

Μεγιστοποίηση της υδροηλεκτρικής παραγωγής στο αρδευτικό φράγμα Νεστορίου Καστοριάς

Ε.Ε. Ράμπιας

Πολιτικός μηχανικός, Υποψήφιος διδάκτορας ΕΜΠ

Σ.Κ. Κωτσάκος

Πολιτικός μηχανικός

Ι.Π. Στεφανάκος

Δρ. Πολιτικός μηχανικός, Λέκτορας ΕΜΠ

Λέξεις κλειδιά: φράγμα, μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός, ενεργειακή παραγωγή, αναρρυθμιστική δεξαμενή, μεγιστοποίηση

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Το φράγμα Νεστορίου βρίσκεται στο Νομό Καστοριάς στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας πάνω στον κύριο ρου του π. Αλιάκμονα. Κύριος σκοπός του δημιουργούμενου ταμιευτήρα είναι η ικανοποίηση των αναγκών άρδευσης και ύδρευσης. Φέρει μικρό υδροηλεκτρικό σταθμό στον οποίο γίνεται μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας με τη δημιουργία αναρρυθμιστικής δεξαμενής όγκου 80 000 m³ κατάντη του φράγματος. Με την αναρρυθμιστική δεξαμενή επιτυγχάνεται η βελτιστοποίηση του βαθμού απόδοσης του σταθμού παραγωγής, ο οποίος μπορεί να λειτουργεί λιγότερες ώρες αλλά με τη βέλτιστη παροχή, ενώ η οικολογική παροχή να εξασφαλίζεται από τον όγκο της αναρρυθμιστικής δεξαμενής. Παράλληλα αποδεσμεύεται η οποιαδήποτε εμπλοκή της ενεργειακής λειτουργίας με την ύδρευση και την άρδευση. Εξετάζεται επίσης η επιρροή της στάθμης του ταμιευτήρα στην παραγωγή ενέργειας. Τέλος, γίνεται η επιλογή της βέλτιστης ισχύος με βάση οικονομοτεχνικές διερευνήσεις.

1 ΓΝΩΡΙΜΙΑ ΜΕ ΤΟ ΕΡΓΟ – ΦΡΑΓΜΑ ΝΕΣΤΟΡΙΟΥ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ

1.1 Γενικά στοιχεία

Το φράγμα Νεστορίου (Σχ. 1 στο τέλος της παρούσας εργασίας) βρίσκεται στο Ν. Καστοριάς στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας. Τοποθετείται πάνω στον ποταμό Αλιάκμονα, στον άνω ρου – ανάντη της συμβολής με τον κλάδο Κορομηλιάς. Η λεκάνη απορροής του π. Αλιάκμονα στη θέση του φράγματος ανέρχεται στα 255.30 km² και η μέση ετήσια απορροή του στα 144.40 hm³ {1}.

Το φράγμα είναι συνδυασμός χωμάτινου και λιθόρριπτου με κεντρικό αδιαπέρατο πυρήνα με ανάντη και κατάντη βαθμίδες. Το ονομαστικό υψόμετρο στέψης του είναι στο +868.00, το πλάτος στη στέψη 12.00 m και το μήκος περίπου 270.00 m. Το ύψος του φράγματος είναι 72.00 m (από τη θεμελίωση) και ο όγκος του περίπου 2 000 000 m³ {1}.

Ο ταμιευτήρας που δημιουργείται έχει μέγιστη στάθμη λειτουργίας (ΜΣΛ) +862.00, ελάχιστη (ΕΣΛ) +833.00, συνολικό όγκο 19.42 hm³ (ωφέλιμο όγκο 15.35 hm³) και επιφάνεια (στη ΜΣΛ) 823 000 m². Η μέγιστη στάθμη πλημμύρας (ΜΣΠ) είναι +866.92 {1}.

Η πλημμύρα σχεδιασμού του φράγματος (υπερχειλιστή) είναι η μέγιστη πιθανή πλημμύρα (ΜΠΠ), η οποία αντιστοιχεί σε 1207.00 m³/s. Ο υπερχειλιστής είναι πλευρικός ελεύθερης υπερχείλισης με στέψη στο υψόμετρο +862.00. Βρίσκεται στο αριστερό (κατά τη ροή) αντέρεισμα του φράγματος και έχει μήκος στέψης συλλέκτη 50.00 m. Στο πέρας της διώρυγας του υπερχειλιστή υπάρχει έργο εκτίναξης της φλέβας του νερού (κάδος εκτίναξης) και λεκάνη αποτόνωσης {1}.

Σκοπός του φράγματος είναι η ικανοποίηση των αναγκών ύδρευσης (23 000 κάτοικοι) και άρδευσης (70 km²). Με δεδομένα τα παραπάνω έγινε προσαρμογή μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού και μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας. Η ενέργεια που παράγεται είναι περίπου 18.00 GWh το έτος ενώ η ισχύς του σταθμού παραγωγής είναι 7 031 MW ώστε να εξασφαλίζεται βελτιστοποίηση της παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας {2}.

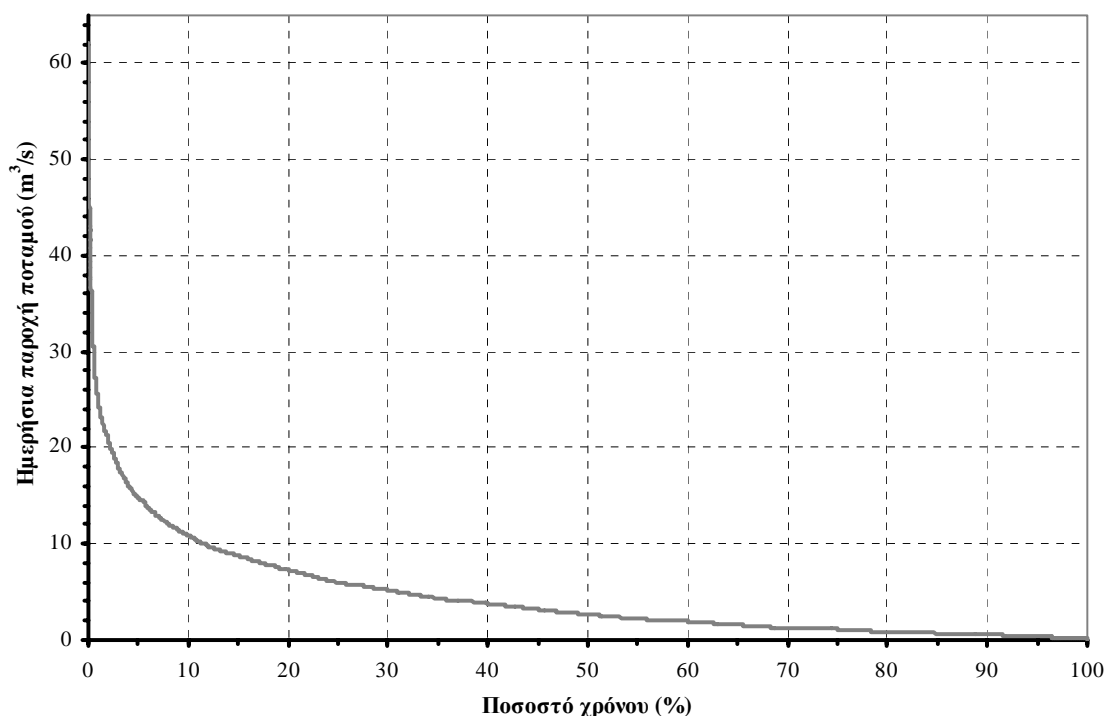
2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ

2.1 Διαθέσιμο υδάτινο δυναμικό

Διαθέσιμες προς επεξεργασία υπήρχαν οι μέσες μηνιαίες παροχές του π. Αλιάκμονα στη θέση Σιάτιστα για την περίοδο 1962-1982 {3}, ενώ στη θέση Νεστόριο από το 1982 και μετά, όπου και γίνονται συστηματικές υδρομετρήσεις από τη ΔΕΗ. Η χρονοσειρά του Νεστορίου από το 1982 έως το 2004 προκύπτει από τις υδρομετρήσεις στη θέση Νεστόριο και συμπληρώνεται για την περίοδο 1962-1982 με συσχέτιση λεκανών απορροής από τις μέσες μηνιαίες τιμές στη θέση Σιάτιστα.

Για τον αξιόπιστο σχεδιασμό μικρών υδροηλεκτρικών έργων απαραίτητη είναι η διαθεσιμότητα μέσω ημερησίων παροχών ποταμού για μια σειρά ετών. Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκε η χρονοσειρά μέσω ημερησίων παροχών στη θέση Νεστόριο, η οποία προέκυψε από την επεξεργασία των υδρομετρήσεων στη ίδια θέση για την περίοδο 1982-2004 και των αντίστοιχων ημερησίων καταγραφών της στάθμης του ποταμού. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι η μέση ετήσια απορροή στα 4.58 m³/s περίπου και ο ετήσιος όγκος απορροής στα 144.40 hm³ {4}.

Στο Γράφημα 1 δίδεται η καμπύλη διάρκειας των μέσων ημερησίων παροχών για την περίοδο 1982-2004, ενώ στον Πίνακα 1 δίδονται οι μέσες μηνιαίες παροχές της ίδιας περιόδου {4}.



Γράφημα 1: Καμπύλη διάρκειας των μέσων ημερησίων παροχών του π. Αλιάκμονα στο Νεστόριο (1982-2004)

Πίνακας 1. Μέσες μηνιαίες παροχές του π. Αλιάκμονα στο Νεστόριο (m³/s)

Υδρολογικό έτος	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ: ΑΛΙΑΚΜΟΝΑ				ΦΟΡΕΑΣ: ΔΕΗ				ΕΚΤΑΣΗ: 254.56 km ²				
	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1982 - 83	2.31	6.65	9.04	2.24	5.78	5.44	7.91	4.37	2.80	2.10	0.67	0.86	4.16
1983 - 84	0.72	4.11	6.66	7.85	7.48	12.82	15.53	17.50	5.58	1.21	0.70	1.35	6.79
1984 - 85	2.43	3.68	5.92	6.15	4.51	4.33	15.51	13.12	3.44	0.82	0.56	1.08	5.12
1985 - 86	2.99	5.35	3.60	6.73	12.85	12.44	10.86	14.39	6.13	1.61	0.68	1.11	6.52
1986 - 87	2.27	4.33	8.67	9.88	7.73	10.10	13.58	8.90	5.62	1.83	0.70	0.56	6.17
1987 - 88	1.32	3.95	4.74	1.55	2.71	5.61	7.76	6.46	1.60	0.36	0.30	0.27	3.05
1988 - 89	0.42	1.86	5.48	1.13	2.78	5.97	5.15	4.28	2.72	1.59	0.67	1.27	2.78
1989 - 90	3.02	3.97	4.00	1.00	1.46	1.47	4.25	4.83	2.26	0.84	0.53	0.32	2.33
1990 - 91	0.62	3.70	6.16	3.74	6.19	12.56	19.08	14.14	8.87	1.87	0.73	0.33	6.48
1994 - 95	0.69	1.56	1.06	2.40	5.45	6.74	7.50	11.14	4.43	1.38	1.15	1.58	3.74
1995 - 96	0.61	3.22	6.75	3.95	5.90	6.26	6.28	5.67	1.57	0.86	0.55	1.21	3.56
1996 - 97	2.88	4.64	6.03	6.08	2.07	3.11	7.03	10.20	2.05	0.52	0.36	0.25	3.78
1997 - 98	1.23	3.59	4.27	2.35	6.20	4.35	6.38	3.42	4.19	0.79	0.64	2.72	3.31
1998 - 99	4.81	6.64	8.48	3.19	4.38	8.97	17.60	12.73	3.30	1.45	0.59	2.06	6.19
1999 - 00	2.45	10.81	12.43	6.37	8.37	7.84	10.63	6.07	1.83	1.06	0.71	1.32	5.81
2000 - 01	1.87	3.18	1.19	2.13	2.01	4.28	5.01	3.96	1.19	0.51	0.74	0.65	2.22
2001 - 02	0.40	0.79	1.59	1.34	2.23	6.33	9.30	3.60	1.10	0.81	1.02	6.07	2.87
2002 - 03	6.18	3.04	13.41	15.34	7.57	5.97	9.99	8.75	3.83	1.86	1.59	0.70	6.53
2003 - 04	5.06	4.73	3.80	9.29	10.47	10.08	8.67	9.19	4.16	1.43	0.63	0.69	5.67
M.O.	2.23	4.20	5.96	4.88	5.60	7.09	9.90	8.56	3.51	1.20	0.71	1.28	4.58

2.2 Ποσοστό εκμετάλλευσης του διαθέσιμου υδάτινου δυναμικού

Ο ταμιευτήρας του έργου έχει ωφέλιμο όγκο περίπου 15.35 hm³, χωρητικότητα που θεωρείται ικανή για μια στοιχειώδη τουλάχιστον αναρρύθμιση των φυσικών παροχών. Λόγω του γεγονότος ότι πρόκειται για αρδευτικό φράγμα, δηλαδή η κύρια λειτουργία του είναι η εξυπηρέτηση των αναγκών άρδευσης (και ύδρευσης) της περιοχής, το σύνολο του όγκου του νερού που χρειάζεται η άρδευση πρέπει να είναι διαθέσιμο. Δεν μπορεί να υπάρχει νερό που να χρησιμοποιείται π.χ. το καλοκαίρι για παραγωγή ενέργειας και να μη διατίθεται για άρδευση. Επομένως πρέπει η κύρια λειτουργία του έργου να είναι ανεξάρτητη από την ενεργειακή του λειτουργία.

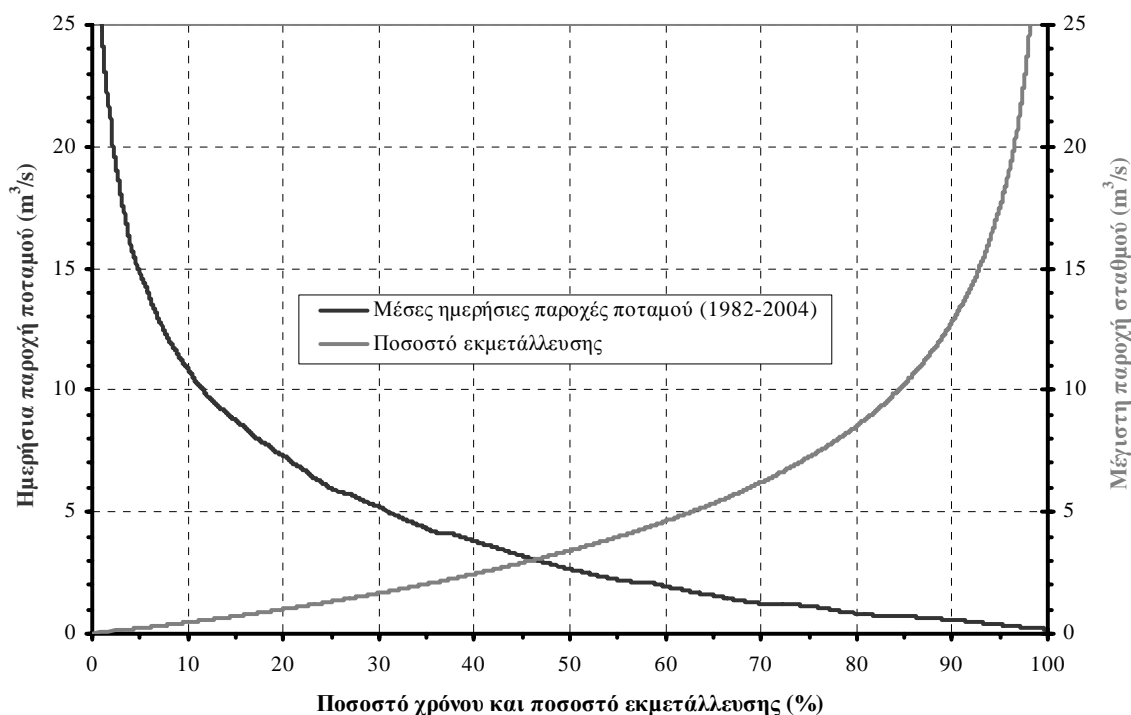
Εξετάστηκε έτσι ως προς την ενεργειακή του λειτουργία σαν έργο μηδενικής αναρρύθμισης, ώστε να μην υπάρχει καμία εμπλοκή και αλληλεπίδραση μεταξύ ενεργειακής και αρδευτικής λειτουργίας.

Με την κατασκευή δεξαμενής αναρρύθμισης κατάντη του φράγματος, χωρητικότητας τέτοιας ώστε να είναι ικανή να εξυπηρετήσει τις ανάγκες οικολογικής παροχής, άρδευσης (και ύδρευσης) για κάποιες ώρες (μικρό χρονικό διάστημα) στην ουσία επιλύεται το πρόβλημα αφού αποδεσμεύονται τα νερά από τον περιορισμό της λειτουργίας του σταθμού κάθε στιγμή και ανάγονται, βεβαίως, στον περιορισμό της διαθεσιμότητας του νερού για κάποιες ώρες που όμως καθορίζεται πλήρως από τη χωρητικότητα της δεξαμενής αναρρύθμισης. Μεταφέρεται έτσι η φυσική συνιστώσα υπό τον έλεγχο του ανθρώπινου παράγοντα.

Το ποσοστό εκμετάλλευσης του διαθέσιμου υδάτινου δυναμικού καθορίζεται λοιπόν, από το μέγεθος της συνολικής ισχύος του σταθμού παραγωγής και το μέγεθος της μικρότερης μονάδος, ενώ προσδιορίζεται με τη χρήση της καμπύλης διάρκειας, γεγονός που βελτιστοποιεί το βαθμό απόδοσης του σταθμού παραγωγής.

Το ποσοστό εκμετάλλευσης για τη συγκεκριμένη καμπύλη διάρκειας είναι ιδιαίτερα υψηλό και μεγαλύτερο του 90.00% για παροχές σταθμού μεγαλύτερες των 13.00 m³/s. Πρέπει να τονιστεί ότι το όριο του 75.00% που απαιτείται από τη ΡΑΕ (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας) για την αδειοδότηση, επιτυγχάνεται για παροχή σταθμού μεγαλύτερη των 7.25 m³/s.

Στο Γράφημα 2 απεικονίζονται γραφικά τα αποτελέσματα των δυνατοτήτων ενεργειακής εκμετάλλευσης του έργου συναρτήσει του μεγέθους του σταθμού παραγωγής [4].



Γράφημα 2: Μένες ημερήσιες παροχές π. Αλιάκμονα και ποσοστό εκμετάλλευσης για παραγωγή ενέργειας

2.3 Δεξαμενή αναρρύθμισης

Η δεξαμενή αναρρύθμισης προβλέπεται αμέσως κατάντη του φράγματος με σκοπό τόσο να αξιοποιήσει την οικολογική παροχή που διαφορετικά θα χανόταν (ενεργειακά) όσο για να εξασφαλίσει την καλύτερη λειτουργία του σταθμού παραγωγής. Επιτυγχάνεται με αυτό τον τρόπο η μη αλληλεπίδραση της ενεργειακής λειτουργίας του έργου με τις κύριες λειτουργίες του, που είναι η ύδρευση και η άρδευση, ενώ παράλληλα τα νερά που χρησιμοποιούνται για τις τελευταίες (ύδρευση & άρδευση) να μπορούν αρχικά να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ενέργειας και ακολούθως να συγκεντρώνονται στη δεξαμενή αναρρύθμισης από όπου μεταφέρονται προς τις κύριες χρήσεις τους.

2.3.1 Αξιοποίηση της οικολογικής παροχής για την παραγωγή ενέργειας

Η οικολογική παροχή στη θέση του φράγματος ανέρχεται σε $0.64 \text{ m}^3/\text{s}$ ($20.18 \text{ hm}^3 / \text{έτος}$). Η δεξαμενή αναρρύθμισης των εκροών του σταθμού παραγωγής δημιουργείται με την κατασκευή ρουφράκτη σε απόσταση περίπου 200.00 m κατάντη του σταθμού παραγωγής.

Η ροή στο ρουφράκτη ελέγχεται από τοξωτό θυρόφραγμα (άνοιγμα 4.00 m , κατώφλι στο $+798.50$ για την άρδευση και την εκκένωση της δεξαμενής). Η ελάχιστη στάθμη λειτουργίας (ΕΣΛ) της δεξαμενής είναι στο $+797.50$ και η μέγιστη (ΜΣΛ) στο $+803.00$ (υψόμετρο στέγης ρουφράκτη). Το υψόμετρο της ελάχιστης στάθμης της διώρυγας φυγής για τη λειτουργία του σταθμού παραγωγής είναι στο $+799.00$. Ο ωφέλιμος όγκος της δεξαμενής αυτής είναι περί τα $80\,000 \text{ m}^3$, δηλ. μπορεί να εξασφαλίσει την οικολογική παροχή προς τα κατάντη για χρονικό διάστημα 35 h συνεχώς χωρίς να υπάρχει ανάγκη παράλληλης λειτουργίας του σταθμού παραγωγής. Η

οικολογική παροχή αφήνεται προς τα κατάντη μέσω αγωγού (με δύο εξόδους), η ελάχιστη παροχεταιυτικότητα του οποίου είναι μεγαλύτερη των $0.64 \text{ m}^3/\text{s}$ {4}.

2.3.2 Τεχνικά ελάχιστη παροχή μικρότερης μονάδος σταθμού παραγωγής

Η δεξαμενή αναρρύθμισης σε συνδυασμό με την αποθηκευτική ικανότητα ημερήσιας αναρρύθμισης που έχει ο ταμιευτήρας του έργου, ιδιαίτερα τους μήνες χαμηλών εισροών, δίνει τη δυνατότητα αποδέσμευσης του σταθμού παραγωγής από την ανάγκη λειτουργίας και με πολύ χαμηλές παροχές, ανάγκη που δημιουργεί στα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, μία πρόσθετη απώλεια υδάτινου δυναμικού για την παραγωγή ενέργειας, λόγω των τεχνικών ελαχίστων ορίων λειτουργίας της μικρότερης μονάδας του σταθμού παραγωγής. Αποτέλεσμα είναι ότι οι εισροές του ποταμού που είναι μικρότερες της τεχνικά ελάχιστης παροχής της μικρότερης μονάδας, αποθηκεύονται για λίγες ώρες στον κύριο ταμιευτήρα του έργου, συνεπώς οι μονάδες του σταθμού μπορούν να λειτουργούν μερικές ώρες μόνο το 24ωρο με πλήρες φορτίο και όχι συνεχώς, βελτιώνοντας έτσι το βαθμό απόδοσής τους.

2.4 Επιρροή της διακύμανσης της στάθμης του ταμιευτήρα στην παραγωγή ενέργειας

Εξετάζοντας τη μεταβολή του αποθηκευμένου ωφέλιμου όγκου (Γραφήματα 3 & 4), όπως προκύπτει από τη μήνα προς μήνα διαμόρφωση του υδατικού ισοζυγίου, με τη χρήση των μέσων μηνιαίων παροχών, για την ικανοποίηση του συνόλου των αναγκών σε νερό που καλύπτονται από τον ταμιευτήρα του Νεστορίου, διαπιστώνεται ότι ο ωφέλιμος όγκος και κατά συνέπεια και η στάθμη του ταμιευτήρα, παραμένει πρακτικά αμετάβλητη και σταθερή στο υψόμετρο της μέγιστης στάθμης λειτουργίας (+862.00) για το χρονικό διάστημα από αρχές Δεκεμβρίου έως τέλος Μαΐου (6 μήνες), για τα 16 από τα 19 υδρολογικά έτη της χρονοσειράς των διαθέσιμων υδρολογικών στοιχείων, ενώ τον Ιούνιο και το Νοέμβριο επίσης η στάθμη παραμένει συνήθως πολύ κοντά στη μέγιστη.

Συνεπώς, συμπεραίνεται ότι την περίοδο των αυξημένων φυσικών εισροών στον ταμιευτήρα, περίοδο που και η παραγωγή ενέργειας είναι αυξημένη και η λειτουργία του σταθμού παραγωγής είναι σχεδόν συνεχής, ο ταμιευτήρας είναι γεμάτος και το ύψος πτώσεως που είναι διαθέσιμο για την παραγωγή ενέργειας είναι το μέγιστο. Βεβαίως, η συμβολή του ταμιευτήρα, την περίοδο αυτή, στην αποθήκευση τμήματος των μεγάλων εισροών είναι μικρή.

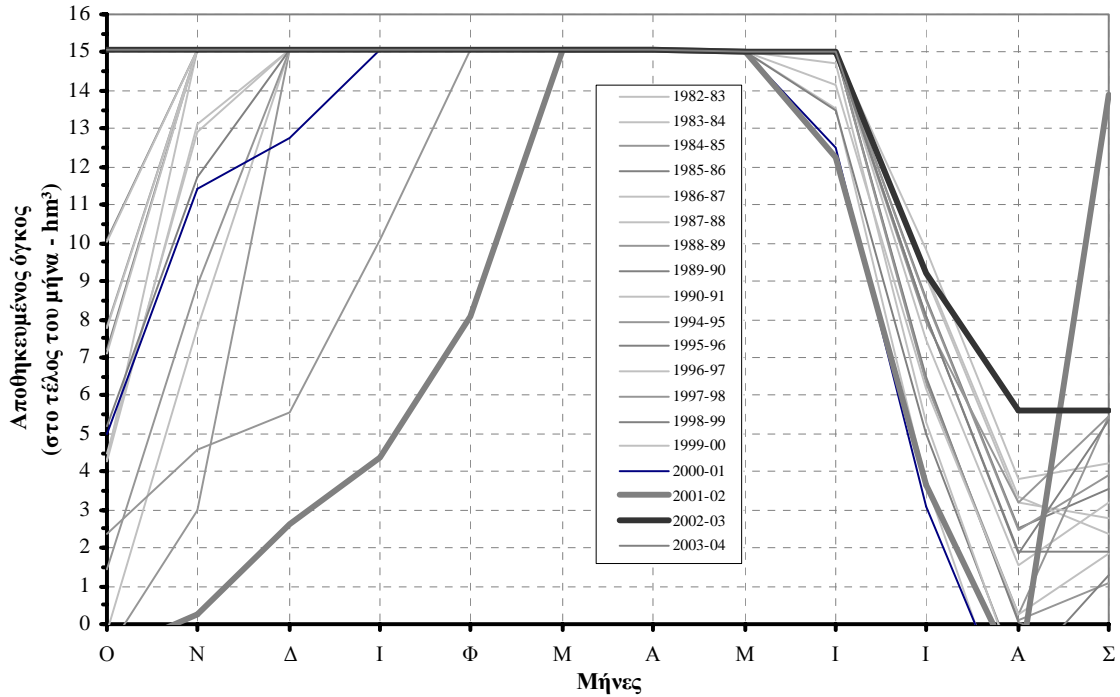
Από την εξομοίωση της λειτουργίας του ταμιευτήρα ανά ημέρα για όλα τα διαθέσιμα υδρολογικά έτη, με χρήση των μέσων ημερησίων παροχών προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Στο Γράφημα 5 δίδεται η διακύμανση της στάθμης του ταμιευτήρα από την 1^η Οκτωβρίου έως την 30^η Σεπτεμβρίου και για τα 19 υδρολογικά έτη που διατίθενται στοιχεία παροχών. Η εικόνα είναι ανάλογη αυτής του Γραφήματος 3 με τα υδρολογικά έτη 2001-02 και 2002-03 να είναι το πλέον δυσμενές (ξηρό) και το πλέον ευμενές (υγρό) αντίστοιχα.

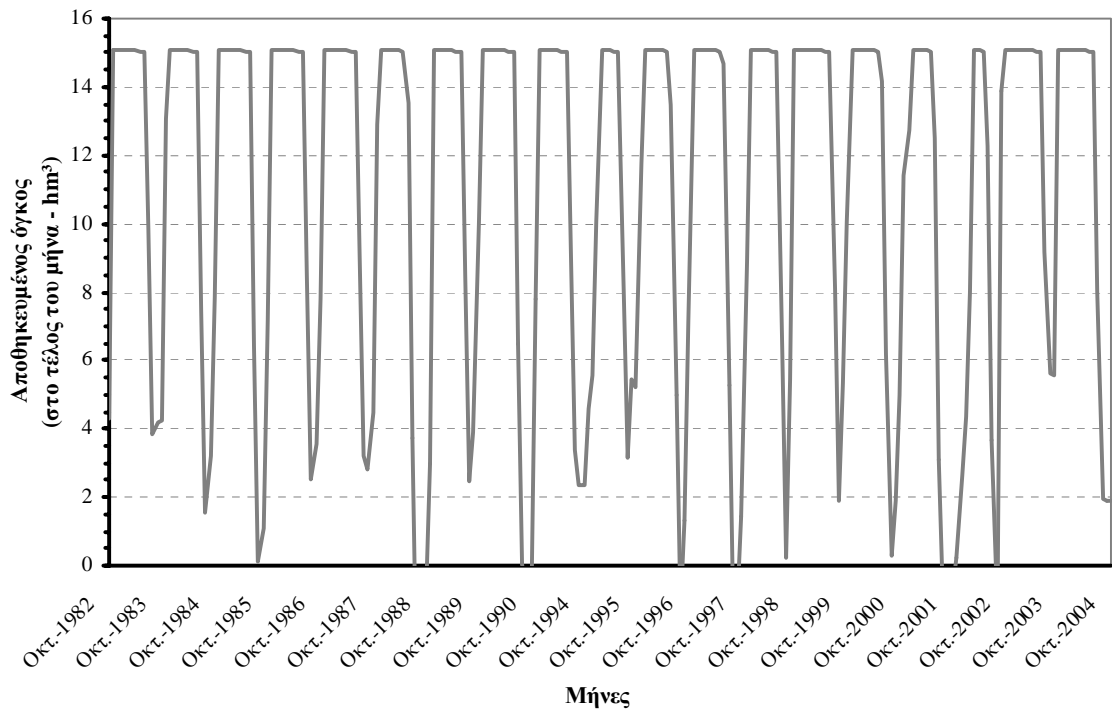
Στο Γράφημα 6 δίδεται η μέση ετήσια στάθμη του ταμιευτήρα, η οποία υπολογίστηκε ως ο αριθμητικός μέσος όρος των ημερησίων σταθμών του ταμιευτήρα. Επίσης, δίδεται και η σταθμισμένη μέση ετήσια στάθμη, η οποία υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη και την επιρροή της ποσότητας ενέργειας που παρήχθη σε κάθε ημερήσια στάθμη. Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει ότι η σταθμισμένη μέση ετήσια στάθμη είναι σημαντικά μεγαλύτερη της αριθμητικής μέσης (κατά 2.00 έως 8.00 m). Επιβεβαιώνεται, λοιπόν, ότι η στάθμη του ταμιευτήρα παραμένει σε υψηλά υψόμετρα κατά το μέγιστο χρονικό διάστημα του έτους.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προσδιορίστηκε ότι η υπερετήσια σταθμισμένη μέση στάθμη του ταμιευτήρα είναι στο υψόμετρο +859.50 (για την ακρίβεια στο +859.49), δηλαδή κατά 2.50 m χαμηλότερα της μέγιστης στάθμης λειτουργίας (ΜΣΛ) του ταμιευτήρα. Η στάθμη αυτή ελήφθη υπόψη σε όλους τους ενεργειακούς υπολογισμούς, ιδιαίτερα βέβαια στους υπολογισμούς που γίνονται με τη χρήση της καμπύλης διάρκειας, όπου απαιτείται η υιοθέτηση μιας μέσης στάθμης ταμιευτήρα.

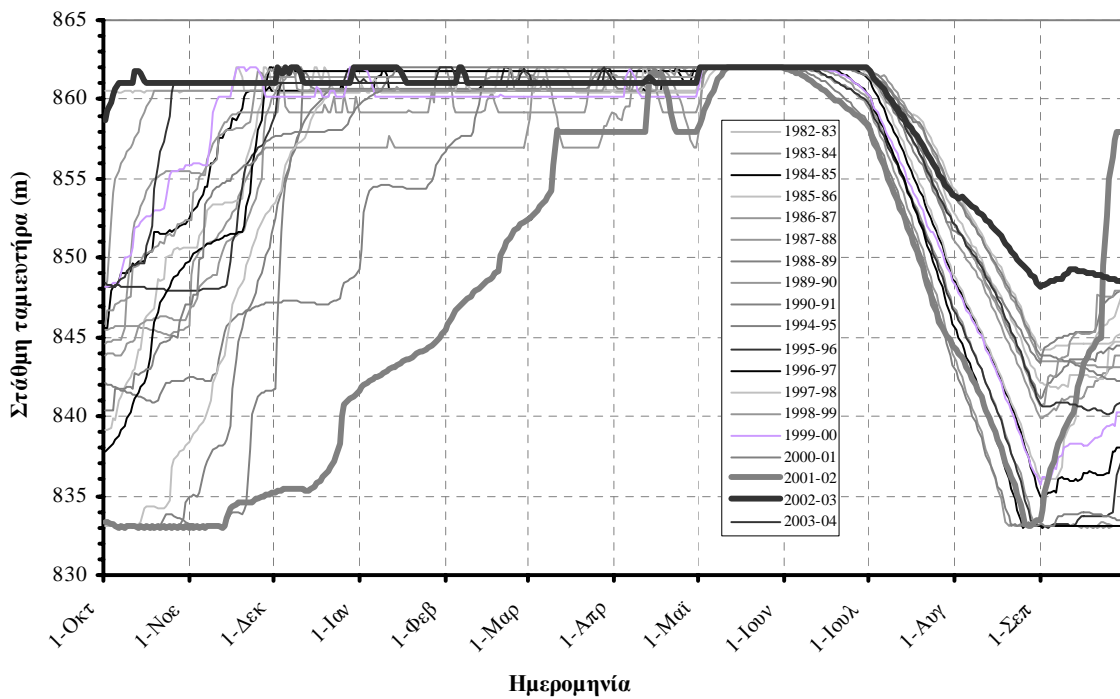
Στα Γραφήματα 7 & 8 δίδεται η λεπτομερής ημέρα την ημέρα λειτουργία του ταμιευτήρα (παροχή ποταμού, παροχή στροβίλων και στάθμη) για τα δύο ακραία υδρολογικά έτη, το πλέον δυσμενές 2001-02 (ξηρό) και το πλέον ευμενές (υγρό) 2002-03 {4}.



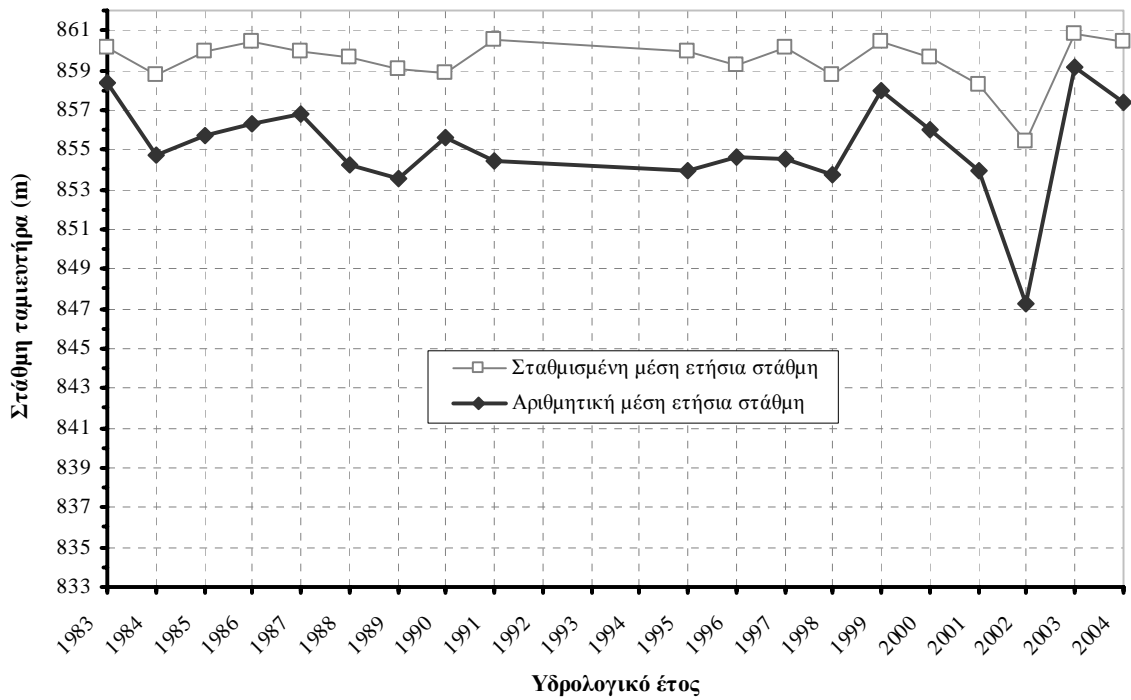
Γράφημα 3: Αποθηκευμένος όγκος νερού με βάση τις μέσες μηνιαίες παροχές (ανά υδρολογικό έτος)



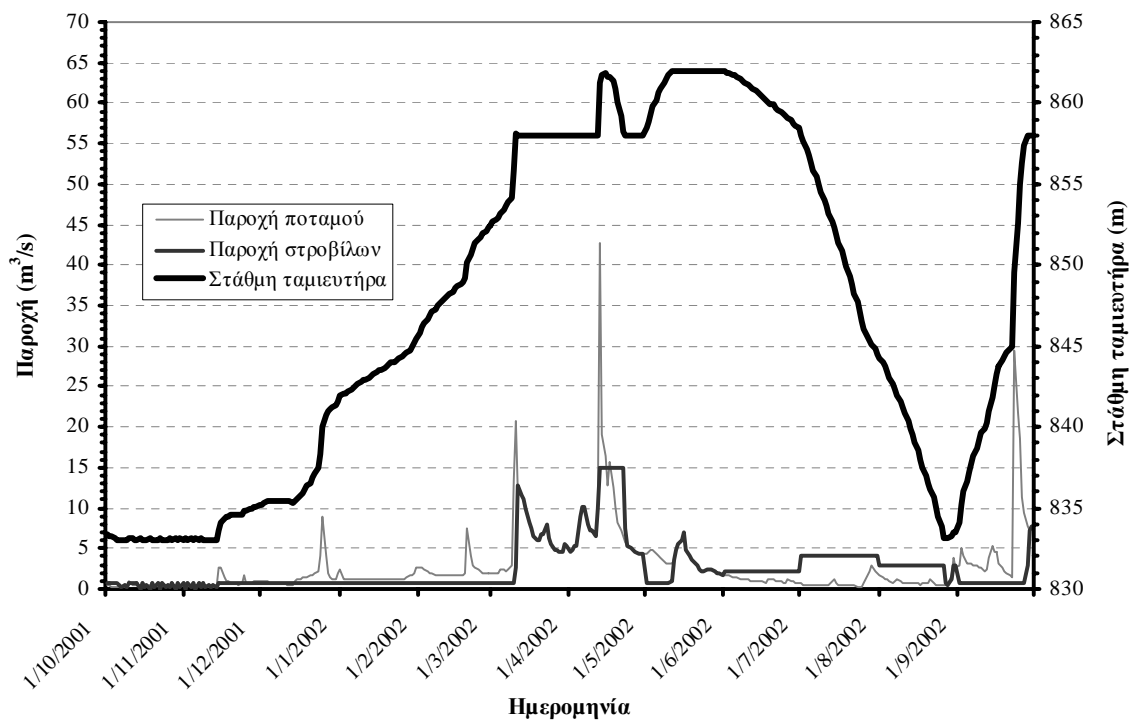
Γράφημα 4: Μεταβολή του αποθηκευμένου όγκου νερού



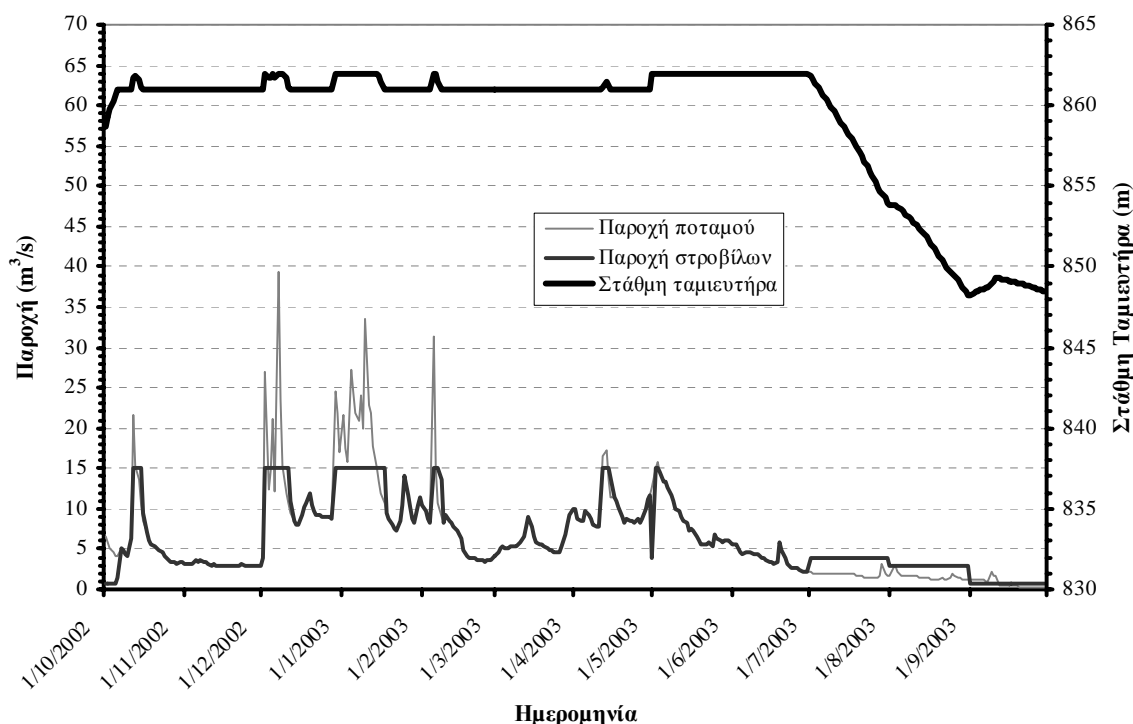
Γράφημα 5: Λειτουργία ταμιευτήρα – ημερήσια μεταβολή στάθμης



Γράφημα 6: Αριθμητική & σταθμισμένη μέση ετήσια στάθμη ταμιευτήρα



Γράφημα 7: Λειτουργία ταμιευτήρα για το πλέον ξηρό έτος – Μέγιστη παροχή στροβίλων $Q_{max}^t = 14 \text{ m}^3/\text{s}$



Γράφημα 8: Λειτουργία ταμιευτήρα για το πλέον υγρό έτος – Μέγιστη παροχή στροβίλων $Q_{\max}^t = 14 \text{ m}^3/\text{s}$

2.5 Επιλογή της μέγιστης ισχύος του σταθμού παραγωγής

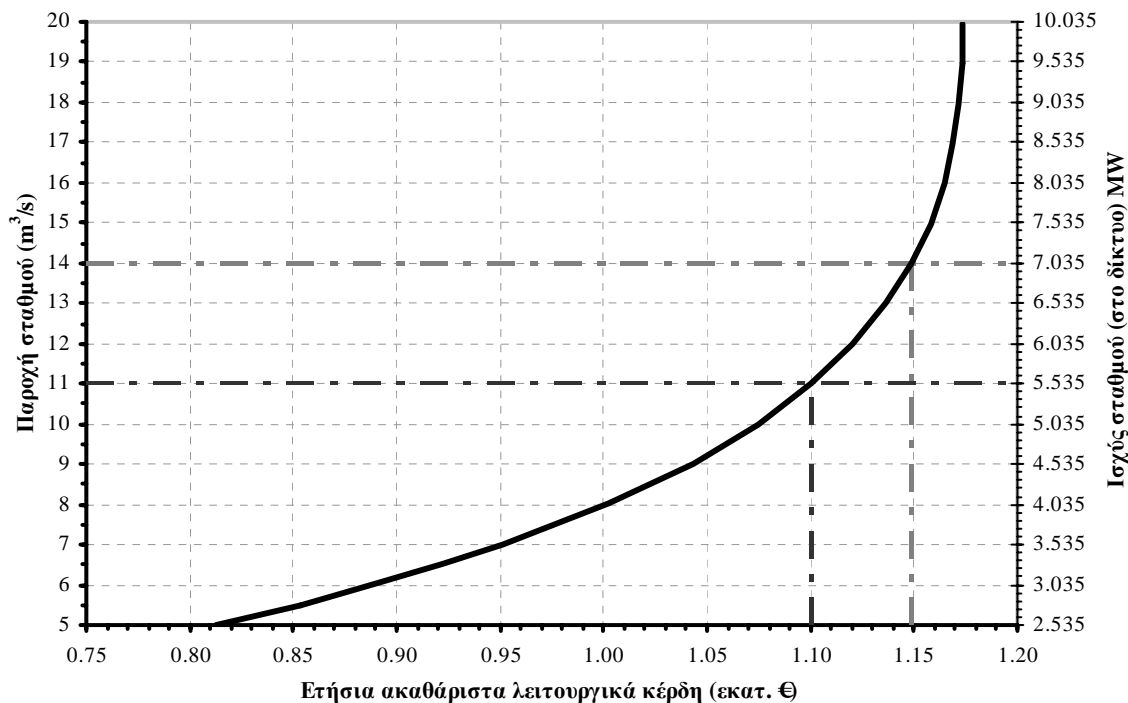
Από την ανάλυση των δεδομένων προκύπτει ότι η συνολική μέγιστη παροχή του σταθμού παραγωγής δεν μπορεί να είναι μικρότερη των $7.25 \text{ m}^3/\text{s}$, καθώς το ποσοστό εκμετάλλευσης είναι μικρότερο του 75.00% που είναι το ελάχιστο απαιτούμενο από τη ΡΑΕ, αλλά ούτε μεγαλύτερη των $14.00 \text{ m}^3/\text{s}$ (ποσοστό εκμετάλλευσης 91.70% και το ποσοστό εμφάνισης περί το 5.85% του χρόνου μόνο).

Για τον ακριβέστερο προσδιορισμό, κυρίως του άνω ορίου της ισχύος για το σταθμό παραγωγής, έγινε πρόβλεψη των ετησίων ακαθάριστων λειτουργικών κερδών από την παραγωγή ενέργειας, για 18 τιμές της συνολικής μέγιστης παροχής του σταθμού παραγωγής από 5.00 έως $20.00 \text{ m}^3/\text{s}$, όπως αναλυτικά εμφανίζονται στον Πίνακα 2 που ακολουθεί.

Από το Γράφημα 9, όπου τα ετήσια ακαθάριστα λειτουργικά κέρδη παρουσιάζονται ως συνάρτηση της συνολικής παροχής του σταθμού παραγωγής, προκύπτει ότι αύξηση της παροχής του σταθμού παραγωγής πέραν των $14.00 \text{ m}^3/\text{s}$ δεν αποφέρει ουσιαστική αύξηση κερδών (αύξηση ετησίων ακαθάριστων λειτουργικών κερδών κατά $15\,871 \text{ €}$ μόνο για αύξηση παροχής σταθμού κατά $2.00 \text{ m}^3/\text{s}$). Επίσης, σημειώνεται από τις τιμές του Πίνακα 2 ότι η αύξηση των εσόδων που προκύπτει από αύξηση της παροχής του σταθμού κατά $2.00 \text{ m}^3/\text{s}$, από τα 9.00 στα $11.00 \text{ m}^3/\text{s}$ ($66\,712 \text{ €}$), είναι σχεδόν ίση με την αύξηση των εσόδων που προκύπτει από αύξηση της παροχής, κατά $3.00 \text{ m}^3/\text{s}$, από τα 11.00 στα $14.00 \text{ m}^3/\text{s}$ ($62\,792 \text{ €}$).

Πίνακας 2. Ετήσια ακαθάριστα λειτουργικά κέρδη από την παραγωγή ενέργειας

Παροχή σταθμού παραγωγής	Μέγιστη στάθμη λειτουργίας ταμειανήρα	Ελάχιστη στάθμη διόρυγας φονής	Ελάχιστη στάθμη λειτουργίας ταμειανήρα	Μέση στάθμη διόρυγας φονής σταθμού παραγωγής	Μέγιστο γεωμετρικό ύψος πτόσης	Μήκος αγωγού παραγωγής	Υδραυλικές απώλειες	Υδραυλικές απώλειες	Μέγιστο καθρό ύψος πτόσης	Ετήσια παραγωγή ενέργειας	Ετήσια έσοδα ισχύος	Ετήσια έσοδα ενέργειας	Ετήσια λειτουργικά έξοδα	Ετήσια ακαθάριστα λειτουργικά κέρδη
m ³ /s	m	m	m	m	m	m	m	%	m	GWh	€	€	€	€
20.00	862.00	799.00	833.00	800.40	63.00	528.00	1.502	2.38	61.50	18.683	147 637	1 270 447	244 337	1 173 747
19.00	862.00	799.00	833.00	800.40	63.00	528.00	1.457	2.31	61.54	18.609	140 355	1 265 426	232 286	1 173 495
18.00	862.00	799.00	833.00	800.40	63.00	528.00	1.416	2.25	61.58	18.517	133 058	1 259 132	220 210	1 171 981
17.00	862.00	799.00	833.00	800.40	63.00	528.00	1.376	2.18	61.62	18.403	125 747	1 251 391	208 109	1 169 029
16.00	862.00	799.00	833.00	800.40	63.00	528.00	1.339	2.13	61.66	18.265	118 422	1 242 024	195 986	1 164 460
15.00	862.00	799.00	833.00	800.40	63.00	528.00	1.304	2.07	61.70	18.099	111 083	1 230 722	183 841	1 157 964
14.00	862.00	799.00	833.00	800.40	63.00	528.00	1.271	2.02	61.73	17.890	103 733	1 216 532	171 676	1 148 589
13.00	862.00	799.00	833.00	800.40	63.00	528.00	1.241	1.97	61.76	17.638	96 371	1 199 364	159 492	1 136 243
12.00	862.00	799.00	833.00	800.40	63.00	528.00	1.213	1.92	61.79	17.335	88 998	1 178 790	147 291	1 120 497
11.00	862.00	799.00	833.00	800.40	63.00	528.00	1.187	1.88	61.81	16.967	81 616	1 153 740	135 073	1 100 283
10.00	862.00	799.00	833.00	800.40	63.00	528.00	1.163	1.85	61.84	16.524	74 225	1 123 617	122 841	1 075 001
9.00	862.00	799.00	833.00	800.40	63.00	528.00	1.141	1.81	61.86	15.986	66 826	1 087 028	110 595	1 043 259
8.00	862.00	799.00	833.00	800.40	63.00	528.00	1.155	1.12	62.29	15.316	59 818	1 041 509	98 997	1 002 329
7.00	862.00	799.00	833.00	800.40	63.00	528.00	0.119	1.11	62.30	14.498	52 349	985 894	86 637	951 606
6.50	862.00	799.00	833.00	800.40	63.00	528.00	0.103	1.10	62.31	14.028	48 614	953 916	80 455	922 075
6.00	862.00	799.00	833.00	800.40	63.00	528.00	0.087	1.09	62.31	13.519	44 878	919 267	74 272	889 873
5.50	862.00	799.00	833.00	800.40	63.00	528.00	0.073	1.08	62.32	12.950	41 140	880 585	68 087	853 638
5.00	862.00	799.00	833.00	800.40	63.00	528.00	0.061	1.08	62.32	12.313	37 403	837 315	61 901	812 817



Γράφημα 9: Ετήσια ακαθάριστα λειτουργικά κέρδη από την παραγωγή ενέργειας

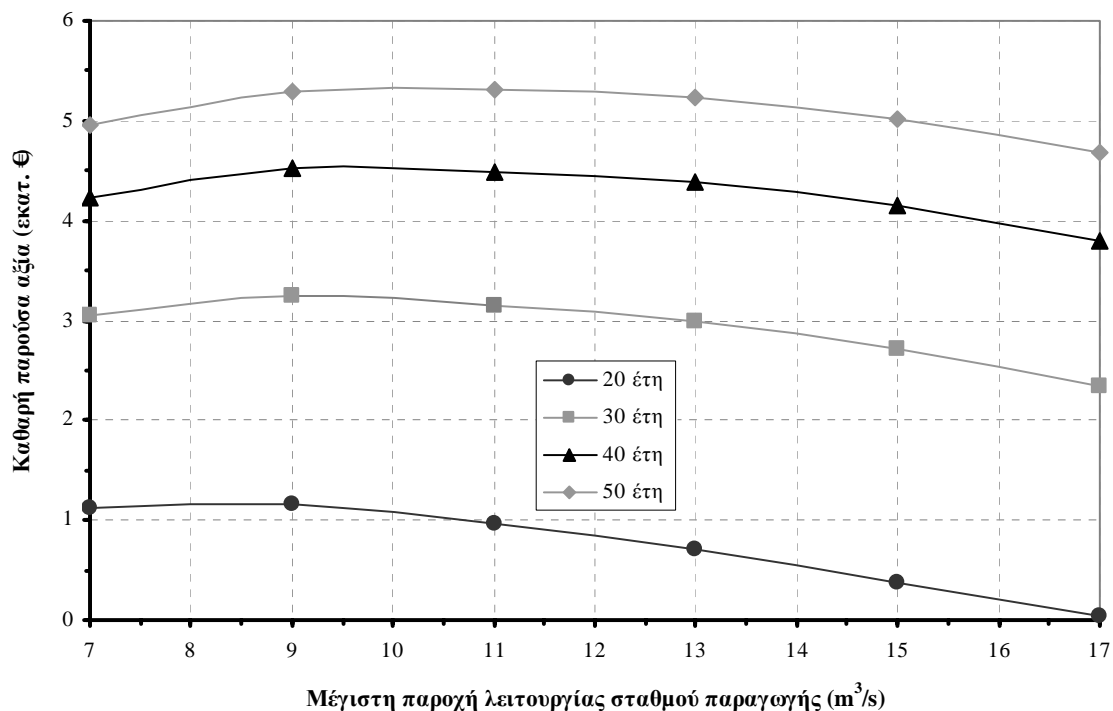
2.6 Επιλογή της βέλτιστης ισχύος του σταθμού παραγωγής

Για την επιλογή της βέλτιστης ισχύος του σταθμού παραγωγής έγινε λεπτομερής οικονομική αξιολόγηση για το σύνολο των έργων παραγωγής ενέργειας. Η ανάλυση έγινε για 6 τιμές της παροχής του σταθμού παραγωγής από 7.00 έως 17.00 m³/s. Τα αποτελέσματα δίδονται στο Γράφημα 10 που ακολουθεί.

Η οικονομική αξιολόγηση γίνεται για περίπτωση χωρίς επιδότηση του κόστους των έργων παραγωγής ενέργειας και για χρόνους εξόφλησης n = 20, 30, 40 και 50 έτη.

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της παραπάνω ανάλυσης προκύπτει ότι η εξόφληση σε 50 αντί για 20 έτη ευνοεί την επιλογή μεγαλύτερης ισχύος.

Το βέλτιστο δείχνει να κυμαίνεται μεταξύ 9.00 και 13.00 m³/s, ανάλογα με την παραδοχή για τα έτη εξόφλησης. Λαμβάνοντας όμως υπόψη ότι η επιδότηση του κόστους των έργων παραγωγής ενέργειας ευνοεί σημαντικά την επιλογή μεγαλύτερης ισχύος, καθώς και τη διαπίστωση ότι το χειμώνα ο ταμιευτήρας είναι σχεδόν πάντα γεμάτος, η επιλογή της μέγιστης παροχής του σταθμού παραγωγής στα 14.00 m³/s φαίνεται ότι είναι η ορθότερη λύση. Η επιλογή αυτή ικανοποιεί οριακά και την απαίτηση του κριτηρίου της ΡΑΕ για το βαθμό αξιοποίησης του σταθμού παραγωγής (Capacity factor ≥ 0.30).



Γράφημα 10: Μεταβολή καθαρής παρούσας αξίας

3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της μελέτης, συμπεραίνεται ότι με την κατασκευή μικρού όγκου αναρρυθμιστικής δεξαμενής κατάντη του φράγματος δίνεται η δυνατότητα πλήρους αξιοποίησης των νερών του ποταμού για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, αποδεσμεύοντας τη λειτουργία του σταθμού από τις άλλες κύριες χρήσεις.

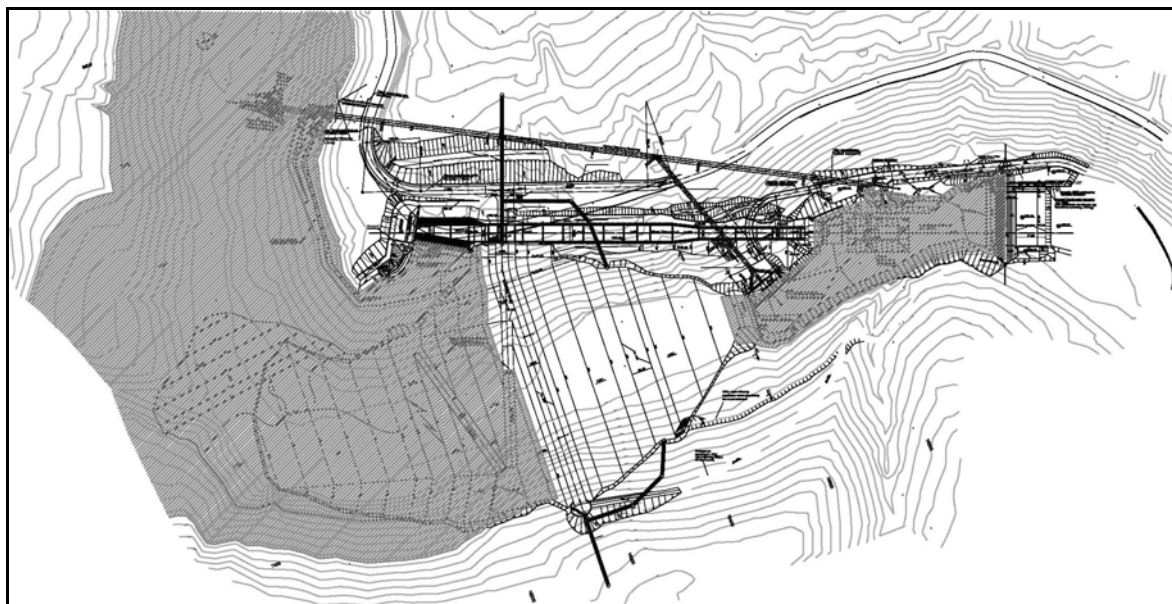
Εξασφαλίζεται παράλληλα μια σημαντική συνεχής οικολογική παροχή προς τα κατάντη $0.64 \text{ m}^3/\text{s}$, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες όπου υπάρχει και ιδιαίτερη οικολογική ευαισθησία λόγω των καθιερωμένων δραστηριοτήτων (River Party) που λαμβάνουν χώρα στο ποτάμι σε θέση αμέσως κατάντη των έργων και αποτελούν πόλο έλξης στην περιοχή.

Τα κύρια λειτουργικά και ενεργειακά χαρακτηριστικά του έργου είναι:

- ✓ Μέγιστη παροχή σταθμού παραγωγής $14.00 \text{ m}^3/\text{s}$.
- ✓ Μέση παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας $18.00 \text{ GWh} / \text{έτος}$.
- ✓ Εξασφάλιση της βέλτιστης παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας με ισχύ σταθμού παραγωγής 7.031 MW .
- ✓ Επιτυγχάνεται η εξασφάλιση των αναγκών ύδρευσης και άρδευσης χωρίς να υπάρχει καμία εμπλοκή με την ενεργειακή λειτουργία.
- ✓ Καμία σταγόνα νερού δεν πάει χαμένη (ενεργειακά). Ενεργειακή αξιοποίηση, με το βέλτιστο βαθμό απόδοσης, του συνόλου της ποσότητας του νερού που χρησιμοποιείται για ύδρευση, άρδευση καθώς και για την οικολογική παροχή του ποταμού.
- ✓ Ακαθάριστα ετήσια λειτουργικά κέρδη από την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας περίπου $1.15 \times 10^6 \text{ €}$

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. ΥΔΡΕΤΜΕ Ε.Ε. 2008. *Μελέτη κατασκευής φράγματος Νεστορίου Ν. Καστοριάς*, Οριστική μελέτη, Αθήνα.
2. ΥΔΡΕΤΜΕ Ε.Ε. 2008. *Φυλλάδιο & παρουσίαση της οριστικής μελέτης του φράγματος Νεστορίου Ν. Καστοριάς*, Αθήνα.
3. ΔΕΗ 1985. *Σχέδιο αξιοποίησης μέσου και άνω Αλιάκμονα*, Αθήνα.
4. ΥΔΡΕΤΜΕ Ε.Ε. 2005. *Μελέτη κατασκευής φράγματος Νεστορίου Ν. Καστοριάς*, Προμελέτη, Αθήνα.



Σχέδιο 1. Γενική διάταξη φράγματος Νεστορίου Καστοριάς

Maximization of hydroelectric production at the Nestorio irrigation dam - municipality of Kastoria

E.E. Rampias

Civil Engineer, Dipl. NTUA, MSc, PhD student at NTUA

S.K. Kotsakos

Civil Engineer

J.P. Stefanakos

Civil Engineer, Dipl. NTUA, MSc, DIC, MSc, MBA, PhD, Lecturer at NTUA

ABSTRACT: Nestorio dam site is located in the municipality of Kastoria (prefecture of Western Macedonia) right on the main stream of Aliakmon river. The primary purpose of the project is irrigation and water supply of the major area. With a small hydroelectric power station (SHPS) and a reregulating reservoir to be constructed immediately downstream of the dam, optimization of hydroelectric production is achieved. The flow reregulating reservoir allows the SHPS to operate at its optimum capacity, while the environmental discharge is provided from the reregulating reservoir storage. The effect of the water surface fluctuation of the main reservoir on the power production is also studied. Conclusively the selection of the optimum SHPS install capacity is made based on financial and technical parameters and studies.