

Υδρολογικός Σχεδιασμός Ταμιευτήρα για την Παραγωγή Υδροηλεκτρικής Ενέργειας στη Θέση Αυλάκι του Αχελώου

Ε. Μπαλτάς

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τομέας Εργείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας & Γεωργικής Μηχανικής, 54006, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα. Email: baltas@agro.auth.gr

Περίληψη

Στη θέση Αυλάκι του ποταμού Αχελώου, προβλέπεται η κατασκευή φράγματος για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Η παρούσα μελέτη έχει ως αντικείμενο τη διερεύνηση της δυνατότητας παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας στο ΥΗΕ Αυλάκι. Για το σκοπό αυτό αξιοποιήθηκαν διαθέσιμα υδρολογικά στοιχεία ιστορικών σειρών βροχοπτώσεων, παροχών και θερμοκρασίας σε συνδυασμό με τις συνθήκες λειτουργίας των ανάντη ΥΗΕ και εφαρμόστηκαν διαδικασίες στοχαστικής υδρολογίας με την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών παροχών. Με αυτό τον τρόπο εκτιμήθηκε η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας με επίπεδα εμπιστοσύνης 90% και 95%. Αντίστοιχοι υπολογισμοί έγιναν και με δύο υποθετικά σενάρια κλιματικής αλλαγής.

Hydrological Design of the Avlaki Reservoir for Hydroelectric Production

E. Baltas

*Aristotle University of Thessaloniki, School of Agriculture,
Department of Hydraulics, Soil Science and Agriculture Engineering,
54124, Thessaloniki, Greece. Email: baltas@agro.auth.gr*

Abstract

A hydroelectric power plant is to be constructed in Western Greece, at the location of Avlaki. The present study aims to investigate the capacity of the produced hydroelectric energy at the specific location. Hydrological data of rainfall, runoff and temperature were used in combination with the operational framework of the upstream hydroelectric power plants. Synthetic timeseries of runoff were produced based on procedures of stochastic hydrology. The potential capacity of the produced energy was assessed with 90% and 95% confidence levels. The corresponding calculations were also made for two hypothetical scenarios of climate change.

1. Εισαγωγή

Στον Άνω ρου του ποταμού Αχελώου προβλέπονται από τα ανάντη προς τα κατάντη τρία Υδροηλεκτρικά Έργα. Η Μεσοχώρα που ήδη έχει κατασκευαστεί, η Συκιά που κατασκευάζεται και το Αυλάκι που ευρίσκεται στη φάση σχεδιασμού. Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση της δυνατότητας παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας στο ΥΗΕ Αυλάκι. Αξιοποιήθηκαν τα στοιχεία ιστορικών σειρών βροχοπτώσεων, παροχών και θερμοκρασίας σε συνδυασμό με τις συνθήκες λειτουργίας των ανάντη ΥΗΕ. Εφαρμόστηκαν διαδικασίες στοχαστικής υδρολογίας με την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών παροχών και εκτιμήθηκε η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας με επίπεδα εμπιστοσύνης 90% και 95%. Αντίστοιχοι υπολογισμοί έγιναν και με δύο υποθετικά σενάρια κλιματικής αλλαγής. Συμπληρωματικά η μελέτη περιλαμβάνει τη διαστασιολόγηση του υπερχειλιστή του υπό μελέτη φράγματος στο Αυλάκι, με χρήση μεθόδων υδρολογικής διόδευσης.

2. Περιγραφή περιοχής μελέτης

Η λεκάνη του ποταμού Αχελώου ευρίσκεται στη Δυτική Στερεά Ελλάδα και εκτείνεται από την οροσειρά της Πίνδου μέχρι το Ιόνιο Πέλαγος. Το μήκος του ποταμού Αχελώου είναι 220 km και το πλάτος του φτάνει τα 90 m. Πηγάζει από το όρος Λάκμος της οροσειράς της Πίνδου, στην περιοχή του Μετσόβου και ρέει δυτικά της Δυτικής Θεσσαλίας με κατεύθυνση προς νότο. Στη συνέχεια εισέρχεται στη Στερεά Ελλάδα όπου εμπλουτίζεται με νερά της οροσειράς της Πίνδου από τους διάφορους παραποτάμους του, κυριότεροι από τους οποίους είναι ο Αγραφιώτης ή Αγραφιώτικος, ο Ταυρωπός ή Μέγδοβας και ο Τρικεριώτης. Συνεχίζοντας την πορεία του προς το νότο συναντά τους παραποτάμους Ίναχο ή Μπιζάκο στη θέση Καστράκι. Κοντά στο Αγρίνιο στρέφεται δυτικά προς την Αιτωλική λεκάνη και ακολουθεί πάλι κατεύθυνση προς το νότο όπου εμπλουτίζεται με τα νερά των λιμνών Λυσιμαχίας και Τριχωνίδας. Τέλος στρέφεται δυτικά προς την περιοχή Νεοχωρίου και εκβάλλει στο Ιόνιο Πέλαγος απέναντι από τα νησιά Εχινάδες.

Η λεκάνη του ποταμού Άνω Αχελώου αποτελεί το Βόρειο ορεινό τμήμα της λεκάνης του ποταμού Αχελώου ανάντη της υδρομετρικής θέσης Αυλακίου. Η συνολική λεκάνη απορροής του Αχελώου στα ανάντη της θέσης Αυλάκι, έχει έκταση 1.349 km². Η μέση παροχή του Αχελώου στη θέση όπου πρόκειται να κατασκευαστεί ο ταμιευτήρας υπολογίστηκε από μετρήσεις των υδρολογικών ετών 1965-66 έως 1994-95 σε 51,70 m³/s. Η υπολεκάνη που θα δημιουργηθεί μετά την κατασκευή του φράγματος της Συκιάς μεταξύ των θέσεων Συκιά και Αυλάκι, έχει έκταση 176 km². Ο ταμιευτήρας του ΥΗΕ Αυλάκι προβλέπεται με Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας

+392,00 m και Κατώτατη Στάθμη Λειτουργίας +358,00 m. Ο όγκος του ταμειυτήρα στην Α.Σ.Λ. είναι $479,73 \times 10^6 \text{ m}^3$ από τον οποίο ο ωφέλιμος είναι $360,54 \times 10^6 \text{ m}^3$. Το εμβαδόν της επιφάνειάς του στην Α.Σ.Λ. είναι $14,8 \text{ km}^2$ και στην Κ.Σ.Λ. $6,2 \text{ km}^2$. Η στέψη του φράγματος είναι στο υψόμετρο +402,00 m.

Στον μέσο ρου του Αχελώου και ανάντη της θέσης Αυλάκι, προβλέπεται να λειτουργούν δύο ΥΗΕ, η Μεσοχώρα και η Συκιά. Η Συκιά ευρίσκεται ανάντη της θέσης Αυλάκι και η Μεσοχώρα ανάντη της Συκιάς. Η υπολεκάνη μεταξύ Συκιάς και Μεσοχώρας έχει έκταση 540 km^2 και η υπολεκάνη της Μεσοχώρας 633 km^2 . Από τον ταμειυτήρα της Συκιάς, από το μήνα Μάιο μέχρι το Σεπτέμβριο προβλέπεται να εκτρέπονται ετήσια, $580 \times 10^6 \text{ m}^3$ προς τη Θεσσαλία για την κάλυψη αρδευτικών αναγκών. Ειδικότερα τον Μάιο θα εκτρέπονται προς Θεσσαλία $37,80 \text{ m}^3/\text{s}$, τον Ιούνιο $49,10 \text{ m}^3/\text{s}$, τον Ιούλιο $60,90 \text{ m}^3/\text{s}$, τον Αύγουστο $50,80 \text{ m}^3/\text{s}$ και τον Σεπτέμβριο $20,20 \text{ m}^3/\text{s}$.

3. Στοιχεία και επεξεργασία

Η ιστορική σειρά μηνιαίων παροχών στη θέση Αυλάκι περιλαμβάνει μετρήσεις παροχών για 30 υδρολογικά έτη από το 1965-66 έως το 1994-95. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν χωρίς την παρουσία των ανάντη ΥΗΕ Μεσοχώρας και Συκιάς. Για τον προσδιορισμό των παροχών που αντιστοιχούν στην ενδιάμεση λεκάνη Συκιάς – Αυλάκι έγινε αναγωγή των ιστορικών στοιχείων μηνιαίων παροχών με βάση την αναλογία των αντιστοιχών υπολεκανών. Για τον συνυπολογισμό της επιρροής των ανάντη ΥΗΕ Συκιάς και Μεσοχώρας, χρησιμοποιήθηκαν αντίστοιχες σειρές μηνιαίων εκροών που μας διατέθηκαν και καλύπτουν τα υδρολογικά έτη 1965-66 έως 1994-95.

Για τον υπολογισμό των εξατμίσεων του ταμειυτήρα στο ΥΗΕ Αυλάκι χρησιμοποιήθηκαν οι μηνιαίες σειρές θερμοκρασίας των ετών 1965-1995, στους σταθμούς Κρεμαστά, Πολυνέρι, Φουσιανά, Λίμνη Πλαστήρα. Η μηνιαία θερμοκρασία στη θέση Αυλάκι για την περίοδο 1965-1995 υπολογίστηκε με βάση τους σταθμούς που βρίσκονται κοντά στη θέση του φράγματος, εφαρμόζοντας τη διαδικασία συσχέτισεων και συμπλήρωσης των μηνιαίων δεδομένων. Από αυτές υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες μηνιαίες εξατμίσεις στον ταμειυτήρα με τη μέθοδο Penman.

Η κατακρήμνιση περιλαμβάνει τη μέση επιφανειακή βροχόπτωση και το ισοδύναμο ύψος χιονιού. Η μέση μηνιαία επιφανειακή βροχόπτωση υπολογίστηκε από τους διαθέσιμους βροχομετρικούς σταθμούς με εφαρμογή της μεθόδου Thiessen. Στους μήνες που υπάρχει χιόνι προστίθεται το ισοδύναμο ύψος νερού θεωρώντας ότι το πάχος του χιονιού είναι γραμμική συνάρτηση του υψομέτρου. Οι βροχομετρικοί σταθμοί αναφοράς είναι οι εξής: Βάκαρη, Μικρά Βραγκιανά, Τέμπλα, Τροβάτο, Πολυνέρι και Μεσοχώρα. Όσον αφορά τις μεταβλητές της ταχύτητας ανέμου, σχετικής υγρασίας και της σχετικής ηλιοφάνειας χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές του σταθμού του Αγρινίου της

ΕΜΥ που είναι και ο πλησιέστερος διαθέσιμος με κλιματολογικές συνθήκες συγκριτικά προς τη συντηρητική πλευρά, δηλαδή με συνθήκες ενίσχυσης του φαινομένου της εξάτμισης. Για τους μήνες που δεν υπήρχαν διαθέσιμες τιμές χρησιμοποιήθηκαν οι αντίστοιχες υπερετιήσιες μηνιαίες τιμές. Η μεταβλητή της σχετικής ηλιοφάνειας σχετίζεται με την αστρονομική διάρκεια της ημέρας N και δίνεται σε ώρες, ανάλογα με το μέσο γεωγραφικό πλάτος φ στο οποίο βρίσκεται η θέση ενδιαφέροντος. Για ενδιάμεσα γεωγραφικά πλάτη, γίνεται γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών.

4. Εκτίμηση των ενεργειακών δυνατοτήτων του έργου

4.1 Μεθοδολογία

Η ανάλυση των χρονοσειρών παροχής σε συνδυασμό με τα στοιχεία βροχής και εξάτμισης από τη λίμνη του ταμιευτήρα, επιτρέπει τον υπολογισμό της Υδροηλεκτρικής Ενέργειας που είναι δυνατόν να αποδώσει το έργο, με την παραδοχή σταθερής λειτουργίας του με το μέσο καθαρό ύψος πτώσης 85,75 m. Η ανάλυση περιλαμβάνει τα στάδια παραγωγής συνθετικών χρονοσειρών παροχών, με βάση τις οποίες υπολογίζεται η ετήσια δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για 40 σειρές διάρκειας 50 ετών. Ακολουθεί στατιστική επεξεργασία των ορίων διακύμανσης των τιμών ενέργειας που προέκυψαν, για επίπεδο εμπιστοσύνης 90 και 95%. Συμπληρωματικά η ανάλυση των χρονοσειρών εισροής επιτρέπει και την εκτίμηση της σχέσης διακινδύνευσης - όγκου του ταμιευτήρα με την κλασική μέθοδο Rippl και την ακριβέστερη στοχαστική.

4.2 Υδατικό ισοζύγιο

Αφετηρία για την παραγωγή των μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών παροχής αποτελεί η εξίσωση ισοζυγίου του ταμιευτήρα. Κάθε μήνα ο όγκος του ταμιευτήρα προκύπτει από το άθροισμα της αποταμίευσης του προηγούμενου μήνα με τις εισροές που προέρχονται από τη λεκάνη του. Στο άθροισμα αυτό προστίθεται η βροχόπτωση στον ταμιευτήρα και αφαιρείται η εξάτμιση. Η εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου γράφεται:

$$V_{t+1} = V_t + I_t + (P_t - E_t) \cdot A - Q_t \quad (4.1)$$

όπου V_t : ο όγκος που αποθηκεύεται στον ταμιευτήρα το μήνα t

I_t : οι εισροές στον ταμιευτήρα το μήνα t

P_t : η βροχόπτωση στον ταμιευτήρα στη διάρκεια του μήνα t

E_t : η εξάτμιση στον ταμιευτήρα το μήνα t

Q_t : οι εκροές από τον ταμιευτήρα το μήνα t

A : η επιφάνεια του ταμιευτήρα

Για την εφαρμογή του υδατικού ισοζυγίου χρησιμοποιήθηκε η μηνιαία χρονοσειρά παροχών 30 υδρολογικών ετών, 1965-66 έως 1994-95, στη θέση Αυλάκι του Αχελώου. Από αυτές, με βάση την αναλογία λεκανών, υπολογίστηκαν οι απορροές της ενδιάμεσης λεκάνης μεταξύ των θέσεων Συκιά και Αυλάκι. Στις απορροές αυτές προστέθηκαν οι ελεγχόμενες εκροές από τον Υδροηλεκτρικό Σταθμό Συκιάς προς το Αυλάκι. Ακόμα προστέθηκαν οι βροχοπτώσεις στον ταμιευτήρα και αφαιρέθηκαν οι εξατμίσεις από αυτόν. Για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης χρειάστηκε να ληφθούν υπόψη συγκεκριμένα σενάρια λειτουργίας των παραπάνω ανάντη ΥΗΕ, που όπως είναι ευνόητο επηρεάζουν άμεσα τη δίαιτα των υδάτων που απορρέουν προς τη θέση Αυλάκι.

4.3. Παραγωγή συνθετικών σειρών παροχής και υπολογισμός της παραγόμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας

Τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία μέτρησης παροχής 30 ετών μας επιτρέπουν τη παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών με τη βοήθεια στοχαστικής μεθόδου αυτοσυσχέτισης. Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο AR(1) σύμφωνα με το οποίο οι παραγόμενες συνθετικές χρονοσειρές διαθέτουν τα ίδια στατιστικά χαρακτηριστικά με την ιστορική χρονοσειρά. Έτσι το διαθέσιμο δείγμα διευρύνεται διατηρώντας τα χαρακτηριστικά της ιστορικής σειράς. Έγινε η παραγωγή 40 συνθετικών χρονοσειρών μήκους 50 ετών, άρα συνολικής διάρκειας 2.000 ετών.

Η προσομοίωση της λειτουργίας του ταμιευτήρα για την παραγωγή Υδροηλεκτρικής Ενέργειας γίνεται με την παραδοχή ότι τα νερά που εισρέουν στον ταμιευτήρα ρυθμίζονται έτσι ώστε να χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας χωρίς να υπερχειλίζουν. Η υπόθεση αυτή είναι ρεαλιστική και επιβεβαιώνεται από ιστορικά δεδομένα της πλειονότητας των ΥΗΕ στην Ελλάδα, όπου οι υπερχειλίσεις σπανίζουν. Με βάση τις 40 συνθετικές χρονοσειρές παροχών που έχουν παραχθεί υπολογίζονται οι αντίστοιχες τιμές μηνιαίας παραγόμενης ενέργειας E_t από τη σχέση :

$$E_t = \frac{n \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot V_t}{3,6} \quad [\text{KWh}] \quad (4.2)$$

όπου V_t : ο μηνιαίος όγκος νερού που χρησιμοποιείται για παραγωγή ενέργειας

n : ο συντελεστής απόδοσης εκτιμώμενος ίσος με 0,85

ρ : η πυκνότητα του νερού

g : η επιτάχυνση βαρύτητας

H : το μέσο καθαρό ύψος πτώσης, ίσο με 85,75 m.

4.4. Κλιματική αλλαγή

Το ενδεχόμενο κλιματικής αλλαγής οφειλόμενης στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αποτελεί σήμερα σημαντική παράμετρο ελέγχου του σχεδιασμού όλων των έργων αξιοποίησης των υδατικών πόρων. Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται με την διαμόρφωση σεναρίων κλιματικής αλλαγής και εφαρμογής τους στις φυσικές διεργασίες. Αναλυτικότερα, τα σενάρια κλιματικής αλλαγής είναι υποθετικές, μελλοντικές καταστάσεις αλλαγής των παραμέτρων του κλίματος. Εισαγόμενα σε κατάλληλα μοντέλα προσομοίωσης της λειτουργίας μιας λεκάνης, τροποποιούν τη συμπεριφορά της και επιτρέπουν την επανεκτίμηση της δόιατας των υδατικών πόρων. Η κατασκευή μελλοντικών σεναρίων κλιματικής αλλαγής, στηρίζεται σε γενικές έρευνες, αναφορά σε συγκεκριμένες μεθόδους, χρήση ιστορικών δεδομένων, εφαρμογή μοντέλων γενικής κυκλοφορίας (GCMs), στοχαστικές μεθόδους προσομοίωσης καιρού. Εκτιμάται ότι οι μέθοδοι πρόβλεψης κλιματικής αλλαγής που βασίζονται σε επεξεργασία δεδομένων είναι πιο αξιόπιστες και ακριβείς συγκρινόμενες με τις εμπειρικές μεθόδους. Για το λόγο αυτό τα αποτελέσματα από τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας (GCMs) προτιμώνται για την παραγωγή σεναρίων κλιματικής αλλαγής. Στην παρούσα μελέτη, για τη δημιουργία σεναρίων κλιματικής αλλαγής, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα από δύο πειράματα εξισορρόπησης, χρησιμοποιώντας δύο υψηλής ανάλυσης ατμοσφαιρικά μοντέλα γενικής κυκλοφορίας (GCMs). Τα συγκεκριμένα πειράματα διαπιστώθηκε ότι υπήρξαν αρκετά αντιπροσωπευτικά για τη μοντελοποίηση της κλιματικής αλλαγής της δεκαετίας του 90 και εκτιμώνται ως ανώτερα των αντιστοίχων πειραμάτων χαμηλής ανάλυσης, που πραγματοποιήθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 80.

4.5. Υπολογισμός διόδευσης πλημμύρας και έλεγχος επάρκειας υπερχειλιστή

Ο υπολογισμός της διόδευσης πλημμύρας σχεδιασμού του υπερχειλιστή έγινε με χρήση της μεθόδου υδρολογικής διόδευσης που αναπτύσσεται παρακάτω. Ο χρόνος διακριτοποιείται σε διαστήματα διάρκειας Δt και η εξίσωση συνέχειας για κάθε χρονικό διάστημα Δt γίνεται :

$$\int_{S_j}^{S_{j+1}} dS = \int_{j\Delta t}^{(j+1)\Delta t} I(t)dt - \int_{j\Delta t}^{(j+1)\Delta t} Q(t)dt \quad (4.3)$$

όπου S : ο όγκος αποθήκευσης του ταμιευτήρα

I : η παροχή εισόδου

Q : η παροχή εξόδου.

Με την παραδοχή ότι η μεταβολή των τιμών της παροχής εισόδου και παροχής

εξόδου στα διαστήματα j και $j+1$ είναι γραμμική, η εξίσωση (4.1) γίνεται :

$$S_{j+1} - S_j = \frac{I_j + I_{j+1}}{2} \Delta t - \frac{Q_j + Q_{j+1}}{2} \Delta t \quad (4.4)$$

Οι τιμές I_j , I_{j+1} είναι προκαθορισμένες και οι τιμές Q_j , S_j για τη χρονική στιγμή j υπολογίζονται από τα προηγούμενα βήματα. Οπότε οι τιμές Q_{j+1} , S_{j+1} είναι οι άγνωστοι στην εξίσωση (4.2). Η εξίσωση (4.3) προκύπτει επιλύοντας την εξίσωση (2) ως προς Q_{j+1} και S_{j+1} .

$$\left(\frac{2S_{j+1}}{\Delta t} + Q_{j+1} \right) = (I_j + I_{j+1}) + \left(\frac{2S_j}{\Delta t} - Q_j \right) \quad (4.5)$$

Για τον υπολογισμό της παροχής εξόδου Q_{j+1} είναι απαραίτητη μία δεύτερη σχέση που να συνδέει τις ποσότητες Q_{j+1} και S_{j+1} . Η σχέση αυτή προκύπτει από τον συνδυασμό της καμπύλη στάθμης-επιφάνειας του ταμιευτήρα ($H_j - S_j$) και της εξίσωσης στάθμης-παροχής του υπερχειλιστή ($H_j - Q_j$).

5. Αποτελέσματα

5.1. Χωρητικότητα ταμιευτήρα

Η μέθοδος Rippl αποτελεί μέθοδο υπολογισμού του όγκου ταμιευτήρα από χρονοσειρές παροχών. Καταρτίζεται το διάγραμμα των αθροιστικών εισροών και των αθροιστικών εκροών του ταμιευτήρα. Ο όγκος του ταμιευτήρα προκύπτει από το άθροισμα των μεγίστων εκατέρωθεν διαφορών μεταξύ των δύο καμπυλών. Ο όγκος του ταμιευτήρα που υπολογίστηκε από την ιστορική σειρά παροχών με τη μέθοδο Rippl είναι $3.710 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Από τις συνθετικές χρονοσειρές παροχής υπολογίστηκαν οι όγκοι ταμιευτήρα που αντιστοιχούν σε αυτές και καταρτίστηκε το διάγραμμα κατανομής πιθανοτήτων διακινδύνευσης-όγκων. Από το διάγραμμα αυτό παρατηρείται ότι ο όγκος του ταμιευτήρα των $479,73 \times 10^6 \text{ m}^3$ που επιλέχθηκε αντιστοιχεί σε διακινδύνευση μικρότερη από 5%. Άρα συμπεραίνεται ότι ο ταμιευτήρας θα μπορούσε από υδρολογική θεώρηση να έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα. Ανεξάρτητα από αυτό, η συγκεκριμένη διαστασιολόγηση του ταμιευτήρα οφείλεται σε γεωλογικούς περιορισμούς.

5.2. Παραγωγή ενέργειας στο ΥΗΕ αυλάκι

Με βάση τις συνθετικές σειρές παροχών που παρήχθησαν με το στοχαστικό μοντέλο AR(1) έγινε υπολογισμός της ετήσια παραγόμενης ενέργειας. Ακολούθησε στατιστι-

κή επεξεργασία των συνθετικών σειρών παραγόμενης ενέργειας από την οποία προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

- για επίπεδο εμπιστοσύνης 90%
μέγιστη αναμενόμενη να παραχθεί ετήσια ενέργεια: $W_{\alpha}=205$ GWh
ελάχιστη αναμενόμενη να παραχθεί ετήσια ενέργεια: $W_{\kappa}=200$ GWh
- για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%
μέγιστη αναμενόμενη να παραχθεί ετήσια ενέργεια: $W_{\alpha}=206$ GWh
ελάχιστη αναμενόμενη να παραχθεί ετήσια ενέργεια: $W_{\kappa}=200$ GWh

Οι παραπάνω υπολογισμοί της παραγόμενης ενέργειας από τις συνθετικές σειρές παροχών επαναλήφθηκαν για τα δύο σενάρια κλιματικής αλλαγής.

Οι αντίστοιχες τιμές ετήσιας ενέργειας που υπολογίστηκαν για το πρώτο σενάριο είναι :

- για επίπεδο εμπιστοσύνης 90%
μέγιστη αναμενόμενη να παραχθεί ετήσια ενέργεια: $W_{\alpha}=204$ GWh
ελάχιστη αναμενόμενη να παραχθεί ετήσια ενέργεια: $W_{\kappa}=200$ GWh
- για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%
μέγιστη αναμενόμενη να παραχθεί ετήσια ενέργεια : $W_{\alpha}=205$ GWh
ελάχιστη αναμενόμενη να παραχθεί ετήσια ενέργεια: $W_{\kappa}=199$ GWh

Αντίστοιχα οι τιμές ετήσιας ενέργειας που υπολογίστηκαν για το δεύτερο σενάριο κλιματικής αλλαγής είναι:

- για επίπεδο εμπιστοσύνης 90%
μέγιστη αναμενόμενη να παραχθεί ετήσια ενέργεια $W_{\alpha}=194$ GWh
ελάχιστη αναμενόμενη να παραχθεί ετήσια ενέργεια $W_{\kappa}=189$ GWh
- για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%
μέγιστη αναμενόμενη να παραχθεί ετήσια ενέργεια $W_{\alpha}=194$ GWh
ελάχιστη αναμενόμενη να παραχθεί ετήσια ενέργεια $W_{\kappa}=189$ GWh

5.3. Εφαρμογή της μεθόδου υδρολογικής διόδευσης στον ταμιευτήρα του ΥΗΕ. στη θέση αυλακι

Ο έλεγχος της διόδευσης πλημμυρικού κύματος και ο έλεγχος παροχευτικότητας του υπερχειλιστή έγινε για την πλημμύρα 10.000 ετών και τη μέγιστη πιθανή πλημμύρα. Το πλημμυρογράφημα για την πλημμύρα 10.000 ετών έχει διάρκεια 152 ώρες, η μέγιστη παροχή εισόδου στον ταμιευτήρα είναι $5.471 \text{ m}^3/\text{s}$, και εμφανίζεται 50 ώρες από την έναρξη της πλημμύρας. Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι $959.513.040 \text{ m}^3$. Το πλημμυρογράφημα για τη μέγιστη πιθανή πλημμύρα έχει διάρκεια 152 ώρες, η μέγιστη παροχή εισόδου στον ταμιευτήρα είναι $6.934 \text{ m}^3/\text{s}$ και εμφανίζεται 50 ώρες από την έναρξη της πλημμύρας. Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος

είναι $1.210.892.400 \text{ m}^3$.

Ο υπερχειλιστής του φράγματος έχει σχεδιασθεί για ονομαστικό ύψος σχεδιασμού 16 m. Η εξίσωση της εκροής από τον υπερχειλιστή είναι μια υδραυλική σχέση που εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υπερχειλιστή. Αντίστοιχα η εξίσωση της αποθηκευτικότητας του ταμιευτήρα συναρτήσει της στάθμης είναι μια μη αναλυτική σχέση η οποία εξαρτάται αποκλειστικά από τη γεωμετρία του ταμιευτήρα. Το πλημμυρογράφημα εξόδου για την πλημμύρα 10.000 ετών εμφανίζει μέγιστη παροχή εξόδου $4.805,59 \text{ m}^3/\text{s}$, 58 ώρες μετά την έναρξη της πλημμύρας. Η μέγιστη πλημμυρική στάθμη μέσα στον ταμιευτήρα εμφανίζεται ταυτόχρονα με τη μέγιστη παροχή εξόδου και είναι $+15,35 \text{ m}$ από την στάθμη στέψης του υπερχειλιστή ή σε απόλυτο υψόμετρο $+395,35 \text{ m}$, δηλαδή $6,65 \text{ m}$ κάτω από τη στάθμη στέψης του φράγματος. Το πλημμυρογράφημα εξόδου εμφανίζει μέγιστη παροχή εξόδου $6.204 \text{ m}^3/\text{s}$, 56 ώρες μετά την έναρξη της πλημμύρας. Η μέγιστη πλημμυρική στάθμη μέσα στον ταμιευτήρα εμφανίζεται ταυτόχρονα με τη μέγιστη παροχή εξόδου και είναι $+17,93 \text{ m}$ από την στάθμη στέψης του υπερχειλιστή ή σε απόλυτο υψόμετρο $+397,93 \text{ m}$, δηλαδή $4,07 \text{ m}$ κάτω από τη στάθμη στέψης του φράγματος.

6. Συμπεράσματα

Από την ανάλυση που προηγήθηκε προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα; Χωρίς την υπόθεση της κλιματικής αλλαγής, η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας δεν κατεβαίνει κάτω από τις 200 GWh ακόμη και με το αυστηρό κριτήριο επιπέδου εμπιστοσύνης 95%. Ακόμη και με το δεύτερο και δυσμενέστερο σενάριο κλιματικής αλλαγής, η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας δεν κατεβαίνει κάτω από τις 189 GWh, δηλαδή δεν υπολείπεται της αντίστοιχης τιμής χωρίς κλιματική αλλαγή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 5%, μέγεθος που προφανώς είναι μέσα στα γενικότερα όρια ακρίβειας των υπολογισμών. Αν και η οικονομική αποτίμηση της αποδοτικότητας του έργου δεν υπεισήλθε σε λεπτομερή οικονομική ανάλυση, τα μεγέθη που προέκυψαν δίνουν μια σαφή θετική εικόνα των οικονομικών περιθωρίων που προσφέρει η κατασκευή του έργου. Ο σχεδιασμός του υπερχειλιστή αποδεικνύεται ότι επιτρέπει την διόδευση και της δυσμενέστερης πιθανής πλημμύρας με ικανοποιητικό περιθώριο ασφαλείας 4 περίπου μέτρων από τη στέψη του φράγματος.

Βιβλιογραφία

1. IPCC, 1994. Radiative Forcing of Climate Change, The 1994 Report of the Scientific Assessment Working Group of IPCC, Summary for Policymakers.
2. IPCC, 1996. "Climate Change 1995" The Science of Climate Change, Contribution of WGI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
3. Mitchell, T. D., 2002. Future climate change in individual countries. Tyndall Center for Climate Change Research.
4. National Center for Atmospheric Research (NCAR) Climate and Global Dynamics Division, Boulder, Colorado, USA.
5. Smith, J. and Hulme, M., 1999. "Climate change scenarios", Parth3 (UNDP/IVM Handbook).
6. Watson, R., 2001. Climate Change 2001. UNFCCC, COP6.
7. Εκτίμηση και Διαχείριση των Υδατικών Πόρων της Στερεάς Ελλάδας - Φάση 3, Ε.Μ.Π., 1995.
8. Εκτίμηση και Διαχείριση των Υδατικών Πόρων της Στερεάς Ελλάδας - Φάση 3, Ε.Μ.Π., 2000.