

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΜΙΚΡΟΥ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ

Δημήτριος Ε. Παπαντώνης

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Γμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο
Υδροδυναμικών Μηχανών, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 10 Ζωγράφου,
e-mail: papan@central.ntua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα (ΥΗΕ) σχεδιάζονται και κατασκευάζονται συνήθως χωρίς την πρόβλεψη ανάντι ταμιευτήρα, κυρίως για λόγους μείωσης του κόστους. Ανάντι του φράγματος ή του υπερχειλιστή διαμορφώνεται μία λεκάνη, πολύ μικρής χωρητικότητας, η οποία εξασφαλίζει τις καλές υδραυλικές συνθήκες της ροής στην υδροληψία. Με την διαμόρφωση ενός ανάντι ταμιευτήρα σημαντικής χωρητικότητας επιτυγχάνεται η αποθήκευση ποσοτήτων νερού η οποία διαφορετικά θα διέφευγε αναξιοποίητη. Προφανώς, με την αύξηση της χωρητικότητας του ανάντι ταμιευτήρα επιτυγχάνεται μεγαλύτερος βαθμός αξιοποίησης της διαθέσιμης υδραυλικής ενέργειας, όμως αυξάνεται και το κόστος κατασκευής του μικρού ΥΗΕ. Στην εργασία αυτή εξετάζεται, μέσω ενός προγράμματος Υ/Η, η επίδραση της χωρητικότητας του ταμιευτήρα τόσο στην ενεργειακή απόδοση ενός μικρού ΥΗΕ όσο και στην συνολική οικονομική απόδοση της επένδυσης.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως ήδη αναφέρθηκε, τα μικρά ΥΗΕ κατασκευάζονται συνήθως χωρίς ανάντι ταμιευτήρα για λόγους διατήρησης του κόστους σε χαμηλά επίπεδα. Αποτέλεσμα αυτής της επιλογής είναι να λειτουργούν τα μικρά ΥΗΕ ως έργα κατά τον ρου του ποταμού, δηλ. να αξιοποιούν την τρέχουσα παροχή Q_y του υδατορέματος. Εάν αυτή είναι μεγαλύτερη από την μέγιστη την οποία μπορούν να απορροφήσουν οι υδροστρόβιλοι, τότε η διαφορά υπερχειλίζει και διαφεύγει αναξιοποίητη, ενώ όταν είναι μικρότερη από την ελάχιστη με την οποία λειτουργούν οι υδροστρόβιλοι, τότε η παροχή του υδατορέματος διαφεύγει αναξιοποίητη. Αποτέλεσμα αυτού του τρόπου λειτουργίας είναι η απώλεια παραγωγής ενέργειας. Η διαφεύγουσα ενέργεια θα μπορούσε να μειωθεί δραστικά εάν στο μικρό ΥΗΕ είχε διαμορφωθεί ανάντι ταμιευτήρας ικανής χωρητικότητας. Εκτιμάται ότι ο ρόλος του ταμιευτήρα θα είναι τόσο πιο σημαντικός όσο πιο έντονη είναι η διακύμανση της παροχής του υδατορέματος, όπως συμβαίνει με τα περισσότερα υδατορέματα της Ελλάδας τα οποία έχουν έντονο χειμαρικό χαρακτήρα. Εκτιμάται ότι πάνω από το 80% της ετήσιας ποσότητας του νερού ενός υδατορέματος αντιστοιχεί στην παροχή 6 μόνο μηνών.

Ένα άλλο όφελος από την κατασκευή ταμιευτήρα μιας κάποιας χωρητικότητας σε ένα μικρό ΥΗΕ προκύπτει στις περιπτώσεις κατά τις οποίες η τιμή πώλησης της ενέργειας κλιμακώνεται σε ώρες αιχμής και ώρες βάσης. Στην περίπτωση αυτή ο ταμιευτήρας διαστασιολογείται ώστε η παραγωγή της ενέργειας να επικεντρώνεται γύρω από την ζώνη της περιόδου αιχμής κάθε ημέρας [1]. Στην Ελλάδα η τιμή πώλησης είναι ενιαία και γι' αυτό δεν θα γίνει άλλη αναφορά στο όφελος αυτό που προσδίδει ένας ταμιευτήρας. Όμως η κατασκευή ανάντι ταμιευτήρα σε ένα μικρό ΥΗΕ αυξάνει το κόστος κατασκευής του, λόγω της αύξησης του ύψους του φράγματος και της έκτασης που θα πρέπει να απαλλοτριωθεί. Θα πρέπει λοιπόν στο όφελος του ταμιευτήρα να ληφθεί υπόψη και η αύξηση της δαπάνης.

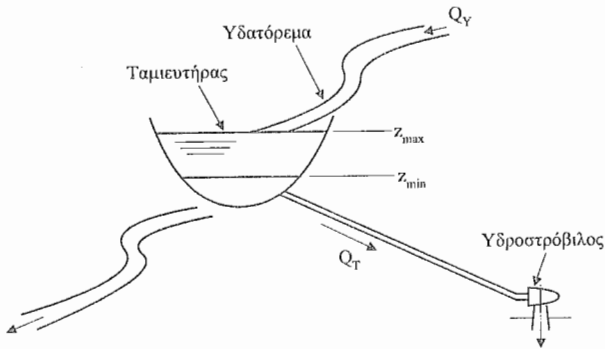
Στην εργασία αυτή εξετάζεται η λειτουργία ενός μικρού ΥΗΕ εφοδιασμένου με ανάντι ταμιευτήρα και συγκρίνεται η παραγόμενη ενέργεια και τα λοιπά χαρακτηριστικά με αυτά του ίδιου μικρού ΥΗΕ χωρίς ανάντι ταμιευτήρα. Η χωρητικότητα του ταμιευτήρα θεωρείται ως μία μεταβλητή παράμετρος. Για λόγους σύγκρισης τα βασικά δεδομένα είναι τα ίδια και στις δύο περιπτώσεις, όπως τα υδρολογικά δεδομένα του υδατορέματος, η υδραυλική πτώση, το μήκος αγωγού προσαγωγής, κλπ. Η εξέταση γίνεται με πρόγραμμα Η/Υ μέσω του οποίου γίνεται προσομοίωση της λειτουργίας.

Η προσομοίωση της λειτουργίας ενός μικρού ΥΗΕ χωρίς ανάντι ταμιευτήρα έχει ήδη αναλυθεί σε προηγούμενες εργασίες [2], [3] και [4]. Στην περίπτωση μικρού ΥΗΕ κατά τον ρου του ποταμού η ανάλυση μπορεί να γίνει με βάση την καμπύλη διάρκειας της παροχής του υδατορέματος και μπορεί να έχει χρονικό βήμα ίσο μία ημέρα (24 ώρες) χωρίς να μειώνεται η ακρίβεια των υπολογισμών. Στην περίπτωση όμως που προσομοιώνεται η λειτουργία ενός μικρού ΥΗΕ με ανάντι ταμιευτήρα, η ανάλυση της λειτουργίας πρέπει να βασισθεί σε ημερήσιες χρονοσειρές της παροχής του υδατορέματος καθόσον η διαδοχή των φυσικών εισροών επηρεάζει την πληρότητα του ταμιευτήρα και άρα την δυνατότητα αξιοποίησης των υδάτων. Το χρονικό βήμα Δt της ανάλυσης πρέπει να είναι ίσο προς τον χρόνο απόκρισης του συστήματος αυτοματισμού ενός μικρού ΥΗΕ, το οποίο είναι της τάξεως των $15 \text{ min} = 900 \text{ sec}$.

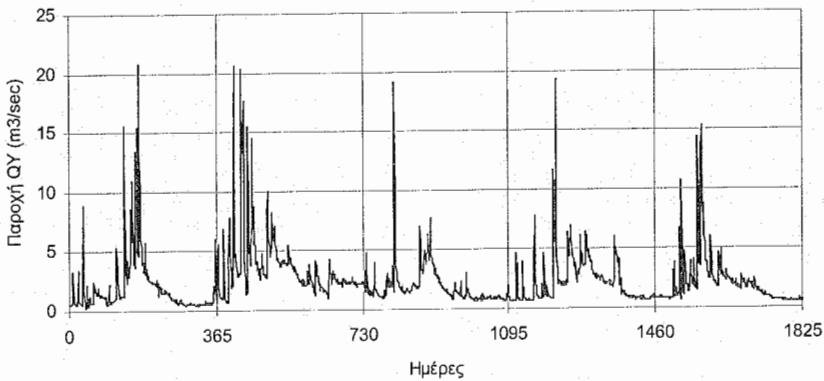
2. ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΚΡΟΥ ΥΗΕ ΜΕ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

Το πρόγραμμα Η/Υ που αναπτύχθηκε για την προσομοίωση της λειτουργίας ενός μικρού ΥΗΕ με ανάντι ταμιευτήρα βασίζεται στην περιγραφή της πραγματικής λειτουργίας ενός μικρού ΥΗΕ. Βασικό μέγεθος εισόδου του συστήματος ελέγχου της λειτουργίας αποτελεί η στάθμη z του ανάντι ταμιευτήρα. Όσο αυτή αυξάνεται, ενδεικτικό της αύξησης της παροχής του υδατορέματος σε σύγκριση με την παροχή που διέρχεται από τους υδροστροβίλους, δίνεται εντολή στο σύστημα αυτοματισμού αύξησης του ανοίγματος της στεφάνης των ρυθμιστικών περυγίων, οπότε αυξάνεται η παροχή Q_T του υδροστροβίλου και η παραγόμενη ισχύς. Το αντίστροφο συμβαίνει όταν μειώνεται η στάθμη z του ανάντι ταμιευτήρα, οπότε δίνεται εντολή κλεισίματος των ρυθμιστικών περυγίων και μείωσης της παροχής Q_T των υδροστροβίλων. Οι αλλαγές στο σημείο λειτουργίας του υδροστροβίλου γίνονται μετά από παρέλευση ενός χρονικού διαστήματος Δt , έτσι ώστε να επιβεβαιωθεί ότι η μεταβολή της στάθμης δεν είναι τυχαία. Το χρονικό αυτό διάστημα Δt αποτελεί και το χρονικό βήμα προσομοίωσης της λειτουργίας της μονάδας παραγωγής και έχει ληφθεί ίσο προς $\frac{1}{4}$ της ώρας, δηλ. 15 min.

Στο σχήμα 1 δίνεται σχηματικά διάταξη του μικρού ΥΗΕ όπου ορίζονται τα διάφορα φυσικά μεγέθη που υπεισέρχονται στην αριθμητική προσομοίωση. Η παροχή Q_y του υδατορέματος στην διατομή της υδροληψίας μεταβάλλεται ανάλογα με τα υδρολογικά στοιχεία της αντίστοιχης λεκάνης απορροής. Στο διάγραμμα του σχήματος 2 δίνεται το υδρογράφημα του υδατορέματος που έχει ληφθεί υπόψη για την εφαρμογή, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται στην συνέχεια. Στο υδρογράφημα αυτό δίνονται οι παροχές επί πέντε (5) συνεχή υδρολογικά έτη, όπως έχουν μετρηθεί και αξιολογηθεί. Πρόκειται για ένα τυπικό υδρογράφημα στο οποίο διακρίνεται η έντονη διακύμανση της φυσικής απορροής του υδατορέματος. Λόγω ακριβώς αυτής της έντονης διακύμανσης της φυσικής απορροής υπάρχει αντικείμενο βελτιστοποίησης του μεγέθους και του πλήθους των υδροστροβίλων καθώς και της χωρητικότητας του ανάντι ταμιευτήρα.



Σχήμα 1 Σχηματική διάταξη της λειτουργίας μικρού ΥΗΕ με ανάντι ταμιευτήρα



Σχήμα 2 Τυπικό υδρογράφημα υδατορέματος επί 5 συνεχή υδρολογικά έτη

Ο τύπος του υδροστροβίλου (Francis, Pelton ή αξονικής ροής) επιλέγεται κυρίως σε συνάρτηση με την ονομαστική τιμή της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης H . Βασικό χαρακτηριστικό του κάθε τύπου υδροστροβίλου είναι το εύρος λειτουργίας του δηλ. η περιοχή ελάχιστης Q_{TE} και μέγιστης Q_{TM} παροχής λειτουργίας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ο λόγος της ελάχιστης παροχής λειτουργίας Q_{TE} ως προς την ονομαστική παροχή Q_{TN} , δηλ. ο λόγος Q_{TE}/Q_{TN} λαμβάνεται ίσος προς 0,55 ενώ ο λόγος της μέγιστης παροχής λειτουργίας Q_{TM} ως προς την ονομαστική παροχή Q_{TN} , δηλ. ο λόγος Q_{TM}/Q_{TN} λαμβάνεται ίσος προς 1,25. Στους υπολογισμούς της παραγόμενης ενέργειας λαμβάνεται επίσης υπόψη μία ενδεικτική καμπύλη του βαθμού απόδοσης του υδροστροβίλου και της ηλεκτρικής γεννήτριας.

Επειδή στην συνέχεια γίνεται σύγκριση της λειτουργίας με ή χωρίς ταμιευτήρα, περιγράφεται συνοπτικά η αρχή της προσομοίωσης της λειτουργίας σε κάθε περίπτωση. Μία άλλη παράμετρος του προβλήματος αποτελεί το πλήθος των υδροστροβίλων N . Στο παράδειγμα που ακολουθεί έχει ληφθεί $N=2$, δηλ. ο μικρός ΥΗ Σταθμός είναι εξοπλισμένος με δύο ταυτόσημους υδροστροβίλους.

2.1 Λειτουργία χωρίς ταμιευτήρα

Στην περίπτωση όπου η χωρητικότητα της ανάντι λεκάνης είναι αμελητέα, η λειτουργία του μικρού ΥΗΕ προγραμματίζεται έτσι ώστε:

- όταν η φυσική παροχή Q_Y του υδατορέματος κυμαίνεται μεταξύ ($N Q_{TE}$) και ($N Q_{TM}$) η παροχή λειτουργίας Q είναι ίση προς την παροχή Q_Y του υδατορέματος
- όταν η φυσική παροχή Q_Y του υδατορέματος είναι μικρότερη της ελάχιστης παροχής λειτουργίας ($N Q_{TE}$) οι υδροστροβίλοι βρίσκονται εκτός λειτουργίας όποτε, ελλείπει αποθηκευτικής ικανότητας της ανάντι λεκάνης, η φυσική παροχή Q_Y διαφεύγει αναξιοποίητη
- όταν η φυσική παροχή Q_Y του υδατορέματος είναι μεγαλύτερη της μέγιστης παροχής λειτουργίας ($N Q_{TM}$) οι υδροστροβίλοι λειτουργούν με την μέγιστη παροχή τους οπότε, ελλείπει αποθηκευτικής ικανότητας της ανάντι λεκάνης, η παροχή $Q_Y - (N Q_{TM})$ διαφεύγει αναξιοποίητη

Γίνεται προφανές ότι λόγω έλλειψης αποθηκευτικής ικανότητας στην ανάντι λεκάνη μεγάλη ποσότητα νερού διαφεύγει αναξιοποίητη. Η προσομοίωση της λειτουργίας χωρίς ταμιευτήρα, όπως αυτή περιεγράφη προηγουμένα, μπορεί να γίνει με βάση την καμπύλη διάρκειας της παροχής, καθόσον δεν παίζει ρόλο η χρονοσειρά των φυσικών παροχών του υδατορέματος.

2.2 Λειτουργία με ταμιευτήρα

Με την διαμόρφωση ταμιευτήρα στην λεκάνη ανάντι της υδροληψίας γίνεται δυνατή η καλύτερη αξιοποίηση των φυσικών εισροών, κυρίως επειδή στις περιόδους στις οποίες η φυσική παροχή Q_Y του υδατορέματος είναι μικρότερη της ελάχιστης παροχής λειτουργίας ($N Q_{TE}$), η εισρέουσα ποσότητα Q_Y αποθηκεύεται χωρίς να διαφεύγει αναξιοποίητη εξ ολοκλήρου, όπως συμβαίνει στην περίπτωση κατά την οποία δεν υπάρχει ταμιευτήρας.

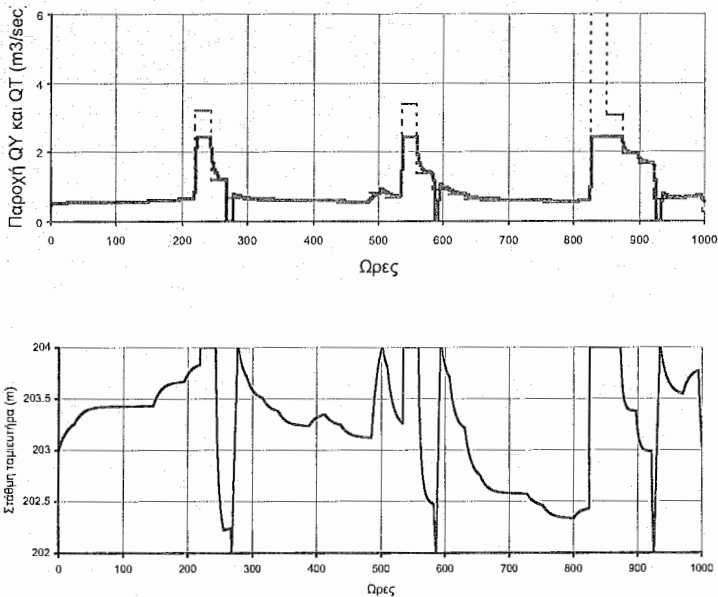
Για να γίνει δυνατή η προσομοίωση της λειτουργία εισάγεται μία καμπύλη στάθμης z και όγκου V του ταμιευτήρα. Βασικό χαρακτηριστικό του ταμιευτήρα αποτελεί η μέγιστη και η ελάχιστη στάθμη του, z_{max} και z_{min} αντίστοιχα. Ως μέγιστη στάθμη z_{max} λαμβάνεται η στάθμη του εκχειλιστού ενώ η ελάχιστη στάθμη σχετίζεται με τις συνθήκες της υδροληψίας. Όταν η στάθμη z τείνει να γίνει μεγαλύτερη από την μέγιστη τιμή της z_{max} και ενώ λειτουργούν και οι δύο υδροστροβίλοι με την μέγιστη παροχή τους, δηλ. την Q_{TM} , τότε η διαφορά $Q_Y - (N Q_{TM})$ υπερχειλίζει και διαφεύγει αναξιοποίητη.

Η προσομοίωση γίνεται με χρονικό βήμα $\Delta t = 15 \text{ min}$. Έστω ότι στο εξεταζόμενο χρονικό βήμα η παροχή κάθε υδροστροβίλου είναι ίση προς Q_T (προφανώς $Q_{TE} < Q_T < Q_{TM}$) ενώ η εισερχόμενη παροχή του υδατορέματος είναι ίση προς Q_Y . Λόγω της διαφοράς μεταξύ εισερχόμενης και απορροφούμενης παροχής, κατά την διάρκεια του εξεταζόμενου χρονικού βήματος Δt , θα δημιουργείται μία συσσώρευση νερού στο ταμιευτήρα ίση προς:

$$\Delta V = (Q_Y - N Q_T) \Delta t$$

Η ποσότητα ΔV μπορεί να έχει θετικό ή αρνητικό πρόσημο και αντιστοιχεί σε μία ανύψωση ή καταβίβαση της στάθμης του ταμιευτήρα κατά Δz , σύμφωνα με την καμπύλη στάθμης-χωρητικότητας του ταμιευτήρα. Ανάλογα με το πρόσημο της μεταβολής της στάθμης και το μέγεθος και τον ρυθμό της μεταβολής της στάθμης αυξάνεται (όταν $\Delta z > 0$) ή μειώνεται (όταν $\Delta z < 0$) η παροχή Q_T των υδροστροβίλων (πάντοτε μέσα στα όρια $Q_{TE} < Q_T < Q_{TM}$), ή και το πλήθος των υδροστροβίλων που βρίσκονται σε λειτουργία, και το οποίο μπορεί να παίρνει τις διακριτές τιμές $N=0, 1$ ή 2 (για δύο υδροστροβίλους εγκατεστημένους).

Στο σχήμα 3 δίνεται ενδεικτικά η προσομοίωση της λειτουργίας του μικρού ΥΗΕ με ανάντι ταμιευτήρα για ένα χρονικό διάστημα 1000 ωρών. Η παροχή Q_T των υδροστροβίλων τείνει, με κάποια υστέρηση, να παρακολουθήσει (μέσα στο δυνατό εύρος λειτουργίας) την παροχή



Σχήμα 3 Προσομοίωση της λειτουργίας με ταμιευτήρα
 α) Διακύμανση της εισρέουσας και απορροφούμενης παροχής
 β) Διακύμανση της στάθμης του ταμιευτήρα

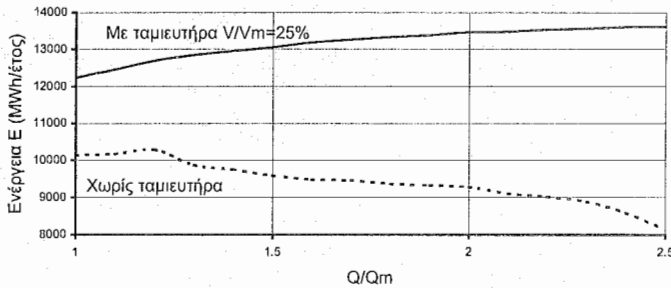
του υδατορέματος Q_d (με διακεκομμένη γραμμή), σχήμα 3α. Στο σχήμα 3β δίνεται η αντίστοιχη μεταβολή της στάθμης z του ταμιευτήρα, η οποία περιορίζεται ανάμεσα στην μέγιστη και ελάχιστη τιμή, z_{\max} και z_{\min} .

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

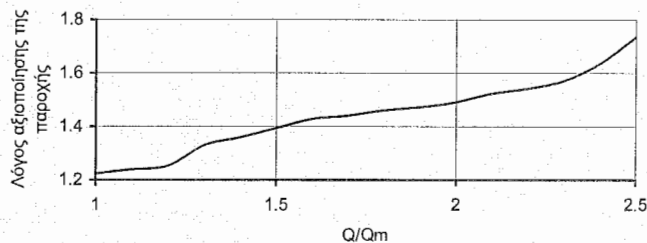
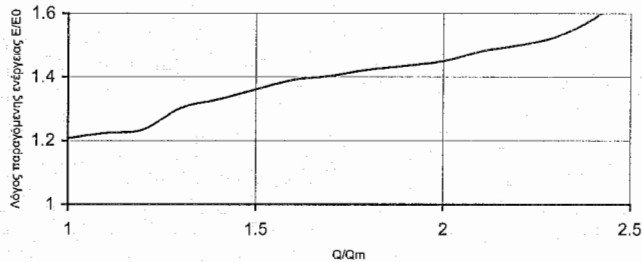
Εφαρμόζοντας την μέθοδο προσομοίωσης της λειτουργίας ενός μικρού ΥΗΕ χωρίς ταμιευτήρα και με ταμιευτήρα, όπως αυτή παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο, είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την επίδραση της χωρητικότητας του ταμιευτήρα στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης. Τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν και τα συμπεράσματα που θα εξαχθούν εξαρτώνται, όσον αφορά τα αριθμητικά αποτελέσματα, από τα δεδομένα με εισήχθησαν και κυρίως με την χρονοσειρά των παροχών του υδατορέματος.

Όλα τα αποτελέσματα που δίνονται στην συνέχεια δίνονται με παράμετρο την ονομαστική παροχή Q κάθε υδροστροβίλου, αδιαστατοποιημένη ως προς την μέση παροχή Q_m της χρονοσειράς των παροχών του υδατορέματος. Άρα για την δεδομένη χρονοσειρά των παροχών, η μέση παροχή Q_m είναι σταθερή οπότε ο λόγος Q/Q_m εκφράζει την ονομαστική παροχή και άρα το μέγεθος του κάθε υδροστροβίλου. Μία άλλη παράμετρος που εισάγεται είναι ο λόγος της ωφέλιμης χωρητικότητας V του ταμιευτήρα προς τον μέσο ημερήσιο όγκο V_m της εισρέουσας παροχής, δηλ. της ποσότητας $V_m = t_d Q_m$, όπου με t_d συμβολίζεται το χρονικό διάστημα ενός 24ώρου.

Στο διάγραμμα του σχήματος 4 δίνεται η ενέργεια E_0 που παράγεται ετησίως από το μικρό ΥΗΕ χωρίς ταμειυτήρα (διακεκομμένη γραμμή) καθώς και η ενέργεια E που παράγεται από το μικρό ΥΗΕ με τα ίδια δεδομένα αλλά με ταμειυτήρα χωρητικότητας 40.000 m^3 , δηλ. ωφέλιμης χωρητικότητας ίσης προς το 25% της μέσης ημερήσιας εισρέουσας ποσότητας, $V/V_m=25\%$. Στην περίπτωση του ταμειυτήρα γίνεται φανερή η μικρή αύξηση της παραγόμενης ενέργειας όσο αυξάνεται το μέγεθος των υδροστροβίλων. Το αντίθετο συμβαίνει, αλλά με πιο έντονο ρυθμό στην περίπτωση που το μικρό ΥΗΕ δεν έχει ταμειυτήρα. Αντίστοιχα συμπεράσματα προκύπτουν από την εξέταση των διαγραμμάτων του σχήματος 5. Στο διάγραμμα του σχήματος 5α δίνεται ο λόγος E_0/E της παραγόμενης ενέργειας ετησίως χωρίς και με ταμειυτήρα ωφέλιμης χωρητικότητας 40.000 m^3 , οι τιμές του οποίου αυξάνονται όσο αυξάνεται το μέγεθος των υδροστροβίλων και είναι της τάξεως του 1,2 (αύξηση της παραγωγής ενέργειας κατά 20%) για $Q/Q_m=1$. Η αύξηση αυτή της παραγόμενης ενέργειας οφείλεται κυρίως στην καλύτερη αξιοποίηση της εισερχόμενης παροχής του υδατορέματος, όπως προκύπτει από το διάγραμμα του σχήματος 5β.

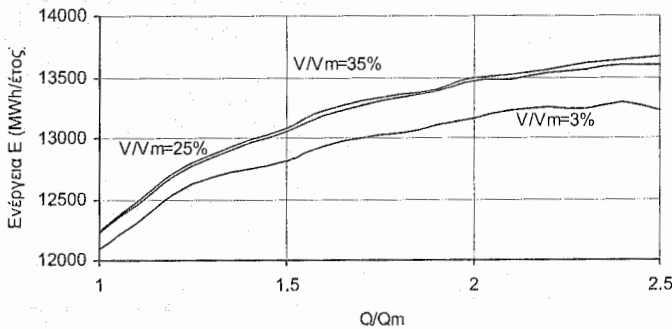


Σχήμα 4 Ετησίως παραγόμενη ενέργεια συναρτήσει του μεγέθους των υδροστροβίλων (ον. παροχή) χωρίς ταμειυτήρα και με ταμειυτήρα χωρητικότητας 40.000 m^3



Σχήμα 5 Σύγκριση της λειτουργίας χωρίς και με ταμειυτήρα
 α) Λόγος της ενέργειας που παράγεται ετησίως
 β) Λόγος της αξιοποίησης της εισρέουσας παροχής

Στο διάγραμμα του σχήματος 6 δίνεται η μεταβολή της ενέργειας που παράγεται ετησίως με ταμιευτήρα, συναρτήσει της ονομαστικής παροχής Q των υδροστροβίλων και με παράμετρο την ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα. Συγκεκριμένα οι τρεις καμπύλες αντιστοιχούν σε ταμιευτήρα χωρητικότητας $V=5.000 \text{ m}^3$ ($V/V_m=3 \%$), $V=40.000 \text{ m}^3$ ($V/V_m=25 \%$) και $V=60.000 \text{ m}^3$ ($V/V_m=35 \%$). Από τις καμπύλες αυτές γίνεται φανερό ότι όσο αυξάνεται η χωρητικότητα του ταμιευτήρα αυξάνεται και η παραγόμενη ενέργεια, όμως η αύξηση αυτή είναι οριακή, ιδιαίτερα όσο πιο μεγάλη γίνεται η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα. Κατά συνέπεια, αναμένεται ότι το όφελος στην παραγωγή ενέργειας, άρα και στα έσοδα του έργου, από την διαμόρφωση ενός ταμιευτήρα θα αντισταθμίζεται πολύ γρήγορα από την αύξηση του κόστους του έργου λόγω της κατασκευής του ταμιευτήρα.

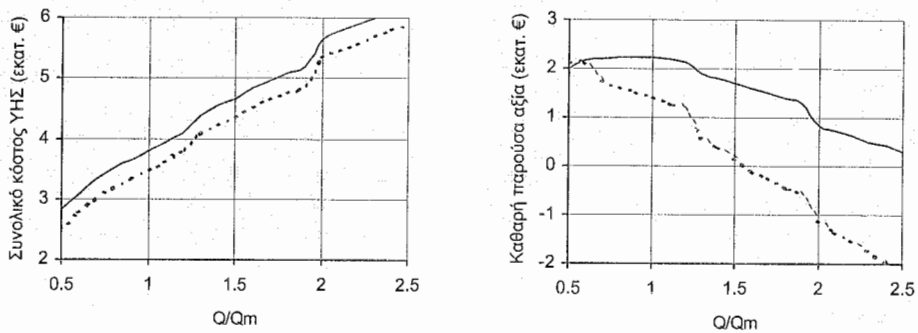


Σχήμα 6 Ετησίως παραγόμενη ενέργεια συναρτήσει του μεγέθους των υδροστροβίλων (ον. παροχή) με παράμετρο την ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα ($V/V_m=3\%$, 25% και 35%)

4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Τα αποτελέσματα της προηγούμενης παραγράφου δίνουν μία ποσοτική εκτίμηση της αύξησης της παραγόμενης ενέργειας, και άρα των εσόδων της επένδυσης, από ένα μικρό ΥΗΕ με ταμιευτήρα σε σύγκριση με το ίδιο μικρό ΥΗΕ χωρίς ταμιευτήρα. Όμως η διαμόρφωση του ταμιευτήρα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους κατασκευής της επένδυσης οπότε θα πρέπει να εξετασθεί το κατά πόσο η αύξηση των ετήσιων εσόδων δικαιολογούν την αύξηση της δαπάνης. Ο υπολογισμός του επιπλέον κόστους για την διαμόρφωση του ταμιευτήρα γίνεται με συσχετίσεις που λαμβάνουν υπόψη το πλάτος και το ύψος του φράγματος καθώς και την αξία της έκτασης που θα απαλλοτριωθεί.

Στο σχήμα 7α δίνεται το κόστος κατασκευής του μικρού ΥΗΕ χωρίς ταμιευτήρα (διακεκομμένη γραμμή) και με ταμιευτήρα χωρητικότητας 40.000 m^3 , συναρτήσει της ονομαστικής παροχής, άρα του μεγέθους, των υδροστροβίλων. Όπως αναμένεται το κόστος του έργου αυξάνεται συνεχώς με το μέγεθος και άρα την ονομαστική ισχύ. Λαμβάνοντας υπόψη διάρκεια εκμετάλλευσης 20 ετών, τιμή πώλησης της KWh ίση προς $0,056 \text{ €}$ και προεξοφλητικό επιτόκιο 8% υπολογίζεται στην συνέχεια η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης. Στο διάγραμμα του σχήματος 7β δίνεται η μεταβολή της καθαρής παρούσας αξίας χωρίς και με ταμιευτήρα συναρτήσει της ονομαστικής παροχής των υδροστροβίλων. Από το διάγραμμα του σχήματος 7β προκύπτει ότι για μικρές τιμές της ονομαστικής παροχής και ονομαστικής ισχύος των υδροστροβίλων, οπότε και η διαφορά της παραγόμενης ενέργειας με η χωρίς ταμιευτήρα είναι σχετικά μικρή (σχήμα 4), το επιπλέον κόστος από την κατασκευή του ταμιευτήρα δεν δικαιολογείται.



Σχήμα 7 α) Κόστος κατασκευής και β) Καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης χωρίς ταμιευτήρα (διακεκομμένη γραμμή) και με ταμιευτήρα 40.000 m³ (συνεχής γραμμή)

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης που εφαρμόστηκε σε μία ρεαλιστική σειρά δεδομένων (υδρολογικών, γεωγραφικών κλπ) προκύπτει ότι χάρη στην χωρητικότητα του ανάντι ταμιευτήρα ενός μικρού ΥΗΕ αυξάνεται, αρχικά γρήγορα, η παραγόμενη ενέργεια, αλλά από ένα μέγεθος ταμιευτήρα και πέραν η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας δεν είναι σημαντική. Συνάγεται ακόμη ότι όταν υπάρχει ταμιευτήρας, έστω και σχετικά μικρής χωρητικότητας, όσο αυξάνεται το μέγεθος, άρα και η εγκατεστημένη ισχύς των υδροτροβίλων, αυξάνεται και η παραγόμενη ενέργεια. Η αντίστοιχη καμπύλη χωρίς ταμιευτήρα παρουσιάζει ένα μέγιστο οπότε, μετά από ένα όριο, όσο αυξάνεται το μέγεθος, άρα και η εγκατεστημένη ισχύς των υδροτροβίλων, μειώνεται η παραγόμενη ενέργεια. Τα συμπεράσματα αυτά σε συνδυασμό με τα κριτήρια οικονομικής απόδοσης της επένδυσης δικαιολογούν το γιατί η διαμόρφωση ταμιευτήρα είναι συμφέρουσα στα μεγάλης ισχύος ΥΗΕ ενώ δεν συνεισφέρουν σημαντικό οικονομικό όφελος στην περίπτωση των μικρών ΥΗΕ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Portela M., Almeida A., 'The effect of Small Storage Capacities in the Revenues of Small Hydropower Schemes', The Austrian Association Promoting Small Hydro Power, Vienna, 1999.
2. Papantonis D., Andriotis G., 'Optimisation of the Size and Number Development of Turbines for a small Hydropower Plant', Hydroenergia 93, Munchen, pp. 59-68, 1993.
3. Papantonis D., Morfiadakis E., "Development of a numerical Procedure for the Evaluation of the Hydroelectric Potential of an Hydrologic Basin", Policies and Strategies for Desalination and Renewable Energies, Santorini, June, 2000.
4. Παπαντώνης Δ., "Η οικονομοτεχνική επιλογή του μεγέθους των υδροτροβίλων σε συνδυασμό με τον βαθμό ενεργειακής αξιοποίησης", Η Εφαρμογή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Αθήνα, 2001

ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΙΚΡΟΥ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

Δημήτριος Α. Γεωργακέλλος

Τμήμα Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων, Πανεπιστήμιο Πειραιώς
Καραολή και Δημητρίου 80, 185 34 Πειραιάς, e-mail: dgeorg@unipi.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στην οικονομική ανάλυση και αξιολόγηση μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού. Χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές για την αξιολόγηση της οικονομικής απόδοσης των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών διαπιστώνεται ότι οι περισσότεροι από αυτούς φαίνεται να παράγουν κατά τα πρώτα χρόνια λειτουργίας τους μάλλον ακριβή ενέργεια, καθώς το αρχικό κεφάλαιο είναι ιδιαίτερα υψηλό. Μετά την περίοδο αυτή όμως, η ενέργεια που παράγεται γίνεται φθηνή καθώς επιβαρύνεται μόνο από το κόστος συντήρησης και αντικατάστασης, τα διοικητικά έξοδα κ.λπ. Για τους λόγους αυτούς, στόχος της παρούσας εργασίας είναι να διερευνήσει και να αξιολογήσει την οικονομική αποδοτικότητα μιας πραγματικής περίπτωσης μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού (κατά τα πρώτα χρόνια της λειτουργίας του) προκειμένου να διαπιστωθεί κατά πόσο αυτού του είδους οι επενδύσεις είναι ελκυστικές με βάση οικονομικά κριτήρια της αγοράς, υπό ποιες προϋποθέσεις και με τι υποστήριξη. Η αξιολόγηση αυτή γίνεται υπολογίζοντας και λαμβάνοντας υπόψη διάφορους δείκτες όπως η περίοδος αποπληρωμής κεφαλαίου, ο απλός συντελεστής απόδοσης κεφαλαίου, η καθαρή παρούσα αξία (NPV) της επένδυσης, ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR) αυτής κ.λπ.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες παρατηρείται διεθνώς ένα έντονο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη μικρών υδροηλεκτρικών έργων. Το ενδιαφέρον αυτό εκδηλώνεται κυρίως με την αξιοποίηση νέων μικρών υδατοπτώσεων, με τη συστηματική επανεξέταση και αναθεώρηση των μικρών υδροηλεκτρικών έργων που είχαν σχεδιασθεί και αποσυρθεί σταδιακά από την ενεργειακή παραγωγή και με την επαναξιολόγηση του δυναμικού του οποίο είχε αποκλειστεί στο παρελθόν. Η ελληνική νομοθεσία ορίζει ως μικρούς τους σταθμούς που έχουν ισχύ μικρότερη των 10 MW, και επιτρέπει την υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεξάρτητους παραγωγούς. Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα παρουσιάζουν σημαντικά συγκριτικά πλεονεκτήματα έναντι των υπολοίπων πηγών ενέργειας, όπως δυνατότητα άμεσης σύνδεσης - αποξενύξης στο δίκτυο ή αυτόνομη λειτουργία, παραγωγή ενέργειας άριστης ποιότητας χωρίς διακυμάνσεις, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής, φιλικότητα προς το περιβάλλον αφού δεν υπάρχουν κατάλοιπα, ταυτόχρονη ικανοποίηση και άλλων αναγκών χρήσης νερού (ύδρευση, άρδευση κ.λπ.), δυνατότητα παρεμβολής τους σε υπάρχουσες υδραυλικές εγκαταστάσεις [1]. Ειδικότερα, σε σχέση με τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα, τα αντίστοιχα μικρά παρουσιάζουν το επιπλέον πλεονέκτημα ότι έχουν λιγότερες επιπτώσεις από αυτά, τόσο περιβαλλοντικές όσο και κοινωνικές. Αυτό συμβαίνει διότι τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, τις περισσότερες φορές, απαιτούν μικρά ή και καθόλου φράγματα, καθώς λειτουργούν μόνο με τη φυσική ροή του νερού. Επίσης, οι απαιτούμενες εκτάσεις γης ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας είναι πολλαπλώς λιγότερες στα μικρά σε σχέση με τα μεγάλα έργα αυτού του είδους, συνήθως δε κάτω από το ένα δέκατο των μεγάλων. Βέβαια, λόγω της έλλειψης μεγάλων φραγμάτων, γεγονός το οποίο δεν επιτρέπει την αποταμίευση αξιολογών