{ m}^2$ και απεικονίζεται στο Σχήμα 2.6. Από το παραπάνω μοντέλο προέκυψαν οι τελικές σχέσεις στάθμης-επιφάνειας και στάθμης-αποθέματος του ταμιευτήρα, οι τιμές της οποίας δίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 2.4.



Σχήμα 2.6: Ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων ταμιευτήρα.

Πίνακας 2.4: Σχέσεις στάθμης-επιφάνειας και στάθμης-αποθέματος ταμιευτήρα, βασισμένες στο ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων.

Στάθμη (m)	Επιφάνεια (km ²)	Απόθεμα (hm ³)
750	0.35	2.17
760	1.10	8.40
770	4.27	29.66
775	9.78	65.22
776	10.86	75.50
777	12.10	86.98
778	13.14	99.60
779	13.98	113.17
780	14.86	127.55
781	15.68	142.79
782	16.50	158.88
783	17.26	175.76
784	18.05	193.40
785	18.76	211.80
786	19.45	230.90
787	20.19	250.70
788	20.94	271.25
789	21.73	292.55
790	22.56	314.68

791	23.58	337.76
792	24.67	361.84
793	26.01	387.15
794	28.11	414.09

2.4.3 Σύγκριση με την καμπύλη στάθμης-αποθέματος της ΔΕΗ

Για λόγους πληρότητας, η καμπύλη στάθμης-αποθέματος που κατασκευάστηκε βάσει του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων του ταμιευτήρα Πλαστήρα συγκρίθηκε με την καμπύλη που χρησιμοποιεί η ΔΕΗ. Η τελευταία εκτιμά το απόθεμα του ταμιευτήρα βάσει των τιμών του Πίνακα 2.5, οι οποίες έχουν προκύψει με την υπόθεση γραμμικής μεταβολής της επιφάνειας F συναρτήσει της στάθμης z μεταξύ γνωστών (μετρημένων πάνω σε τοπογραφικό χάρτη) σημείων (z_i, F_i) . Βεβαίως, η παραδοχή κατά τμήματα γραμμικής μεταβολής των μεγεθών επιφάνειας και στάθμης είναι προσεγγιστική και ενδέχεται να επιφέρει αρκετά σημαντικά σφάλματα στην εκτίμηση του αποθέματος του ταμιευτήρα.

Πίνακας 2.5: Σχέση στάθμης-αποθέματος την οποία χρησιμοποιεί η ΔΕΗ (Πηγή: ΔΕΗ, 2001, προσωπική επικοινωνία).

Στάθμη (m)	Απολήξιμο απόθεμα (hm ³)	Μικτό απόθεμα (hm ³)
776	0	100
777	13	113
778	26	126
779	39	139
780	54	154
781	70	170
782	87	187
783	104	204
784	123	223
785	143	243
786	164	264
787	185	285
788	206	306
789	228	328
790	250	350
791	274	374
792	299	399
793	324	424
794	349	449

Για την εκτίμηση της σχέσης στάθμης-αποθέματος του ταμιευτήρα χωρίς τη χρήση ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων κατασκευάστηκε μια άλλη καμπύλη, με την υπόθεση σχέσης δυνάμεως και όχι γραμμικής σχέσης μεταξύ επιφάνειας και στάθμης. Έστω ότι σε μια δεδομένη στάθμη z_1 έχει εμβαδομετρηθεί η επιφάνεια του ταμιευτήρα και έχει βρεθεί ίση με F_1 . Η συνάρτηση επιφάνειας-στάθμης μπορεί να θεωρηθεί ότι εκφράζεται από μια σχέση της μορφής:

$$F(z) = F_1 \left(\frac{z - z_0}{z_1 - z_0} \right)^\lambda \quad (2.1)$$

όπου z_0 η κατώτερη στάθμη του ταμιευτήρα, η οποία αντιστοιχεί στον πόδα του φράγματος. Η σχέση (2.1) θεωρείται ότι ισχύει για όλες τις στάθμες μεταξύ των τιμών z_1 και z_2 , για τις οποίες η επιφάνεια του ταμιευτήρα είναι γνωστή. Συνεπώς, η τιμή του εκθέτη λ μπορεί εύκολα να προσδιοριστεί για κάθε διαδοχικό ζεύγος σημείων (z_1, F_1) και (z_2, F_2) μέσω της σχέσης:

$$\lambda = \frac{\ln \left(\frac{F_2}{F_1} \right)}{\ln \left(\frac{z_2 - z_0}{z_1 - z_0} \right)} \quad (2.2)$$

Ο όγκος ΔV που περικλείεται μεταξύ των σταθμών z_1 και z_2 υπολογίζεται ως το ολοκλήρωμα:

$$\Delta V = \int_{z_1}^{z_2} F(z) dz \quad (2.3)$$

Μετά από πράξεις προκύπτει:

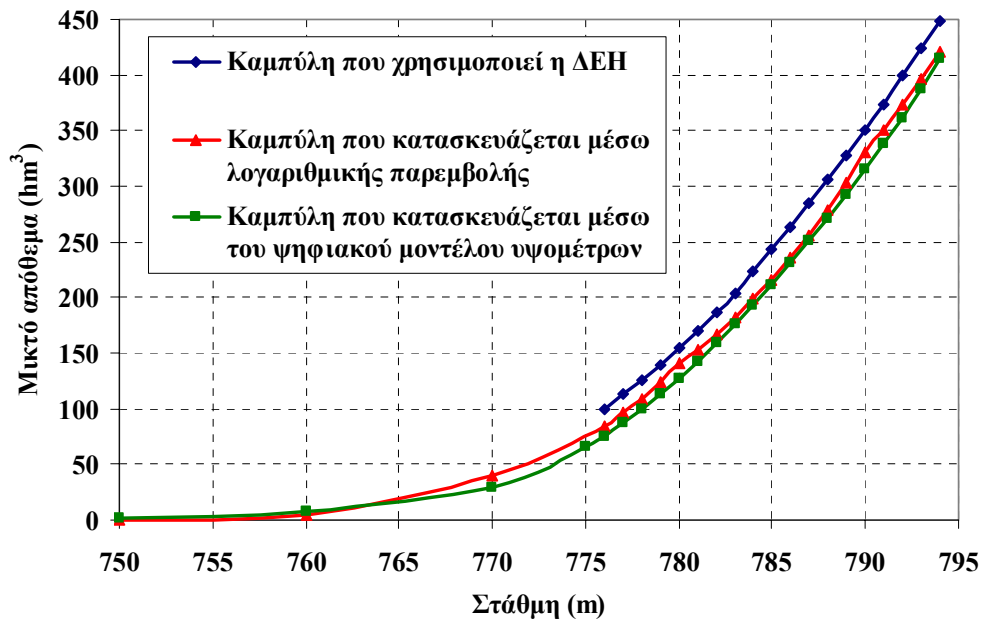
$$\Delta V = \frac{(z_2 - z_0) F_2 - (z_1 - z_0) F_1}{\lambda + 1} \quad (2.4)$$

Στον Πίνακα 2.6 περιγράφεται η πορεία υπολογισμών της σχέσης στάθμης-αποθέματος του ταμιευτήρα Πλαστήρα βάσει την παραπάνω υπόθεσης. Τα γνωστά ζεύγη στάθμης-επιφάνειας (z_i, F_i) έχουν ληφθεί από τους ΕΥΔΕ Αχελώου και ΥΠΕΧΩΔΕ (1995).

Πίνακας 2.6: Κατασκευή νέας καμπύλης στάθμης-αποθέματος.

Στάθμη (m)	Επιφάνεια (km ²)	λ	ΔV (hm ³)	Μικτό απόθεμα (hm ³)
750	0.00			0.0
760	1.43	2.09	4.6	4.6
770	6.07	2.09	34.7	39.3
780	15.00	2.23	101.7	141.0
790	23.04	1.49	189.3	330.3
800	32.00	1.47	274.4	604.7

Στο Σχήμα 2.7 απεικονίζονται οι τρεις καμπύλες στάθμης-αποθέματος, δηλαδή αυτή που χρησιμοποιεί η ΔΕΗ, αυτή που προέκυψε με την υπόθεση λογαριθμικής μεταβολής της επιφάνειας συναρτήσεων της στάθμης και αυτή που υπολογίστηκε βάσει του ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων του ταμιευτήρα. Η τελευταία καμπύλη, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως η πλέον αξιόπιστη, είναι η συντηρητικότερη όλων, καθώς για την ίδια στάθμη εκτιμά μικρότερο απόθεμα ταμιευτήρα. Ωστόσο παρατηρείται ότι η καμπύλη που προέκυψε με την υπόθεση λογαριθμικής συσχέτισης επιφάνειας και στάθμης, παρά το ελάχιστο πλήθος πρωτογενών δεδομένων που απαιτήθηκε για την κατασκευή της, προσαρμόζεται πολύ καλά στην προηγούμενη καμπύλη, γεγονός που τεκμηριώνει την ορθότητα της θεωρητικής σχέσης (2.1). Από την άλλη πλευρά, η καμπύλη που χρησιμοποιεί η ΔΕΗ αποκλίνει αρκετά σε σχέση με τις άλλες δύο, υπερεκτιμώντας έτσι το πραγματικό υδατικό δυναμικό του ταμιευτήρα. Είναι χαρακτηριστικό ότι, ανάλογα με την καμπύλη που υιοθετείται, για ανώτερη στάθμη λειτουργίας ίση με +792 m, η μικτή χωρητικότητα του ταμιευτήρα εκτιμάται σε 399, 373 και 362 hm³ αντίστοιχα. Ομοίως, για στάθμη υδροληψίας ίση με +776 m, ο νεκρός όγκος του ταμιευτήρα εκτιμάται σε 100, 85 και 75 hm³ αντίστοιχα. Πάντως, στους πρακτικούς υπολογισμούς των κύριων μεγεθών ισοζυγίου του ταμιευτήρα (ωφέλιμο απόθεμα, εισροές) δεν υπεισέρχεται το απόλυτο απόθεμα αλλά η μεταβολή του στο χρόνο. Κατά συνέπεια, ακόμη και αν χρησιμοποιείται η λιγότερο ακριβής καμπύλη της ΔΕΗ, δεν αναμένονται σημαντικά σφάλματα στην εκτίμηση των παραπάνω μεγεθών.



Σχήμα 2.7: Σύγκριση καμπύλων στάθμης-αποθέματος ταμιευτήρα Πλαστήρα.

3 Υδρολογικά δεδομένα και επεξεργασίες

3.1 Σκοπός και μεθοδολογία

Για τη μελέτη λειτουργίας του ταμιευτήρα Πλαστήρα ήταν αναγκαία η εκτίμηση των υδρολογικών εισροών και απωλειών του και η κατάρτιση των αντίστοιχων ιστορικών δειγμάτων. Οι υδρολογικές εισροές του ταμιευτήρα προέρχονται, κατά το μεγαλύτερο ποσοστό τους, από την απορροή της ανάντη του φράγματος υπολεκάνης του Ταυρωπού, έκτασης 161.3 km², ενώ μικρό ποσοστό των εισροών προέρχονται από την επιφανειακή βροχόπτωση στον ταμιευτήρα. Από την άλλη πλευρά, οι υδρολογικές απώλειες οφείλονται στην εξάτμιση από την επιφάνεια του ταμιευτήρα, ενώ άγνωστο είναι αν υφίστανται και πόσο σημαντικές είναι οι υπόγειες διαφυγές.

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι διαδικασίες συλλογής και επεξεργασίας των διαφόρων υδρολογικών, μετεωρολογικών και διαχειριστικών δεδομένων, βάσει των οποίων καταρτίστηκαν οι χρονοσειρές απορροής, βροχόπτωσης και εξάτμισης σε μηνιαίο βήμα. Αρχικά υπολογίστηκαν οι καθαρές εισροές στον ταμιευτήρα, οι οποίες στη συνέχεια επιμερίστηκαν στις τρεις παραπάνω συνιστώσες (απορροή, βροχόπτωση, εξάτμιση).

3.2 Εκτίμηση καθαρών εισροών ταμιευτήρα

Οι καθαρές εισροές στον ταμιευτήρα Πλαστήρα υπολογίστηκαν βάσει της μεταβολής του υδατικού ισοζυγίου του σε μηνιαίο χρονικό βήμα, δηλαδή της διαφοράς μεταξύ του αποθέματός του στο τέλος κάθε μήνα και του αντίστοιχου όγκου εκροής μέσω των στροβίλων. Η εξίσωση υδατικού ισοζυγίου γράφεται:

$$S(t+1) = S(t) + I(t) - R(t) \quad (3.1)$$

όπου $S(t)$ το απόθεμα του ταμιευτήρα, $I(t)$ οι καθαρές εισροές στον ταμιευτήρα, οι οποίες αναφέρονται στην απορροή της ανάντη υπολεκάνης και τη βροχόπτωση στον ταμιευτήρα μείον τις απώλειες λόγω εξάτμισης, και $R(t)$ η απόληψη κατά το χρονικό βήμα t . Επιλύοντας την παραπάνω σχέση ως προς τις άγνωστο μέγεθος $I(t)$, εκτιμήθηκαν οι μηνιαίες καθαρές εισροές στον ταμιευτήρα για όλη την περίοδο λειτουργίας του, από τον Σεπτέμβριο του 1960 μέχρι τον Ιούνιο του 2001, για την οποία διατίθενται πλήρη δεδομένα στάθμης και απολήψεων.

Για την εκτίμηση των εισροών, συλλέχθηκαν από τη Διεύθυνση Εκμετάλλευσης της ΔΕΗ οι χρονοσειρές στάθμης την πρώτη κάθε μήνα καθώς και οι μηνιαίες απολήψεις. Το απόθεμα του ταμιευτήρα υπολογίστηκε με χρήση της καμπύλης στάθμης-αποθέματος, εφαρμόζοντας λογαριθμική παρεμβολή μεταξύ των γνωστών ζευγών τιμών του Πίνακα 2.4. Τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος καθαρών εισροών δίνονται στον Πίνακα 3.1. Η μέση ετήσια καθαρή εισροή στον ταμιευτήρα ανέρχεται σε 153.2 hm³.

Πίνακας 3.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά μηνιαίου δείγματος καθαρών εισροών ταμιευτήρα Πλαστήρα (hm³) – Υδρολογικά έτη 1961-62 έως 2000-01.

	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
Μέση τιμή	7.4	14.4	27.4	21.6	22.8	25.1	20.8	11.1	1.8	-0.4	-0.5	0.4	153.2
Τυπ. απόκ.	7.9	9.8	13.6	12.7	12.8	10.5	9.7	6.7	2.5	1.5	1.9	1.9	46.8

3.3 Εκτίμηση εισροών λόγω βροχόπτωσης

Η εκτίμηση της επιφανειακής βροχόπτωσης στον ταμιευτήρα βασίστηκε στο μηνιαίο δείγμα του βροχομετρικού σταθμού Μούχας, ο οποίος βρίσκεται στο νότιο άκρο της λίμνης (κοντά στη θέση του φράγματος) και σε υψόμετρο 870 m. Ο σταθμός λειτουργεί από το 1965, υπό την εποπτεία της ΔΕΗ. Το δείγμα βροχόπτωσης του εν λόγω σταθμού μπορεί να θεωρηθεί αρκετά αντιπροσωπευτικό της επιφανειακής βροχόπτωσης στη λίμνη, τόσο λόγω γειτνίασης του σταθμού με τον ταμιευτήρα όσο και λόγω υψομέτρου, δεδομένου ότι η στάθμη του ταμιευτήρα κυμαίνεται μεταξύ +776 και +792 m. Από την άλλη πλευρά, το βροχόμετρο που είναι εγκατεστημένο στην έξοδο του υδροηλεκτρικού σταθμού της ΔΕΗ βρίσκεται σε πολύ χαμηλότερο υψόμετρο σε σχέση με το υψόμετρο της λίμνης (220 m), και ως εκ τούτου δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό.

Το πρωτογενές δείγμα βροχόπτωσης στον σταθμό Μούχας καλύπτει μια περίοδο 26 υδρολογικών ετών (1965-66 έως 1991-92), με κενά (Ξανθοπούλου κ.ά., 1997). Τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος φαίνονται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά μηνιαίου δείγματος βροχόπτωσης σταθμού Μούχας (mm) – Υδρολογικά έτη 1965-66 έως 1991-92 (με κενά).

	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
Μέση τιμή	137.9	177.5	212.2	174.9	142.3	152.1	124.8	67.6	41.6	18.1	31.6	46.0	1344.8
Τυπ. απόκ.	101.8	48.2	87.6	116.6	57.4	110.0	59.4	42.1	43.9	18.9	31.3	39.8	290.0

Για τη συμπλήρωση των κενών καθώς και την επέκταση (μεγιστοποίηση) του παραπάνω δείγματος μέχρι το πέρας της περιόδου μελέτης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης. Ως χρονοσειρά βάσης χρησιμοποιήθηκε το δείγμα βροχόπτωσης στον ΥΗΣ Πλαστήρα, το οποίο καλύπτει τα υδρολογικά έτη 1960-61 έως 1992-93, χωρίς κενά (Ξανθοπούλου κ.ά., 1997). Για την περίοδο μετά το 1993, ελλείπει άλλων βροχομετρικών δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε ως χρονοσειρά βάσης το διορθωμένο δείγμα καθαρών εισροών στον ταμιευτήρα. Η υπόθεση γραμμικής συσχέτισης βασίζεται σε μια σχέση της μορφής:

$$Y_{ij} = a_j + b_j X_{ij} \quad (3.2)$$

όπου Y_{ij} η προς συμπλήρωση χρονοσειρά (στην προκειμένη περίπτωση η βροχόπτωση), X_{ij} η χρονοσειρά βάσης (βροχόπτωση ή εισροή) και j δείκτης που αναφέρεται στον εκάστοτε μήνα. Οι παράμετροι a_j (τομή) και b_j (κλίση) της γραμμικής παλινδρόμησης καθώς και οι συντελεστές συσχέτισης της βροχόπτωσης στον σταθμό Μούχας με τη βροχόπτωση στον ΥΗΣ Πλαστήρα και την εισροή στον ταμιευτήρα δίνονται στους Πίνακες 3.3 και 3.4, αντίστοιχα. Είναι χαρακτηριστικό ότι ενώ η συσχέτιση της χρονοσειράς βροχόπτωσης στον σταθμό Μούχας με το δείγμα βροχόπτωσης στον ΥΗΣ Πλαστήρα είναι πολύ ικανοποιητική για όλους τους μήνες του έτους, η συσχέτιση με το δείγμα καθαρής εισροής είναι λιγότερο ικανοποιητική.

Πίνακας 3.3: Παράμετροι μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης για τη συσχέτιση των μηνιαίων χρονοσειρών βροχόπτωσης στον σταθμό Μούχας και βροχόπτωσης στον ΥΗΣ Πλαστήρα.

	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
Κλίση	0.897	0.542	1.075	0.985	0.668	1.480	0.818	0.982	1.199	0.790	0.896	1.039
Τομή	18.9	93.9	32.0	68.2	63.5	-5.2	30.1	-1.9	-2.2	1.9	7.4	1.2
Συντ. συσχέτ.	0.856	0.735	0.838	0.659	0.733	0.768	0.861	0.841	0.896	0.844	0.942	0.905

Πίνακας 3.4: Παράμετροι μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης για τη συσχέτιση των μηνιαίων χρονοσειρών βροχόπτωσης στον σταθμό Μούχας και καθαρής εισροής στον ταμιευτήρα Πλαστήρα.

	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
Κλίση	11.21	3.62	5.50	6.21	3.62	4.59	3.94	3.44	4.59	10.52	4.32	9.63
Τομή	59.3	128.5	67.3	33.2	62.7	36.9	35.4	31.9	31.6	23.2	34.1	47.8
Συντ. συσχέτ.	0.884	0.594	0.812	0.669	0.645	0.459	0.723	0.496	0.267	0.781	0.311	0.605

Το τελικό (μεγιστοποιημένο) δείγμα μηνιαίας βροχόπτωσης στον σταθμό Μούχας, το οποίο θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει τη βροχόπτωση στην επιφάνεια του ταμιευτήρα Πλαστήρα, δίνεται στο Παράρτημα Α, ενώ τα στατιστικά χαρακτηριστικά του φαίνονται στον Πίνακα 3.5. Όπως προκύπτει από τη σύγκριση των Πινάκων 3.2 και 3.5, τα στατιστικά χαρακτηριστικά του μεγιστοποιημένου δείγματος δεν έχουν μεταβληθεί σημαντικά σε σχέση με αυτά του ιστορικού. Έτσι, το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στη λίμνη ανέρχεται κοντά στα επίπεδα των 1350 mm, ενώ παρουσιάζει μικρή μεταβλητότητα (λόγος τυπικής απόκλισης προς μέση τιμή), της τάξης του 18% ($\approx 246.4 / 1334.4$).

Πίνακας 3.5: Στατιστικά χαρακτηριστικά τελικού (συμπληρωμένου και μεγιστοποιημένου) δείγματος επιφανειακής βροχόπτωσης σταθμού Μούχας (mm) – Υδρολογικά έτη 1960-61 έως 2000-01.

	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
Μέση τιμή	141.7	178.2	213.0	174.6	142.7	151.1	119.3	70.5	39.8	19.2	30.2	48.2	1334.4
Τυπ. απόκ.	94.8	41.7	76.5	99.1	50.3	90.0	48.5	37.1	36.4	17.8	26.3	38.3	246.4

3.4 Εκτίμηση απωλειών λόγω εξάτμισης

Για την εκτίμηση των απωλειών του ταμιευτήρα Πλαστήρα λόγω εξάτμισης χρησιμοποιήθηκε η απλή εμπειρική μέθοδος του Thornwaite, η οποία εκτιμά τη δυνητική εξατμοδιαπνοή από τυχαία (χωρίς συγκεκριμένη φυτοκάλυψη) εδαφική έκταση και έχει ως μοναδικό δεδομένο εισόδου τη μέση μηνιαία θερμοκρασία. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η εγκυρότητα της μεθόδου αυτή είναι περιορισμένη σε σχέση με τις λεγόμενες αναλυτικές μεθόδους (π.χ., τη μέθοδο Penman), οι οποίες ωστόσο προϋποθέτουν μεγαλύτερο αριθμό μετεωρολογικών παραμέτρων που δεν είναι διαθέσιμες στην ευρύτερη περιοχή μελέτης. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η συνιστώσα της εξάτμισης έχει περιορισμένη βαρύτητα στο υδατικό ισοζύγιο ενός ταμιευτήρα, θεωρήθηκε επαρκής η εφαρμογή της έστω και μειωμένης ακρίβειας μεθόδου Thornwaite, με προσαύξηση των τιμών της δυνητικής εξατμοδιαπνοής, έτσι ώστε αυτές να αντιστοιχούν σε εξάτμιση από υδάτινη επιφάνεια.

3.4.1 Η μέθοδος Thornwaite

Η εμπειρική μέθοδος του Thornwaite (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999) έχει χρησιμοποιηθεί στην πράξη περισσότερο από κάθε άλλη, διεθνώς αλλά και στην Ελλάδα, λόγω των φειδωλών απαιτήσεών της σε δεδομένα εισόδου (μόνο μέση θερμοκρασία) αλλά και της παλαιότητάς της. Βασίζεται στην εξίσωση:

$$E_p = 16 \left(\frac{10 T}{I} \right)^a \frac{\mu N}{360} \quad (3.3)$$

όπου E_p η δυνητική εξατμοδιαπνοή σε mm/μήνα, T η μέση θερμοκρασία του μήνα σε °C, μ ο αριθμός των ημερών του μήνα, N η μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας, I εμπειρικός συντελεστής που ονομάζεται μέσος θερμικός δείκτης και a άλλος εμπειρικός συντελεστής που είναι συνάρτηση του I .

Η μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας είναι ο αριθμός των ωρών από την ανατολή μέχρι τη δύση του ηλίου και εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιούνται ορισμένα αστρονομικά μεγέθη, τα οποία είναι:

- η αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα J (αδιάστατη), όπως αναφέρεται στον Πίνακα 3.6.
- η ηλιακή απόκλιση δ (σε rad), η οποία είναι συνάρτηση της ημέρας J και του γεωγραφικού πλάτους φ και δίνεται από την προσεγγιστική εξίσωση:

$$\delta = 0.4093 \left(\cos \frac{2\pi}{365} J - 2.98 \right) \quad (3.4)$$

- η γωνία ώρας δύσης του ηλίου ω_s (σε rad), η οποία είναι συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους φ και της ηλιακής απόκλισης δ και δίνεται από τη σχέση:

$$\omega_s = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (3.5)$$

Η αστρονομική διάρκεια της ημέρας δίνεται από τη σχέση:

$$N = (24 / \pi) \omega_s \quad (3.6)$$

Πίνακας 3.6: Αντιπροσωπευτικές ημέρες κάθε μήνα για τον υπολογισμό της μέσης αστρονομικής διάρκειας ημέρας.

Μήνας	Ημέρα	Αριθμός ημέρας (J)	Μήνας	Ημέρα	Αριθμός ημέρας (J)
Ιανουάριος	17	17	Ιούλιος	17	198
Φεβρουάριος	15	46	Αύγουστος	16	228
Μάρτιος	16	75	Σεπτέμβριος	15	258
Απρίλιος	15	105	Οκτώβριος	16	289
Μάιος	15	135	Νοέμβριος	15	319
Ιούνιος	11	162	Δεκέμβριος	11	345

Οι δύο εμπειρικοί συντελεστές της μεθόδου Thornwaite υπολογίζονται με βάση τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες των 12 μηνών του έτους (οι οποίοι συμβολίζονται με το δείκτη j), από τις εξισώσεις:

$$I = \sum_{j=1}^{12} 0.09 T_j^{3/2} \quad (3.7)$$

$$a = 0.016 I + 0.5 \quad (3.8)$$

Οι σχέσεις αυτές, γνωστές ως εξισώσεις του Serra, αποτελούν απλοποιήσεις των αρχικών, ελαφρώς πολυπλοκότερων, εξισώσεων του Thornwaite.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος Thornwaite υποεκτιμά σημαντικά την εξατμοδιαπνοή σε σχέση με ακριβέστερες μεθόδους όπως είναι η αναλυτική μέθοδος Penman, η οποία ωστόσο απαιτεί επιπλέον δεδομένα εισόδου πέραν της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, τα οποία δεν ήταν διαθέσιμα για την παρούσα μελέτη.

3.4.2 Κατάρτιση μηνιαίου δείγματος εξάτμισης

Η μηνιαία δυνητική εξατμοδιαπνοή στην περιοχή του ταμιευτήρα εκτιμήθηκαν με εφαρμογή της μεθόδου Thornwaite, συναρτήσε των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών της περιοχής. Η χρονοσειρά των θερμοκρασιών ελήφθη από το σταθμό του φράγματος και καλύπτει το σύνολο της περιόδου 1961-84. Το γεωγραφικό πλάτος του σταθμού είναι $\varphi = 39' 18''$, για το οποίο οι τιμές των διαφορών μηνιαίων αστρονομικών μεγεθών που απαιτεί η μέθοδος δίνονται στον Πίνακα 3.7.

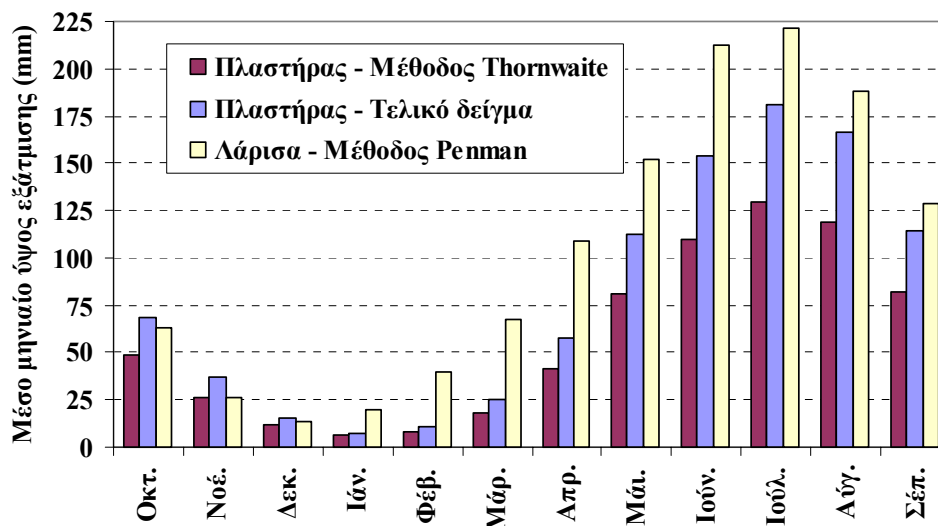
Πίνακας 3.7: Αστρονομικά μεγέθη που απαιτούνται για τη μέθοδο Thornwaite.

Μήνας	Ηλιακή απόκλιση	Γωνία ώρας δύσης ηλίου	Μέση αστρονομική διάρκεια ημέρας
Ιανουάριος	-0.3678	1.2499	9.55
Φεβρουάριος	-0.2369	1.3718	10.48
Μάρτιος	-0.0482	1.5313	11.70
Απρίλιος	0.1587	1.7022	13.00
Μάιος	0.3243	1.8496	14.13
Ιούνιος	0.4018	1.9260	14.71
Ιούλιος	0.3723	1.8961	14.49
Αύγουστος	0.2398	1.7723	13.54
Σεπτέμβριος	0.0447	1.6075	12.28
Οκτώβριος	-0.1684	1.4312	10.93
Νοέμβριος	-0.3307	1.2860	9.82
Δεκέμβριος	-0.4025	1.2149	9.28

Βάσει της μεθόδου Thornwaite, το μέσο ετήσιο ύψος δυνητικής εξατμοδιαπνοής προκύπτει ίσο με 687.7 mm, τιμή που είναι ιδιαίτερα χαμηλή και οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος Thornwaite υποεκτιμά τη δυνητική εξατμοδιαπνοή. Πράγματι, το αντίστοιχο μέσο ετήσιο ύψος δυνητικής εξατμοδιαπνοής στην περιοχή της Λάρισας, όπως έχει υπολογιστεί με τη μέθοδο Penman στα πλαίσια προηγούμενου ερευνητικού έργου (Ναλμπάντης και Κουτσογιάννης, 1997), φτάνει τα 1242.5 mm, είναι δηλαδή σχεδόν διπλάσιο από αυτό της περιοχής του ταμιευτήρα. Λαμβάνοντας επίσης υπόψη το γεγονός ότι η εξάτμιση από υδάτινη επιφάνεια είναι μεγαλύτερη της δυνητικής εξατμοδιαπνοής, θεωρήθηκε αναγκαία η αύξηση των τιμών της χρονοσειράς που προέκυψε με τη μέθοδο Thornwaite κατά ποσοστό 40%. Συνεπώς, η τελική εκτίμηση για τη μέση ετήσια εξάτμιση από τον ταμιευτήρα Πλαστήρα ανέρχεται σε 950.1 mm. Η εν λόγω τιμή θεωρείται αρκετά αντιπροσωπευτική για τα ελληνικά δεδομένα, δεδομένου ότι αναφέρεται σε μια περιοχή με σχετικά μεγάλο υψόμετρο (η ανώτατη στάθμη της λίμνης φτάνει τα 794.0 m). Το τελικό (ανηγμένο) δείγμα εξάτμισης, το οποίο καλύπτει την περίοδο 1961-84, δίνεται στο Παράρτημα Α, ενώ τα στατιστικά χαρακτηριστικά του φαίνονται στον Πίνακα 3.8. Τέλος, στο Σχήμα 3.1 απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές του αρχικού και του τελικού δείγματος εξάτμισης, καθώς και οι αντίστοιχες τιμές για την περιοχή της Λάρισας.

Πίνακας 3.8: Στατιστικά χαρακτηριστικά τελικού δείγματος εξάτμισης ταμιευτήρα Πλαστήρα (mm).

	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
Μέση τιμή	68.4	36.6	15.1	7.1	10.5	25.5	57.8	112.8	154.1	180.8	166.8	114.5	950.1
Τυπ. απόκ.	10.4	10.4	6.9	5.5	9.0	9.8	12.2	18.5	12.8	10.9	15.7	9.1	30.0



Σχήμα 3.1: Μέσες μηνιαίες τιμές δυνητικής εξατμοδιαπνοής στην περιοχή του ταμιευτήρα Πλαστήρα, όπως προέκυψαν με εφαρμογή της εμπειρικής μεθόδου Thornwaite, και αντίστοιχες τιμές επαυξημένες κατά ποσοστό 40%. Συγκριτικά παρατίθενται οι μέσες τιμές δυνητικής εξατμοδιαπνοής για την περιοχή της Λάρισας, όπως εκτιμήθηκαν βάσει της αναλυτικής μεθόδου Penman.

3.5 Εκτίμηση εισροών λόγω απορροής

3.5.1 Κατάρτιση μηνιαίου δείγματος απορροής

Η απορροή της υπολεκάνης ανάντη του ταμιευτήρα Πλαστήρα υπολογίστηκε αφαιρώντας από την καθαρή εισροή τη βροχόπτωση στον ταμιευτήρα και προσθέτοντας τις απώλειες λόγω εξάτμισης. Σημειώνεται ότι σε ορισμένους μήνες της περιόδου μελέτης προέκυψαν αρνητικές τιμές της απορροής, οι οποίες οφείλονται σε υπερεκτίμηση των απωλειών λόγω εξάτμισης ή σε υπερεκτίμηση των εισροών λόγω βροχόπτωσης, αλλά μπορούν να προέρχονται και από σφάλματα που οφείλονται στην καμπύλη στάθμης-αποθέματος καθώς και στα μεγέθη ισοζυγίου που μετρά η ΔΕΗ (στάθμη και εκροή από στροβίλους). Με εξαίρεση μία ακραία περίπτωση που η απορροή προέκυψε ίση με -8.1 hm^3 (Σεπτέμβριος 1975), και στην οποία προφανώς υπάρχει σφάλμα στη μέτρηση της εκροής, όλες οι υπόλοιπες αρνητικές τιμές απορροής ήταν πολύ κοντά στο μηδέν. Για την απαλοιφή των τιμών αυτών πραγματοποιήθηκε διόρθωση της χρονοσειράς απορροής, θέτοντας τις αρνητικές τιμές ίσες με μηδέν και θεωρώντας ότι το σφάλμα ισομοιράζεται στους υπόλοιπους μήνες του αντίστοιχου υδρολογικού έτους. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε υδρολογικό έτος i υπολογίστηκε ο συντελεστής αναγωγής:

$$\mu_i = \frac{\sum_{j=1}^{12} Q_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} Q'_{ij}} \quad (3.9)$$

όπου Q_{ij} η τιμή της απορροής κατά το μήνα j και Q'_{ij} η τιμή της απορροής, εφόσον αυτή είναι μη αρνητική. Η διορθωμένη χρονοσειρά υπολογίστηκε πολλαπλασιάζοντας τις μη αρνητικές τιμές κάθε έτους με τον αντίστοιχο συντελεστή μ_i και μηδενίζοντας τις αρνητικές τιμές.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η παραπάνω μεθοδολογία διόρθωσης των αρνητικών απορροών εφαρμόστηκε χρησιμοποιώντας και τις τρεις διαθέσιμες καμπύλες στάθμης-αποθέματος, δηλαδή αυτή που χρησιμοποιεί η ΔΕΗ, αυτή που προέκυψε με την υπόθεση λογαριθμικής μεταβολής της επιφάνειας συναρτήσεις της στάθμης και αυτή που υπολογίστηκε βάσει του ψηφιακού μοντέλου

υψομέτρων του ταμιευτήρα. Στην τελευταία περίπτωση προέκυψαν οι λιγότερες αρνητικές τιμές, γεγονός που καταδεικνύει την καταλληλότητα της εν λόγω καμπύλης. Συγκεκριμένα, η ανάγκη διόρθωσης προέκυψε για 6 από τα 40 συνολικά έτη λειτουργίας του ταμιευτήρα. Από την άλλη πλευρά, η καμπύλη που χρησιμοποιεί η ΔΕΗ ήταν αυτή που έδωσε τα περισσότερα (αλλά όχι σημαντικά σε μέγεθος) σφάλματα.

Στη συνέχεια, οι όγκοι απορροής $Q(t)$ (σε hm^3) μετατράπηκαν σε ισοδύναμα ύψη $q(t)$ (σε mm), με εφαρμογή της σχέσης:

$$q(t) = \frac{1000 Q(t)}{F_{\Lambda} - F(t)} \quad (3.10)$$

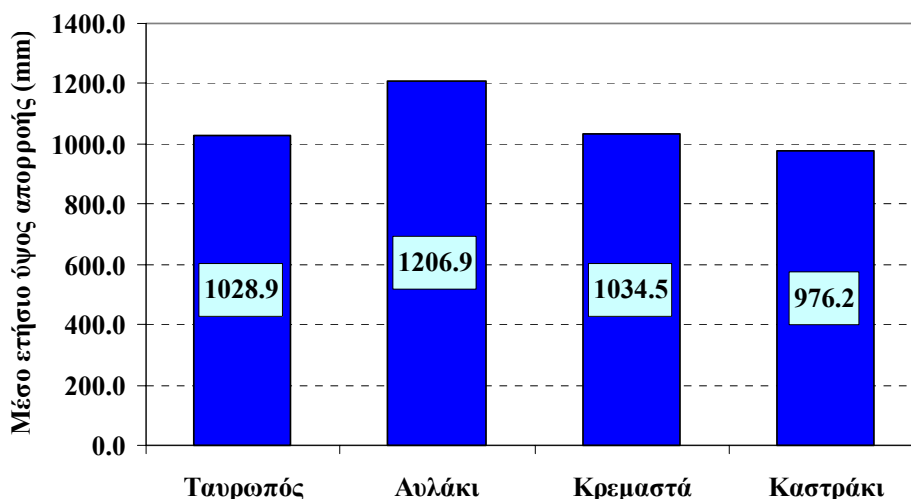
όπου F_{Λ} η έκταση της λεκάνης του Ταυρωπού ανάντη του φράγματος, ίση με 161.3 km^2 , και $F(t)$ η μέση επιφάνεια του ταμιευτήρα κατά το μήνα t , όπως υπολογίστηκε βάσει της καμπύλης στάθμης-επιφάνειας. Τα τελικά δείγματα απορροής, τόσο σε μονάδες όγκου όσο και σε ισοδύναμα ύψη, δίνονται στο Παράρτημα Α, ενώ τα στατιστικά χαρακτηριστικά του φαίνονται στον Πίνακα 3.9.

Πίνακας 3.9: Στατιστικά χαρακτηριστικά τελικού δείγματος όγκων απορροής υπολεκάνης Ταυρωπού ανάντη φράγματος Πλαστήρα (hm^3).

	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
Μέση τιμή	6.1	12.0	24.0	18.6	20.3	22.7	19.6	11.9	4.1	2.7	1.9	1.5	146.6
Τυπ. απόκ.	6.4	9.4	12.4	11.5	12.1	9.8	9.1	6.3	2.3	1.3	1.9	1.4	43.8

3.5.2 Υδρολογική ανάλυση χρονοσειράς απορροής

Η μέση ετήσια απορροή της λεκάνης του Ταυρωπού ανάντη του φράγματος Πλαστήρα ανέρχεται σε 146.6 hm^3 . Η αντίστοιχη τιμή της μέσης ετήσιας παροχής είναι $4.65 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ το αντίστοιχο ισοδύναμο ύψος απορροής ανέρχεται σε 1057.8 mm , τιμή η οποία είναι ιδιαίτερα υψηλή όχι μόνο για τα ελληνικά αλλά και τα παγκόσμια δεδομένα και καταδεικνύει το πλούσιο επιφανειακό υδατικό δυναμικό της λεκάνης. Το γεγονός αυτό αιτιολογείται από το ότι η λεκάνη του Ταυρωπού ανήκει στο υδατικό σύστημα του Αχελώου, οπότε οι τιμές του ύψους απορροής είναι αντίστοιχα υψηλές με αυτές της λεκάνης του Αχελώου. Πράγματι, η τιμή των 1028.9 mm συμβαδίζει απόλυτα με το μέσο ετήσιο ύψος απορροής σε τρεις υπολεκάνες του Αχελώου, ανάντη των θέσεων Αυλάκι (1206.9 mm), Κρεμαστά (1034.5 mm) και Καστράκι (976.2 mm), όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3.2.



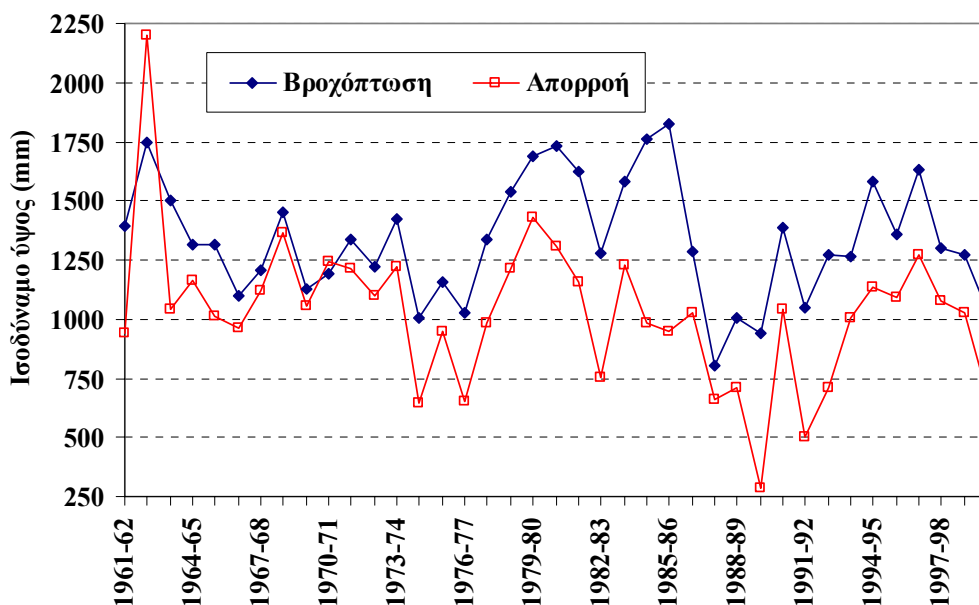
Σχήμα 3.2: Σύγκριση μέσου ετήσιου ύψους απορροής λεκάνης Ταυρωπού και διαφόρων υπολεκανών του Αχελώου (Πηγή: Κουτσογιάννης κ.ά., 2001).

Από την άλλη πλευρά, η μέση ετήσια βροχόπτωση στη λεκάνη δεν είναι δυνατό να εκτιμηθεί με ακρίβεια, δεδομένου ότι υπάρχουν μόνο τρεις βροχομετρικοί σταθμοί, οι οποίοι μάλιστα βρίσκονται στα ανατολικά όρια αυτής και σε πολύ χαμηλότερο υψόμετρο σε σχέση με το μέσο υψόμετρο της λεκάνης (1459 m). Τα χαρακτηριστικά των εν λόγω σταθμών δίνονται στον Πίνακα 3.10. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής στη λεκάνη του Αχελώου ανέρχεται στο 70%, μπορεί να ειπωθεί ότι η μέση ετήσια βροχόπτωση στη λεκάνη του Ταυρωπού θα πρέπει αναμφισβήτητα να ξεπερνά τα 1500 mm.

Πίνακας 3.10: Χαρακτηριστικά βροχομετρικών σταθμών λεκάνης Ταυρωπού (Πηγή: Ξανθοπούλου κ.ά., 1997).

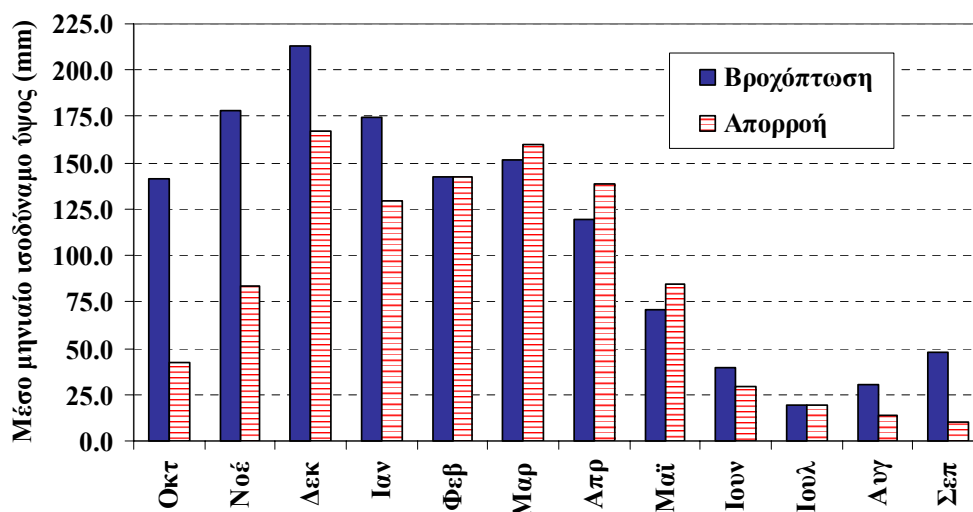
Σταθμός	Φορέας διαχείρισης	Υψόμετρο (m)	Μέση ετήσια βροχόπτωση (mm)
ΥΗΣ Πλαστήρα	ΔΕΗ	220	1103.5
Μούχα	ΔΕΗ	870	1334.4
Μορφοβούνι	ΥΠΓΕ	780	888.6

Στο Σχήμα 3.3 απεικονίζεται η εξέλιξη της ετήσιας βροχόπτωσης και απορροής στον ταμειωτήρα Πλαστήρα για την περίοδο 1960-61 μέχρι 1999-00. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, τα δύο δείγματα παρουσιάζουν σημαντική συσχέτιση, και μάλιστα ο αντίστοιχος συντελεστής ανέρχεται σε 69%. Βεβαίως, τόσο η ετήσια χρονοσειρά βροχόπτωσης όσο και η ετήσια χρονοσειρά απορροής παρουσιάζουν μικρή σχετικά μεταβλητότητα, η οποία φτάνει το 19% και 30%, αντίστοιχα. Η ελαφρά υψηλότερη μεταβλητότητα της απορροής μπορεί να αποδοθεί στις δύο ακραίες τιμές των ετών 1962-63 (απόλυτο μέγιστο 2196.3 mm) και 1989-90 (απόλυτο ελάχιστο 288.3 mm). Μάλιστα, κατά το υδρολογικό έτος 1962-63, το ετήσιο ύψος απορροής φαίνεται να ξεπερνά σημαντικά το αντίστοιχο ύψος βροχόπτωσης, γεγονός που κατά πάσα πιθανότητα οφείλεται στις εξαιρετικά έντονες χιονοπτώσεις της εν λόγω περιόδου, οι οποίες δεν συνυπολογίστηκαν στο ολικό ύψος κατακρημνισμάτων.



Σχήμα 3.3: Σύγκριση ετήσιων υψών βροχόπτωσης και απορροής ταμειυτήρα Πλαστήρα.

Στο Σχήμα 3.4 επιχειρείται μια σύγκριση μεταξύ των μέσων μηνιαίων υψών βροχόπτωσης και απορροής, απ' όπου καταδεικνύεται ότι η μεν βροχόπτωση παρουσιάζει αιχμή τον Δεκέμβριο, η δε απορροή παρουσιάζει δύο σχεδόν παρόμοιες αιχμές, μία κατά το μήνα Δεκέμβριο, η οποία συμβαδίζει με την αιχμή της βροχόπτωσης, και μία κατά το μήνα Μάρτιο. Η πιθανότερη αιτία της εαρινής αιχμής είναι το λιώσιμο των χιονιών. Ένα χαρακτηριστικό του διαγράμματος είναι το ότι κατά τους φθινοπωρινούς μήνες, η μέση τιμή της βροχόπτωσης είναι πολύ μεγαλύτερη της μέσης τιμής της απορροής, γεγονός που υποδηλώνει ότι σημαντικό ποσοστό των κατακρημνισμάτων αποθηκεύεται στο ακόρεστο εδαφικό στρώμα ή κατεισδύει στον υπόγειο υδροφόρο. Τέλος, κατά τη θερινή περίοδο, η τιμή της απορροής είναι πολύ χαμηλή, κάτι που καταδεικνύει ότι πραγματοποιείται περιορισμένη μόνο τροφοδοσία της λεκάνης του Ταυρωπού από υπόγειους υδροφορείς.

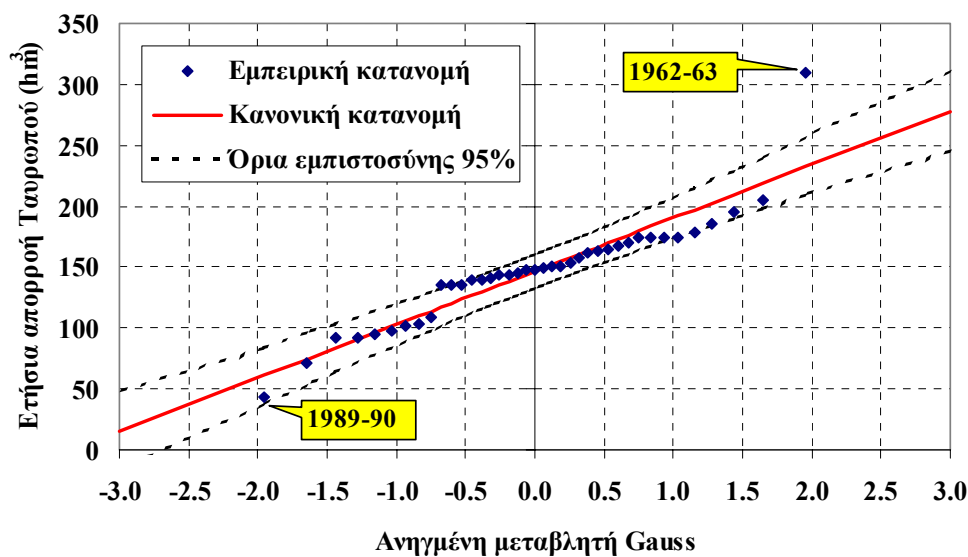


Σχήμα 3.4: Σύγκριση μέσων μηνιαίων υψών βροχόπτωσης και απορροής ταμειυτήρα Πλαστήρα.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η μέγιστη τιμή του ιστορικού δείγματος ετήσιας απορροής, η οποία πραγματοποιήθηκε το υδρολογικό έτος 1962-63, είναι 308.9 hm^3 ή ισοδύναμα τα 2196.3 mm , ενώ η

ελάχιστη τιμή, η οποία πραγματοποιήθηκε το υδρολογικό έτος 1989-90, είναι 42.6 hm^3 (288.3 mm). Δηλαδή η μέγιστη τιμή του ιστορικού δείγματος είναι υπερδιπλάσια της μέσης, ενώ η ελάχιστη είναι υποτριπλάσια αυτής.

Για την εκτίμηση της περιόδου επαναφοράς των δύο ακραίων τιμών πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση του δείγματος των ετήσιων απορροών, θεωρώντας ότι οι εν λόγω μεταβλητή ακολουθεί κανονική κατανομή, με μέση τιμή 146.6 hm^3 και τυπική απόκλιση 43.8 hm^3 . Η προσαρμογή της εμπειρικής στην κανονική κατανομή απεικονίζεται στο Σχήμα 3.5. Γενικά παρατηρείται ότι η κανονική κατανομή προσαρμόζεται ικανοποιητικά στο ιστορικό δείγμα, με εξαίρεση την υψηλή τιμή των 308.9 hm^3 , η οποία είναι εξωκείμενο σημείο, μη συμβατό με την κανονική κατανομή. Πράγματι, αν ίσχυε η τελευταία, τότε η περίοδος επαναφοράς της υψηλής τιμής του δείγματος θα ξεπερνούσε τα 7000 έτη. Από την άλλη πλευρά, το χαμηλό των 42.6 hm^3 μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι συμβατό με το την κανονική κατανομή καθώς βρίσκεται εντός των ορίων εμπιστοσύνης της, έχοντας ωστόσο σημαντικά μεγάλη περίοδο επαναφοράς, της τάξης των 130 ετών.



Σχήμα 3.5: Εμπειρική συνάρτηση κατανομής (ρόμβοι) ιστορικού δείγματος ετήσιας απορροής. Με συνεχή γραμμή απεικονίζεται η κανονική συνάρτηση κατανομής, ενώ με διακεκομμένες τα αντίστοιχα όρια εμπιστοσύνης 95%.

4 Μελέτη λειτουργίας ταμιευτήρα Πλαστήρα

4.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα στοιχεία εισόδου, η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της λειτουργίας του ταμιευτήρα Πλαστήρα. Στόχος της προσομοίωσης είναι ο υπολογισμός του απολήψιμου δυναμικού του ταμιευτήρα υπό μορφή σεναρίων, σε κάθε ένα από τα οποία υποτίθεται διαφορετική τιμή της ελάχιστης στάθμης λειτουργίας και διαφορετικό επίπεδο αξιοπιστίας του συστήματος (90% και 80%). Το κύριο τελικό προϊόν της ανάλυσης είναι η εξαγωγή διαγραμμάτων που συσχετίζουν την ελάχιστη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα με την ετήσια ονομαστική απόληψη για το εκάστοτε επίπεδο αξιοπιστίας, βάσει των οποίων μπορεί να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση της ελάχιστης αποδεκτής στάθμης στην απόδοση του έργου από την υδρολογική σκοπιά.

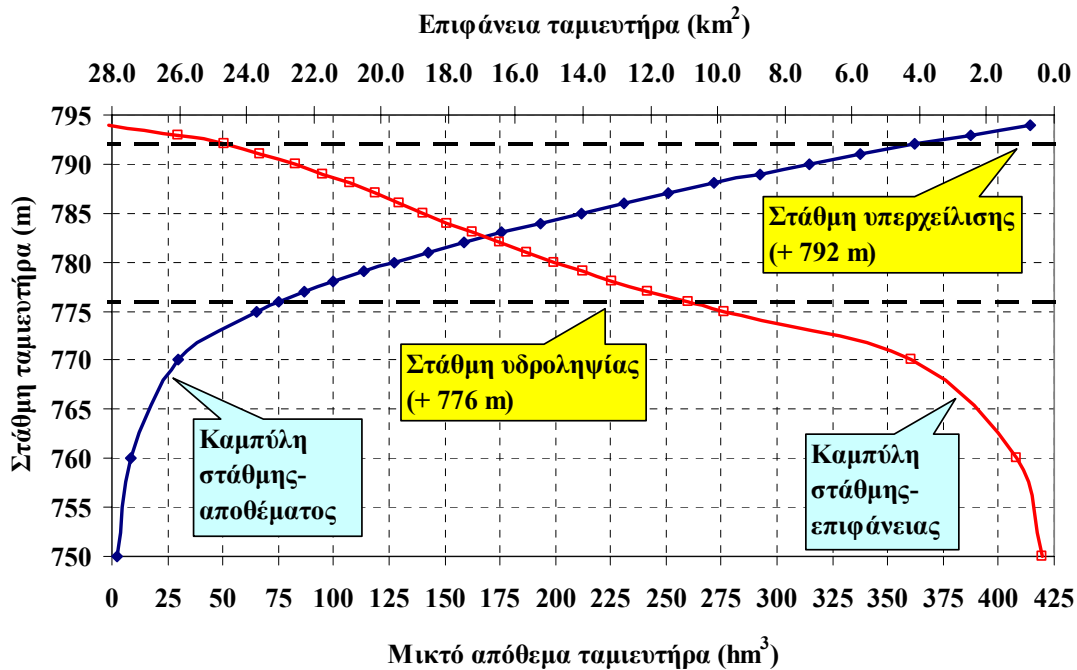
Η ανάγκη διατύπωσης των αποτελεσμάτων με όρους πιθανοτήτων καθιστά ανεπαρκή τη χρήση ιστορικών χρονοσειρών εισροών, δεδομένου ότι αυτές καλύπτουν μικρό σχετικά χρονικό διάστημα (39 υδρολογικά έτη). Επιπλέον, τα ιστορικά δείγματα αναφέρονται σε συγκεκριμένο σενάριο εισροών, το οποίο έχει θεωρητικά μηδενική πιθανότητα να επαναληφθεί στο μέλλον. Από την άλλη πλευρά, η χρήση συνθετικών χρονοσειρών συμβάλλει τόσο στην εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων ως προς την αξιοπιστία των απολήψεων για ακραία αποδεκτά επίπεδα πιθανότητας όσο και στη διερεύνηση της συμπεριφοράς του έργου έναντι ενός μεγάλου φάσματος σεναρίων υδροφορίας. Για το λόγο αυτό, η προσομοίωση των υδρολογικών εισροών του ταμιευτήρα Πλαστήρα έγινε βάσει συνθετικών χρονοσειρών εισροών, μήκους 2000 ετών, τα στατιστικά χαρακτηριστικά των οποίων είναι όμοια με αυτά των ιστορικών. Το μαθηματικό μοντέλο γέννησης συνθετικών χρονοσειρών περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 4.4. Επιπλέον, για λόγους πληρότητας, η ανάλυση επαναλήφθηκε με χρήση των ιστορικών δειγμάτων εισροών, χωρίς να επέλθει ουσιώδης διαφοροποίηση στα αποτελέσματα.

Σε όλα τα σενάρια λειτουργίας του ταμιευτήρα, η ετήσια αρδευτική και υδρευτική απόληψη θεωρήθηκε σταθερή, και ως εκ τούτου ανεξάρτητη των υδρολογικών εισροών. Όπως καταδεικνύεται από την ανάλυση που ακολουθεί, η διατήρηση σταθερής τιμής της ετήσιας ονομαστικής (επιθυμητής) απόληψης, σε συνδυασμό με τη θέσπιση κατώτερου ορίου της στάθμης λειτουργίας του ταμιευτήρα, είναι οι δύο ουσιώδεις προϋποθέσεις για την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων της λίμνης Πλαστήρα.

4.2 Δεδομένα εισόδου

4.2.1 Χαρακτηριστικά μεγέθη λειτουργίας ταμιευτήρα

Η στάθμη υδροληψίας του ταμιευτήρα Πλαστήρα βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο 776.0 m, ενώ η στάθμη υπερχειλίσης βρίσκεται στα 792.0 m. Με βάση την καμπύλη στάθμης-αποθέματος, η μικτή χωρητικότητα του ταμιευτήρα ανέρχεται σε 361.8 hm³, ενώ ο νεκρός του όγκος φτάνει τα 75.5 hm³. Κατά συνέπεια, η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα εκτιμάται σε 286.3 hm³. Στο Σχήμα 4.1 απεικονίζονται οι σχέσεις στάθμης-αποθέματος και στάθμης-επιφάνειας του ταμιευτήρα, όπως έχουν προκύψει με εφαρμογή της μεθοδολογίας που περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 2.4. Τα δεδομένα συναρτήσεων των οποίων έχουν χαραχθεί οι αντίστοιχες καμπύλες δίνονται στον Πίνακα 2.4.



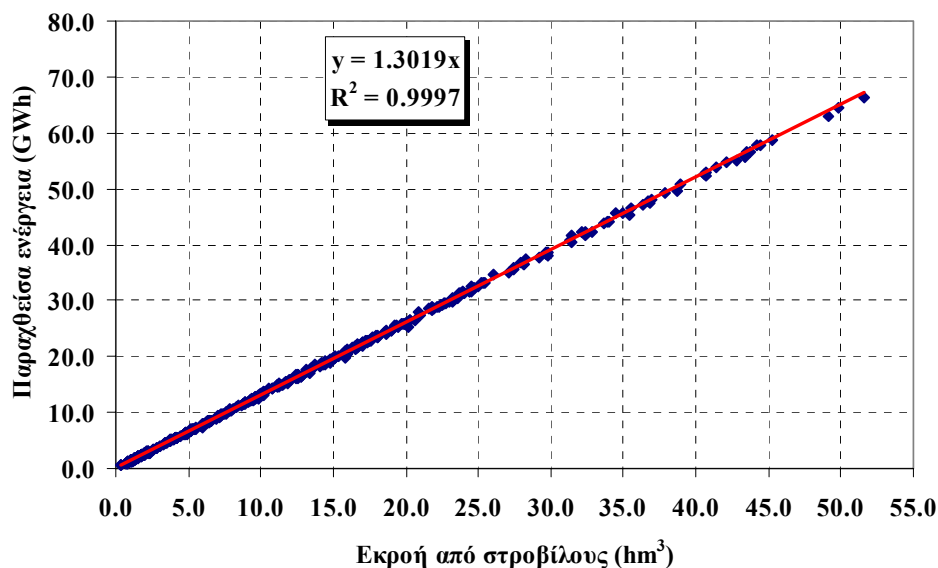
Σχήμα 4.1: Καμπύλες στάθμης-αποθέματος και στάθμης-επιφάνειας ταμιευτήρα Πλαστήρα.

Το υδροηλεκτρικό έργο Πλαστήρα αποτελείται από τρεις υπαίθριες μονάδες Pelton, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 129.9 MW. Η προσαγωγή από τον ταμιευτήρα γίνεται μέσω σήραγγας μήκους 2625 m και διαμέτρου 3.50 m. Το μέγιστο ύψος πτώσης, το οποίο αντιστοιχεί στην ανώτατη στάθμη λειτουργίας, ανέρχεται σε 577 m, και είναι από τα μεγαλύτερα στον ελληνικό χώρο. Μετά την έξοδο του από τους στροβίλους, το νερό διοχετεύεται για κάλυψη των αναγκών ύδρευσης και άρδευσης στο Νομό Καρδίτσας (ΕΥΔΕ Αχελώου και ΥΠΕΧΩΔΕ, 1995).

Ελλείπει άλλων στοιχείων, η εκτίμηση της σχέσης εκροών-ύψους πτώσης-παραγόμενης ενέργειας έγινε μέσω στατιστικής επεξεργασίας των ιστορικών δεδομένων της ΔΕΗ, βάσει των οποίων προέκυψε η ομογενής γραμμική σχέση:

$$E = 1.302 R \quad (4.1)$$

όπου E η παραγόμενη ενέργεια σε GWh/μήνα και R ο μηνιαίος όγκος εκροής από τους στροβίλους σε hm^3 . Ο συντελεστής συσχέτισης της εξίσωσης (4.1) ξεπερνά το 99.9%, κάτι το οποίο φαίνεται πολύ χαρακτηριστικά στο Σχήμα 4.2.

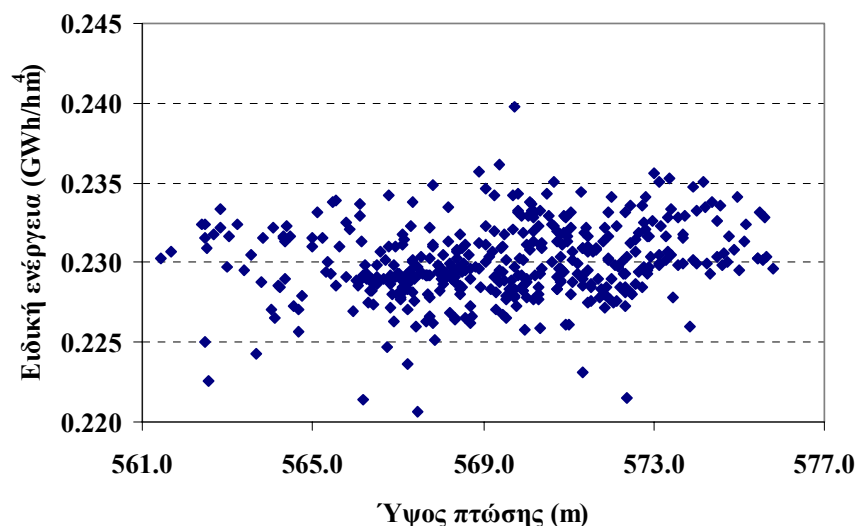


Σχήμα 4.2: Μηνιαία παραγωγή ενέργειας από τον υδροηλεκτρικό σταθμό Πλαστήρα συναρτήσει της μετρημένης εκροής από τους στροβίλους και ευθείας ελαχίστων τετραγώνων (συνεχής γραμμή).

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί ότι στη σχέση (4.1) η παραγόμενη ενέργεια θεωρείται ότι είναι ανεξάρτητη του ύψους πτώσης. Στην πραγματικότητα, η παραγωγή ενέργειας E εξαρτάται τόσο από την εκροή R όσο και από το ύψος πτώσης H , με τα οποία συνδέεται με τη θεωρητική σχέση:

$$E = \psi R H \quad (4.2)$$

όπου ψ η λεγόμενη ειδική ενέργεια, δηλαδή η παραγόμενη ενέργεια ανά μονάδα όγκου και ανά μονάδα ύψους πτώσης, με θεωρητική μέγιστη τιμή $\psi_{\max} = 0.2725$ (η τιμή αυτή προϋποθέτει μηδενικές ενεργειακές απώλειες κατά την υδατόπτωση και 100% απόδοση των στροβίλων). Μάλιστα, κατά κανόνα, η ειδική ενέργεια είναι αύξουσα συνάρτηση του ύψους πτώσης. Ωστόσο, για την περίπτωση του υδροηλεκτρικού έργου Πλαστήρα, η τιμή της ειδικής ενέργειας παρουσιάζει ακανόνιστη συμπεριφορά, όπως εμφανώς απεικονίζεται στο Σχήμα 4.3. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται σε ανακρίβειες στον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας, οι οποίες ωστόσο μπορεί να θεωρηθούν αμελητέες. Αυτό συμβαίνει επειδή, στο συγκεκριμένο έργο, το ύψος πτώσης είναι πάρα πολύ μεγάλο (μέγιστη τιμή 577 m), οπότε οι μικρές συγκριτικά διακυμάνσεις της στάθμης του ταμιευτήρα (16 m κατά μέγιστο) δεν επηρεάζουν πρακτικά την ειδική ενέργεια. Τελικά, ελλείψει άλλων στοιχείων, για τον υπολογισμό της μηνιαίας παραγωγής ενέργειας στο μοντέλο λειτουργικής προσομοίωσης του ταμιευτήρα χρησιμοποιήθηκε η στατιστική σχέση (4.1).



Σχήμα 4.3: Σχέση ειδικής ενέργειας και ύψους πτώσης, βάσει των ιστορικών στοιχείων στάθμης, εκροής και παραγωγής ενέργειας.

Μια άλλη χαρακτηριστική ιδιότητα του ταμιευτήρα είναι η παροχτευτικότητα της σήραγγας προσαγωγής. Ελλείπει άλλων στοιχείων, αυτή θεωρήθηκε ίση με τη μέγιστη τιμή της εκροής βάσει των ιστορικών στοιχείων της ΔΕΗ, η οποία ήταν ίση με $54.6 \text{ hm}^3/\mu\eta\text{να}$ και πραγματοποιήθηκε το Ιούλιο του 1997.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη λειτουργίας του ταμιευτήρα Πλαστήρα συνοψίζονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά μεγέθη λειτουργίας ταμιευτήρα Πλαστήρα.

Στάθμη υδροληψίας (m)	776.0
Στάθμη υπερχειλίσης (m)	792.0
Ανώτατη στάθμη (m)	794.0
Νεκρός όγκος (hm^3)	75.5
Μικτή χωρητικότητα (hm^3)	361.8
Ωφέλιμη χωρητικότητα (hm^3)	286.3
Παροχτευτικότητα σήραγγας προσαγωγής ($\text{hm}^3/\mu\eta\text{να}$)	54.6
Εγκατεστημένη ισχύς (MW)	129.9
Συντελεστής αναλογίας ενέργειας / εκροών (KWh/m^3)	1.302
Έκταση υπολεκάνης απορροής (km^2)	161.3

4.2.2 Υδατικοί πόροι

Η προσφορά νερού στον ταμιευτήρα προέρχεται από την απορροή της ανάντη λεκάνης και την καθαρή βροχόπτωση, δηλαδή τη διαφορά μεταξύ βροχής και εξάτμισης. Οι χρονοσειρές εισόδου του μοντέλου λειτουργικής προσομοίωσης προέρχονται από τα αντίστοιχα ιστορικά δείγματα, η κατάρτιση των οποίων περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2.

Η περίοδος μελέτης καλύπτει τα υδρολογικά έτη 1960-61 μέχρι 2000-01. Ελλείπει δεδομένων για την απορροή και τη βροχόπτωση των μηνών Ιουλίου, Αυγούστου και Σεπτεμβρίου 2001 θεωρήθηκαν οι μέσες τιμές των αντίστοιχων δειγμάτων. Ως προς τη χρονοσειρά εξάτμισης, αυτή καλύπτει μόνο την περίοδο 1961-84, οπότε για την επέκταση του δείγματος τέθηκαν ομοίως οι μέσες μηνιαίες τιμές. Η προσέγγιση αυτή δικαιολογείται από το γεγονός ότι α) η συνεισφορά της εξάτμισης στο ισοζύγιο του

ταμιευτήρα είναι πολύ περιορισμένη και β) η τυπική απόκλιση της εξάτμισης είναι πολύ μικρή (ο ετήσιος συντελεστής μεταβλητότητας μόλις που ξεπερνά το 3%).

Στο μοντέλο του υδροσυστήματος ελήφθη υπόψη και το υπό κατασκευή έργο εκτροπής του χειμάρρου Κερασιώτη στον Ταυρωπό, μέσω του χειμάρρου Κρυονερίτη (το έργο αναμένεται να λειτουργήσει μέσα στο 2002). Η εκτροπή θα πραγματοποιείται μέσω σήραγγας μήκους 1060 m. Η υδρολογική πληροφορία για το δυναμικό του Κερασιώτη είναι πολύ περιορισμένη. Η ΥΕΒ Καρδίτσας έχει πραγματοποιήσει περιορισμένο αριθμό υδρομετρήσεων, και οι μέγιστες παροχές που έχουν παρατηρηθεί είναι $7.55 \text{ m}^3/\text{s}$ στις 2/11/65 και $7.43 \text{ m}^3/\text{s}$ στις 19/11/96 (ΕΠΕΜ, 1997). Ακόμη, ο μελετητής του έργου έχει εκτιμήσει της πλημμυρική παροχή του χειμάρρου για διάφορες περιόδους επαναφοράς, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Σχέση παροχής Κερασιώτη – περιόδου επαναφοράς.

Παροχή (m^3/s)	Περίοδος επαναφοράς (έτη)
19	5
26	10
40	50
44	100
60	1000

Για την εκτίμηση της συνεισφοράς του Κερασιώτη στο επιφανειακό δυναμικό της υπολεκάνης του Ταυρωπού έγινε η παραδοχή της αναλογικότητας μεταξύ των δύο λεκανών απορροής. Συμβολίζοντας με Q_T και Q_K την παροχή του Ταυρωπού ανάντη του φράγματος και του Κερασιώτη ανάντη του έργου υδροληψίας και με F_T , F_K τις εκτάσεις των αντίστοιχων λεκανών, θεωρήθηκε ότι ισχύει η σχέση αναλογίας:

$$Q_K = \frac{Q_T F_K}{F_T} \quad (4.3)$$

Η παραπάνω σχέση βασίζεται στην υπόθεση κοινού συντελεστή απορροής και κοινού ύψους βροχόπτωσης στις δύο λεκάνες, κάτι που στα πλαίσια της παρούσας μελέτης μπορεί να γίνει αποδεκτό. Κατά συνέπεια, δεδομένου ότι $F_T = 161.3 \text{ km}^2$ και $F_K = 7.3 \text{ km}^2$, το υδατικό δυναμικό του Κερασιώτη εκτιμάται ότι είναι ίσο με το 4.5% του επιφανειακού υδατικού δυναμικού της λεκάνης Ταυρωπού. Έτσι, στα σενάρια λειτουργικής προσομοίωσης του ταμιευτήρα Πλαστήρα, οι ιστορικές τιμές της απορροής προσανξήθηκαν κατά ποσοστό 4.5%, με αποτέλεσμα το ισοδύναμο μέσο ετήσιο ύψος εισροών να φτάσει τα 1075.2 mm.

4.2.3 Υδατικές ανάγκες

Οι υδατικοί πόροι του ταμιευτήρα Πλαστήρα χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών της περιοχής. Η κυριότερη χρήση νερού είναι η αρδευτική. Η αρχική συμφωνία μεταξύ ΔΕΗ και Υπουργείου Γεωργίας ήταν να δίνεται μια ετήσια ποσότητα της τάξης των 65 hm^3 για άρδευση. Ωστόσο, το 1987 η ζήτηση έφτασε τα 145 hm^3 , εκ των οποίων ικανοποιήθηκαν περί τα 120 hm^3 . Ειδικότερα, κατά τον μήνα αιχμής (Ιούλιος), η ζήτηση ανήλθε στα 64 hm^3 , ξεπερνώντας έτσι τη δυνατότητα του υδροηλεκτρικού σταθμού (54 hm^3). Το Υπουργείο Γεωργίας εκτιμά ότι πάνω από 150000 στρέμματα ετησίως αρδεύονται από τον ταμιευτήρα (ΥΒΕΤ, 1996). Οι ανάγκες των αρδευτικών δικτύων, έκτασης 120000 στρεμμάτων, εκτιμώνται σε περίπου 80 hm^3 , ενώ οι υπόλοιπες ποσότητες ζητούνται για τις ανάγκες των κατάντη περιοχών Καρδίτσας και Τρικάλων και, κυρίως, της Λάρισας. Οι συνολικές αρδευτικές ανάγκες υπολογίζονται σε 145 hm^3 . Από την άλλη πλευρά, κατά το

έτος 1993, οι ανάγκες ύδρευσης του Συνδέσμου Καρδίτσας και των πέριξ κοινοτήτων (συνολικά 37 Δήμοι και Κοινότητες) ανήλθαν στα 15 hm^3 (Κουτσογιάννης κ.ά., 1995).

Στην παρούσα μελέτη η ζήτηση νερού θεωρείται μέγεθος προς βελτιστοποίηση. Ωστόσο, για την προσομοίωση της λειτουργίας του ταμιευτήρα σε μηνιαίο βήμα είναι απαραίτητη η γνώση της χρονικής κατανομής της ζήτησης. Η μηνιαία κατανομή της αρδευτικών αναγκών έχει εκτιμηθεί στα πλαίσια της μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων των έργων εκτροπής του Αχελώου προς τη Θεσσαλία (Κουτσογιάννης κ.ά., 1995). Η εν λόγω κατανομή έχει προκύψει ως μέσος όρος των διαφόρων αρδευτικών ζωνών της Θεσσαλίας, αλλά μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτική για την περιοχή μελέτης καθώς, αν και στην πραγματικότητα υπάρχουν μικρές αποκλίσεις στις διάφορες ζώνες, αυτές πρακτικώς δεν επηρεάζουν τη λειτουργία του ταμιευτήρα. Η μηνιαία κατανομή της συνολικής ζήτησης, η οποία έχει προκύψει συνυπολογίζοντας και τις υδρευτικές ανάγκες, δίνεται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3: Τυπική μηνιαία ποσοστιαία κατανομή υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών στην περιοχή μελέτης.

Μήνας	Ποσοστό (%)	Μήνας	Ποσοστό (%)
Ιανουάριος	1.2	Ιούλιος	32.1
Φεβρουάριος	1.1	Αύγουστος	29.2
Μάρτιος	1.2	Σεπτέμβριος	3.0
Απρίλιος	1.7	Οκτώβριος	1.5
Μάιος	8.8	Νοέμβριος	1.1
Ιούνιος	16.6	Δεκέμβριος	2.5

4.3 Μοντέλο προσομοίωσης-βελτιστοποίησης

4.3.1 Μεθοδολογία λειτουργικής προσομοίωσης

Η προσομοίωση της λειτουργίας του ταμιευτήρα Πλαστήρα πραγματοποιείται σε μηνιαία χρονικά βήματα. Στοιχεία εισόδου του μοντέλου είναι η ετήσια ζήτηση D και η ελάχιστη στάθμη λειτουργίας Z_{\min} , βάσει της οποίας υπολογίζεται το μη απολήψιμο δυναμικό, S_{\min} .

Σε κάθε χρονικό βήμα προσομοίωσης $t = 1, \dots, n$ θεωρούνται γνωστά το τρέχον απόθεμα του ταμιευτήρα $S(t)$, οι εισροές λόγω απορροής $q(t)$ και βροχοπτώσης $p(t)$ και οι απώλειες λόγω εξάτμισης $e(t)$. Όλα τα υδρολογικά μεγέθη είναι εκφρασμένα σε ισοδύναμα ύψη νερού και μετατρέπονται σε όγκους με εφαρμογή των σχέσεων:

$$\begin{aligned} Q(t) &= q(t) [F_T - F(t)] \\ P(t) &= p(t) F(t) \\ E(t) &= e(t) F(t) \end{aligned} \quad (4.4)$$

όπου F_T η έκταση της υπολεκάνης Ταυρωπού ανάντη του φράγματος Πλαστήρα, ίση με 161.3 km^2 , και $F(t)$ η επιφάνεια του ταμιευτήρα, η οποία υπολογίζεται συναρτήσει της τρέχουσας στάθμης $Z(t)$. Η τελευταία υπολογίζεται συναρτήσει του εκάστοτε αποθέματος $S(t)$, μέσω λογαριθμικής παρεμβολής.

Αρχικά υπολογίζονται οι μικτές εισροές στον ταμιευτήρα, βάσει της σχέσης:

$$I(t) = Q(t) + P(t) - E(t) \quad (4.5)$$

Το απολήψιμο δυναμικό του ταμιευτήρα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R_{\max}(t) = \max \{S(t) + I(t) - S_{\min}, 0\} \quad (4.6)$$

Η ποσότητα $S(t) + I(t) - S_{\min}$ είναι πάντοτε μη αρνητική, εκτός από την περίπτωση που οι απώλειες λόγω εξάτμισης προκαλούν πτώση της στάθμης κάτω από την επιθυμητή τιμή Z_{\min} . Στην περίπτωση αυτή, το απολήψιμο δυναμικό του ταμιευτήρα είναι ίσο με μηδέν και απαγορεύεται η εκροή νερού από τους στροβίλους.

Η υδρευτική και αρδευτική απόληψη από τον ταμιευτήρα $R^*(t)$ ορίζεται ως η ελάχιστη ποσότητα μεταξύ της ζήτησης d_j του εκάστοτε μήνα j και του απολήψιμου δυναμικού $R_{\max}(t)$, δηλαδή:

$$R^*(t) = \min \{R_{\max}(t), d_j\} \quad (4.7)$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται η δυναμική υπερχειλίση του ταμιευτήρα από την εξίσωση:

$$SP_{\max}(t) = \max \{S(t) + I(t) - R^*(t) - S_{\max}, 0\} \quad (4.8)$$

όπου S_{\max} η μικτή χωρητικότητα του ταμιευτήρα. Προφανώς, αν η ποσότητα $SP_{\max}(t)$ είναι μηδενική, τότε η τελική απόληψη $R(t)$ είναι ίση με $R^*(t)$. Αντίθετα, αν υπάρχει η δυνατότητα υπερχειλίσης, τότε πραγματοποιείται επιπλέον εκροή από τους στροβίλους τέτοια ώστε η ολική εκροή να μην ξεπερνά την παροχετευτικότητα της σήραγγας προσαγωγής C , δηλαδή:

$$R(t) = \min \{R^*(t) + SP_{\max}(t), C\} \quad (4.9)$$

Συνεπώς, η πραγματική υπερχειλίση του ταμιευτήρα προκύπτει ίση με:

$$SP(t) = \max \{S(t) + I(t) - R(t) - S_{\max}, 0\} \quad (4.10)$$

Στο τέλος του χρονικού βήματος υπολογίζονται η παραγόμενη ενέργεια $E(t)$, βάσει της στατιστικής σχέσης (4.1), και το νέο απόθεμα του ταμιευτήρα από την εξίσωση:

$$S(t+1) = S(t) + I(t) - R(t) - SP(t) \quad (4.11)$$

Τέλος, υπολογίζεται το έλλειμμα της ζήτησης το οποίο προκύπτει ως η διαφορά της ζήτησης d_j και της υδρευτικής και αρδευτικής απόληψης $R^*(t)$.

Μετά το πέρας της προσομοίωσης υπολογίζονται το πλήθος των άστοχων χρονικών περιόδων (ετών), το πλήθος των άστοχων χρονικών βημάτων (μηνών), το μέσο ετήσιο έλλειμμα, η μέση ετήσια αρδευτική και υδρευτική απόληψη, η μέση ετήσια εκροή από τους στροβίλους και η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας. Επιπλέον, καταμετράται το πλήθος των προσομοιωμένων υδρολογικών ετών κατά τα οποία παρατηρήθηκε υπερχειλίση του ταμιευτήρα, οπότε προκύπτει η ετήσια πιθανότητα υπερχειλίσης. Τέλος, για διάφορες τιμές μεταξύ της κατώτατης και ανώτατης στάθμης λειτουργίας, καταμετράται το πλήθος των χρονικών βημάτων κατά τα οποία η προσομοιωμένη στάθμη του ταμιευτήρα ξεπέρασε την εν λόγω τιμή, οπότε υπολογίζεται η αντίστοιχη πιθανότητα υπέρβασης.

4.3.2 Μοντέλο βελτιστοποίησης

Το ζητούμενο της παρούσας μελέτης είναι ο καθορισμός της ασφαλούς ετήσιας ονομαστικής απόληψης για την ικανοποίηση των αρδευτικών και υδρευτικών αναγκών, έτσι ώστε η στάθμη του ταμιευτήρα να διατηρείται πάνω από το εκάστοτε επιθυμητό όριο Z_{\min} . Ο περιορισμός της ελάχιστης στάθμης ισχύει για κάθε χρονικό βήμα και ελέγχεται μέσω του μοντέλου λειτουργικής προσομοίωσης. Υπενθυμίζεται ότι ο εν λόγω περιορισμός μπορεί να παραβιαστεί μόνο εφόσον οι απώλειες λόγω εξάτμισης είναι τέτοιες που να προκαλέσουν πτώση της στάθμης του ταμιευτήρα κάτω από το επιθυμητό όριο. Η ασφαλής απόληψη ορίζεται ως η μέγιστη δυνατή ετήσια τιμή απόληψης από τον ταμιευτήρα για δεδομένο επίπεδο αξιοπιστίας, a . Βάσει του παραπάνω ορισμού, το μαθηματικό μοντέλο βελτιστοποίησης διατυπώνεται ως:

$$\begin{aligned} & \text{maximize } D_T \\ & \text{έτσι ώστε } P(R_T = D_T) = a \end{aligned} \quad (4.12)$$

όπου R_T η τιμή της πραγματικής απόληψης (θεωρούμενη ως τυχαία μεταβλητή) κατά τη χρονική περίοδο T , D_T η αντίστοιχη τιμή της ζήτησης, η οποία θεωρείται σταθερή για όλο το μήκος της προσομοίωσης, και $P(\cdot)$ η πιθανότητα. Η πιθανότητα $P(R_T = D_T)$, η οποία ορίζεται σε ετήσια βάση, υπολογίζεται εμπειρικά ως ο λόγος των ετών κατά τα οποία ικανοποιείται ακριβώς η ζήτηση προς το συνολικό πλήθος των προσομοιωμένων ετών.

Η μελέτη λειτουργίας του ταμιευτήρα Πλαστήρα πραγματοποιήθηκε για δύο επίπεδα αξιοπιστίας, 90% και 80%. Το επίπεδο αξιοπιστίας 90%, το οποίο πρακτικά σημαίνει ότι είναι αποδεκτή η αστοχία ως προς την κάλυψη της ζήτησης μία φορά, κατά μέσο όρο, ανά δέκα έτη, θεωρείται απόλυτα ικανοποιητικό για έργα αρδευτικής κυρίως σκοπιμότητας, όπως είναι ο εν λόγω ταμιευτήρας. Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι η αστοχία δε συνεπάγεται πλήρη αδυναμία απολήψεων, αλλά μειωμένη απόληψη σε σχέση με την επιθυμητή. Από την άλλη πλευρά, το επίπεδο αξιοπιστίας 80% συνεπάγεται ελαφρά μεγαλύτερη ονομαστική απόληψη αλλά με πολύ μεγαλύτερη (διπλάσια) πιθανότητα αστοχίας.

Στο μοντέλο βελτιστοποίησης εισάγεται ένας επιπλέον περιορισμός, βάσει του οποίου το αρχικό απόθεμα του ταμιευτήρα $S(0)$ πρέπει να είναι ίσο με το τελικό $S(n)$. Μέσω αυτού του περιορισμού εξασφαλίζεται ότι κατά την προσομοίωση δεν χρησιμοποιούνται επιπλέον υδατικοί πόροι πέραν από τις φυσικές εισροές και ο ταμιευτήρας, μετά το πέρας την προσομοίωσης, επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση. Είναι προφανές ότι ο παραπάνω περιορισμός έχει μηδαμινή επίδραση στα αποτελέσματα, κατά την περίπτωση που χρησιμοποιούνται συνθετικές χρονοσειρές μεγάλου μήκους. Για το αρχικό απόθεμα του ταμιευτήρα ισχύει επίσης η συνθήκη $S(0) \geq S_{\min}$, όπου S_{\min} το μη απολήψιμο απόθεμα, το οποίο υπολογίζεται συναρτήσει της ελάχιστης στάθμης λειτουργίας Z_{\min} .

4.4 Συνθετικές χρονοσειρές εισροών

Οι συνθετικές χρονοσειρές εισροών, οι οποίες αποτελούν είσοδο στο μοντέλο λειτουργικής προσομοίωσης του ταμιευτήρα Πλαστήρα, αναφέρονται στην απορροή της ανάντη του φράγματος λεκάνης, καθώς και στη βροχόπτωση στην επιφάνεια του ταμιευτήρα. Ως προς τη χρονοσειρά εξάτμισης, δεν κρίθηκε αναγκαία η κατασκευή συνθετικού δείγματος, δεδομένου ότι η διακύμανσή της από έτος σε έτος είναι εξαιρετικά περιορισμένη (ο ετήσιος συντελεστής μεταβλητότητας ανέρχεται στο 3%). Ως εκ τούτου, στα πλαίσια της στοχαστικής προσομοίωσης της λειτουργίας του ταμιευτήρα, οι μηνιαίες τιμές της εξάτμισης θεωρήθηκαν σταθερές και ίσες με τις μέσες μηνιαίες τιμές της εκτίμησης κατά Thornwaite (βλ. 3.4).

Για τη γέννηση των συνθετικών χρονοσειρών βροχόπτωσης και απορροής χρησιμοποιήθηκε ένα στοχαστικό μοντέλο δύο μεταβλητών και δύο διαδοχικών χρονικών επιπέδων, ετήσιου και μηνιαίου. Σημειώνεται ότι με τον όρο μεταβλητή νοείται μια συγκεκριμένη υδρολογική διεργασία (π.χ., βροχόπτωση), η οποία πραγματοποιείται σε συγκεκριμένη γεωγραφική θέση. Η πολυμεταβλητή ανάλυση, αν και αυξάνει την πολυπλοκότητα του μοντέλου, κρίθηκε αναγκαία για την ταυτόχρονη προσομοίωση των εισροών λόγω απορροής και βροχόπτωσης, οι οποίες προφανώς εμφανίζουν σημαντική στατιστική συσχέτιση. Από την άλλη πλευρά, η ανάλυση δύο χρονικών επιπέδων επέτρεψε τη χρήση διαφορετικών μοντέλων προσομοίωσης των ετήσιων και μηνιαίων υδρολογικών διεργασιών, με στόχο την ακριβέστερη περιγραφή των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους, τα οποία είναι η εμμονή και η περιοδικότητα αντίστοιχα.

Το μαθηματικό μοντέλο, το οποίο περιγράφεται συνοπτικά στο επόμενο εδάφιο, έχει υλοποιηθεί σε λογισμικό και εφαρμόζεται επιχειρησιακά για τη στοχαστική προσομοίωση και πρόγνωση των υδρολογικών εισροών και απωλειών του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας (Ευστρατιάδης και Κουτσογιάννης, 2001).

4.4.1 Μεθοδολογία στοχαστικής προσομοίωσης

Για τις ετήσιες χρονοσειρές εισάγεται μια θεωρητική συνάρτηση αυτοσυνδιασποράς, η αναλυτική έκφραση της οποίας είναι (Koutsoyiannis, 2000):

$$\gamma_j = \gamma_0 [1 + \kappa \beta j]^{-1/\beta} \quad (4.13)$$

όπου γ_j ο συντελεστής αυτοσυνδιασποράς για βήμα υστέρησης j , γ_0 η διασπορά της μεταβλητής και κ , β παράμετροι που χαρακτηρίζουν την εμμογή της χρονοσειράς. Το φαινόμενο της εμμογής (γνωστό και ως φαινόμενο Hurst, απ' όπου λαμβάνει την ονομασία του ο φερόνυμος συντελεστής που εκφράζει ποσοτικά την εμμογή) αναφέρεται στην φυσική τάση ομαδοποίησης των περιόδων χαμηλής υδροφορίας και των περιόδων υψηλής υδροφορίας αντίστοιχα. Με την εμμογή σχετίζονται οι παρατεταμένες ξηρασίες και η κλιματική μεταβλητότητα, η οποία εμφανίζεται ως τυχαίες διαταραχές μεγάλης χρονικής κλίμακας. Με κατάλληλη ρύθμιση των παραμέτρων κ και β , είναι δυνατή η αναπαραγωγή της εμμογής στη συνθετική χρονοσειρά. Ειδικότερα, για $\beta = 0$ επιτυγχάνεται η προσομοίωση διεργασιών χωρίς καθόλου μακροπρόθεσμη εμμογή, και συνεπώς η γέννηση χρονοσειρών με συντελεστή Hurst ίσο με 0.50. Ας σημειωθεί ότι η συντριπτική πλειονότητα των επιχειρησιακών προγραμμάτων στοχαστικής υδρολογίας αγνοεί το φαινόμενο της εμμογής, το οποίο ωστόσο, όπως έχει καταδείξει και η εμπειρία του πρόσφατου παρελθόντος (π.χ., η έμμογη ξηρασία των περιόδων 1988-93), είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για την ορθολογική διαχείριση των έργων αξιοποίησης των υδατικών πόρων.

Στην (4.13) προσαρμόζεται ένα σχήμα γέννησης συμμετρικών κινούμενων μέσων όρων της μορφής:

$$Z_i = \sum_{j=-s}^s \alpha_{|j|} V_{i+j} = \alpha_s V_{i-s} + \dots + \alpha_1 V_{i-1} + \alpha_0 V_i + \alpha_1 V_{i+1} + \dots + \alpha_s V_{i+s} \quad (4.14)$$

όπου α_i συντελεστές βάρους που συνδέονται με τις αυτοσυνδιασπορές γ_j και V_i τυχαίες μεταβλητές, η μέση τιμή και ασυμμετρία των οποίων εκτιμάται από τα αντίστοιχα στατιστικά χαρακτηριστικά του ιστορικού δείγματος (Koutsoyiannis, 2000). Αρχικά γεννώνται οι τυχαίες μεταβλητές $V_i^{(k)}$ (όπου ο δείκτης k αναφέρεται στην αντίστοιχη στοχαστική ανέλιξη) βάσει ενός πολυμεταβλητού σχήματος, της μορφής:

$$\mathbf{V}_i = \mathbf{b} \mathbf{W}_i \quad (4.15)$$

Για την περίπτωση δύο μεταβλητών, η παραπάνω μητρική σχέση γράφεται:

$$\begin{bmatrix} V_i^{(1)} \\ V_i^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b^{(1,1)} & b^{(1,2)} \\ b^{(2,1)} & b^{(2,2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_i^{(1)} \\ W_i^{(2)} \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

όπου $W_i^{(k)}$ ακολουθία τυχαίων αριθμών, οι οποίοι παράγονται από την ίδια κατανομή που ακολουθεί και η αντίστοιχη μεταβλητή k , και \mathbf{b} μητρώο παραμέτρων, το οποίο περιέχει τις διασπορές και συνδιασπορές (ετεροσυσχετίσεις) του ετήσιου δείγματος. Ελλείψει αναλυτικής λύσης, ο υπολογισμός του μητρώου \mathbf{b} πραγματοποιείται μέσω μιας ειδικής μαθηματικής διαδικασίας (Koutsoyiannis, 1999). Στη συνέχεια, εφαρμόζεται το μοντέλο (4.14) για τη γέννηση των ετήσιων μεταβλητών Z_i , για όλο το μήκος της περιόδου προσομοίωσης.

Για τις μηνιαίες χρονοσειρές υιοθετείται ένα περιοδικό μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης PAR(1), η μητρική έκφραση του οποίου είναι:

$$\mathbf{X}_\tau = \mathbf{a}_\tau \mathbf{X}_{\tau-1} + \mathbf{b}_\tau \mathbf{V}_\tau \quad (4.17)$$

όπου \mathbf{X}_τ διάνυσμα μεταβλητών που αναφέρονται στο μήνα τ , \mathbf{a}_τ και \mathbf{b}_τ μητρώα παραμέτρων που περιέχουν τις διασπορές και τα από κοινού στατιστικά χαρακτηριστικά του μηνιαίου δείγματος, και \mathbf{V}_τ

διάνυσμα στοχαστικά ανεξάρτητων μεταβλητών, μοναδιαίας διασποράς. Για την περίπτωση δύο μεταβλητών, η παραπάνω σχέση γράφεται:

$$\begin{bmatrix} X_{\tau}^{(1)} \\ X_{\tau}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{\tau}^{(1)} & 0 \\ 0 & a_{\tau}^{(2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{\tau-1}^{(1)} \\ X_{\tau-1}^{(2)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{\tau}^{(1,1)} & b_{\tau}^{(1,2)} \\ b_{\tau}^{(2,1)} & b_{\tau}^{(2,2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{\tau}^{(1)} \\ V_{\tau}^{(2)} \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

Σε αντίθεση με τη γέννηση των ετήσιων μεταβλητών, το μοντέλο (4.17) εφαρμόζεται βήμα προς βήμα. Για κάθε έτος i , παράγονται 12 μηνιαίες τιμές (διανύσματα) $\mathbf{X}_1, \dots, \mathbf{X}_{12}$ χωρίς αναφορά στο γνωστό ετήσιο διάνυσμα \mathbf{Z}_i , και ακολούθως εφαρμόζεται μια διαδικασία επιμερισμού (υπό μορφή γραμμικού μετασχηματισμού), μέσω της οποίας εξασφαλίζεται η συμβατότητα μεταξύ των χρονοσειρών των δύο χρονικών επιπέδων (Koutsoyiannis and Manetas, 1996).

4.4.2 Στατιστικές παράμετροι που διατηρούνται

Ανεξάρτητα από τη χρονική κλίμακα και το επίπεδο προσομοίωσης, οι παράμετροι των μαθηματικών μοντέλων εκτιμώνται βάσει των στατιστικών χαρακτηριστικών των ιστορικών δειγμάτων, τα οποία τελικά αναπαράγονται στις συνθετικές χρονοσειρές. Τα στατιστικά χαρακτηριστικά που διατηρούνται εντάσσονται σε δύο κατηγορίες παραμέτρων και είναι:

α) οι παράμετροι των περιθωρίων συναρτήσεων κατανομής, και συγκεκριμένα οι μέσες τιμές, διασπορές και συντελεστές ασυμμετρίας.

β) οι παράμετροι των από κοινού συναρτήσεων κατανομής, και συγκεκριμένα οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης και οι συντελεστές ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης.

Οι παραπάνω συνιστούν το ελάχιστο σύνολο ουσιωδών στατιστικών παραμέτρων που κατά κανόνα απαιτούνται στη στοχαστική προσομοίωση. Για την εκτίμηση των δειγματικών τιμών των παραμέτρων εφαρμόζονται τυπικές στατιστικές επεξεργασίες πάνω στις ιστορικές υδρολογικές χρονοσειρές.

4.4.3 Γέννηση συνθετικών εισροών

Το μοντέλο που περιγράφηκε στο εδάφιο 4.4.1 εφαρμόστηκε για τη γέννηση μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών εισροών του ταμιευτήρα Πλαστήρα, μήκους 2000 ετών. Για την εκτίμηση των στατιστικών χαρακτηριστικών του μοντέλου, χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα ιστορικά δείγματα:

- το πρωτογενές δείγμα μηνιαίας βροχόπτωσης στον σταθμό Μούχας, το οποίο καλύπτει τα υδρολογικά έτη 1965-66 μέχρι 1991-92 (με κενά), και θεωρείται αντιπροσωπευτικό της βροχόπτωσης στην επιφάνεια του ταμιευτήρα·
- το δείγμα μηνιαίας απορροής, όπως προέκυψε βάσει του ιστορικού ισοζυγίου εισροών-εκροών του ταμιευτήρα, το οποίο καλύπτει τα υδρολογικά έτη 1961-62 μέχρι 2000-01.

Οι χρονοσειρές απορροής εκφράστηκαν σε μονάδες ισοδύναμου ύψους, ανάγοντας τους επιμέρους όγκους στην επιφάνεια της λεκάνης, έκτασης 161.7 km². Στους Πίνακες 4.4 και 4.5 δίνονται τα περιθώρια στατιστικά χαρακτηριστικά (μέσες τιμές, τυπικές αποκλίσεις και συντελεστές ασυμμετρίας) και οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης των παραπάνω δειγμάτων, σε μηνιαία και ετήσια κλίμακα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση.

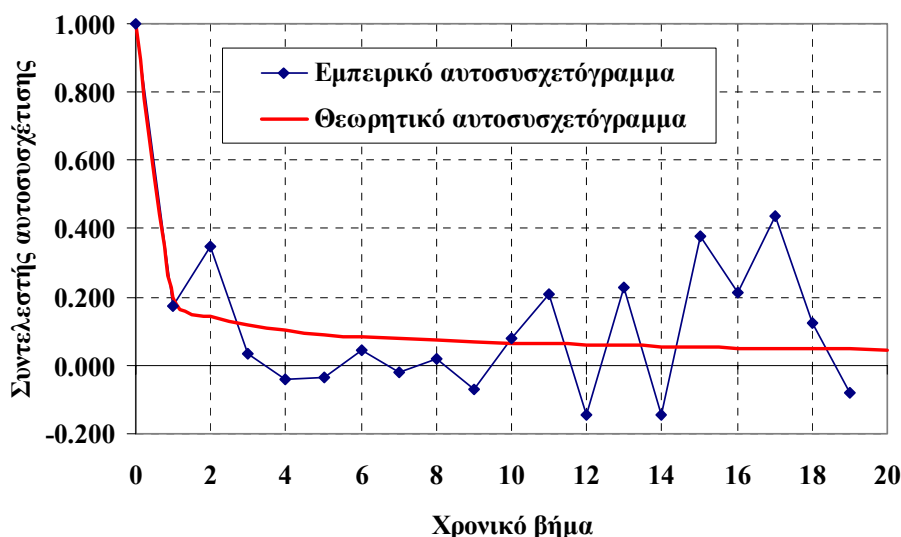
Πίνακας 4.4: Στατιστικά μεγέθη ιστορικού δείγματος βροχόπτωσης στον σταθμό Μούχας – Υδρολογικά έτη 1965-66 έως 1991-92 (mm).

	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
Μέση τιμή	137.9	177.5	212.2	174.9	142.3	152.1	124.8	67.6	41.6	18.1	31.6	46.0	1344.8
Τυπ. απόκλ.	101.8	48.2	87.6	116.6	57.4	110.0	59.4	42.1	43.9	18.9	31.3	39.8	290.0
Ασυμμετρία	1.30	0.58	0.43	0.52	0.12	2.15	0.65	1.01	2.40	1.64	2.00	1.49	0.08
Αυτοσυσχέτ.	-0.10	-0.11	-0.03	0.19	0.04	-0.01	0.05	0.39	-0.16	0.56	-0.03	-0.17	0.63

Πίνακας 4.5: Στατιστικά μεγέθη ύψους ιστορικού δείγματος απορροής λεκάνης Ταυρωπού ανάντη φράγματος – Υδρολογικά έτη 1961-62 έως 2000-01 (mm).

	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
Μέση τιμή	42.1	83.5	166.7	129.9	142.6	159.9	138.9	84.8	29.0	18.8	13.6	10.1	1028.9
Τυπ. απόκλ.	44.4	65.2	87.2	80.6	86.4	69.3	64.6	45.1	16.3	8.9	13.5	9.9	312.2
Ασυμμετρία	1.492	2.238	0.432	0.566	1.695	0.261	0.672	0.733	2.117	0.250	2.632	2.328	0.852
Αυτοσυσχέτ.	0.23	0.34	0.43	0.40	0.33	0.18	0.24	0.43	0.06	0.02	0.26	-0.07	0.19

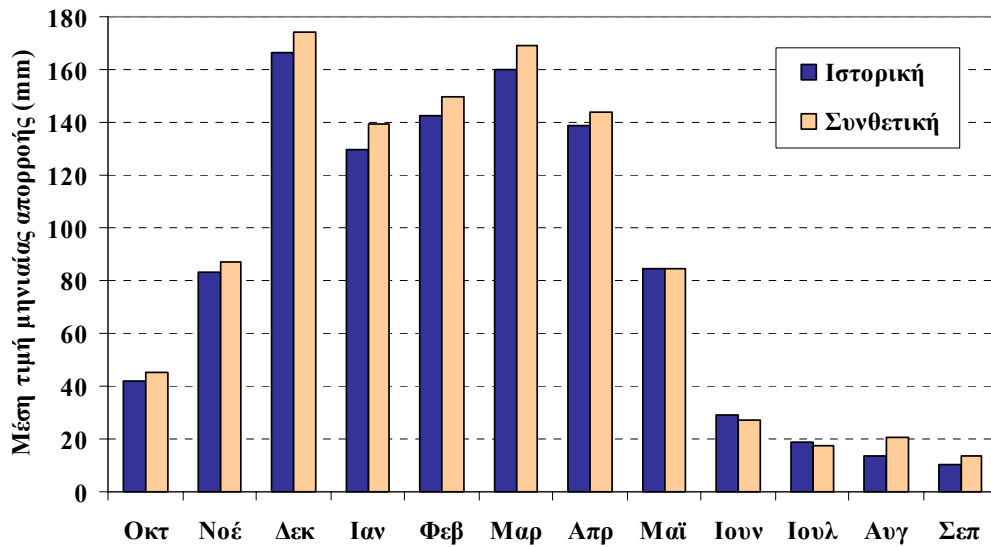
Μετά από ανάλυση των ετήσιων ιστορικών δειγμάτων βροχόπτωσης και απορροής, προέκυψε ότι η εμμονή των εν λόγω διεργασιών είναι αρκετά σημαντική, με την τιμή του συντελεστή Hurst να προσεγγίζει, και στις δύο περιπτώσεις, το 0.70. Βάσει της τιμής αυτής, η τιμή της παραμέτρου εμμονής β της θεωρητικής συνάρτησης αυτοσυνδιασποράς (βλ. 4.4.1) ορίστηκε ίση με 2.00. Η τιμή της παραμέτρου κ , για την οποία το θεωρητικό αυτοσυσχετόγραμμα επαληθεύει ακριβώς τον συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης, υπολογίστηκε σε 23.77 για τη βροχόπτωση και 8.23 για την απορροή. Στο Σχήμα 4.4 απεικονίζεται το θεωρητικό αυτοσυσχετόγραμμα της ετήσιας απορροής και οι αντίστοιχοι εμπειρικοί (δειγματικοί) συντελεστές, μέχρι τάξης 20. Το γεγονός ότι το αυτοσυσχετόγραμμα φθίνει πολύ αργά προς το μηδέν αποτελεί ένδειξη έντονης εμμονής της εν λόγω χρονοσειράς.



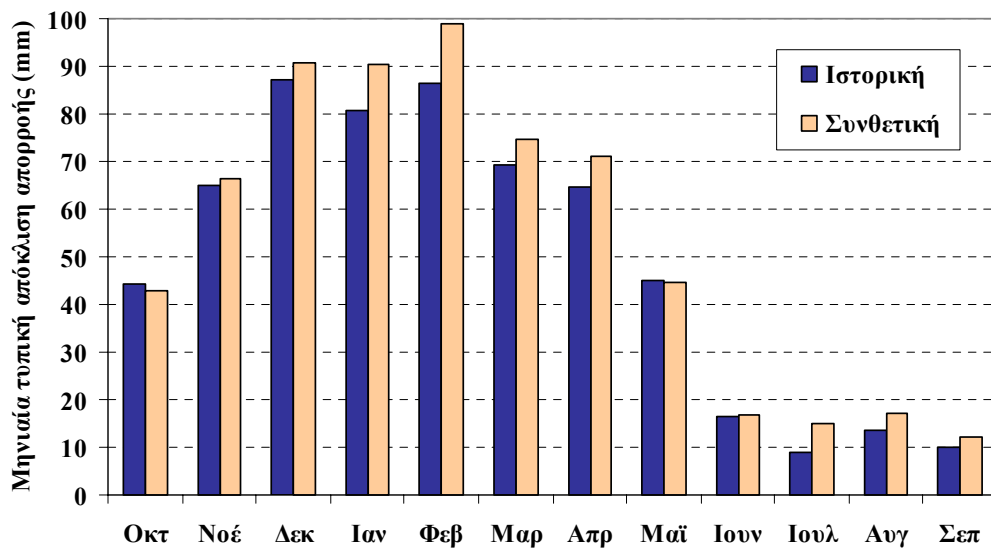
Σχήμα 4.4: Γραφική παράσταση δειγματικών συντελεστών αυτοσυσχέτισης ετήσιας απορροής και προσαρμογή θεωρητικής συνάρτησης αυτοσυσχέτισης.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το μοντέλο στοχαστικής προσομοίωσης αναπαράγει τα ουσιώδη στατιστικά των ιστορικών δειγμάτων. Αυτό φαίνεται στα Σχήματα 4.5, 4.6, 4.7 και 4.8, όπου

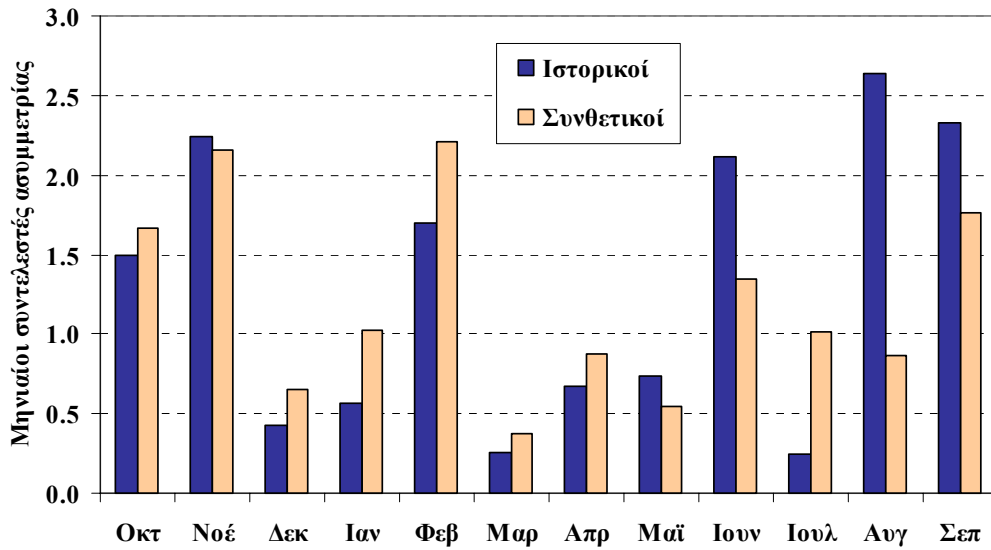
συγκρίνονται τα περιθώρια στατιστικά χαρακτηριστικά καθώς και οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης της συνθετικής και της ιστορικής χρονοσειράς απορροής.



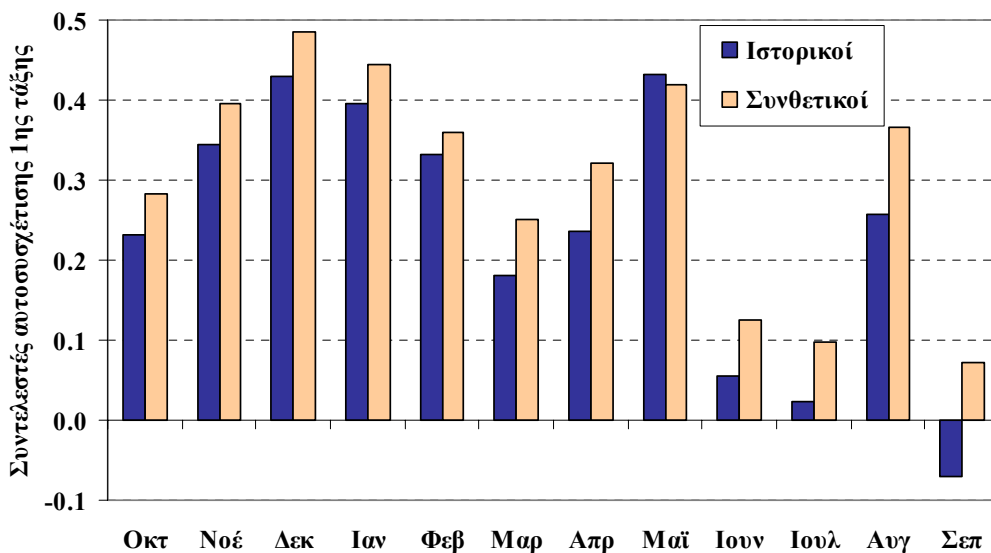
Σχήμα 4.5: Σύγκριση συνθετικών και δειγματικών μέσων τιμών μηνιαίας απορροής υπολεκάνης Ταυρωπού ανάντη του φράγματος.



Σχήμα 4.6: Σύγκριση συνθετικών και δειγματικών τυπικών αποκλίσεων μηνιαίας απορροής υπολεκάνης Ταυρωπού ανάντη του φράγματος.

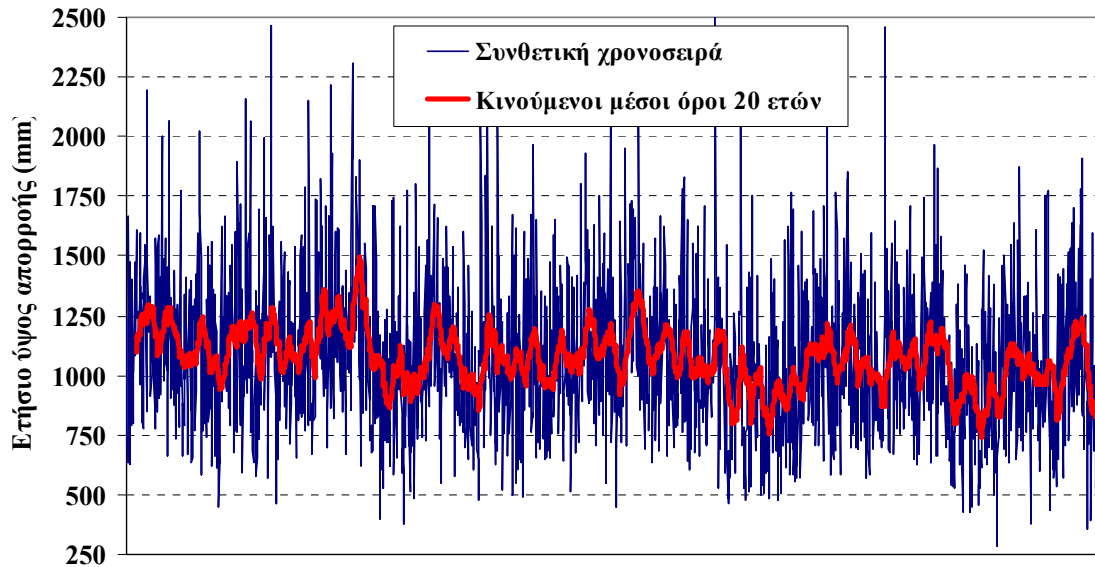


Σχήμα 4.7: Σύγκριση συνθετικών και δειγματικών συντελεστών ασυμμετρίας μηνιαίας απορροής υπολεκάνης Ταυρωπού ανάντη του φράγματος.



Σχήμα 4.8: Σύγκριση συνθετικών και δειγματικών συντελεστών αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης μηνιαίας απορροής υπολεκάνης Ταυρωπού ανάντη του φράγματος.

Τέλος, στο Σχήμα 4.9 απεικονίζεται η ετήσια συνθετική χρονοσειρά απορροής καθώς και οι κινούμενοι μέσοι όροι εικοσαετίας, οι οποίοι παρουσιάζουν έντονη τυχαία διακύμανση γύρω από την ιστορική μέση τιμή των 1057.8 mm. Είναι προφανές ότι η εν λόγω χρονοσειρά αναπαράγει μακρές περιόδους ξηρασίας (όπως και υδροφορίας), διατηρώντας παράλληλα τα στατιστικά χαρακτηριστικά του ιστορικού δείγματος. Ο συντελεστής Hurst της συνθετική χρονοσειράς απορροής είναι της τάξης του 0.75, βρίσκεται δηλαδή αρκετά κοντά στην τιμή 0.70 του ιστορικού δείγματος. Αντίστοιχα υψηλή είναι η τιμή του συντελεστή Hurst που προέκυψε και για την ετήσια συνθετική βροχόπτωση.



Σχήμα 4.9: Απεικόνιση ετήσιας συνθετικής χρονοσειράς απορροής υπολεκάνης Ταυρωπού, μήκους 2000 ετών, και κινούμενων μέσων όρων εικοσαετίας.

4.5 Αποτελέσματα στοχαστικής προσομοίωσης

Χρησιμοποιώντας τις συνθετικές χρονοσειρές απορροής και βροχόπτωσης, πραγματοποιήθηκε στοχαστική προσομοίωση της λειτουργίας του ταμιευτήρα Πλαστήρα, για διάφορες τιμές της ελάχιστης στάθμης λειτουργίας μεταξύ των ορίων +776 και +790 m. Για κάθε σενάριο ελάχιστης στάθμης, αναζητήθηκε η μέγιστη ονομαστική απόληψη από τον ταμιευτήρα, η οποία ικανοποιεί την αντίστοιχη υδρευτική και αρδευτική ζήτηση με αξιοπιστία 90% και 80%. Διερευνήθηκαν δύο ομάδες σεναρίων, υποθέτοντας είτε μεμονωμένη λειτουργία του ταμιευτήρα Πλαστήρα (ομάδα σεναρίων Α) είτε συνδυασμένη λειτουργία του ταμιευτήρα με το έργο εκτροπής του Κερασιώτη (ομάδα σεναρίων Β). Στη δεύτερη περίπτωση θεωρήθηκε ότι στο υδατικό δυναμικό του ταμιευτήρα προστίθεται οι υδατικοί πόροι που προέρχονται από την εκτροπή του Κερασιώτη, υποθέτοντας ότι οι εισροές λόγω απορροής αυξάνονται κατά ποσοστό 4.5% (βλ. 4.2.2).

4.5.1 Μεμονωμένη λειτουργία ταμιευτήρα Πλαστήρα

Τα αποτελέσματα των σεναρίων μεμονωμένης λειτουργίας ταμιευτήρα Πλαστήρα (ομάδα σεναρίων Α) συνοψίζονται στους Πίνακες 4.6 και 4.7, ενώ οι αντίστοιχες σχέσεις ελάχιστης στάθμης λειτουργίας – ετήσιας ονομαστικής απόληξης απεικονίζονται στο Σχήμα 4.10. Όπως είναι προφανές, η εν λόγω σχέση είναι φθίνουσα, δηλαδή αύξηση του ελάχιστου επιτρεπόμενου ορίου της στάθμης οδηγεί σε μείωση των απολήψεων, για το ίδιο επίπεδο αξιοπιστίας. Ωστόσο, θα πρέπει να παρατηρηθεί ότι ο ρυθμός μείωσης δεν είναι ο ίδιος για όλο το εύρος τιμών μεταξύ της στάθμης υδροληψίας (+776 m) και της στάθμης +790 m. Έτσι, μέχρι το επίπεδο των +782 m, η ασφαλής απόληψη από τον ταμιευτήρα είναι σχεδόν γραμμική συνάρτηση της ελάχιστης στάθμης λειτουργίας, και μειώνεται με σταθερό ρυθμό της τάξης των 1.5-1.6 hm³/m. Από την άλλη πλευρά, μετά τα +786 m, το ασφαλές απολήξιμο δυναμικό του ταμιευτήρα μειώνεται εκθετικά σε σχέση με την ελάχιστη στάθμη λειτουργίας.

Η επίδραση του περιορισμού της στάθμης στην αξιοπιστία του συστήματος φαίνεται και στο Σχήμα 4.11, στο οποίο απεικονίζεται η ετήσια πιθανότητα αστοχίας συναρτήσει της ελάχιστης στάθμης λειτουργίας για διάφορες τιμές της ετήσιας ονομαστικής απόληξης, μεταξύ των 120 και 160 hm³. Τα αποτελέσματα έχουν προκύψει μέσω απλής προσομοίωσης (χωρίς βελτιστοποίηση), θέτοντας τη

συγκεκριμένη τιμή-στόχο για την ετήσια απόληψη. Από το διάγραμμα γίνεται ξεκάθαρο ότι μετά την τιμή των +786 m, η αστοχία του συστήματος αυξάνει με εκθετικό ρυθμό, τείνοντας γρήγορα στο 100%. Επιπλέον, αποδεικνύεται ότι ο ταμιευτήρας δεν επαρκεί για να καλύψει το σύνολο των υφιστάμενων υδατικών αναγκών (αρδευτικών και υδρευτικών), οι οποίες εκτιμώνται σε 160 hm³ (βλ. 4.2.3). Πράγματι, ακόμη και με άρση του περιορισμού ελάχιστης στάθμης, η πιθανότητα αστοχίας ανέρχεται σχεδόν στο 30%, ενώ αν τεθεί το όριο στα +784 m η εν λόγω πιθανότητα αστοχίας φτάνει το 50%. Οι παραπάνω πολύ μεγάλες τιμές της πιθανότητας αστοχίας οφείλονται στο γεγονός ότι η επιχειρούμενη ετήσια απόληψη των 160 hm³ είναι μεγαλύτερη της μέσης ετήσιας καθαρής εισροής, η οποία ανέρχεται σε 153.2 hm³.

Τα παραπάνω υποδηλώνουν ότι, από υδρολογικής σκοπιάς, η ελάχιστη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα Πλαστήρα δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα +786 m. Για την τιμή αυτή, η ετήσια ονομαστική απόληψη για την εξυπηρέτηση των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών της περιοχής ανέρχεται σε 126.5 ή 117.3 hm³, για επίπεδο αξιοπιστίας 80 και 90% αντίστοιχα. Εφόσον το όριο ελάχιστης στάθμης μειωθεί κατά 4 m, η ετήσια ονομαστική απόληψη αυξάνει κατά 17-18 hm³, φτάνοντας τα 144.4 ή 134.0 hm³, για επίπεδο αξιοπιστίας 80 και 90% αντίστοιχα. Εν συνεχεία όμως, η θέσπιση ελάχιστου ορίου στάθμης μικρότερου +782 m βελτιώνει ελάχιστα την υδρολογική επίδοση του ταμιευτήρα, ενώ παράλληλα επιφέρει σημαντικά προβλήματα σε ό,τι αφορά το τοπίο αλλά και την ποιότητα του νερού της λίμνης.

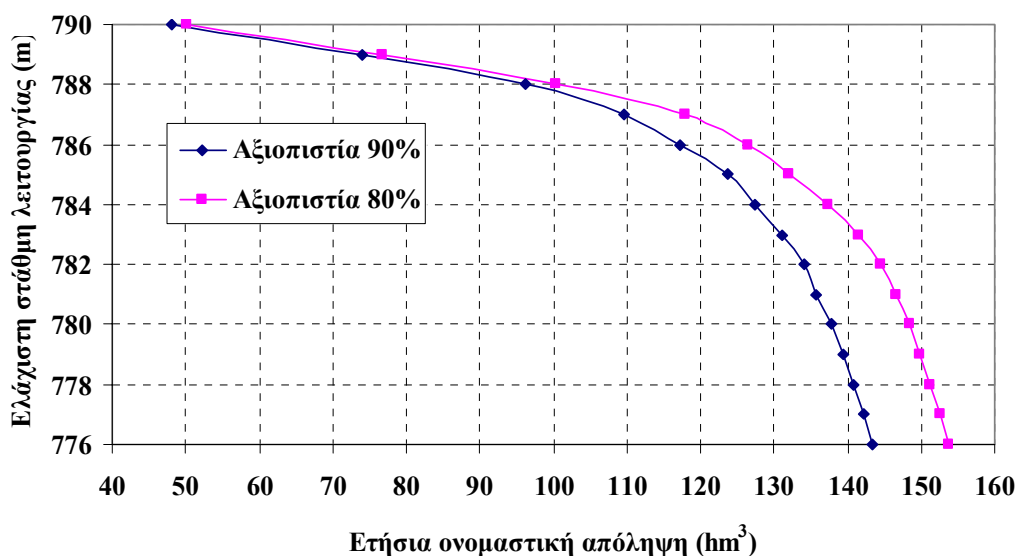
Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι, με εφαρμογή της προτεινόμενης διαχειριστικής πολιτικής, η ετήσια πιθανότητα υπερχειλίσης του ταμιευτήρα διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα. Έτσι, ακόμα και για την περίπτωση υψηλής ελάχιστης στάθμης (+786 m), η εν λόγω πιθανότητα ανέρχεται μόλις σε 2.5 ή 1.9%, για ετήσια απόληψη 126.5 ή 117.3 hm³.

Πίνακας 4.6: Αποτελέσματα προσομοίωσης ομάδας σεναρίων Α (μεμονωμένη λειτουργία ταμιευτήρα Πλαστήρα) – Επίπεδο αξιοπιστίας 90%.

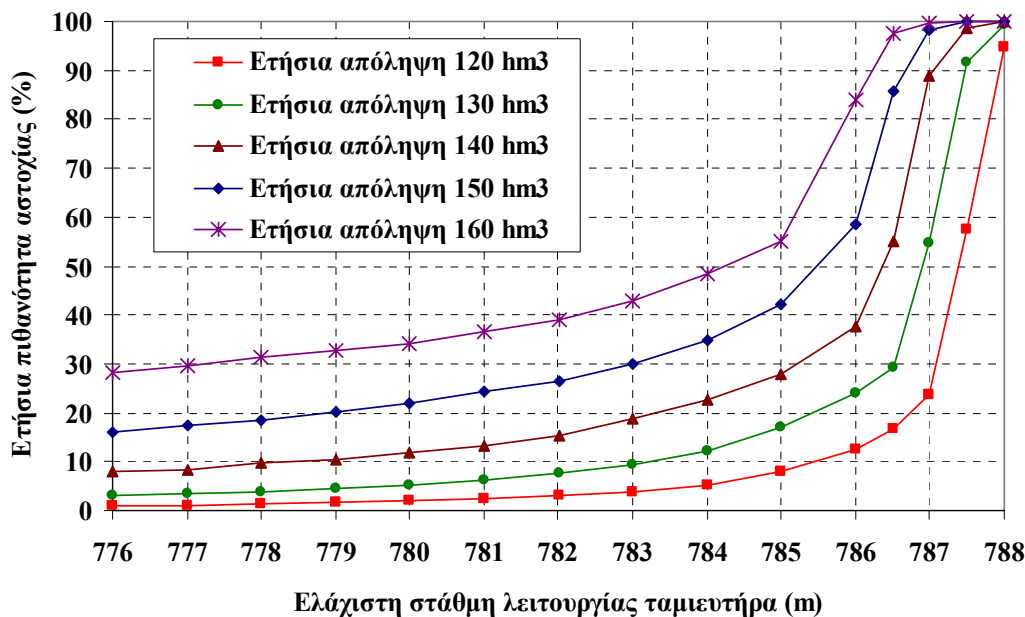
Σενάριο	Ελάχιστη στάθμη λειτουργίας (m)	Μη απολήνιμο απόθεμα (hm ³)	Ετήσια ονομαστική απόληψη (hm ³)	Μέσο ετήσιο έλλειμμα (hm ³)	Μέση εκροή από στροβίλους (hm ³ /έτος)	Μέση παραγωγή ενέργειας (GWh/έτος)	Ετήσια πιθανότητα υπερχειλίσης
A ₁₋₁	776	75.5	143.4	3.2	153.3	199.6	0.010
A ₁₋₂	777	87.0	142.1	3.0	153.1	199.3	0.011
A ₁₋₃	778	99.6	140.9	3.0	152.9	199.0	0.011
A ₁₋₄	779	113.2	139.5	2.9	152.7	198.8	0.013
A ₁₋₅	780	127.6	137.9	2.8	152.4	198.5	0.013
A ₁₋₆	781	142.8	135.8	2.7	152.2	198.2	0.014
A ₁₋₇	782	158.9	134.0	2.7	152.0	197.9	0.016
A ₁₋₈	783	175.8	131.0	2.5	151.8	197.6	0.016
A ₁₋₉	784	193.4	127.5	2.3	151.5	197.3	0.017
A ₁₋₁₀	785	211.8	123.8	2.3	151.3	197.0	0.020
A ₁₋₁₁	786	230.9	117.3	1.9	151.0	196.6	0.025
A ₁₋₁₂	787	250.7	109.6	1.6	150.7	196.2	0.030
A ₁₋₁₃	788	271.3	96.3	1.0	150.4	195.8	0.036
A ₁₋₁₄	789	292.6	74.0	0.3	149.9	195.2	0.047
A ₁₋₁₅	790	314.7	48.0	0.1	149.6	194.7	0.061

Πίνακας 4.7: Αποτελέσματα προσομοίωσης ομάδας σεναρίων Α (μεμονωμένη λειτουργία ταμιευτήρα Πλαστήρα) – Επίπεδο αξιοπιστίας 80%.

Σενάριο	Ελάχιστη στάθμη λειτουργίας (m)	Μη απολήψιμο απόθεμα (hm ³)	Ετήσια ονομαστική απόληψη (hm ³)	Μέσο ετήσιο έλλειμμα (hm ³)	Μέση εκροή από στροβίλους (hm ³ /έτος)	Μέση παραγωγή ενέργειας (GWh/έτος)	Ετήσια πιθανότητα υπερχειλίσης
A ₂₋₁	776	75.5	153.7	6.9	154.5	201.1	0.006
A ₂₋₂	777	87.0	152.5	6.7	154.1	200.7	0.007
A ₂₋₃	778	99.6	151.2	6.5	153.8	200.3	0.008
A ₂₋₄	779	113.2	149.9	6.4	153.5	199.9	0.009
A ₂₋₅	780	127.6	148.4	6.3	153.2	199.5	0.010
A ₂₋₆	781	142.8	146.5	6.1	152.9	199.1	0.011
A ₂₋₇	782	158.9	144.4	6.0	152.6	198.7	0.011
A ₂₋₈	783	175.8	141.6	5.7	152.3	198.2	0.012
A ₂₋₉	784	193.4	137.4	5.1	151.9	197.8	0.014
A ₂₋₁₀	785	211.8	132.1	4.4	151.6	197.3	0.017
A ₂₋₁₁	786	230.9	126.5	4.2	151.3	196.9	0.019
A ₂₋₁₂	787	250.7	117.9	3.5	150.9	196.5	0.025
A ₂₋₁₃	788	271.3	100.4	1.7	150.5	195.9	0.035
A ₂₋₁₄	789	292.6	76.7	0.6	150.0	195.3	0.046
A ₂₋₁₅	790	314.7	50.2	0.3	149.6	194.8	0.059



Σχήμα 4.10: Απεικόνιση της σχέσης ελάχιστης στάθμης λειτουργίας ταμιευτήρα – ασφαλούς υδρευτικής και αρδευτικής απόληψης, για επίπεδα αξιοπιστίας 90 και 80% και με την υπόθεση μεμονωμένης λειτουργίας ταμιευτήρα Πλαστήρα.



Σχήμα 4.11: Απεικόνιση της σχέσης ελάχιστης στάθμης λειτουργίας ταμιευτήρα – πιθανότητας αστοχίας, για ετήσια ονομαστική απώληση 120, 130, 140, 150 και 160 hm³, και με την υπόθεση μεμονωμένης λειτουργίας ταμιευτήρα Πλαστήρα.

4.5.2 Συνδυασμένη λειτουργία ταμιευτήρα Πλαστήρα και έργου εκτροπής Κερασιώτη

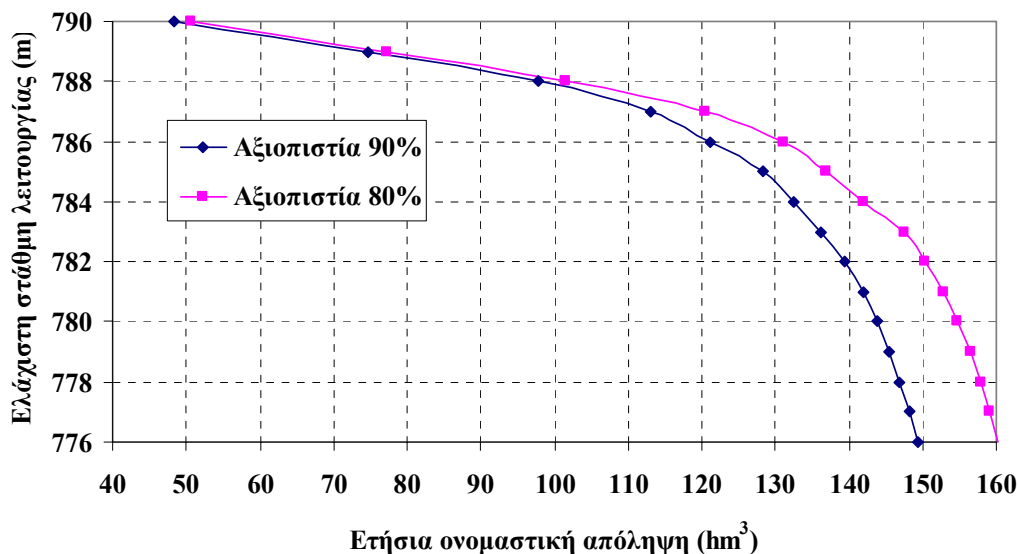
Τα αποτελέσματα των σεναρίων συνδυασμένης λειτουργίας του ταμιευτήρα Πλαστήρα με το έργο εκτροπής του Κερασιώτη (ομάδα σεναρίων Β) συνοψίζονται στους Πίνακες 4.8 και 4.9, ενώ οι αντίστοιχες σχέσεις ελάχιστης στάθμης λειτουργίας – ετήσιας ονομαστικής απώλησης απεικονίζονται στο Σχήμα 4.12. Η υπόθεση αύξησης των εισροών κατά 4.5% αυξάνει το απολήψιμο δυναμικό του ταμιευτήρα κατά 4.0-4.5 hm³, εφόσον η ελάχιστη στάθμη λειτουργίας του ανέρχεται μέχρι τα +786 m, ενώ για ελάχιστη στάθμη στα +782 m, η επιπλέον απόδοση του συστήματος φτάνει τα 5.5-6.0 hm³. Πέρα από το όριο των +786 m, η απόδοση του έργου εκτροπής του Κερασιώτη περιορίζεται σημαντικά, και σχεδόν εκμηδενίζεται όταν η ελάχιστη στάθμη φτάνει κοντά στα +790 m. Επιπλέον, η αύξηση των εισροών αυξάνει οδηγεί σε ελαφρά μεγαλύτερη πιθανότητα υπερχειλίσις του ταμιευτήρα.

Πίνακας 4.8: Αποτελέσματα προσομοίωσης ομάδας σεναρίων Β (συνδυασμένη λειτουργία ταμειντήρα Πλαστήρα και έργου εκτροπής Κερασιώτη) – Επίπεδο αξιοπιστίας 90%.

Σενάριο	Ελάχιστη στάθμη λειτουργίας (m)	Μη απολήψιμο απόθεμα (hm ³)	Ετήσια ονομαστική απόληψη (hm ³)	Μέσο ετήσιο έλλειμμα (hm ³)	Μέση εκροή από στροβίλους (hm ³ /έτος)	Μέση παραγωγή ενέργειας (GWh/έτος)	Ετήσια πιθανότητα υπερχειλίσης
B ₁₋₁	776	75.5	149.4	3.2	161.0	209.6	0.013
B ₁₋₂	777	87.0	148.3	3.1	160.8	209.4	0.014
B ₁₋₃	778	99.6	146.8	3.0	160.6	209.1	0.015
B ₁₋₄	779	113.2	145.4	3.0	160.4	208.8	0.017
B ₁₋₅	780	127.6	143.7	2.9	160.1	208.5	0.018
B ₁₋₆	781	142.8	142.0	2.9	159.9	208.2	0.019
B ₁₋₇	782	158.9	139.4	2.7	159.7	207.9	0.020
B ₁₋₈	783	175.8	136.1	2.5	159.5	207.6	0.021
B ₁₋₉	784	193.4	132.6	2.4	159.2	207.3	0.024
B ₁₋₁₀	785	211.8	128.4	2.3	159.0	207.0	0.029
B ₁₋₁₁	786	230.9	121.2	1.9	158.7	206.6	0.034
B ₁₋₁₂	787	250.7	113.1	1.6	158.4	206.2	0.040
B ₁₋₁₃	788	271.3	97.7	0.9	158.0	205.7	0.046
B ₁₋₁₄	789	292.6	74.7	0.3	157.5	205.1	0.061
B ₁₋₁₅	790	314.7	48.3	0.1	157.1	204.5	0.079

Πίνακας 4.9: Αποτελέσματα προσομοίωσης ομάδας σεναρίων Β (συνδυασμένη λειτουργία ταμειντήρα Πλαστήρα και έργου εκτροπής Κερασιώτη) – Επίπεδο αξιοπιστίας 80%.

Σενάριο	Ελάχιστη στάθμη λειτουργίας (m)	Μη απολήψιμο απόθεμα (hm ³)	Ετήσια ονομαστική απόληψη (hm ³)	Μέσο ετήσιο έλλειμμα (hm ³)	Μέση εκροή από στροβίλους (hm ³ /έτος)	Μέση παραγωγή ενέργειας (GWh/έτος)	Ετήσια πιθανότητα υπερχειλίσης
B ₂₋₁	776	75.5	160.3	7.0	162.1	211.1	0.009
B ₂₋₂	777	87.0	159.1	6.8	161.8	210.7	0.010
B ₂₋₃	778	99.6	157.9	6.7	161.5	210.3	0.012
B ₂₋₄	779	113.2	156.5	6.6	161.2	209.9	0.012
B ₂₋₅	780	127.6	154.7	6.4	160.9	209.5	0.013
B ₂₋₆	781	142.8	152.8	6.3	160.6	209.1	0.013
B ₂₋₇	782	158.9	150.2	6.0	160.3	208.7	0.015
B ₂₋₈	783	175.8	147.4	5.8	160.0	208.3	0.016
B ₂₋₉	784	193.4	141.9	4.9	159.6	207.8	0.020
B ₂₋₁₀	785	211.8	136.9	4.5	159.3	207.4	0.022
B ₂₋₁₁	786	230.9	131.0	4.3	159.0	207.0	0.025
B ₂₋₁₂	787	250.7	120.5	3.2	158.6	206.5	0.036
B ₂₋₁₃	788	271.3	101.5	1.5	158.1	205.8	0.044
B ₂₋₁₄	789	292.6	77.3	0.6	157.5	205.1	0.060
B ₂₋₁₅	790	314.7	50.6	0.3	157.1	204.6	0.077



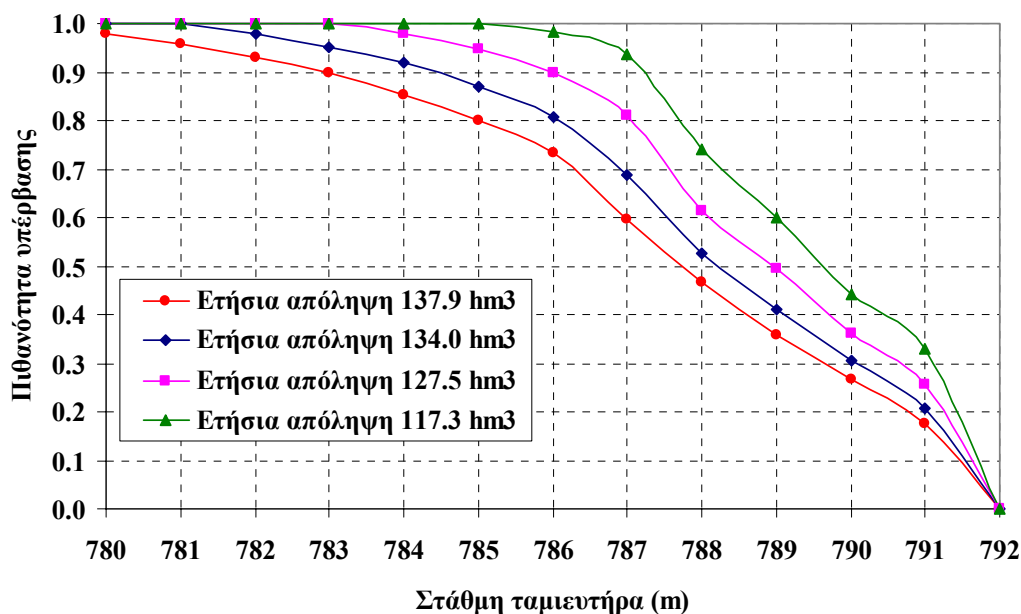
Σχήμα 4.12: Απεικόνιση της σχέσης ελάχιστης στάθμης λειτουργίας ταμιευτήρα – ασφαλούς υδρευτικής και αρδευτικής απόληψης, για επίπεδα αξιοπιστίας 90 και 80% και με την υπόθεση συνδυασμένης λειτουργίας ταμιευτήρα Πλαστήρα και έργου εκτροπής Κερασιώτη.

4.5.3 Διερεύνηση για διάφορες τιμές ελάχιστης στάθμης λειτουργίας

Στο εδάφιο αυτό διερευνάται συστηματικά η λειτουργία του ταμιευτήρα Πλαστήρα για τέσσερις τυπικές τιμές ελάχιστης στάθμης, συγκεκριμένα +780, +782, +784 και +786 m. Η αντίστοιχη τιμή της ονομαστικής απόληψης είναι αυτή που προέκυψε με την υπόθεση επιπέδου αξιοπιστίας 90% και χωρίς ένταξη του έργου εκτροπής του Κερασιώτη στο σύστημα (σενάρια A₁₋₅, A₁₋₇, A₁₋₉ και A₁₋₁₁). Ειδικότερα, εξετάζεται ποιο θα είναι το καθεστώς διακύμανσης της στάθμης του ταμιευτήρα αν εφαρμοστεί η συγκεκριμένη πολιτική διαχείρισης, η οποία προϋποθέτει σταθερή απόληψη και αυστηρή διατήρηση της στάθμης πάνω από το εκάστοτε όριο λειτουργίας. Για λόγους σύγκρισης, εξετάζεται και η περίπτωση άρσης του περιορισμού ελάχιστης στάθμης. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης συνοψίζονται στον Πίνακα 4.10 και απεικονίζονται στο Σχήμα 4.13. Για παράδειγμα, αν υποτεθεί ότι η ελάχιστη στάθμη λειτουργίας τίθεται στα +784 m, με ετήσια απόληψη 127.5 hm³, τότε η συχνότητα καταβιβασμού της στάθμης κάτω από τα +787 m εκτιμάται ότι θα είναι μικρότερη από 19%, σε μηνιαία βάση. Ωστόσο, με άρση του περιορισμού ελάχιστης στάθμης, η αντίστοιχη συχνότητα αυξάνεται στα επίπεδα του 25%. Ομοίως, αν υποτεθεί ότι η ελάχιστη στάθμη λειτουργίας τίθεται στα +782 m, με ετήσια απόληψη 134.0 hm³, τότε η συχνότητα καταβιβασμού της στάθμης κάτω από τα +787 m φτάνει το 31%, ενώ με άρση του περιορισμού στάθμης, η αντίστοιχη συχνότητα φτάνει το 36%. Αυτό σημαίνει ότι, με εφαρμογή της προτεινόμενης πολιτικής διαχείρισης, η συχνότητα μείωσης των αποθεμάτων κοντά στο όριο ελάχιστης στάθμης θα είναι περιορισμένη. Στην πραγματικότητα, στο 90% περίπου του χρόνου, η στάθμη του ταμιευτήρα θα βρίσκεται τουλάχιστον 3 m πάνω από το επιτρεπόμενο όριο. Από την άλλη πλευρά υπενθυμίζεται ότι, εξαιτίας της εξάτμισης, η θέσπιση του περιορισμού ελάχιστης στάθμης δεν συνεπάγεται μηδενική πιθανότητα μείωσης του αποθέματος κάτω από το αντίστοιχο όριο. Πράγματι, από το διάγραμμα φαίνεται ότι, σε όλες τις περιπτώσεις, η πιθανότητα πτώσης της στάθμης λειτουργίας κάτω από την ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή κυμαίνεται γύρω στο 2%.

Πίνακας 4.10: Σχέση στάθμης ταμιευτήρα – συχνότητας υπέρβασης για διάφορα σενάρια λειτουργίας.

Στάθμη (m)	Ετήσια απόληψη 137.9 hm ³ - Ελάχιστη στάθμη +780 m	Ετήσια απόληψη 137.9 hm ³ - Χωρίς περιορισμό ελάχιστης στάθμης	Ετήσια απόληψη 134.0 hm ³ - Ελάχιστη στάθμη +782 m	Ετήσια απόληψη 134.0 hm ³ - Χωρίς περιορισμό ελάχιστης στάθμης	Ετήσια απόληψη 127.5 hm ³ - Ελάχιστη στάθμη +784 m	Ετήσια απόληψη 127.5 hm ³ - Χωρίς περιορισμό ελάχιστης στάθμης	Ετήσια απόληψη 117.3 hm ³ - Ελάχιστη στάθμη +786 m	Ετήσια απόληψη 117.3 hm ³ - Χωρίς περιορισμό ελάχιστης στάθμης
776	1.000	0.987	1.000	0.990	1.000	0.995	1.000	0.999
777	1.000	0.975	1.000	0.982	1.000	0.990	1.000	0.997
778	1.000	0.963	1.000	0.972	1.000	0.985	1.000	0.996
779	1.000	0.948	1.000	0.961	1.000	0.978	1.000	0.994
780	0.980	0.930	1.000	0.948	1.000	0.969	1.000	0.990
781	0.957	0.908	1.000	0.929	1.000	0.958	1.000	0.985
782	0.930	0.882	0.980	0.910	1.000	0.945	1.000	0.979
783	0.897	0.850	0.952	0.884	1.000	0.928	1.000	0.972
784	0.854	0.811	0.918	0.853	0.980	0.906	1.000	0.961
785	0.799	0.760	0.870	0.808	0.947	0.875	1.000	0.946
786	0.734	0.700	0.809	0.754	0.897	0.830	0.982	0.920
787	0.597	0.571	0.687	0.644	0.812	0.752	0.935	0.878
788	0.467	0.448	0.526	0.494	0.613	0.567	0.741	0.693
789	0.357	0.344	0.412	0.390	0.496	0.461	0.601	0.562
790	0.266	0.256	0.304	0.288	0.361	0.338	0.443	0.415
791	0.176	0.169	0.208	0.198	0.257	0.244	0.330	0.310

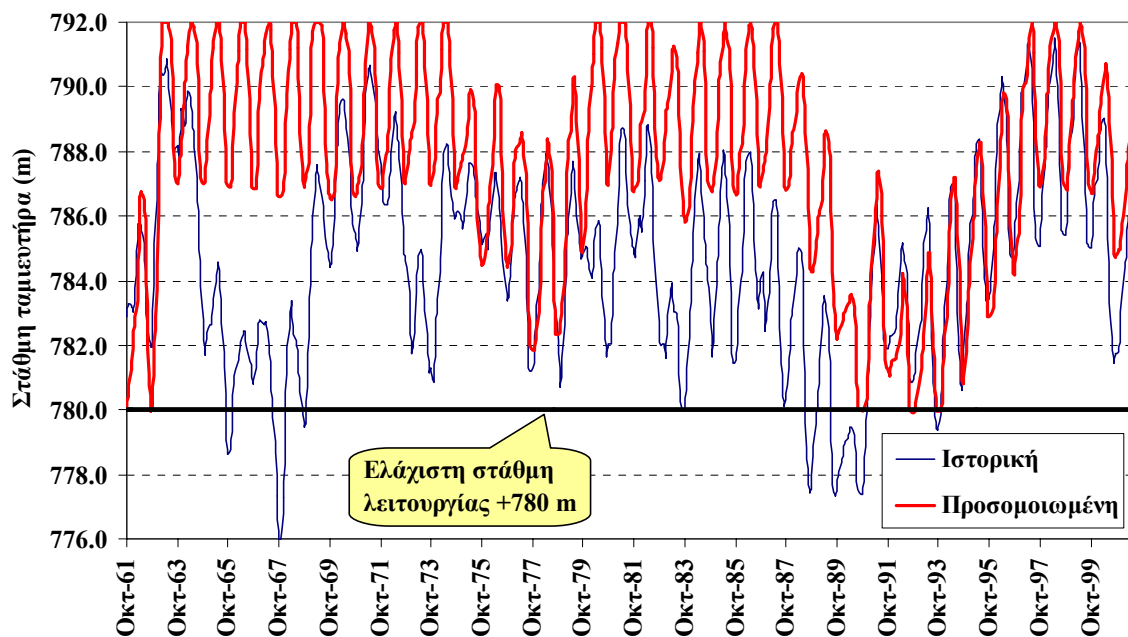


Σχήμα 4.13: Γραφική παράσταση της σχέσης στάθμης - πιθανότητας υπέρβασης, για μεμονωμένη λειτουργία του ταμιευτήρα Πλαστήρα και ετήσια ονομαστική απόληψη 137.9, 134.0, 127.5 και 117.3 hm³. Στο διάγραμμα απεικονίζονται οι τιμές που προκύπτουν λαμβάνοντας υπόψη τον περιορισμό ελάχιστης στάθμης λειτουργίας, η οποία τίθεται στα +780, +782, +784 και +786 m, αντίστοιχα, και εξασφαλίζουν ετήσια αξιοπιστία 90%.

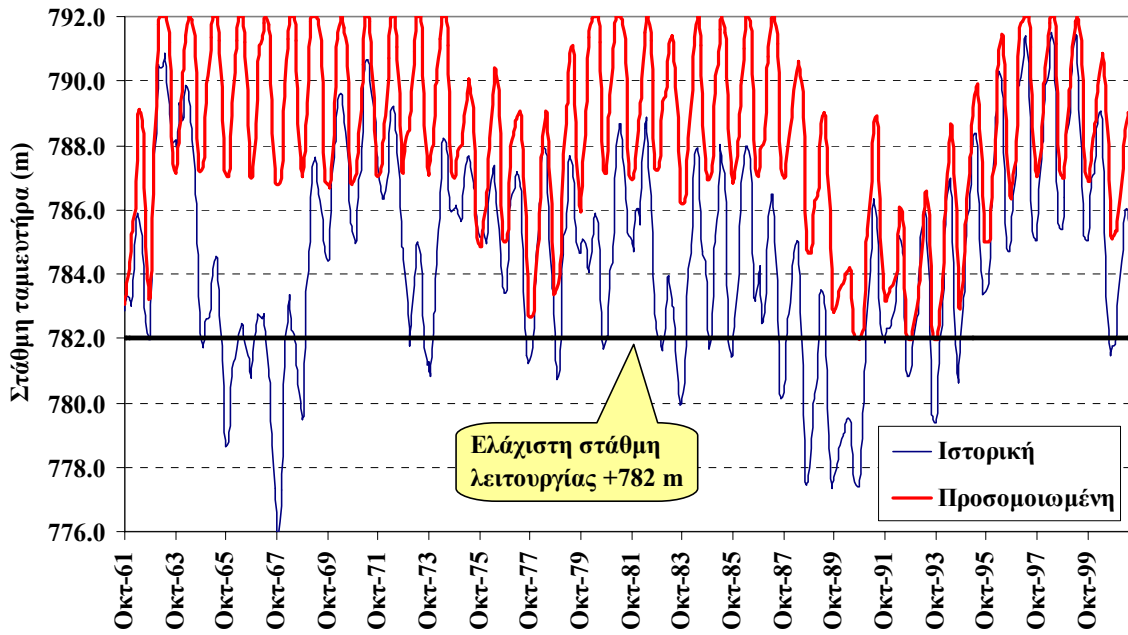
4.5.4 Σύγκριση με τα ιστορικά δεδομένα ισοζυγίου

Για την καλύτερη κατανόηση των παραπάνω, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της λειτουργίας του ταμιευτήρα Πλαστήρα με χρήση των ιστορικών υδρολογικών εισροών, οι οποίες καλύπτουν μια περίοδο 40 υδρολογικών ετών (1961-62 έως 2000-01). Για το σκοπό αυτό ορίστηκαν οι τέσσερις τυπικές τιμές ελάχιστης στάθμης του εδαφίου 4.5.3 (+780, +782, +784 και +786 m), καθώς και οι αντίστοιχες τιμές της ετήσιας ασφαλούς απόληξης, ήτοι 137.9, 134.0, 127.5 και 117.3 hm³ (σενάρια I₁, I₂, I₃ και I₄).

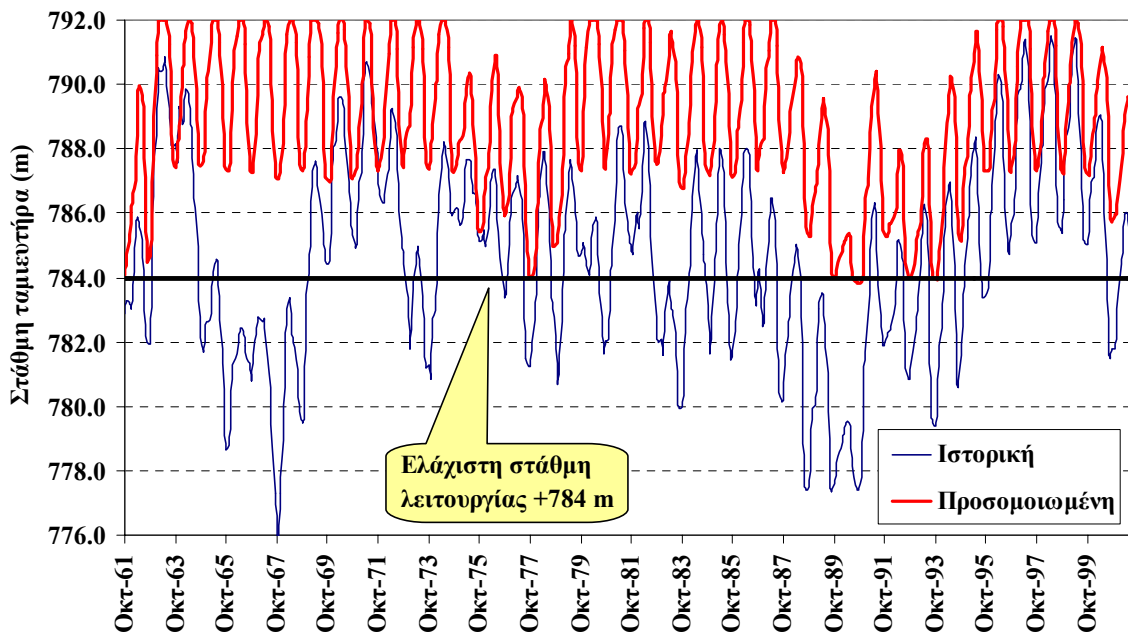
Στα Σχήματα 4.14 έως 4.17 απεικονίζεται η προσομοιωμένη χρονοσειρά στάθμης για κάθε ένα από τα τέσσερα σενάρια λειτουργίας του ταμιευτήρα. Για λόγους σύγκρισης, απεικονίζεται και η αντίστοιχη ιστορική διακύμανση της στάθμης. Είναι φανερό ότι η εφαρμογή της προτεινόμενης πολιτικής διαχείρισης, η οποία επιβάλλει σταθερή ετήσια απόληψη και διατήρηση της στάθμης πάνω από το εκάστοτε ελάχιστο όριο, διαφοροποιεί σημαντικά την υπερετήσια διακύμανση της στάθμης, σε σχέση με το ιστορικό καθεστώς. Έτσι, όσο αυστηρότερο τίθεται το όριο αυτό, τόσο περισσότερο περιορίζεται η διακύμανση της στάθμης. Ακόμη, για ένα μεγάλο εύρος της περιόδου προσομοίωσης, η στάθμη του ταμιευτήρα κυμαίνεται αρκετά πάνω από τα επίπεδα της ελάχιστης επιτρεπόμενης τιμής, ενώ υποχωρεί στα όρια του ελάχιστου ορίου λειτουργίας μόνο κατά την περίοδο της έμμονης ξηρασίας των αρχών της δεκαετίας του 1990. Στο Σχήμα 4.18 απεικονίζονται οι σχέσεις στάθμης - πιθανότητας υπέρβασης για τα τέσσερα εικονικά καθώς και το ιστορικό σενάριο λειτουργίας του ταμιευτήρα. Είναι χαρακτηριστικό ότι, ιστορικά, η συχνότητα υπέρβασης της στάθμης +787 m δεν ξεπέρασε το 25%, ενώ η αντίστοιχη συχνότητα ακόμη και για το δυσμενέστερο από τα τέσσερα σενάρια (δηλαδή αυτό το οποίο προϋποθέτει ελάχιστη στάθμη λειτουργίας +780 m) φτάνει το 62%.



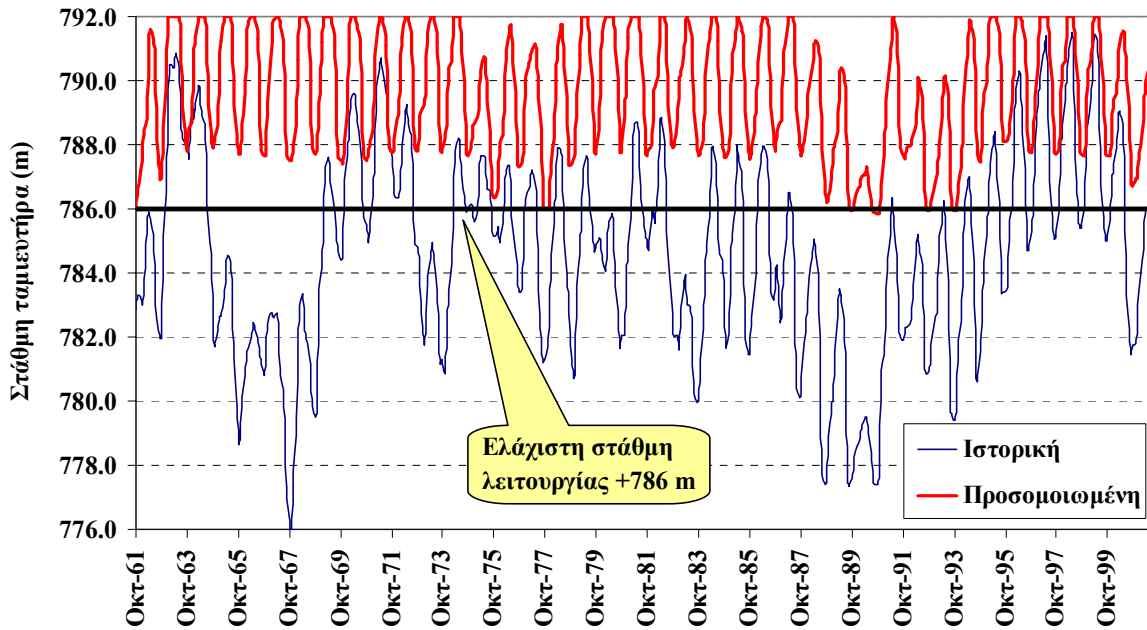
Σχήμα 4.14: Σύγκριση της ιστορικής με την προσομοιωμένη χρονοσειρά στάθμης του ταμιευτήρα, για ελάχιστη στάθμη λειτουργίας +780 m, με ετήσια ονομαστική απόληψη 137.9 hm³ (Σενάριο I₁).



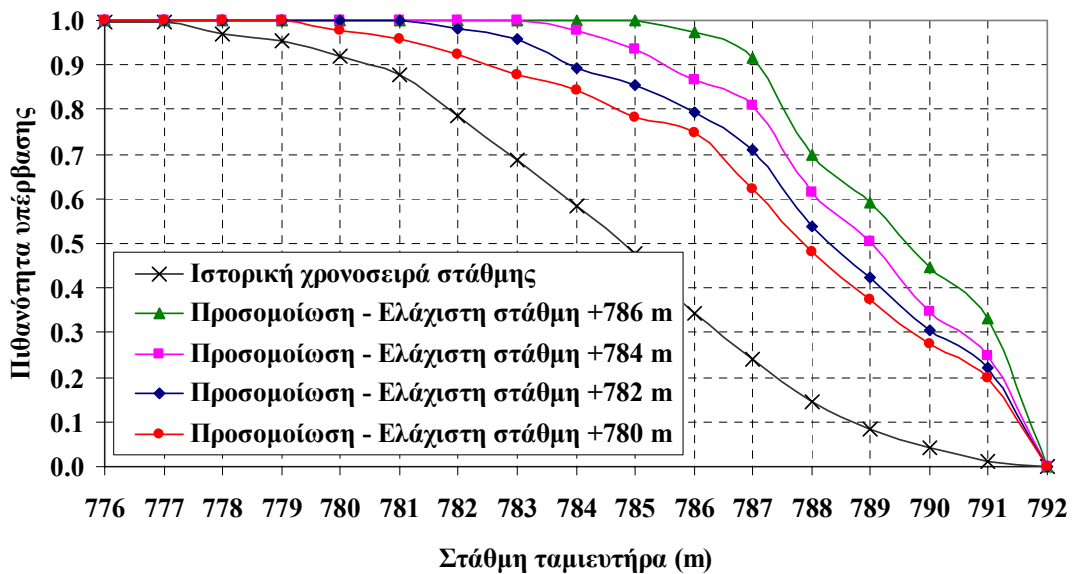
Σχήμα 4.15: Σύγκριση της ιστορικής με την προσομοιωμένη χρονοσειρά στάθμης του ταμιευτήρα, για ελάχιστη στάθμη λειτουργίας +782 m, με ετήσια ονομαστική απόληψη 134.0 hm³ (Σενάριο I₂).



Σχήμα 4.16: Σύγκριση της ιστορικής με την προσομοιωμένη χρονοσειρά στάθμης του ταμιευτήρα, για ελάχιστη στάθμη λειτουργίας +784 m, με ετήσια ονομαστική απόληψη 127.5 hm³ (Σενάριο I₃).

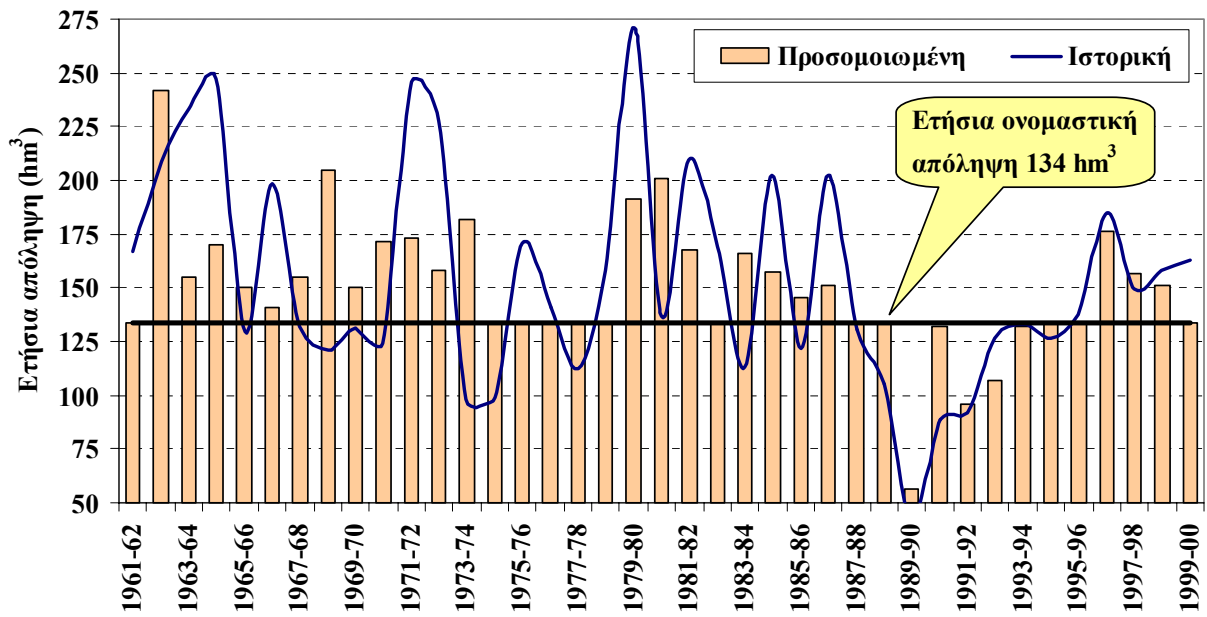


Σχήμα 4.17: Σύγκριση της ιστορικής με την προσομοιωμένη χρονοσειρά στάθμης του ταμιευτήρα, για ελάχιστη στάθμη λειτουργίας +786 m, με ετήσια ονομαστική απόληψη 117.3 hm³ (Σενάριο Ι₄).



Σχήμα 4.18: Γραφική παράσταση της σχέσης στάθμης - πιθανότητας υπέρβασης για το ιστορικό και τα τέσσερα προσομοιωμένα σενάρια λειτουργίας του ταμιευτήρα.

Τα πλεονεκτήματα της προτεινόμενης πολιτικής διαχείρισης ως προς την υδρολογική επίδοση του ταμιευτήρα φαίνονται και στο Σχήμα 4.19, όπου απεικονίζεται η ετήσια ιστορική χρονοσειρά απολήψεων με την προσομοιωμένη, η οποία αντιστοιχεί σε ένα από τα σενάρια λειτουργίας, και συγκεκριμένα αυτό το οποίο προϋποθέτει ελάχιστη στάθμη στα +782 m. Παρατηρείται ότι για ετήσια ονομαστική απόληψη 134.0 hm³, μόλις σε 3 από τα 40 υδρολογικά έτη προκύπτει έλλειμμα ζήτησης (ποσοστό 7.5%). Αντίθετα, με βάση το ιστορικό καθεστώς των απολήψεων, παρουσιάζεται έλλειμμα ως προς το αντίστοιχο επίπεδο ζήτησης σχεδόν μία φορά στα δύο υδρολογικά έτη.



Σχήμα 4.19: Σύγκριση της ιστορικής με την προσομοιωμένη ετήσια εκροή από τον ταμιευτήρα, για ελάχιστη στάθμη λειτουργίας +782 m, με ετήσια ονομαστική απόληψη 134.0 hm³ (Σενάριο I₂).

5 Συμπεράσματα

Τα βασικά συμπεράσματα της παρούσας μελέτης συνοψίζονται στα εξής:

- Η λεκάνη απορροής ανάντη του φράγματος Πλαστήρα, έκτασης 161.3 km^2 , διαθέτει ένα ιδιαίτερα πλούσιο υδατικό δυναμικό. Η μέση ετήσια καθαρή εισροή στον ταμιευτήρα ανέρχεται σε 153.2 hm^3 , εκ των οποίων τα 146.6 hm^3 οφείλονται στην απορροή, ενώ τα υπόλοιπα 6.6 hm^3 οφείλονται στη διαφορά μεταξύ επιφανειακής βροχόπτωσης και εξάτμισης. Το μέσο ετήσιο ύψος απορροής φτάνει τα 1028.9 mm , και είναι συγκρίσιμο με τα αντίστοιχα ύψη απορροής που παρατηρούνται στη λεκάνη του Αχελώου, στην οποία εντάσσεται υδρολογικά η λεκάνη του Πλαστήρα. Όσον αφορά τη βροχόπτωση στη λεκάνη, δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για τον υπολογισμό της. Χονδροειδώς πάντως, εκτιμάται ότι αυτή ξεπερνά τα 1500 mm .
- Ο ταμιευτήρας Πλαστήρα, αν και σχεδιάστηκε ως υδροηλεκτρικό έργο (με εντυπωσιακό για τα ελληνικά δεδομένα μάλιστα ύψος πτώσης, που κατά μέγιστο φτάνει τα 577 m), εδώ και αρκετά χρόνια λειτουργεί ως έργο αρδευτικού, κατά βάση, σκοπού. Το υφιστάμενο καθεστώς λειτουργίας του ταμιευτήρα χαρακτηρίζεται από ανορθολογική διαχείρισή του, με απολήψεις που εξαρτώνται άμεσα από τις υδρολογικές εισροές. Ως εκ τούτου, ο ταμιευτήρας δεν καλύπτει συγκεκριμένη ζήτηση νερού, αλλά αντίθετα η ζήτηση διαμορφώνεται ανάλογα με την υδροφορία του εκάστοτε υδρολογικού έτους, αναιρώντας έτσι τον ρυθμιστικό χαρακτήρα ενός τέτοιου έργου.
- Η προτεινόμενη πολιτική διαχείρισης συνίσταται στον καθορισμό συγκεκριμένου και σταθερού στόχου ετήσιας απόληψης, ο οποίος θα πρέπει να τηρείται ανεξαρτήτως των υδρολογικών συνθηκών. Επιπλέον, προϋποθέτει την επιβολή ενός ορίου ελάχιστης στάθμης λειτουργίας του ταμιευτήρα, έτσι ώστε να ικανοποιούνται διάφορα ποιοτικά και αισθητικά κριτήρια, με τα οποία θα εξασφαλίζεται η προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος και του τοπίου της λίμνης.
- Μέσω στοχαστικής προσομοίωσης, διερευνήθηκαν όλα τα δυνατά σενάρια ελάχιστης στάθμης, μεταξύ της στάθμης υδροληψίας ($+776 \text{ m}$) και της στάθμης των $+790 \text{ m}$, με πύκνωση ανά 1 m . Συγκεκριμένα, αναζητήθηκε η τιμή του στόχου ετήσιας απόληψης με την οποία εξασφαλίζεται αξιοπιστία 90 και 80% ως προς την ικανοποίηση των αρδευτικών και υδρευτικών αναγκών. Από την ανάλυση προέκυψαν τα διαγράμματα του Σχήματος 4.10, στα οποία απεικονίζεται η σχέση ελάχιστης στάθμης - ονομαστικής απόληψης, για τα δύο παραπάνω επίπεδα αξιοπιστίας. Από τα διαγράμματα διαφαίνεται ότι η υδρολογική επίδοση του ταμιευτήρα, εκφρασμένη με όρους ασφαλούς απόληψης, μειώνεται με έντονο ρυθμό μετά το όριο των $+786 \text{ m}$, ενώ αντίθετα βελτιώνεται με βραδύ ρυθμό κάτω από το όριο των $+782 \text{ m}$. Κατά συνέπεια, από υδρολογική σκοπιά, η τιμή των $+782 \text{ m}$ είναι ικανοποιητική ώστε να θεσπιστεί ως όριο ελάχιστης στάθμης, ενώ η τιμή των $+786 \text{ m}$ μπορεί να θεωρηθεί οριακά αποδεκτή.
- Θέτοντας την ελάχιστη στάθμη λειτουργίας στα $+782 \text{ m}$ μπορούν να εξασφαλιστούν 134.0 ή 144.4 hm^3 ετησίως, με αξιοπιστία 90 και 80% αντίστοιχα. Τα αντίστοιχα μεγέθη για όριο ελάχιστης στάθμης στα $+786 \text{ m}$ μειώνονται σε 117.3 και $126.5 \text{ hm}^3/\text{έτος}$. Σημειώνεται ότι οι υφιστάμενες υδατικές ανάγκες, οι οποίες εκτιμώνται σε $160 \text{ hm}^3/\text{έτος}$ (145 hm^3 άρδευση, 15 hm^3 ύδρευση), είναι αδύνατο να καλυφθούν, ανεξαρτήτως ελαχίστου ορίου στάθμης, δεδομένου ότι ξεπερνούν ακόμα και τη μέση ετήσια καθαρή εισροή των 153.2 hm^3 . Ωστόσο, η εγγυημένη σταθερή απόληψη των $134.0 \text{ hm}^3/\text{έτος}$ επαρκεί για να ικανοποιήσει τις πραγματικές ανάγκες της περιοχής μελέτης, εφόσον συνοδευτεί από κατάλληλα μέτρα εξοικονόμησης νερού.
- Η υδρολογική συμβολή του έργου εκτροπής του ποταμού Κερασιώτη στο υδατικό δυναμικό του ταμιευτήρα δεν προβλέπεται να ξεπεράσει τα $4-6 \text{ hm}^3/\text{έτος}$, ανάλογα με το αν οριστεί υψηλή ή

χαμηλή ελάχιστη στάθμη. Μάλιστα, παρόλο που η εκτίμηση της παροχής του Κερασιώτη έχει γίνει βάσει χονδροειδών και μόνο παραδοχών, ακόμη και μια ακριβέστερη προσέγγιση δεν αναμένεται να διαφοροποιήσει θεαματικά τα αποτελέσματα.

- Η θέσπιση του ορίου ελάχιστης στάθμης, σε συνδυασμό με τη σταθεροποίηση της απόληψης, αναμένεται να περιορίσει σε μεγάλο βαθμό τις έντονες διακυμάνσεις της στάθμης σε σχέση με το ιστορικό προηγούμενο. Μάλιστα, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο διάγραμμα του Σχήματος 4.13, κατά τη διάρκεια του 90% του χρόνου, η στάθμη του ταμιευτήρα θα κυμαίνεται 3 τουλάχιστον μέτρα πάνω από το αντίστοιχο ελάχιστο όριο λειτουργίας, ενώ θα πλησιάζει το εν λόγω όριο μόνο κατά τις περιόδους έμμονης ξηρασίας.

Αναφορές

- Ειδική Υπηρεσία Δημοσίων Έργων Αχελώου και Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Μελέτη υδατικών συστημάτων, *Συνολική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων της Εκτροπής Αχελώου*, Αθήνα, 1995.
- ΕΠΕΜ, Ειδική περιβαλλοντική μελέτη περιοχής λίμνης Ν. Πλαστήρα Ν. Καρδίτσας, *Προστασία και διαχείριση περιοχής λίμνης Ν. Πλαστήρα Ν. Καρδίτσας*, Επιχειρησιακό Πρόγραμμα "Περιβάλλον", Εργοδότες: Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Δήμος Καρδίτσας και Αναπτυξιακή Καρδίτσας Α.Ε., 1997.
- Ευστρατιάδης, Α., και Δ. Κουτσογιάννης, Κασταλία: Σύστημα στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών μεταβλητών, *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τεύχος 9, 70 σελίδες, Αθήνα, Δεκέμβριος 2000.
- Κουτσογιάννης, Δ., Α. Ευστρατιάδης, και Ν. Μαμάσης, Αποτίμηση του επιφανειακού υδατικού δυναμικού και των δυνατοτήτων εκμετάλλευσής του στη λεκάνη του Αχελώου και τη Θεσσαλία, Κεφ. 5 της Μελέτης υδατικών συστημάτων, *Συμπληρωματική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων εκτροπής του Αχελώου προς τη Θεσσαλία*, Εργοδότης: Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Υδροεξυγιαντική, Συνεργαζόμενοι: Δ. Κουτσογιάννης, 2001.
- Κουτσογιάννης, Δ., Ν. Μαμάσης, και Ι. Ναλμπάντης, Αποτίμηση του επιφανειακού υδατικού δυναμικού και των δυνατοτήτων εκμετάλλευσής του στη λεκάνη του Αχελώου και τη Θεσσαλία, Κεφ. 5 της Μελέτης υδατικών συστημάτων, *Συνολική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων της Εκτροπής Αχελώου*, Ειδική Υπηρεσία Δημοσίων Έργων Αχελώου - Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων - Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Συνεργαζόμενοι: Υδροεξυγιαντική, 150 σελίδες, Αθήνα, 1995.
- Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.
- Ναλμπάντης, Ι., και Δ. Κουτσογιάννης, Τελική Έκθεση, *Αναβάθμιση και επικαιροποίηση της υδρολογικής πληροφορίας της Θεσσαλίας*, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τεύχος 4, 78 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 1997.
- Ξανθοπούλου, Ε., Ν. Μαμάσης, Αναστασοπούλου, και Αλεξοπούλου, Επικαιροποίηση υδρομετεωρολογικών δεδομένων, *Αναβάθμιση και επικαιροποίηση της υδρολογικής πληροφορίας της Θεσσαλίας*, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τεύχος 1, 240 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 1997.
- Ομάδα ερευνητικού έργου ΥΒΕΤ96, Σχέδιο προγράμματος διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας, Ταξινόμηση ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων των υδατικών πόρων με βάση τις αποδελτιωμένες μελέτες του ΥΒΕΤ, με χρήση συστημάτων γεωγραφικής πληροφορίας, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 339 σελίδες, Υπουργείο Ανάπτυξης, Αθήνα, Νοέμβριος 1996.

Σαργέντης, Γ.-Φ., και Α. Χριστοφίδης, Το τοπίο της λίμνης, *Διερεύνηση των δυνατοτήτων διαχείρισης και προστασίας της ποιότητας της Λίμνης Πλαστήρα*, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τεύχος 4, 39 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιανουάριος 2002.

Koutsoyiannis, D., A generalized mathematical framework for stochastic simulation and forecast of hydrologic time series, *Water Resources Research*, 36(6), 1519-1533, 2000.

Koutsoyiannis, D., and A. Manetas, Simple disaggregation by accurate adjusting procedures, *Water Resources Research*, 32(7), 2105-2117, 1996.

Koutsoyiannis, D., Optimal decomposition of covariance matrices for multivariate stochastic models in hydrology, *Water Resources Research*, 35(4), 1219-1229, 1999.

Παράρτημα Α: Υδρομετεωρολογικά δεδομένα

Πίνακας Α.1: Μέση μηνιαία θερμοκρασία στον σταθμό του φράγματος (mm).

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
1960-61				2.2	2.6	5.8	12.3	15.2	19.1	21.2	21.2	17.3	
1961-62	11.9	10.9	4.1	3.3	0.3	4.9	9.7	16.6	18.4	22.1	22.5	18.4	11.9
1962-63	11.5	10.0	3.3	4.0	2.9	3.2	8.2	10.3	15.8	20.0	22.2	18.1	10.8
1963-64	12.4	11.2	6.5	0.7	2.7	6.5	8.6	13.6	18.3	19.9	19.1	16.2	11.3
1964-65	12.9	8.8	5.2	3.7	-0.6	5.3	7.5	12.7	18.5	22.1	19.5	18.1	11.1
1965-66	11.0	8.7	6.9	1.5	8.0	3.9	10.6	13.1	18.5	21.3	22.3	16.4	11.9
1966-67	14.6	8.9	4.5	1.2	2.4	5.9	8.5	15.1	16.7	19.5	21.8	15.4	11.2
1967-68	13.7	8.0	3.6	-0.4	4.5	3.9	11.1	17.9	17.4	22.2	19.2	16.9	11.5
1968-69	11.3	7.9	2.5	1.4	4.2	4.3	7.6	17.8	20.9	19.8	21.7	17.9	11.4
1969-70	10.7	10.8	3.9	4.6	3.3	6.9	11.1	13.3	18.7	21.3	24.1	16.9	12.1
1970-71	11.3	8.9	3.9	3.5	1.4	2.8	8.9	18.2	20.4	20.0	22.8	15.5	11.5
1971-72	8.1	5.2	3.8	1.7	1.7	5.0	10.0	14.2	20.6	20.3	21.1	15.1	10.6
1972-73	9.2	8.5	1.4	-1.7	1.5	0.1	7.3	16.3	18.2	23.2	19.3	17.6	10.1
1973-74	12.7	6.9	4.7	1.3	3.9	5.1	7.3	13.2	18.6	20.9	20.7	16.9	11.0
1974-75	12.9	7.2	3.6	2.2	1.2	6.3	10.5	15.1	17.6	20.3	19.1	18.5	11.2
1975-76	11.9	6.7	2.3	2.1	0.4	3.9	9.3	13.4	17.1	19.5	17.8	15.9	10.0
1976-77	12.8	6.9	3.0	3.1	7.9	7.3	9.3	16.1	19.2	22.7	21.0	16.1	12.1
1977-78	10.7	10.2	-0.5	0.5	4.6	5.8	8.1	13.6	18.8	21.0	19.5	15.1	10.6
1978-79	10.8	4.0	5.8	2.0	4.2	7.5	8.5	14.0	19.3	20.3	20.4	17.3	11.2
1979-80	11.8	8.5	5.5	-0.3	1.6	4.9	8.2	13.4	18.2	21.4	21.0	17.5	11.0
1980-81	12.7	9.9	3.1	-0.8	2.4	7.9	9.7	12.6	21.1	20.9	20.0	17.7	11.4
1981-82	15.0	5.4	5.7	3.1	0.3	4.6	10.7	12.7	19.7	21.5	22.0	19.2	11.7
1982-83	13.3	5.7	5.4	2.6	2.9	6.4	13.8	16.9	17.9	19.6	18.7	16.1	11.6
1983-84	12.1	6.4	3.6	4.1	3.2	3.8	7.2	13.8	17.4	19.7	17.8	16.6	10.5
1984-85	14.2	7.3	2.6										
M. O.	12.1	8.0	3.9	1.9	2.8	5.1	9.3	14.5	18.6	20.9	20.6	16.9	11.2
T. A.	1.6	1.9	1.6	1.7	2.1	1.7	1.7	2.0	1.3	1.1	1.6	1.1	0.6

Πίνακας Α.2: Μηνιαίο ύψος δυνητικής εξατμοδιαπνοής στην περιοχή μελέτης, υπολογισμένο με τη μέθοδο Thornwaite (mm).

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
1960-61	47.8	24.6	9.6	4.7	5.7	19.9	56.4	83.1	112.4	130.8	122.3	82.6	699.9
1961-62	45.8	35.5	9.5	7.4	0.3	15.2	40.3	91.9	106.1	137.4	131.5	88.5	709.5
1962-63	48.1	35.3	9.1	11.8	8.0	11.1	36.9	54.4	91.6	123.7	131.0	90.0	651.0
1963-64	51.3	39.4	19.6	1.3	6.8	24.7	37.6	74.4	108.1	122.0	108.4	77.6	671.4
1964-65	53.6	29.0	14.7	9.9		19.0	31.5	68.0	109.4	138.8	111.0	88.8	673.7
1965-66	42.6	27.4	19.9	2.9	24.5	12.0	46.7	68.8	108.0	131.7	130.6	77.3	692.4
1966-67	62.8	29.6	12.4	2.5	5.8	21.9	37.0	84.6	96.5	119.0	127.6	72.9	672.7
1967-68	56.6	24.9	8.7		11.8	12.1	49.7	102.9	100.0	139.0	107.9	80.4	694.0
1968-69	44.3	24.4	5.5	2.7	10.8	13.8	30.7	102.2	126.5	120.1	126.2	86.6	693.7
1969-70	40.0	35.3	9.0	11.5	7.4	24.1	48.4	68.9	108.6	131.0	144.0	79.3	707.5
1970-71	44.2	28.3	9.6	8.6	2.7	7.9	37.5	105.1	122.6	121.6	134.4	72.0	694.7
1971-72	31.7	16.2	10.9	4.3	4.2	19.0	46.9	80.1	126.0	126.0	123.3	72.5	661.1
1972-73	36.6	28.9	3.2		3.6	0.2	31.8	94.2	108.4	147.7	110.6	86.9	652.0
1973-74	53.3	22.0	13.4	2.9	10.9	18.7	31.2	72.3	110.7	129.9	120.0	82.2	667.6
1974-75	53.7	22.7	9.4	5.2	2.4	23.6	47.9	84.4	102.9	124.9	108.3	91.3	676.9
1975-76	52.1	23.5	6.8	6.3	0.9	15.6	45.3	77.2	102.7	121.4	102.3	78.9	633.1
1976-77	50.8	19.6	6.4	6.9	23.4	26.0	38.5	88.6	112.5	142.5	120.3	74.5	710.0
1977-78	44.0	36.1		1.0	13.8	22.5	36.2	75.8	112.8	131.1	112.1	72.3	657.7
1978-79	43.5	11.1	17.2	4.8	11.8	29.7	37.3	77.3	115.6	125.2	117.7	84.4	675.5
1979-80	48.3	28.0	16.0		3.6	17.5	35.5	73.1	107.5	133.5	121.9	85.4	670.3
1980-81	51.4	32.5	7.2		5.3	30.0	42.0	65.8	128.1	128.7	113.7	85.4	690.2
1981-82	62.9	14.5	15.2	7.1	0.3	14.5	46.7	65.5	116.7	133.0	128.0	94.2	698.6
1982-83	55.1	16.4	15.0	6.1	7.0	23.4	66.4	96.3	104.3	119.0	104.8	76.2	690.1
1983-84	52.4	21.7	10.9	13.0	9.7	14.6	33.0	78.9	104.1	122.4	101.6	82.3	644.6
M. O.	48.9	26.1	11.3	6.0	7.9	18.2	41.3	80.6	110.1	129.2	119.1	81.8	678.7
T. A.	7.4	7.4	4.4	3.5	6.4	7.0	8.7	13.2	9.2	7.8	11.2	6.5	21.4

Σημείωση: Όπου υπάρχει κενό σημαίνει ότι η μέση μηνιαία θερμοκρασία ήταν μικρότερη του μηδενός, και συνεπώς δεν ήταν δυνατή η εφαρμογή της μεθόδου Thornwaite.

Πίνακας Α.3: Μηνιαίο ύψος εξάτμισης από τον ταμιευτήρα Πλαστήρα, όπως προκύπτει με αύξηση των τιμών δυναμικής εξατμοδιαπνοής κατά 40% (mm).

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
1960-61	66.9	34.5	13.4	6.5	8.0	27.9	78.9	116.4	157.4	183.1	171.2	115.6	979.9
1961-62	64.2	49.7	13.4	10.3	0.4	21.3	56.4	128.6	148.5	192.4	184.1	123.9	993.3
1962-63	67.3	49.5	12.8	16.6	11.2	15.5	51.6	76.2	128.3	173.1	183.4	126.0	911.4
1963-64	71.9	55.1	27.5	1.8	9.5	34.6	52.7	104.1	151.4	170.8	151.8	108.7	939.9
1964-65	75.1	40.6	20.6	13.9	0.0	26.6	44.0	95.2	153.1	194.3	155.4	124.3	943.1
1965-66	59.6	38.4	27.8	4.0	34.3	16.9	65.4	96.4	151.3	184.4	182.8	108.2	969.3
1966-67	87.9	41.5	17.4	3.5	8.2	30.7	51.8	118.4	135.2	166.5	178.7	102.1	941.8
1967-68	79.2	34.8	12.2	0.0	16.5	17.0	69.6	144.1	140.0	194.5	151.0	112.6	971.6
1968-69	62.0	34.1	7.7	3.8	15.2	19.3	43.0	143.1	177.1	168.1	176.7	121.3	971.2
1969-70	56.1	49.4	12.6	16.2	10.4	33.7	67.7	96.4	152.0	183.4	201.6	111.1	990.5
1970-71	61.9	39.7	13.5	12.1	3.7	11.1	52.5	147.2	171.6	170.2	188.1	100.8	972.6
1971-72	44.3	22.7	15.2	6.0	5.9	26.6	65.7	112.2	176.4	176.3	172.6	101.5	925.5
1972-73	51.2	40.5	4.5	0.0	5.0	0.2	44.6	131.8	151.7	206.8	154.8	121.6	912.7
1973-74	74.7	30.8	18.8	4.0	15.3	26.2	43.7	101.2	155.0	181.9	168.0	115.1	934.7
1974-75	75.2	31.7	13.1	7.3	3.4	33.1	67.1	118.2	144.0	174.9	151.6	127.9	947.7
1975-76	73.0	32.9	9.5	8.8	1.3	21.9	63.4	108.0	143.8	170.0	143.2	110.5	886.3
1976-77	71.1	27.5	9.0	9.7	32.7	36.4	53.8	124.1	157.5	199.5	168.4	104.3	994.0
1977-78	61.6	50.6	0.0	1.4	19.3	31.6	50.7	106.2	157.9	183.5	156.9	101.3	920.8
1978-79	60.9	15.6	24.0	6.7	16.5	41.6	52.2	108.2	161.9	175.2	164.8	118.1	945.7
1979-80	67.7	39.3	22.4	0.0	5.0	24.5	49.7	102.3	150.4	186.9	170.7	119.6	938.4
1980-81	72.0	45.6	10.1	0.0	7.4	42.0	58.8	92.1	179.3	180.2	159.2	119.6	966.3
1981-82	88.0	20.3	21.3	9.9	0.5	20.3	65.4	91.7	163.3	186.2	179.3	131.9	978.0
1982-83	77.1	23.0	21.0	8.6	9.8	32.8	93.0	134.8	146.1	166.6	146.8	106.7	966.2
1983-84	73.4	30.4	15.2	18.2	13.5	20.4	46.2	110.5	145.8	171.3	142.3	115.2	902.4
M. O.	68.4	36.6	15.1	7.1	10.5	25.5	57.8	112.8	154.1	180.8	166.8	114.5	950.1
T. A.	10.4	10.4	6.9	5.5	9.0	9.8	12.2	18.5	12.8	10.9	15.7	9.1	30.0

Πίνακας Α.4: Μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης στον βροχομετρικό σταθμό Μούχας (mm).

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
1960-61	73.2	175.4	291.1	210.6	113.2	166.6	117.7	44.8	27.2	34.1	31.6	21.0	1306.6
1961-62	198.9	170.3	189.7	160.7	147.5	189.7	90.0	51.0	30.8	11.9	11.5	143.4	1395.4
1962-63	262.3	237.0	266.9	295.6	196.9	158.8	123.1	85.1	42.3	16.2	44.4	19.0	1747.7
1963-64	239.5	154.0	209.8	153.5	118.4	244.2	88.2	98.1	53.9	18.4	19.2	102.4	1499.6
1964-65	80.0	192.4	241.3	173.7	133.7	160.4	132.2	82.0	77.3	12.3	13.1	18.4	1316.9
1965-66	72.5	180.6	176.1	318.6	110.0	139.5	100.6	62.6	71.4	8.9	34.8	39.2	1314.9
1966-67	59.2	237.0	138.1	157.3	104.8	105.8	99.3	59.1	13.6	26.9	18.2	78.9	1098.2
1967-68	58.6	138.6	232.2	240.9	131.3	134.6	89.1	92.1	28.8	8.4	32.5	23.0	1210.1
1968-69	165.6	173.6	350.3	178.1	152.6	197.0	86.7	27.3	12.8	8.4	13.4	82.5	1448.3
1969-70	43.1	150.7	276.1	129.1	113.0	148.6	84.6	52.5	26.5	31.1	41.0	34.9	1131.3
1970-71	93.7	154.5	162.0	169.8	149.8	218.3	105.7	21.3	29.0	17.0	19.3	51.9	1192.3
1971-72	124.5	157.6	148.9	232.1	157.3	115.9	146.4	38.5	60.7	29.2	47.0	76.1	1334.2
1972-73	175.6	140.9	100.4	215.5	129.5	208.0	106.8	20.9	13.8	16.4	50.4	44.9	1223.1
1973-74	194.8	150.9	214.6	76.8	208.0	106.0	252.6	68.8	63.1	0.0	0.0	87.5	1423.1
1974-75	190.9	186.2	56.0	5.2	87.9	140.9	90.2	60.2	129.8	7.4	48.1	6.1	1008.9
1975-76	82.9	200.6	176.4	86.8	223.3	113.7	139.6	41.7	26.9	29.5	21.6	11.7	1154.7
1976-77	154.7	174.8	385.8	69.7	58.0	17.2	38.4	24.6	30.4	0.0	7.2	65.1	1025.9
1977-78	27.0	125.2	272.8	249.9	169.4	99.3	141.1	49.2	22.2	0.0	5.5	172.9	1334.5
1978-79	105.4	156.6	222.2	280.1	226.7	62.5	208.7	172.3	22.6	26.3	17.3	33.6	1534.3
1979-80	386.5	220.0	232.6	290.8	131.2	150.4	94.1	95.9	37.2	0.0	18.5	31.5	1688.7
1980-81	404.0	151.1	239.1	364.0	154.7	38.8	121.0	74.5	11.5	6.5	47.8	119.7	1732.7
1981-82	149.6	157.7	328.5	79.3	203.7	335.4	97.1	159.5	18.8	16.2	17.3	58.3	1621.4
1982-83	101.3	212.1	222.3	35.0	189.2	121.5	41.0	26.7	203.4	82.6	11.3	35.2	1281.6
1983-84	121.8	222.9	196.9	153.6	214.3	158.3	244.6	82.3	24.0	20.2	100.1	41.4	1580.4
1984-85	3.2	181.7	270.1	465.9	75.5	555.3	166.2	15.2	16.5	0.0	3.6	4.2	1757.4
1985-86	213.1	318.4	153.0	222.4	252.5	173.9	174.9	92.8	94.0	49.3	36.5	44.3	1825.1
1986-87	282.0	69.9	123.6	196.0	87.1	278.2	112.0	43.5	42.2	0.0	50.7	0.0	1285.2
1987-88	120.2	174.7	124.4	127.5	98.5	69.5	38.0	38.6	15.0	0.0	0.0	0.6	807.0
1988-89	31.0	237.5	175.7	17.5	157.5	177.7	71.5	65.0	14.8	36.1	2.6	21.5	1008.4
1989-90	179.5	102.4	141.4	10.7	43.2	16.7	129.8	139.0	7.0	7.0	139.0	24.3	940.0
1990-91	72.5	188.0	371.0	158.8	122.8	109.5	182.6	97.0	7.0	31.2	38.0	7.5	1385.9
1991-92	65.5	188.1	80.4	100.7	57.5	100.7	213.0	96.7	79.5	29.8	7.4	30.3	1049.7
1992-93	167.8	162.7	160.0	204.0	160.1	143.5	102.7	98.2	27.2	12.3	10.9	20.2	1269.4
1993-94	59.1	172.8	201.2	167.3	170.7	174.8	119.5	68.7	32.2	32.8	29.1	36.5	1264.6
1994-95	325.1	202.2	174.7	220.6	116.7	148.7	103.3	80.0	33.1	57.5	37.8	83.9	1583.6
1995-96	87.1	151.0	247.4	163.4	223.2	146.7	112.8	53.5	27.1	32.9	45.0	65.4	1355.4
1996-97	251.9	182.3	313.0	328.9	84.1	106.4	102.5	135.6	32.6	0.0	37.1	54.1	1628.5
1997-98	112.7	212.6	262.3	94.8	178.8	87.0	107.4	115.2	39.6	0.0	37.2	50.1	1297.6
1998-99	65.8	205.6	279.4	104.7	133.5	160.5	126.1	63.3	26.2	25.7	38.7	45.1	1274.6
1999-00	70.4	197.6	179.3	97.4	138.8	113.1	78.7	46.3	30.4	25.0	21.5	41.0	1039.5
2000-01	136.2	136.2	144.2	151.0	127.4	102.7	110.4	51.5	28.1				
M. O.	141.7	178.2	213.0	174.6	142.7	151.1	119.3	70.5	39.8	19.2	30.2	48.2	1334.4
T. A.	94.8	41.7	76.5	99.1	50.3	90.0	48.5	37.1	36.4	17.8	26.3	38.3	246.4

Σημείωση: Με πλάγια γράμματα απεικονίζονται οι τιμές που έχουν υπολογιστεί μέσω γραμμικής συσχέτισης με τη μηνιαία χρονοσειρά βροχόπτωσης στον σταθμό του ΥΗΣ Πλαστήρα (υδρολογικά έτη 1960-61 έως 1992-93) και τη μηνιαία χρονοσειρά καθαρών εισροών στον ταμιευτήρα (υδρολογικά έτη 1993-94 έως 2000-01).

Πίνακας Α.5: Μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης στον βροχομετρικό σταθμό ΥΗΣ Πλαστήρα (mm).

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
1960-61	60.6	150.3	241.0	144.5	74.5	116.1	107.2	47.5	24.6	40.8	27.0	19.0	1053.1
1961-62	200.8	141.0	146.7	93.9	125.9	131.7	73.3	53.9	27.5	12.7	4.5	136.8	1148.7
1962-63	271.5	264.2	218.5	230.9	199.7	110.8	113.8	88.6	37.2	18.1	41.2	17.1	1611.6
1963-64	246.0	111.0	165.3	86.6	82.2	168.5	71.1	101.8	46.8	20.9	13.1	97.4	1210.7
1964-65	68.2	181.9	194.7	107.1	105.1	111.9	125.0	85.4	66.3	13.2	6.3	16.6	1081.6
1965-66	78.7	140.1	134.0	98.6	69.7	97.8	95.9	45.4	62.0	14.2	17.9	46.7	900.9
1966-67	107.8	167.2	167.2	53.9	74.1	65.5	91.9	62.1	13.2	47.4	17.6	44.8	912.6
1967-68	54.0	82.5	120.1	55.4	77.4	72.3	75.1	62.2	66.2	11.1	7.4	63.7	747.4
1968-69	163.6	139.3	237.5	81.6	138.3	143.5	65.3	45.0	19.3	17.2	21.8	69.5	1141.9
1969-70	30.3	94.1	180.8	114.4	111.0	89.4	67.3	72.7	42.2	40.0	8.1	16.6	866.7
1970-71	27.4	81.0	154.5	73.6	161.3	198.2	72.2	43.1	27.8	12.8	10.8	48.2	911.0
1971-72	91.0	189.0	98.0	134.0	101.0	100.0	214.0	73.0	20.0	45.0	39.0	42.0	1146.0
1972-73	226.0	30.0	50.0	97.3	154.6	153.8	17.7	42.7	26.3	29.4	22.9	41.5	892.2
1973-74	268.4	103.5	182.4	70.9	270.2	149.1	240.9	70.9	61.7	2.0	2.0	75.0	1497.0
1974-75	207.6	196.4	48.0	18.1	123.3	84.0	99.5	64.8	129.2	8.0	40.6	0.0	1019.5
1975-76	92.5	212.1	161.6	124.0	175.9	123.7	156.8	47.8	25.9	17.0	25.0	14.0	1176.3
1976-77	139.6	172.2	303.8	45.8	53.5	16.1	54.5	24.4	31.0	0.0	7.0	94.9	942.8
1977-78	47.1	199.8	189.9	114.2	177.0	75.3	142.4	29.0	23.0	0.0	6.0	142.0	1145.7
1978-79	115.6	104.4	240.9	193.4	224.9	60.5	185.5	160.3	17.0	15.0	11.0	35.0	1363.5
1979-80	365.4	170.8	202.9	174.1	50.9	94.6	85.0	68.0	35.0	0.0	6.0	34.9	1287.6
1980-81	346.6	110.7	171.0	115.5	161.7	43.7	110.4	84.6	3.5	9.0	39.5	107.0	1303.2
1981-82	108.9	47.9	243.7	42.9	176.0	182.0	126.0	157.0	7.0	13.0	14.5	68.0	1186.9
1982-83	102.8	184.1	177.0	59.9	111.1	62.7	47.0	19.4	123.8	80.0	14.5	26.0	1008.3
1983-84	69.0	173.0	143.3	158.0	145.8	128.2	244.0	61.2	11.0	17.5	102.5	51.5	1305.0
1984-85	9.0	182.0	127.6	301.0	95.7	202.7	173.0	82.0	9.0	15.0	0.0	4.0	1201.0
1985-86	37.0	339.4	138.9	116.5	115.7	88.6	78.0	75.0	70.0	46.0	42.0	31.0	1178.1
1986-87	241.0	59.0	131.7	319.7	79.2	184.0	105.6	81.0	34.5	0.0	65.0	0.0	1300.7
1987-88	198.0	208.3	176.0	131.0	89.0	78.0	46.0	44.0	15.0	0.0	0.0	12.0	997.3
1988-89	103.0	201.6	119.8	14.0	151.0	200.0	72.0	57.0	34.0	53.0	0.0	29.0	1034.4
1989-90	174.9	119.5	107.0	0.0	4.0	5.0	122.0	124.0	11.0	31.0	142.0	20.0	860.4
1990-91	76.0	182.0	325.0	92.0	34.0	123.0	144.6	121.0	2.5	2.5	39.0	4.0	1145.6
1991-92	52.0	202.0	45.0	33.0	11.0	39.0	203.0	85.0	65.0	28.0	0.0	28.0	791.0
1992-93	166.0	127.0	119.0	137.9	144.6	100.5	88.8	101.9	24.6	13.2	3.9	18.2	1045.5
M. O.	137.8	153.6	165.5	110.1	117.2	109.1	112.6	72.2	36.8	20.4	24.2	44.1	1103.5
T. A.	93.6	63.2	64.9	72.8	59.2	51.9	56.5	33.4	30.3	18.7	30.3	37.3	197.2

Πίνακας Α.6: Μηνιαίο ύψος απορροής υπολεκάνης Ταυρωπού ανάντη φράγματος Πλαστήρα (mm).

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
1961-62	55.5	96.8	86.1	56.3	105.8	329.0	81.7	40.6	21.0	5.3	9.0	52.4	939.7
1962-63	121.4	353.2	385.1	292.6	488.4	187.8	139.8	144.3	41.8	23.9	13.6	4.4	2196.3
1963-64	90.4	25.4	313.5	60.7	136.6	172.8	74.2	67.7	48.5	28.6	18.5	2.9	1039.6
1964-65	37.3	104.8	221.4	135.6	126.7	154.9	200.9	101.6	45.2	19.2	7.8	6.5	1161.8
1965-66	4.5	87.8	182.7	228.7	104.3	151.1	98.6	98.1	35.9	4.7	0.0	16.0	1012.3
1966-67	16.5	224.0	225.4	143.5	49.3	82.4	98.1	55.8	15.5	29.7	10.4	13.1	963.9
1967-68	13.4	24.4	171.3	245.7	220.3	171.7	107.7	89.4	54.3	7.5	5.8	7.5	1119.0
1968-69	42.9	97.7	368.7	203.1	185.1	242.7	90.4	83.1	13.1	13.6	2.3	19.6	1362.2
1969-70	2.0	33.8	262.0	287.7	107.3	181.8	59.9	38.4	44.0	19.9	4.7	13.6	1055.1
1970-71	51.6	16.6	119.3	211.3	154.6	310.3	210.2	79.4	16.3	20.6	36.4	13.9	1240.6
1971-72	29.4	82.0	100.4	142.8	180.8	210.8	280.4	117.8	14.2	19.2	20.7	13.5	1211.9
1972-73	126.7	56.8	32.4	98.5	244.5	172.7	167.2	122.7	23.4	23.1	21.7	8.6	1098.4
1973-74	82.3	73.0	207.0	80.5	182.2	199.5	239.4	104.3	24.2	18.6	12.0	0.9	1223.9
1974-75	33.1	72.7	43.3	35.9	84.2	135.6	86.3	40.2	21.6	21.6	74.7	0.0	649.3
1975-76	22.5	61.3	127.0	90.4	159.1	154.7	185.1	90.6	21.8	16.6	14.6	6.9	950.5
1976-77	21.0	99.9	224.7	109.1	41.1	33.1	62.6	24.9	12.7	8.6	0.0	12.8	650.4
1977-78	19.9	41.4	136.3	140.4	239.4	110.3	164.2	60.8	22.7	19.5	10.7	21.3	987.0
1978-79	30.3	50.4	187.1	226.5	238.5	103.8	191.2	116.9	36.4	16.5	19.7	0.0	1217.3
1979-80	130.3	221.9	188.0	196.1	93.1	258.0	131.0	130.8	44.4	12.8	5.3	21.5	1433.0
1980-81	177.9	98.6	235.9	75.7	215.0	213.8	150.6	76.1	28.9	11.5	13.6	7.6	1305.1
1981-82	24.0	18.3	203.5	47.1	69.2	268.6	286.2	139.4	54.1	23.8	4.0	19.9	1158.2
1982-83	18.0	105.9	180.3	30.7	99.9	129.3	81.0	17.6	30.2	39.9	17.4	6.7	756.8
1983-84	14.0	80.2	192.1	145.0	128.2	188.3	261.7	161.2	32.1	9.1	8.3	4.9	1225.0
1984-85	10.5	27.0	161.0	190.0	115.2	86.5	236.7	17.0	97.9	23.6	13.1	2.5	980.9
1985-86	16.3	108.0	102.5	121.2	221.2	166.9	70.2	60.7	36.2	27.9	12.9	3.8	947.8
1986-87	77.7	47.1	36.8	262.5	129.1	178.0	134.5	95.4	35.7	26.2	3.3	3.5	1029.8
1987-88	23.6	95.5	122.8	73.4	90.2	101.9	69.6	53.1	16.6	7.7	1.8	2.9	659.0
1988-89	19.5	83.7	111.5	37.2	92.9	214.0	66.6	40.1	19.5	19.3	4.0	3.1	711.5
1989-90	30.4	29.0	38.7	28.0	37.2	20.5	34.8	30.3	23.2	7.5	4.7	3.8	288.3
1990-91	5.4	49.8	224.7	108.7	135.5	147.4	173.3	129.9	31.2	15.1	13.5	5.5	1040.1
1991-92	0.0	37.6	23.3	7.1	39.2	56.3	214.9	58.9	28.5	22.2	6.2	5.6	499.8
1992-93	9.1	45.7	63.3	52.6	29.9	230.1	119.7	109.1	23.4	17.4	3.8	5.6	709.7
1993-94	0.8	69.8	147.3	130.9	188.0	191.4	142.2	82.0	18.0	25.7	7.9	0.2	1004.3
1994-95	135.0	121.7	116.5	183.7	90.7	155.1	115.9	104.5	20.3	40.3	22.6	29.9	1136.2
1995-96	14.9	29.2	199.4	126.4	284.0	152.7	132.5	54.9	13.1	28.4	34.3	19.2	1089.1
1996-97	96.3	84.9	274.2	291.3	30.7	96.1	115.9	215.0	22.0	10.9	22.9	12.7	1273.0
1997-98	27.5	139.7	216.1	57.6	203.7	68.7	123.8	175.3	32.4	1.4	23.7	10.4	1080.4
1998-99	4.4	127.0	235.7	67.4	121.1	172.3	155.5	74.9	12.8	25.3	25.4	7.3	1029.1
1999-00	6.6	112.1	120.6	60.1	130.1	104.9	75.2	39.8	16.1	21.9	0.0	3.4	690.9
2000-01	39.7	3.5	81.9	114.4	110.2	90.5	126.9	48.4	11.4				
M. O.	42.1	83.5	166.7	129.9	142.6	159.9	138.9	84.8	29.0	18.8	13.6	10.1	1028.9
T. A.	44.4	65.2	87.2	80.6	86.4	69.3	64.6	45.1	16.3	8.9	13.5	9.9	312.2

Παράρτημα Β: Υδατικό ισοζύγιο ταμιευτήρα Πλαστήρα

Πίνακας Β.1: Στάθμη ταμιευτήρα την πρώτη κάθε μήνα (m).

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
1961-62	783.4	782.9	783.3	783.2	783.0	783.3	785.8	785.9	785.7	784.9	783.5	782.5
1962-63	782.0	782.0	784.5	787.1	788.8	790.5	790.4	790.5	790.9	790.3	789.0	788.2
1963-64	788.1	788.2	787.6	789.3	788.8	789.1	789.9	789.6	788.9	788.5	786.8	785.6
1964-65	784.3	782.4	781.7	782.4	782.6	782.7	783.2	784.2	784.6	784.3	783.1	781.3
1965-66	779.8	778.7	778.9	779.8	781.1	781.4	781.6	782.0	782.5	782.3	781.9	781.5
1966-67	781.3	780.8	781.6	782.4	782.8	782.7	782.6	782.8	782.0	781.0	780.1	778.7
1967-68	777.3	776.0	775.6	777.3	779.5	781.6	782.8	783.4	782.4	782.1	781.5	780.8
1968-69	779.8	779.5	779.6	783.0	784.4	785.6	787.1	787.6	787.1	786.6	786.0	785.4
1969-70	784.7	784.4	784.5	786.4	788.0	788.3	789.4	789.6	789.5	788.9	787.9	787.0
1970-71	785.8	785.5	784.9	785.3	786.8	787.5	789.4	790.6	790.7	790.3	789.7	789.1
1971-72	788.4	787.4	786.6	786.3	786.3	786.9	787.6	789.1	789.2	788.7	788.1	786.5
1972-73	784.9	784.8	784.0	783.1	781.8	782.7	783.6	784.6	785.0	784.4	783.5	782.0
1973-74	781.2	781.3	780.9	782.5	783.1	784.7	786.1	787.8	788.2	788.1	787.1	786.2
1974-75	785.9	786.0	786.2	786.0	785.6	785.9	787.0	787.6	787.7	787.5	786.7	786.5
1975-76	785.6	785.1	785.2	785.5	785.0	785.8	786.6	787.2	787.4	786.3	785.4	784.6
1976-77	783.9	783.4	783.5	785.5	786.3	786.6	786.8	787.2	786.8	786.2	784.2	781.5
1977-78	781.2	781.3	781.7	783.0	784.1	786.0	786.7	787.9	787.9	787.3	785.6	783.6
1978-79	783.2	782.2	780.7	781.2	783.1	785.0	785.6	787.1	787.7	787.2	786.3	785.2
1979-80	784.7	784.8	785.1	784.9	784.5	784.1	784.9	785.5	785.9	785.4	784.0	782.5
1980-81	781.6	782.1	782.1	783.9	784.5	786.2	787.7	788.7	788.7	788.0	786.7	785.5
1981-82	785.2	785.0	784.8	785.9	786.0	785.6	787.1	788.5	788.9	787.7	786.0	784.6
1982-83	783.3	782.3	782.0	782.1	781.6	782.6	783.7	783.9	783.0	783.0	782.0	780.3
1983-84	780.0	780.0	780.9	782.7	783.9	784.9	786.1	787.8	787.9	787.1	785.6	784.7
1984-85	784.3	783.1	781.6	782.4	784.3	785.2	786.3	788.0	787.5	786.9	785.2	782.2
1985-86	781.4	781.6	782.6	783.5	784.6	786.4	787.7	788.0	788.0	787.6	785.9	783.6
1986-87	783.2	783.9	784.2	782.5	783.0	784.0	785.5	786.4	786.5	785.4	783.2	780.6
1987-88	780.1	780.3	781.3	782.4	783.1	783.9	784.6	785.0	784.9	783.5	780.4	777.7
1988-89	777.4	777.5	778.6	779.8	780.1	781.1	783.1	783.5	783.3	782.2	780.5	777.7
1989-90	777.3	777.7	778.0	778.5	778.7	779.0	779.1	779.5	779.5	779.2	778.1	777.6
1990-91	777.4	777.4	778.0	780.6	781.7	782.9	784.1	785.5	786.3	785.4	784.2	782.5
1991-92	782.0	781.9	782.3	782.3	782.4	782.7	783.2	785.0	785.2	784.8	784.0	781.4
1992-93	780.8	781.0	781.4	782.1	782.6	783.0	784.9	785.7	786.3	785.5	783.1	779.8
1993-94	779.5	779.4	780.1	781.6	782.8	784.4	785.9	786.9	787.0	786.1	783.7	780.9
1994-95	780.6	781.9	783.0	784.0	785.6	786.3	787.4	788.2	788.4	787.4	785.7	783.4
1995-96	783.4	783.5	783.7	785.4	786.4	788.5	789.5	790.3	789.9	788.8	786.7	784.8
1996-97	784.7	785.5	786.2	787.5	789.7	789.9	790.5	791.1	791.4	790.1	787.5	785.3
1997-98	785.1	785.1	786.2	787.9	788.3	789.7	790.1	790.8	791.5	790.9	788.3	785.7
1998-99	785.5	785.4	786.4	788.2	788.7	789.5	790.6	791.4	791.2	789.6	787.3	785.4
1999-00	785.1	785.0	785.9	786.9	787.2	788.1	788.8	789.1	788.4	786.7	783.9	781.9
2000-01	781.5	781.8	781.8	782.5	783.5	784.4	785.1	786.0	786.0	784.7		

Πίνακας Β.2: Απόθεμα ταμιευτήρα την πρώτη κάθε μήνα (hm³).

Υδρο. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
1961-62	183.1	173.5	180.9	179.8	175.9	180.7	226.0	228.5	225.2	210.6	185.1	167.6
1962-63	158.2	158.0	202.6	252.7	287.9	325.8	323.5	325.1	334.2	320.3	291.4	275.4
1963-64	272.3	275.0	262.6	298.2	287.7	294.7	311.3	305.4	290.1	281.7	247.0	222.5
1964-65	197.8	165.4	153.7	164.9	169.3	169.8	179.8	196.1	203.7	199.3	177.3	147.9
1965-66	124.2	108.2	111.9	124.5	143.7	148.9	152.9	158.9	166.3	164.3	156.7	150.3
1966-67	147.1	139.4	151.6	165.8	171.7	170.7	169.1	171.4	158.5	142.9	129.0	108.8
1967-68	90.8	75.5	71.5	90.3	119.9	151.6	171.7	181.9	164.6	160.8	149.8	139.6
1968-69	125.1	119.9	121.5	176.3	200.9	222.5	253.3	263.0	252.3	242.8	229.9	218.7
1969-70	206.1	200.6	202.8	239.2	270.2	277.1	301.2	305.6	303.9	290.8	269.8	249.7
1970-71	226.2	220.8	210.6	217.4	245.6	260.8	301.9	327.4	330.2	321.2	307.2	294.5
1971-72	278.5	257.9	242.2	237.5	237.5	249.5	262.6	293.8	297.7	284.9	273.3	241.2
1972-73	210.3	207.6	194.1	177.8	154.9	170.5	186.7	205.0	211.2	200.4	183.5	159.2
1973-74	145.4	147.1	140.9	167.8	178.1	205.9	232.8	266.6	275.8	272.5	253.1	234.7
1974-75	229.3	231.3	233.8	231.1	223.5	228.5	250.5	263.7	264.1	260.8	244.0	240.6
1975-76	223.3	214.2	215.3	220.2	211.0	226.8	242.6	255.1	257.9	235.7	219.2	204.6
1976-77	191.6	182.6	184.4	220.2	236.3	242.6	246.8	254.3	247.0	234.9	196.2	150.0
1977-78	146.0	147.4	154.2	175.8	195.0	229.9	245.0	269.5	268.5	256.3	223.8	185.4
1978-79	179.7	161.5	138.2	145.9	177.6	211.8	223.1	251.7	264.3	255.5	237.3	215.1
1979-80	205.5	207.6	213.3	210.3	202.9	194.3	210.5	220.2	228.3	218.7	192.5	167.1
1980-81	152.9	159.7	159.8	192.1	202.4	234.7	264.1	285.3	285.8	270.2	244.4	220.4
1981-82	214.9	212.5	207.2	229.5	231.5	222.7	252.3	282.6	289.3	265.5	231.7	204.1
1982-83	181.4	163.9	158.5	159.8	152.2	169.1	188.7	192.3	176.1	175.1	158.9	131.4
1983-84	126.8	127.6	141.5	170.0	191.2	209.5	233.2	266.0	270.0	252.3	223.3	206.3
1984-85	198.2	178.0	152.9	164.6	199.1	215.1	236.5	270.6	260.4	249.3	215.1	162.5
1985-86	149.5	151.4	169.1	184.5	204.4	239.2	264.5	270.4	270.6	262.0	228.3	185.6
1986-87	178.3	191.2	196.9	167.3	175.6	192.5	220.6	239.4	240.2	219.6	179.3	136.5
1987-88	129.3	132.2	147.3	165.8	177.3	190.6	205.0	212.3	208.9	183.8	132.8	95.4
1988-89	92.1	93.3	107.3	125.0	129.6	144.2	176.6	184.5	180.7	162.1	135.6	95.1
1989-90	91.0	95.6	99.5	105.6	108.6	113.4	114.9	120.0	120.0	116.1	101.4	93.7
1990-91	91.8	91.7	99.6	136.6	153.7	174.0	195.3	221.3	237.5	219.8	196.6	166.6
1991-92	158.7	156.9	163.6	163.9	165.3	170.5	178.8	210.8	215.1	207.6	193.2	148.5
1992-93	140.2	142.0	149.5	159.8	169.5	175.2	209.1	225.4	235.7	221.1	176.8	125.0
1993-94	120.7	118.6	129.3	152.1	171.9	200.6	228.9	248.4	250.3	231.9	188.3	141.8
1994-95	136.5	157.4	176.1	193.8	222.3	235.7	258.7	274.6	279.2	257.7	224.6	181.9
1995-96	182.6	183.5	187.9	219.2	238.8	281.7	303.6	321.4	312.6	287.7	244.4	208.0
1996-97	206.1	221.3	234.2	260.8	307.0	311.5	325.1	340.6	346.0	317.1	260.2	217.9
1997-98	212.9	213.8	235.5	269.3	277.7	308.3	317.4	332.3	349.8	334.2	277.1	225.4
1998-99	221.1	219.1	238.6	275.2	284.9	302.8	327.6	347.9	341.5	306.5	256.7	218.9
1999-00	213.3	212.2	229.3	247.8	255.1	274.1	288.6	293.6	279.4	243.6	191.9	156.4
2000-01	150.0	154.9	155.4	167.4	184.5	200.7	213.3	230.7	230.5	206.1		

Πίνακας Β.3: Μηνιαία μεταβολή αποθέματος ταμιευτήρα (hm³).

Υδρο. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
1961-62	-9.7	7.4	-1.0	-3.9	4.8	45.3	2.5	-3.3	-14.5	-25.6	-17.5	-9.4	-24.9
1962-63	-0.2	44.5	50.1	35.3	37.8	-2.3	1.6	9.1	-13.9	-28.9	-16.1	-3.1	114.1
1963-64	2.7	-12.3	35.5	-10.4	7.0	16.6	-5.8	-15.3	-8.4	-34.7	-24.5	-24.6	-74.4
1964-65	-32.4	-11.7	11.2	4.4	0.5	10.0	16.2	7.6	-4.4	-22.0	-29.4	-23.7	-73.6
1965-66	-16.0	3.7	12.7	19.2	5.2	4.0	6.0	7.4	-2.0	-7.6	-6.4	-3.2	22.9
1966-67	-7.7	12.1	14.2	6.0	-1.0	-1.5	2.2	-12.8	-15.6	-13.9	-20.2	-17.9	-56.3
1967-68	-15.3	-4.0	18.8	29.5	31.7	20.1	10.2	-17.3	-3.8	-11.0	-10.2	-14.5	34.3
1968-69	-5.3	1.6	54.8	24.7	21.6	30.8	9.8	-10.8	-9.5	-12.9	-11.2	-12.6	81.0
1969-70	-5.5	2.2	36.5	31.0	6.9	24.2	4.4	-1.8	-13.1	-21.0	-20.1	-23.5	20.1
1970-71	-5.4	-10.1	6.7	28.2	15.2	41.1	25.5	2.8	-9.0	-14.0	-12.7	-16.0	52.4
1971-72	-20.6	-15.7	-4.7	0.0	12.0	13.2	31.2	3.9	-12.8	-11.6	-32.1	-30.9	-68.3
1972-73	-2.7	-13.5	-16.3	-22.9	15.7	16.2	18.3	6.2	-10.8	-16.9	-24.3	-13.8	-64.9
1973-74	1.7	-6.3	26.9	10.3	27.8	26.9	33.8	9.2	-3.3	-19.4	-18.3	-5.4	83.9
1974-75	2.0	2.5	-2.7	-7.6	5.1	22.0	13.2	0.4	-3.3	-16.8	-3.4	-17.3	-6.1
1975-76	-9.1	1.1	4.9	-9.2	15.7	15.8	12.5	2.8	-22.2	-16.5	-14.6	-13.1	-31.7
1976-77	-8.9	1.8	35.8	16.1	6.3	4.2	7.5	-7.3	-12.1	-38.7	-46.3	-4.0	-45.5
1977-78	1.4	6.8	21.6	19.2	34.9	15.1	24.6	-1.1	-12.2	-32.5	-38.4	-5.8	33.6
1978-79	-18.2	-23.3	7.7	31.7	34.2	11.3	28.6	12.6	-8.8	-18.2	-22.1	-9.6	25.9
1979-80	2.1	5.7	-3.0	-7.3	-8.7	16.2	9.7	8.1	-9.6	-26.2	-25.4	-14.2	-52.7
1980-81	6.8	0.2	32.3	10.3	32.3	29.4	21.3	0.4	-15.6	-25.8	-24.0	-5.5	62.0
1981-82	-2.4	-5.3	22.3	2.0	-8.8	29.6	30.3	6.7	-23.7	-33.9	-27.6	-22.7	-33.5
1982-83	-17.5	-5.4	1.3	-7.6	16.9	19.5	3.6	-16.2	-1.0	-16.2	-27.5	-4.6	-54.6
1983-84	0.8	14.0	28.5	21.2	18.3	23.7	32.8	4.0	-17.7	-29.0	-17.0	-8.1	71.4
1984-85	-20.2	-25.1	11.7	34.5	16.0	21.4	34.1	-10.2	-11.1	-34.1	-52.7	-12.9	-48.7
1985-86	1.9	17.7	15.4	19.9	34.8	25.3	5.9	0.2	-8.6	-33.7	-42.7	-7.3	28.8
1986-87	12.9	5.8	-29.7	8.3	16.9	28.1	18.8	0.8	-20.6	-40.3	-42.8	-7.2	-49.0
1987-88	3.0	15.0	18.5	11.5	13.4	14.3	7.4	-3.4	-25.1	-51.0	-37.5	-3.3	-37.2
1988-89	1.3	13.9	17.7	4.6	14.6	32.4	7.9	-3.8	-18.6	-26.6	-40.4	-4.2	-1.1
1989-90	4.7	3.8	6.2	3.0	4.8	1.5	5.1	0.0	-4.0	-14.7	-7.7	-1.9	0.9
1990-91	-0.1	7.9	37.0	17.1	20.3	21.3	26.0	16.1	-17.6	-23.2	-30.0	-7.9	66.9
1991-92	-1.9	6.7	0.3	1.3	5.3	8.3	32.0	4.3	-7.5	-14.4	-44.7	-8.3	-18.5
1992-93	1.8	7.5	10.3	9.6	5.7	33.9	16.3	10.3	-14.6	-44.4	-51.8	-4.3	-19.5
1993-94	-2.1	10.7	22.8	19.8	28.7	28.4	19.5	1.8	-18.4	-43.6	-46.5	-5.3	15.8
1994-95	20.9	18.7	17.7	28.5	13.4	23.0	15.8	4.6	-21.4	-33.1	-42.7	0.7	46.1
1995-96	0.9	4.4	31.3	19.6	42.9	21.9	17.8	-8.8	-24.9	-43.3	-36.4	-1.9	23.5
1996-97	15.2	12.8	26.6	46.2	4.5	13.6	15.5	5.4	-28.9	-57.0	-42.2	-5.0	6.8
1997-98	0.9	21.7	33.8	8.3	30.6	9.0	14.9	17.5	-15.6	-57.1	-51.7	-4.2	8.2
1998-99	-2.1	19.6	36.5	9.7	17.8	24.9	20.3	-6.4	-35.0	-49.8	-37.8	-5.6	-7.9
1999-00	-1.1	17.1	18.5	7.3	19.1	14.5	5.0	-14.3	-35.8	-51.7	-35.6	-6.4	-63.3
2000-01	4.9	0.5	12.1	17.1	16.2	12.5	17.4	-0.2	-24.4				

Πίνακας Β.4: Επιφάνεια ταμιευτήρα την πρώτη κάθε μήνα (km²).

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
1961-62	17.6	17.2	17.5	17.4	17.3	17.5	19.3	19.4	19.2	18.7	17.7	16.9
1962-63	16.5	16.5	18.4	20.3	21.6	23.1	23.0	23.0	23.4	22.8	21.7	21.1
1963-64	21.0	21.1	20.6	21.9	21.6	21.8	22.4	22.2	21.6	21.3	20.1	19.2
1964-65	18.2	16.8	16.2	16.8	17.0	17.0	17.4	18.2	18.5	18.3	17.3	15.9
1965-66	14.7	13.7	13.9	14.7	15.7	16.0	16.2	16.5	16.8	16.7	16.4	16.1
1966-67	15.9	15.5	16.1	16.8	17.1	17.0	17.0	17.1	16.5	15.7	14.9	13.7
1967-68	12.4	10.9	10.4	12.4	14.4	16.1	17.1	17.5	16.8	16.6	16.0	15.5
1968-69	14.7	14.4	14.5	17.3	18.3	19.2	20.3	20.6	20.2	19.9	19.4	19.0
1969-70	18.5	18.3	18.4	19.8	20.9	21.2	22.1	22.2	22.2	21.7	20.9	20.2
1970-71	19.3	19.1	18.7	19.0	20.0	20.6	22.1	23.1	23.2	22.9	22.3	21.8
1971-72	21.2	20.5	19.9	19.7	19.7	20.1	20.6	21.8	21.9	21.5	21.0	19.8
1972-73	18.7	18.6	18.1	17.4	16.3	17.0	17.8	18.5	18.7	18.3	17.6	16.5
1973-74	15.8	15.9	15.6	16.9	17.4	18.5	19.5	20.8	21.1	21.0	20.3	19.6
1974-75	19.4	19.5	19.6	19.5	19.2	19.4	20.2	20.7	20.7	20.6	19.9	19.8
1975-76	19.2	18.8	18.9	19.1	18.7	19.3	19.9	20.4	20.5	19.6	19.0	18.5
1976-77	18.0	17.6	17.7	19.1	19.7	19.9	20.0	20.3	20.1	19.6	18.2	16.1
1977-78	15.8	15.9	16.3	17.3	18.1	19.4	20.0	20.9	20.8	20.4	19.2	17.7
1978-79	17.4	16.6	15.4	15.8	17.3	18.8	19.2	20.2	20.7	20.4	19.7	18.9
1979-80	18.5	18.6	18.8	18.7	18.4	18.1	18.7	19.1	19.4	19.0	18.0	16.9
1980-81	16.2	16.5	16.5	18.0	18.4	19.6	20.7	21.5	21.5	20.9	20.0	19.1
1981-82	18.9	18.8	18.6	19.4	19.5	19.2	20.2	21.4	21.6	20.7	19.5	18.5
1982-83	17.5	16.7	16.5	16.5	16.2	17.0	17.8	18.0	17.3	17.2	16.5	15.1
1983-84	14.8	14.9	15.6	17.0	18.0	18.7	19.5	20.8	20.9	20.2	19.2	18.6
1984-85	18.2	17.4	16.2	16.8	18.3	18.9	19.7	20.9	20.5	20.1	18.9	16.7
1985-86	16.0	16.1	17.0	17.7	18.5	19.8	20.7	20.9	20.9	20.6	19.4	17.7
1986-87	17.4	18.0	18.2	16.9	17.3	18.0	19.1	19.8	19.8	19.0	17.4	15.3
1987-88	15.0	15.1	15.9	16.8	17.3	17.9	18.5	18.8	18.7	17.6	15.2	12.8
1988-89	12.5	12.6	13.6	14.7	15.0	15.8	17.3	17.7	17.5	16.6	15.3	12.8
1989-90	12.4	12.8	13.1	13.5	13.7	14.0	14.1	14.4	14.4	14.2	13.3	12.7
1990-91	12.5	12.5	13.1	15.4	16.2	17.2	18.1	19.1	19.7	19.1	18.2	16.9
1991-92	16.5	16.4	16.7	16.7	16.8	17.0	17.4	18.7	18.9	18.6	18.0	16.0
1992-93	15.5	15.6	16.0	16.5	17.0	17.2	18.7	19.3	19.6	19.1	17.3	14.7
1993-94	14.4	14.3	15.0	16.2	17.1	18.3	19.4	20.1	20.2	19.5	17.8	15.6
1994-95	15.3	16.4	17.3	18.1	19.1	19.6	20.5	21.1	21.2	20.4	19.2	17.5
1995-96	17.6	17.6	17.8	19.0	19.8	21.3	22.1	22.9	22.5	21.6	20.0	18.6
1996-97	18.5	19.1	19.6	20.6	22.3	22.4	23.0	23.7	24.0	22.7	20.5	19.0
1997-98	18.8	18.8	19.6	20.9	21.2	22.3	22.7	23.3	24.1	23.4	21.2	19.3
1998-99	19.1	19.0	19.7	21.1	21.5	22.1	23.1	24.0	23.8	22.3	20.4	19.0
1999-00	18.8	18.8	19.4	20.1	20.4	21.0	21.6	21.8	21.2	19.9	18.0	16.4
2000-01	16.1	16.3	16.3	16.9	17.7	18.3	18.8	19.4	19.4	18.5		

Πίνακας Β.5: Μέση μηνιαία επιφάνεια ταμειυτήρα (km²).

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
1961-62	17.4	17.3	17.5	17.4	17.4	18.4	19.3	19.3	19.0	18.2	17.3	16.7
1962-63	16.5	17.4	19.3	20.9	22.3	23.0	23.0	23.2	23.1	22.3	21.4	21.0
1963-64	21.0	20.9	21.3	21.7	21.7	22.1	22.3	21.9	21.5	20.7	19.6	18.7
1964-65	17.5	16.5	16.5	16.9	17.0	17.2	17.8	18.3	18.4	17.8	16.6	15.3
1965-66	14.2	13.8	14.3	15.2	15.9	16.1	16.4	16.7	16.8	16.6	16.2	16.0
1966-67	15.7	15.8	16.5	16.9	17.1	17.0	17.0	16.8	16.1	15.3	14.3	13.1
1967-68	11.6	10.7	11.4	13.4	15.3	16.6	17.3	17.2	16.7	16.3	15.8	15.1
1968-69	14.6	14.4	15.9	17.8	18.7	19.7	20.5	20.4	20.1	19.7	19.2	18.8
1969-70	18.4	18.4	19.1	20.3	21.0	21.6	22.1	22.2	21.9	21.3	20.5	19.7
1970-71	19.2	18.9	18.8	19.5	20.3	21.3	22.6	23.2	23.1	22.6	22.0	21.5
1971-72	20.8	20.2	19.8	19.7	19.9	20.4	21.2	21.9	21.7	21.2	20.4	19.3
1972-73	18.7	18.3	17.7	16.8	16.7	17.4	18.1	18.6	18.5	18.0	17.1	16.2
1973-74	15.9	15.7	16.2	17.1	18.0	19.0	20.1	20.9	21.0	20.6	19.9	19.5
1974-75	19.4	19.5	19.5	19.3	19.3	19.8	20.4	20.7	20.6	20.3	19.9	19.5
1975-76	19.0	18.9	19.0	18.9	19.0	19.6	20.1	20.4	20.0	19.3	18.8	18.2
1976-77	17.8	17.6	18.4	19.4	19.8	20.0	20.2	20.2	19.8	18.9	17.1	16.0
1977-78	15.9	16.1	16.8	17.7	18.8	19.7	20.4	20.9	20.6	19.8	18.4	17.6
1978-79	17.0	16.0	15.6	16.6	18.1	19.0	19.7	20.5	20.5	20.0	19.3	18.7
1979-80	18.6	18.7	18.8	18.6	18.3	18.4	18.9	19.2	19.2	18.5	17.4	16.5
1980-81	16.4	16.5	17.3	18.2	19.0	20.1	21.1	21.5	21.2	20.4	19.5	19.0
1981-82	18.8	18.7	19.0	19.4	19.3	19.7	20.8	21.5	21.2	20.1	19.0	18.0
1982-83	17.1	16.6	16.5	16.4	16.6	17.4	17.9	17.6	17.3	16.9	15.8	14.9
1983-84	14.8	15.2	16.3	17.5	18.3	19.1	20.1	20.8	20.6	19.7	18.9	18.4
1984-85	17.8	16.8	16.5	17.5	18.6	19.3	20.3	20.7	20.3	19.5	17.8	16.3
1985-86	16.1	16.5	17.3	18.1	19.1	20.2	20.8	20.9	20.8	20.0	18.5	17.5
1986-87	17.7	18.1	17.5	17.1	17.6	18.5	19.4	19.8	19.4	18.2	16.4	15.2
1987-88	15.0	15.5	16.4	17.1	17.6	18.2	18.6	18.7	18.1	16.4	14.0	12.7
1988-89	12.6	13.1	14.2	14.8	15.4	16.5	17.5	17.6	17.1	16.0	14.0	12.6
1989-90	12.6	13.0	13.3	13.6	13.9	14.0	14.2	14.4	14.3	13.7	13.0	12.6
1990-91	12.5	12.8	14.2	15.8	16.7	17.7	18.6	19.4	19.4	18.6	17.5	16.7
1991-92	16.4	16.6	16.7	16.8	16.9	17.2	18.1	18.8	18.7	18.3	17.0	15.8
1992-93	15.6	15.8	16.3	16.8	17.1	17.9	19.0	19.4	19.4	18.2	16.0	14.6
1993-94	14.4	14.6	15.6	16.6	17.7	18.9	19.7	20.1	19.8	18.7	16.7	15.5
1994-95	15.9	16.9	17.7	18.6	19.4	20.1	20.8	21.2	20.8	19.8	18.4	17.6
1995-96	17.6	17.7	18.4	19.4	20.5	21.7	22.5	22.7	22.0	20.8	19.3	18.6
1996-97	18.8	19.3	20.1	21.4	22.4	22.7	23.4	23.8	23.3	21.6	19.8	18.9
1997-98	18.8	19.2	20.2	21.0	21.8	22.5	23.0	23.7	23.8	22.3	20.2	19.2
1998-99	19.1	19.4	20.4	21.3	21.8	22.6	23.6	23.9	23.0	21.3	19.7	18.9
1999-00	18.8	19.1	19.7	20.2	20.7	21.3	21.7	21.5	20.6	19.0	17.2	16.2
2000-01	16.2	16.3	16.6	17.3	18.0	18.6	19.1	19.4	19.0			

Πίνακας Β.6: Μηνιαίες εισροές λόγω επιφανειακής βροχόπτωσης (hm³).

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
1961-62	3.5	3.0	3.3	2.8	2.6	3.5	1.7	1.0	0.6	0.2	0.2	2.4	24.7
1962-63	4.3	4.1	5.2	6.2	4.4	3.7	2.8	2.0	1.0	0.4	0.9	0.4	35.3
1963-64	5.0	3.2	4.5	3.3	2.6	5.4	2.0	2.2	1.2	0.4	0.4	1.9	32.0
1964-65	1.4	3.2	4.0	2.9	2.3	2.8	2.4	1.5	1.4	0.2	0.2	0.3	22.5
1965-66	1.0	2.5	2.5	4.8	1.7	2.2	1.6	1.0	1.2	0.1	0.6	0.6	20.1
1966-67	0.9	3.7	2.3	2.7	1.8	1.8	1.7	1.0	0.2	0.4	0.3	1.0	17.8
1967-68	0.7	1.5	2.7	3.2	2.0	2.2	1.5	1.6	0.5	0.1	0.5	0.3	16.9
1968-69	2.4	2.5	5.6	3.2	2.9	3.9	1.8	0.6	0.3	0.2	0.3	1.5	25.0
1969-70	0.8	2.8	5.3	2.6	2.4	3.2	1.9	1.2	0.6	0.7	0.8	0.7	22.9
1970-71	1.8	2.9	3.1	3.3	3.0	4.7	2.4	0.5	0.7	0.4	0.4	1.1	24.2
1971-72	2.6	3.2	2.9	4.6	3.1	2.4	3.1	0.8	1.3	0.6	1.0	1.5	27.1
1972-73	3.3	2.6	1.8	3.6	2.2	3.6	1.9	0.4	0.3	0.3	0.9	0.7	21.5
1973-74	3.1	2.4	3.5	1.3	3.7	2.0	5.1	1.4	1.3	0.0	0.0	1.7	25.6
1974-75	3.7	3.6	1.1	0.1	1.7	2.8	1.8	1.2	2.7	0.1	1.0	0.1	20.0
1975-76	1.6	3.8	3.3	1.6	4.2	2.2	2.8	0.9	0.5	0.6	0.4	0.2	22.2
1976-77	2.7	3.1	7.1	1.3	1.1	0.3	0.8	0.5	0.6	0.0	0.1	1.0	18.8
1977-78	0.4	2.0	4.6	4.4	3.2	2.0	2.9	1.0	0.5	0.0	0.1	3.0	24.1
1978-79	1.8	2.5	3.5	4.6	4.1	1.2	4.1	3.5	0.5	0.5	0.3	0.6	27.3
1979-80	7.2	4.1	4.4	5.4	2.4	2.8	1.8	1.8	0.7	0.0	0.3	0.5	31.4
1980-81	6.6	2.5	4.1	6.6	2.9	0.8	2.5	1.6	0.2	0.1	0.9	2.3	31.3
1981-82	2.8	2.9	6.2	1.5	3.9	6.6	2.0	3.4	0.4	0.3	0.3	1.0	31.6
1982-83	1.7	3.5	3.7	0.6	3.1	2.1	0.7	0.5	3.5	1.4	0.2	0.5	21.6
1983-84	1.8	3.4	3.2	2.7	3.9	3.0	4.9	1.7	0.5	0.4	1.9	0.8	28.2
1984-85	0.1	3.0	4.5	8.2	1.4	10.7	3.4	0.3	0.3	0.0	0.1	0.1	32.0
1985-86	3.4	5.3	2.6	4.0	4.8	3.5	3.6	1.9	2.0	1.0	0.7	0.8	33.7
1986-87	5.0	1.3	2.2	3.3	1.5	5.2	2.2	0.9	0.8	0.0	0.8	0.0	23.1
1987-88	1.8	2.7	2.0	2.2	1.7	1.3	0.7	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	13.4
1988-89	0.4	3.1	2.5	0.3	2.4	2.9	1.2	1.1	0.3	0.6	0.0	0.3	15.1
1989-90	2.3	1.3	1.9	0.1	0.6	0.2	1.8	2.0	0.1	0.1	1.8	0.3	12.6
1990-91	0.9	2.4	5.3	2.5	2.1	1.9	3.4	1.9	0.1	0.6	0.7	0.1	21.9
1991-92	1.1	3.1	1.3	1.7	1.0	1.7	3.8	1.8	1.5	0.5	0.1	0.5	18.2
1992-93	2.6	2.6	2.6	3.4	2.7	2.6	1.9	1.9	0.5	0.2	0.2	0.3	21.6
1993-94	0.9	2.5	3.1	2.8	3.0	3.3	2.4	1.4	0.6	0.6	0.5	0.6	21.7
1994-95	5.2	3.4	3.1	4.1	2.3	3.0	2.1	1.7	0.7	1.1	0.7	1.5	28.8
1995-96	1.5	2.7	4.6	3.2	4.6	3.2	2.5	1.2	0.6	0.7	0.9	1.2	26.8
1996-97	4.7	3.5	6.3	7.0	1.9	2.4	2.4	3.2	0.8	0.0	0.7	1.0	34.0
1997-98	2.1	4.1	5.3	2.0	3.9	2.0	2.5	2.7	0.9	0.0	0.8	1.0	27.2
1998-99	1.3	4.0	5.7	2.2	2.9	3.6	3.0	1.5	0.6	0.5	0.8	0.9	27.0
1999-00	1.3	3.8	3.5	2.0	2.9	2.4	1.7	1.0	0.6	0.5	0.4	0.7	20.7
2000-01	2.2	2.2	2.4	2.6	2.3	1.9	2.1	1.0	0.5				

Πίνακας Β.7: Μηνιαίες απώλειες λόγω επιφανειακής εξάτμισης (hm³).

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
1961-62	1.2	0.6	0.2	0.1	0.1	0.5	1.5	2.2	3.0	3.3	3.0	1.9	17.7
1962-63	1.1	0.9	0.3	0.2	0.0	0.5	1.3	3.0	3.4	4.3	3.9	2.6	21.4
1963-64	1.4	1.0	0.3	0.4	0.2	0.3	1.2	1.7	2.8	3.6	3.6	2.4	18.8
1964-65	1.3	0.9	0.5	0.0	0.2	0.6	0.9	1.9	2.8	3.0	2.5	1.7	16.3
1965-66	1.1	0.6	0.3	0.2	0.0	0.4	0.7	1.6	2.6	3.2	2.5	2.0	15.2
1966-67	0.9	0.6	0.5	0.1	0.6	0.3	1.1	1.6	2.4	2.8	2.6	1.4	15.0
1967-68	1.0	0.4	0.2	0.0	0.1	0.5	0.9	2.0	2.3	2.7	2.8	1.5	14.6
1968-69	1.2	0.5	0.2	0.0	0.3	0.3	1.4	2.9	2.8	3.8	2.9	2.1	18.5
1969-70	1.1	0.6	0.1	0.1	0.3	0.4	1.0	3.2	3.9	3.6	3.6	2.4	20.3
1970-71	1.1	0.9	0.2	0.3	0.2	0.7	1.5	2.2	3.5	4.1	4.4	2.4	21.7
1971-72	1.3	0.8	0.3	0.2	0.1	0.2	1.1	3.2	3.7	3.6	3.8	1.9	20.4
1972-73	0.8	0.4	0.3	0.1	0.1	0.5	1.2	2.1	3.3	3.2	2.9	1.6	16.5
1973-74	0.8	0.6	0.1	0.0	0.1	0.0	0.9	2.8	3.2	4.3	3.1	2.4	18.2
1974-75	1.5	0.6	0.4	0.1	0.3	0.5	0.9	2.1	3.2	3.7	3.3	2.2	18.8
1975-76	1.4	0.6	0.2	0.1	0.1	0.6	1.3	2.4	2.9	3.4	2.8	2.3	18.3
1976-77	1.3	0.6	0.2	0.2	0.0	0.4	1.3	2.2	2.9	3.2	2.4	1.8	16.4
1977-78	1.1	0.4	0.2	0.2	0.6	0.7	1.1	2.6	3.2	3.9	3.1	1.8	19.0
1978-79	1.0	0.8	0.0	0.0	0.3	0.6	1.0	2.2	3.2	3.7	3.0	1.9	17.8
1979-80	1.1	0.3	0.5	0.1	0.3	0.8	1.0	2.1	3.1	3.2	2.9	2.0	17.3
1980-81	1.1	0.6	0.4	0.0	0.1	0.5	1.0	2.2	3.2	3.8	3.3	2.3	18.6
1981-82	1.4	0.9	0.2	0.0	0.1	0.8	1.2	2.0	3.8	3.6	3.0	2.2	19.2
1982-83	1.5	0.3	0.4	0.2	0.0	0.4	1.2	1.6	2.8	3.1	2.8	2.0	16.3
1983-84	1.1	0.4	0.3	0.2	0.2	0.6	1.9	2.8	3.0	3.3	2.8	2.0	18.5
1984-85	1.2	0.6	0.2	0.1	0.2	0.5	1.2	2.3	3.1	3.5	3.0	1.9	17.9
1985-86	1.1	0.6	0.3	0.1	0.2	0.5	1.2	2.4	3.2	3.6	3.1	2.0	18.3
1986-87	1.2	0.7	0.3	0.1	0.2	0.5	1.1	2.2	3.0	3.3	2.7	1.7	17.0
1987-88	1.0	0.6	0.2	0.1	0.2	0.5	1.1	2.1	2.8	3.0	2.3	1.4	15.3
1988-89	0.9	0.5	0.2	0.1	0.2	0.4	1.0	2.0	2.6	2.9	2.3	1.4	14.5
1989-90	0.9	0.5	0.2	0.1	0.1	0.4	0.8	1.6	2.2	2.5	2.2	1.4	12.9
1990-91	0.9	0.5	0.2	0.1	0.2	0.5	1.1	2.2	3.0	3.4	2.9	1.9	16.7
1991-92	1.1	0.6	0.3	0.1	0.2	0.4	1.0	2.1	2.9	3.3	2.8	1.8	16.7
1992-93	1.1	0.6	0.2	0.1	0.2	0.5	1.1	2.2	3.0	3.3	2.7	1.7	16.6
1993-94	1.0	0.5	0.2	0.1	0.2	0.5	1.1	2.3	3.1	3.4	2.8	1.8	16.9
1994-95	1.1	0.6	0.3	0.1	0.2	0.5	1.2	2.4	3.2	3.6	3.1	2.0	18.3
1995-96	1.2	0.6	0.3	0.1	0.2	0.6	1.3	2.6	3.4	3.8	3.2	2.1	19.4
1996-97	1.3	0.7	0.3	0.2	0.2	0.6	1.4	2.7	3.6	3.9	3.3	2.2	20.3
1997-98	1.3	0.7	0.3	0.1	0.2	0.6	1.3	2.7	3.7	4.0	3.4	2.2	20.5
1998-99	1.3	0.7	0.3	0.1	0.2	0.6	1.4	2.7	3.5	3.9	3.3	2.2	20.2
1999-00	1.3	0.7	0.3	0.1	0.2	0.5	1.3	2.4	3.2	3.4	2.9	1.9	18.2
2000-01	1.1	0.6	0.3	0.1	0.2	0.5	1.1	2.2	2.9				

Πίνακας Β.8: Μηνιαία απόληψη για άρδευση (hm³).

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
1961-62													
1962-63													
1963-64													
1964-65													
1965-66													
1966-67													
1967-68													
1968-69													
1969-70													
1970-71													
1971-72													
1972-73	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.3	11.8	3.7	32.8
1973-74	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	3.8	15.9	15.6	3.2	41.2
1974-75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	2.9	4.8	16.4	12.4	4.2	41.3
1975-76	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	8.4	14.7	11.3	4.0	41.5
1976-77	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.8	11.0	36.7	43.4	5.1	105.1
1977-78	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7	10.4	31.3	36.9	2.1	88.3
1978-79	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	10.8	17.4	22.3	5.1	58.0
1979-80	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	11.1	24.1	23.6	6.2	66.0
1980-81	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	9.4	16.8	23.4	24.0	2.7	76.7
1981-82	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	8.3	19.2	21.7	6.0	57.0
1982-83	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	17.4	5.3	19.9	27.7	4.2	81.0
1983-84	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	18.4	27.5	16.9	4.1	74.1
1984-85	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7	22.4	33.8	51.3	8.8	125.0
1985-86	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	7.2	12.9	35.0	42.1	6.2	109.9
1986-87	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	21.1	40.7	44.2	6.0	119.4
1987-88	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	9.3	24.9	49.8	36.0	0.0	122.5
1988-89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.7	26.9	33.3	2.7	81.6
1989-90	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	3.5	11.6	6.9	0.0	25.7
1990-91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	18.2	21.0	29.7	6.4	75.7
1991-92	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7	13.3	41.3	6.3	69.5
1992-93	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	13.9	42.2	48.3	0.0	107.8
1993-94	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.6	42.9	45.3	4.2	111.0
1994-95	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.3	35.1	42.8	1.7	99.9
1995-96	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.6	22.6	42.8	37.1	2.0	118.1
1996-97													
1997-98													
1998-99													
1999-00													
2000-01													

Σημείωση: Δεν διατίθενται χρονοσειρές αρδευτικών απολήψεων για τις περιόδους 1961-1972 και 1996-2001.

Πίνακας Β.9: Μηνιαία εκροή από στροβίλους (hm³).

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
1961-62	20.0	8.9	16.5	14.7	12.9	4.7	9.3	7.8	15.1	23.2	16.0	17.5	166.5
1962-63	21.0	9.5	9.5	11.8	34.4	31.4	19.3	9.8	17.2	28.3	15.0	1.5	208.7
1963-64	13.6	18.1	12.6	21.9	14.4	12.5	17.0	25.2	13.6	35.5	23.9	24.6	232.9
1964-65	37.9	29.2	24.4	18.1	19.9	14.5	14.0	6.5	9.5	21.9	28.2	23.2	247.3
1965-66	16.6	11.3	16.6	19.1	11.8	19.8	9.3	6.3	5.8	5.2	3.7	4.2	129.7
1966-67	10.1	23.6	20.3	17.4	9.3	14.9	12.5	20.3	15.6	15.9	19.4	19.5	198.8
1967-68	17.0	8.7	9.3	10.0	2.3	6.4	6.0	29.8	9.9	9.5	8.7	14.4	132.0
1968-69	12.8	14.8	4.2	7.6	7.4	7.1	3.3	20.1	8.8	11.1	8.9	14.8	120.9
1969-70	5.5	4.8	5.9	12.1	10.2	4.0	4.8	5.1	15.9	20.9	18.0	23.7	131.0
1970-71	13.5	14.5	13.1	4.7	9.5	6.3	4.5	6.4	8.4	13.1	13.8	16.6	124.3
1971-72	26.0	29.7	21.6	24.6	16.6	18.7	10.1	10.2	12.4	11.3	32.1	32.4	245.6
1972-73	23.2	23.8	22.5	40.7	21.8	11.9	6.4	9.6	11.2	17.3	25.3	14.1	227.7
1973-74	12.5	18.6	6.5	2.6	2.0	3.5	4.2	4.1	4.8	17.8	17.0	4.9	98.5
1974-75	5.4	11.8	10.1	13.2	9.4	1.2	1.0	4.9	6.1	16.6	12.5	7.1	99.2
1975-76	12.4	10.8	16.3	23.5	11.1	7.7	15.1	8.4	22.9	16.0	14.3	11.9	170.4
1976-77	13.4	15.2	3.4	0.7	0.7	0.4	0.9	9.1	11.6	36.7	43.4	5.1	140.6
1977-78	0.8	0.8	2.6	5.2	1.8	1.8	0.4	8.0	12.6	31.3	36.9	10.0	112.1
1978-79	23.3	32.3	23.2	5.9	3.9	4.2	1.7	5.3	11.2	17.4	22.3	7.2	158.0
1979-80	22.6	29.8	33.7	40.6	24.1	22.7	9.7	10.2	13.6	24.8	23.6	15.9	271.2
1980-81	24.5	16.0	5.5	7.2	1.1	1.1	1.4	9.6	16.7	23.7	23.5	6.5	136.8
1981-82	7.3	10.0	12.7	6.3	22.4	14.2	10.7	14.2	27.9	33.9	25.5	24.4	209.6
1982-83	20.3	23.9	28.1	12.5	0.7	0.9	7.5	17.6	6.1	20.2	27.4	4.1	169.2
1983-84	2.0	0.8	2.2	2.2	3.8	5.5	7.2	17.5	19.7	27.4	17.3	7.6	113.2
1984-85	20.6	31.4	15.8	0.8	1.6	1.1	1.4	10.6	22.1	34.0	51.7	11.5	202.7
1985-86	2.8	2.6	1.7	1.4	1.3	1.3	6.4	7.9	12.4	35.0	42.1	6.6	121.5
1986-87	2.0	1.6	36.9	32.8	3.0	2.0	1.3	11.3	23.5	40.7	41.4	6.0	202.5
1987-88	1.3	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	2.2	9.6	24.9	49.1	35.4	2.3	130.3
1988-89	1.2	1.1	1.0	1.0	1.2	1.1	1.9	8.8	19.0	27.0	38.7	3.4	105.4
1989-90	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.4	1.1	4.8	5.3	13.4	8.0	1.3	41.4
1990-91	1.0	1.4	1.1	1.2	1.2	1.3	1.1	2.0	19.2	22.6	29.7	6.9	88.6
1991-92	1.7	1.2	4.1	1.3	1.2	1.1	1.6	3.8	10.2	14.8	42.9	7.8	91.7
1992-93	1.1	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	1.6	4.9	15.4	43.8	49.8	3.7	126.3
1993-94	2.1	1.5	1.6	1.8	1.2	1.7	1.8	8.8	18.6	44.5	45.3	4.2	133.1
1994-95	2.8	1.6	1.9	1.6	1.5	1.4	1.4	9.4	21.8	36.4	43.5	3.1	126.4
1995-96	1.6	1.8	1.5	1.4	1.5	2.0	1.8	15.1	23.9	44.3	38.9	3.7	137.4
1996-97	1.9	2.1	18.1	1.4	1.4	1.5	1.6	24.7	29.1	54.6	42.9	5.7	185.0
1997-98	3.8	1.6	1.7	1.6	1.5	1.9	3.3	6.6	17.4	53.3	52.4	4.5	149.5
1998-99	2.7	1.7	2.0	1.8	1.7	2.1	2.7	15.5	33.8	50.1	38.9	5.3	158.4
1999-00	2.1	1.9	1.9	3.1	2.0	2.2	6.0	18.4	35.5	51.8	32.7	5.7	163.2
2000-01	2.0	1.6	1.9	1.9	1.7	1.8	1.6	5.9	23.6				

Πίνακας Β.10: Μηνιαία απορροή υπολεκάνης Ταυρωπού ανάντη του φράγματος, βασισμένη στο ισοζύγιο εισροών-εκροών του ταμιευτήρα (hm³).

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
1961-62	8.0	13.9	12.4	8.1	15.2	47.0	11.6	5.8	3.0	0.8	1.3	7.6	134.7
1962-63	17.6	50.8	54.7	41.1	67.9	26.0	19.3	19.9	5.8	3.3	1.9	0.6	308.9
1963-64	12.7	3.6	43.9	8.5	19.1	24.0	10.3	9.4	6.8	4.0	2.6	0.4	145.3
1964-65	5.4	15.2	32.1	19.6	18.3	22.3	28.8	14.5	6.5	2.8	1.1	0.9	167.4
1965-66	0.7	12.9	26.9	33.4	15.2	21.9	14.3	14.2	5.2	0.7	0.0	2.3	147.7
1966-67	2.4	32.6	32.6	20.7	7.1	11.9	14.2	8.1	2.3	4.3	1.5	1.9	139.6
1967-68	2.0	3.7	25.7	36.3	32.2	24.8	15.5	12.9	7.9	1.1	0.8	1.1	164.0
1968-69	6.3	14.3	53.6	29.1	26.4	34.4	12.7	11.7	1.8	1.9	0.3	2.8	195.5
1969-70	0.3	4.8	37.3	40.6	15.0	25.4	8.3	5.3	6.1	2.8	0.7	1.9	148.6
1970-71	7.3	2.4	17.0	30.0	21.8	43.4	29.2	11.0	2.3	2.9	5.1	1.9	174.1
1971-72	4.1	11.6	14.2	20.2	25.6	29.7	39.3	16.4	2.0	2.7	2.9	1.9	170.6
1972-73	18.1	8.1	4.7	14.2	35.4	24.9	23.9	17.5	3.3	3.3	3.1	1.2	157.8
1973-74	12.0	10.6	30.0	11.6	26.1	28.4	33.8	14.6	3.4	2.6	1.7	0.1	175.0
1974-75	4.7	10.3	6.1	5.1	12.0	19.2	12.2	5.7	3.0	3.1	10.6	0.0	91.9
1975-76	3.2	8.7	18.1	12.9	22.6	21.9	26.1	12.8	3.1	2.4	2.1	1.0	134.8
1976-77	3.0	14.4	32.1	15.5	5.8	4.7	8.8	3.5	1.8	1.2	0.0	1.9	92.7
1977-78	2.9	6.0	19.7	20.2	34.1	15.6	23.1	8.5	3.2	2.8	1.5	3.1	140.7
1978-79	4.4	7.3	27.3	32.8	34.2	14.8	27.1	16.5	5.1	2.3	2.8	0.0	174.5
1979-80	18.6	31.6	26.8	28.0	13.3	36.9	18.7	18.6	6.3	1.8	0.8	3.1	204.4
1980-81	25.8	14.3	34.0	10.8	30.6	30.2	21.1	10.6	4.0	1.6	1.9	1.1	186.1
1981-82	3.4	2.6	29.0	6.7	9.8	38.0	40.2	19.5	7.6	3.4	0.6	2.9	163.6
1982-83	2.6	15.3	26.1	4.5	14.5	18.6	11.6	2.5	4.3	5.8	2.5	1.0	109.3
1983-84	2.0	11.7	27.9	20.9	18.3	26.8	36.9	22.6	4.5	1.3	1.2	0.7	174.8
1984-85	1.5	3.9	23.3	27.3	16.4	12.3	33.4	2.4	13.8	3.3	1.9	0.4	139.9
1985-86	2.4	15.6	14.8	17.4	31.5	23.5	9.9	8.5	5.1	3.9	1.8	0.5	134.9
1986-87	11.2	6.7	5.3	37.9	18.5	25.4	19.1	13.5	5.1	3.7	0.5	0.5	147.4
1987-88	3.4	13.9	17.8	10.6	13.0	14.6	9.9	7.6	2.4	1.1	0.3	0.4	95.0
1988-89	2.9	12.4	16.4	5.4	13.6	31.0	9.6	5.8	2.8	2.8	0.6	0.5	103.7
1989-90	4.5	4.3	5.7	4.1	5.5	3.0	5.1	4.5	3.4	1.1	0.7	0.6	42.6
1990-91	0.8	7.4	33.0	15.8	19.6	21.2	24.7	18.4	4.4	2.2	1.9	0.8	150.3
1991-92	0.0	5.4	3.4	1.0	5.7	8.1	30.8	8.4	4.1	3.2	0.9	0.8	71.7
1992-93	1.3	6.7	9.2	7.6	4.3	33.0	17.0	15.5	3.3	2.5	0.6	0.8	101.7
1993-94	0.1	10.2	21.5	18.9	27.0	27.3	20.1	11.6	2.5	3.7	1.1	0.0	144.1
1994-95	19.6	17.6	16.7	26.2	12.9	21.9	16.3	14.6	2.8	5.7	3.2	4.3	162.0
1995-96	2.1	4.2	28.5	17.9	40.0	21.3	18.4	7.6	1.8	4.0	4.9	2.7	153.5
1996-97	13.7	12.1	38.7	40.7	4.3	13.3	16.0	29.6	3.0	1.5	3.2	1.8	178.0
1997-98	3.9	19.9	30.5	8.1	28.4	9.5	17.1	24.1	4.5	0.2	3.3	1.5	151.0
1998-99	0.6	18.0	33.2	9.4	16.9	23.9	21.4	10.3	1.8	3.5	3.6	1.0	143.7
1999-00	0.9	15.9	17.1	8.5	18.3	14.7	10.5	5.6	2.3	3.1	0.0	0.5	97.4
2000-01	5.8	0.5	11.9	16.5	15.8	12.9	18.0	6.9	1.6				

Πίνακας Β.11: Μηνιαία παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας (GWh).

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
1961-62	26.0	11.6	21.5	19.1	16.8	6.2	12.2	10.3	19.8	30.3	20.8	22.7	217.1
1962-63	27.3	12.5	12.4	15.6	45.6	41.6	25.5	13.0	22.8	37.3	19.7	2.0	275.4
1963-64	17.9	23.8	16.6	28.9	19.1	16.6	22.4	33.3	18.0	46.6	31.3	32.1	306.6
1964-65	49.3	37.8	31.7	23.5	25.9	18.9	18.3	8.5	12.4	28.6	36.6	30.0	321.5
1965-66	21.5	14.6	21.4	24.7	15.4	25.8	12.1	8.2	7.6	6.7	4.7	5.4	168.0
1966-67	13.1	30.6	26.4	22.6	12.2	19.4	16.3	26.3	20.3	21.0	25.4	25.2	258.8
1967-68	22.0	11.3	12.0	12.9	2.9	8.4	7.8	38.0	12.5	12.6	11.5	18.6	170.7
1968-69	16.3	18.9	5.4	9.9	9.6	9.1	4.2	26.3	11.7	14.9	12.0	19.5	157.7
1969-70	7.1	6.2	7.4	16.0	13.5	5.2	6.5	6.9	21.3	28.0	23.8	31.4	173.2
1970-71	17.8	19.2	17.4	6.1	12.3	8.2	5.9	8.6	11.3	17.7	18.5	22.2	165.3
1971-72	34.6	38.6	28.5	32.4	21.9	24.6	13.4	13.7	16.7	15.2	42.2	42.2	324.1
1972-73	30.4	31.3	29.3	52.2	28.2	15.6	8.4	12.7	14.9	22.8	33.1	18.5	297.3
1973-74	16.3	24.1	8.5	3.4	2.6	4.6	5.6	5.5	6.5	23.5	22.4	6.5	129.5
1974-75	7.1	15.5	13.3	17.5	12.3	1.6	1.3	6.5	8.1	21.8	16.5	9.4	130.8
1975-76	16.4	14.3	21.5	30.8	14.5	10.1	19.7	11.0	29.9	20.9	18.6	15.7	223.3
1976-77	17.6	19.7	4.4	0.9	0.9	0.5	1.2	11.9	15.2	47.7	55.8	6.6	182.4
1977-78	1.0	1.1	3.4	6.8	2.3	2.3	0.5	10.7	16.5	40.7	48.0	13.1	146.3
1978-79	30.2	41.7	29.8	7.6	5.2	5.5	2.3	7.0	14.6	22.8	29.0	9.5	205.1
1979-80	29.4	38.8	43.8	52.7	31.4	29.6	12.9	13.5	17.8	32.3	30.4	20.5	353.0
1980-81	31.5	20.6	7.1	9.4	1.5	1.5	1.8	12.8	22.1	31.0	30.8	8.7	178.6
1981-82	9.7	13.3	16.4	8.3	29.3	18.6	14.3	18.9	36.8	44.2	33.2	31.7	274.7
1982-83	26.6	31.4	36.4	16.2	0.9	1.1	9.8	22.8	7.9	25.3	35.5	5.4	219.4
1983-84	2.6	1.1	2.9	2.9	5.1	7.3	9.5	23.0	25.7	35.8	22.8	10.0	148.7
1984-85	26.6	40.6	19.6	1.1	2.2	1.5	1.9	14.2	28.9	44.2	66.4	14.9	262.2
1985-86	3.6	3.3	2.3	1.8	1.7	1.6	8.6	10.5	16.4	45.6	54.7	8.6	158.7
1986-87	2.7	2.1	47.5	42.2	3.9	2.6	1.7	14.9	30.3	52.9	54.0	7.8	262.5
1987-88	1.7	1.3	1.4	1.5	1.5	1.4	2.9	12.6	32.4	63.1	45.3	2.9	168.0
1988-89	1.5	1.4	1.2	1.3	1.6	1.4	2.5	11.5	24.6	35.0	49.5	4.5	136.0
1989-90	1.6	1.8	1.6	1.5	1.5	1.8	1.4	6.3	6.9	16.9	10.5	1.7	53.5
1990-91	1.3	1.9	1.4	1.5	1.6	1.7	1.4	2.7	25.2	29.5	38.2	8.9	115.2
1991-92	2.2	1.6	5.4	1.7	1.6	1.5	2.1	5.1	13.1	19.3	55.1	10.3	118.9
1992-93	1.3	1.4	1.5	1.7	1.5	1.6	2.1	6.0	20.2	56.6	64.5	4.7	163.3
1993-94	3.1	2.0	2.1	2.3	1.5	2.3	2.4	11.6	24.2	57.9	58.6	5.4	173.5
1994-95	3.7	2.1	2.5	2.1	2.0	1.8	1.9	12.4	28.6	47.3	56.5	4.0	165.0
1995-96	2.1	2.3	1.9	1.8	2.0	2.7	2.4	20.1	31.5	57.9	50.9	4.9	180.4
1996-97	2.6	2.7	23.5	1.9	1.9	2.1	2.1	32.1	37.8	71.1	55.9	7.4	241.0
1997-98	5.0	2.0	2.2	2.0	1.9	2.4	4.3	8.6	22.6	69.4	68.2	5.8	194.6
1998-99	3.5	2.3	2.7	2.3	2.3	2.7	3.6	20.2	44.0	65.2	50.6	6.9	206.2
1999-00	2.7	2.5	2.4	4.0	2.6	2.8	7.8	24.0	46.2	67.5	42.5	7.4	212.4
2000-01	2.6	2.1	2.5	2.2	2.4	2.1	7.8	31.2					

Σημείωση: Με πλάγια γράμματα απεικονίζονται οι τιμές που εκτιμήθηκαν συναρτήσει της μηνιαίας εκροής από στροβίλους, με εφαρμογή της στατιστικής σχέσης 4.1.