

Μελέτη λειτουργίας των ταμιευτήρων

Περιεχόμενα

1. Αντικείμενο	1
2. Περιοχή μελέτης και έργα	2
3. Υδρολογία	5
3.1 Υδρολογικές λεκάνες μελέτης	6
3.2 Ιστορική περίοδος μελέτης και υποπερίοδοι	6
3.3 Υδρομετεωρολογικοί σταθμοί και δεδομένα	7
3.4 Τελικά υδρολογικά μεγέθη - Υδατικό δυναμικό λεκανών	7
4. Το μοντέλο προσομοίωσης-βελτιστοποίησης	10
4.1 Εισαγωγή - Γενική μεθοδολογία	10
4.2 Δυναμική συστήματος	11
4.3 Γενικά χαρακτηριστικά ταμιευτήρων	13
4.4 Γενικά χαρακτηριστικά στροβίλων	14
4.5 Γενικά χαρακτηριστικά αγωγών μεταφοράς	16
4.6 Γενικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας του συστήματος	16
4.7 Κανόνες λειτουργίας του συστήματος	17
4.8 Παραμετροποίηση του προβλήματος	19
4.9 Συνολική προσομοίωση	20
4.10 Εξωτερικοί περιορισμοί	20
4.11 Δείκτης επίδοσης	22
4.12 Μέθοδος βελτιστοποίησης	23
4.13 Πρόγραμμα υπολογιστή	23
5. Εφαρμογή του μοντέλου	25
5.1 Χαρακτηριστικά των συνιστωσών του συστήματος	25
5.2 Αρδευτικές ανάγκες	25
5.3 Περιβαλλοντικές δεσμεύσεις	26
5.4 Ενεργειακές παραδοχές	27
5.5 Άλλες δεσμεύσεις	29
5.6 Επίπτωση στα έργα Κάτω Αχελώου	29
5.7 Τιμές μονάδας	29
5.8 Προκαταρκτικές διερευνήσεις	30
6. Αποτελέσματα του μοντέλου	33
6.1 Σχήμα έργων 0	34
6.2 Σχήμα έργων 1	35
6.3 Σχήμα έργων Α	37

6.4 Σχήμα έργων D	38
6.5 Σχήμα έργων E.....	40
7. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα - συμπεράσματα.....	42
Αναφορές.....	44
Ένθετο 1: Υδραυλικοί υπολογισμοί.....	45
Ένθετο 2: Χαρακτηριστικές καμπύλες ταμιευτήρων.....	59
Ένθετο 3: Υπολογισμοί λειτουργίας συστήματος.....	61
Ένθετο 4: Διαγράμματα εξέλιξης συστήματος	351

1. Αντικείμενο

Η έκθεση αυτή συντάχθηκε στα πλαίσια της παροχής υπηρεσιών συμβούλου για την υποβοήθηση του ΥΠΕΧΩΔΕ (ΕΥΔΕ Αχελώου) στην προσαρμογή των μελετών εκτροπής του Αχελώου προς τη Θεσσαλία. Ειδικότερα, η παροχή υπηρεσιών αναφέρεται σε θέματα γενικής διάταξης των έργων από την έξοδο της σήραγγας στο Πευκόφυτο μέχρι το Μουζάκι-Μαυρομάτι. Στη σχετική σύμβαση και συγγραφή υποχρεώσεων προβλέπεται να εκπονηθεί μελέτη λειτουργίας των ταμιευτήρων Μεσοχώρας, Συκιάς και Μουζακίου για διάφορα σενάρια σχεδιασμού και λειτουργίας. Η παρούσα έκθεση καλύπτει αυτό το συμβατικό όρο.

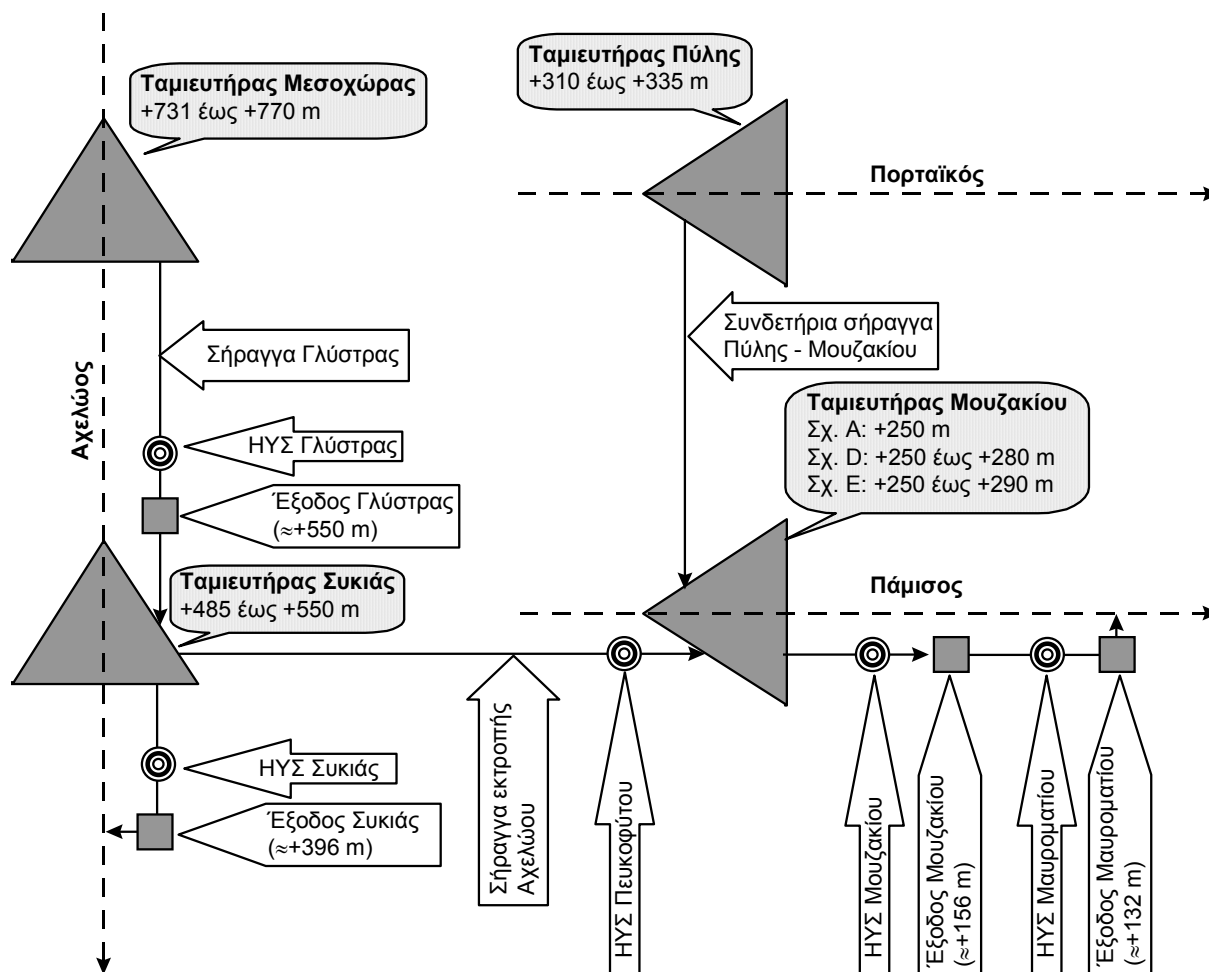
Η παρούσα μελέτη λειτουργίας των ταμιευτήρων αποσκοπεί στην υποστήριξη της τεχνικής μελέτης και συγκεκριμένα στην εξαγωγή των αναγκαίων χαρακτηριστικών μεγεθών της λειτουργίας των ταμιευτήρων, που είναι απαραίτητα στο σχεδιασμό των τεχνικών έργων κεφαλής του συστήματος εκτροπής. Σύμφωνα και με τη σύμβαση παροχής υπηρεσιών, ο βαθμός προσέγγισης της παρούσας μελέτης είναι ανάλογος με το βαθμό ακρίβειας του σχεδιασμού της γενικής διάταξης των έργων κεφαλής και η όλη μελέτη δεν έχει στόχο την κατάρτιση διαχειριστικού μοντέλου του όλου υδατικού συστήματος. Η βασική μεθοδολογία της μελέτης στηρίζεται στην προσομοίωση των ταμιευτήρων με βάση ιστορικές υδρολογικές χρονοσειρές. Οι χρονοσειρές αυτές (μηνιαίας βροχής και απορροής στις θέσεις φραγμάτων Μεσοχώρας, Συκιάς, Πύλης και Μουζακίου) έχουν εξαχθεί στα πλαίσια της ίδιας σύμβασης παροχής υπηρεσιών συμβούλου και περιέχονται στην έκθεση υδρολογικής διερεύνησης.

Στην παρούσα μελέτη έγινε προσπάθεια για ακριβέστερη (σε σχέση με την προδιαγραφόμενη στη σύμβαση) προσέγγιση του αντικειμένου. Ειδικότερα, στα πλαίσια της προσομοίωσης της λειτουργίας των ταμιευτήρων έγινε προσπάθεια να βελτιστοποιηθούν οι παράμετροι λειτουργίας του συστήματος. Επίσης, έχει συμπεριληφθεί, σε ορισμένα σενάρια έργων, και ο ταμιευτήρας Πύλης, ο οποίος δεν προβλεπόταν στη σύμβαση. Τέλος, σε επέκταση των όρων της σύμβασης έγινε προσπάθεια να εκτιμηθούν (σε πρώτη προσέγγιση) και οι ενεργειακές και οικονομικές επιπτώσεις στα έργα του Κάτω Αχελώου (Κρεμαστά, Καστράκι, Στράτος).

Επισημαίνεται, πάντως, ότι ο βαθμός ακρίβειας των αποτελεσμάτων που δίνονται στην έκθεση αυτή είναι επαρκής για το σκοπό της παροχής υπηρεσιών συμβούλου και δεν αντιστοιχεί σε τελική μελέτη των έργων ή σε μελέτη διαχείρισης του υδροσυστήματος. Εξ άλλου, τα οικονομικά δεδομένα (τιμές μονάδας) που κατ' ανάγκη χρησιμοποιούνται στη μελέτη αυτή, προκειμένου να μορφωθεί και να βελτιστοποιηθεί ο δείκτης επίδοσης του συστήματος, είναι προσεγγιστικά. Οι τελικοί οικονομικοί δείκτες θα προκύψουν από περαιτέρω οικονομικές αναλύσεις και συγκεκριμένα από τη μελέτη κόστους-οφέλους που θα εκπονηθεί για το σύνολο των έργων.

2. Περιοχή μελέτης και έργα

Οι ποταμοί που ενδιαφέρουν την παρούσα μελέτη είναι ο Άνω Αχελώος, ο Πορταϊκός και ο Πάμισος (ή Πλιούρης). Τα έργα που κατασκευάζονται ή πρόκειται να κατασκευαστούν ή, γενικά, εξετάζονται στην περιοχή και συσχετίζονται άμεσα με την εκτροπή του Αχελώου είναι τα ακόλουθα:



Σχ. 1 Σχηματική παράσταση έργων εκτροπής Αχελώου και χαρακτηριστικές στάθμες.

1. *Φράγμα Μεσοχώρας στον Αχελώο.* Πρόκειται για λιθόρριπτο φράγμα με ανάντη πλάκα από σκυρόδεμα, ύψους 135 m, το οποίο ήδη κατασκευάζεται. Ο ταμιευτήρας έχει ωφέλιμη χωρητικότητα 228 hm³.
2. *Φράγμα Συκιάς στον Αχελώο.* Προβλέπεται να κατασκευαστεί με αμμοχάλικο κοίτης και κεντρικό αδιαπέρατο πυρήνα. Το ύψος του φράγματος είναι 150 m και ο ταμιευτήρας έχει ωφέλιμη χωρητικότητα 502 hm³.
3. *Φράγμα Πύλης στον Πορταϊκό.* Σύμφωνα με τη μελέτη της ΔΕΗ/ΔΑΥΕ (1987) το φράγμα προβλέπεται να έχει ύψος 90 m και ο ταμιευτήρας θα έχει ωφέλιμη χωρητικότητα 47 hm³. Λόγω της μικρής χωρητικότητας του, ο ταμιευτήρας λειτουργεί σε συνδυασμό με τον

ταμιευτήρα Μουζακίου, προς τον οποίο εκτρέπει τα αποθέματά του μέσω συνδετήριας σήραγγας (βλ. παρακάτω).

4. *Φράγμα Μουζακίου στον Πάμισο*. Σύμφωνα με τη μελέτη της ΔΕΗ/ΔΑΥΕ (1987) το φράγμα προβλέπονταν να έχει ύψος 114 m και ο ταμιευτήρας ωφέλιμη χωρητικότητα 355 hm³. Στην παρούσα μελέτη εξετάζονται εναλλακτικά σχήματα διαστασιολόγησης του φράγματος, όλα με μικρότερα ύψη και ωφέλιμες χωρητικότητες από 0 μέχρι 200 hm³. Τα σχήματα αυτά ονομάζονται στη μελέτη ως σχήματα Α, D και Ε.
5. *Σήραγγα και υδροηλεκτρικός σταθμός Γλύστρας*. Η σήραγγα μήκους 7.5 km και διαμέτρου 5 m (με αγωγό πτώσης μήκους 0.5 km και διαμέτρου 4.3 m) έχει υδροληψία στον ταμιευτήρα Μεσοχώρας και καταλήγει ανάντη του ταμιευτήρα Συκιάς. Η εγκατεστημένη ισχύς του υδροηλεκτρικού σταθμού είναι 160 MW (2 × 80 MW).
6. *Σήραγγα προσαγωγής και υδροηλεκτρικός σταθμός Συκιάς*. Σύμφωνα με τη μελέτη της ΔΕΗ/ΔΑΥΕ (1987), η σήραγγα, με υδροληψία στον ταμιευτήρα Συκιάς, έχει μήκος 1 km και διάμετρο 4.5 m και η εγκατεστημένη ισχύς του υδροηλεκτρικού σταθμού είναι 60 MW. Ωστόσο, μετά την τροποποίηση της εκτρεπόμενης ποσότητας από 1100 σε 600 hm³, αλλά και (κυρίως) την αλλαγή του τρόπου λειτουργίας των έργων, με μεταφορά προς τη Θεσσαλία όλης της εκτρεπόμενης ποσότητας κατά την αρδευτική περίοδο, τα μεγέθη αυτά είναι ανεπαρκή. Έτσι, στα πλαίσια της παρούσας μελέτης θεωρήθηκαν αυξημένες τιμές των μεγεθών σχεδιασμού και συγκεκριμένα η διάμετρος της σήραγγας θεωρήθηκε 6 m και η εγκατεστημένη ισχύς του υδροηλεκτρικού σταθμού 120 MW (2 × 60 MW). Τα μεγέθη αυτά δεν είναι ασφαλώς τελικά μεγέθη σχεδιασμού αλλά αποτελούν χονδροειδείς προσεγγίσεις, επαρκείς για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης (η οποία, σημειωτέον, δεν περιλαμβάνει το σχεδιασμό των έργων στη Συκιά), που πρέπει να επαναθεωρηθούν σε επόμενο στάδιο μελέτης. Για το σενάριο μη εκτροπής, το οποίο επίσης εξετάστηκε, για λόγους σύγκρισης, στην παρούσα μελέτη (σχήμα έργων 0, βλ. παρακάτω), η ισχύς θεωρήθηκε 220 MW, όπως είχε προβλεφθεί από τη ΔΕΗ/ΔΑΥΕ (1987).
7. *Σήραγγα εκτροπής Αχελώου-Θεσσαλίας και υδροηλεκτρικός σταθμός Πευκοφύτου*. Η σήραγγα μήκους 17.4 km και διαμέτρου 6 m, έχει υδροληψία στον ταμιευτήρα Συκιάς και καταλήγει (σύμφωνα με το σχεδιασμό της παρούσας μελέτης) στον ταμιευτήρα Μουζακίου. Η εγκατεστημένη ισχύς του υδροηλεκτρικού σταθμού είναι 260 MW (2 × 130 MW). Στην παρούσα μελέτη εξετάζεται (σε ορισμένα σενάρια) η αντιστρεπτή λειτουργία του υδροηλεκτρικού σταθμού (άντληση-ταμίευση).
8. *Συνδετήρια σήραγγα Πύλης-Μουζακίου*. Η σήραγγα, που εκτρέπει τα αποθέματα του ταμιευτήρα Πύλης προς το Μουζάκι, έχει μήκος 8 km και διάμετρο 3 m. Η σήραγγα δεν είναι εφοδιασμένη με υδροηλεκτρικό σταθμό.
9. *Σήραγγα προσαγωγής και υδροηλεκτρικός σταθμός Μουζακίου*. Η σήραγγα μήκους 4 km και διαμέτρου 8 m έχει υδροληψία στον ταμιευτήρα Μουζακίου και εξαγωγή στο Μαυρομάτι. Η εγκατεστημένη ισχύς του υδροηλεκτρικού σταθμού είναι 270 MW (2 × 135 MW).

Στην παρούσα μελέτη εξετάζεται (σε ορισμένα σενάρια) η αντιστρεπτή λειτουργία του υδροηλεκτρικού σταθμού (άντληση-ταμίευση).

10. *Ανάχωμα και υδροηλεκτρικός σταθμός Μαυροματίου*. Τα έργα αυτά τοποθετούνται κατάντη της εξόδου του υδροηλεκτρικού σταθμού Μουζακίου και έχουν στόχο την περαιτέρω ενεργειακή εκμετάλλευση των παροχών που εξέρχονται από τον ταμιευτήρα Μουζακίου.

Σχηματικά, τα παραπάνω έργα φαίνονται στο Σχ. 1. Πέρα από τα παραπάνω κύρια έργα, υπάρχουν και άλλα δευτερεύοντα, όπως μικρά υδροηλεκτρικά έργα για την ενεργειακή εκμετάλλευση των παροχών περιβαλλοντικής διατήρησης. Τα έργα αυτά δεν περιλαμβάνονται στην παρούσα μελέτη.

Παραπάνω έχει γίνει αναφορά σε διατάξεις ή σχήματα έργων, με τα οποία ασχολείται η παρούσα μελέτη. Οι διατάξεις αυτές συγκεντρώνονται και διασαφηνίζονται στον Πίν. 1. Η διάταξη 0 (μη εκτροπή) εξετάζεται για λόγους σύγκρισης και μόνο. Οι διατάξεις A, D και E έχουν προταθεί από το γενικό σύμβουλο της παρούσας μελέτης.

Πίν. 1 Σχήματα έργων που εξετάζονται στην παρούσα μελέτη.

Σχήμα έργων	0	1	A	D	E
Εκτροπή προς Θεσσαλία	OXI	NAI	NAI	NAI	NAI
Κατασκευή φράγματος Μουζακίου	OXI	Ανάχωμα	Ανάχωμα	NAI	NAI
Κατασκευή φράγματος Πύλης	OXI	OXI	OXI	NAI	NAI
Λειτουργία σταθμών Πευκοφύτου και Μουζακίου με άντληση-ταμίευση	-	OXI	NAI	NAI	NAI
Μέγιστη στάθμη στον ταμιευτήρα Μουζακίου	-	+250 m	+250 m	+280 m	+290 m

3. Υδρολογία

Στα πλαίσια της παρούσας παροχής υπηρεσιών συμβούλου έγινε διερεύνηση των υδρολογικών μεγεθών της περιοχής των έργων. Η υδρολογική διερεύνηση παρουσιάζεται σε ξεχωριστή έκθεση, ενώ παρακάτω δίνονται συνοπτικά στοιχεία από την έκθεση αυτή.



Σχ. 2 Υδρολογικές υπολεκάνες, και υδρομετρικοί (τρίγωνα) και βροχομετρικοί (κύκλοι) σταθμοί μελέτης.

3.1 Υδρολογικές λεκάνες μελέτης

Οι υδρολογικές λεκάνες που ενδιαφέρουν στην μελέτη αυτή είναι οι υπολεκάνες του Αχελώου ανάντη των θέσεων φραγμάτων Μεσοχώρας και Συκιάς, καθώς και οι υπολεκάνες του Πορταϊκού ανάντη της θέσης φράγματος Πύλης, και του Παμίσου ανάντη της θέσης φράγματος Μουζακίου. Ο Πορταϊκός και ο Πάμισος είναι παραπόταμοι του Πηνειού.

Στις θέσεις Μεσοχώρα και Συκιά έχουν υπάρξει υδρομετρικοί σταθμοί, αλλά η λειτουργία τους δεν ήταν ικανοποιητική. Έτσι, για την εξαγωγή των σειρών παροχής στις θέσεις αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί τα δεδομένα του κατάντη υδρομετρικού σταθμού στη θέση Αυλάκι. Στον Πάμισο και τον Πορταϊκό έχουν λειτουργήσει υδρομετρικοί σταθμοί σε θέσεις που απέχουν λίγο από τις αντίστοιχες θέσεις φράγματος.

Οι θέσεις υδρομετρικών σταθμών και οι θέσεις φραγμάτων στην περιοχή καθορίζουν ένα σύνολο υπολεκανών στην περιοχή μελέτης, οι οποίες καταχωρούνται, μαζί με τα βασικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά τους, στον Πίν. 2. Στο Σχ. 2 φαίνονται οι υπολεκάνες μελέτης και οι υδρομετεωρολογικοί σταθμοί των οποίων τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν.

3.2 Ιστορική περίοδος μελέτης και υποπερίοδοι

Η ιστορική περίοδος μελέτης, που καθορίστηκε κυρίως από τη διαθεσιμότητα των υδρομετρικών δεδομένων, ξεκινά από το υδρολογικό έτος 1960-61 και φτάνει μέχρι το 1993-94 (34 χρόνια). Η πρώτη υποπερίοδος μεταξύ των υδρολογικών ετών 1960-61 και 1985-86 χαρακτηρίζεται από ομαλή διαδοχή υγρών και ξηρών ετών. Η δεύτερη οκταετής υποπερίοδος μεταξύ των υδρολογικών ετών 1986-87 και 1993-94 είναι υδρολογικώς φτωχότερη και περιλαμβάνει τα δύο πολύ ξηρά υδρολογικά έτη 1989-90 και 1991-92. Τα δεδομένα της παραπάνω περιόδου στην παρούσα μελέτη εξετάζονται σε μηνιαία χρονική κλίμακα, η οποία είναι κατάλληλη για το βαθμό προσέγγισης που επιδιώκεται.

Πίν. 2 Λεκάνες απορροής και βασικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά τους.

Ποταμός	Υπολεκάνη	Έκταση, km ²	Μέσο υψόμετρο, m
Αχελώος	Ανάντη θέσης φράγματος Μεσοχώρας	633.0	1416
Αχελώος	Ανάντη θέσης φράγματος Συκιάς	1171.7	1307
Αχελώος	Ενδιάμεση μεταξύ θέσεων φραγμάτων Μεσοχώρας και Συκιάς	538.7	1179
Αχελώος	Ανάντη θέσης μέτρησης Αυλακίου	1358.3	1239
Αχελώος	Ενδιάμεση μεταξύ θέσης φράγματος Συκιάς και θέσης μέτρησης Αυλακίου	186.6	812
Πορταϊκός	Ανάντη θέσης μέτρησης Πύλης	132.0	865
Πορταϊκός	Ανάντη θέσης φράγματος Πύλης	128.5	866
Πάμισος	Ανάντη θέσης μέτρησης Μουζακίου	139.1	653
Πάμισος	Ανάντη θέσης φράγματος Μουζακίου	140.6	652

3.3 Υδρομετεωρολογικοί σταθμοί και δεδομένα

Στην υδρολογική διερεύνηση χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα 14 βροχομετρικών σταθμών της περιοχής μελέτης, τα οποία μετά από έλεγχο και επεξεργασία έδωσαν τη μηνιαία επιφανειακή βροχόπτωση στις τέσσερις βασικές υπολεκάνες μελέτης (ανάντη των τεσσάρων θέσεων φραγμάτων) για όλη την περίοδο μελέτης. Η εξάτμιση στους ταμειυτήρες εκτιμήθηκε με αναγωγή από την εξάτμιση στα Κρεμαστά. Επισημαίνεται ότι και οι βροχοπτώσεις και οι εξατμίσεις εκτιμήθηκαν προσεγγιστικά με βαθμό ακρίβειας κατάλληλο για το σκοπό της μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, αξιοποιήθηκε μόνο ένα μέρος της βροχομετρικής και μετεωρολογικής πληροφορίας της περιοχής. Σε επόμενη φάση της μελέτης είναι δυνατή η εξαγωγή ακριβέστερων εκτιμήσεων με χρησιμοποίηση του συνόλου των υδρομετεωρολογικών σταθμών.

Για την εκτίμηση των απορροών στις θέσεις φραγμάτων αξιοποιήθηκαν δεδομένα των υδρομετρικών σταθμών Αυλάκι (Αχελώος), Πύλη (Πορταϊός) και Μουζάκι (Πάμισος). Το δείγμα του πρώτου σταθμού καλύπτει όλη την ιστορική περίοδο μελέτης, ενώ τα δείγματα των δύο τελευταίων καλύπτουν μόνο τα πιο πρόσφατα 9 υδρολογικά έτη (1985-86 έως 1993-94). Η απορροή στις δύο θέσεις φραγμάτων του Αχελώου εκτιμήθηκε από την απορροή στο Αυλάκι, μετά από κατάλληλη αναγωγή, στην οποία συνεκτιμήθηκαν οι μηνιαίες επιφανειακές βροχοπτώσεις των υπολεκάνων. Η απορροή στις θέσεις φραγμάτων Πύλης και Μουζακίου εκτιμήθηκε από τα δείγματα των ομώνυμων υδρομετρικών σταθμών. Τα δείγματα αυτά επεκτάθηκαν προς τα πίσω σε τρόπο ώστε να καλύπτουν όλη την ιστορική περίοδο μελέτης (34 υδρολογικά έτη). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε στοχαστικό μοντέλο, το οποίο, προκειμένου να εκτιμήσει τη μηνιαία απορροή σε μια θέση (Πύλη ή Μουζάκι), χρησιμοποιεί ως εισόδους την απορροή του προηγούμενου μήνα στην ίδια θέση, την απορροή του ίδιου μήνα στο Αυλάκι και την επιφανειακή βροχόπτωση του ίδιου μήνα στην υπολεκάνη ανάντη της υπό μελέτη θέσης. Η προσαρμογή του μοντέλου στα ιστορικά δεδομένα υπήρξε ικανοποιητική.

3.4 Τελικά υδρολογικά μεγέθη - Υδατικό δυναμικό λεκανών

Μετά την επεξεργασία των δεδομένων που αναλυτικά φαίνεται στην έκθεση υδρολογικής διερεύνησης, προέκυψαν τα τελικά χαρακτηριστικά μεγέθη επιφανειακού υδατικού δυναμικού που φαίνονται στον Πίν. 3 (σε μονάδες παροχής, ύψους απορροής και όγκου απορροής) για όλες τις υπολεκάνες μελέτης. Παρατηρούμε ότι το αθροιστικό επιφανειακό υδατικό δυναμικό των λεκανών Πύλης και Μουζακίου είναι μικρό ποσοστό (19%) του υδατικού δυναμικού στη Συκιά. (Αυτό οφείλεται πρωτίστως στην μικρή αθροιστική έκταση των δύο λεκανών, που είναι ίση με το 23% της έκτασης της υπολεκάνης του Αχελώου ανάντη της Συκιάς.) Στον Πίν. 4 φαίνονται οι μέσοι υπερετήσιοι συντελεστές απορροής των υπολεκάνων. Είναι προφανές ότι στην εκτίμηση αυτών των συντελεστών απορροής υπεισέρχονται τα σφάλματα στην εκτίμηση τόσο της βροχής (που όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι προσεγγιστική), όσο και

της απορροής. Και στον Πίν. 3 και στον Πίν. 4 δίνονται τιμές τόσο για τη συνολική 34ετή περίοδο, όσο και για τις δύο υποπεριόδους. Τέλος, η διακύμανση των υψών απορροής των υπολεκανών σε ετήσια βάση φαίνεται στο Σχ. 3.

Σημειώνεται ότι το επιφανειακό υδατικό δυναμικό των υπολεκανών, όπως εκτιμήθηκε στα πλαίσια της παρούσας μελέτης βρίσκεται σε καλή συμφωνία με τις εκτιμήσεις της παλιότερης μελέτης της ΕΥΔΕ Αχελώου και Υδροεξυγιαντικής (1995). Αξιοσημείωτη (αλλά όχι τόσο σημαντική) απόκλιση υπάρχει μόνο για την υπολεκάνη της Πύλης, όπου η εκτίμηση της παρούσας μελέτης είναι κατά 13.7% αυξημένη σε σχέση με αυτήν της παλιότερης μελέτης.

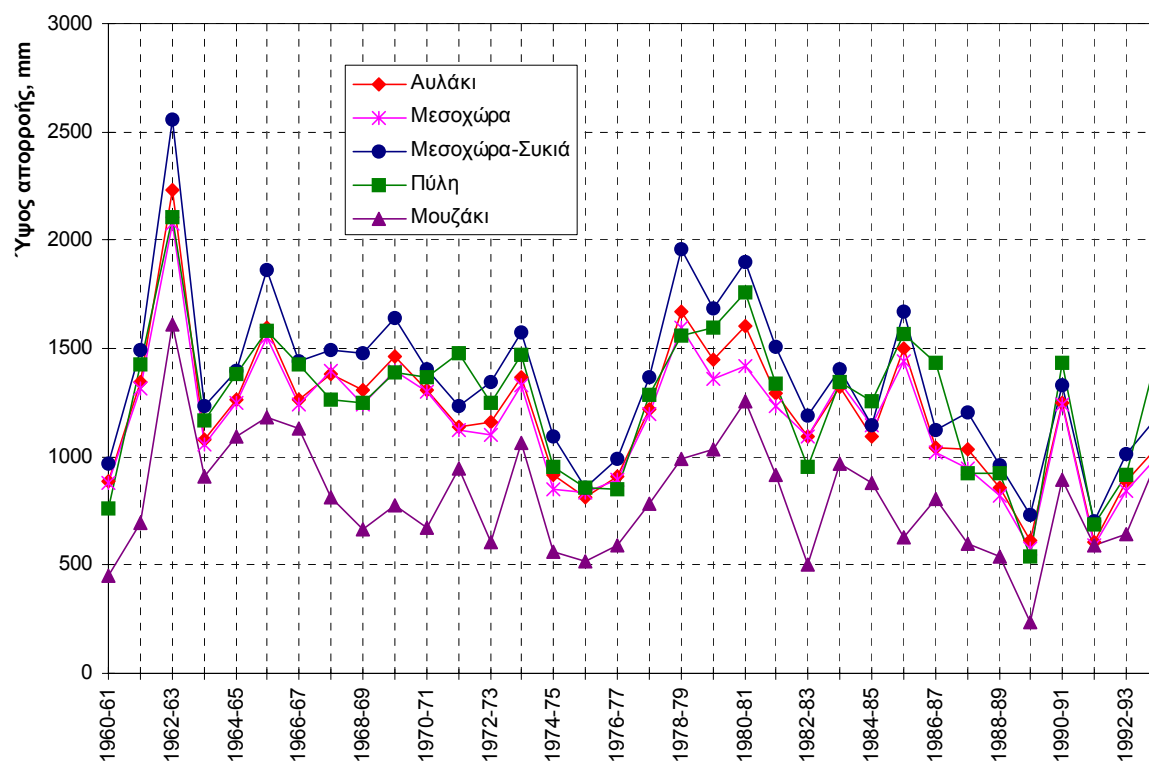
Πίν. 3 Χαρακτηριστικά μεγέθη υδατικού δυναμικού στις υπολεκάνες μελέτης.

Υπολεκάνη (έκταση, km ²)	Περίοδος 1960-94			Υποπερίοδος 1960-86			Υποπερίοδος 1986-94		
	Ισοδύ- ναμο ύψος, mm	Παρο- χή, m ³ /s	Όγκος, hm ³	Ισοδύ- ναμο ύψος, mm	Παρο- χή, m ³ /s	Όγκος, hm ³	Ισοδύ- ναμο ύψος, mm	Παρο- χή, m ³ /s	Όγκος, hm ³
	Μεσοχώρα (633.0)	1168.5	23.44	739.7	1256.9	25.21	795.6	881.3	17.68
Συκιά (1171.7)	1255.0	46.60	1470.5	1348.7	50.08	1580.3	950.4	35.29	1113.6
Μεσοχώρα -Συκιά (538.7)	1356.6	23.16	730.8	1456.6	24.87	784.7	1031.7	17.61	555.8
Αυλάκι (1358.3)	1206.9	51.95	1639.3	1296.3	55.80	1760.8	916.4	39.44	1244.7
Πύλη (128.5)	1263.9	5.15	162.4	1332.0	5.43	171.2	1042.5	4.25	134.0
Μουζάκι (140.6)	810.2	3.61	113.9	855.1	3.81	120.2	664.3	2.96	93.4

Σημείωση: Οι παροχές και οι όγκοι αναφέρονται στις θέσεις φραγμάτων, εκτός από τη λεκάνη Αυλακίου όπου αναφέρονται στη θέση μέτρησης.

Πίν. 4 Συντελεστές απορροής στις υπολεκάνες μελέτης.

Υπολεκάνη	Περίοδος 1960-94			Υποπερίοδος 1960-86			Υποπερίοδος 1986-94		
	Βροχό- πτωση, mm	Απορ- ροή, mm	Συντε- λεστής απορ- ροής	Βροχό- πτωση, mm	Απορ- ροή, mm	Συντε- λεστής απορ- ροής	Βροχό- πτωση, mm	Απορ- ροή, mm	Συντε- λεστής απορ- ροής
Μεσοχώρα	1730.6	1168.5	0.68	1791.4	1256.9	0.70	1533.1	881.3	0.57
Συκιά	1850.6	1255.0	0.68	1915.4	1348.7	0.70	1640.1	950.4	0.58
Μεσοχώρα -Συκιά	1991.7	1356.6	0.68	2061.2	1456.6	0.71	1765.8	1031.7	0.58
Αυλάκι	1778.8	1206.9	0.68	1842.3	1296.3	0.70	1572.5	916.4	0.58
Πύλη	1680.5	1263.9	0.75	1729.9	1332.0	0.77	1519.8	1042.5	0.69
Μουζάκι	1474.9	810.2	0.55	1517.5	855.1	0.56	1336.5	664.3	0.50



Σχ. 3 Διακύμανση του ετήσιου ύψους απορροής στις υπολεκάνες μελέτης.

4. Το μοντέλο προσομοίωσης-βελτιστοποίησης

4.1 Εισαγωγή - Γενική μεθοδολογία

Για τη μελέτη του συστήματος ταμιευτήρων αναπτύχθηκε ένα μοντέλο προσομοίωσης-βελτιστοποίησης, με βάση το οποίο εκτιμήθηκαν για κάθε σενάριο έργων οι εκροές, οι αντλούμενες ποσότητες, οι ποσότητες ενέργειας τόσο στη φάση παραγωγής ενέργειας, όσο και στη φάση άντλησης, και τελικά το προκύπτον οικονομικό όφελος από την παραγωγή ενέργειας. Το μοντέλο προσομοιώνει συνολικά και σε πλήρη λεπτομέρεια το υδροσύστημα, το οποίο αποτελείται από:

1. τους ποταμούς Αχελώο, Πορταϊκό και Πάμισο και τις λεκάνες απορροής τους ανάντη Συκιάς, Πύλης και Μουζακίου, αντίστοιχα.
2. τους τέσσερις ταμιευτήρες (Μεσοχώρα, Συκιά, Πύλη, Μουζάκι),
3. τους πέντε κύριους υδροηλεκτρικούς σταθμούς (Μεσοχώρα, Συκιά, Πευκόφυτο, Μουζάκι, Μαυρομάτι), και
4. τους έξι αγωγούς προσαγωγής ή διασύνδεσης (Γλύστρας, Συκιάς, εκτροπής Αχελώου, συνδετήρια σήραγγα Πύλης-Μουζακίου, Μουζακίου, Μαυροματίου).

Επίσης, εκτιμά προσεγγιστικά τις επιπτώσεις στην παραγωγή ενέργειας των έργων Κάτω Αχελώου (Κρεμαστών, Καστρακίου, Στράτου), χωρίς όμως να προσομοιώνει σε λεπτομέρεια τη λειτουργία αυτών των έργων. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να εκτιμήσει το συνολικό όφελος από τη λειτουργία του υπό μελέτη συστήματος έργων, συνυπολογίζοντας, σε κάθε μελετώμενο σχήμα έργων, τη μείωση στην παραγωγή ενέργειας των έργων Κάτω Αχελώου.

Το μοντέλο συμπεριλαμβάνει στην προσομοίωση την ικανοποίηση των καταναλωτικών χρήσεων, οι οποίες αφορούν κυρίως στην παροχή αρδευτικού νερού κατάντη του Μαυροματίου καθώς και δευτερευόντως στην παροχή μικρής ποσότητας αρδευτικού νερού κατάντη της Πύλης.

Ακόμη, το μοντέλο περιλαμβάνει την ικανοποίηση των περιβαλλοντικών όρων που αφορούν στις παροχές εκροής κατάντη των φραγμάτων για περιβαλλοντική διατήρηση.

Οι υδρολογικές εισοδοί του μοντέλου (βλ. κεφάλαιο 3) είναι οι απορροές των λεκανών και οι καθαρές βροχοπτώσεις στους ταμιευτήρες (δηλαδή οι βροχοπτώσεις μείον τις εξατμίσεις). Και τα δύο αυτά μεγέθη εισάγονται ως ισοδύναμα ύψη και η αναγωγή τους σε όγκους γίνεται δυναμικά από το μοντέλο, παίρνοντας υπόψη την έκταση κάθε ταμιευτήρα σε κάθε χρονικό βήμα. Η ιστορική περίοδος μελέτης περιλαμβάνει 34 υδρολογικά έτη (1960-61 έως 1993-94, βλ. εν. 3.1).

Η γενική μεθοδολογία του μοντέλου στηρίζεται σε μια ανάλογη εργασία των Nalbantis and Koutsoyiannis (1996) και περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. Παραμετροποίηση του συστήματος με την εισαγωγή παραμετρικών κανόνων λειτουργίας.

2. Λεπτομερής προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος με ικανοποίηση όλων των φυσικών και των εσωτερικών λειτουργικών περιορισμών του.
3. Βελτιστοποίηση του δείκτη επίδοσης του συστήματος (ο οποίος συνδέεται με το ενεργειακό οικονομικό όφελος και την αρδευτική απώληση) σε τρόπο ώστε να ικανοποιούνται ταυτόχρονα οι εξωτερικοί λειτουργικοί περιορισμοί του. Από τη βελτιστοποίηση προκύπτουν οι τιμές παραμέτρων του συστήματος.

Η γενική μεθοδολογία αυτή αναλύεται στις ενότητες που ακολουθούν, ενώ οι ειδικότερες παραδοχές που αφορούν το συγκεκριμένο υδροσύστημα αναπτύσσονται στο κεφάλαιο 5.

4.2 Δυναμική συστήματος

Θεωρούμε ένα μεμονωμένο ταμιευτήρα, ο οποίος τροφοδοτείται τόσο από φυσικές εισροές, όσο και από εκροές άλλων ταμιευτήρων και τροφοδοτεί μια σειρά από χρήσεις νερού. Για το υπό μελέτη σύστημα, στην πιο σύνθετη περίπτωση έχουμε τριών ειδών εκροές: εκροή για περιβαλλοντική διατήρηση, εκροή προς κατάντη υδροηλεκτρικό σταθμό και εκτροπή προς άλλο ταμιευτήρα. Στην περίπτωση αυτή, η δυναμική του ταμιευτήρα περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση, συνέπεια της διατήρησης μάζας:

$$S_t^n = S_{t-1}^n + IR_t^n (F^n - A_{t-1}^n) + IN_t^n A_{t-1}^n + VR_t^n - RE_t^n - RM_t^n - RD_t^n - SP_t^n - LE_t^n \quad (1)$$

όπου ο άνω δείκτης n συμβολίζει τον ταμιευτήρα (με τιμές 1 για τη Μεσοχώρα, 2 για τη Συκιά, 3 για την Πύλη και 4 για το Μουζάκι), ο κάτω δείκτης t συμβολίζει το χρόνο (σε διακριτή μορφή με κατάλληλο βήμα διακριτοποίησης, π.χ. μήνες) και τα υπόλοιπα σύμβολα έχουν τις ακόλουθες σημασίες:

S : το ολικό (ή μικτό) απόθεμα του ταμιευτήρα, σε μονάδες όγκου (εδώ hm^3).

A : το εμβαδό της επιφάνειας του ταμιευτήρα.

F : το εμβαδό της λεκάνης που τροφοδοτεί με απορροή τον ταμιευτήρα.

IR : το ισοδύναμο ύψος απορροής της λεκάνης.

IN : το καθαρό ύψος βροχής στον ταμιευτήρα, οριζόμενο ως η διαφορά βροχής και εξάτμισης.

VR : η συνολική εισροή που προέρχεται από εκροές άλλων ταμιευτήρων, σε μονάδες όγκου.

RE : η άμεση εκροή κατάντη του ταμιευτήρα για κάλυψη αναγκών περιβαλλοντικής διατήρησης, σε μονάδες όγκου.

RM : η κύρια εκροή κατάντη του ταμιευτήρα για παραγωγή ενέργειας ή για κάλυψη αρδευτικών αναγκών, σε μονάδες όγκου.

RD : η εκροή που εκτρέπεται προς άλλη κατεύθυνση, σε μονάδες όγκου.

SP : η υπερχειλίση από τον ταμιευτήρα, σε μονάδες όγκου.

LE: η υπόγεια διαφυγή από τον ταμιευτήρα, σε μονάδες όγκου (στο σύστημα που μελετάται θεωρούνται αμελητέες).

Το χρονικό βήμα διακριτοποίησης θεωρείται αρκετά μικρό ώστε στη διάρκεια ενός βήματος να μη μεταβάλλεται πολύ η επιφάνεια του ταμιευτήρα. Αυτή η προϋπόθεση επιτρέπει να γραφεί η (1) ως εξίσωση διαφορών (και όχι ως διαφορική εξίσωση, όπως θα ήταν η αυστηρή μαθηματική έκφρασή της) και να χρησιμοποιηθεί στην εξίσωση αυτή η επιφάνεια που αντιστοιχεί στο προηγούμενο χρονικό βήμα (A_t^{n-1}), πράγμα που διευκολύνει τους υπολογισμούς. Εάν το βήμα διακριτοποίησης είναι μεγάλο τότε μπορεί να γίνει υπολογιστική υποδιαίρεσή του, σε τρόπο ώστε να ικανοποιείται η εν λόγω προϋπόθεση (βλ. και εν. 4.4).

Οι ακόλουθες εξισώσεις ολοκληρώνουν τη δυναμική του συστήματος, περιγράφοντας τη σύνδεση μεταξύ των ταμιευτήρων:

$$VR_t^1 = VR_t^3 = 0 \quad (2)$$

$$RD_t^1 = RD_t^4 = 0 \quad (3)$$

$$VR_t^2 = RE_t^1 + RM_t^1 + SP_t^n \quad (4)$$

$$VR_t^4 = RD_t^1 + RD_t^3 \quad (5)$$

Τα παραπάνω μεγέθη υπόκεινται σε μια σειρά φυσικών περιορισμών που διατυπώνονται ως εξής:

- Απόθεμα

$$0 \leq S_t^n \leq K^n \quad (6)$$

όπου K^n είναι η ολική χωρητικότητα του ταμιευτήρα. Από λειτουργική άποψη το κατώτατο όριο του αποθέματος είναι ίσο με το απόθεμα A^n που αντιστοιχεί στην κατώτατη στάθμη του ταμιευτήρα, αλλά, ωστόσο, φυσικά η στάθμη είναι δυνατό να γίνει μικρότερη από την κατώτατη στάθμη (αν υπάρχει εξάτμιση χωρίς καμιά εισροή) οπότε το φυσικό κατώτατο όριο είναι το 0.

- Κύρια εκροή:

$$0 \leq RM_t^n \leq CM_t^n \quad (7)$$

όπου CM_t^n ο μέγιστος όγκος νερού που μπορεί να διέλθει κατά τη διάρκεια ενός χρονικού βήματος από τον αγωγό, μέσω του οποίου πραγματοποιείται η εκροή. Ειδικότερα, η κύρια

εκροή μηδενίζεται, όταν η στάθμη στον ταμιευτήρα κατεβεί κάτω από τη στάθμη υδροληψίας.

- Εκροή εκτροπής:

$$0 \leq RD_t^n \leq CD_t^n \quad (8)$$

όπου CD_t^n ο μέγιστος όγκος νερού που μπορεί να διέλθει κατά τη διάρκεια ενός χρονικού βήματος από τον αγωγό, μέσω του οποίου πραγματοποιείται η εκροή. Όπως συμβαίνει και με την κύρια εκροή, και η εκροή εκτροπής μηδενίζεται, όταν η στάθμη στον ταμιευτήρα κατεβεί κάτω από την αντίστοιχη στάθμη υδροληψίας.

- Εκροή περιβαλλοντικής διατήρησης:

$$0 \leq RE_t^n \leq CE_t^n \quad (9)$$

όπου CE_t^n η παροχετευτικότητα του αγωγού, μέσω του οποίου πραγματοποιείται η εκροή, που θεωρείται διαφορετικός από τους αγωγούς κύριας εκροής και εκροής εκτροπής.

- Υπερχείλιση:

$$SP_t^n = \begin{cases} 0, & S_t^n < K^n \\ S_{t-1}^n + IR_t^n (F^n - A_t^n) + IN_t^n A_t^n + VR_t^n \\ - RE_t^n - RM_t^n - RD_t^n - SP_t^n - LE_t^n - K^n, & S_t^n = K^n \end{cases} \quad (10)$$

Η σειρά αυτή των φυσικών περιορισμών συμπληρώνεται και από μια σειρά λειτουργικών κανόνων, οι οποίοι αναλύονται στις ενότητες 4.7 και 4.8. Εκτός από τους φυσικούς περιορισμούς και λειτουργικούς κανόνες υπάρχει και μια σειρά εξωτερικών περιορισμών, οι οποίοι αναλύονται στην ενότητα 4.10.

4.3 Γενικά χαρακτηριστικά ταμιευτήρων

Τα χαρακτηριστικά κάθε ταμιευτήρα που ενδιαφέρουν στην προσομοίωση είναι τα ακόλουθα:

1. Η καμπύλη στάθμης-αποθέματος που περιγράφεται από μια συνάρτηση της μορφής $S^n = f^n(z^n)$, όπου z^n η στάθμη στον n ταμιευτήρα. Η συνάρτηση $f^n(\cdot)$ περιγράφεται από μια ακολουθία συντεταγμένων (z_i, S_i) μέσω της οποίας είναι δυνατή η εκτίμηση του αποθέματος για οποιαδήποτε στάθμη, χρησιμοποιώντας λογαριθμική παρεμβολή.
2. Η καμπύλη στάθμης-επιφάνειας που περιγράφεται από μια συνάρτηση της μορφής $A^n = g^n(z^n)$, όπου z^n η στάθμη στον n ταμιευτήρα. Η συνάρτηση $g^n(\cdot)$ περιγράφεται και πάλι από μια ακολουθία συντεταγμένων (z_i, A_i) μέσω της οποίας είναι δυνατή η εκτίμηση της επιφάνειας για οποιαδήποτε στάθμη, χρησιμοποιώντας λογαριθμική παρεμβολή. Συνδυάζον-

τας τις δύο παραπάνω συναρτήσεις μπορεί να προκύψει η επιφάνεια A'' αν είναι γνωστό το απόθεμα S'' .

3. Η ελάχιστη στάθμη λειτουργίας z_{\min} , η οποία αντιστοιχεί σε ελάχιστο ολικό απόθεμα $A'' = f''(z_{\min})$.
4. Η μέγιστη (κανονική) στάθμη λειτουργίας z_{\max} , η οποία αντιστοιχεί σε μέγιστο ολικό απόθεμα $A'' = f''(z_{\max})$.

4.4 Γενικά χαρακτηριστικά στροβίλων

Η ποσότητα ενέργειας που παράγεται όταν ένας δεδομένος όγκος νερού V (εκροή από ταμειυτήρα, κύρια ή εκτροπή) διέλθει από τους στροβίλους (τουρμπίνες) ενός σταθμού παραγωγής δίνεται από την εξίσωση

$$E = \rho g V H_n \eta \quad (11)$$

όπου E η ενέργεια, ρ η πυκνότητα του νερού (1000 kg/m^3), g η επιτάχυνση βαρύτητας, H_n το καθαρό ύψος πτώσης, το οποίο διατίθεται για μετατροπή σε ενέργεια, και η ο συντελεστής απόδοσης των στροβίλων (αδιάστατος αριθμός < 1), ο οποίος εξαρτάται από λειτουργικά χαρακτηριστικά των τελευταίων. Αν όλα τα μεγέθη του δεύτερου μέλους της εξίσωσης εισαχθούν σε μονάδες του SI, τότε η ενέργεια προκύπτει σε J ($1 \text{ J} = 1 \text{ W}\cdot\text{s}$, άρα $1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \text{ MJ}$). Το καθαρό ύψος πτώσης είναι

$$H_n = H - h_f - h_k \quad (12)$$

όπου H το ολικό (ή γεωμετρικό) ύψος πτώσης, ίσο με τη διαφορά της στάθμης νερού στα σημεία υδροληψίας και εξαγωγής, h_f είναι οι γραμμικές απώλειες κατά μήκος των αγωγών και h_k οι αντίστοιχες τοπικές απώλειες. Για δεδομένα χαρακτηριστικά αγωγού οι απώλειες είναι συνάρτηση της παροχής. Παρόλο που η λειτουργία των στροβίλων επιτρέπει κατ' αρχήν ένα μεγάλο φάσμα παροχών για ένα δεδομένο ύψος πτώσης H_n , λόγοι λειτουργικοί και οικονομικοί οδηγούν συνήθως σε μονοσήμαντη σχέση παροχής-ύψους. Με αυτή την προϋπόθεση, σε δεδομένο ολικό ύψος πτώσης αντιστοιχεί μία τιμή της παροχής και του καθαρού ύψους πτώσης, οπότε από τις καμπύλες του στροβίλου προκύπτει μία τιμή του συντελεστή απόδοσης. Κάτω από αυτές τις συνθήκες η (11) γράφεται

$$E = \psi V H \quad (13)$$

όπου E η ενέργεια σε GWh, V ο όγκος νερού σε hm^3 , H το ολικό ύψος πτώσης σε hm, και ψ η ειδική ενέργεια (= ενέργεια ανά μονάδα όγκου και ανά μονάδα ύψους πτώσης) σε GWh / hm^4 , που δίνεται από τη σχέση

$$\psi = 0.2725 \eta \frac{H_n}{H} \left(\frac{\text{GWh}}{\text{hm}^4} \right) \quad (14)$$

Κάτω από τις προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν, η ειδική ενέργεια είναι συνάρτηση του ολικού ύψους πτώσης H και έχει μέγιστη δυνατή τιμή 0.2725 GWh/hm^4 . Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε συντελεστή απόδοσης 1 και σε μηδενικές γραμμικές και τοπικές απώλειες, οπότε $H_n = H$.

Για την περίπτωση άντλησης, η εξίσωση που δίνει την ενέργεια που καταναλώνεται για την ανύψωση όγκου V σε μανομετρικό ύψος H_n είναι παρόμοια με την (11), με τη διαφορά ότι ο συντελεστής απόδοσης είναι στον παρονομαστή:

$$E = \rho g V H_n / \eta \quad (15)$$

Το μανομετρικό ύψος είναι αντίστοιχα

$$H_n = H + h_f + h_k \quad (16)$$

Και στην περίπτωση που οι στρόβιλοι λειτουργούν ως αντλίες, λόγοι λειτουργικοί και οικονομικοί οδηγούν σε μονοσήμαντη σχέση παροχής-ύψους, οπότε η ενέργεια μπορεί και πάλι να προσδιορίζεται από την (11), με τη διαφορά ότι η ειδική ενέργεια ψ είναι

$$\psi = \frac{0.2725}{\eta} \frac{H}{H_n} \left(\frac{\text{GWh}}{\text{hm}^4} \right) \quad (17)$$

και έχει ελάχιστη δυνατή τιμή 0.2725 GWh/hm^4 . Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε συντελεστή απόδοσης 1 και σε μηδενικές γραμμικές και τοπικές απώλειες, οπότε $H_n = H$.

Μετά τα παραπάνω, γίνεται καταφανές ότι η μαθηματική περιγραφή των στροβίλων στο μοντέλο προσομοίωσης γίνεται μέσω των συναρτήσεων $\psi(H)$. Στην περίπτωση συμβατικού στροβίλου υπάρχει μία τέτοια συνάρτηση, ενώ στην περίπτωση αντιστρεπτού δύο συναρτήσεις (μία για την παραγωγή ενέργειας και μία για την άντληση). Οι συναρτήσεις αυτές περιγράφονται από ακολουθίες συντεταγμένων (H_i, ψ_i) μέσω των οποίων είναι δυνατή η εκτίμηση της ειδικής ενέργειας για οποιοδήποτε ύψος πτώσης, χρησιμοποιώντας γραμμική παρεμβολή. Ο προσδιορισμός των συντεταγμένων (H_i, ψ_i) προϋποθέτει υδραυλικούς υπολογισμούς, στους οποίους υπεισέρχονται τόσο τα χαρακτηριστικά του αγωγού μεταφοράς, όσο και οι χαρακτηριστικές καμπύλες των στροβίλων. Το ολικό ύψος πτώσης προσδιορίζεται κατά την προσομοίωση ως η διαφορά της στάθμης του ανάντη ταμιευτήρα και του κατόντη ταμιευτήρα ή της διάφυγας φυγής.

Κατά την εκτέλεση της προσομοίωσης, είναι δυνατό η μεταβολή του ολικού ύψους πτώσης κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρονικού βήματος (μήνα στην παρούσα μελέτη) να είναι σημαντική, οπότε στους υπολογισμούς της ενέργειας με τις παραπάνω εξισώσεις είναι δυνατό να εισάγονται σημαντικά σφάλματα. Στο μοντέλο που αναπτύχθηκε για την παρούσα μελέτη, το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με την (εσωτερική, για υπολογιστικούς λόγους) υποδιαίρεση κάθε χρονικού βήματος (μήνα) σε τέσσερα υποδιαστήματα. Διερευνητικές προσομοιώσεις έδειξαν ότι αυτή η υποδιαίρεση παρέχει πολύ ικανοποιητική ακρίβεια υπολογισμών.

4.5 Γενικά χαρακτηριστικά αγωγών μεταφοράς

Το χαρακτηριστικό του κάθε αγωγού μεταφοράς που ενδιαφέρει για την προσομοίωση είναι ο μέγιστος όγκος νερού CM ή CD (εξ. (7) ή (8)) που μπορεί να παροχετευτεί μέσω του αγωγού στη διάρκεια ενός χρονικού βήματος. Ο όγκος αυτός προκύπτει άμεσα από την παροχετευτικότητα του αγωγού Q_{\max} . Προφανώς η παροχετευτικότητα είναι συνάρτηση του ολικού ύψους πτώσης H και, άρα, το ίδιο ισχύει και για τα μεγέθη CM και CD.

Στην περίπτωση που ο αγωγός δεν είναι εφοδιασμένος με στρόβιλο, η παροχετευτικότητα προκύπτει άμεσα από τους υδραυλικούς υπολογισμούς, διαθέτοντας όλο το διαθέσιμο ύψος πτώσης σε απώλειες ενέργειας. Στην περίπτωση που υπάρχει στρόβιλος, η παροχετευτικότητα τίθεται ίση με την παροχή του στροβίλου, όπως αυτή καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά του στροβίλου για το δεδομένο ύψος πτώσης. Η παροχή αυτή είναι δυνατό να διαφέρει, για το ίδιο ύψος πτώσης, από την παροχή κανονικής λειτουργίας που συζητήθηκε στην ενότητα 4.4. Σε τέτοια περίπτωση, θα διαφέρει επίσης και η συνάρτηση ειδικής ενέργειας, οπότε στο μοντέλο προσομοίωσης θα πρέπει να εισαχθεί ξεχωριστά και η νέα αυτή συνάρτηση ειδικής ενέργειας που αντιστοιχεί στις συνθήκες μεγιστοποίησης της παροχής (π.χ. σε περίπτωση εξαιρετικά υγρών περιόδων, για αποφυγή υπερχειλίσεων). Ωστόσο, στην παρούσα μελέτη η κανονική λειτουργία των στροβίλων υιοθετήθηκε κοντά στα ανώτατα όρια παροχής, οπότε πρακτικώς δεν είναι δυνατή η περαιτέρω επαύξηση της παροχετευτικότητας, και έτσι δεν χρειάζεται η εισαγωγή δεύτερης καμπύλης ειδικής ενέργειας.

Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, ο μέγιστος διερχόμενος όγκος προσδιορίζεται (μέσω υδραυλικών υπολογισμών) για μια ακολουθία τιμών του ύψους πτώσης, ενώ για ενδιάμεσες τιμές του ύψους, το μοντέλο εκτιμά την τιμή του μέγιστου όγκου με γραμμική παρεμβολή.

4.6 Γενικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας του συστήματος

Το υπό μελέτη υδροσύστημα αντιμετωπίζεται ως σύστημα τριπλής σκοπιμότητας: ενεργειακής, αρδευτικής και περιβαλλοντικής. Ασφαλώς, όπως σε κάθε σύστημα ταμιευτήρων, υπάρχει και η αντιπλημμυρική σκοπιμότητα, η οποία όμως μελετάται σε πολύ πυκνότερη χρονική κλίμακα (π.χ. ωριαία) και δεν γίνεται εμφανής στη μηνιαία κλίμακα της παρούσας μελέτης.

Η περιβαλλοντική σκοπιμότητα έχει την απλούστερη αντιμετώπιση ανάμεσα στις τρεις. Η εξυπηρέτησή της απαιτεί την εκροή αμέσως κατάντη των φραγμάτων (χωρίς τη μεσολάβηση μεγάλου μήκους αγωγών προσαγωγής) μιας σταθερής, στη διάρκεια του έτους, παροχής περιβαλλοντικής διατήρησης. Η σκοπιμότητα αυτή αφορά και τους τέσσερις ταμιευτήρες.

Η εξυπηρέτηση της αρδευτικής σκοπιμότητας επιτυγχάνεται μέσω της διάθεσης ενός προκαθορισμένου, μεταβλητού κατά μήνα, όγκου νερού σε κάθε κόμβο παροχής αρδευτικού νερού. Στο σύστημα υπάρχουν δύο τέτοιοι κόμβοι: ο κύριος κόμβος κατάντη του Μαυροματίου και ένας δευτερεύων κόμβος (με μικρή απαίτηση παροχής) κατάντη του φράγματος Πύλης. Ωστόσο, η εξασφάλιση του αρδευτικού νερού αφορά κατ' αρχήν το σύνολο του

συστήματος ταμιευτήρων, δεδομένου ότι προϋποθέτει μεταφορές νερού από ταμιευτήρα σε ταμιευτήρα. Σημειώνεται όμως ότι, στο μοντέλο που εκπονήθηκε, ο ταμιευτήρας Μεσοχώρας δεν εντάχθηκε στο υποσύστημα εξυπηρέτησης της αρδευτικής σκοπιμότητας και παρέμεινε ανεπηρέαστος από αυτή, εξυπηρετώντας μόνο την ενεργειακή σκοπιμότητα.

Η αρδευτική χρήση του νερού υπάγεται στις καταναλωτικές χρήσεις, ενώ η ενεργειακή στις μη καταναλωτικές. Οι όγκοι νερού που διατίθενται για άρδευση, διέρχονται προηγουμένως μέσω των στροβίλων παραγωγής ενέργειας. Παρόλα αυτά, υπάρχει ανταγωνισμός αρδευτικής και ενεργειακής χρήσης. Έτσι, η αρδευτική χρήση μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της παραγόμενης ενέργειας, λόγω μείωσης του ύψους πτώσης κατά την αρδευτική περίοδο. Παράλληλα, οι έντονα μεταβαλλόμενες κατά τη διάρκεια του έτους αρδευτικές απολήψεις υποβαθμίζουν σοβαρά την αξία της παραγόμενης ενέργειας. (Στο συγκεκριμένο σύστημα, η υποβάθμιση μπορεί να αρθεί εν μέρει με χρησιμοποίηση αντιστρεπτών στροβίλων.)

Η παραγόμενη ενέργεια διακρίνεται σε πρωτεύουσα και δευτερεύουσα. Η πρωτεύουσα ενέργεια είναι η ποσότητα που μπορεί να παράγεται χωρίς καμιά διακοπή, ή με πολύ μικρή διακοπή*, στο σύνολο της περιόδου λειτουργίας του συστήματος (Mays and Tung, 1992, σ. 283). Στην παρούσα μελέτη, πρωτεύουσα ενέργεια θεωρείται αυτή που είναι διαθέσιμη στο 99% του χρόνου. Η ενέργεια που παράγεται επιπλέον της πρωτεύουσας ενέργειας (π.χ. κατά τις περιόδους πολύ μεγάλων εισροών, οι οποίες υπερβαίνουν τη ρυθμιστική ικανότητα του ταμιευτήρα) είναι δευτερεύουσα ενέργεια. Η πρωτεύουσα ενέργεια έχει μεγαλύτερη αξία από τη δευτερεύουσα, δεδομένου ότι (α) είναι προβλέψιμη (με υψηλή αξιοπιστία πρόβλεψης), (β) είναι συνεχώς διαθέσιμη, και (γ) μπορεί να είναι ενέργεια αιχμής. Τα έργα του υπό μελέτη συστήματος (εκτός από το υδροηλεκτρικό έργο Μαυροματίου) μελετώνται ως έργα αιχμής. Έτσι, το σύνολο της πρωτεύουσας ενέργειας θα παράγεται κατά τις ώρες που παρουσιάζεται αιχμή στην κατανάλωση ενέργειας.

Μια τρίτη κατηγορία ενέργειας που συνδέεται με το υπό μελέτη σύστημα είναι η ενέργεια άντλησης, που χρησιμοποιείται κατά τη φάση άντλησης των αντιστρεπτών υδροηλεκτρικών μονάδων. Η ενέργεια αυτή διατίθεται από το σύστημα των θερμοηλεκτρικών σταθμών κατά τις ώρες που η κατανάλωση φτάνει τα κατώτερα όρια της (νυχτερινή ενέργεια). Για το λόγο αυτό, αυτή η ενέργεια είναι χαμηλής αξίας.

4.7 Κανόνες λειτουργίας του συστήματος

Όπως προαναφέρθηκε, το μοντέλο που αναπτύχθηκε θέτει ορισμένους κανόνες λειτουργίας, βάσει των οποίων γίνεται δυναμικά η προσομοίωση του συστήματος. Ορισμένοι από τους κανόνες λειτουργίας είναι παραμετρικοί, δηλαδή περιέχουν παραμέτρους που οι τιμές τους βελτιστοποιούνται από το μοντέλο. Για τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς, τους κόμβους

* Ως διακοπή νοείται αυτή που αναφέρεται στη διαθεσιμότητα αποθεμάτων και όχι αυτή που σχετίζεται με λειτουργικές ανάγκες και συνθήκες του συστήματος παραγωγής ενέργειας. Κατά συνέπεια η διακοπή αναφέρεται σε κλίμακα μεγαλύτερη της ημερήσιας, π.χ. μηνιαία, και όχι σε ωριαία ή μικρότερη.

άρδευσης και τους κλάδους διασύνδεσης ταμιευτήρων, οι κανόνες αυτοί βασίζονται στον καθορισμό στόχων απόληξης νερού ή παραγωγής ενέργειας, οι οποίοι επιδιώκεται να επιτευχθούν σε καθένα χρονικό βήμα. Οι στόχοι αυτοί μπορεί να είναι είτε σταθεροί στη διάρκεια του έτους, είτε περιοδικά μεταβαλλόμενοι. Για τους ταμιευτήρες, οι κανόνες λειτουργίας βασίζονται στην ιεράρχηση προτεραιοτήτων. Αναλυτικά, οι κανόνες λειτουργίας περιγράφονται παρακάτω.

Σε κάθε κόμβο υδροηλεκτρικού σταθμού, τίθεται ένας στόχος παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας (TP), ο οποίος αποτελεί και τη μοναδική παράμετρο του κόμβου. Στην προσομοίωση επιδιώκεται η ικανοποίηση του στόχου αυτού, με την παροχέτευση της κατάλληλης ποσότητας νερού σε κάθε χρονικό βήμα. Ο στόχος παραγωγής ενέργειας είναι σταθερός για όλα τα χρονικά βήματα, αλλά οι απαιτούμενες ποσότητες νερού μεταβάλλονται δυναμικά, ανάλογα με τις στάθμες ανάντη και κατόντη του υδροηλεκτρικού σταθμού. Όταν η διατιθέμενη ποσότητα νερού δεν επαρκεί για την επίτευξη του στόχου, τότε συμπληρώνεται με άντληση από τον κατόντη ταμιευτήρα, εφόσον βέβαια η υπόψη μονάδα είναι αντιστρεπτή. Αυτό επιτρέπει σημαντική αύξηση της πρωτεύουσας ενέργειας σε αντιστρεπτές μονάδες.

Σε κάθε κόμβο απόληξης αρδευτικού νερού επιδιώκεται η ικανοποίηση της αρδευτικής ανάγκης του συγκεκριμένου χρονικού βήματος, με παροχέτευση της αναγκαίας ποσότητας από τον αμέσως ανάντη ταμιευτήρα. Αν το απόθεμα του ταμιευτήρα δεν επαρκεί, τότε επιδιώκεται η συμπλήρωσή του από άλλους ταμιευτήρες, εφόσον υπάρχουν οι απαιτούμενες συνδέσεις με τους άλλους ταμιευτήρες και είναι ενταμιευμένες οι αναγκαίες ποσότητες νερού. Ο λειτουργικός κανόνας αυτός είναι μη παραμετρικός, δεδομένου ότι ο στόχος απόληξης σε κάθε χρονικό βήμα είναι προκαθορισμένος από τις ανάγκες άρδευσης.

Σε κάθε κλάδο διασύνδεσης ταμιευτήρων (αγωγό εκτροπής), ανεξάρτητα από την ύπαρξη ή όχι υδροηλεκτρικού σταθμού στον κλάδο, τίθεται ένας στόχος ως προς τον όγκο νερού που μεταφέρεται σε κάθε χρονικό βήμα (TD) και επιδιώκεται η κάλυψη του στόχου αυτού, με την προϋπόθεση ότι υπάρχει επάρκεια αποθέματος στον ανάντη ταμιευτήρα. Ο στόχος αυτός είναι παραμετρικός (δηλαδή, όχι δεδομένος) και δεν είναι κατ' ανάγκη σταθερός στη διάρκεια του έτους, αλλά μπορεί να μεταβάλλεται περιοδικά από βήμα σε βήμα. Η σκοπιμότητα αυτού του κανόνα λειτουργίας είναι η εξισορρόπηση των αποθεμάτων των διασυνδεδεμένων ταμιευτήρων, δηλαδή η αποφυγή καταστάσεων όπου ένας ταμιευτήρας είναι γεμάτος ενώ ένας άλλος είναι άδειος κτλ.

Τέλος, σε κάθε ταμιευτήρα ο κανόνας λειτουργίας αποσκοπεί στην ικανοποίηση όλων των επιμέρους στόχων, με βάση την ακόλουθη ιεράρχηση προτεραιοτήτων:

1. Ικανοποίηση της παροχής περιβαλλοντικής διατήρησης.
2. Επίτευξη των στόχων μεταφοράς νερού και παραγωγής ενέργειας στον κύριο αγωγό.
3. Επίτευξη των στόχων μεταφοράς νερού και παραγωγής ενέργειας στον αγωγό εκτροπής.

Η επίτευξη των παραπάνω στόχων προϋποθέτει ικανό απόθεμα, μεγαλύτερο ή ίσο του οριακού A^n . Ειδικότερα, εφόσον ο κύριος αγωγός ή ο αγωγός εκτροπής διαθέτει αντιστρεπτή

ενεργειακή μονάδα, τότε ο στόχος παραγωγής ενέργειας μπορεί να είναι εφικτός, ακόμη και αν το απόθεμα δεν επαρκεί, δεδομένου ότι μπορεί να αντληθεί νερό από τον κατάντη ταμιευτήρα το οποίο και θα επαναδιοχετευτεί σε αυτόν για παραγωγή ενέργειας. Πέρα από τις παραπάνω προτεραιότητες, τίθενται και οι ακόλουθες συμπληρωματικές, οι οποίες τίθενται σε ισχύ μόνο όταν το απόθεμα στον ταμιευτήρα φτάσει στην ανώτατη τιμή του K^n και αποσκοπούν στην αποφυγή υπερχειλίσεων και την εκμετάλλευση των επιπλέον εισροών για παραγωγή δευτερεύουσας ενέργειας:

4. Παροχέτευση νερού στον κύριο αγωγό, μέχρι να καλυφθεί ο μέγιστος όγκος που μπορεί να διέλθει απ' αυτόν στο υπόψη χρονικό βήμα.
5. Παροχέτευση νερού στον αγωγό εκτροπής, μέχρι να καλυφθεί ο μέγιστος όγκος που μπορεί να διέλθει απ' αυτόν στο υπόψη χρονικό βήμα, με τις προϋποθέσεις ότι υπάρχει τέτοιος αγωγός και ότι είναι επιτρεπτή η εκτροπή επιπλέον ποσότητας νερού από τον αγωγό (π.χ., στη σήραγγα εκτροπής Αχελώου δεν είναι επιτρεπτή, ενώ στη συνδετήρια σήραγγα Πύλης-Μουζακίου είναι).

Αν και πάλι υπάρχει περίσσειμα εισροών, τότε αυτό υπερχειλίζει.

4.8 Παραμετροποίηση του προβλήματος

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, οι παράμετροι του προβλήματος, οι οποίες και πρέπει να εκτιμηθούν μέσω της βελτιστοποίησης του συστήματος, είναι δύο ειδών:

1. Στόχοι παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς, TE.
2. Στόχοι μεταφοράς νερού σε αγωγούς διασύνδεσης, TD.

Οι λειτουργικοί κανόνες των άλλων συνιστωσών του συστήματος είναι μη παραμετρικοί.

Από τον ορισμό της πρωτεύουσας ενέργειας εύλογα προκύπτει ότι ο στόχος παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας πρέπει να είναι σταθερός στη διάρκεια του χρόνου. Έτσι, για κάθε κόμβο υδροηλεκτρικού σταθμού χρειάζεται μόνο μία παράμετρος τύπου TE, πράγμα που απλοποιεί την παραμετροποίηση του συστήματος. Άλλωστε, προκαταρκτικές διερευνήσεις με πιο σύνθετους κανόνες, οι οποίοι μεταβάλλουν το στόχο, σε κάθε χρονικό βήμα, συναρτήσκει του αποθέματος του ταμιευτήρα, έδειξαν ότι δεν βελτιώνουν τη συνολική επίδοση του συστήματος και τελικά η βελτιστοποίηση οδηγεί σε σταθεροποίηση του στόχου.

Ο στόχος μεταφοράς νερού σε αγωγούς διασύνδεσης (εκτροπής) μπορεί κατ' αρχήν να μεταβάλλεται στο χρόνο, και μάλιστα είναι εύλογο να εξαρτάται από τις μεταβλητές κατάσταση (αποθέματα) των επιμέρους ταμιευτήρων. Για απλοποίηση στην παρούσα μελέτη ο στόχος μεταφοράς νερού θεωρήθηκε ανεξάρτητος των μεταβλητών κατάσταση, αλλά εποχιακά μεταβαλλόμενος. Έτσι, με δεδομένο το μηνιαίο χρονικό βήμα του μοντέλου, ο συγκεκριμένος κανόνας λειτουργίας εισάγει κατ' αρχήν 12 παραμέτρους τύπου TD (μία για κάθε μήνα) για κάθε αγωγό εκτροπής. Αυτός ο αριθμός παραμέτρων είναι πολύ μεγάλος και

δύσκολα μπορεί να αντιμετωπιστεί υπολογιστικά. Γι' αυτό είναι σκόπιμος ο περιορισμός του, μέσω της χρήσης αδιαστατοποιημένων χρονικών κατανομών (όπως θα διευκρινιστεί στο κεφάλαιο 5.8). Ασφαλώς, ο κανόνας αυτός με τις απλοποιήσεις της ανεξαρτησίας από μεταβλητές κατάστασης και της αδιαστατοποιημένης κατανομής δεν είναι ο πλέον αποτελεσματικός, αλλά είναι ο απλούστερος και γι' αυτό έχει υιοθετηθεί στη μελέτη αυτή, η οποία, όπως επανειλημμένα τονίστηκε, δεν έχει το χαρακτήρα διαχειριστικής μελέτης.

4.9 Συνολική προσομοίωση

Η δομή του μοντέλου συνολικής προσομοίωσης που αναπτύχθηκε εμπεριέχει σε λεπτομέρεια όλες τις συνιστώσες ενός υδροσυστήματος σαν αυτό της παρούσας μελέτης και συγκεκριμένα:

- τα χαρακτηριστικά των ταμιευτήρων (εν. 4.3)·
- τα χαρακτηριστικά των στροβίλων (εν. 4.4)· και
- τα χαρακτηριστικά αγωγών μεταφοράς (εν. 4.5).

Επίσης ενσωματώνει τις εξισώσεις και περιορισμούς της λειτουργίας του συστήματος και συγκεκριμένα:

- τη δυναμική του συστήματος (εν. 4.2)·
- τους μη παραμετρικούς κανόνες λειτουργίας του συστήματος (εν. 4.7)· και
- τους παραμετρικούς κανόνες λειτουργίας του συστήματος (εν. 4.7, 4.8).

Οι είσοδοι του μοντέλου είναι οι μηνιαίες χρονοσειρές ύψους απορροής και καθαρής βροχής των υπολεκανών που ορίζονται από τις θέσεις φραγμάτων.

Οι έξοδοι του μοντέλου είναι οι χρονοσειρές των ακόλουθων μεγεθών για καθέναν από τους ταμιευτήρες του συστήματος:

1. όγκοι εισροών στους ταμιευτήρες (φυσική απορροή, καθαρή βροχή, εισροή από άλλους ταμιευτήρες·
2. μεταβλητές κατάστασης του ταμιευτήρα (στάθμη και απόθεμα στο τέλος του χρονικού βήματος)·
3. όγκοι βασικών εκροών από τον ταμιευτήρα και αντλήσεων προς αυτόν (μέσω του κύριου αγωγού, του αγωγού εκτροπής), εκροών για περιβαλλοντική υπερχείλιση και υπερχείλισεων· και
4. ποσότητες ενέργειας που παράγονται και καταναλώνονται για άντληση (μέσω των υδροηλεκτρικών σταθμών τόσο του κύριου αγωγού, όσο και του αγωγού εκτροπής).

4.10 Εξωτερικοί περιορισμοί

Ήδη στην ενότητα 4.2 έχουν δοθεί όλοι οι φυσικοί περιορισμοί του συστήματος, ενώ στην ενότητα 4.7 έχει διευκρινιστεί η λειτουργική εφαρμογή των περιορισμών. Στο μοντέλο που εκπονήθηκε οι εν λόγω περιορισμοί ενσωματώνονται στο μοντέλο προσομοίωσης, το οποίο αναλαμβάνει την τήρησή τους. Για το λόγο αυτό τους ονομάζουμε εσωτερικούς περιορι-

σμούς. Ωστόσο, υπάρχουν και ορισμένου άλλου λειτουργικοί περιορισμοί, η τήρηση των οποίων δεν μπορεί να ενσωματωθεί στην προσομοίωση, αλλά ελέγχεται εκ των υστέρων, αφού ολοκληρωθεί η προσομοίωση. Αυτοί οι περιορισμοί, που τους ονομάζουμε εξωτερικούς, αφορούν στην αξιοπιστία του συστήματος και τυχόν άλλα συνολικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας του συστήματος.

Η αξιοπιστία του συστήματος ως προς την κάλυψη ενός δεδομένου στόχου ορίζεται με διάφορους τρόπους. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιούμε τον ακόλουθο ορισμό

$$\alpha_T = P(R_T = D_T) \quad (18)$$

όπου α_T το επίπεδο αξιοπιστίας, R_T η πραγματική απόληψη (θεωρούμενη ως τυχαία μεταβλητή) στην περίοδο T (ενός χρονικού βήματος ή ενός έτους) και D_T η ζήτηση στην ίδια περίοδο, ενώ με $P(\cdot)$ συμβολίζουμε την πιθανότητα. Πρακτικά, με τον παραπάνω ορισμό η αξιοπιστία είναι ίση με την πιθανότητα κάλυψης της ζήτησης σε χρονική βάση ίση με T . Εμπειρικά η πιθανότητα αυτή υπολογίζεται ως ο λόγος k'/k όπου k' είναι ο αριθμός των περιόδων στις οποίες ικανοποιείται η ζήτηση και k ο συνολικός αριθμός των περιόδων προσομοίωσης. Αντί της αξιοπιστίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η πιθανότητα αστοχίας, που ορίζεται ως

$$\beta_T = 1 - \alpha_T = P(R_T < D_T) \quad (19)$$

και εμπειρικά υπολογίζεται ως ο λόγος k''/k όπου k'' είναι ο αριθμός των περιόδων στις οποίες δεν ικανοποιείται η ζήτηση και k ο συνολικός αριθμός των περιόδων προσομοίωσης.

Ο εξωτερικός περιορισμός που σχετίζεται με την αξιοπιστία διατυπώνεται ως

$$\alpha_T \geq \alpha_T^* \quad \text{ή} \quad \beta_T \leq \beta_T^* \quad (20)$$

όπου α_T^* και β_T^* το αποδεκτό επίπεδο αξιοπιστίας και το αποδεκτό επίπεδο αστοχίας, αντίστοιχα.

Στην παρούσα μελέτη ο παραπάνω περιορισμός αναφέρεται στην κάλυψη των καταναλωτικών αναγκών στους κόμβους απόληξης αρδευτικού νερού (κατάντη Μαυροματίου και κατάντη Πύλης).

Το επίπεδο αξιοπιστίας για την παραγωγή ενέργειας ορίζεται κατά παρόμοιο τρόπο και εκτιμάται από τις χρονοσειρές της παραγόμενης ενέργειας. Ορίζεται επίσης το αποδεκτό επίπεδο αξιοπιστίας (που, όπως προαναφέρθηκε στη μελέτη αυτή θεωρείται 99%). Ωστόσο, στην περίπτωση της παραγωγής ενέργειας η χρήση του επιπέδου αξιοπιστίας είναι διαφορετική: δεν εισάγεται περιορισμός ανάλογος με αυτόν της σχέσης (20), αλλά όπως θα δούμε στην ενότητα 4.11, το επίπεδο αξιοπιστίας χρησιμοποιείται για τη διάκριση πρωτεύουσας και δευτερεύουσας ενέργειας.

Πέρα από τους περιορισμούς που αναφέρονται στο επίπεδο αξιοπιστίας, στο υδροσύστημα που εξετάζουμε υπάρχουν και ορισμένοι άλλοι περιορισμοί που προκύπτουν από δεσμεύσεις

για τις εκτρεπόμενες ποσότητες και τις αρδευτικές απολήψεις, οι οποίοι θα αναπτυχθούν στην ενότητα 5.5.

4.11 Δείκτης επίδοσης

Ο δείκτης επίδοσης (ή αντικειμενική συνάρτηση) είναι το προς μεγιστοποίηση μέγεθος, το οποίο στο συγκεκριμένο σύστημα είναι το μέσο ετήσιο οικονομικό όφελος που αποδίδει το υδροσύστημα. Στο συγκεκριμένο σύστημα διακρίνουμε δύο είδη οικονομικού οφέλους: το ενεργειακό P_E και το γεωργικό P_A .

Λόγω των διαφορετικών αξιών της πρωτεύουσας και της δευτερεύουσας ενέργειας καθώς και της ενέργειας άντλησης (βλ. εν. 4.6) το συνολικό μέσο ετήσιο όφελος από την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι

$$P_E = c_{\Pi} \sum_j E_{\Pi}^j + c_{\Delta} \sum_j E_{\Delta}^j + c_P \sum_k E_P^k + c_{\Pi} \Delta E_{\Pi} + c_{\Delta} \Delta E_{\Delta} \quad (21)$$

όπου c_{Π} , c_{Δ} και c_P η μοναδιαία αξία της πρωτεύουσας ενέργειας, της δευτερεύουσας ενέργειας και της ενέργειας άντλησης, αντίστοιχα, E_{Π}^j και E_{Δ}^j η μέση ετήσια πρωτεύουσα και δευτερεύουσα ενέργεια στον υδροηλεκτρικό σταθμό j του συστήματος, αντίστοιχα, E_P^k η μέση ετήσια ενέργεια άντλησης στον (αντιστρεπτό) υδροηλεκτρικό σταθμό k , και ΔE_{Π} και ΔE_{Δ} η μέση ετήσια επίπτωση στην παραγωγή πρωτεύουσας και δευτερεύουσας ενέργειας σε κατάντη σταθμούς που δεν ανήκουν στο υπό μελέτη σύστημα, των οποίων η παραγωγή επηρεάζεται από τη λειτουργία του συστήματος. Για τους τελευταίους σταθμούς ως επιπτώσεις στην παραγωγή ενέργειας θεωρούνται οι διαφορές στην παραγωγή ενέργειας από τη λειτουργία αυτών των σταθμών με και χωρίς την ύπαρξη του υπό μελέτη συστήματος. Οι ποσότητες ενέργειας αυτές λαμβάνονται με αρνητικό πρόσημο, εφόσον η επίπτωση είναι μείωση της παραγωγής ενέργειας. Στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς με δείκτη k συμπεριλαμβάνονται μόνο όσοι σταθμοί του υπό μελέτη συστήματος είναι εφοδιασμένοι με μονάδες αντιστρεπτής λειτουργίας. Ας σημειωθεί ότι η άντληση σε ένα σταθμό έχει τοπικό χαρακτήρα και δεν επηρεάζει κανένα άλλο σταθμό, είτε του υπό μελέτη συστήματος, είτε κατάντη συστημάτων. Η ποσότητα ενέργειας άντλησης E_P^k λαμβάνεται πάντα με αρνητικό πρόσημο, αφού αντιστοιχεί σε κατανάλωση και όχι για παραγωγή ενέργειας.

Η μέση ετήσια ποσότητα συνολικής ενέργειας E^j για τον σταθμό j του συστήματος υπολογίζεται άμεσα από την αντίστοιχη χρονοσειρά. Η πρωτεύουσα ενέργεια E_{Π}^j προκύπτει επίσης από την αντίστοιχη χρονοσειρά και, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην ενότητα 4.6, είναι αυτή που είναι διαθέσιμη στο 99% του χρόνου. Τέλος, η δευτερεύουσα ενέργεια προκύπτει ως η διαφορά συνολικής και πρωτεύουσας, ήτοι $E_{\Delta}^j = E^j - E_{\Pi}^j$.

Για την εκτίμηση των μεγεθών ΔE_{Π} και ΔE_{Δ} χρειάζεται να υπάρχουν παρόμοιες μελέτες από τη λειτουργία των αντίστοιχων συστημάτων έργων.

Το μέσο ετήσιο γεωργικό όφελος είναι

$$P_A = c_A \sum_l V_A^l \quad (22)$$

όπου c_A το (μέσο στην περιοχή μελέτης) μοναδιαίο καθαρό όφελος από την παροχή αρδευτικού νερού και V_A^l ο μέσος ετήσιος όγκος αρδευτικού νερού που παρέχεται στον αρδευτικό κόμβο l .

Κατά συνέπεια, ο ολικός (ή μικτός) δείκτης επίδοσης του υδροσυστήματος είναι

$$P = P_E + P_A \quad (23)$$

και αποτελεί το προς μεγιστοποίηση μέγεθος.

4.12 Μέθοδος βελτιστοποίησης

Το προς μεγιστοποίηση μέγεθος P είναι συνάρτηση των λειτουργικών παραμέτρων του συστήματος, οι οποίες έχουν περιγραφεί στην ενότητα 4.8. Η εκτίμηση των βέλτιστων τιμών των παραμέτρων γίνεται από το μοντέλο με μεθοδολογία μη γραμμικού προγραμματισμού (με τεχνικές αναζήτησης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των συζυγών κατευθύνσεων, βλ. π.χ. Pierre, 1986). Οι περιορισμοί εισάγονται στη βελτιστοποίηση ως πρόσθετοι όροι της αντικειμενικής συνάρτησης (23) υπό μορφή συναρτήσεων κύρωσης της μορφής

$$\phi^l(\beta_T^l) = \kappa^l \exp[(\beta_T^l - \beta_T^{*l}) / \lambda^l] \quad (24)$$

όπου $\phi^l(\beta_T^l)$ ο όρος κύρωσης που αντιστοιχεί στον κόμβο απόληξης l , β_T^l η αντίστοιχη πιθανότητα αστοχίας, β_T^{*l} το αποδεκτό όριο της πιθανότητας αστοχίας, και κ^l και λ^l συντελεστές κλίμακας που επιλέγονται κατά περίπτωση εμπειρικά (μετά από δοκιμές). Οι συντελεστές κ^l παίρνουν αρνητικές τιμές, ενώ οι λ^l θετικές.

4.13 Πρόγραμμα υπολογιστή

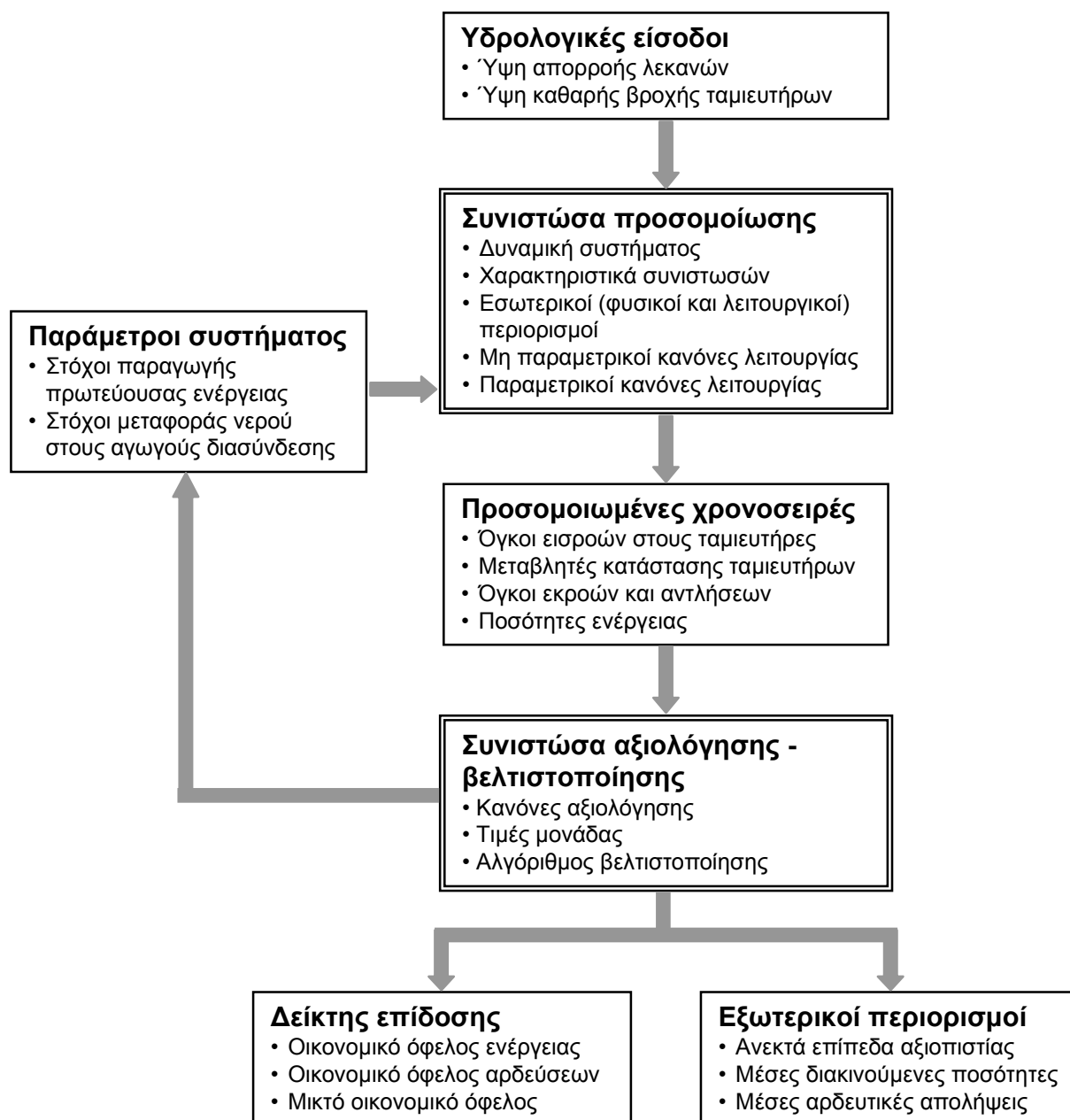
Το συνολικό μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης δομείται από δύο επί μέρους συνιστώσες:

1. τη συνιστώσα προσομοίωσης, και
2. τη συνιστώσα αξιολόγησης - βελτιστοποίησης.

Οι επί μέρους αυτές συνιστώσες έχουν κωδικοποιηθεί σε δύο ανεξάρτητα συνεργαζόμενα προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστή, τα οποία αναπτύχθηκαν εξ αρχής από τον συγγραφέα για τις ανάγκες αυτής της μελέτης. Το πρώτο, το οποίο περιέχει και το μεγαλύτερο μέρος του συνολικού κώδικα, αναπτύχθηκε σε γλώσσα Object Pascal. Το δεύτερο αναπτύχθηκε σε γλώσσα Visual Basic και ενσωματώθηκε στο λογιστικό πακέτο EXCEL. Αυτό το λογιστικό πακέτο χρησιμοποιείται ακόμη και ως διασυνδεδετικό χρήστη. Μέσω αυτού εισάγονται οι χρονοσειρές εισόδου και οι παράμετροι του μοντέλου, και σε αυτό εξάγονται οι χρονοσειρές εξόδου και γενικά τα αποτελέσματα του μοντέλου. Η τεχνική αυτή επιτρέπει την άμεση

οπτικοποίηση των δεδομένων μέσω πινάκων και διαγραμμάτων που εύκολα κατασκευάζονται με το πρόγραμμα EXCEL, καθώς και την τυχόν περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων (ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη) μέσω των ενσωματωμένων λειτουργιών του EXCEL. Παράλληλα, η χρήση της γλώσσας Object Pascal για την πρώτη συνιστώσα, η οποία είναι υπεύθυνη για τους χρονοβόρους υπολογισμούς της προσομοίωσης, επιταχύνει πολύ (μέχρι και δύο τάξεις μεγέθους) τους υπολογισμούς.

Η διάρθρωση του συνολικού μοντέλου, οι διασυνδέσεις των συνιστωσών του και τα κύρια βήματα της πορείας επίλυσης που ακολουθεί, φαίνονται στο Σχ. 4.



Σχ. 4 Διάρθρωση του συνολικού μοντέλου, διασυνδέσεις των συνιστωσών του και κύρια βήματα της πορείας επίλυσης.

5. Εφαρμογή του μοντέλου

5.1 Χαρακτηριστικά των συνιστωσών του συστήματος

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες των ταμιευτήρων του συστήματος έχουν ληφθεί από παλιότερες μελέτες, όπως είχαν ταξινομηθεί στη μελέτη των ΕΥΔΕ Αχελώου και Υδροεξυγιαντικής (1995). Για λόγους πληρότητας της μελέτης, οι καμπύλες αυτές δημοσιεύονται και στο ένθετο 2 της παρούσας μελέτης.

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες των αγωγών και των υδροηλεκτρικών σταθμών (βλ. εν. 4.4 και 4.5) έχουν προκύψει από υδραυλικούς υπολογισμούς, οι οποίοι παρουσιάζονται, μαζί με τη σχετική μεθοδολογία και τις παραδοχές, στο ένθετο 1. Στους υπολογισμούς αυτούς έχουν ληφθεί υπόψη οι χαρακτηριστικές καμπύλες των στροβίλων.

5.2 Αρδευτικές ανάγκες

Αρδευτικοί κόμβοι υπάρχουν μόνο στην περιοχή της Θεσσαλίας και συγκεκριμένα κατάντη του Μαυροματίου και κατάντη του φράγματος Πύλης. Ο πρώτος θα αποτελέσει το βασικό κόμβο τροφοδοσίας της Θεσσαλίας με αρδευτικό νερό. Λόγω του μεγάλου ελλείμματος της Θεσσαλίας σε αρδευτικό νερό (βλ. μελέτη ΕΥΔΕ Αχελώου και ENVECO, 1995) και της αδυναμίας κάλυψης αυτού του ελλείμματος μόνο από το υπό μελέτη υδροσύστημα (με εκτροπή από τον Αχελώο 600 hm^3 ετησίως), στον κόμβο Μαυροματίου δεν θεωρούμε τις αρδευτικές απολήψεις δεδομένες, αλλά μέγεθος προς προσδιορισμό μέσω της διαδικασίας βελτιστοποίησης (βλ. και εν. 5.5). Υπενθυμίζεται ότι στις εκροές από τον κόμβο Μαυροματίου συμπεριλαμβάνεται και όγκος νερού για περιβαλλοντική διατήρηση κατά μήκος του Πηνειού.

Για τον κόμβο Πύλης, οι απαιτούμενες ποσότητες νερού είναι και δεδομένες και πολύ μικρότερες, αφού αφορούν στην κάλυψη τοπικών αρδευτικών αναγκών. Δεδομένου ότι δεν έχει γίνει λεπτομερής μελέτη για την εκτίμηση αυτών των αναγκών, η απαιτούμενη ετήσια ποσότητα νερού εκτιμήθηκε προσεγγιστικά σε 4 hm^3 . Η ποσότητα αυτή αφορά σε άμεσες απολήψεις επιφανειακού νερού από τον ταμιευτήρα Πύλης. Είναι αυτονόητο ότι η εξασφάλιση της ποσότητας αυτής αφορά μόνο στα σενάρια έργων D και E, στα οποία προβλέπεται η κατασκευή του φράγματος Πύλης, και όχι στα σενάρια 0, 1 και A.

Είναι γνωστό ότι κατάντη του φράγματος Πύλης υπάρχει μια έκταση η οποία αρδεύεται και θα συνεχίσει να αρδεύεται από τον υπόγειο υδροφορέα της περιοχής. Για τον εμπλουτισμό του υδροφορέα αυτού, ο οποίος αναμένεται να επηρεαστεί από την κατασκευή του φράγματος, έχει προβλεφθεί η εκροή από τον ταμιευτήρα μιας συνεχούς παροχής, σε όλη τη διάρκεια του έτους, ίσης με $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ που αντιστοιχεί σε 11 hm^3 ετησίως (επί πλέον της άμεσης απόληψης των 4 hm^3).

Η μηνιαία κατανομή των αρδευτικών απολήψεων στις θέσεις Μαυρομάτι και Πύλη έχει ληφθεί από τη μελέτη των ΕΥΔΕ Αχελώου και Υδροεξυγιαντικής (1995) και φαίνεται στον Πίν. 5.

Πίν. 5 Ποσοστιαία κατανομή αρδευτικών απολήψεων ανά μήνα

Μήνας	Ποσοστό ζήτησης, %
Απρίλιος	5.0
Μάιος	11.0
Ιούνιος	23.6
Ιούλιος	30.2
Αύγουστος	26.4
Σεπτέμβριος	3.8
Σύνολο	100.0

Το αποδεκτό επίπεδο αστοχίας, οριζόμενο για περίοδο αναφοράς ίση με το χρονικό βήμα υπολογισμών, δηλαδή το μήνα, θεωρήθηκε $\beta_M^* = 3.33\%$. Υποθέτοντας προσεγγιστικά ότι όταν συμβαίνει αστοχία κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους, αυτή επεκτείνεται σε 2 μήνες κατά μέσο όρο, το αντίστοιχο ετήσιο επίπεδο αστοχίας θα είναι περίπου $\beta_E^* = (\beta_M^* k/2) / (k/12) = (12/2) \beta_M^* = 20\%$. Αυτό σημαίνει ότι είναι αποδεκτή η αστοχία ως προς την κάλυψη της ζήτησης σε μία από πέντε αρδευτικές περιόδους. Το επίπεδο αξιοπιστίας 80% σε ετήσια βάση θεωρείται ικανοποιητικό για αρδευτικά έργα. Διευκρινίζουμε ότι η αστοχία δεν σημαίνει πλήρη αδυναμία απολήψεων, αλλά μειωμένη απόληψη σε σχέση με την επιθυμητή.

5.3 Περιβαλλοντικές δεσμεύσεις

Οι περιβαλλοντικές δεσμεύσεις που ενδιαφέρουν την παρούσα μελέτη είναι αυτές που αφορούν στις παροχές περιβαλλοντικής διατήρησης.

Στη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ΕΥΔΕ Αχελώου και ENVECO (1995) έχει καθοριστεί ότι η ελάχιστη συνεχής παροχή στο τμήμα Αχελώου μεταξύ φράγματος Μεσοχώρας και ταμιευτήρα Συκιάς θα είναι $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, μετρούμενη κατάντη του φράγματος Μεσοχώρας. Στην ίδια μελέτη προβλέπεται ότι στο τμήμα του Αχελώου από το φράγμα Συκιάς μέχρι τον ταμιευτήρα Κρεμαστών ορίζεται ως ελάχιστη συνεχής παροχή η ποσότητα των $5.0 \text{ m}^3/\text{s}$ καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, μετρούμενη κατάντη του φράγματος Συκιάς.

Εξ άλλου στην Υπουργική Απόφαση ΥΠΕΧΩΔΕ 61414/21-4-1992*, η ελάχιστη συνεχής παροχή περιβαλλοντικής διατήρησης κατάντη τόσο του φράγματος Πύλης, όσο και του

* Θέμα: Έγκριση περιβαλλοντικών όρων για την κατασκευή και λειτουργία της σήραγγας εκτροπής του Αχελώου στη Θεσσαλία, την κατασκευή και λειτουργία των φραγμάτων με τους αντίστοιχους ταμιευτήρες και σταθμούς παραγωγής ενέργειας στις θέσεις Πύλης και Μουζακίου, και της μεταξύ τους συνδετήριας σήραγγας και των άλλων συναφών έργων στους νομούς Τρικάλων και Καρδίτσας.

φράγματος Μουζακίου ορίζεται ίση με το 1/3 της μέσης παροχής των ποταμών στα σημεία αυτά. Σύμφωνα με την υδρολογική διερεύνηση που εκπονήθηκε στα πλαίσια της παρούσας σύμβασης παροχής υπηρεσιών συμβούλου, οι μέσες θερινές παροχές) στη θέσεις φραγμάτων Πύλης και Μουζακίου (υπολογισμένες από τα δεδομένα της 9ετούς περιόδου 1985-86 έως 1993-94, για την οποία υπάρχουν μετρήσεις, και για τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο) είναι 0.38 και 0.28 m³/s, αντίστοιχα. Το 1/3 αυτών των μεγεθών είναι 0.13 και 0.09 m³/s για την Πύλη και το Μουζάκι, αντίστοιχα. Στρογγυλεύοντας προς τα πάνω αυτές τις τιμές, θεωρήσαμε ελάχιστη παροχή περιβαλλοντικής διατήρησης ίση με 0.15 m³/s και για τις δύο θέσεις. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 5.2, στην παρούσα μελέτη θεωρήθηκε μια επιπρόσθετη συνεχής παροχή κατάντη του φράγματος Πύλης, για την τροφοδότηση του κατάντη υδροφορέα, ίση με 0.35 m³/s, και έτσι η συνολική συνεχής παροχή κατάντη του φράγματος Πύλης προκύπτει ίση με 0.5 m³/s.

Όλες οι παραπάνω συνεχείς παροχές θεωρούνται διαθέσιμες στον πόδα του κάθε φράγματος και έτσι δεν υπολογίζονται στις ποσότητες νερού που διέρχονται από τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Βεβαίως οι παροχές των 1.5 m³/s στη Μεσοχώρα και 5.0 m³/s στη Συκιά είναι σημαντικές και μπορούν να τύχουν υδροηλεκτρικής αξιοποίησης με κατάλληλα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, τα οποία πάντως (όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 2) δεν περιλαμβάνονται στο αντικείμενο της παρούσας μελέτης.

Σημειώνεται ακόμη ότι η μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ΕΥΔΕ Αχελώου και ENVECO (1995) έχει γίνει πρόβλεψη ελάχιστης συνεχούς παροχής και στην εκβολή του Πηνειού (10 m³/s μετρούμενη στη θέση της κοιλάδας των Τεμπών). Ωστόσο, η δέσμευση αυτή πρακτικώς δεν επηρεάζει τη λειτουργία του υπό μελέτη υδροσυστήματος (αλλά επηρεάζει μόνο την κατάντη περιοχή), δεδομένου ότι (α) η απαιτούμενη παροχή δεν προέρχεται αποκλειστικά από την εκροή στο Μαυρομάτι, αλλά και από το σύνολο της λεκάνης του Πηνειού ποταμού, και (β) η ποσότητα που προέρχεται από την εκτροπή του Αχελώου δεν είναι απαραίτητο να διατίθεται με ομοιόμορφο ρυθμό (πράγμα που θα επηρέαζε δυσμενώς τη λειτουργία των υδροηλεκτρικών έργων) αλλά μπορεί να είναι διακοπτόμενη, δεδομένου ότι η παροχή αυτή ρυθμίζεται στην αναρρυθμιστική δεξαμενή Μαυροματίου, στα μικρά φράγματα κατά μήκος του Πηνειού, αλλά και στην κοίτη του Πηνειού καθεαυτήν, σε τρόπο ώστε να φτάνει στην εκβολή του Πηνειού ως συνεχής ομοιόμορφη παροχή.

5.4 Ενεργειακές παραδοχές

Όπως προαναφέρθηκε, όλα τα υδροηλεκτρικά έργα του συστήματος, εκτός από το Μαυρομάτι, μελετώνται ως έργα αιχμής. Ειδικά στο Μαυρομάτι, η ημερήσια χρονική κατανομή της εκροής καθορίζεται από αρδευτικές και περιβαλλοντικές ανάγκες και μόνο, και κατά συνέπεια ο υδροηλεκτρικός σταθμός δεν μπορεί να λειτουργεί μόνο κατά τις ώρες αιχμής. Στην παρούσα μελέτη θεωρήθηκε ότι όλη η ενέργεια που παράγεται από το σταθμό Μαυροματίου είναι δευτερεύουσα. Η παραδοχή αυτή αιτιολογείται από τον παραπάνω τρόπο λειτουργίας,

καθώς και από το γεγονός ότι το έργο θα λειτουργεί κανονικά μόνο κατά την αρδευτική περίοδο και έκτακτα κατά τη χειμερινή περίοδο (σε περιπτώσεις που είναι γεμάτος ο ταμιευτήρας Μουζακίου και πραγματοποιούνται εκροές για αποφυγή υπερχειλίσεων). Ωστόσο, είναι δυσμενής παραδοχή, δεδομένου ότι κάποιο τμήμα της ενέργειας θα παράγεται κατά τις ώρες αιχμής.

Στο σχήμα έργων 1, όπου ο σταθμός Πευκοφύτου είναι συμβατικός (μη αντιστρεπτός) και η στάθμη στο Μουζάκι είναι σταθερά στο +250 m, η κατάσταση με το σταθμό Πευκόφυτο είναι σχετικά παρόμοια, όπως με το σταθμό Μαυροματίου. Έτσι η ενέργεια θα παράγεται μόνο κατά την αρδευτική περίοδο. Ωστόσο, σε αντίθεση με το σταθμό Μαυροματίου, η ημερήσια κατανομή της εκροής μπορεί να καθορίζεται με ενεργειακά κριτήρια. Για το σχήμα έργων αυτό έχουν γίνει δύο εναλλακτικές παραδοχές και έχουν εξαχθεί διαφορετικά αποτελέσματα για καθεμιά απ' αυτές. Σύμφωνα με την πρώτη παραδοχή, η ενέργεια θεωρείται συνολικά ως δευτερεύουσα, αφού, σύμφωνα με τον ορισμό της πρωτεύουσας ενέργειας, η τελευταία θα πρέπει να διατίθεται (σχεδόν) χωρίς διακοπή, ενώ στη συγκεκριμένη περίπτωση διατίθεται μόνο κατά την αρδευτική περίοδο (και μάλιστα σε διαφορετικές ποσότητες ανά μήνα). Σύμφωνα με τη δεύτερη παραδοχή, θεωρείται μεταβλητή πρωτεύουσα ενέργεια ανά μήνα. Η συνεχής χρονοσειρά της παραγόμενης ενέργειας χωρίζεται σε 12 μηνιαίες χρονοσειρές και για κάθε μήνα θεωρείται ως πρωτεύουσα ενέργεια η ελάχιστη μηνιαία τιμή υπό την προϋπόθεση ότι αυτή είναι δυνατό να παραχθεί κατά τις ώρες αιχμής. Διαφορετικά ως πρωτεύουσα ενέργεια θεωρείται αυτή που μπορεί να παραχθεί κατά τις ώρες αιχμής. Η διαφορά της ολικής μέσης μηνιαίας ενέργειας από την πρωτεύουσα ενέργεια θεωρείται δευτερεύουσα ενέργεια.

Γενικά η περίοδος αιχμής θεωρείται ότι διαρκεί το πολύ 6 ώρες ημερησίως. Εξ άλλου η περίοδος άντλησης (για τα σχήματα έργων A, D και E) θεωρείται ότι δεν είναι δυνατό να υπερβαίνει τις 8 ώρες ημερησίως (ώστε να καλύπτεται με νυχτερική ενέργεια).

Σημειώνεται ότι, θεωρητικά, σε ορισμένες περιπτώσεις, η αντλητική λειτουργία μιας μονάδας επί 8 ώρες είναι δυνατό να υπερκαλύψει την ποσότητα νερού που απαιτείται για την παραγωγή ενέργειας αιχμής (για 6ωρη περίοδο αιχμής) και να χρησιμοποιηθεί ακόμη και για την παραγωγή δευτερεύουσας ενέργειας. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές κατά τους μήνες της αρδευτικής περιόδου μέσης αρδευτικής κατανάλωσης, οπότε η παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας καλύπτεται κυρίως από την εκτρεπόμενη ποσότητα νερού και δευτερευόντως από άντληση. Το σχήμα λειτουργίας αυτό, στο οποίο επιτρέπεται και η παραγωγή δευτερεύουσας ενέργειας μέσω αντλούμενου νερού είναι κατ' αρχήν οικονομικά πλεονεκτικότερο, δεδομένου ότι η αξία της δευτερεύουσας ενέργειας είναι μεγαλύτερη απ' αυτήν της ενέργειας άντλησης. Ωστόσο, στην παρούσα μελέτη έγινε η παραδοχή ότι οι αντλούμενες ποσότητες νερού χρησιμοποιούνται μόνο για την παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας, οπότε η άντληση σταματά όταν έχει εξασφαλιστεί η ποσότητα νερού που εξασφαλίζει την επίτευξη του στόχου που έχει τεθεί για την παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας, ακόμη και αν δεν έχει συμπληρωθεί

η αποδεκτή 8ωρη περίοδος ημερήσιας άντλησης. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν και περαιτέρω περιθώρια εκμετάλλευσης του συστήματος, πέρα από αυτά που δίνονται στα αποτελέσματα αυτής της μελέτης.

5.5 Άλλες δεσμεύσεις

Εκτός των παραπάνω δεσμεύσεων, τέθηκε και μια άλλη δέσμευση που αφορά στην ποσότητα που εκτρέπεται από τον Αχελώο προς τη Θεσσαλία. Σύμφωνα με τη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ΕΥΔΕ Αχελώου και ENVECO (1995) η ποσότητα αυτή είναι 600 hm^3 ετησίως. Στο μοντέλο της παρούσας μελέτης η ποσότητα αυτή τέθηκε ως ανώτατο όριο της μέσης ετήσιας εκτρεπόμενης ποσότητας νερού, επιτρέποντας στην πραγματική μέση ετήσια ποσότητα εκτροπής να πάρει και μικρότερες τιμές από αυτό το ανώτατο όριο, εφόσον αυτό οδηγεί σε αύξηση του οικονομικού οφέλους. Όπως βέβαια θα φανεί παρακάτω η βελτιστοποίηση οδηγεί πάντα στην εξάντληση του ορίου, δηλαδή στην απόληψη 600 hm^3 ετησίως. Ταυτόχρονα, η τιμή των 600 hm^3 ετησίως τέθηκε και ως κατώτατο όριο στην μέση ετήσια αρδευτική απόληψη στον κόμβο Μαυροματίου. Σε περίπτωση που οι δύο αυτές δεσμεύσεις δεν είναι συμβιβάσιμες (και πράγματι δεν είναι στα σχήματα έργων 0 και Α) υπερισχύει η πρώτη δέσμευση.

5.6 Επίπτωση στα έργα Κάτω Αχελώου

Η εκτίμηση της επίπτωσης της εκτροπής στα έργα Κάτω Αχελώου έχει βασιστεί στη μελέτη των Γεωργακάκου κ.ά. (1995). Σύμφωνα με αυτή, η εκτροπή 600 hm^3 ετησίως θα έχει συνέπεια την αθροιστική μείωση της παραγωγής στα έργα Κρεμαστών, Καστρακίου και Στράτου κατά περίπου 300 GWh ετησίως. Έτσι, η αθροιστική επίπτωση θεωρήθηκε ίση με 0.5 GWh/hm^3 εκτρεπόμενου όγκου. Με βάση δεδομένα της ΔΕΗ/ΔΑΥΕ (1987) έγινε η παραδοχή ότι το 70% αυτής της ποσότητας (0.35 GWh/hm^3) είναι μείωση στην παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας και το υπόλοιπο 30% (0.15 GWh/hm^3) είναι μείωση στην παραγωγή δευτερεύουσας ενέργειας. Επιπτώσεις στα έργα στο Αυλάκι, αν αυτά κατασκευαστούν, δεν έχουν ληφθεί υπόψη.

5.7 Τιμές μονάδας

Στη μελέτη των Coopers and Lybrand (1993) οι τιμές πρωτεύουσας και δευτερεύουσας ενέργειας είχαν καθοριστεί σε 8.0 και 4.3 δρχ/kWh , αντίστοιχα. Επικαιροποιώντας αυτές τις τιμές και θεωρώντας μέση αύξηση 10% ετησίως, καταλήξαμε στις τιμές 10.6 και 5.7 δρχ/kWh για την πρωτεύουσα και δευτερεύουσα ενέργεια, αντίστοιχα. Για την τιμή της νυχτερινής ενέργειας, η οποία χρησιμοποιείται για άντληση, χρησιμοποιώντας πρόσφατα δεδομένα της ενεργειακής αγοράς στην Ευρώπη (για νυχτερινή ενέργεια που παρέχεται από χώρες της Ανατολικής Ευρώπης) υιοθετήσαμε την τιμή 1 cent/kWh ή 2.4 δρχ/kWh .

Σε σχέση με την αρδευτική χρήση, θεωρήθηκε ότι η καθαρή ωφέλεια από την παροχή αρδευτικού νερού θα είναι της τάξης των 10 000 δρχ/στρέμμα. Επίσης, με βάση στοιχεία της μελέτης ΕΥΔΕ Αχελώου και ENVECO (1995), έγινε αποδεκτό ότι η διατιθέμενη ανά στρέμμα ποσότητα αρδευτικού νερού στις περιοχές που θα εξυπηρετούνται από τα νερά της εκτροπής και τα τοπικά νερά (Πύλης και Μουζακίου) θα είναι της τάξης των 500 m³/έτος και πάντως όχι μεγαλύτερη των 550 m³/έτος. Με αυτά τα δεδομένα προκύπτει ότι το μοναδιαίο όφελος από την παροχή αρδευτικού νερού θα είναι 18 δρχ/m³. Η τιμή αυτή είναι μάλλον συρρικνωμένη, δεδομένου ότι αναφέρεται μόνο στις γεωργικές ωφέλειες και δεν περιλαμβάνει ανηγμένες οικονομικές ωφέλειες από αποκατάσταση περιβαλλοντικών παραμέτρων της ευρύτερης περιοχής (π.χ. υδροφορείς). Τέλος, σε σχέση με το τμήμα της εκτρεπόμενης ποσότητας που θα διατεθεί για περιβαλλοντική αποκατάσταση του Πηνειού (παροχή περιβαλλοντικής διατήρησης) και ανέρχεται σε περίπου 100 hm³ ετησίως, έγινε η παραδοχή ότι δεν θα προκύψουν μικρότερες οικονομικές ωφέλειες και, έτσι, η τιμή των 18 δρχ/m³ θεωρήθηκε ενιαία για το σύνολο της ρυθμισμένης παροχής στο Μαυρομάτι.

Τονίζουμε ότι οι παραπάνω τιμές μονάδας δεν μπορεί να θεωρηθούν τελικές αλλά είναι πρώτες προσεγγίσεις κατάλληλες για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης. Οι τελικές τιμές θα προκύψουν από περαιτέρω οικονομικές αναλύσεις και συγκεκριμένα από τη μελέτη κόστους-οφέλους η οποία θα εκπονηθεί για το σύνολο των έργων. Η χρησιμοποίηση των παραπάνω προσωρινών τιμών στην παρούσα μελέτη είναι επιβεβλημένη προκειμένου να καταστεί δυνατή η μόρφωση του συνολικού δείκτη επίδοσης του υδροσυστήματος και στη συνέχεια να προσδιοριστούν, μέσω βελτιστοποίησης, οι παράμετροι λειτουργίας του. Βεβαίως, έγινε προσπάθεια να είναι οι τιμές αυτές ρεαλιστικές σε τρόπο ώστε τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του υδροσυστήματος, για τα διάφορα σχήματα έργων, να δίνουν μια τάξη μεγέθους των οικονομικών δεικτών που συνδέονται με αυτό. Εξ άλλου, εξ αιτίας των αβεβαιοτήτων στην προσέγγιση των παραπάνω τιμών μονάδας, έγινε και ανάλυση ευαισθησίας του συστήματος (βλ. εν. 5.8), η οποία έδειξε ότι το σύστημα δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στη μεταβολή των μοναδιαίων τιμών.

5.8 Προκαταρκτικές διερευνήσεις

Πριν τις τελικές εφαρμογές του μοντέλου, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκαν ορισμένες προκαταρκτικές διερευνητικές εφαρμογές προκειμένου να ανιχνευτεί η γενική συμπεριφορά του υδροσυστήματος.

Πρώτος στόχος των προκαταρκτικών διερευνήσεων ήταν ο καθορισμός ποσοστιαίων κατανομών ως προς τον όγκο νερού που μεταφέρεται στη σήραγγα εκτροπής Αχελώου και τη συνδετήρια σήραγγα Πύλης-Μουζακίου, με στόχο τον περιορισμό των παραμέτρων του συστήματος, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην ενότητα 4.8. Έτσι βρέθηκε ότι η κατά κανόνα βέλτιστη λύση προκύπτει όταν ο μηνιαίος στόχος μεταφοράς νερού στη σήραγγα εκτροπής είναι περίπου ανάλογος με την αρδευτική απαίτηση στο Μαυρομάτι (βλ. Πίν. 5) και

στη συνδετήρια σήραγγα Πύλης-Μουζακίου είναι περίπου σταθερός σε όλους τους μήνες. Με αυτό τον τρόπο η αντίστοιχη ομάδα των 24 μηνιαίων παραμέτρων μεταπίπτει σε ομάδα δύο ετήσιων παραμέτρων. Σε αυτές προστίθενται τέσσερις παράμετροι που αφορούν τους στόχους παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας στους τέσσερις κύριους υδροηλεκτρικούς σταθμούς (Μεσοχώρα, Συκιά, Πευκόφυτο, Μουζάκι). Συνολικά ο αριθμός των παραμέτρων προς βελτιστοποίηση ανέρχεται σε έξι. Ωστόσο, στα σχήματα έργων 0 και Α, στα οποία πρακτικώς τα τοπικά νερά (Πύλης και Μουζακίου) μένουν ανεκμετάλλευτα, φάνηκε ότι η εισαγωγή μικρών αποκλίσεων από την προκαθορισμένη αδιαστατοποιημένη κατανομή μεταφοράς νερού στον αγωγό εκτροπής Αχελώου, οδηγεί σε κάποια βελτίωση του δείκτη επίδοσης. Έτσι, για τα σχήματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν έξι επί πλέον παράμετροι, που αντιστοιχούν στις μηνιαίες αποκλίσεις του στόχου μεταφοράς νερού στον αγωγό εκτροπής Αχελώου από την προκαθορισμένη αδιαστατοποιημένη κατανομή κατά τους έξι μήνες της αρδευτικής περιόδου.

Από τις προκαταρκτικές διερευνήσεις προέκυψε επίσης μια άλλη σημαντική διαπίστωση, ότι υπάρχουν αρκετά τοπικά ακρότατα της αντικειμενικής συνάρτησης που αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές του συνόλου παραμέτρων. Για το λόγο αυτό απαιτείται συστηματική έρευνα προκειμένου να προσεγγιστεί το ολικό ακρότατο. Έτσι, για κάθε σχήμα έργων χρειάζεται να γίνουν πολλές εφαρμογές του μοντέλου, ξεκινώντας κάθε φορά από διαφορετικές αρχικές τιμές των παραμέτρων, αφήνοντας τον αλγόριθμο αναζήτησης να φτάσει στην τοπικά βέλτιστη λύση, και τελικά επιλέγοντας τη λύση που αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο δείκτη επίδοσης. Η διαδικασία αυτή ασφαλώς δεν οδηγεί με μαθηματική βεβαιότητα στο ολικό ακρότατο, αλλά το προσεγγίζει. Ο βαθμός προσέγγισης εξαρτάται από τον αριθμό των αρχικών συνόλων παραμέτρων που εξετάζονται. Ακόμη, διασαφηνίζεται ότι το ακρότατο που υπολογίζεται με τη μεθοδολογία που προτάθηκε επηρεάζεται από την ακολουθούμενη παραμετροποίηση της λειτουργίας του συστήματος. Είναι αναμενόμενο ότι μια πιο αποτελεσματική παραμετροποίηση, ή ακόμη μια μη παραμετρική μέθοδος, μπορεί να οδηγήσει σε τιμές του δείκτη επίδοσης μεγαλύτερες από αυτές που υπολογίζονται από το απλουστευμένο μοντέλο της παρούσας μελέτης.

Ένας τρίτος στόχος των διερευνητικών εφαρμογών ήταν η εκτίμηση, μέσω ανάλυσης ευαισθησίας, της επίδραση των τιμών μονάδας (και κυρίως της αναλογία μοναδιαίου αρδευτικού και ενεργειακού οφέλους) στις τελικές λειτουργικές παραμέτρους του υδροσυστήματος. Τα αποτελέσματα αυτής της διερεύνησης έδειξαν ότι το σύστημα δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στη μεταβολή των μοναδιαίων τιμών. Συγκεκριμένα, με τις τιμές της ενότητας 5.7, η βελτιστοποίηση του δείκτη επίδοσης του υδροσυστήματος οδηγεί πρακτικώς στη μεγιστοποίηση των αρδευτικών απολήψεων, με τήρηση βεβαίως των δεσμεύσεων που προαναφέρθηκαν. Στο ίδιο αποτέλεσμα οδηγείται το σύστημα ακόμη και αν υποδιπλασιαστεί σχεδόν η μοναδιαία τιμή του οφέλους από την άρδευση.

Ένα τελευταίο θέμα που διερευνήθηκε μέσω προκαταρκτικών εφαρμογών του μοντέλου είναι ο ανταγωνισμός ανάμεσα στην ενεργειακή και αρδευτική χρήση. Όπως είναι εύλογο διαπιστώνεται η ύπαρξη τέτοιου ανταγωνισμού. Συγκεκριμένα, στα σχήματα έργων D και E η μεγιστοποίηση του ολικού δείκτη επίδοσης (εξίσωση (23)) οδηγεί πρακτικώς σε μεγιστοποίηση της αρδευτικής απόληψης από το σύστημα, ενώ η μεγιστοποίηση μόνο του ενεργειακού δείκτη επίδοσης (εξίσωση (21)) οδηγεί σε περιορισμό της αρδευτικής απόληψης στα 600 hm³ ετησίως. Στην πρώτη περίπτωση ο ολικός οικονομικός δείκτης επίδοσης είναι μεγαλύτερος κατά πάνω από 2 δισ. δρχ ετησίως, σε σχέση με τη δεύτερη, αλλά ο ενεργειακός δείκτης επίδοσης είναι χαμηλότερος κατά περίπου 1 δισ. δρχ, σε σχέση και πάλι με τη δεύτερη περίπτωση. Η ύπαρξη αυτού του ανταγωνισμού δίνει μια ελαστικότητα στην πραγματική λειτουργία του υδροσυστήματος, αφού επιτρέπει την κατά περίπτωση διαφοροποίηση της διαχείρισής του υπέρ της μιας ή της άλλης χρήσης.

6. Αποτελέσματα του μοντέλου

Με βάση τις παραδοχές και λοιπές θεωρήσεις που αναπτύχθηκαν στο κεφάλαιο 5 εφαρμόστηκε το μοντέλο που περιγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 4 για όλα τα υπό μελέτη σχήματα έργων. Για τις τελικές εφαρμογές έχουν ληφθεί υπόψη τα συμπεράσματα των διερευνητικών εφαρμογών που αναφέρθηκαν στην ενότητα 5.8.

Στην έκθεση αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της βέλτιστης λύσης που προσδιορίστηκε για κάθε σχήμα έργων, και όχι ενδιάμεσα αποτελέσματα ή αποτελέσματα που αντιστοιχούν σε τοπικά ακρότατα. Συγκεκριμένα στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται πινακοποιημένα τα συνοπτικά αποτελέσματα των εφαρμογών του μοντέλου. Εξ άλλου, οι πλήρεις χρονοσειρές εισόδων και εξόδων των ταμειυτήρων και οι χρονοσειρές παραγόμενης ενέργειας και ενέργειας άντλησης των υδροηλεκτρικών σταθμών δίνονται σε πινακοποιημένη μορφή στο ένθετο 3 για όλα τα σχήματα έργων. Τέλος, στο ένθετο 4 δίνονται χαρακτηριστικά διαγράμματα της χρονικής διακύμανσης των μεγεθών που ενδιαφέρουν καθώς και καμπύλες διάρκειας, για το σύνολο των εφαρμογών που έγιναν.

Ειδικότερα τα σχήματα έργων D και E, εκτός από την ολικά βέλτιστη λύση παρουσιάζεται, για λόγους πληρότητας, και η ενεργειακά βέλτιστη λύση. Στην πρώτη λύση (συμβολικά Da και Ea για τα σχήματα έργων D και E, αντίστοιχα) ο στόχος ήταν να βελτιστοποιηθεί το μικτό (γεωργικό και ενεργειακό) οικονομικό όφελος (δηλαδή να προσδιοριστεί η μέγιστη τιμή του ολικού δείκτη επίδοσης, ο οποίος περιγράφεται από την εξίσωση (23)). Στη δεύτερη λύση (συμβολικά Db και Eb για τα σχήματα έργων D και E, αντίστοιχα) ο στόχος ήταν να βελτιστοποιηθεί μόνο το ενεργειακό οικονομικό όφελος, (δηλαδή να προσδιοριστεί η μέγιστη τιμή του ενεργειακού δείκτη επίδοσης που περιγράφεται από την εξίσωση (21)), με τη δέσμευση ότι η ετήσια απόληψη στο Μαυρομάτι δεν είναι κατώτερη των 600 hm^3 (βλ. και εν. 5.5). Αυτή η διπλή εφαρμογή του μοντέλου έγινε για να ποσοτικοποιηθεί ο ανταγωνισμός ανάμεσα στην ενεργειακή και αρδευτική χρήση και να καταδειχθεί η ελαστικότητα της χρήσης του συστήματος. Για τα σχήματα έργων 1 και A (και προφανώς για το 0) δεν έχει νόημα η παρόμοια διπλή εφαρμογή του μοντέλου, δεδομένου ότι στα σχήματα αυτά δεν υπάρχει ανάλογη ελαστικότητα του συστήματος.

Τέλος, υπενθυμίζεται ότι για το σχήμα έργων 1 η οικονομική αξιολόγηση έγινε με δύο εναλλακτικές παραδοχές που αφορούν στη διάκριση πρωτεύουσας και δευτερεύουσας ενέργειας των σταθμών Πευκοφύτου και Μουζακίου, οι οποίες αναλύονται στην ενότητα 5.4.

Τα τελικά συμπεράσματα από τα αποτελέσματα των εφαρμογών του μοντέλου συνοψίζονται στο κεφάλαιο 7.

6.1 Σχήμα έργων 0

Πίν. 6 Τελικά συνοπτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος για το σχήμα έργων 0 (χωρίς εκτροπή, χωρίς Μουζάκι και Πύλη).

Ταμειευτήρας	Μεσοχώρα	Συκιά	Πύλη	Μουζάκι	Σύνολο		
Αγωγός	Σήραγγα Γλύστρας	Σήραγγα Συκιάς	Σήραγγα εκτροπής Αχελώου	Εκκενωτής Πύλης	Συνδετήρια Σήραγγα Πύλης- Μουζακίου	Σήραγγα Μουζακίου	
Υ/Η σταθμός	Μεσοχώρα	Συκιά	Πευκόφυτο	-	-	Μουζάκι	
Εισροή (hm³/έτος)							
Φυσική	735.2	723.3				1458.5	
Από ανάντη ταμειευτήρες		735.2					
Από άντληση		0.0				0.0	
Σύνολο εισροής	735.2	1458.5					
Εκροή (hm³/έτος)							
Καθαρή κύρια απόληψη	687.2	1299.4	0.0				
Άντληση			0.0				
Κύρια απόληψη	687.2	1299.4	0.0				
Περιβαλ. διατήρηση	47.3	157.8				205.1	
Υπερχείλιση	0.6	1.2				1.9	
Σύνολο εκροής	735.2	1458.5					
Ενέργεια συστήματος (GWh/έτος)							
Πρωτεύουσα	209.5	298.4	0.0			507.9	
Δευτερεύουσα	127.8	170.2	0.0			298.0	
Άντληση			0.0			0.0	
Πρόσθετη ενέργεια στο σταθμό Μαυρομάτι (GWh/έτος)							
Δευτερεύουσα						0.0	
Απώλεια ενέργειας στα έργα Κάτω Αχελώου (GWh/έτος)							
Πρωτεύουσα						0.0	
Δευτερεύουσα						0.0	
Παράμετροι λειτουργίας συστήματος							
Στόχος παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας (GWh/έτος)	209.51	298.37	0.00				
Στόχος μεταφοράς όγκου (hm ³ /έτος)			0.00				
Αποτελέσματα ως προς την παραγωγή ενέργειας							
	Συγκρότημα νέων έργων			Επίπτωση στα έργα Κάτω Αχελώου			Όφελος
	GWh	Εκ. Δρχ / GWh	Εκ. Δρχ	GWh	Εκ. Δρχ / GWh	Εκ. Δρχ	Εκ. Δρχ
Πρωτεύουσα	507.9	10.6	5383.5	0.0	10.6	0.0	5383.5
Δευτερεύουσα	298.0	5.7	1698.5	0.0	5.7	0.0	1698.5
Άντληση	0.0	2.4	0.0				0.0
Σύνολο	805.9			0.0			7082.0

6.2 Σχήμα έργων 1

Πίν. 7 Τελικά συνοπτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος για το σχήμα έργων 1 (εκτροπή χωρίς άντληση, Μουζάκι + 250 m, χωρίς Πύλη), με θεώρηση μηδενικής πρωτεύουσας ενέργειας στο Πευκόφυτο και το Μουζάκι.

Ταμιευτήρας	Μεσοχώρα		Συκιά		Πύλη	Μουζάκι	Σύνολο
Αγωγός	Σήραγγα Γλύστρας	Σήραγγα Συκιάς	Σήραγγα εκτροπής Αχελώου	Εκκενωτής Πύλης	Συνδετήρια Σήραγγα Πύλης- Μουζακίου	Σήραγγα Μουζακίου	
Υ/Η σταθμός	Μεσοχώρα	Συκιά	Πευκόφυτο	-	-	Μουζάκι	
Εισροή (hm³/έτος)							
Φυσική	735.2		723.8			112.1	1571.0
Από ανάντη ταμιευτήρες			735.2			599.4	
Από άντληση			0.0			0.0	0.0
Σύνολο εισροής	735.2		1458.9			711.5	
Εκροή (hm³/έτος)							
Καθαρή κύρια απόληψη	687.2	673.5	599.4			706.9	
Άντληση			0.0			0.0	
Κύρια απόληψη	687.2	673.5	599.4			706.9	
Περιβαλ. διατήρηση	47.3	157.6				4.6	209.5
Υπερχείλιση	0.6	28.4				0.0	29.0
Σύνολο εκροής	735.2		1458.9			711.5	
Ενέργεια συστήματος (GWh/έτος)							
Πρωτεύουσα	209.3	84.7	0.0			0.0	294.1
Δευτερεύουσα	128.0	146.2	375.7			141.5	791.4
Άντληση			0.0			0.0	0.0
Πρόσθετη ενέργεια στο σταθμό Μαυρομάτι (GWh/έτος)							
Δευτερεύουσα							35.6
Απώλεια ενέργειας στα έργα Κάτω Αχελώου (GWh/έτος)							
Πρωτεύουσα							209.8
Δευτερεύουσα							89.9
Παράμετροι λειτουργίας συστήματος							
Στόχος παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας (GWh/έτος)	209.5	84.7	0.0			0.0	
Στόχος μεταφοράς όγκου (hm ³ /έτος)			613.5			608.9	
Αποτελέσματα αρδευτικής χρήσης							
Μέση ετήσια απόληψη για άρδευση (hm ³ /έτος)						594.9	594.9
Ποσοστό αστοχίας (μήνες αστοχίας/συνολικοί μήνες)						3.2%	
Μοναδιαίο καθαρό όφελος (Εκ. δρχ/hm ³)							18.0
Συνολικό οικονομικό όφελος από άρδευση (Εκ. δρχ/έτος)						P_A =	10708.8
Αποτελέσματα ενεργειακής χρήσης							
	Συγκρότημα νέων έργων			Επίπτωση στα έργα Κάτω Αχελώου			Όφελος
	GWh	Εκ. Δρχ / GWh	Εκ. Δρχ	GWh	Εκ. Δρχ / GWh	Εκ. Δρχ	Εκ. Δρχ
Πρωτεύουσα	294.1	10.6	3116.9	-209.8	10.6	-2223.9	893.1
Δευτερεύουσα	827.1	5.7	4714.3	-89.9	5.7	-512.5	4201.8
Άντληση	0.0	2.4	0.0				0.0
Σύνολο	1121.1			-299.7		P_E =	5094.9
Συνολικός δείκτης επίδοσης (Εκ. δρχ/έτος)							P = 15803.7

Πίν. 8 Τελικά συνοπτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος για το σχήμα έργων 1 (εκτροπή χωρίς άντληση, Μουζάκι + 250 m, χωρίς Πύλη), με θεώρηση μεταβλητής κατά μήνα πρωτεύουσας ενέργειας στο Πευκόφυτο και το Μουζάκι.

Ταμιευτήρας	Μεσοχώρα	Συκιά	Πύλη	Μουζάκι	Σύνολο	
Αγωγός	Σήραγγα Γλύστρας	Σήραγγα Συκιάς	Σήραγγα εκτροπής Αχελώου	Εκκενωτής Πύλης	Συνδετήρια Σήραγγα Πύλης-Μουζακίου	Σήραγγα Μουζακίου
Υ/Η σταθμός	Μεσοχώρα	Συκιά	Πευκόφυτο	-	-	Μουζάκι
Εισροή (hm³/έτος)						
Φυσική	735.2	723.8			112.1	1571.0
Από ανάντη ταμιευτήρες		735.2			599.4	
Από άντληση		0.0			0.0	0.0
Σύνολο εισροής	735.2	1458.9			711.5	
Εκροή (hm³/έτος)						
Καθαρή κύρια απόληψη	687.2	673.5	599.4		706.9	
Άντληση			0.0		0.0	
Κύρια απόληψη	687.2	673.5	599.4		706.9	
Περιβαλ. διατήρηση	47.3	157.6			4.6	209.5
Υπερχείλιση	0.6	28.4			0.0	29.0
Σύνολο εκροής	735.2	1458.9			711.5	
Ενέργεια συστήματος (GWh/έτος)						
Πρωτεύουσα	209.3	84.7	146.3		79.7	520.1
Δευτερεύουσα	128.0	146.2	229.4		61.8	565.4
Άντληση			0.0		0.0	0.0
Πρόσθετη ενέργεια στο σταθμό Μαυρομάτι (GWh/έτος)						
Δευτερεύουσα						35.6
Απώλεια ενέργειας στα έργα Κάτω Αχελώου (GWh/έτος)						
Πρωτεύουσα						209.8
Δευτερεύουσα						89.9
Παράμετροι λειτουργίας συστήματος						
Στόχος παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας (GWh/έτος)	209.5	84.7	0.0		0.0	
Στόχος μεταφοράς όγκου (hm ³ /έτος)			613.5			608.9
Αποτελέσματα αρδευτικής χρήσης						
Μέση ετήσια απόληψη για άρδευση (hm ³ /έτος)					594.9	594.9
Ποσοστό αστοχίας (μήνες αστοχίας/συνολικοί μήνες)					3.2%	
Μοναδιαίο καθαρό όφελος (Εκ. δρχ/hm ³)						18.0
Συνολικό οικονομικό όφελος από άρδευση (Εκ. δρχ/έτος)					P_A =	10708.8
Αποτελέσματα ενεργειακής χρήσης						
	Συγκρότημα νέων έργων			Επίπτωση στα έργα Κάτω Αχελώου		Όφελος
	GWh	Εκ. Δρχ / GWh	Εκ. Δρχ	GWh	Εκ. Δρχ / GWh	Εκ. Δρχ
Πρωτεύουσα	520.1	10.6	5512.5	-209.8	10.6	-2223.9
Δευτερεύουσα	601.1	5.7	3426.1	-89.9	5.7	-512.5
Άντληση	0.0	2.4	0.0			0.0
Σύνολο	1121.1			-299.7		P_E =
Συνολικός δείκτης επίδοσης (Εκ. δρχ/έτος)						P = 16911.1

6.3 Σχήμα έργων Α

Πίν. 9 Τελικά συνοπτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος για το σχήμα έργων Α (εκτροπή και άντληση, Μουζάκι + 250 m, χωρίς Πύλη).

Ταμιευτήρας	Μεσοχώρα	Συκιά	Πύλη	Μουζάκι	Σύνολο		
Αγωγός	Σήραγγα Γλύστρας	Σήραγγα Συκιάς	Σήραγγα εκτροπής Αχελώου	Εκκενωτής Πύλης	Συνδετήρια Σήραγγα Πύλης-Μουζακίου	Σήραγγα Μουζακίου	
Υ/Η σταθμός	Μεσοχώρα	Συκιά	Πευκόφυτο	-	-	Μουζάκι	
Εισροή (hm³/έτος)							
Φυσική	735.2	723.8		160.2		112.1	1731.3
Από ανάντη ταμιευτήρες		735.2				600.0	
Από άντληση		549.5				1187.8	1737.4
Σύνολο εισροής	735.2	2008.4		160.2		1899.9	
Εκροή (hm³/έτος)							
Καθαρή κύρια απόληψη	687.2	671.1	600.0	0.0	0.0	707.5	
Άντληση			549.5			1187.8	
Κύρια απόληψη	687.2	671.1	1149.5	0.0	0.0	1895.3	
Περιβαλ. διατήρηση	47.3	157.6		15.8		4.6	225.3
Υπερχείλιση	0.6	30.2		144.5		0.0	175.3
Σύνολο εκροής	735.2	2008.4		160.2		1899.9	
Ενέργεια συστήματος (GWh/έτος)							
Πρωτεύουσα	209.3	72.0	448.5			372.9	1102.7
Δευτερεύουσα	128.1	163.4	264.8			6.6	562.9
Άντληση			476.6			378.5	855.1
Πρόσθετη ενέργεια στο σταθμό Μαυρομάτι (GWh/έτος)							
Δευτερεύουσα							35.7
Απώλεια ενέργειας στα έργα Κάτω Αχελώου (GWh/έτος)							
Πρωτεύουσα							210.0
Δευτερεύουσα							90.0
Παράμετροι λειτουργίας συστήματος							
Στόχος παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας (GWh/έτος)	209.3	72.0	612.0			384.0	
Στόχος μεταφοράς όγκου (hm ³ /έτος)			603.0	0.0	0.0	598.4	
Αποτελέσματα αρδευτικής χρήσης							
Μέση ετήσια απόληψη για άρδευση (hm ³ /έτος)				0.0		595.4	595.4
Ποσοστό αστοχίας (μήνες αστοχίας/συνολικοί μήνες)				0.0%		1.2%	
Μοναδιαίο καθαρό όφελος (Εκ. δρχ/hm ³)							18.0
Συνολικό οικονομικό όφελος από άρδευση (Εκ. δρχ/έτος)						P_A =	10717.7
Αποτελέσματα ενεργειακής χρήσης							
	Συγκρότημα νέων έργων			Επίπτωση στα έργα Κάτω Αχελώου			Όφελος
	GWh	Εκ. Δρχ / GWh	Εκ. Δρχ	GWh	Εκ. Δρχ / GWh	Εκ. Δρχ	Εκ. Δρχ
Πρωτεύουσα	1102.7	10.6	11688.1	-210.0	10.6	-2226.0	9462.2
Δευτερεύουσα	598.5	5.7	3411.7	-90.0	5.7	-513.0	2898.7
Άντληση	-855.1	2.4	-2052.3				-2052.3
Σύνολο	846.1			-300.0			P_E = 10308.6
Συνολικός δείκτης επίδοσης (Εκ. δρχ/έτος)							
							P = 21026.3

6.4 Σχήμα έργων D

Πίν. 10 Τελικά συνοπτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος για το σχήμα έργων D (εκτροπή και άντληση, Μουζάκι + 280 m, με Πύλη) μετά από μεγιστοποίηση του μικτού (γεωργικού και ενεργειακού) οικονομικού οφέλους (Εφαρμογή Da).

Ταμιευτήρας	Μεσοχώρα	Συκιά	Πύλη	Μουζάκι	Σύνολο	
Αγωγός	Σήραγγα Γλύστρας	Σήραγγα Συκιάς	Σήραγγα εκτροπής Αχελώου	Εκκενωτής Πύλης	Συνδετήρια Σήραγγα Πύλης-Μουζακίου	Σήραγγα Μουζακίου
Υ/Η σταθμός	Μεσοχώρα	Συκιά	Πευκόφυτο	-	-	Μουζάκι
Εισροή (hm³/έτος)						
Φυσική	735.2	723.8		160.3	110.7	1730.0
Από ανάντη ταμιευτήρες		735.2			741.0	
Από άντληση		556.9			1231.3	1788.3
Σύνολο εισροής	735.2	2015.9		160.3	2083.0	
Εκροή (hm³/έτος)						
Καθαρή κύρια απόληψη	687.3	672.1	599.9	3.9	141.0	847.0
Άντληση			556.9			1231.3
Κύρια απόληψη	687.3	672.1	1156.8	3.9	141.0	2078.3
Περιβαλ. διατήρηση	47.3	157.5		15.4		4.7
Υπερχείλιση	0.6	29.4		0.0		0.0
Σύνολο εκροής	735.2	2015.9		160.3	2083.0	
Ενέργεια συστήματος (GWh/έτος)						
Πρωτεύουσα	209.3	76.1	444.0			372.9
Δευτερεύουσα	128.0	158.1	216.8			147.5
Άντληση			459.7			434.8
Πρόσθετη ενέργεια στο σταθμό Μαυρομάτι (GWh/έτος)						
Δευτερεύουσα						42.7
Απώλεια ενέργειας στα έργα Κάτω Αχελώου (GWh/έτος)						
Πρωτεύουσα						210.0
Δευτερεύουσα						90.0
Παράμετροι λειτουργίας συστήματος						
Στόχος παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας (GWh/έτος)	209.5	76.1	564.0			576.0
Στόχος μεταφοράς όγκου (hm ³ /έτος)			604.1	4.0	103.2	781.0
Αποτελέσματα αρδευτικής χρήσης						
Μέση ετήσια απόληψη για άρδευση (hm ³ /έτος)				3.9		771.7
Ποσοστό αστοχίας (μήνες αστοχίας/συνολικοί μήνες)				2.9%		3.2%
Μοναδιαίο καθαρό όφελος (Εκ. δρχ/hm ³)						18.0
Συνολικό οικονομικό όφελος από άρδευση (Εκ. δρχ/έτος)						P_A = 13960.4
Αποτελέσματα ενεργειακής χρήσης						
	Συγκρότημα νέων έργων			Επίπτωση στα έργα Κάτω Αχελώου		Όφελος
	GWh	Εκ. Δρχ / GWh	Εκ. Δρχ	GWh	Εκ. Δρχ / GWh	Εκ. Δρχ
Πρωτεύουσα	1102.4	10.6	11685.4	-210.0	10.6	-2225.7
Δευτερεύουσα	693.1	5.7	3950.8	-90.0	5.7	-512.9
Άντληση	-894.4	2.4	-2146.6			-2146.6
Σύνολο	901.1			-300.0		P_E = 10751.0
Συνολικός δείκτης επίδοσης (Εκ. δρχ/έτος)						P = 24711.4

Πίν. 11 Τελικά συνοπτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος για το σχήμα έργων D (εκτροπή και άντληση, Μουζάκι + 280 m, με Πύλη), μετά από μεγιστοποίηση του ενεργειακού (και όχι του μικτού) οικονομικού οφέλους (Εφαρμογή Db).

Ταμιευτήρας	Μεσοχώρα	Συκιά	Πύλη	Μουζάκι	Σύνολο	
Αγωγός	Σήραγγα Γλύστρας	Σήραγγα Συκιάς	Σήραγγα εκτροπής Αχελώου	Εκκενωτής Πύλης	Συνδεδημένα Σήραγγα Πύλης-Μουζακίου	Σήραγγα Μουζακίου
Υ/Η σταθμός	Μεσοχώρα	Συκιά	Πευκόφυτο	-	-	Μουζάκι
Εισροή (hm³/έτος)						
Φυσική	735.2	723.7		160.3	110.6	1729.8
Από ανάντη ταμιευτήρες		735.2			616.6	
Από άντληση		579.9			1264.6	1844.4
Σύνολο εισροής	735.2	2038.7		160.3	1991.8	
Εκροή (hm³/έτος)						
Καθαρή κύρια απόληψη	687.2	789.9	475.7	3.9	140.9	722.5
Άντληση			579.9			1264.6
Κύρια απόληψη	687.2	789.9	1055.5	3.9	140.9	1987.1
Περιβαλ. διατήρηση	47.3	157.8		15.5		4.7
Υπερχείλιση	0.6	35.5		0.0		0.0
Σύνολο εκροής	735.2	2038.7		160.3	1991.8	
Ενέργεια συστήματος (GWh/έτος)						
Πρωτεύουσα	209.5	106.4	458.7			441.3
Δευτερεύουσα	127.8	173.2	142.3			93.3
Άντληση			478.4			470.3
Πρόσθετη ενέργεια στο σταθμό Μαυρομάτι (GWh/έτος)						
Δευτερεύουσα						36.4
Απώλεια ενέργειας στα έργα Κάτω Αχελώου (GWh/έτος)						
Πρωτεύουσα						166.5
Δευτερεύουσα						71.4
Παράμετροι λειτουργίας συστήματος						
Στόχος παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας (GWh/έτος)	209.5	106.4	540.0			576.0
Στόχος μεταφοράς όγκου (hm ³ /έτος)			475.7	4.0	102.2	600.0
Αποτελέσματα αρδευτικής χρήσης						
Μέση ετήσια απόληψη για άρδευση (hm ³ /έτος)				3.9		600.0
Ποσοστό αστοχίας (μήνες αστοχίας/συνολικοί μήνες)				2.0%		0.0%
Μοναδιαίο καθαρό όφελος (Εκ. δρχ/hm ³)						18.0
Συνολικό οικονομικό όφελος από άρδευση (Εκ. δρχ/έτος)						P_A = 10870.0
Αποτελέσματα ενεργειακής χρήσης						
	Συγκρότημα νέων έργων			Επίπτωση στα έργα Κάτω Αχελώου		Όφελος
	GWh	Εκ. Δρχ / GWh	Εκ. Δρχ	GWh	Εκ. Δρχ / GWh	Εκ. Δρχ
Πρωτεύουσα	1215.9	10.6	12888.9	-166.5	10.6	-1764.8
Δευτερεύουσα	573.0	5.7	3265.9	-71.4	5.7	-406.7
Άντληση	-948.6	2.4	-2276.8			-2276.8
Σύνολο	840.2			-237.8		P_E = 11706.5
Συνολικός δείκτης επίδοσης (Εκ. δρχ/έτος)						P = 22576.5

6.5 Σχήμα έργων E

Πίν. 12 Τελικά συνοπτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος για το σχήμα έργων E (εκτροπή και άντληση, Μουζάκι + 290 m, με Πύλη) μετά από μεριστοποίηση του μικτού (γεωργικού και ενεργειακού) οικονομικού οφέλους (Εφαρμογή Ea).

Ταμιευτήρας	Μεσοχώρα		Συκιά		Πύλη	Μουζάκι	Σύνολο	
Αγωγός	Σήραγγα Γλύστρας	Σήραγγα Συκιάς	Σήραγγα εκτροπής Αχελώου	Εκκενωτής Πύλης	Συνδετήρια Σήραγγα Πύλης-Μουζακίου	Σήραγγα Μουζακίου		
Υ/Η σταθμός	Μεσοχώρα	Συκιά	Πευκόφυτο	-	-	Μουζάκι		
Εισροή (hm³/έτος)								
Φυσική	735.2		723.8		160.3	110.2	1729.4	
Από ανάντη ταμιευτήρες			735.2			740.8		
Από άντληση			556.0			1270.2	1826.3	
Σύνολο εισροής	735.2		2015.0		160.3	2121.3		
Εκροή (hm³/έτος)								
Καθαρή κύρια απόληψη	687.3	671.7	599.9	3.9	140.9	846.3		
Άντληση			556.0			1270.2		
Κύρια απόληψη	687.3	671.7	1156.0	3.9	140.9	2116.6		
Περιβαλ. διατήρηση	47.3	157.5		15.5		4.7	225.1	
Υπερχειλίση	0.6	29.7		0.0		0.0	30.3	
Σύνολο εκροής	735.2		2015.0		160.3	2121.3		
Ενέργεια συστήματος (GWh/έτος)								
Πρωτεύουσα	209.5	76.1	442.7			372.9	1101.2	
Δευτερεύουσα	127.8	158.0	197.7			192.1	675.6	
Άντληση			451.0			467.3	918.3	
Πρόσθετη ενέργεια στο σταθμό Μαυρομάτι (GWh/έτος)								
Δευτερεύουσα							42.7	
Απώλεια ενέργειας στα έργα Κάτω Αχελώου (GWh/έτος)								
Πρωτεύουσα							210.0	
Δευτερεύουσα							90.0	
Παράμετροι λειτουργίας συστήματος								
Στόχος παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας (GWh/έτος)	209.5	76.1	552.0			636.0		
Στόχος μεταφοράς όγκου (hm ³ /έτος)			603.6	4.0	80.4	804.7		
Αποτελέσματα αρδευτικής χρήσης								
Μέση ετήσια απόληψη για άρδευση (hm ³ /έτος)				3.9		794.8	798.7	
Ποσοστό αστοχίας (μήνες αστοχίας/συνολικοί μήνες)				2.5%		3.2%		
Μοναδιαίο καθαρό όφελος (Εκ. δρχ/hm ³)							18.0	
Συνολικό οικονομικό όφελος από άρδευση (Εκ. δρχ/έτος)						P_A =	14375.9	
Αποτελέσματα ενεργειακής χρήσης								
	Συγκρότημα νέων έργων			Επίπτωση στα έργα Κάτω Αχελώου		Όφελος		
	GWh	Εκ. Δρχ / GWh	Εκ. Δρχ	GWh	Εκ. Δρχ / GWh	Εκ. Δρχ	Εκ. Δρχ	
Πρωτεύουσα	1101.2	10.6	11672.6	-210.0	10.6	-2225.7	9446.9	
Δευτερεύουσα	718.3	5.7	4094.1	-90.0	5.7	-512.9	3581.2	
Άντληση	-918.3	2.4	-2203.9				-2203.9	
Σύνολο	901.1			-300.0		P_E =	10824.1	
Συνολικός δείκτης επίδοσης (Εκ. δρχ/έτος)							P =	25200.0

Πίν. 13 Τελικά συνοπτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος για το σχήμα έργων Ε (εκτροπή και άντληση, Μουζάκι + 290 m, με Πύλη) μετά από μεγιστοποίηση του ενεργειακού (και όχι του μικτού) οικονομικού οφέλους (Εφαρμογή Eb).

Ταμιευτήρας	Μεσοχώρα	Συκιά	Πύλη	Μουζάκι	Σύνολο		
Αγωγός	Σήραγγα Γλύστρας	Σήραγγα Συκιάς	Σήραγγα εκτροπής Αχελώου	Εκκενωτής Πύλης	Συνδεδημένα Σήραγγα Πύλης-Μουζακίου	Μουζακίου	
Υ/Η σταθμός	Μεσοχώρα	Συκιά	Πευκόφυτο	-	-	Μουζάκι	
Εισροή (hm³/έτος)							
Φυσική	735.2	723.7		160.3		110.0	1729.1
Από ανάντη ταμιευτήρες		735.2				605.2	
Από άντληση		578.9				1314.3	1893.2
Σύνολο εισροής	735.2	2037.7		160.3		2029.5	
Εκροή (hm³/έτος)							
Καθαρή κύρια απόληψη	687.2	800.3	464.3	3.9	140.9	710.4	
Άντληση			578.9			1314.3	
Κύρια απόληψη	687.2	800.3	1043.1	3.9	140.9	2024.8	
Περιβαλ. διατήρηση	47.3	157.8		15.5		4.7	225.4
Υπερχείλιση	0.6	36.4		0.0		0.0	37.1
Σύνολο εκροής	735.2	2037.7		160.3		2029.5	
Ενέργεια συστήματος (GWh/έτος)							
Πρωτεύουσα	205.1	107.0	432.3			501.8	1246.1
Δευτερεύουσα	132.9	176.9	135.0			93.2	538.1
Άντληση			463.8			523.4	987.2
Πρόσθετη ενέργεια στο σταθμό Μαυρομάτι (GWh/έτος)							
Δευτερεύουσα							35.8
Απώλεια ενέργειας στα έργα Κάτω Αχελώου (GWh/έτος)							
Πρωτεύουσα							162.5
Δευτερεύουσα							69.6
Παράμετροι λειτουργίας συστήματος							
Στόχος παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας (GWh/έτος)	205.1	107.0	528.0			636.0	
Στόχος μεταφοράς όγκου (hm ³ /έτος)			464.3	4.0	103.1	600.0	
Αποτελέσματα αρδευτικής χρήσης							
Μέση ετήσια απόληψη για άρδευση (hm ³ /έτος)				3.9		600.0	603.9
Ποσοστό αστοχίας (μήνες αστοχίας/συνολικοί μήνες)				2.2%		0.0%	
Μοναδιαίο καθαρό όφελος (Εκ. δρχ/hm ³)							18.0
Συνολικό οικονομικό όφελος από άρδευση (Εκ. δρχ/έτος)						P_A =	10869.9
Αποτελέσματα ενεργειακής χρήσης							
	Συγκρότημα νέων έργων			Επίπτωση στα έργα Κάτω Αχελώου			Όφελος
	GWh	Εκ. Δρχ / GWh	Εκ. Δρχ	GWh	Εκ. Δρχ / GWh	Εκ. Δρχ	Εκ. Δρχ
Πρωτεύουσα	1246.1	10.6	13209.0	-162.5	10.6	-1722.5	11486.5
Δευτερεύουσα	573.9	5.7	3271.1	-69.6	5.7	-397.0	2874.1
Άντληση	-987.2	2.4	-2369.3				-2369.3
Σύνολο	832.8			-232.1			P_E = 11991.3
Συνολικός δείκτης επίδοσης (Εκ. δρχ/έτος)							
							P = 22861.2

7. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα - συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου που δόθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο ανακεφαλαιώνονται και συγκρίνονται, για όλα τα σχήματα έργων, στον Πίν. 14. Τα στοιχεία αυτού του πίνακα, καθώς και η όλη ανάλυση που προηγήθηκε μας επιτρέπουν να εξαγάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Η εκτροπή 600 hm³ νερού ετησίως προς τη Θεσσαλία είναι δυνατή (για αποδεκτό επίπεδο αξιοπιστίας) με χρησιμοποίηση μόνο του ρυθμιστικού όγκου του ταμιευτήρα Συκιάς. Η λειτουργία του ταμιευτήρα Μεσοχώρας δεν επηρεάζεται πρακτικώς από αυτή την εκτροπή, δηλαδή δεν χρειάζεται δέσμευση ρυθμιστικού όγκου στον ταμιευτήρα αυτό για την εκτροπή.
2. Η κατασκευή του ταμιευτήρα Μουζακίου δίνει ευνοϊκά αποτελέσματα για το όλο σύστημα, αυξάνοντας την οικονομική επίδοση, την αξιοπιστία και την ελαστικότητα του συστήματος. Παρόμοια ευνοϊκά αποτελέσματα έχει η κατασκευή του ταμιευτήρα Πύλης, σε συνδυασμό με την κατασκευή του ταμιευτήρα Μουζακίου. Για μέγιστη στάθμη λειτουργίας +290 m στο Μουζάκι (σχήμα έργων E), με παράλληλη κατασκευή του φράγματος Πύλης, μπορεί να αυξηθεί σημαντικά η αρδευτική απόληψη (σε σχέση με τα σχήματα 1 και A), πλησιάζοντας τα 800 hm³ ετησίως, από τα οποία τα 600 hm³ προέρχονται από την εκτροπή και τα υπόλοιπα από τοπικά νερά. Αυτό έχει συνέπεια την αύξηση του μικτού οικονομικού δείκτη επίδοσης του συστήματος κατά περίπου 4.2 δις. δρχ ετησίως.
3. Στα σχήματα έργων D και E (που περιλαμβάνουν και το φράγμα Πύλης) το σύστημα παρουσιάζει αξιοσημείωτη ελαστικότητα ως προς τη διαχείρισή του. Σε περίπτωση τυχόν μικρότερων πραγματικών αρδευτικών αναγκών (ή και μικρότερου πραγματικού οφέλους από την άρδευση), η λειτουργία του συστήματος μπορεί να προσανατολιστεί προς την αύξηση του ενεργειακού οφέλους (βλ. Πίν. 11 και Πίν. 13).
4. Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας στο Πευκόφυτο και το Μουζάκι, και αν το μοναδικό κριτήριο είναι η βελτιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας, τότε η εκτροπή έχει δυσμενείς επιπτώσεις στο όλο σύστημα (συμπεριλαμβανομένων και των έργων Κάτω Αχελώου) σε σχέση με τη μη εκτροπή. Η κατάσταση αυτή ανατρέπεται θεαματικά αν χρησιμοποιηθούν αντιστρεπτές μονάδες (άντλησης-ταμίευσης) στο Πευκόφυτο και το Μουζάκι. Ακόμη και αν το μοναδικό κριτήριο είναι η (οικονομική) βελτιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας, η εκτροπή παρουσιάζει σημαντικότερα οικονομικά οφέλη σε σχέση με τη μη εκτροπή, όπως φαίνεται στον Πίν. 14.

Πίν. 14 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την αποτίμηση των πέντε σχημάτων έργων

Σχήμα έργων	0	1*	A	D	E
Περιγραφή έργων	Χωρίς εκτροπή, χωρίς Μουζάκι και Πύλη	Εκτροπή χωρίς άντληση, Μουζάκι +250 m, χωρίς Πύλη	Εκτροπή και άντληση, Μουζάκι +250 m, χωρίς Πύλη	Εκτροπή και άντληση, Μουζάκι +280 m, με Πύλη	Εκτροπή και άντληση, Μουζάκι +290 m, με Πύλη
Μέσος ετήσιος όγκος εκτροπής (hm ³)	0	599	600	600	600
Μέση ετήσια αρδευτική απόληψη (hm ³)	0	595	595	776	799
Ετήσιο οικονομικό όφελος από άρδευση (εκ. δρχ)	0	10709	10718	13960	14376
Πρωτεύουσα ενέργεια (GWh)					
Παραγωγή	508	294 (520)	1103	1102	1101
Επίπτωση Κάτω Αχελώου	0	-210	-210	-210	-210
Διαφορά	508	84 (310)	893	892	891
Δευτερεύουσα ενέργεια (GWh)					
Παραγωγή	298	827 (601)	599	693	718
Επίπτωση Κάτω Αχελώου	0	-90	-90	-90	-90
Διαφορά	298	737 (511)	509	603	628
Αντληση (GWh)	0	0	-855	894	-918
Πραγματικό ενεργειακό ισοζύγιο (GWh) †	806	821	547	601	601
Ενέργεια ανηγμένη σε πρωτεύουσα (GWh) ‡	668	481 (585)	973	1014	1021
Ετήσιο οικονομικό όφελος από ενέργεια (εκ. δρχ)	7082	5095 (6202)	10309	10751	10824
Δείκτης επίδοσης (μικτό ετήσιο οικονομικό όφελος, εκ. δρχ)	7082	15804 (16911)	21026	24711	25200

* Οι τιμές μέσα στις παρενθέσεις για το σχήμα έργων 1 προκύπτουν αν θεωρηθεί μεταβλητή πρωτεύουσα ενέργεια ανά μήνα.

† Το ενεργειακό ισοζύγιο προκύπτει ως αλγεβρικό άθροισμα της ενέργειας όλων των έργων και όλων των τύπων.

‡ Η ανηγμένη ενέργεια προκύπτει από τον τύπο $E_A = E_{\Pi} + (c_{\Delta}/c_{\Pi}) E_{\Delta} + (c_P/c_{\Pi}) E_P$, όπου E_A , E_{Π} , E_{Δ} και E_P η ανηγμένη, η πρωτεύουσα, η δευτερεύουσα ενέργεια και η ενέργεια άντλησης, αντίστοιχα και c_{Π} , c_{Δ} και c_P οι τιμές μονάδας της πρωτεύουσας, δευτερεύουσας ενέργειας και ενέργειας άντλησης, αντίστοιχα. Με τις τιμές μονάδας που έχουν ληφθεί στη μελέτη προκύπτει $E_A = E_{\Pi} + 0.538 E_{\Delta} + 0.226 E_P$ (το E_P λαμβάνεται με αρνητικό πρόσημο).

Αναφορές

- Γεωργακάκος, Α., Η. Yao, Υ. Yu και Κ. Νουτσόπουλος, Πιλοτικό μοντέλο για τη διαχείριση του συστήματος ταμιευτήρων Αχελώου, Τεύχος 15 στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος *Εκτίμηση και Διαχείριση των Υδατικών Πόρων της Στερεάς Ελλάδας*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1995.
- ΔΕΗ/ΔΑΥΕ, Εκτροπή Αχελώου και αξιοποίηση Θεσσαλικής πεδιάδας, Έργα κεφαλής συγκροτήματος εκτροπής, Ενημερωτική έκθεση, ΔΕΗ, Αθήνα, 1987.
- ΕΥΔΕ Αχελώου και ENVECO, Συνολική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων της Εκτροπής Αχελώου, ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα, 1995.
- ΕΥΔΕ Αχελώου και Υδροεξυγιαντική, Μελέτη υδατικών συστημάτων, Παράρτημα Α της Συνολικής Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων της Εκτροπής Αχελώου, ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα, 1995.
- Coopers and Lybrand, *Review of the Acheloos Diversion Project Appraisal*, EC, 1993.
- Mays, L. W. and Y.-K. Tung, *Hydrosystems Engineering and Management*, McGraw-Hill, New York, 1992.
- Mosonyi, E., *Water Power Developments, High-head Power Plants*, Vol. 1, Academici, Budapest, 1991a.
- Mosonyi, E., *Water Power Developments, High-head Power Plants*, Vol. 2, Academici, Budapest, 1991b.
- Nalbantis, I., and D. Koutsoyiannis, A parametric rule for planning and management of multiple reservoir systems, paper submitted for publication, 1996.
- Pierre, D. A., *Optimization Theory With Applications*, Dover, New York, 1986.

Ένθετο 1: Υδραυλικοί υπολογισμοί

Παραδοχές

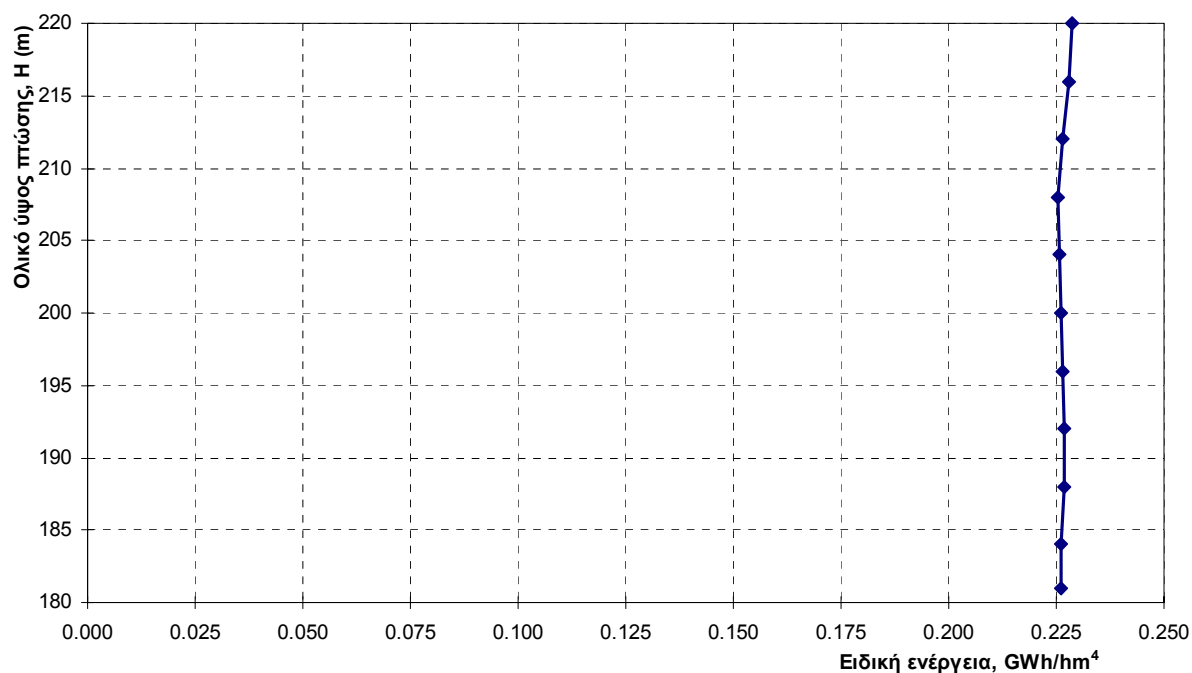
1. Τα μήκη και οι διαμέτροι των αγωγών έχουν ληφθεί από την μελέτη της ΕΥΔΕ Αχελώου και Υδροεξυγιαντικής (1995), στην οποία είχαν ταξινομηθεί οι αντίστοιχες πληροφορίες από παλιότερες μελέτες. Εξαίρεση έγινε για τη σήραγγα προσαγωγής του υδροηλεκτρικού σταθμού Συκιάς, όπου, όπως εξηγείται στο κεφάλαιο 2, η διάμετρος του αγωγού αυξήθηκε σε 8 m από 6 m που προβλέπονταν σε παλιότερες μελέτες.
2. Για τον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών χρησιμοποιήθηκε ο τύπος των Darcy-Weisbach, με συντελεστή απωλειών κατά Colebrook. Η τραχύτητα θεωρήθηκε για όλους τους αγωγούς $k_s = 0.33$ mm, εκτός από τη συνδετήρια σήραγγα Πύλης-Μουζακίου, στην οποία δεν θα εγκατασταθεί υδροηλεκτρικός σταθμός, όπου θεωρήθηκε $k_s = 1.0$ mm. Η μειωμένη τιμή της τραχύτητας $k_s = 0.33$ mm είναι συνήθης για επιμελημένης κατασκευής σήραγγες υδροηλεκτρικών έργων (βλ. Mosonyi, 1991a, σ. 236, 1991b, σ. 92).
3. Οι συντελεστές τοπικών απωλειών εκτιμήθηκαν με όχι απόλυτη ακρίβεια, δεδομένου ότι κατά την έναρξη της εκπόνησης της παρούσας έκθεσης, δεν είχαν αποσαφηνιστεί οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες των αγωγών. Σε μερικές περιπτώσεις οι συντελεστές έχουν ληφθεί σχετικά αυξημένοι προκειμένου να συμπεριληφθούν στις τοπικές απώλειες και ορισμένες γραμμικές απώλειες κατά μήκος μικρών δευτερευόντων τμημάτων αγωγών. Τυχόν σφάλματα στην εκτίμηση των τοπικών απωλειών έχουν αμελητέα επίδραση ως προς το υπολογιστικό πλαίσιο της παρούσας μελέτης.
4. Για τους υπολογισμούς του έργου Μεσοχώρας χρησιμοποιήθηκαν οι χαρακτηριστικές καμπύλες του κατασκευαστή των στροβίλων, οι οποίες αναζητήθηκαν στη ΔΕΗ. Ειδικότερα, υποτέθηκε ότι οι στρόβιλοι θα λειτουργούν πάνω στην καμπύλη που αντιστοιχεί στο ανώτατο όριο των δυνατοτήτων τους.
5. Για του υπολογισμούς του έργου Συκιάς, όπου δεν υπήρχε οριστικός σχεδιασμός του έργου, ούτε χαρακτηριστικές καμπύλες στροβίλων, θεωρήθηκε ότι η εγκατεστημένη ισχύς του στροβίλου θα είναι 120 MW (2×60 MW· βλ. και κεφάλαιο 2). Για τη λειτουργία του στροβίλου, υποτέθηκε ότι η ισχύς μπορεί να ξεπερνά κατά 15% την ονομαστική ισχύ. Επίσης, έγινε δεκτό ανώτατο όριο ταχύτητας 4.5 m/s. Ο συντελεστής απόδοσης η θεωρήθηκε ότι έχει μέγιστη τιμή 0.93 για καθαρό ύψος πτώσης 110-120 m και ότι μειώνεται μέχρι μια ελάχιστη τιμή 0.90 για μικρά (80 m) ή μεγάλα ύψη πτώσης (150 m).
6. Για τους υπολογισμούς των έργων Πευκοφύτου και Μουζακίου χρησιμοποιήθηκαν οι χαρακτηριστικές καμπύλες στροβίλων και αντλιών καθώς και οι προτεινόμενες καμπύλες λειτουργίας που δίνονται στα πλαίσια της παρούσας σύμβασης παροχής υπηρεσιών από το σύμβουλο ELECTROWATT.
7. Για τους υπολογισμούς της συνδετήριας σήραγγας Πύλης-Μουζακίου θεωρήθηκε ότι δεν θα εγκατασταθεί στρόβιλος και επομένως όλο το διατιθέμενο ύψος πτώσης καταναλώνεται σε απώλειες ενέργειας.

Έργα Μεσοχώρας - Γλύστρας

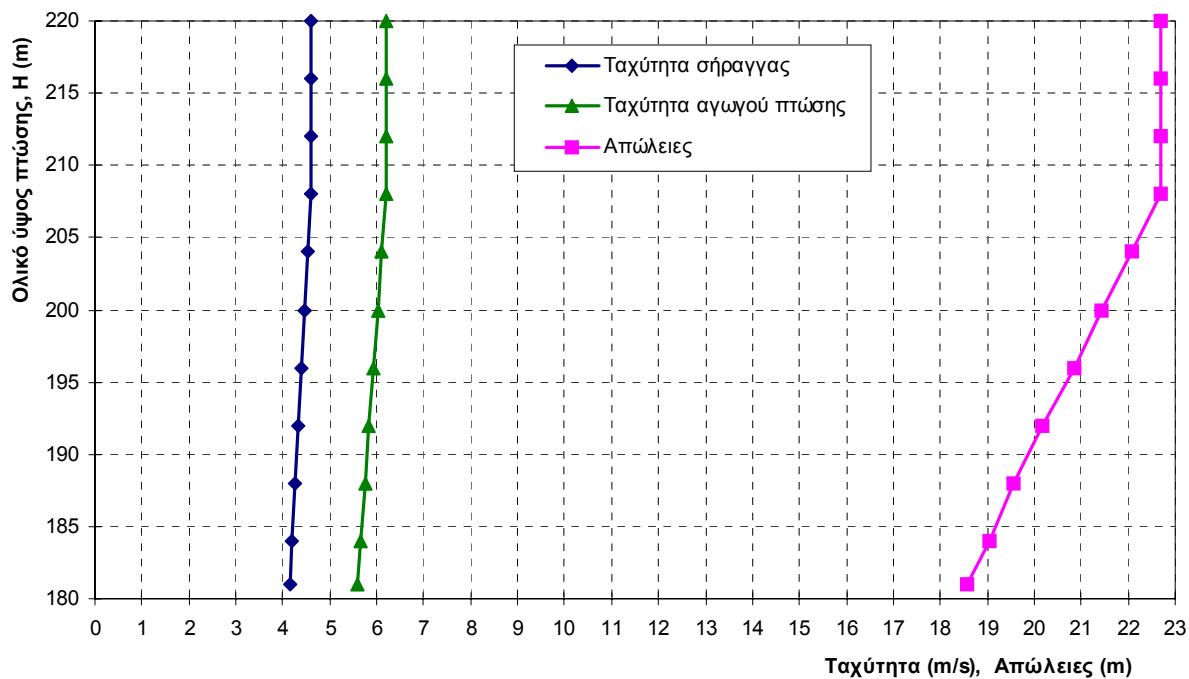
Πίν. 1.1

Γεωμετρικά στοιχεία:	Ίσχύς (m)	7500	Αύξηση ύψους (m)	5
	Αυτοδρόμο (Penstock)	500		4.3
Υδραυλικά στοιχεία:	Τραχύτητα, k_s (m)	0.00033	Συντ. τοπ. απωλ.	2
Εγκατεστημένη ονομαστική ισχύς (MW)		160	(2 * 80 MW)	

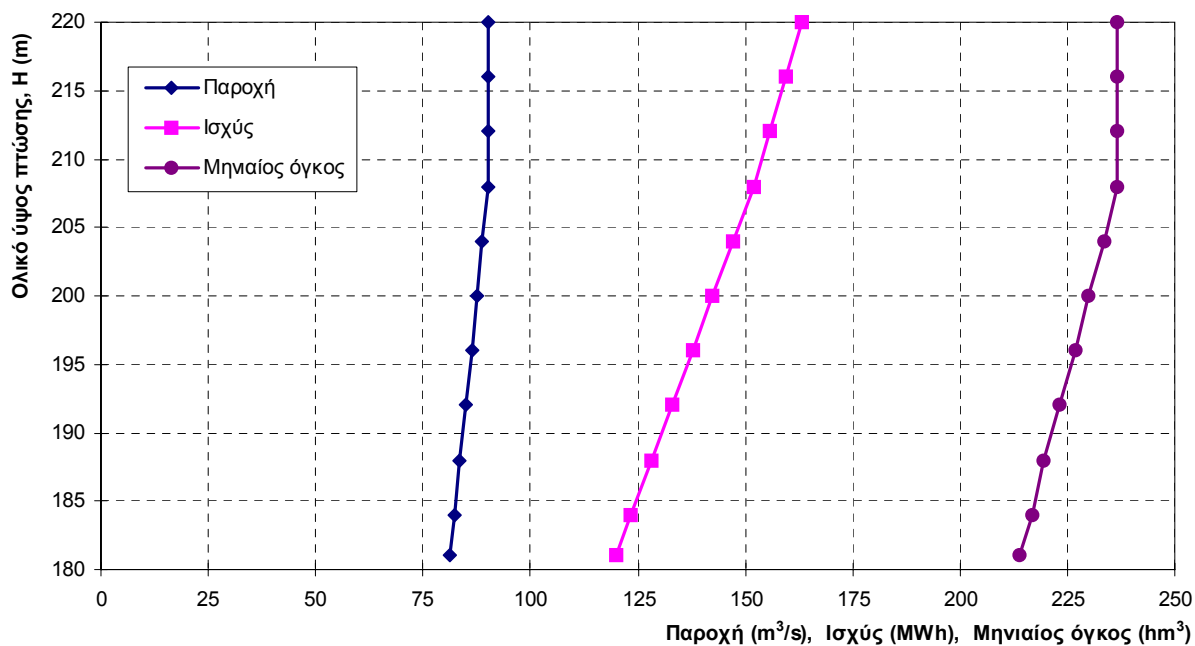
Εξάφνη ύψος (H _n , m)	Αυτοδρόμος, ζ	Παροχή (Q, m ³ /s)	Όα-ύφωά (V, m/s)	Όα-ύφωά Penstock (V, m/s)	Αδρβέαό οϊφώσιό (H _r , m)	Ίεέσφ ύψος δόρσφ (H, m)	Έσφ-ύφ (MW)	Αέέέεε αϊγνάεά (GW/hm ⁴)	Ίγέσφσφ ίεέέεε ύέεεσφ (hm ³)
162.43	0.924	81.37	4.14	5.60	18.57	181.00	120	0.226	214.0
164.97	0.926	82.39	4.20	5.67	19.03	184.00	123	0.226	216.7
168.45	0.929	83.50	4.25	5.75	19.55	188.00	128	0.227	219.6
171.84	0.930	84.81	4.32	5.84	20.16	192.00	133	0.227	223.0
175.15	0.930	86.25	4.39	5.94	20.85	196.00	138	0.226	226.8
178.55	0.930	87.48	4.46	6.02	21.45	200.00	143	0.226	230.1
181.92	0.929	88.77	4.52	6.11	22.08	204.00	147	0.226	233.4
185.31	0.928	90.00	4.58	6.20	22.69	208.00	152	0.225	236.7
189.31	0.931	90.00	4.58	6.20	22.69	212.00	156	0.227	236.7
193.31	0.934	90.00	4.58	6.20	22.69	216.00	159	0.228	236.7
197.31	0.936	90.00	4.58	6.20	22.69	220.00	163	0.229	236.7



Σχ. 1.1 Καμπύλη ειδικής ενέργειας σταθμού Μεσοχώρας (Γλύστρας).



Σχ. 1.2 Καμπύλες ταχύτητας και υδραυλικών απωλειών σήραγγας Γλύστρας.



Σχ. 1.3 Καμπύλες παροχής, ισχύος και μέγιστου μηνιαίου όγκου σήραγγας και υδροηλεκτρικού σταθμού Γλύστρας.

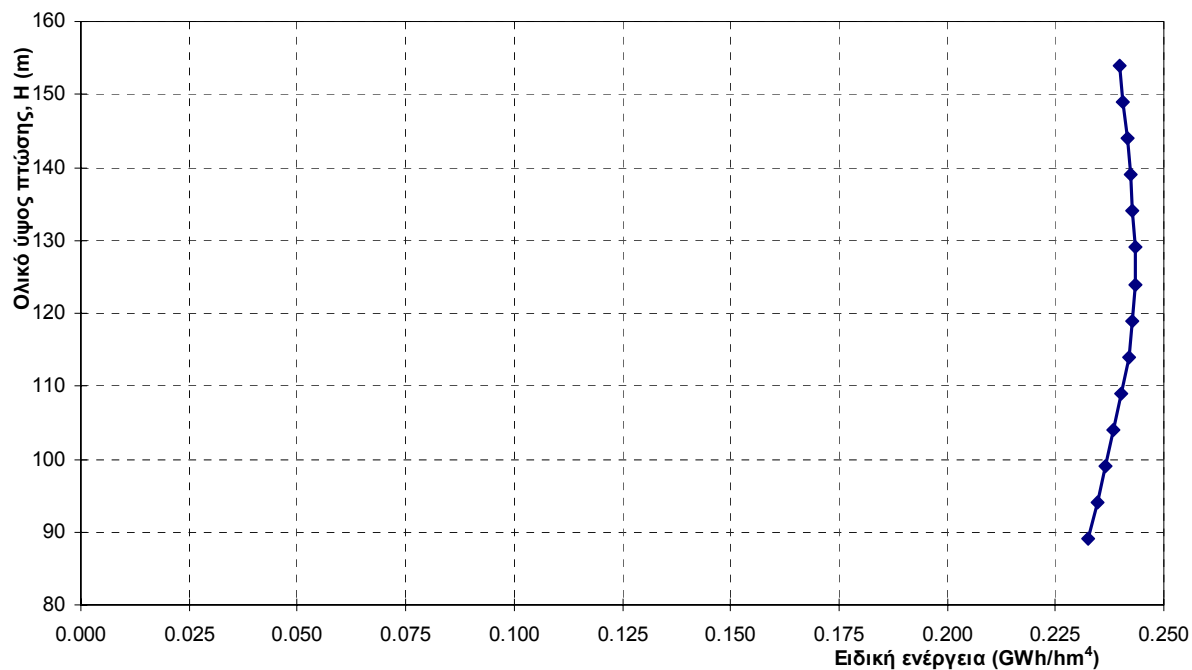
Έργα Συκιάς

Πίν. 1.2

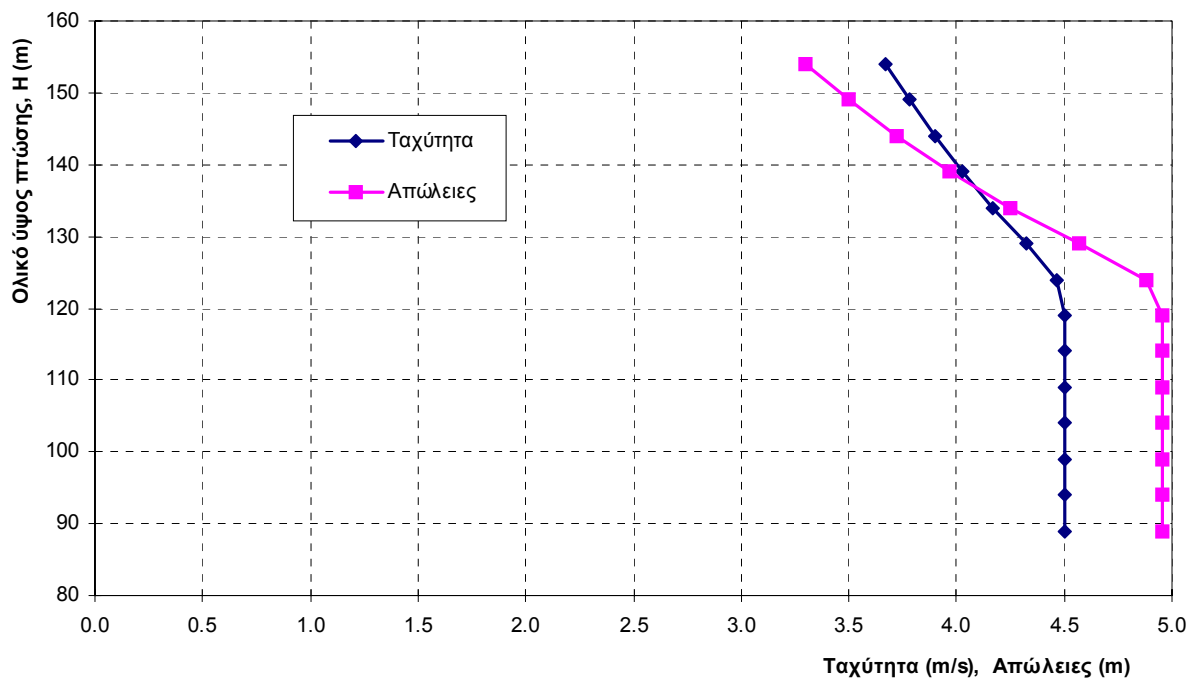
Σήραγγα και Υδροηλεκτρικός Σταθμός Συκιάς

Γεωμετρικά στοιχεία:	Ίσχύς (m)	1000	Απόσταση (m)	6
Υδραυλικά στοιχεία:	Τραχύτητα, k_s (m)	0.00033	Συντ. τοπ. απωλ.	3
Εγκατεστημένη ονομαστική ισχύς (MW)		120	(2 * 60 MW)	

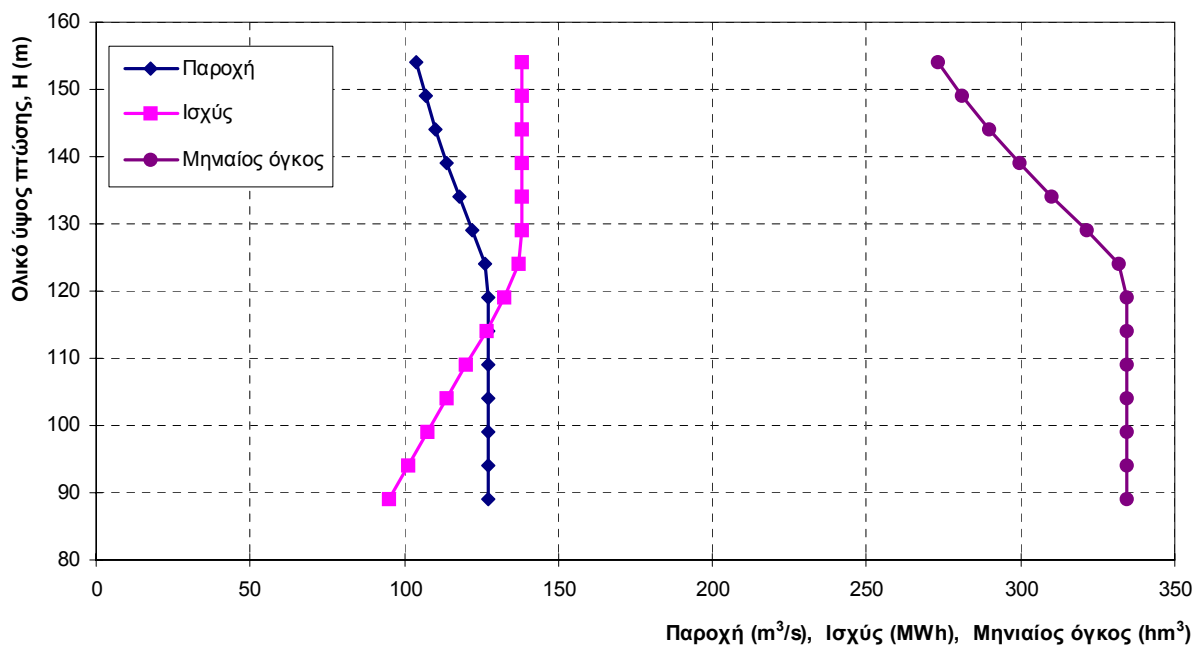
Ειδική ενέργεια (H, m)	Αποδοτικότητα, η	Παροχή (Q, m ³ /s)	Όλο ύψος (V, m/s)	Αποδοτικότητα ούζου (H _r , m)	Όλο ύψος (H, m)	Ισχύς (MW)	Αποδοτικότητα (GWh/hm ⁴)	Όλο ύψος ούζου (hm ³)
84.04	0.904	127.23	4.50	4.96	89.00	95	0.233	334.6
89.04	0.909	127.23	4.50	4.96	94.00	101	0.235	334.6
94.04	0.914	127.23	4.50	4.96	99.00	107	0.237	334.6
99.04	0.919	127.23	4.50	4.96	104.00	114	0.239	334.6
104.04	0.924	127.23	4.50	4.96	109.00	120	0.240	334.6
109.04	0.929	127.23	4.50	4.96	114.00	126	0.242	334.6
114.04	0.930	127.23	4.50	4.96	119.00	132	0.243	334.6
119.12	0.930	126.26	4.47	4.88	124.00	137	0.243	332.0
124.43	0.926	122.16	4.32	4.57	129.00	138	0.243	321.3
129.75	0.920	117.82	4.17	4.25	134.00	138	0.243	309.9
135.03	0.915	113.86	4.03	3.97	139.00	138	0.242	299.4
140.28	0.910	110.24	3.90	3.72	144.00	138	0.241	289.9
145.50	0.905	106.90	3.78	3.50	149.00	138	0.241	281.1
150.70	0.899	103.78	3.67	3.30	154.00	138	0.240	272.9



Σχ. 1.4 Καμπύλη ειδικής ενέργειας σταθμού Συκιάς.



Σχ. 1.5 Καμπύλες ταχύτητας και υδραυλικών απωλειών σήραγγας Συκιάς.



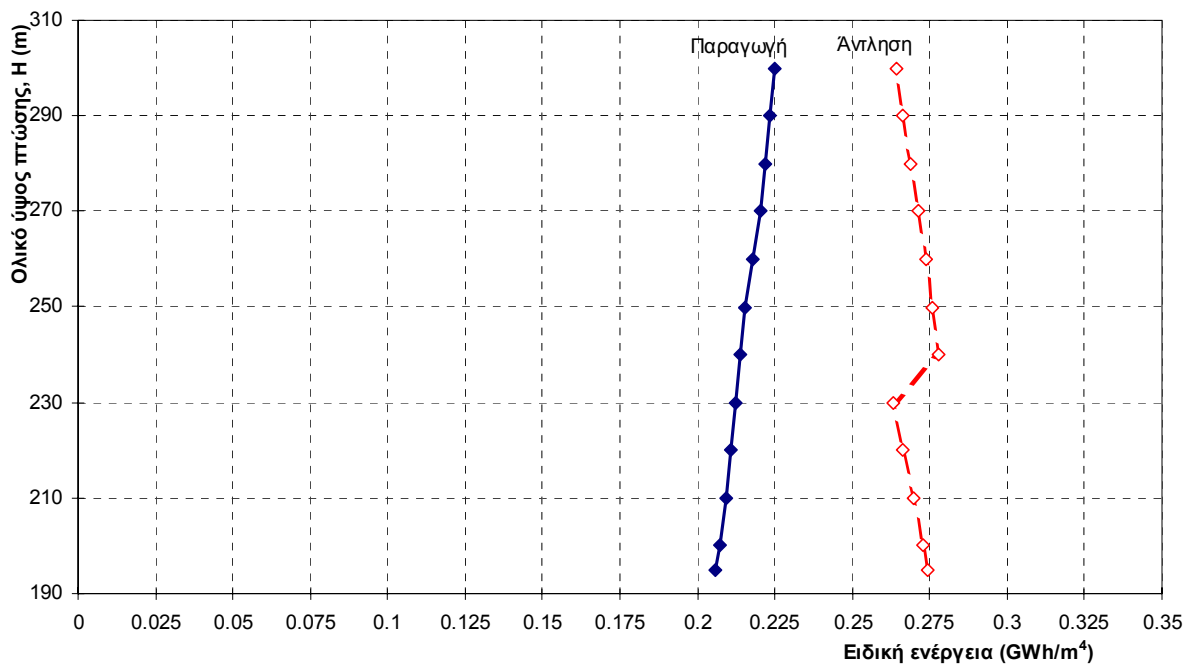
Σχ. 1.6 Καμπύλες παροχής, ισχύος και μέγιστου μηνιαίου όγκου σήραγγας και υδροηλεκτρικού σταθμού Συκιάς.

Έργα Πευκοφύτου

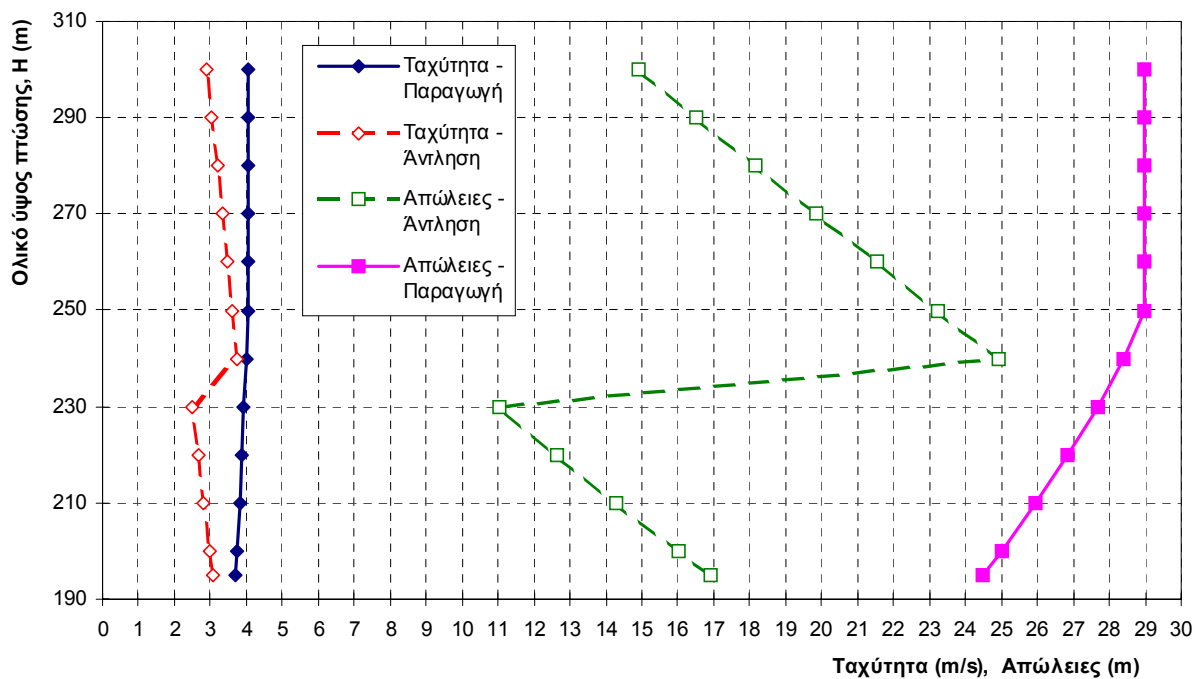
Πίν. 1.3

Σήραγγα Συκιάς - Πευκοφύτου και Υδροηλεκτρικός Σταθμός Πευκοφύτου
Γεωμετρικά στοιχεία: Γ βεί ò (m) 17400 Δ βί δόñĩ ò (m) 6
Υδραυλικά στοιχεία: Τραχύτητα, k_s (m) 0.00033 Συντ. τοπ. απωλ. 3.6
Εγκατεστημένη ονομαστική ισχύς (MW) 260 (2 * 130 MW)

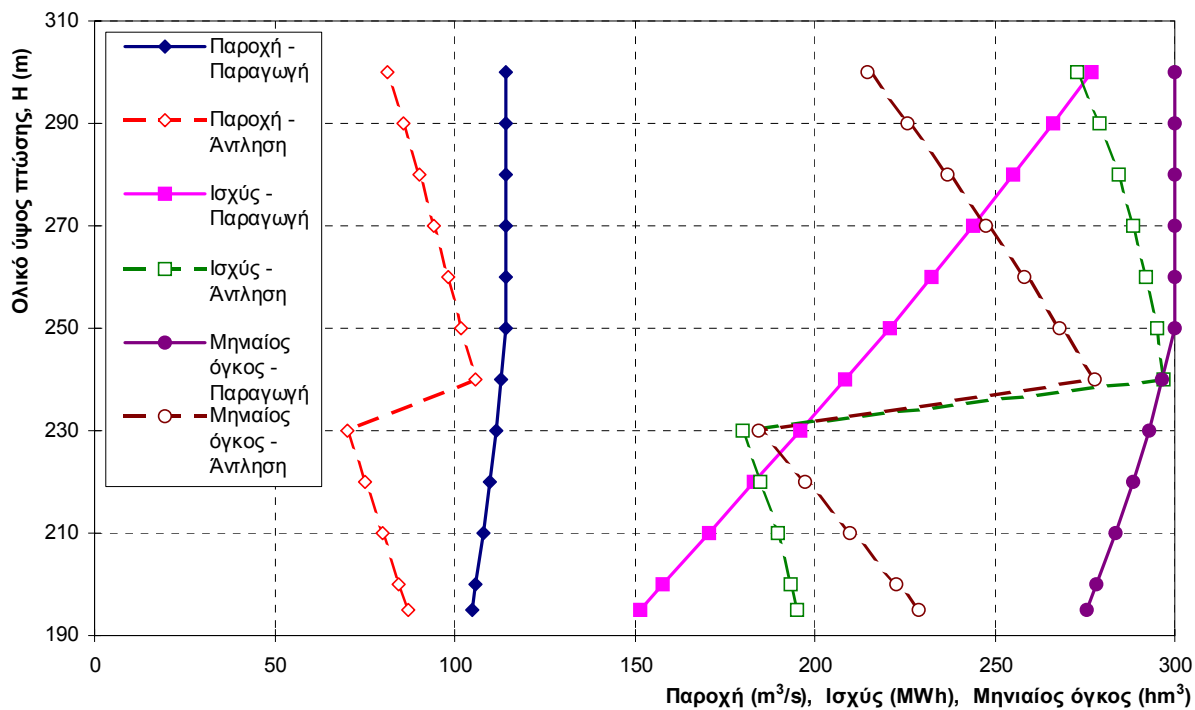
Έσέσñũ γσĩò (H_n , m)	Άδυσίος, ζ	Βάñĩ=β (Q, m ³ /s)	Όά=γόςά (V, m/s)	Αδρεάέò òĩñóñĩò (H_r , m)	Ίέέéũ γσĩò δόςόςò (H, m)	Έó=γò (MW)	Αέέέéβ άĩγñάέά (GWh/hm ⁴)	Ίγέóòò òĩτέάñĩò ύέέìò òñĩγ (hm ³)
Δάñάáũ άβ άĩ γñάέέò								
170.51	0.865	104.72	3.70	24.49	195.00	151	0.206	275.4
175.01	0.869	105.80	3.74	24.99	200.00	158	0.207	278.2
184.04	0.876	107.85	3.81	25.96	210.00	171	0.209	283.6
193.14	0.882	109.70	3.88	26.86	220.00	183	0.211	288.5
202.32	0.886	111.37	3.94	27.68	230.00	196	0.212	292.9
211.61	0.890	112.80	3.99	28.39	240.00	208	0.214	296.7
221.01	0.893	114.00	4.03	28.99	250.00	221	0.215	299.8
231.01	0.900	114.00	4.03	28.99	260.00	232	0.218	299.8
241.01	0.905	114.00	4.03	28.99	270.00	244	0.220	299.8
251.01	0.909	114.00	4.03	28.99	280.00	255	0.222	299.8
261.01	0.911	114.00	4.03	28.99	290.00	266	0.224	299.8
271.01	0.914	114.00	4.03	28.99	300.00	277	0.225	299.8
φ ί δέζός								
211.93	0.926	86.97	3.08	16.93	195.00	195	0.274	228.7
216.03	0.927	84.61	2.99	16.03	200.00	194	0.273	222.5
224.29	0.927	79.84	2.82	14.29	210.00	190	0.270	210.0
232.63	0.925	75.03	2.65	12.63	220.00	185	0.267	197.3
241.06	0.922	70.16	2.48	11.06	230.00	180	0.263	184.5
264.94	0.924	105.68	3.74	24.94	240.00	297	0.278	277.9
273.22	0.927	101.95	3.61	23.22	250.00	295	0.276	268.1
281.53	0.928	98.16	3.47	21.54	260.00	292	0.274	258.1
289.83	0.928	94.18	3.33	19.83	270.00	289	0.271	247.7
298.16	0.926	90.10	3.19	18.16	280.00	284	0.269	236.9
306.51	0.925	85.88	3.04	16.51	290.00	279	0.267	225.8
314.90	0.924	81.55	2.88	14.90	300.00	273	0.264	214.5



Σχ. 1.7 Καμπύλες ειδικής ενέργειας σταθμού Πευκοφύτου.



Σχ. 1.8 Καμπύλες ταχύτητας και υδραυλικών απωλειών σήραγγας εκτροπής Αγελώου.



Σχ. 1.9 Καμπύλες παροχής, ισχύος και μέγιστου μηνιαίου όγκου σήραγγας εκτροπής Αχελώου και υδροηλεκτρικού σταθμού Πευκοφύτου.

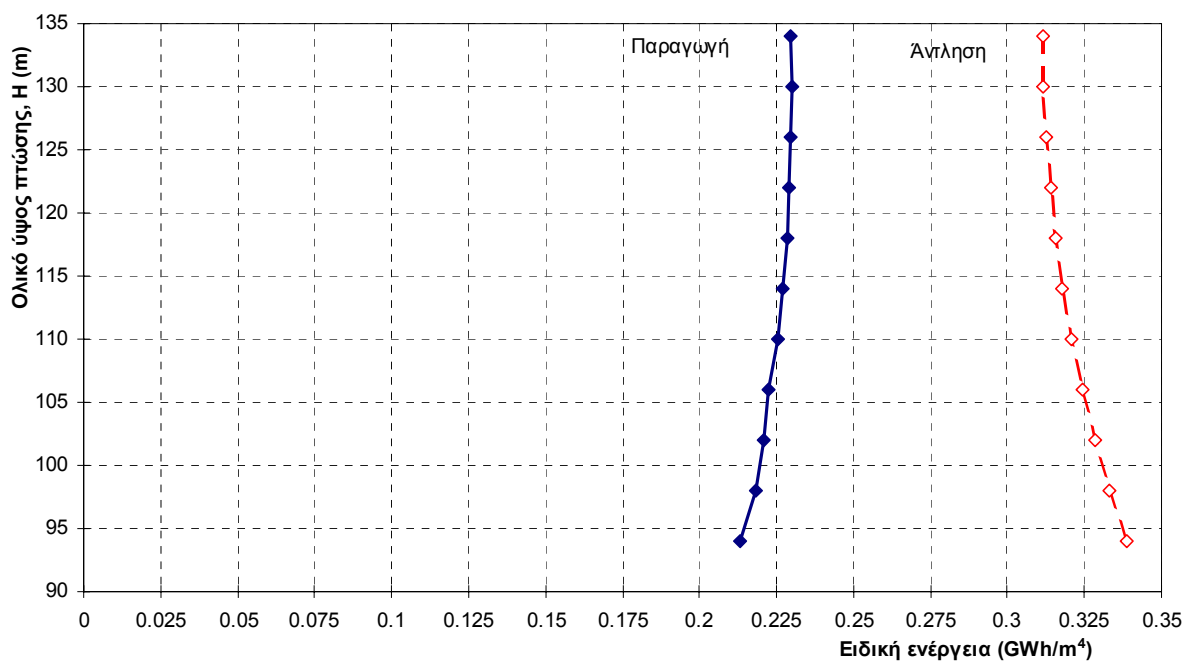
Έργα Μουζακίου

Πίν. 1.4

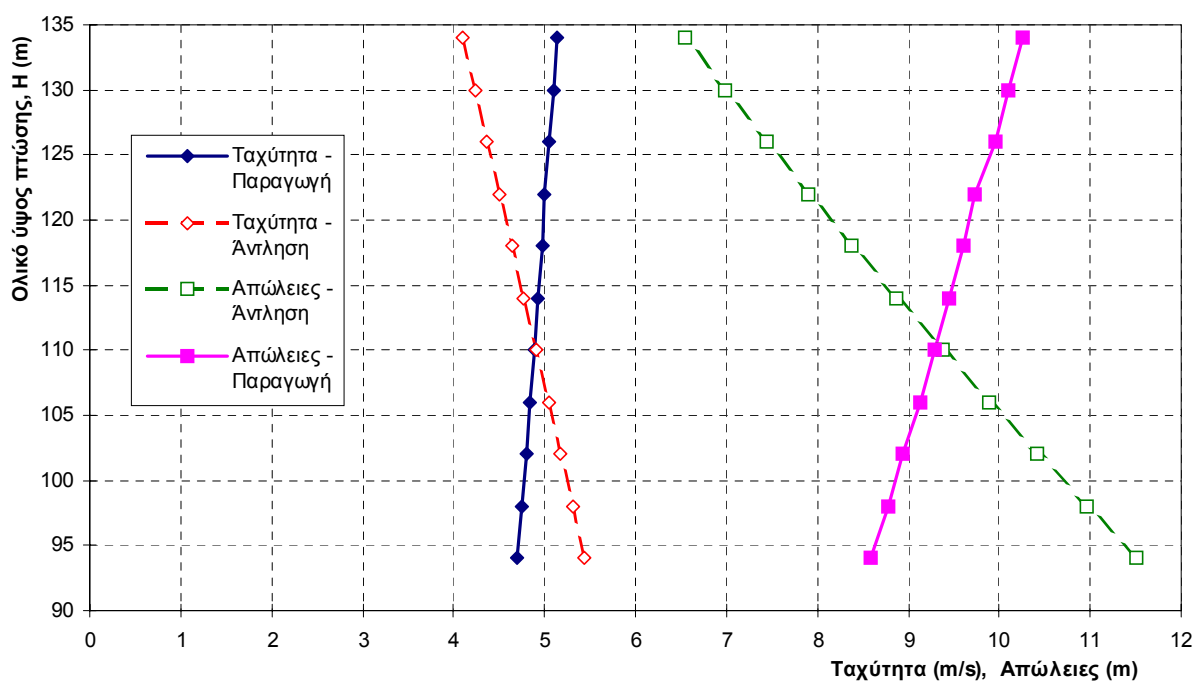
Σήραγγα προσαγωγής και Υδροηλεκτρικός Σταθμός Μουζακίου

Γεωμετρικά στοιχεία:	Ίσχύς (MW)	4000	Απόσταση (m)	8
Υδραυλικά στοιχεία:	Τραχύτητα, k_s (m)	0.00033	Συντ. τοπ. απωλ.	2.5
Εγκατεστημένη ονομαστική ισχύς (MW)		270	(2 * 135 MW)	

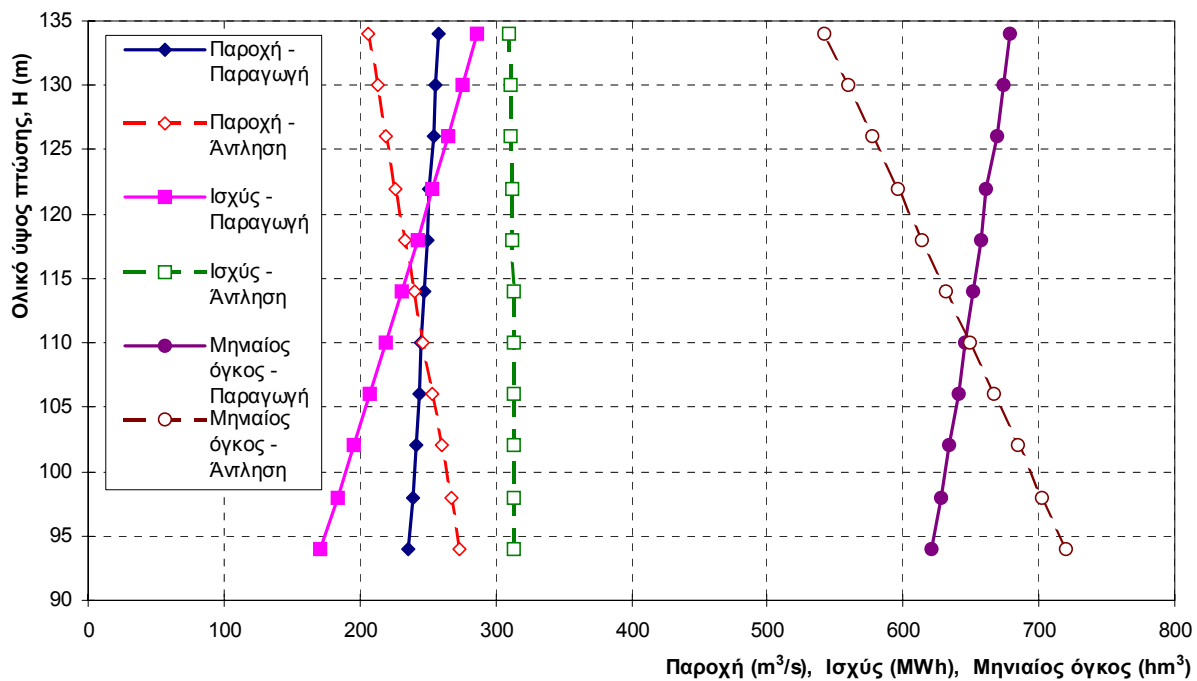
Εύρος ύψος (H _n , m)	Αυτίος, ζ	Πάροδος (Q, m ³ /s)	Όα-ύψος (V, m/s)	Απόσπασμα οίδησης (h _r , m)	Εύρος ύψος όβριος (H, m)	Εξ-ύς (MW)	Απόσπασμα ατμής (GWh/hm ⁴)	Υπόσπασμα οίδησης (hm ³)*
Διάγραμμα απ' ατμής								
85.42	0.861	236.12	4.70	8.59	94.00	170	0.213	620.9
89.23	0.879	238.70	4.75	8.77	98.00	184	0.218	627.7
93.06	0.888	241.04	4.80	8.95	102.00	195	0.221	633.9
96.86	0.894	243.58	4.85	9.13	106.00	207	0.223	640.6
100.71	0.903	245.61	4.89	9.29	110.00	219	0.225	645.9
104.55	0.909	247.74	4.93	9.45	114.00	231	0.227	651.5
108.38	0.913	249.93	4.97	9.62	118.00	243	0.228	657.3
112.27	0.914	251.37	5.00	9.73	122.00	253	0.229	661.1
116.05	0.915	254.27	5.06	9.95	126.00	265	0.230	668.7
119.90	0.915	256.20	5.10	10.10	130.00	276	0.230	673.8
123.75	0.913	258.12	5.14	10.25	134.00	286	0.230	678.8
φίσηρος								
105.51	0.903	273.52	5.44	11.51	94.00	313	0.339	719.3
108.96	0.910	266.87	5.31	10.96	98.00	314	0.333	701.8
112.42	0.915	260.19	5.18	10.42	102.00	314	0.328	684.3
115.89	0.918	253.50	5.04	9.89	106.00	314	0.324	666.6
119.38	0.921	246.78	4.91	9.37	110.00	314	0.321	649.0
122.87	0.924	240.03	4.78	8.87	114.00	313	0.318	631.2
126.38	0.925	233.27	4.64	8.38	118.00	313	0.316	613.5
129.90	0.924	226.48	4.51	7.90	122.00	312	0.314	595.6
133.44	0.923	219.66	4.37	7.43	126.00	312	0.313	577.7
136.98	0.921	212.82	4.23	6.98	130.00	311	0.312	559.7
140.54	0.918	205.96	4.10	6.54	134.00	309	0.311	541.6



Σχ. 1.10 Καμπύλες ειδικής ενέργειας σταθμού Μουζακίου.



Σχ. 1.11 Καμπύλες ταχύτητας και υδραυλικών απωλειών σήραγγας Μουζακίου.



Σχ. 1.12 Καμπύλες παροχής, ισχύος και μέγιστου μηνιαίου όγκου σήραγγας και υδροηλεκτρικού σταθμού Μουζακίου.

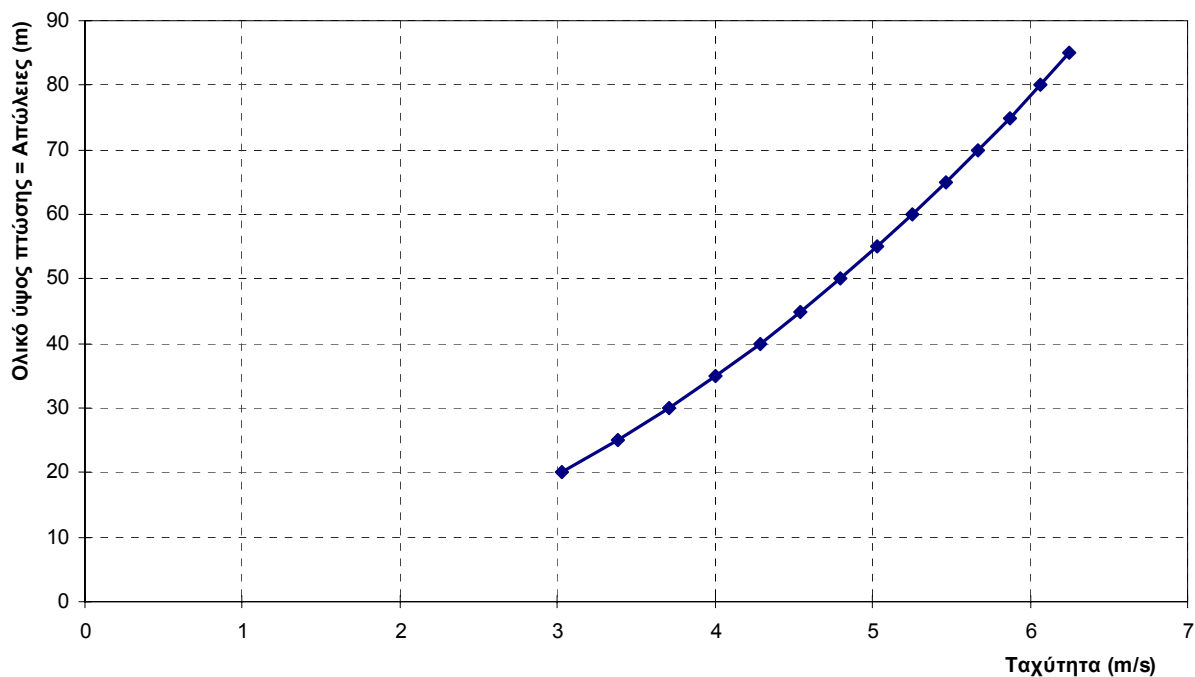
Συνδετήρια σήραγγα Πύλης - Μουζακίου

Πίν. 1.5

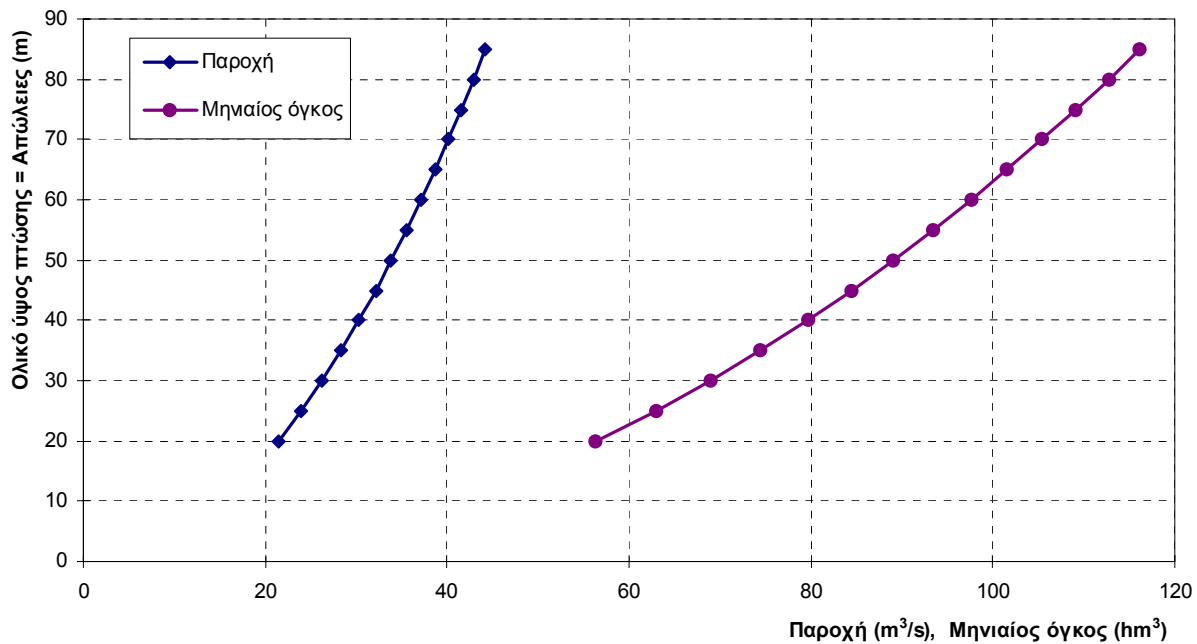
Συνδετήρια Σήραγγα Πύλης - Μουζακίου

Γεωμετρικά στοιχεία	Ίσχύς \dot{W} (m)	8000
Υδραυλικά στοιχεία	Αριθμός αγωγών \dot{W} (m)	3
	Τραχύτητα, k_s (m)	0.001
	Συντ. τοπ. απωλ.	2

Παροχή Q (m^3/s)	Όα-γόςά V (m/s)	Αδρέσάο οϊπόδισιό (hr, m)	Ίγασόοιο ίςέσισιό ύσείο ίσνίγ (hm^3)
21.40	3.03	20.00	56.3
23.93	3.39	25.00	62.9
26.22	3.71	30.00	69.0
28.33	4.01	35.00	74.5
30.29	4.28	40.00	79.6
32.13	4.54	45.00	84.5
33.87	4.79	50.00	89.1
35.52	5.03	55.00	93.4
37.11	5.25	60.00	97.6
38.62	5.46	65.00	101.6
40.08	5.67	70.00	105.4
41.49	5.87	75.00	109.1
42.86	6.06	80.00	112.7
44.18	6.25	85.00	116.2

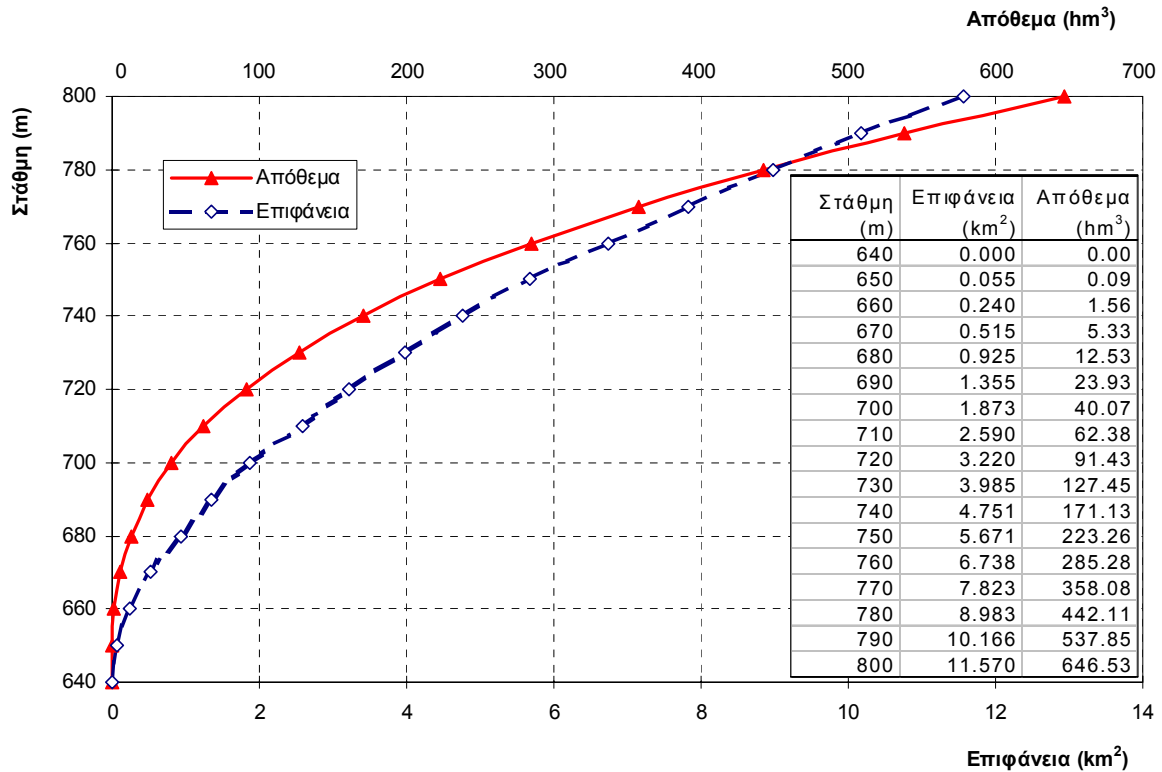


Σχ. 1.13 Καμπύλες ταχύτητας και υδραυλικών απωλειών συνδετήριας σήραγγας Πύλης-Μουζακίου.

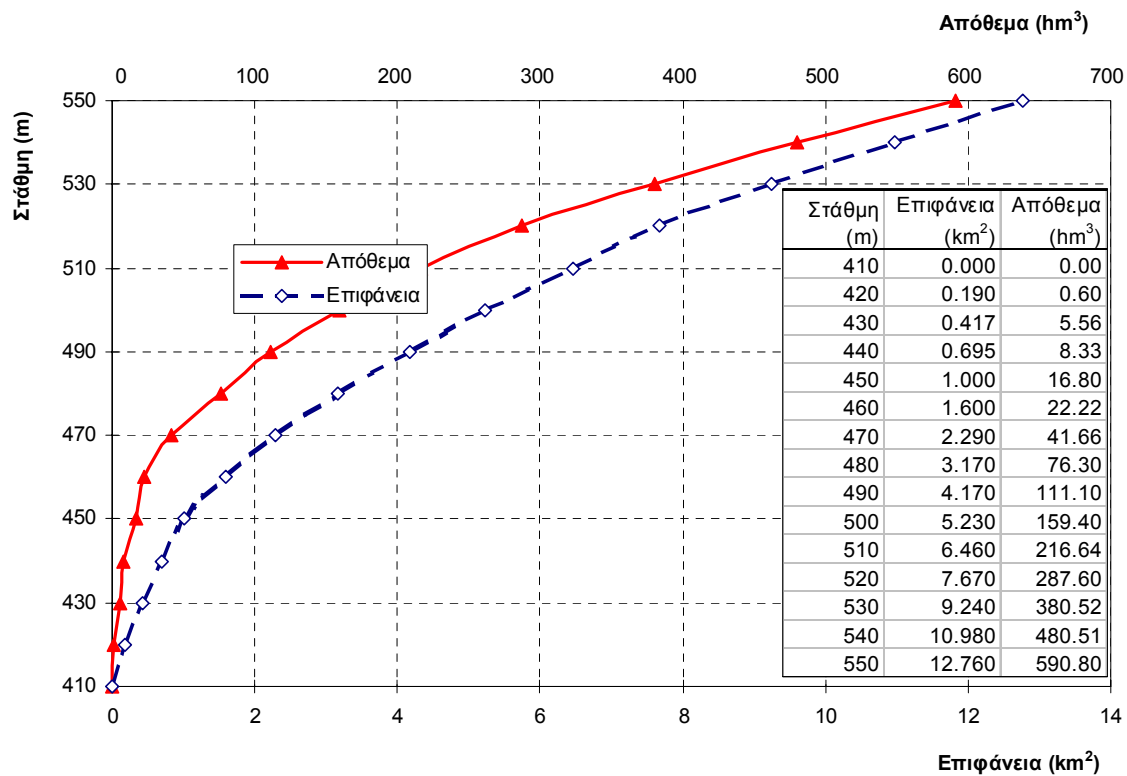


Σχ. 1.14 Καμπύλες παροχής και μέγιστου μηνιαίου όγκου συνδετήριας σήραγγας Πύλης-Μουζακίου.

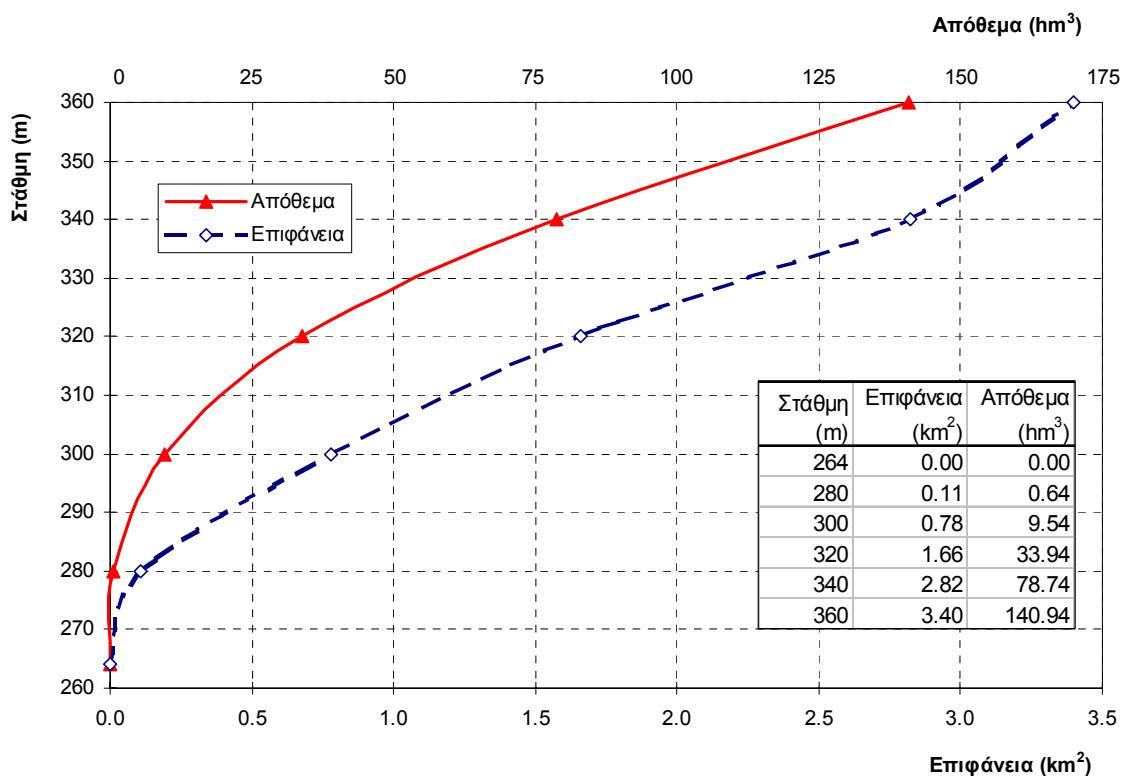
Ένθετο 2: Χαρακτηριστικές καμπύλες ταμιευτήρων



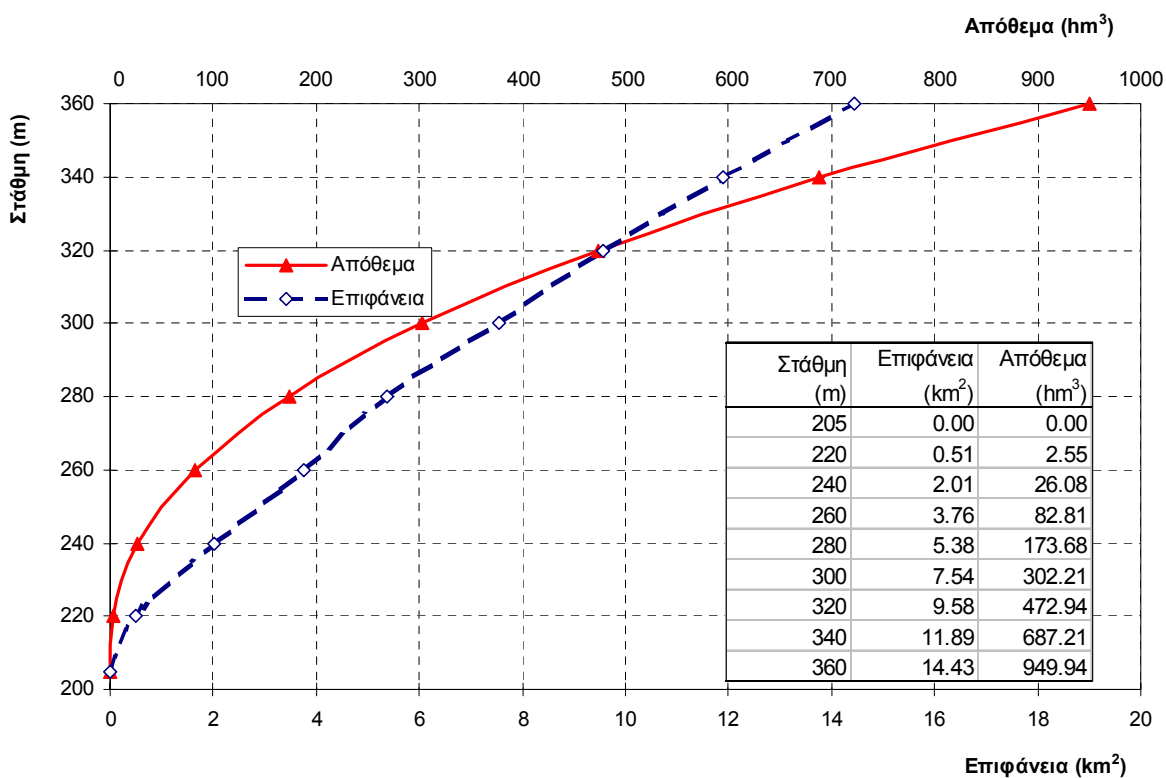
Σχ. 2.1 Καμπύλες στάθμης-αποθέματος και στάθμης-επιφάνειας ταμιευτήρα Μεσοχώρας.



Σχ. 2.2 Καμπύλες στάθμης-αποθέματος και στάθμης-επιφάνειας ταμιευτήρα Συκιάς.



Σχ. 2.3 Καμπύλες στάθμης-αποθέματος και στάθμης-επιφάνειας ταμιευτήρα Πύλης.



Σχ. 2.4 Καμπύλες στάθμης-αποθέματος και στάθμης-επιφάνειας ταμιευτήρα Μουζακίου.

Ένθετο 3: Υπολογισμοί λειτουργίας συστήματος

Τα αναλυτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος (χρονοσειρές εισόδων και εξόδων ταμιευτήρων και χρονοσειρές παραγόμενης και καταναλισκόμενης για άντληση ενέργειας) παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν για όλα τα σχήματα έργων και όλες τις εφαρμογές του μοντέλου. Η πινακοποίηση έχει γίνει κατά ταμιευτήρα. Έτσι οι χρονοσειρές εκροών και ενέργειας στο Πευκόφυτο περιέχονται στους πίνακες του ταμιευτήρα Συκιάς, ενώ οι χρονοσειρές εκροών από τη συνδετήρια σήραγγα Πύλης-Μουζακίου περιέχονται στους πίνακες του ταμιευτήρα Πύλης.

Ένθετο 4: Διαγράμματα εξέλιξης συστήματος

Επεξήγηση: Για κάθε σχήμα έργων και κάθε εφαρμογή του μοντέλου δίνονται τα ακόλουθα 12 διαγράμματα με την αντίστοιχη αρίθμηση:

1. Καμπύλες διάρκειας ενέργειας.
2. Καμπύλες διάρκειας εκροών και αντλήσεων.
3. Μηνιαία διακύμανση εκροών και αποθέματος Μεσοχώρας.
4. Μηνιαία διακύμανση εκροών και αποθέματος Συκιάς.
5. Μηνιαία διακύμανση εκροών και αποθέματος Πύλης.
6. Μηνιαία διακύμανση εκροών και αποθέματος Μουζακίου.
7. Μηνιαία διακύμανση στάθμης του συνόλου των ταμιευτήρων.
8. Μηνιαία διακύμανση αποθέματος του συνόλου των ταμιευτήρων.
9. Μηνιαία διακύμανση παραγωγής ενέργειας του συνόλου των ταμιευτήρων.
10. Μηνιαία διακύμανση κατανάλωσης ενέργειας για άντληση του συνόλου των ταμιευτήρων.
11. Μηνιαία διακύμανση διακινούμενων καθαρών όγκων νερού στις θέσεις Μεσοχώρα, Συκιά και Πευκόφυτο.
12. Μηνιαία διακύμανση διακινούμενων καθαρών όγκων νερού στις θέσεις Πύλη (κατάντη και εκτροπή προς Μουζάκι) και Μουζάκι.

Όταν στο σχήμα έργων που εξετάζεται δεν συμπεριλαμβάνεται κάποιο έργο, τότε παραλείπονται τα διαγράμματα που αναφέρονται στο έργο αυτό, χωρίς όμως να αλλάζει ο τρόπος αρίθμησης των διαγραμμάτων.

Η έκθεση αυτή συντάχθηκε στα πλαίσια της παροχής υπηρεσιών συμβούλου για την υποβοήθηση του ΥΠΕΧΩΔΕ (ΕΥΔΕ Αχελώου) στην προσαρμογή των μελετών εκτροπής του Αχελώου προς τη Θεσσαλία, από το Σύμβουλο Υδρολογίας Δ. Κουτσογιάννη, Δρ Πολιτικό Μηχανικό.

Αθήνα, Οκτώβριος 1996

Για τη σύνταξη της μελέτης

Δ. Κουτσογιάννης