

**ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΕΡΓΟ ΣΤΟ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑ:
ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΕΥΗΝΟΥ**

Δημήτρης Κουτσογιάννης

Τομέας Υδατικών Πόρων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο,
Ηρώων Πολυτεχνείου 5, 157 80 Ζωγράφου

Περίληψη

Σήμερα, αρκετά από τα μεγάλα υδραυλικά έργα αποτελούν κρίκους σε ευρύτερες αλυσίδες έργων (υδροσυστήματα) που συνεργαζόμενοι εξυπηρετούν από κοινού έναν ή περισσότερους σκοπούς. Τόσο ο σχεδιασμός, όσο και η λειτουργία κάθε έργου προκύπτει από τη συνολική μελέτη του υδροσυστήματος, ενώ οι παραδοσιακές μεθοδολογίες σχεδιασμού που βασίζονταν στην απομόνωση και την ανεξάρτητη μελέτη των επιμέρους έργων δεν είναι επαρκείς. Τα έργα του Ευήνου (φράγμα, ταμιευτήρας, σήραγγα), λόγω της ένταξής τους στο ευρύτερο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, αποτελούν μια τυπική περίπτωση όπου ο υδρολογικός σχεδιασμός έγινε εξ αρχής με τη λογική του υδροσυστήματος. Στην εργασία αυτή συνοψίζονται οι γενικές θεωρήσεις και οι επί μέρους τεχνικές που ακολουθήθηκαν στον υδρολογικό σχεδιασμό των έργων Ευήνου, ενώ γίνονται και ορισμένες συγκρίσεις με το αντίστοιχης πολυπλοκότητας πρόβλημα του σχεδιασμού των έργων εκτροπής Αχελώου.

**FROM THE SINGLE HYDRAULIC WORK TO HYDROSYSTEM:
THE CASE OF THE HYDROLOGIC DESIGN OF THE EVINOS WORKS**

Demetris Koutsoyiannis

Department of Water Resources, Faculty of Civil Engineering, National Technical
University, Heroon Polytechniou 5, 157 80 Zografou

Summary

In the present, many of the major hydraulic works constitute links in wider chains of constructions (hydrosystems) that collaborate to serve one or more purposes. Both design and operation of each such individual work results from the total study of the entire hydrosystem, whereas traditional methodologies, based on the isolation and independent study of partial works are not sufficient. The Evinos works (dam, reservoir, connection tunnel), due to their incorporation in the wider water supply system of Athens, are a typical case where the hydrologic design was performed according to the hydrosystem concept. In this paper, the general considerations and specific techniques followed in the hydrologic design of the Evinos works are summarised, while comparisons with the relatively similar problem of the Acheloos diversion are made.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι παραδοσιακές μεθοδολογίες σχεδιασμού υδραυλικών έργων βασίζονταν στην απομόνωση των διαφορετικών έργων ή και επιμέρους στοιχείων τους και την ανεξάρτητη μελέτη του καθενός απ' αυτά. Σήμερα, αρκετά από τα μεγάλα υδραυλικά έργα αποτελούν κρίκους σε ευρύτερες αλυσίδες έργων που συνεργαζόμενοι εξυπηρετούν από κοινού έναν ή περισσότερους σκοπούς. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι παραδοσιακές μέθοδοι σχεδιασμού δεν είναι οι καταλληλότερες. Αντίθετα, είναι πιο ορθολογική η θεώρηση κάθε επί μέρους έργου ως συνιστώσας ενός ευρύτερου *υδροσυστήματος*, δηλαδή ενός συστήματος που αποτελείται από φυσικά υδάτινα σώματα και συνεργαζόμενα τεχνικά έργα μεγάλης κλίμακας (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος [7], σ. 4· Mays and Tung [11], σ. 3). Τόσο ο σχεδιασμός, όσο και η λειτουργία του κάθε έργου προκύπτει από τη συνολική μελέτη του υδροσυστήματος. Εξυπακούεται ότι η τελευταία προσέγγιση έχει πολύ μεγαλύτερες δυσκολίες και προϋποθέτει τη χρήση πολυμεταβλητών μοντέλων προσομοίωσης ή/και βελτιστοποίησης.

Τα έργα στον Εύηνο (φράγμα, ταμιευτήρας, συνδετήρια σήραγγα), αποτελούν μια τυπική περίπτωση όπου οι παραδοσιακές μέθοδοι υδρολογικού σχεδιασμού είναι ακατάλληλες: Η κοιλάδα του Άνω Ευήνου (θέση Άγιος Δημήτριος) δεν προσφέρονταν για την κατασκευή μεγάλης χωρητικότητας ταμιευτήρα, ικανού να ρυθμίσει τη σχετικά μεγάλη απορροή του ποταμού. Η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα Αγίου Δημητρίου μόλις μπορούσε να ξεπεράσει τα 100 hm³ ενώ η μέση ετήσια εισροή στον ταμιευτήρα ξεπερνά τα 300 hm³. Όμως, ο ήδη μεγάλος ρυθμιστικός όγκος του ταμιευτήρα Μόρνου (643 hm³, για μέση ετήσια εισροή ίδια περίπου με αυτήν του Ευήνου) μπορούσε να αξιοποιηθεί και για τη ρύθμιση της απορροής του Ευήνου. Εξ άλλου και τα δύο αυτά έργα ανήκουν σε ένα ευρύτερο υδροσύστημα (Σχ. 1), το σύστημα υδροδότησης της Αθήνας, που περιλαμβάνει και άλλους ταμιευτήρες (Υλίκης, Μαραθώνα) καθώς και σημαντικά υδραγωγεία, τα χαρακτηριστικά των οποίων επηρεάζουν τη λειτουργία του υδροσυστήματος. Έτσι, ο υδρολογικός σχεδιασμός των έργων Ευήνου έγινε εξ αρχής με τη λογική του υδροσυστήματος, ενώ χρειάστηκε να αναπτυχθούν και ορισμένες καινοτόμες τεχνικές για την αντιμετώπιση διάφορων προβλημάτων, τα οποία συνδέονται με την εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία που θα έπρεπε να προσφέρει το υδροσύστημα. Οι γενικές θεωρήσεις και οι επιμέρους τεχνικές που ακολουθήθηκαν στον υδρολογικό σχεδιασμό των έργων Ευήνου συνοψίζονται στο κεφάλαιο 2.

Αντίστοιχης πολυπλοκότητας είναι και το πρόβλημα του υδρολογικού σχεδιασμού των έργων εκτροπής Αχελώου, το οποίο δεν έχει κλείσει ακόμη. Το υδροσύστημα των έργων κεφαλής της εκτροπής περιλαμβάνει τέσσερις ταμιευτήρες, αγωγούς διασύνδεσης και σταθμούς παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας. Μερικά στοιχεία από την πρόσφατη επαναθεώρηση του σχεδιασμού ορισμένων βασικών συνιστωσών του υδροσυστήματος παρουσιάζονται για λόγους σύγκρισης στο κεφάλαιο 3.

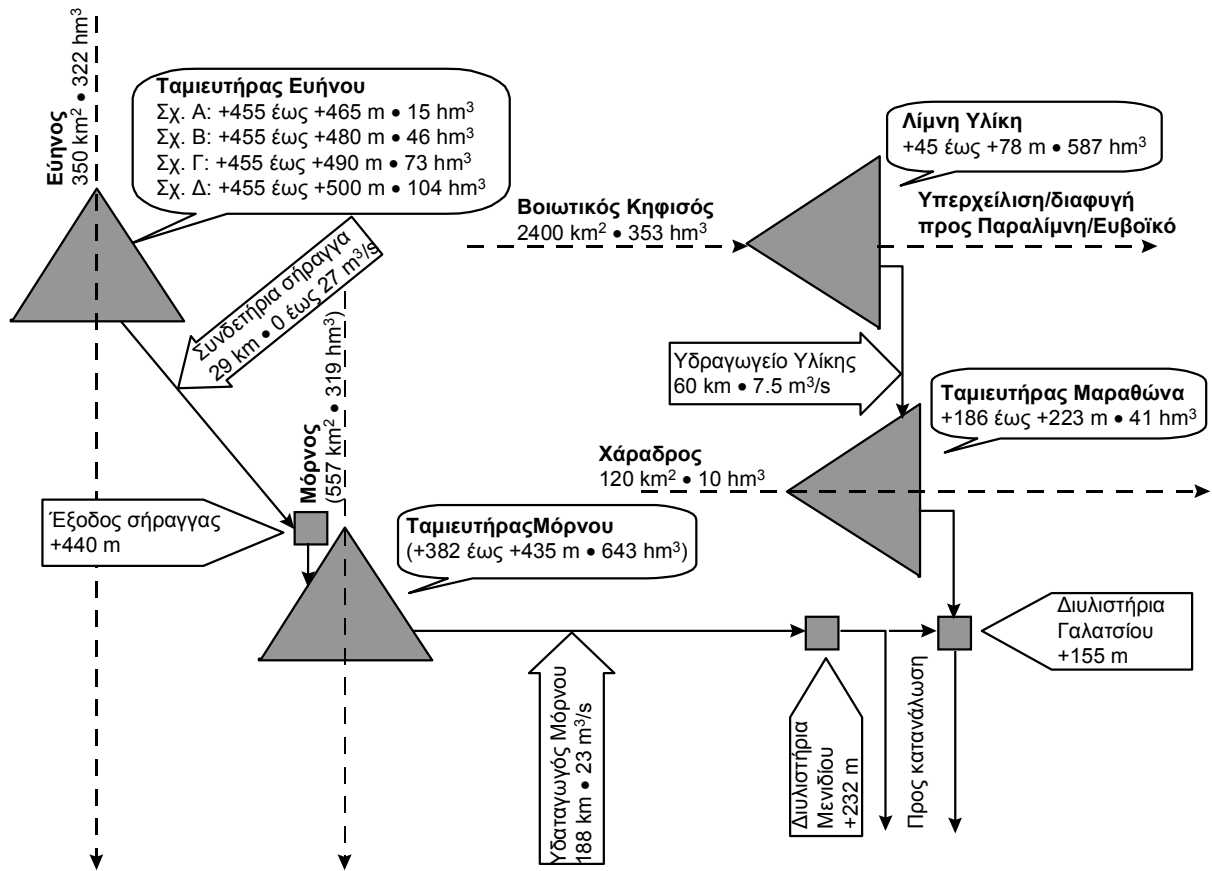
Το κύριο ερώτημα που τίθεται σε ένα συνέδριο των τμημάτων πολιτικών μηχανικών, αναφορικά με το εξεταζόμενο ζήτημα, εντοπίζεται στο κατά πόσον οι σημερινές απαιτήσεις της μελέτης υδροσυστημάτων, όπως τα παραπάνω, καλύπτονται από την παρεχόμενη εκπαίδευση. Το ερώτημα αυτό επιχειρείται να απαντηθεί στο κεφάλαιο 4, με βάση τα δεδομένα του νέου προγράμματος σπουδών πολιτικού μηχανικού του ΕΜΠ.

2. Ο ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΕΥΗΝΟΥ

2.1 Γενική περιγραφή των έργων

Από τα μέσα του 1990 ξεκίνησε με επείγοντα ρυθμό η μελέτη ενίσχυσης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας από τη λεκάνη του Ευήνου. Είχε προηγηθεί η εκπόνηση ερευνητικού προγράμματος του ΕΜΠ (Κουτσογιάννης κ.ά. [8]) που διέγινωσε την εξαιρετικά κρίσιμη κατάσταση του τότε υδροδοτικού συστήματος (λόγω της ξηρασίας των προηγούμενων ετών αλλά και της μη ορθής διαχείρισης) και πρότεινε λύσεις ενίσχυσής του. Μετά από διερευνήσεις σύντομες χρονικά αλλά εκτεταμένες σε εξεταστές εναλλακτικές λύσεις, οι μελέτες κατέληξαν στην προώθηση της λύσης κατασκευής φράγματος στη θέση Άγιος Δημήτριος του Ευήνου και σήραγγας διασύνδεσης του ταμιευτήρα Ευήνου με τον ταμιευτήρα Μόρνου. Η μελέτη αυτών των έργων (σε βαθμό προμελέτης) ξεκίνησε στα τέλη του 1990. Με την προσθήκη των έργων Ευήνου, το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας διαμορφώνεται όπως

χαρακτηριστικά φαίνεται στο Σχ. 1, το οποίο απεικονίζει τα κύρια έργα αξιοποίησης επιφανειακών υδατικών πόρων και τις κύριες διαδρομές νερού.



Σχ. 1 Απλουστευμένη σχηματική παράσταση του υδροσυστήματος υδροδότησης της Αθήνας με τα χαρακτηριστικά μεγέθη των συνιστωσών του. Για τους ποταμούς δίνονται η έκταση της λεκάνης απορροής ανάντη του φράγματος και η μέση ετήσια φυσική εισροή στον ταμιευτήρα. Για τους ταμιευτήρες δίνονται οι χαρακτηριστικές στάθμες λειτουργίας και οι ωφέλιμες χωρητικότητες (ειδικά για τον Εύηνο δίνονται εναλλακτικά μεγέθη για τα σχήματα έργων που μελετήθηκαν). Για τους υδατοαγωγούς δίνονται τα μήκη και οι παροχευτικότητες. Για τα υπόλοιπα έργα δίνονται οι χαρακτηριστικές στάθμες. Στο σχήμα δεν περιλαμβάνονται τα έργα αξιοποίησης υπόγειων υδατικών πόρων και τα ενωτικά εξωτερικά υδραγωγεία.

2.2 Παραδοσιακές μέθοδοι υδρολογικού σχεδιασμού

Ο υδρολογικός σχεδιασμός των έργων του Ευήνου που αντιμετωπίστηκε στα πλαίσια της προμελέτης των έργων (Κουτσογιάννης κ.ά. [4]), είχε τρεις στόχους: (α) τη διαστασιολόγηση του ταμιευτήρα, (β) τη μελέτη πρόσχωσης του ταμιευτήρα και εκτίμηση του νεκρού όγκου του, και (γ) τη διαστασιολόγηση των έργων ασφάλειας του φράγματος. Σε ότι αφορά τους στόχους (β) και (γ) ο ταμιευτήρας Ευήνου μπορούσε να εξεταστεί μεμονωμένα, με τις τυπικές μεθόδους, αφού τα μεγέθη που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς δεν επηρεάζονται από την ένταξη του ταμιευτήρα στο υδροσύστημα. Αντίθετα, ο στόχος (α) δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί από τις παραδοσιακές μεθοδολογίες σχεδιασμού. Ουσιαστικά, ο στόχος αυτός απαιτεί την εκτίμηση του πρόσθετου μέγιστου απολήψιμου όγκου νερού σε ετήσια βάση από τον ταμιευτήρα Ευήνου σε σχέση με τις δυνατότητες του υφιστάμενου υδροδοτικού συστήματος Μόρνου-Υλικής, και αυτό για διάφορα εναλλακτικά ύψη φράγματος ή αλλιώς για διάφορες τιμές της ωφέλιμης χωρητικότητας του ταμιευτήρα (βλ. Σχ. 1). Προτού όμως γίνει αποδεκτή η λογική του υδροσυστήματος για την υλοποίηση του στόχου (α), επιχειρήθηκε να αναχθεί το πρόβλημα σε απλή περίπτωση ενός μεμονωμένου ταμιευτήρα. Συγκεκριμένα εξετάστηκαν οι ακόλουθοι τρεις απλουστευμένοι τρόποι αντιμετώπισης του σχεδιασμού του ταμιευτήρα, που βρέθηκε να μην είναι κατάλληλοι και απορρίφθηκαν:

1. *Μεμονωμένη εκμετάλλευση του Ευήνου, με ανεξάρτητη υπερετήσια ρύθμιση του.* Η αντιμετώπιση αυτή είναι η απλούστερη δυνατή, αλλά και η περισσότερο δυσμενής. Η μικρή χωρητικότητα του ταμιευ-

τήρα Ευήνου θα οδηγούσε σε πολύ μικρό ποσοστό ρύθμισής του, και έτσι η ετήσια απόληψη θα ήταν μικρότερη του όγκου του ταμιευτήρα, πράγμα απολύτως ανακριβές, όπως θα φανεί παρακάτω.

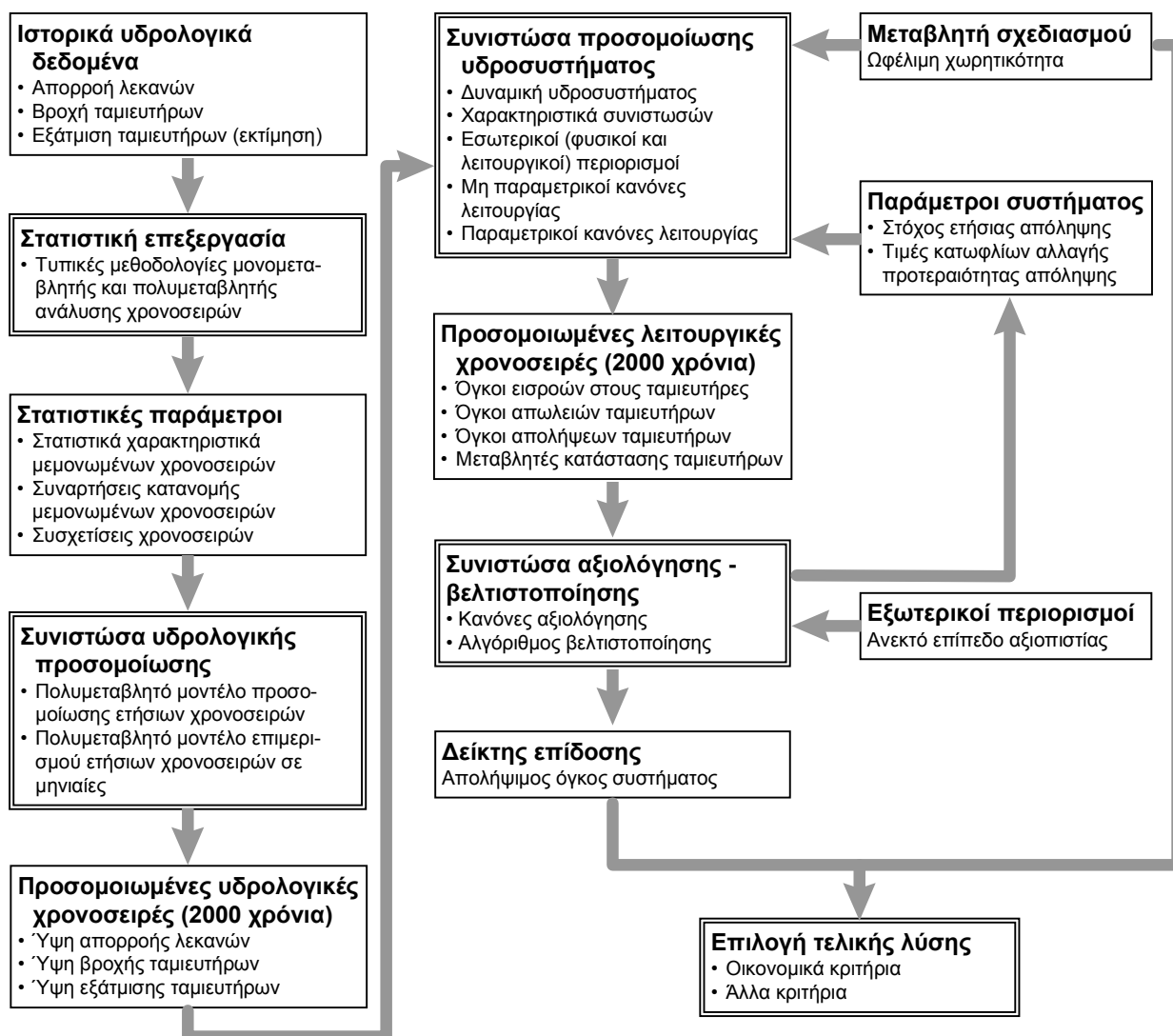
2. *Απόληψη από τον Ευήνο χωρίς ρύθμιση, με ρυθμό ίσο με αυτό που επιτρέπει η παροχτευτικότητα της σήραγγας.* Η αντιμετώπιση αυτή έχει δύο προβλήματα: (α) θεωρεί την χωρητικότητα του Ευήνου μόνο ως όγκο ανάσχεσης και όχι αποθήκευσης, και (β) υπονοεί άπειρη χωρητικότητα του ταμιευτήρα Μόρνου, δεδομένου ότι δεν αντιμετωπίζει το ενδεχόμενο υπερχειλίσεων από το Μόρνο. Είναι προφανές ότι σε έτη υψηλής υδροφορίας θα παρατηρούνται μεγάλες εισροές και στους δύο ταμιευτήρες, οπότε το ενδεχόμενο υπερχειλίσεων αποκτά σημαντική πιθανότητα.
3. *Θεώρηση ισοδύναμου ταμιευτήρα.* Σύμφωνα με την απλοποίηση αυτή το σύστημα Μόρνου-Ευήνου αντικαθίσταται από έναν ισοδύναμο ταμιευτήρα με ωφέλιμη χωρητικότητα ίση με το άθροισμα των χωρητικοτήτων των δύο ταμιευτήρων και εισροές επίσης ίσες με το άθροισμα των επιμέρους εισροών. Η θεώρηση αυτή, όμως, προϋποθέτει ότι η παροχτευτικότητα της σήραγγας Ευήνου-Μόρνου δεν είναι περιοριστική για καμιά τιμή της μηνιαίας εισροής του ταμιευτήρα Ευήνου, κάτι που απαιτεί εξαιρετικά μεγάλες τιμές της παροχτευτικότητας. Επί πλέον εισάγονται αναπόφευκτα ανακρίβειες στη λειτουργία του ισοδύναμου ταμιευτήρα.

2.3 Ο υδρολογικός σχεδιασμός με τη λογική του υδροσυστήματος

Μετά την απόρριψη των απλουστευτικών μεθόδων που αναφέρθηκαν πιο πάνω, ο σχεδιασμός ως προς το στόχο (α) (υδρολογικός σχεδιασμός ταμιευτήρα) έγινε με τη λογική του υδροσυστήματος. Η λογική αυτή επιτρέπει την προσομοίωση του συστήματος για διαφορετικές διατάξεις έργων, διαφορετικά σενάρια εισροών στους ταμιευτήρες και διαφορετικούς κανόνες λειτουργίας του συστήματος και την εύρεση εκείνων των συνδυασμών που βελτιστοποιούν το δείκτη επίδοσης του συστήματος ικανοποιώντας παράλληλα ορισμένους εξωτερικούς περιορισμούς. Το όλο πλαίσιο μελέτης του υδροσυστήματος φαίνεται στο Σχ. 2, ενώ παρακάτω επεξηγούνται συνοπτικά τα κύρια στοιχεία του.

1. *Μεταβλητή σχεδιασμού.* Στην προκειμένη περίπτωση είναι η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα Ευήνου. Εξετάστηκαν εναλλακτικά τέσσερις τιμές της μεταβλητής (Σχ. 1) σε ένα εύρος μεταβολής που προκαθορίστηκε από τεχνικούς, τοπογραφικούς και γεωλογικούς λόγους.
2. *Δείκτης επίδοσης.* Πρόκειται για ένα μέγεθος χαρακτηριστικό της επίδοσης του υδροσυστήματος, που στην προκειμένη περίπτωση είναι ο ετήσιος όγκος νερού που μπορεί να αποληφθεί με δεδομένη αξιοπιστία (βλ. σημείο 3) από το υδροσύστημα.
3. *Εξωτερικοί περιορισμοί.* Γενικά, πρόκειται για περιορισμούς που αναφέρονται στην αξιοπιστία του υδροσυστήματος, η τήρηση των οποίων δεν είναι δυνατό να εξασφαλιστεί αυτόματα μέσω της προσομοίωσης του υδροσυστήματος. Στην προκειμένη περίπτωση υπάρχει ένας τέτοιος περιορισμός, ο οποίος αναφέρεται στο ανεκτό επίπεδο αξιοπιστίας του απολήψιμου ετήσιου όγκου του συστήματος. Το επίπεδο αυτό, λόγω της μεγάλης σημασίας του συστήματος υδροδότησης της Αθήνας και των ιδιαίτερα δυσμενών συνεπειών σε περίπτωση αστοχίας, καθορίστηκε ίσο με 99% σε ετήσια βάση (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος [6]), δηλαδή θεωρείται επιτρεπτή η αστοχία στην απόληψη του ζητούμενου όγκου μόνο μία φορά κατά τη διάρκεια 100 ετών.
4. *Υδρολογικές εισοδοί.* Κυρίως ενδιαφέρει η εισροή στους ταμιευτήρες, αλλά και η βροχόπτωση και εξάτμιση στην ελεύθερη επιφάνειά τους. Το μεγάλο επίπεδο αξιοπιστίας που υιοθετήθηκε δημιουργεί ιδιαίτερες απαιτήσεις σε σχέση με τις χρονοσειρές υδρολογικών μεταβλητών. Προφανώς τα ιστορικά δείγματα και μόνο, τυπικού μεγέθους 20-30 ετών, δεν είναι δυνατό να οδηγήσουν σε συμπεράσματα σχετικά με τις συνθήκες αστοχίας του συστήματος με μέση συχνότητα 1 φορά στα 100 χρόνια. Επομένως είναι επιβεβλημένη η χρήση συνθετικών δειγμάτων. Για να μπορέσουν να αναπαραχθούν με στατιστικά αποδεκτό τρόπο οι αστοχίες αυτές υιοθετήθηκε μέγεθος συνθετικού δείγματος 2000 ετών. Η γέννηση των συνθετικών χρονοσειρών γίνεται σε δύο βήματα: στο πρώτο γεννώνται οι ετήσιες τιμές των μεταβλητών και στο δεύτερο αυτές επιμερίζονται σε μηνιαίες τιμές (το μηνιαίο βήμα αποδείχτηκε επαρκές). Οι στατιστικές παράμετροι με βάση τις οποίες γίνεται η γέννηση των συνθετικών χρονοσειρών προκύπτουν από στατιστική επεξεργασία των ιστορικών δειγμάτων. Η ιδιαιτερότητα ότι τα δύο τελευταία καταγραμμένα υδρολογικά έτη 1988-89 και 1989-

90 (και κυρίως το δεύτερο), ήταν ιδιαίτερα ξηρά και απέκλιναν πολύ από τη στατιστική εικόνα της απορροής, όπως αυτή δίνεται από όλα τα προηγούμενα έτη, αντιμετωπίστηκε με την εισαγωγή δύο υδρολογικών σεναρίων: του δυσμενούς σεναρίου που έχει ως βάση το συνολικό δείγμα των απορροών και βροχών και του ευμενούς σεναρίου που εξαιρεί τα δύο τελευταία χρόνια.



Σχ. 2 Διάρθρωση του συνολικού μοντέλου του υδροσυστήματος Ευήνου - Μόρνου, διασυνδέσεις των συνιστωσών του και βήματα της πορείας επίλυσης.

5. Προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος - Κανόνες λειτουργίας. Με δεδομένα την τιμή της μεταβλητής σχεδιασμού, τα πλήρη τεχνικά χαρακτηριστικά των συνιστωσών του υδροσυστήματος, και τις συνθετικές χρονοσειρές των υδρολογικών μεταβλητών, η μαθηματική προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος αναπαριστά την εξέλιξή του στον εικονικό χρόνο των 2000 ετών. Οι εξισώσεις (δυναμική συστήματος) και οι φυσικοί και λειτουργικοί περιορισμοί του συστήματος (π.χ., χωρητικότητες ταμιευτήρων, παροχετευτικότητες υδραγωγείων κτλ.) δεν οδηγούν σε μονοσήμαντη εξέλιξη του, αλλά παρέχουν ορισμένους βαθμούς ελευθερίας, οι οποίοι μπορούν να αξιοποιηθούν σε τρόπο ώστε να βελτιστοποιηθεί ο δείκτης επίδοσης του συστήματος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η προσομοίωση συνδυάστηκε με κανόνες λειτουργίας του συστήματος, οι οποίοι μπορούν να θεωρηθούν ως οι συμπληρωματικές εξισώσεις που απαιτούνται για να οδηγηθεί το σύστημα σε μονοσήμαντη εξέλιξη. Οι κανόνες αυτοί είναι δύο ειδών: μη παραμετρικοί (π.χ. όταν ένας ταμιευτήρας οδηγείται σε υπερχειλίση, τότε η απόληψη γίνεται κατά προτεραιότητα απ' αυτόν) και παραμετρικοί (π.χ. όταν η στάθμη ενός ταμιευτήρα ξεπερνάει μια τιμή-κατώφλι, τότε η απόληψη γίνεται κατά προτεραιότητα απ' αυτόν· η τιμή κατώφλι αποτελεί παράμετρο προς προσδιορισμό). Στην

πραγματικότητα οι παραμετρικοί κανόνες είναι εκείνοι που επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση του τρόπου λειτουργίας του συστήματος.

6. *Βελτιστοποίηση λειτουργίας.* Με δεδομένη την παραμετροποίηση του συστήματος, η βελτιστοποίηση αποσκοπεί στην εύρεση εκείνων των τιμών των παραμέτρων που οδηγούν στον καλύτερο δυνατό δείκτη επίδοσης του συστήματος για κάθε δεδομένη τιμή της μεταβλητής σχεδιασμού. Η βελτιστοποίηση απαιτεί πολλαπλές προσομοιώσεις της λειτουργίας του συστήματος για την ίδια τιμή της μεταβλητής σχεδιασμού και για τις ίδιες σειρές υδρολογικών εισόδων, αλλά με διαφορετικές κάθε φορά τιμές των παραμέτρων του συστήματος.

Το παραπάνω γενικό σχήμα εφαρμόστηκε στον υδρολογικό σχεδιασμό των έργων Ευήνου με ορισμένες απλοποιήσεις, η κυριότερη από τις οποίες έχει σχέση με την εξαίρεση από το μοντέλο του υδροσυστήματος του δυτικού τμήματος (Υλίκη-Μαραθώνας), η οποία ωστόσο τεκμηριώθηκε απόλυτα (κυρίως από το γεγονός ότι η κατανάλωση της Αθήνας κατά τα επόμενα 20 χρόνια δεν αναμένεται να φθάσει τη μέγιστη απολήψιμη ποσότητα από το όλο σύστημα και έτσι ο βαθμός εκμετάλλευσης της Υλίκης θα είναι πολύ χαμηλός για τον περιορισμό του κόστους αντλήσεων).

Πίν. 1 Τελικά αποτελέσματα της διερεύνησης του υδροσυστήματος Ευήνου - Μόρνου για τις τέσσερις διατάξεις έργων που εξετάστηκαν. Όλες οι διακινήσεις νερού εκφράζονται σε hm^3 ετησίως.

Σενάριο εισροών	Δυσμενές				Ευμενές			
	A	B	Γ	Δ	A	B	Γ	Δ
Διάταξη έργων και ωφέλιμη χωρητικότητα ταμιευτήρα Ευήνου (hm^3)	(15.3)	(46.4)	(73.0)	(103.7)	(15.3)	(46.4)	(73.0)	(103.7)
Απόληψη από Μόρνο	249	245	242	235	277	274	269	265
Απόληψη από Εύηνο	168	193	203	213	193	222	233	242
Συνολική απόληψη (= δείκτης επίδοσης)	417	438	445	448	470	496	502	507
Αύξηση απόληψης*	170	191	198	201	190	216	222	227
Απώλειες Μόρνου	56	60	63	70	46	49	54	58
Απώλειες Ευήνου	135	110	100	90	128	99	88	79
Συνολική διακίνηση	608	608	608	608	644	644	644	644

* σε σχέση με τη μεμονωμένη εκμετάλλευση του ταμιευτήρα Μόρνου.

Στον Πίν. 1 φαίνονται τα τελικά αποτελέσματα των διερευνήσεων, στα οποία είναι πρόδηλη η συμπεριφορά των έργων ως συνιστωσών ενός υδροσυστήματος. Για παράδειγμα, κάτω από το δυσμενές σενάριο εισροών, η αύξηση της ωφέλιμης χωρητικότητας του ταμιευτήρα Ευήνου από 46.4 hm^3 (διάταξη B) σε 103.7 hm^3 (διάταξη Δ) οδηγεί σε αύξηση της απόληψης από το συγκεκριμένο ταμιευτήρα κατά 20 hm^3 ετησίως (από 193 σε 213 hm^3 ετησίως). Ωστόσο, ο δείκτης επίδοσης του συστήματος αυξάνεται μόνο κατά 10 hm^3 , δεδομένου ότι σημειώνεται παράλληλη μείωση των απολήψεων και αύξηση των υπερχειλίσεων από τον ταμιευτήρα Μόρνου. Αξιοσημείωτο ακόμη είναι το γεγονός ότι ενώ η συνολική υδρολογική διακίνηση στο ευμενές σενάριο είναι κατά 6% μεγαλύτερη απ' ό,τι στο δυσμενές, η επίδοση του συστήματος αυξάνεται πολύ περισσότερο, ήτοι κατά περίπου 13%.

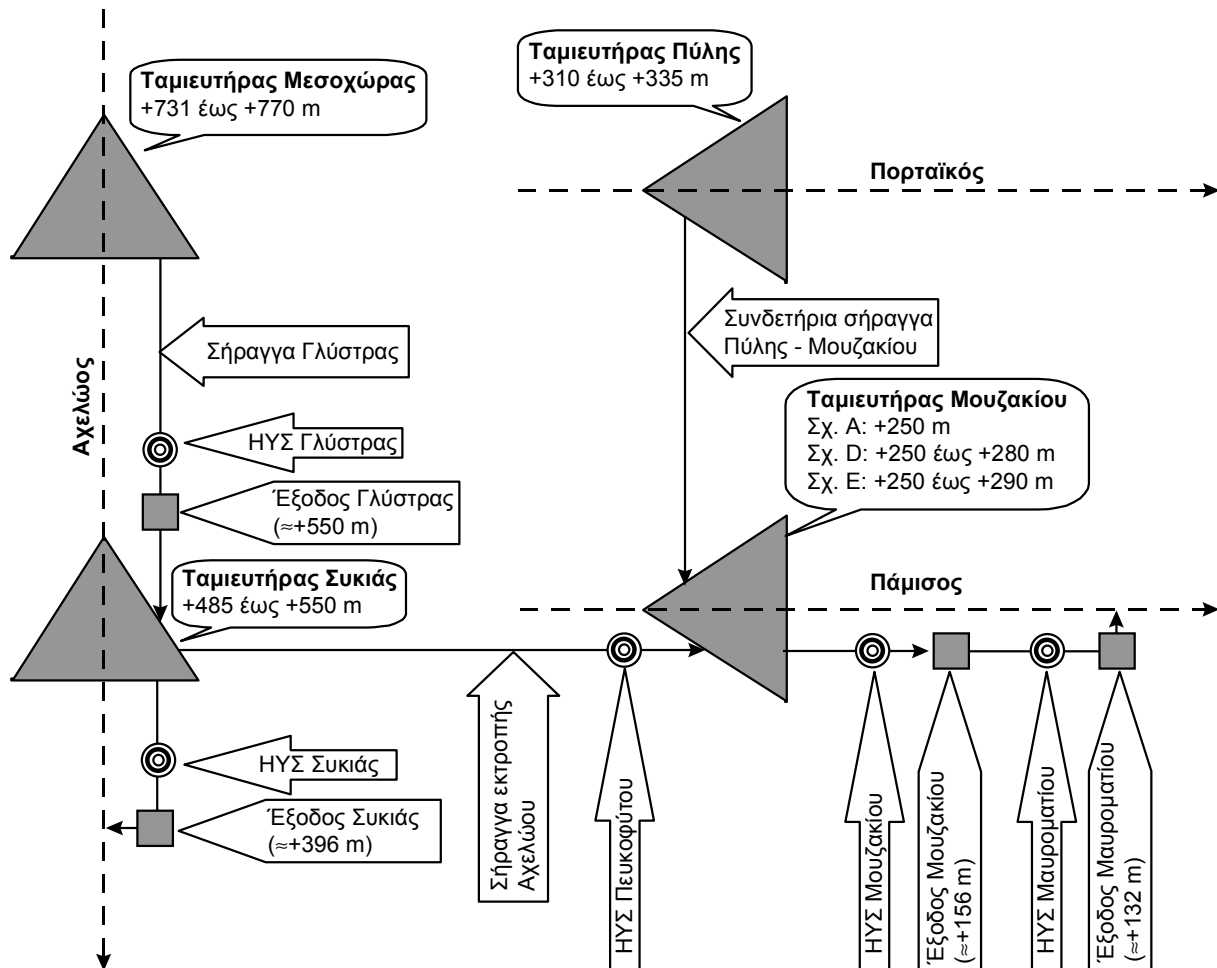
2.4 Ερευνητική υποστήριξη του σχεδιασμού και της λειτουργίας του υδροσυστήματος

Είναι γνωστό ότι κάθε υδρολογική μελέτη είναι κάτι παραπάνω από απλή εφαρμογή έτοιμων μεθοδολογιών· σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό εμπεριέχει πάντα ένα κομμάτι έρευνας. Αν αυτό είναι σωστό για κάθε υδρολογική μελέτη, γίνεται περισσότερο πρόδηλο στη μελέτη ενός πολύπλοκου υδροσυστήματος, όπως αυτό της υδροδότησης της Αθήνας. Το όλο πλαίσιο στο οποίο βασίστηκε ο υδρολογικός σχεδιασμός των έργων Ευήνου υποστηρίχτηκε ερευνητικά από προηγούμενη έρευνα του ΕΜΠ, στην οποία αναπτύχθηκε ο βασικός πυρήνας της μεθοδολογίας (Κουτσογιάννης κ.ά. [5], Nalbantis et al. [12]), καθώς και επιμέρους μοντέλα, όπως το μοντέλο γέννησης συνθετικών χρονοσειρών, βασισμένο σε τεχνική επιμερισμού (Κουτσογιάννης [10]). Η σχετική έρευνα του ΕΜΠ συνεχίστηκε και μετά το σχεδιασμό των έργων και συνεχίζεται και σήμερα, με την ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης του όλου υδροσυστήματος και την ουσιαστική βελτίωση της παραμετροποίησης των κανόνων λειτουργίας του.

3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΕΚΤΡΟΠΗΣ ΑΧΕΛΩΟΥ

3.1 Ο πρόσφατος επανασχεδιασμός των έργων εκτροπής Αχελώου

Πριν δύο περίπου χρόνια ξεκίνησε η επαναθεώρηση του όλου πλαισίου των έργων εκτροπής του Αχελώου προς τη Θεσσαλία· έτσι η ετήσια ποσότητα νερού προς εκτροπή, από 1100 hm³ μειώνεται σε 600 hm³ (ΕΥΔΕ Αχελώου και ENVECO [1]), ενώ τα έργα αποθήκευσης προς την πλευρά της Θεσσαλίας μικραίνουν· παράλληλα οι σταθμοί παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας διαφοροποιούνται σημαντικά· εξετάζεται μάλιστα η δυνατότητα εγκατάστασης αντιστρεπτών μονάδων παραγωγής (άντλησης- ταμίευσης· Καλαούζης [2]).

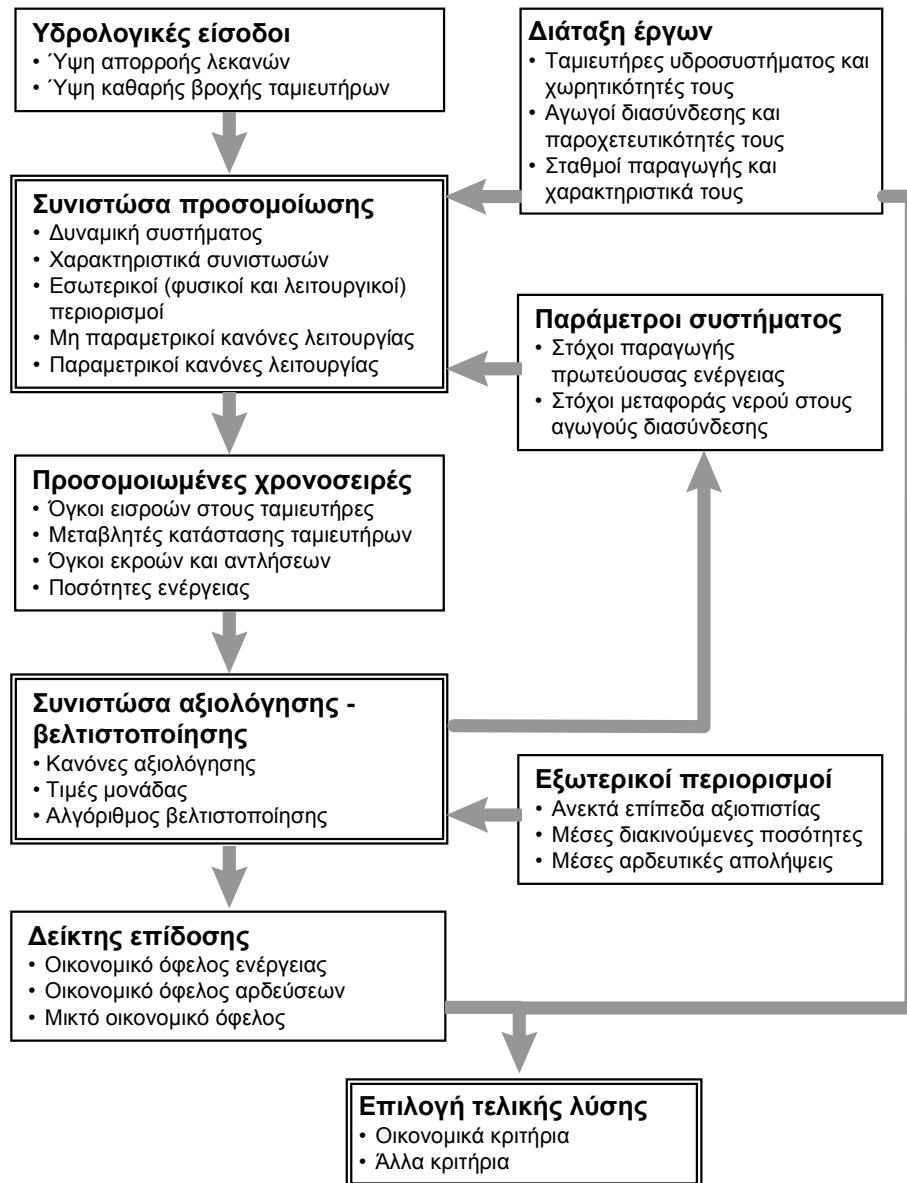


Σχ. 3 Σχηματική παράσταση του υδροσυστήματος Άνω Αχελώου-Μουζακίου-Πύλης και χαρακτηριστικές στάθμες των έργων.

Το υδροσύστημα που διαμορφώνεται από τα έργα κεφαλής είναι αρκετά πολύπλοκο: περιλαμβάνει τέσσερις ταμιευτήρες (δύο στο Αχελώο και δύο στην πλευρά της Θεσσαλίας), έξι κύριες σήραγγες και πέντε υδροηλεκτρικούς σταθμούς· τα βασικά στοιχεία των έργων δίνονται στο Σχ. 3. Η κατασκευή του ταμιευτήρα Πύλης και της συνδετήριας σήραγγας Πύλης-Μουζακίου δεν έχει αποφασιστεί οριστικά, αλλά αποτελεί μια εναλλακτική δυνατότητα. Επίσης τα χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα Μουζακίου δεν έχουν οριστικοποιηθεί· εξετάζονται τρεις εναλλακτικές λύσεις, από απλή αναρρυθμιστική δεξαμενή μέχρι ταμιευτήρα με σημαντική χωρητικότητα. Τέλος, υπό μελέτη είναι οι τύποι και τα χαρακτηριστικά των υδροηλεκτρικών σταθμών. Κατά συνέπεια στο σχεδιασμό των έργων υπάρχουν πολλές διατάξεις που προκύπτουν από τους συνδυασμούς των παραπάνω επιλογών. Είναι προφανές ότι ο υδρολογικός σχεδιασμός των επιμέρους έργων και σε αυτή την περίπτωση δεν μπορεί να γίνει παρά με την συνολική θεώρηση του όλου υδροσυστήματος· μάλιστα στη μελέτη του υδροσυστήματος του Σχ. 3 θα πρέπει να συνεκτιμηθούν και οι επιπτώσεις στα έργα του Κάτω Αχελώου, για κάθε υπό μελέτη διάταξη.

3.2 Ομοιότητες και διαφορές με το υδροσύστημα του Ευήνου

Πρόσφατα το υδροσύστημα της εκτροπής του Αχελώου έχει μελετηθεί διεξοδικά (Κουτσογιάννης [3]) σε ένα γενικό πλαίσιο παρόμοιο με αυτό του υδροσυστήματος Αθήνας· αυτό το γενικό πλαίσιο παρουσιάζεται διαγραμματικά στο Σχ. 4, το οποίο σε συνδυασμό με το Σχ. 3, μπορεί να μας δώσει ενδεικτικά τις ομοιότητες και διαφορές με το υδροσύστημα της Αθήνας.



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

Σε αντίθεση με το υδροσύστημα της Αθήνας που εξυπηρετεί ένα κύριο σκοπό, την ύδρευση της Αθήνας, το υδροσύστημα του Αχελώου εξυπηρετεί πολλαπλούς σκοπούς: παραγωγή ενέργειας, άρδευση/ύδρευση και περιβαλλοντική διατήρηση. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την πιο πολύπλοκη τοπολογία του και τις περισσότερες άγνωστες μεταβλητές σχεδιασμού (διατάξεις και χαρακτηριστικά έργων) καθιστά την όλη μελέτη πιο σύνθετη. Ειδικότερα, πιο σύνθετο είναι το μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας του υδροσυστήματος, η παραμετροποίηση και η βελτιστοποίηση του συστήματος. Το μόνο δομικά απλούστερο στοιχείο στο συγκεκριμένο σύστημα αφορά στην υδρολογία: επειδή εδώ δεν υπάρχει ανάγκη εξασφάλισης τόσο μεγάλης αξιοπιστίας, όσο στην ύδρευση της Αθήνας, είναι δυνατό, σε πρώτη τουλάχιστον προσέγγιση, η όλη μελέτη να βασιστεί στα ιστορικά υδρολογικά δείγματα και να αποφευχθεί έτσι η γέννηση συνθετικών χρονοσειρών. Στην περίπτωση της εκτροπής

Αχελώου, ο δείκτης επίδοσης του υδροσυστήματος θα πρέπει να εκφράζει με ένα ενιαίο μέτρο το συνδυασμό της επίδοσης στις διαφορετικές σκοπιμότητες που προαναφέρθηκαν. Έτσι, η έκφρασή του έγινε με οικονομικούς όρους, αφού προηγουμένως καθορίστηκαν τιμές μονάδας για τις διαφορετικές χρήσεις νερού. Ο αναγνώστης που ενδιαφέρεται για περισσότερα στοιχεία από την εν λόγω μελέτη παραπέμπεται στους Κουτσογιάννη [3] και Λαζαρίδη κ.ά. [9].

4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΑΡΕΧΟΜΕΝΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ (ΑΝΤΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ)

Τα πιο πάνω παραδείγματα έδειξαν τη σημασία της μελέτης υδροσυστημάτων για το σχεδιασμό υδραυλικών έργων που αποτελούν κρίκους σε ευρύτερες αλυσίδες έργων. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η σημασία αυτή γίνεται σήμερα όλο και μεγαλύτερη, εξ αιτίας της καινούργιας όσο και επιτακτικής ανάγκης για μελέτες διαχείρισης υδατικών πόρων. Το κύριο ερώτημα σε ένα συνέδριο των τμημάτων πολιτικών μηχανικών, αναφορικά με το εξεταζόμενο ζήτημα, εντοπίζεται στο κατά πόσον οι σημερινές απαιτήσεις της μελέτης υδροσυστημάτων, σαν αυτά που εξετάστηκαν πιο πάνω, καλύπτονται από την παρεχόμενη εκπαίδευση στα πλαίσια των προγραμμάτων σπουδών.

Η απάντηση στο ερώτημα αυτό, στηρίζεται στα δεδομένα του νέου προγράμματος σπουδών Πολιτικού Μηχανικού του ΕΜΠ (1996-97) αλλά και στην εμπειρία του συγγραφέα, γι' αυτό και είναι σε ένα βαθμό υποκειμενική. Τα πιο σχετικά με τη μελέτη των υδροσυστημάτων μαθήματα του προγράμματος αυτού παρουσιάζονται στον Πίν. 2. Γενικά, παρόλο που η μελέτη των υδροσυστημάτων δεν αποτελεί αντικείμενο ξεχωριστού μαθήματος, οι γενικές γνώσεις γύρω από τη συμπεριφορά και τις συνιστώσες των υδροσυστημάτων παρέχονται σε άλλα μαθήματα, ξεκινώντας από την Τεχνική Υδρολογία (υποχρεωτικό μάθημα κορμού στο 5ο εξάμηνο) στο οποίο ήδη γίνεται μια πρώτη επαφή με την έννοια του υδροσυστήματος. Το απαιτούμενο υπόβαθρο πληροφορικής προσλαμβάνεται εν μέρει σε τρία μαθήματα του προγράμματος σπουδών (Εισαγωγή στην Πληροφορική, Προγραμματισμός Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Εφαρμογές Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, στο 1ο, 3ο και 5ο εξάμηνο, αντίστοιχα). Είναι βεβαίως γνωστό ότι η ανάπτυξη ικανοτήτων προγραμματισμού απαιτεί σημαντική προσωπική ενασχόληση, πολύ παραπάνω απ' αυτή που προσφέρεται απ' τα σχετικά μαθήματα.

Πίν. 2 Μαθήματα του νέου προγράμματος σπουδών Πολιτικού Μηχανικού του ΕΜΠ (1996-97) σχετικά με τη μελέτη των υδροσυστημάτων.

Μάθημα	Χαρακτηριστικά*	Σύνδεση με το αντικείμενο της μελέτης υδροσυστημάτων
Τεχνική Υδρολογία	K/Y/5/5	Κατανόηση, μαθηματική περιγραφή και πρόγνωση φυσικών υδρολογικών διεργασιών· εφαρμογή στη μελέτη τεχνικών έργων
Εφαρμοσμένη Υδραυλική	K/Y/5/4	Υδραυλικοί υπολογισμοί αγωγών
Περιβαλλοντική Τεχνολογία	K/Y/5/4	Περιβαλλοντικό πλαίσιο λειτουργίας των υδροσυστημάτων· αντίστοιχοι όροι, δεσμεύσεις και επιπτώσεις των έργων
Τυπικά Υδραυλικά Έργα	K/Y/6/4	Εξοικείωση με τις κύριες χρήσεις του νερού και τη μεθοδολογία σχεδιασμού τυπικών υδραυλικών έργων
Επιχειρησιακή Έρευνα	K/Y/6/4	Τυπικοί αλγόριθμοι βελτιστοποίησης συστημάτων
Υδροηλεκτρικά Έργα	Y/Y/8/3	Τεχνολογία υδροηλεκτρικών έργων
Σύνθετα Έργα Πολιτικού Μηχανικού	K/E/9/3	Εξοικείωση με τις διαφορετικές τεχνολογικές όψεις των έργων πολιτικού μηχανικού μεγάλης κλίμακας
Τεχνολογία Συστημάτων Υδατικών Πόρων	Y/Y/9/4	Υδρολογικός σχεδιασμός ταμιευτήρων και κατασκευών ασφάλειας· βελτιστοποίηση έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων
Στοχαστική Υδρολογία	Y/E/9/4	Τυπικά μοντέλα στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών διεργασιών

* Πρώτη ένδειξη: K = μάθημα κορμού, Y = μάθημα υδραυλικής κατεύθυνσης· δεύτερη ένδειξη: Y = υποχρεωτικό μάθημα, E = μάθημα επιλογής· τρίτη ένδειξη: εξάμηνο σπουδών· τέταρτη ένδειξη: εβδομαδιαίες ώρες διδασκαλίας.

Κατά συνέπεια μπορεί να λεχθεί ότι σε προπτυχιακό επίπεδο προσφέρονται κατ' αρχήν στο ΕΜΠ επαρκείς γνώσεις για την κατανόηση του υδροσυστήματος και της λειτουργίας του, καθώς και των υδρολογικών μοντέλων που απαιτούνται για την προσομοίωσή του. Φαίνεται, όμως, ότι ο βαθμός πρόσληψης των προσφερόμενων γνώσεων δεν είναι τόσο επαρκής, με αποτέλεσμα οι καινούργιες γνώσεις που διδάσκονται στα πλαίσια των μαθημάτων του Πίν. 2, όπως αυτά έχουν δομηθεί μετά τις αναμορφώσεις

των τελευταίων 10-15 ετών, να μην έχουν μεταφερθεί ή αφομοιωθεί στην κοινή επαγγελματική πρακτική των μηχανικών. Κατά την άποψη του συγγραφέα, πριν από 30-40 χρόνια, το επίπεδο γνώσης των ειδικευμένων γραφείων γύρω από το γενικότερο γνωστικό πεδίο της υδρολογίας ήταν ανώτερο αυτού που διδάσκονταν στα Πολυτεχνεία, ενώ σήμερα η κατάσταση έχει αντιστραφεί. Η πηγή αυτής της εξέλιξης θα πρέπει να αναζητηθεί πρώτα στον εκρηκτικό ρυθμό της ανάπτυξης νέων μεθοδολογιών που δύσκολα μπορούν να τον παρακολουθήσουν τα γραφεία μελετών· αλλά δεν πρέπει να παραβλεφτεί, ως μια άλλη αιτία, η απροθυμία των νέων μηχανικών να εξοικειωθούν με προβλήματα που αντιστέκονται στην τυποποίηση, όπως είναι πρακτικώς όλα τα προβλήματα της υδρολογίας, πολύ δε περισσότερο των υδροσυστημάτων. Το πρόβλημα αυτό δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί με αλλαγή του προγράμματος σπουδών (υπό την έννοια της αλληλουχίας μαθημάτων και της διδακτέας ύλης), αλλά αντίθετα απαιτεί αλλαγή στον τρόπο προσέγγισης της γνώσης προς μια πιο δημιουργική κατεύθυνση. Το τελευταίο προϋποθέτει ριζοσπαστικές μεταβολές σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης.

Αναγνωρίσεις Θεωρώ χρέος μου την αναφορά στον αείμνηστο μελετητή Δ. Κωνσταντινίδη, ο οποίος εμπιστεύθηκε σε μένα και τους συνεργάτες μου τον υδρολογικό σχεδιασμό των έργων Ευήνου, συμβάλλοντας και ο ίδιος αποφασιστικά με την ονομαστή εμπειρία του. Για τους ίδιους λόγους ευχαριστώ θερμά το μελετητή Θ. Γκόφα. Επίσης ευχαριστώ τους Ι. Λεονταρίτη, Γ. Καλαούζη και Λ. Λαζαρίδη για τη συνεργασία τους στον πρόσφατο επανασχεδιασμό των έργων κεφαλής της εκτροπής Αχελώου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΕΥΔΕ Αχελώου και ENVECO, **Συνολική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων της Εκτροπής Αχελώου**, ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα, 1995.
2. Καλαούζης, Γ., **Γενική Διάταξη Έργων Εκτροπής Αχελώου προς τη Θεσσαλία**, ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΔΕ Αχελώου, Αθήνα, 1996.
3. Κουτσογιάννης, Δ., **Μελέτη λειτουργίας των ταμιευτήρων, στα πλαίσια της Γενικής Διάταξης Έργων Εκτροπής Αχελώου προς τη Θεσσαλία**, ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΔΕ Αχελώου, Αθήνα, 1996.
4. Κουτσογιάννης, Δ., Ι. Ναλμπάντης και Ν. Μαμάσης, **Υδρολογική διερεύνηση, Έκθεση, Προμελέτη ενίσχυσης του υδατικού δυναμικού του ταμιευτήρα Μόρνου από τη λεκάνη του ποταμού Ευήνου, Εισαγωγικό μέρος**, Μελετητής ΟΤΜΕ-Υδροηλεκτρική-ΥΔΡΟΤΕΚ-Κωνσταντινίδης-Καραβοκύρης-Γκόφας, Υπουργείο Χωροταξίας, Περιβάλλοντος και Δημοσίων Έργων, 192 σσ., Αθήνα, 1991.
5. Κουτσογιάννης, Δ., Ι. Ναλμπάντης και Κ. Τσολακίδης, **Προγραμματισμός λειτουργίας του σημερινού υδροδοτικού συστήματος**, Τεύχος 16, **Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών**, ΕΜΠ, Τομέας ΥΠΥΘΕ, Αθήνα, 1990.
6. Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, **Αξιοπιστία και ασφάλεια του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, Πρακτικά ημερίδας της ΕΕΔΥΠ "Προοπτικές επίλυσης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας"**, Γ. Φούντας, 91-100, 1990.
7. Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, **Τεχνική υδρολογία**, Συμπληρωματικές σημειώσεις, ΕΜΠ, Αθήνα, 1996.
8. Κουτσογιάννης, Δ., Θ. Ξανθόπουλος, και Ε. Αφτιάς, **Τελική έκθεση, Τεύχος 18, Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών**, ΕΜΠ, Τομέας ΥΠΥΘΕ, Αθήνα, 1990.
9. Λαζαρίδης, Λ., Γ. Καλαούζης, Δ. Κουτσογιάννης και Π. Μαρίνος, **Βασικά τεχνικά και οικονομικά μεγέθη σχετικά με τη διαχείριση των υδατικών πόρων στη Θεσσαλία, Πρακτικά του Διεθνούς Συνεδρίου "Διαχείριση Υδατικών Πόρων"**, Λάρισα, 13-16 Οκτωβρίου 1996, ΤΕΕ, Λάρισα, 1996.
10. Koutsoyiannis, D., **A nonlinear disaggregation method with a reduced parameter set for simulation of hydrologic series**, *Water Resources Research*, 28(12), 3175-3191, 1992.
11. Mays, L. W., and Y.-K. Tung, **Hydrosystems Engineering and Management**, McGraw-Hill, New York, 1992.
12. Nalbantis, I., D. Koutsoyiannis, and Th. Xanthopoulos, **Modelling the Athens water supply system**, *Water Resources Management*, 6, 57-67, 1992.