

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ,
ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ & ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
Δ/ΝΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ & ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ &
ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

MINISTRY OF ENVIRONMENT, REGIONAL
PLANNING & PUBLIC WORKS
GENERAL SECRETARIAT OF PUBLIC WORKS
SECRETARIAT OF WATER SUPPLY & SEWAGE
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF
ATHENS
DIVISION OF WATER RESOURCES HYDRAULIC
& MARITIME ENGINEERING

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΓΟ
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΤΗΣ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΦΑΣΗ Γ

ΤΕΥΧΟΣ 41
ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ Γ ΦΑΣΗΣ

RESEARCH PROJECT
EVALUATION AND MANAGEMENT
OF THE WATER RESOURCES
OF STEREA HELLAS
PHASE C
VOLUME 41
FINAL REPORT OF PHASE C

ΣΥΝΤΑΞΗ: Ι. ΝΑΛΜΠΑΝΤΗΣ,
Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ
ΚΥΡΙΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Ι. ΝΑΛΜΠΑΝΤΗΣ

BY: I. NALBANTIS,
D. KOUTSOYANNIS

SCIENTIFIC DIRECTOR: D. KOUTSOYANNIS
PRINCIPAL INVESTIGATOR: I. NALBANTIS

ΑΘΗΝΑ - ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 1999

ATHENS - JANUARY 1999

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ερευνητική ομάδα	iv
Αναγνωρίσεις	vii
1 Εισαγωγή	1
1.1 Ιστορικό	1
1.2 Στόχοι της τρίτης φάσης	2
1.2.1 Γενικοί στόχοι	2
1.2.2 Ειδικότεροι στόχοι της τρίτης φάσης	2
1.3 Συμβατικό αντικείμενο της τρίτης φάσης	3
1.4 Αντικείμενο του παρόντος τεύχους	8
1.5 Παραδοτέα της τρίτης φάσης	8
2 Επισκόπηση μελετών αξιοποίησης και διαχείρισης υδατικών πόρων	11
3 Αξιολόγηση και ανάλυση δεδομένων σχετικών με την αξιοποίηση και χρήση υδατικών πόρων - Σύνθεση γενικής μεθοδολογίας αντιμετώπισης	12
3.1 Το υδροσύστημα του Άνω και Μέσου Αχελώου	12
3.2 Το υδροσύστημα του Κάτω Αχελώου	15
3.3 Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας	21
3.4 Το υδροσύστημα του Βοιωτικού Κηφισού	27
3.5 Το υδροσύστημα του Κάτω Σπερχειού	30
3.6 Λοιπά υδροσυστήματα	34
3.7 Επιλογή υδροσυστημάτων για μοντελοποίηση - Μεθοδολογία αντιμετώπισης	36
3.8 Μεθοδολογία αντιμετώπισης υδροσυστημάτων χωρίς πλήρη μοντελοποίηση	37
3.8.1 Γενικά	37
3.8.2 Μεθοδολογία εκτίμησης αρδευτικών αναγκών	38
3.8.3 Μεθοδολογία συστηματοποίησης υδρευτικών αναγκών	39
4 Εκτίμηση σημερινών και μελλοντικών υδατικών αναγκών	41
4.1 Αρδευση	41
4.1.1 Αρδευτικές ανάγκες περιοχής Κάτω Αχελώου	41
4.1.2 Αρδευτικές ανάγκες περιοχής Βοιωτικού Κηφισού	46
4.1.3 Αρδευτικές ανάγκες περιοχής Σπερχειού	47
4.2 Ύδρευση	48

4.2.1 Υδρευτικές ανάγκες στο σύνολο της περιοχής μελέτης	48
4.2.2 Υδρευτικές ανάγκες κατά υδατικό διαμέρισμα	48
4.2.3 Υδρευτικές ανάγκες Αθήνας	49
4.2.4 Δεδομένα από ΕΔΕΥΑ	50
5 Σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας (ΣΓΠ) για τις χρήσεις νερού και για τα χαρακτηριστικά των έργων αξιοποίησης νερού, και σχετικές βάσεις δεδομένων	52
5.1 Συστήματα πληροφορικής για την οργάνωση και επεξεργασία των δεδομένων	52
5.3 Η βάση των γεωγραφικών δεδομένων	53
5.4 Η βάση δεδομένων υδρολογίας και χρήσεων νερού	54
5.5 Εφαρμογές	55
6 Μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης υδροσυστήματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας	56
6.1 Γενικά	56
6.2 Η μέθοδος βέλτιστου ελέγχου ELQG	57
6.3 Το Σύστημα υποστήριξης αποφάσεων WSHDSS	58
6.4 Εφαρμογή του μοντέλου στο του συστήματος ταμιευτήρων του Αχελώου	58
7 Μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης υδροσυστήματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας	61
7.1 Γενικό σχήμα μοντελοποίησης	61
7.2 Μοντέλο στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών χρονοσειρών	61
7.2.1 Γενικά	61
7.2.2 Το γενικό σχήμα προσομοίωσης του μοντέλου	62
7.2.3 Στατιστικές παράμετροι που διατηρούνται	63
7.2.4 Μοντέλο γέννησης ετήσιων μεταβλητών (μεταβλητών υψηλότερου επιπέδου)	64
7.2.5 Μοντέλο γέννησης μεταβλητών χαμηλότερου επιπέδου	65
7.2.6 Δομή και λειτουργία του προγράμματος SHyS	66
7.3 Μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης	67
7.4 Το υπολογιστικό σύστημα ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ	69
7.4.1 Δομή του συστήματος	69
7.4.2 Βασικές λειτουργίες του συστήματος	72
7.5 Εφαρμογή του μοντέλου στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας	72
7.5.1 Εκτίμηση των μέγιστων δυνατοτήτων του υδροσυστήματος	73

7.5.2 Κανονική λειτουργία του δικτύου υδροδότησης	73
7.5.3 Αποκλεισμός της λίμνης Υλίκης	73
8 Ολοκλήρωση και διασύνδεση πληροφορικών συστημάτων	75
9 Σύνοψη, συμπεράσματα, προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	76
9.1 Σύνοψη των εργασιών της τρίτης φάσης	76
9.2 Γενικά συμπεράσματα του ερευνητικού έργου	77
9.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	78
9.3.1 Οργάνωση της πληροφορίας	79
9.3.2 Μοντελοποίηση των υδροσυστημάτων	79
Αναφορές	81
Παράρτημα: Χάρτες	85

Ερευνητική ομάδα

Επιστημονικός υπεύθυνος στην παρούσα τρίτη φάση του ερευνητικού έργου ήταν ο επίκουρος καθηγητής Δ. Κουτσογιάννης. Κύριος ερευνητής στη φάση αυτή του έργου ήταν ο Ι. Ναλμπάντης. Στην ερευνητική ομάδα του Τομέα Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων του ΕΜΠ συμμετείχαν οι ακόλουθοι ερευνητές, οι οποίοι και έκαναν τις αντίστοιχες εργασίες της τρίτης φάσης του ερευνητικού έργου:

Όνοματεπώνυμο	Ιδιότητα	Κύρια εργασία
Δ. Κουτσογιάννης	Επ. Καθηγητής ΕΜΠ	Επιστημονικός υπεύθυνος. Ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων και σύνταξη προγραμμάτων. Σύνταξη τελικής έκθεσης.
Θ. Ξανθόπουλος	Καθηγητής ΕΜΠ	Επιστημονικός σύμβουλος του όλου έργου.
I. Ναλμπάντης	Δρ Μηχανικός	Συμμετοχή στην επισκόπηση μελετών, τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων και τη σύνθεση της γενικής μεθοδολογίας. Συμμετοχή στην ανάπτυξη μοντέλων προσομοίωσης και βελτιστοποίησης των υδατικών συστημάτων.
N. Μαμάσης	Δρ Μηχανικός	Ανάπτυξη Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας. Συμμετοχή στην ολοκλήρωση και διασύνδεση πληροφορικών συστημάτων.
A. Κουκουβίνος	Διπλ. Μηχ., DEA	Ανάπτυξη Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας. Συμμετοχή στην ολοκλήρωση και διασύνδεση πληροφορικών συστημάτων.
Δ. Ζαρρής	Διπλ. Μηχαν., MSc, Υποψ. Δρ	Συμμετοχή στην επισκόπηση μελετών, τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων. Συμμετοχή στην ανάπτυξη μοντέλων προσομοίωσης και βελτιστοποίησης των υδατικών συστημάτων.
Γ. Καραβοκυρός	Διπλ. Μηχαν., Υποψ. Δρ	Ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας
N. Μανδέλλος	Διπλ. Μηχαν., Υποψ. Δρ	Προγραμματισμός στοχαστικού μοντέλου στα πλαίσια του μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας
A. Παπακώστας	Ηλ. Μηχαν., Υποψ. Δρ	Υποστήριξη πληροφορικής. Συμμετοχή στην ολοκλήρωση και διασύνδεση πληροφορικών συστημάτων.
Δ. Ρόζος	Διπλ. Μηχαν., Υποψ. Δρ	Συμμετοχή στην επισκόπηση μελετών, τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων. Συμμετοχή στην ολοκλήρωση και διασύνδεση πληροφορικών συστημάτων.

Δ. Καϊμάρας	Διπλ. Μηχ.	Συλλογή δεδομένων άρδευσης
A. Μαυροδήμου	Διπλ. Μηχ.	Συμμετοχή στην επισκόπηση μελετών, τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων και τη σύνθεση της γενικής μεθοδολογίας. Εκτίμηση σημερινών και μελλοντικών υδατικών αναγκών.
E. Ξανθοπούλου	Διπλ. Μηχ.	Συμμετοχή στην επισκόπηση μελετών, τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων. Εισαγωγή δεδομένων στο ΣΓΠ. Συμμετοχή στην εκτίμηση σημερινών και μελλοντικών υδατικών αναγκών.
Δ. Σακελλαριάδης	Διπλ. Μηχ.	Συμμετοχή στην επισκόπηση μελετών, τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων.
I. Σταματάκη	Διπλ. Μηχ.	Συμμετοχή στην επισκόπηση μελετών, τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων. Εισαγωγή δεδομένων στο ΣΓΠ.
A. Χριστοφίδης	Διπλ. Μηχ.	Υποστήριξη πληροφορικής. Συμμετοχή στην ανάπτυξη των βάσεων δεδομένων και την ολοκλήρωση και διασύνδεση πληροφορικών συστημάτων.
Γ. Αγγελόπουλος	Φοιτ. Πολ. Μηχ.	Συμμετοχή στην επισκόπηση μελετών, τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων. Εισαγωγή δεδομένων στο ΣΓΠ.
A. Ευστρατιάδης	Φοιτ. Πολ. Μηχ.	Συμμετοχή στην ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης, και την ολοκλήρωση και διασύνδεση πληροφορικών συστημάτων.
N. Ζερβός	Φοιτ. Πολ. Μηχ.	Συμμετοχή στην ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης, και την ολοκλήρωση και διασύνδεση πληροφορικών συστημάτων.
Π. Καβαλαγιός	Φοιτ. Ηλ. Μηχ.	Υποστήριξη πληροφορικής. Συμμετοχή στην ολοκλήρωση και διασύνδεση πληροφορικών συστημάτων.

Η ερευνητική ομάδα του Τομέα Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων του ΕΜΠ συνεργάστηκε με ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου Georgia Tech των ΗΠΑ υπό τον καθηγητή A. Γεωργακάκο. Στην ομάδα αυτή συμμετείχαν οι ακόλουθοι ερευνητές, οι οποίοι και έκαναν τις αντίστοιχες εργασίες της τρίτης φάσης του ερευνητικού έργου:

Όνοματεπώνυμο	Ιδιότητα	Κύρια εργασία
A. Γεωργακάκος	Καθηγητής Παν. Georgia Tech	Ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης υδροσυστήματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας.
H. Yao	Δρ Μηχανικός, ερευνητής	Ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης υδροσυστήματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας.
C. DeMarchi	Διπλ. Μηχ., Υποψ. Δρ	Ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης υδροσυστήματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας.
M. Mullusky	Διπλ.Μηχ., Υποψ. Δρ	Ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης υδροσυστήματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας.

Στις εργασίες της ερευνητικής ομάδας του ΕΜΠ συμμετείχαν και οι ακόλουθοι τρεις διπλωματούχοι μηχανικοί του ΥΠΕΧΩΔΕ:

Όνοματεπώνυμο	Ιδιότητα	Κύρια εργασία
E. Τηλιγάδας	Δρ Μηχανικός	Συμμετοχή στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων. Εφαρμογή και έλεγχος λειτουργίας μοντέλων και συστημάτων πληροφορικής.
Γ. Παπαγεωργίου	Διπλ. Μηχ.	Συμμετοχή στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων. Εφαρμογή και έλεγχος λειτουργίας μοντέλων και συστημάτων πληροφορικής.
Δ. Κάτρης	Διπλ. Μηχ.	Συμμετοχή στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων. Εφαρμογή και έλεγχος λειτουργίας μοντέλων και συστημάτων πληροφορικής.

Τη γραμματειακή κάλυψη του έργου είχαν οι Β. Γαλανοπούλου, Φ. Κρεμιζή, Μ. Λαγογιάννη και Ν. Παντελιά.

Αναγνωρίσεις

Η ερευνητική ομάδα του ΕΜΠ επιθυμεί να ευχαριστήσει

- τον διευθυντή Έργων Ύδρευσης και Αποχέτευσης (Δ6) του ΥΠΕΧΩΔΕ κ. Μπακόπουλο για την ανάθεση της τρίτης φάσης του έργου και τη συνεργασία του στη δεύτερη φάση.
- τον πρώην διευθυντή Έργων Ύδρευσης και Αποχέτευσης (Δ6) του ΥΠΕΧΩΔΕ κ. Ι. Λεονταρίτη, για την ανάθεση των δύο πρώτων φάσεων του έργου.
- τον πρώην διευθυντή Έργων Ύδρευσης και Αποχέτευσης (Δ6) του ΥΠΕΧΩΔΕ κ. Τσουρέλη, για τη συνεργασία του στη δεύτερη φάση του έργου.

Ακόμη η ερευνητική ομάδα ευχαριστεί:

- τις κκ. Χ. Σιάτου, Μ. Γκίνη και τον κ. Π. Τσουμάνη της Διεύθυνσης Υδατικού Δυναμικού του ΥΠΑΝ,
 - τον κ. Πάκο της Διεύθυνσης ΒΙΠΕΤΒΑ του ΥΠΑΝ,
 - τον κ. Σελιανίτη της Διεύθυνσης Αξιοποίησης Εγγειοβελτιωτικών έργων και Μηχανολογικού Εξοπλισμού του Υπουργείου Γεωργίας,
 - τα στελέχη των περιφερειακών υπηρεσιών του ΥΠΠΕ κκ. Δημητρέλλο της ΥΕΒ Φωκίδας, Καρέλλη της ΥΕΒ Αιτωλοακαρνανίας, Χρυσικό του ΤΕΒ Θηβών, Λαμπριτζή, πρώην διευθυντή του Οργανισμού Κωπαΐδας και Κ. Μπούρο του ΓΟΕΒ Αχελώου,
 - τον κλαδάρχη κ. Λέρη του Κλάδου Υδραυλικής Παραγωγής της Διεύθυνσης Εκμετάλλευσης Παραγωγής της ΔΕΗ,
 - τον τέως πρόεδρο του ΔΣ της ΕΥΔΑΠ Γ. Ανδρεάδη, και τους κκ. Ι. Ναζλόπουλο και κ. Α. Ξανθάκη της Διεύθυνσης Εξωτερικών Αντλιοστασίων της ΕΥΔΑΠ,
 - τους κκ. Κ. Κουτσούκη, Σπ. Σταματάτο και Β. Μαντέκα των ΔΕΥΑ Αγρινίου, Μεσολογγίου και Καρπενησίου αντίστοιχα,
 - την κ. Ολ. Κοτσελίδου της ΕΔΕΥΑ στη Λάρισα, και
 - τους μελετητές, Κ. Ζέρη, Λ. Λαζαρίδη, Θ. Γκόφα, Ι. Πέπα και Θ. Κωνσταντινίδη,
- για την παροχή πρωτογενών και επεξεργασμένων δεδομένων, και την βοήθειά τους στην κατανόηση της λειτουργίας των έργων της περιοχής μελέτης.

1 Εισαγωγή

1.1 Ιστορικό

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων με την απόφασή του με αριθμό Δ6/20595/9-5-1991, ανέθεσε σε ερευνητική ομάδα του Τομέα Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με επιστημονικό υπεύθυνο τον καθηγητή Θ. Ξανθόπουλο, το ερευνητικό έργο με τίτλο *Εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων Στερεάς Ελλάδας*. Το ερευνητικό έργο αποτελείται από τρεις (3) φάσεις. Αντικείμενο της πρώτης φάσης του έργου, όπως αυτό προβλεπόταν στην παραπάνω απόφαση, ήταν η συλλογή, αξιολόγηση και αρχειοθέτηση σε Η/Υ της υδρομετεωρολογικής πληροφορίας που αφορά στους επιφανειακούς υδατικούς πόρους της Στερεάς Ελλάδας, καθώς και η ανάπτυξη προγραμμάτων επεξεργασίας υδρομετεωρολογικών δεδομένων και υδρολογικής προσομοίωσης.

Με την απόφαση του ΥΠΕΧΩΔΕ Δ6/21512/8-9-1993 ανατέθηκε η δεύτερη φάση του έργου στην ερευνητική ομάδα του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ με επιστημονικό υπεύθυνο τον καθηγητή Θ. Ξανθόπουλο και συντονιστή τον επίκουρο καθηγητή Δ. Κουτσογιάννη. Αντικείμενο της δεύτερης φάσης του έργου ήταν δύο βασικές ομάδες εργασιών. Η πρώτη ομάδα εργασιών, που εκπονήθηκε από ερευνητική ομάδα του Τομέα Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων του ΕΜΠ, αφορούσε στην οργάνωση των δεδομένων επιφανειακής υδρολογίας και στην ανάπτυξη μεθοδολογιών διαχείρισης των υδατικών συστημάτων. Συγκεκριμένα, αυτή η ομάδα εργασιών περιέλαβε την αναβάθμιση του υπολογιστικού περιβάλλοντος, την επεξεργασία των δεδομένων επιφανειακής υδρολογίας και την κατάρτιση υδατικών ισοζυγίων, την ανάπτυξη συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας, και την έναρξη συλλογής διαχειριστικών δεδομένων. Επίσης περιέλαβε εργασίες βασικής έρευνας και ανάπτυξης λογισμικού, όπως την ανάπτυξη μοντέλου στοχαστικής προσομοίωσης, την επισκόπηση των μεθόδων βελτιστοποίησης σε προβλήματα υδατικών πόρων, την έναρξη της ανάπτυξης διαχειριστικών μοντέλων, και την ανάπτυξη μεθοδολογίας και προγράμματος Η/Υ για την κατάρτιση όμβριων καμπυλών (η τελευταία εργασία προβλέφθηκε για την κάλυψη γενικότερων αναγκών του ΥΠΕΧΩΔΕ/Δ6 σε μελέτες αποχέτευσης της Στερεάς Ελλάδας). Η δεύτερη ομάδα εργασιών αφορούσε στην οργάνωση της υδρογεωλογικής πληροφορίας της Στερεάς Ελλάδας. Περιλαμβάνει την καταγραφή και ανάλυση των υδρογεωλογικών δεδομένων και την αρχειοθέτηση και επεξεργασία των δεδομένων αυτών μέσω Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας.

Με την από Δ6/1618/16-9-1996 απόφαση του ΥΠΕΧΩΔΕ ανατέθηκε στην ερευνητική ομάδα του Τομέα Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων του ΕΜΠ (ΕΜΠ/ΤΥΠΥΘΕ) η τρίτη φάση του ερευνητικού έργου με επιστημονικό υπεύθυνο τον επίκουρο καθηγητή Δ. Κουτσογιάννη. Κύριο αντικείμενο της τρίτης φάσης με την οποία ολοκληρώνεται το ερευνητικό έργο είναι η ολοκλήρωση της ανάπτυξης προγραμμάτων διαχειριστικής προσομοίωσης και βελτιστοποίησης της εκμετάλλευσης των υδατικών συστημάτων της Στερεάς Ελλάδας. Στη φάση αυτή, αφού συστηματοποιηθούν οι πληροφορίες σχετικά με τις χρήσεις νερού, προβλέπον-

ταν να εξεταστούν διάφορα σενάρια αναπτυξιακών έργων και διαχείρισης τους, και να εξαχθούν τα τελικά συμπεράσματα. Αναλυτικότερα οι στόχοι της τρίτης φάσης και το συμβατικό αντικείμενό της περιγράφονται στη συνέχεια του κεφαλαίου.

1.2 Στόχοι της τρίτης φάσης

1.2.1 Γενικοί στόχοι

Οι κύριοι στόχοι του ερευνητικού έργου είναι η εκτίμηση και διερεύνηση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας στο σύνολό τους, τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων, και η συστηματική μελέτη όλων εκείνων των παραμέτρων που υπεισέρχονται στην ορθολογική ανάπτυξη και διαχείριση των πόρων αυτών.

Στους στόχους του έργου συμπεριλαμβάνεται, ως εργασία υποδομής, η ανάπτυξη προγραμμάτων Η/Υ για την υδρολογική, υδρογεωλογική και διαχειριστική προσομοίωση του συστήματος των συνδυασμένων λεκανών απορροής που θα εξεταστούν. Η ανάπτυξη των προγραμμάτων αυτών, παράλληλα με την ανάπτυξη μεθοδολογιών κατάλληλα προσαρμοσμένων στις ελληνικές συνθήκες, θα αποτελέσει ένα μόνιμο βοήθημα στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων για τη διαχείριση των υδατικών πόρων τόσο της Στερεάς Ελλάδας, όσο και άλλων περιοχών της Ελλάδας.

Στους στόχους του ερευνητικού έργου συμπεριλαμβάνεται επίσης η διεύρυνση της συνεργασίας του ΥΠΕΧΩΔΕ και του ΕΜΠ. Η συνεργασία είναι απαραίτητη και για τις δύο πλευρές και αποτελεί προϋπόθεση για τη διαρκή ενημέρωση των αποτελεσμάτων του έργου και την επιτελική αντιμετώπιση του συστήματος των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας. Για την υλοποίηση του στόχου αυτού έχει προβλεφτεί η συμμετοχή επιστημόνων του ΥΠΕΧΩΔΕ στην ερευνητική ομάδα.

1.2.2 Ειδικότεροι στόχοι της τρίτης φάσης

Στις δύο πρώτες φάσεις του ερευνητικού έργου, έγινε εκτεταμένη συλλογή, αρχειοθέτηση και επεξεργασία τοπογραφικών, γεωλογικών, υδρογεωλογικών, υδρολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων. Το σύνολο των υδρολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων είναι αποθηκευμένα σε σχεσιακή βάση δεδομένων, ενώ τα τοπογραφικά, γεωλογικά και υδρογεωλογικά δεδομένα βρίσκονται σε Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας (ΣΓΠ).

Η παρούσα τρίτη φάση αποσκοπούσε στην ολοκλήρωση του συστήματος πληροφοριών με την προσθήκη δύο ακόμη επιπέδων πληροφορίας: πληροφορίες σχετικά με τις γεωγραφικές περιοχές που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τη διαχείριση υδατικών πόρων (αρδευόμενες εκτάσεις, τουριστικές και βιομηχανικές περιοχές, κτλ.) και πληροφορίες σχετικές με τα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των έργων αξιοποίησης νερού στην περιοχή της Στερεάς Ελλάδας. Όλα τα επίπεδα πληροφορίας διασυνδέονται κατάλληλα, ώστε να αποτελούν ένα ενιαίο σύστημα συνεργαζόμενων βάσεων δεδομένων.

Επίσης στην τρίτη φάση γίνεται η εκτίμηση των σημερινών και μελλοντικών αναγκών σε νερό για τις βασικές χρήσεις στα τρία υδατικά διαμερίσματα της Στερεάς Ελλάδας καθώς και συλλογή, αξιολόγηση και καταχώρηση οικονομικών στοιχείων σχετικών με τους υδατικούς πόρους.

Για τα δύο βασικά υδροσυστήματα της περιοχής μελέτης, το υδροσύστημα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (Αχελώου) και Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (Μόρνου - Ευήνου - Βοιωτικού Κηφισού - Υλίκης - Αθήνας) καταρτίζονται λεπτομερή μοντέλα συνολικής προσομοίωσης και βελτιστοποίησης. Από τη λειτουργία των μοντέλων αυτών προτείνονται βέλτιστοι τρόποι διαχείρισης και εξάγονται τα τελικά συμπεράσματα.

1.3 Συμβατικό αντικείμενο της τρίτης φάσης

Σύμφωνα με το κεφάλαιο 2 της απόφασης ανάθεσης, το συμβατικό αντικείμενο του έργου έχει ως ακολούθως:

2.3.1 Επισκόπηση μελετών αξιοποίησης και διαχείρισης υδατικών πόρων

Περιλαμβάνει τον εντοπισμό, συλλογή, επισκόπηση και αξιολόγηση των σημαντικότερων μελετών που σχετίζονται με την αξιοποίηση και διαχείριση υδατικών πόρων. Συγκεκριμένα πρόκειται για μελέτες σχετικές με την κατασκευή και λειτουργία των υδραυλικών και εγγειοβελτιωτικών έργων καθώς και περιβαλλοντικές και διαχειριστικές μελέτες. Στόχος της επισκόπησης είναι ο εντοπισμός των έργων και περιοχών που σχετίζονται με τη διαχείριση υδατικών πόρων και η συγκέντρωση των σχετικών πληροφοριών.

Οι πληροφορίες που θα αντληθούν από την επισκόπηση αποτελούνται από τις παρακάτω κύριες κατηγορίες:

- κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των υδραυλικών έργων (π.χ. καμπόλες στάθμης-όγκου φραγμάτων, παροχετευτικότητα υδραγωγείων).
- πληροφορίες σχετικές με τη λειτουργία των έργων (π.χ. πηγή και ποσότητες τροφοδοσίας αρδευτικών έργων).
- πληροφορίες σχετικές με τις χρήσεις νερού (π.χ. εκτάσεις και είδος καλλιεργειών, πληθυσμιακά δεδομένα, βιομηχανικές καταναλώσεις).
- γεωγραφικές πληροφορίες που σχετίζονται με τους υδατικούς πόρους (π.χ. όρια αρδευτικών ζωνών, χρήσεις γης, είδη εδαφών).
- πληροφορίες σχετικές με την ποιότητα νερού, τις περιβαλλοντικές χρήσεις, και την κατάσταση των οικοσυστημάτων.
- πληροφορίες σχετικές με τους κανόνες λειτουργίας των έργων και την διαχείριση των υδατικών πόρων.

Ο εντοπισμός και η συλλογή θα γίνει με βάση τα αρχεία μελετών του ΥΠΕΧΩΔΕ, της ΔΕΗ, του ΥΠΓΕ και του YBET. Οι μελέτες που θα εντοπιστούν θα αξιολογηθούν, και θα αντληθούν από

αυτές οι αναγκαίες πληροφορίες. Ένα μεγάλο μέρος από τις πληροφορίες αυτές (ιδιαίτερα οι κατασκευαστικές και λειτουργικές) θα πρέπει ελεγχθούν μέσω της διασταύρωσής τους.

2.3.2 Αξιολόγηση και ανάλυση δεδομένων σχετικών με την αξιοποίηση και χρήση υδατικών πόρων - Σύνθεση γενικής μεθοδολογίας αντιμετώπισης

Θα αξιολογηθούν και θα αναλυθούν δεδομένα που αφορούν στις ακόλουθες ενότητες:

- Γενικά χαρακτηριστικά περιοχής μελέτης (διοικητική δομή, βασικά δημογραφικά και οικονομικά δεδομένα, υφιστάμενη κατάσταση, μελλοντικές δυνατότητες, προγράμματα ανάπτυξης της περιοχής).
- Παραγωγικές δραστηριότητες της περιοχής μελέτης.
- Βασικά χαρακτηριστικά ποιοτικά δεδομένα (επισήμανση κύριων ρυπογόνων πηγών και αντίστοιχων προβλημάτων, επισήμανση νερών με ειδικά χαρακτηριστικά, όπως θερμομεταλλικά, ιαματικά κτλ., επισήμανση περιοχών με οικολογικό ενδιαφέρον και των αντίστοιχων προβλημάτων και δυνατοτήτων αξιοποίησης).

Επίσης θα καθοριστούν οι βασικές αρχές διαχείρισης υδατικών πόρων της περιοχής μελέτης, τόσο υπό κανονικό καθεστώς όσο και υπό συνθήκες ακραίων υδρολογικών φαινόμενων.

2.3.3 Εκτίμηση σημερινών και μελλοντικών υδατικών αναγκών

Θα γίνει εκτίμηση της ζήτησης νερού κατά χρήση, σύμφωνα με τα ακόλουθα:

- Άρδευση (καταγραφή των αρδευόμενων εκτάσεων, περιγραφή μεθόδου άρδευσης, είδη καλλιεργειών και ανάγκες σε νερό, κύρια σημεία υδροληψίας).
- Κτηνοτροφία (καταγραφή σχετικών δραστηριοτήτων, υπολογισμός αναγκών σε νερό).
- Ιχθυοκαλλιέργεια (καταγραφή μονάδων και τοποθεσία, υπολογισμός αναγκών σε νερό).
- Ύδρευση - Βιομηχανική χρήση (εκτίμηση των υδρευτικών αναγκών των μονίμων κατοίκων και τουριστών, αξιολόγηση υφιστάμενων δικτύων - απώλειες, καταγραφή των βασικών συγκεντρωμένων (ΒΙΠΕ) ή διάσπαρτων βιομηχανικών μονάδων και εκτίμηση αναγκών σε νερό, εκτίμηση συνολικών αναγκών, επισήμανση των σημαντικών περιβαλλοντικών προβλημάτων).
- Ενεργειακή χρήση.
- Περιβάλλον (ανάγκες οικοσυστημάτων, ελάχιστες διατηρητέες παροχές, ελάχιστες στάθμες λιμνών).
- Μελέτη μελλοντικών τάσεων.
- Συμπεράσματα.

2.3.4 Σχεδιασμός και υλοποίηση συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας για τις χρήσεις νερού

Η γεωγραφική πληροφορία για τις χρήσεις νερού αποτελείται από τη θέση των χρήσεων στο χώρο και τα δεδομένα που συνδέονται με αυτές. Οι θέσεις των χρήσεων θα αποθηκεύονται σε επίπεδα του ΣΓΠ ενώ τα δεδομένα, σε πίνακες της σχεσιακής βάσης δεδομένων του συστήματος.

Το σύστημα που θα αναπτυχθεί θα περιλαμβάνει τα ακόλουθα υπο-επίπεδα πληροφορίας:

- Θέσεις κατανάλωσης νερού (πόλεις, ΒΙΠΕ, μεγάλες κτηνοτροφικές μονάδες).
- Όρια καλλιεργούμενων εκτάσεων και αρδευτικών έργων.
- Σημεία απαίτησης ελάχιστης παροχής ποταμών.

Οι πίνακες της βάσης δεδομένων θα είναι σχεδιασμένοι ώστε να συνδέονται με τα αντίστοιχα επίπεδα και να περιλαμβάνουν τα κατάλληλα πεδία για την αποθήκευση της διαθέσιμης πληροφορίας. Οι κυριότερες πληροφορίες που θα περιλαμβάνονται στους αντίστοιχους πίνακες της βάσης δεδομένων είναι:

- Όνομα, πληθυσμιακά δεδομένα (αριθμός κατοίκων, ζώων, κτλ.), όγκοι νερού που καταναλώνονται.
- Είδος καλλιεργειών (κηπευτικά, δενδρώδεις, κτλ.), πηγή και ποσότητες τροφοδοσίας αρδευτικών έργων, ύπαρξη στραγγιστικού έργου.
- Ελάχιστη παροχή που απαιτείται.

2.3.5 Σχεδιασμός και υλοποίηση συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας για τα χαρακτηριστικά των έργων αξιοποίησης νερού

Το σύστημα που θα αναπτυχθεί για τα έργα αξιοποίησης νερού θα περιλαμβάνει τα ακόλουθα υπο-επίπεδα πληροφορίας:

- Θέσεις φραγμάτων και λιμνοδεξαμενών.
- Έργα μεταφοράς νερού (υδραγωγεία) με τα χαρακτηριστικά τους κατά τμήματα (π.χ. έργα καταστροφής ενέργειας).
- Θέσεις έργων επεξεργασίας νερού (διωλιστήρια).

Οι κυριότερες πληροφορίες που θα περιλαμβάνονται στους αντίστοιχους πίνακες της βάσης δεδομένων είναι:

1. Κύρια λειτουργικά χαρακτηριστικά (όνομα, υπεύθυνη υπηρεσία, υψόμετρο, νομός, επαρχία, σκαρίφημα, κτλ), κύρια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά (τύπος φράγματος, κλίσεις πρανών, υψόμετρα στέψης και πυθμένα, μέγιστο ύψος, μήκος και πλάτος στέψης, χαρακτηριστικά υπερχειλιστή, χαρακτηριστικές στάθμες υδροληψίας, καμπύλες στάθμης - επιφάνειας - όγκου).
2. Μήκος και είδος υδραγωγείων (σήραγγες ελεύθερης ροής και υπό πίεση, σίφωνες, διώρυγες), παροχετευτικότητα, φορέας και έτος κατασκευής, σκαρίφημα διατομής.

3. Κύρια λειτουργικά χαρακτηριστικά (όνομα, υπεύθυνη υπηρεσία, υψόμετρο), κύρια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά (τύπος, ικανότητα διωλιστηρίων).

2.3.6 Ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης υδροσυστήματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας

Στη δεύτερη φάση του έργου αναπτύχθηκε σε πιλοτική μορφή ένα μοντέλο για τη διαχείριση του Κάτω Αχελώου, το οποίο περιλάμβανε μόνο τους ταμιευτήρες Κρεμαστών, Καστρακίου και Στράτου. Στην τρίτη φάση θα ολοκληρωθεί το μοντέλο συμπεριλαμβάνοντας το σύνολο των ταμιευτήρων Άνω και Κάτω Αχελώου, προκειμένου να δώσει τη δυνατότητα μιας συνολικής εκτίμησης των ανταγωνιστικών χρήσεων νερού και της εναισθησίας του συστήματος σε ανθρωπογενείς και κλιματικές αλλαγές. Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο ελέγχου ταμιευτήρων θα συμπεριλάβει και τους ταμιευτήρες Ταυρωπού, Μεσοχώρας και Συκιάς με τα φυσικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τους. Επίσης, θα διερευνηθεί η δυνατότητα ανάπτυξης διαδικασιών πρόγνωσης εισροών για τους 6 ταμιευτήρες με βάση στατιστικές τεχνικές και τεχνικές νευρωνικών δικτύων. Εφόσον η διερεύνηση αυτή αποδώσει θετικά αποτελέσματα, το μοντέλο ελέγχου ταμιευτήρων θα συνδυαστεί με τις διαδικασίες πρόγνωσης, προκειμένου να σχηματιστεί ένα μοντέλο πρόγνωσης ελέγχου. Ακόμη, θα διερευνηθούν και θα ενσωματωθούν στο μοντέλο τα οικονομικά μεγέθη της άρδευσης και της παραγωγής ενέργειας (ανά διατιθέμενο m^3 νερού). Τέλος το συνολικό μοντέλο διαχείρισης θα χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση (α) των οικονομικού ανταγωνισμού των χρήσεων νερού του Αχελώου και (β) της ικανότητας του ποταμού να καλύψει τις υδατικές ανάγκες κάτω από διαφορετικά επιχειρησιακά και κλιματικά σενάρια. Στην εφαρμογή του μοντέλου θα συνεκτιμήθουν τα οικονομικά μεγέθη που σχετίζονται με τη χρήση του νερού, τα επίπεδα αξιοποιησίας, οι αποθηκευτικοί όγκοι που διατίθενται για έλεγχο πλημμυρών και τα χαρακτηριστικά της εκτροπής προς τη Θεσσαλία. Η κλιματική ανάλυση εναισθησίας θα προσεγγιστεί με βάση τις ιστορικές αναλογίες, εντοπίζοντας μέσα στο ιστορικό δείγμα ακραίες διαδοχές νυρών και ξηρών περιόδων. Οι περίοδοι αυτές θα ληφθούν ως αντιπροσωπευτικές για περιπτώσεις πιθανών κλιματικών αλλαγών.

Το μοντέλο που θα αναπτυχθεί θα παραδοθεί υπό μορφή εκτελέσιμου προγράμματος, το οποίο θα συνοδεύεται από τεύχος που θα περιγράφει τις μεθόδους και τα αποτελέσματα της εργασίας.

Το πληροφοριακό υλικό που θα χρησιμοποιηθεί θα ληφθεί από τις εργασίες που έχουν εκτελεστεί στα πλαίσια των δύο πρώτων φάσεων του έργου (υδρολογικά δείγματα κτλ.), καθώς και στα πρόσθετα διαχειριστικά δεδομένα που θα συλλεγούν στην παρούσα τρίτη φάση. Επίσης, θα χρησιμοποιηθούν όλες οι μέθοδοι και θα αξιοποιηθούν όλες οι διερευνήσεις που έχουν γίνει ως τώρα στο έργο.

2.3.7 Ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης υδροσυστήματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας

Όπως αναλύθηκε στη δεύτερη φάση, το δεύτερο αυτό υδροσύστημα έχει τελείως διαφορετική δομή και λειτουργία από το πρώτο και απαιτεί διαφορετική προσέγγιση. Η μεθοδολογία προσέγγισης έχει ήδη προδιαγραφεί στη δεύτερη φάση, στην οποία είχε συνταχθεί και πιλοτικό μοντέλο του συστήματος. Συγκεκριμένα, η μεθοδολογία βασίζεται στο σχήμα: στοχαστική προσομοίωση εισροών - παραμετροποίηση της πολιτικής διαχείρισης του συστήματος με εισαγωγή παραμετρικών κανόνων λειτουργίας - προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος για κάθε σύνολο παραμέ-

τρων - βελτιστοποίηση των παραμέτρων λειτουργίας κάτω από περιορισμούς που αφορούν στην εξασφάλιση ικανοποιητικής αξιοπιστίας.

Στην παρούσα τρίτη φάση, αφού ολοκληρωθεί η γεωγραφική αναπαράσταση του συστήματος και των συνιστώσων του (βλ. προηγούμενα εδάφια), θα γίνει η πλήρης μαθηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του και των φυσικών και λειτουργικών περιορισμών του, στην οποία θα συμπεριληφθούν και οι εισροές από εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων. Θα ακολουθήσει η πλήρης στοχαστική προσομοίωση των υδρολογικών εισόδων στις διάφορες θέσεις των συστημάτων, κάτω από διαφορετικά υδρολογικά σενάρια, στα οποία θα λαμβάνονται υπόψη οι διαπιστωμένες τάσεις και η ξηρασία των πρόσφατων ετών. Στο λειτουργικό τμήμα του μοντέλου θα ενσωματωθούν τα δεδομένα κόστους, οφέλους και περιβαλλοντικών δεσμεύσεων. Το τμήμα βελτιστοποίησης θα περιλάβει την ανάπτυξη αποτελεσματικών αλγορίθμων βελτιστοποίησης των παραμέτρων του συστήματος. Τα παραπάνω θα ολοκληρωθούν σε λογισμικό πακέτο, κατάλληλο για χρήση από το ΥΠΕΧΩΔΕ.

Το πληροφοριακό υλικό που θα χρησιμοποιηθεί θα ληφθεί από τις εργασίες που έχουν εκτελεστεί στα πλαίσια των δύο πρώτων φάσεων του έργου (υδρολογικά δείγματα κτλ.), καθώς και στα πρόσθετα διαχειριστικά δεδομένα που θα συλλεγούν στην παρούσα τρίτη φάση. Επίσης, θα χρησιμοποιηθούν όλες οι μέθοδοι και θα αξιοποιηθούν όλες οι διερευνήσεις που έχουν γίνει ως τώρα στο έργο.

2.3.8 Ολοκλήρωση και διασύνδεση πληροφορικών συστημάτων

Η διαθέσιμη πληροφορία που έχει συλλεγεί κατά τις δύο πρώτες φάσεις, και θα επεκταθεί κατά την τρίτη, είναι αποθηκευμένη σε διάφορα πληροφοριακά συστήματα, όπως:

1. Σχεσιακή βάση δεδομένων INGRES. Λειτουργεί σε UNIX και περιλαμβάνει τις χρονοσειρές των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των σταθμών μέτρησης.
2. Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας ARC-INFO. Λειτουργεί σε UNIX και περιέχει όλα τα γεωγραφικά επίπεδα πληροφορίας (ισοϋψείς, υδρογραφικό δίκτυο, θέσεις γεωτρήσεων, έργων κτλ.). Περιλαμβάνει επίσης σχεσιακή βάση δεδομένων, στην οποία είναι αποθηκευμένη όλη η διαθέσιμη υδρογεωλογική πληροφορία, ενώ θα αποθηκευτεί και μέρος των πληροφοριών που θα συλλεγούν στην τρίτη φάση.
3. Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας ARC-VIEW. Λειτουργεί σε περιβάλλον MS-WINDOWS. Επειδή το σύστημα αυτό δεν έχει τις δυνατότητες επεξεργασίας του προηγούμενου, περιέχει αποθηκευμένα τα περισσότερο αναγκαία γεωγραφικά επίπεδα πληροφορίας για άμεση γεωγραφική απεικόνιση της πληροφορίας.
4. Φύλλα εργασίας EXCEL. Λειτουργούν σε λειτουργικό σύστημα WINDOWS, και έχουν μεγάλη δυνατότητα τυποποιημένων επεξεργασιών και γραφημάτων (π.χ. καμπύλες στάθμης-όγκου ταμευτήρων).

Εκτός από τα συστήματα αυτά, υπάρχουν και τα ανεξάρτητα διαχειριστικά μοντέλα, τα οποία λειτουργούν σε περιβάλλον MS-WINDOWS.

Το κάθε ένα από τα παραπάνω συστήματα έχει ιδιαιτερότητες που διευκολύνουν περισσότερο την αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων κάποιων κατηγοριών, χωρίς να είναι το πλέον κατάλληλο για τα δεδομένα άλλων. Γενικά τα πληροφοριακά συστήματα σε UNIX έχουν μεγαλύτερη δυνατότητα αποθήκευσης, και ταχύτερη ανάκτηση και επεξεργασία των δεδομένων, σε σύγκριση με αντά που λειτουργούν σε MS-WINDOWS. Τα τελευταία, έχουν το πλεονέκτημα της εύκολης εγκατάστασης και λειτουργίας σε προσωπικούς υπολογιστές και της γρήγορης παρουσίασης και αναπαραγωγής των επεξεργασμένων δεδομένων, με την παραγωγή τυποποιημένων διαγραμμάτων και θεματικών χαρτών.

Η συνεργασία και επικοινωνία μεταξύ των παραπάνω πληροφορικών συστημάτων είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική υλοποίηση των στόχων του προγράμματος. Το κάθε ένα από τα παραπάνω συστήματα θα πρέπει να προσαρμοστεί έτσι ώστε να συνδέεται άμεσα ή έμμεσα με τα υπόλοιπα, με τρόπο που να εξασφαλίζει την εποπτεία των διεργασιών και την εύκολη πρόσβαση στο σύνολο των πληροφοριών. Έτσι, θα πραγματοποιηθεί σύνδεση μεταξύ των σχεσιακών βάσεων δεδομένων, ενώ οι επεξεργασμένες πληροφορίες θα αποθηκεύονται σε ARC-VIEW και EXCEL για τη γρήγορη παρουσίαση τους.

2.3.9 Εξαγωγή τελικών συμπερασμάτων και σύνταξη τελικής έκθεσης

1.4 Αντικείμενο του παρόντος τεύχους

Αντικείμενο του παρόντος τεύχους, που αποτελεί την τελική έκθεση της Γ' φάσης του ερευνητικού έργου, είναι η επισκόπηση του συνόλου εργασιών της Γ' φάσης του ερευνητικού έργου. Η λεπτομερής ανάλυση των εργασιών περιλαμβάνεται στα επιμέρους τεύχη, CD-ROM και παραρτήματα που συνυποβάλλονται με την έκθεση αυτή.

1.5 Παραδοτέα της τρίτης φάσης

Τα υπόλοιπα τεύχη, εκτός από την παρούσα τελική έκθεση (Τεύχος 41), που εκπονήθηκαν στα πλαίσια της Γ' φάσης του έργου φαίνονται κατά ομάδα και κατηγορία εργασιών στον Πίν. 1. Τα λοιπά παραδοτέα στοιχεία φαίνονται ανά ομάδα εργασιών στον Πίν. 2.

Πίν. 1 Τεύχη ανά κατηγορία εργασιών.

A/A	Τίτλος	Αντιστοιχία με συμβ. αντ.
Κατηγορία 1: Εργασίες επισκόπησης παλιότερων μελετών		
33	Επισκόπηση μελετών αξιοποίησης και διαχείρισης υδατικών πόρων	2.3.1
34	Γενικά χαρακτηριστικά και αναπτυξιακά δεδομένα περιοχής μελέτης	2.3.2
Κατηγορία 2: Εργασίες συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων		
35	Υδατικοί πόροι Στερεάς Ελλάδας	2.3.2
36	Υδροσυστήματα Στερεάς Ελλάδας	2.3.2
37	Εκτίμηση υδατικών αναγκών	2.3.3
Κατηγορία 3: Βασική έρευνα και ανάπτυξη λογισμικού		
39	Μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης υδροσυστήματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας	2.3.6
40	Μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης υδροσυστήματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας	2.3.7, 2.3.8
Κατηγορία 4: Εργασίες ανάπτυξης Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας.		
38	Συστήματα Γεωγραφικής Πληροφορίας και άλλες βάσεις δεδομένων	2.3.4, 2.3.5, 2.3.8

Πίν. 2 Λοιπά παραδοτέα ανά κατηγορία εργασιών.

A/A	Τίτλος	Αντιστοιχία με συμβ. αντ.
Κατηγορία 1: Ανάπτυξη λογισμικού		
Ψηφιακός δίσκος (CD-ROM) 2	Πρόγραμμα WSHDSS για τη διαχείριση του υδροσυστήματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας	2.3.6
Ψηφιακός δίσκος (CD-ROM) 1	Προγράμματα ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ και SHyS για τη διαχείριση του υδροσυστήματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας	2.3.7
Ψηφιακός δίσκος (CD-ROM) 2	Βάση δεδομένων για τη λειτουργία του προγράμματος για τη διαχείριση του συστήματος ταμιευτήρων του Αχελώου	2.3.6
Ψηφιακός δίσκος (CD-ROM) 1	Βάση δεδομένων για τη λειτουργία του προγράμματος για τη διαχείριση του υδροσυστήματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας	2.3.7.
Κατηγορία 3: Εργασίες συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων		
Ψηφιακός δίσκος 1 (CD-ROM)	Δεδομένα χρήσεων νερού σε βάση δεδομένων MS-ACCESS	2.3.4, 2.3.5, 2.3.8
Κατηγορία 4: Εργασίες ανάπτυξης Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας.		
Ψηφιακός δίσκος 1 (CD-ROM)	1. Προγράμματα υπολογιστή για: (1α) παραγωγή χαρτών, (1β) σύνδεση με τη βάση υδρολογικών δεδομένων, και (1γ) επεξεργασία υδρολογικών δεδομένων 2. Δεδομένα: (2α) επίπεδα γεωγραφικής πληροφορίας (coverages), και (2β) ψηφιακό μοντέλο εδάφους 3. Αποτελέσματα Έτοιμα αρχεία για παραγωγή ψηφιακών χαρτών	2.3.4, 2.3.5, 2.3.8

2 Επισκόπηση μελετών αξιοποίησης και διαχείρισης υδατικών πόρων

Έγινε εντοπισμός, συλλογή, επισκόπηση και αξιολόγηση των σημαντικότερων μελετών που σχετίζονται με την αξιοποίηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας. Συγκεκριμένα, οι μελέτες αυτές αφορούν την κατασκευή και λειτουργία υδραυλικών έργων της περιοχής είτε υδρευτικών είτε εγγειοβελτιωτικών, καθώς και με το περιβάλλον και τη διαχείριση των υδατικών πόρων γενικότερα.

Στόχος της επισκόπησης ήταν η καταγραφή των έργων που σχετίζονται με τη διαχείριση των υδατικών πόρων και η συγκέντρωση και αξιολόγηση πληροφοριών σχετικών με αυτά. Οι πληροφορίες αυτές περιλαμβάνουν:

1. Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των έργων (π.χ. καμπύλες στάθμης-όγκου φραγμάτων, παροχετευτικότητα υδραγωγείων)
2. Πληροφορίες για την λειτουργία των έργων (π.χ. πηγή και ποσότητες τροφοδοσίας αρδευτικών έργων)
3. Πληροφορίες σχετικές με τις χρήσεις νερού (π.χ. εκτάσεις και είδη καλλιεργειών, πληθυσμιακά δεδομένα, βιομηχανικές καταναλώσεις)
4. Γεωγραφικές πληροφορίες που σχετίζονται με τους υδατικούς πόρους (π.χ. άρια αρδευτικών ζωνών, χρήσεις γης, είδη εδαφών)
5. Πληροφορίες για την ποιότητα νερού, τις περιβαλλοντικές χρήσεις και την κατάσταση των οικοσυστημάτων
6. Πληροφορίες σχετικές με τη διαχείριση των υδατικών πόρων.

Ο εντοπισμός των μελετών έγινε με βάση τα αρχεία μελετών των υπουργείων και άλλων οργανισμών που ασχολούνται με τους υδατικούς πόρους (ΥΠΕΧΩΔΕ, ΥΠΓΕ, ΥΠΑΝ, ΔΕΗ, ΕΜΠΙ). Πολύ σημαντικό βοήθημα υπήρξαν οι μελέτες Αποδελτίωσης του YBET (ΥΠΑΝ) για τα 3 υδατικά διαμερίσματα της περιοχής.

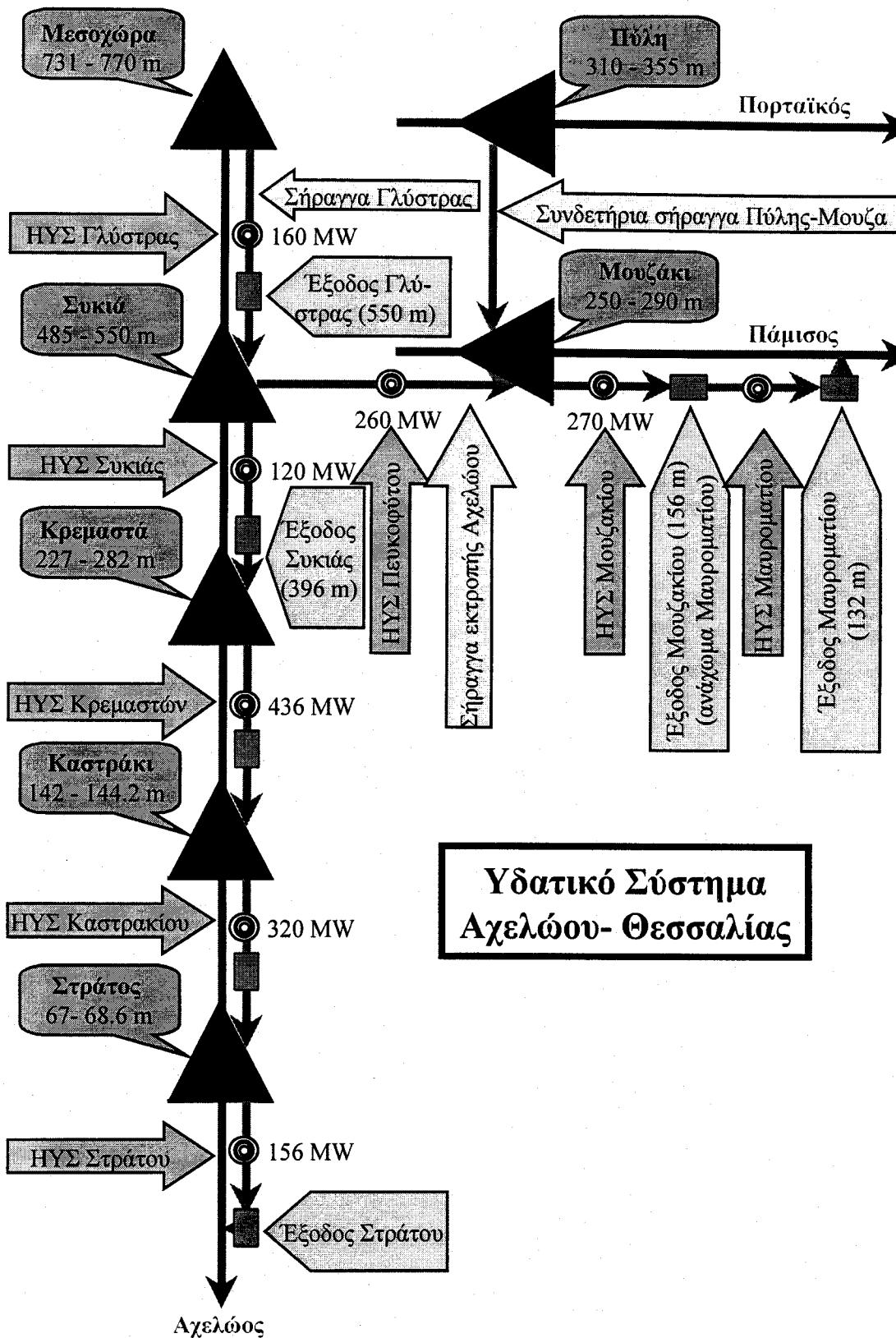
Για τις ανάγκες του παρόντος ερευνητικού έργου καταρτίστηκε ειδικό Δελτίο που έλαβε υπόψη του και το Απογραφικό δελτίο του ΥΠΑΝ. Σχέδιο του Δελτίου καθώς και διευκρινίσεις για το τρόπο που συμπληρώθηκε του παρουσιάζεται στο τεύχος 33. Στο τεύχος εκείνο δίνεται και συγκεντρωτικός κατάλογος των μελετών που εξετάστηκαν.

3 Αξιολόγηση και ανάλυση δεδομένων σχετικών με την αξιοποίηση και χρήση υδατικών πόρων - Σύνθεση γενικής μεθοδολογίας αντιμετώπισης

3.1 Το υδροσύστημα του Άνω και Μέσου Αχελώου

Αν εξετάσουμε την περιοχή μελέτης (που φαίνεται στον Χάρτη 1) ξεκινώντας από τα δυτικά, το πρώτο υδροσύστημα που παρουσιάζει ενδιαφέρον από την άποψη της διαχείρισης των υδατικών πόρων είναι το υδροσύστημα του Άνω και Μέσου Αχελώου. Το υδροσύστημα περιλαμβάνει τον Άνω και Μέσο Ρου του ποταμού Αχελώου (πλην της λεκάνης του Ταυρωπού), τους υφιστάμενους στο Μέσο Ρου ταμιευτήρες Κρεμαστών, Καστρακίου και Στράτου και τους αντίστοιχους Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς (ΥΗΣ). Στο μέλλον, το υδροσύστημα προγραμματίζεται να περιλάβει και έργα στον Άνω Αχελώο και συγκεκριμένα τον ταμιευτήρα Μεσοχώρας που ήδη έχει κατασκευαστεί, τον ταμιευτήρα Συκιάς που είναι σήμερα (1998) στη φάση της κατασκευής καθώς και τους αντίστοιχους ΥΗΣ. Ακόμη, το σύστημα θα περιλάβει και τα έργα που σχετίζονται με την εκτροπή του Αχελώου στη Θεσσαλία και συγκεκριμένα τη σήραγγα εκτροπής, τα φράγματα Πύλης και Μουζακίου και οι συνδεδεμένοι με τα έργα αυτά ΥΗΣ Πευκόφυτου, Μουζακίου και Μαυροματίου. Κύρια χρήση νερού στο υδροσύστημα είναι, βέβαια, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας ενώ σημαντική ανταγωνιστική προς την παραγωγή ενέργειας χρήση είναι η αρδευτική. Σημαντικές ποσότητες νερού διατίθενται για άρδευση των καλλιεργούμενων εκτάσεων στην Αιτωλοακαρνανία, κατάντη του φράγματος Στράτου, ενώ με την εκτροπή του Αχελώου, θα υπεισέλθει στο σύστημα και η άρδευση της Θεσσαλικής πεδιάδας.

Στον Χάρτη 2 φαίνονται οι υφιστάμενοι ταμιευτήρες του υδροσυστήματος. Στο Σχ. 1 παρουσιάζεται σχηματικά το υδροσύστημα στην πλήρη ανάπτυξή του μετά την ένταξη σε αυτό και των έργων της Εκτροπής. Λεπτομερείς πληροφορίες για όλα τα κύρια έργα παρουσιάζονται συνοπτικά στο τεύχος 36 και αναλυτικότερα στο Παράρτημα του τεύχους εκείνου.



Σχ. 1 Σχηματική παράσταση υδροσυστήματος Άνω και Μέσου Αχελώου και χαρακτηριστικές στάθμες.

Στον Πίν. 3 δίνονται τα κύρια χαρακτηριστικά ταμιευτήρων υδροσυστήματος Άνω και Μέσου Αχελώου με ή χωρίς υδροηλεκτρικά έργα στην πλήρη ανάπτυξή του μετά την ολοκλήρωση των έργων της Εκτροπής.

Πίν. 3 Κύρια χαρακτηριστικά ταμιευτήρων υδροσυστήματος Άνω και Μέσου Αχελώου χωρίς εκτροπή.

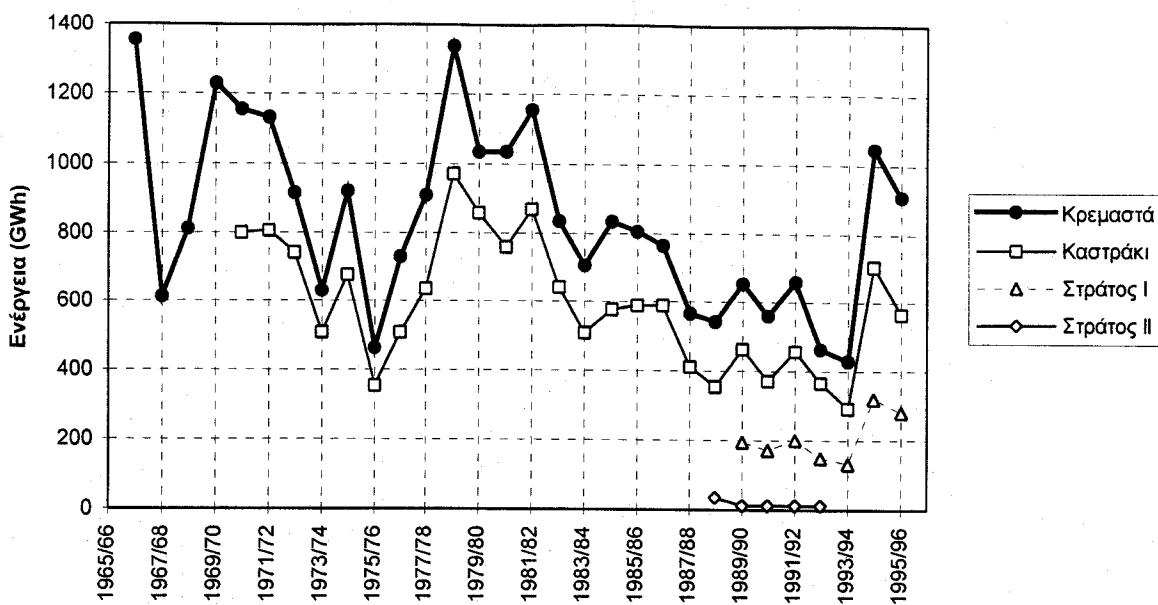
Ταμιευτήρας	Ολική χωρητικότητα ταμιευτήρα (hm^3)	Ωφέλιμη χωρητικότητα ταμιευτήρα (hm^3)	Εγκατεστημένη ισχύς (MW)	Συνολική ετήσια παραγωγή ενέργειας (GWh)
Κρεμαστών	4750	3300	436	1300
Καστρακίου	1000	165	320	900
Στράτου I	80	11	150	578
Στράτου II			6.6	16
Μεσοχώρας	358	228	160	340
Συκιάς	590	502	120+260	230+375
Σύνολο υδροσυστήματος	6238	4206	1353	3739

Πηγές: ΔΕΗ (1995), ΥΠΕΧΩΔΕ (1995), Κουτσογιάννης (1996).

Στις δύο πρώτες φάσεις του ερευνητικού έργου έχουν συλλεγεί και υποστεί επεξεργασία δεδομένα σχετικά με τα υδρολογικά μεγέθη της λεκάνης του Αχελώου. Ακόμη, στη Β φάση του έργου έγινε συλλογή δεδομένων σχετικά με την ενεργειακή αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού του ποταμού και συγκεκριμένα:

1. Εκροές από τους στροβίλους των ΥΗΣ Κρεμαστών, Καστρακίου, Στράτου I και Στράτου II.
2. Σχέσεις ενεργειακών και υδραυλικών μεγεθών (ισχύς, παροχή στροβίλων, ειδική κατανάλωση) με μεγέθη λειτουργίας των έργων (όπως η στάθμη ταμιευτήρα και η στάθμη διώρυγας φυγής).
3. Ιστορικά δεδομένα παραγωγής ενέργειας σε μηνιαία βάση.

Στο Σχ. 2 παρουσιάζεται η ετήσια παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας από τους ΥΗΣ του υδροσυστήματος όπως αυτή προκύπτει από τα ιστορικά δεδομένα.



Σχ. 2 Ετήσια παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας από τους ΥΗΣ του υδροσυστήματος (σε GWh).

3.2 Το υδροσύστημα του Κάτω Αχελώου

Το υδροσύστημα αυτό περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο το μεγαλύτερο μέρος του νομού Αιτωλοακαρνανίας κατάντη του ταμιευτήρα Στράτου. Οι σημαντικότεροι υδατικοί πόροι του υδροσυστήματος είναι ο ποταμός Αχελώος, οι λίμνες Τριχωνίδα, Λυσιμαχία και Οζερός και οι υπόγειοι υδροφορείς της περιοχής με κύρια εκφόρτισή τους τις πηγές Λάμπρας - Λεστινίου. Κύρια χρήση νερού είναι η αρδευτική. Στο παρόν ερευνητικό έργο έγινε καταγραφή αποκλειστικά των αρδευτικών δικτύων που είναι οργανωμένα σε Τοπικούς Οργανισμούς Εγγείων Βελτιώσεων (TOEB). Δεκαεπτά από αυτούς βρίσκονται στη δικαιοδοσία του Γενικού Οργανισμού Εγγείων Βελτιώσεων (ΓΟΕΒ) Αχελώου. Άλλοι 11 TOEB υπάγονται στην Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων (YEB) της Νομαρχίας Αιτωλοακαρνανίας. Πρόσφατα (1991) οργανώθηκαν σε TOEB 8 αρδευόμενες εκτάσεις που ήταν στη δικαιοδοσία κοινοτήτων της περιοχής. Περισσότερα στοιχεία για τις τρεις ομάδες TOEB που περιγράψαμε πιο πάνω δίνονται στους πίνακες που ακολουθούν.

Πίν. 4 ΤΟΕΒ που ανήκουν στον ΓΟΕΒ Αχελώου (δεδομένα 1996)

α/α	ΤΟΕΒ	Κοινότητες	Κυριότερο σύστημα άρδευσης	Αρδευόμενη έκταση (στρ.)	Αρδευθείσα έκταση (στρ.)
1	Αγρινίου Ερημίτσα	Αγρίνιο	Καταιονισμός	3 000	1 207
2	Ευηνοχωρίου	Ευηνοχώρι	Καταιονισμός	24 968	17 478
3	Καλυβίων	Καλύβια	Επιφανειακή	19 000	18 700
4	Κατοχής	Κατοχή, Πεντάλοφος, Λεσίνι	Καταιονισμός	35 800	35 800
5	Κλεισούρας	Λυσιμαχία, Κλεισορεύματα	Επιφανειακή	5 000	2 200
6	Λεσινίου	Κτήμα Λεσινίου	Καταιονισμός	39 834	34 905
7	Λυσιμαχίας	Αγρίνιο, Δοκίμι	Επιφανειακή	13 000	13 000
8	Μακρύνειας	Παπαδάτες, Ματαράγκα, Γραμματικό, Γαβαλού, Αγ. Ανδρέα	Επιφανειακή	23 000	11 520
9	Μεσολογγίου	Μεσολόγγι, Αιτωλικό	Καταιονισμός	29 000	16 255
10	Νεοχωρίου	Νεοχώρι, Μάστρον, Γουριά	Καταιονισμός	62 700	55 093
11	Οζερού	Στράτος, Λεπενού, Γουριώτισσα, Όχθια, Ρίγανη, Κυψέλη	Επιφανειακή	29 000	25 889
12	Παλαιομάνινας	Παλαιομάνινα, Αγράμπελος, Πρόδρομος, Στρογγυλοβούνι	Καταιονισμός	5 300	3 953
13	Πάμφιας	Κ. Μακρινού, Καψοράχη	Επιφανειακή	4 500	2 660
14	Παναιτώλιου	Παναιτώλιο, Καινούργιο, Αβώρακι	Επιφανειακή	21 300	13 520
15	Παραβόλας	Παραβόλα	Επιφανειακή	3 500	1 588
16	Πεδιάδας Αγρινίου	Αγρίνιο, Δοκίμι, Μ. Χώρα, Σπολάιτα	Επιφανειακή	31 000	26 954
17	Φυτειών	Φυτείες	Καταιονισμός	16 000	11 498

Πίν. 5 Τοπικοί Οργανισμοί που ανήκουν στη δικαιοδοσία της ΔΕΒ Νομού Αιτωλοακαρνανίας (δεδομένα 1996).

α/α	ΤΟΕΒ	Σύστημα άρδευσης	Αρδευόμενη έκταση (στρ.)	Αρδευθείσα έκταση (στρ.)	Πηγή Υδροδότησης
1	Αβαρίκου - Ανάληψης	Καταιονισμός	5 500	1 320	3 γεωτρήσεις στον Εύηνο και πηγές Αβαρίκου - Ανάληψης
2	Θέρμου - Πετροχωρίου	Επιφανειακή	6 100	2 828	Πηγές Θέρμου και παρακείμενος χείμαρρος
3	Λευκού - Καλλιθέας	Καταιονισμός	1 800	1 436	Πηγές
4	Καινουρίου	Καταιονισμός	1 000	750	Λίμνη Τριχωνίδα
5	Σπάρτου	Καταιονισμός	1 250	1 000	Έλος Κατούνας και γεωτρήσεις
6	Σκουτεράς	Καταιονισμός	1 000	550	Χείμαρρος Ερημίτσας
7	Χαλκιόπουλου	Καταιονισμός	3 100	2 200	5 γεωτρήσεις και αντλιοστάσιο στον π. Ιναχό
8	Λουτρού	Καταιονισμός	1 100	-	3 γεωτρήσεις
9	Βόνιτσας (Ανακτορίου)	Καταιονισμός	23 500	12 970	Πηγές Μοναστηρακίου και λίμνη Βουλκαριά
10	Τρίκορφου	Καταιονισμός	1 800	1 350	Π. Εύηνος
11	Γαλατά	Επιφανειακή	15 000	14 100	Π. Εύηνος (σε περίπτωση ανάγκης η ΔΧΧVIII) *

* Υπό κατασκευή υπόγειο δίκτυο καταιονισμού

Πίν. 6 ΤΟΕΒ που ιδρύθηκαν μετά το 1991 (Στοιχεία του 1996).

α/α	ΤΟΕΒ	Σύστημα άρδευσης	Επιφάνεια (στρ.)	Πηγή υδροδότησης
1	Παντάνασσας	Επιφανειακή	3 000	Λίμνη Τριχωνίδα
2	Μυρτιάς – Νερομάνας*	Καταιονισμός	2 600	Πηγές Μυρτιάς
3	Κατούνας - Κονοπίνας	Καταιονισμός	7 500**	Λίμνη Αμβρακία
4	Θύριου*	Καταιονισμός	1 100	Γεωτρήσεις
5	Ποριάρη - Φαμίλα	Επιφανειακή	2 200	Χείμαρρος Φαμίλας
6	Κεκροπίας	Καταιονισμός	3 000	Λίμνη Βουλκαριά
7	Χρυσοβίτσας	Καταιονισμός	5 500	Πηγές Λάμπρας
8	Αγ. Βλασίου	Καταιονισμός	400	Φρέαρ

* Το έργο δεν λειτουργεί.

** Αρδεύονται μόνο τα 2 100 στρέμματα.

Στον Χάρτη 3 φαίνονται οι ΤΟΕΒ του υδροσυστήματος. Για όλους τους ΤΟΕΒ, μας διατέθηκαν από τις Κεντρικές Υπηρεσίες του Υπουργείου Γεωργίας στην Αθήνα δεδομένα αρδευόμενης και αρδευθείσας έκτασης για κάθε ΤΟΕΒ και κάθε καλλιέργεια ξεχωριστά για τα έτη 1985-96 (με εξαίρεση το 1987). Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε τα ακόλουθα:

1. Οι σημαντικότερες καλλιέργειες είναι το βαμβάκι, η μηδική, ο καπνός και το καλαμπόκι.

2. Τα τελευταία χρόνια παρουσιάστηκε αυξητική τάση της καλλιέργειας του βαμβακιού (οι σχετικές εκτάσεις διπλασιάστηκαν σε 5 χρόνια) και περίπου αντίστοιχη μείωση των εκτάσεων με καλαμπόκι. Αυτό έχει ως συνέπεια η συνολική αρδευόμενη και αρδευθείσα έκταση να εμφανίζει μικρή αύξηση που οφείλεται στη συνεκτίμηση και των νέων TOEB που αναφέραμε πιο πάνω.
3. Οι κύριες μέθοδοι άρδευσης είναι η άρδευση με κατάκλυση (στη βόρεια περιοχή, ανάντη της σήραγγας Λυσιμαχίας) και ο καταιονισμός (στη νότια περιοχή). Οι αντίστοιχες εκτάσεις στα πλαίσια των TOEB ήταν περίπου ίσες μεταξύ τους μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 80. Στη συνέχεια, άρχισε αντικατάσταση των δικτύων κατάκλυσης με δίκτυα καταιονισμού.

Κύρια πηγή υδροδότησης είναι ο ποταμός Αχελώος μέσω της αναρρύθμισης των εκροών του ΥΗΣ Στράτος II από το αρδευτικό φράγμα κατάντη του υδροηλεκτρικού σταθμού. Στο φράγμα λειτουργούν δύο υδροληψίες: από την αριστερή υδροληψία ξεκινά η προσαγωγός διώρυγα ΔVII που αρδεύει τις περιοχές ανατολικά του Αχελώου, ενώ από τη δεξιά υδροληψία τα νερά κατευθύνονται προς τις περιοχές δυτικά του Αχελώου μέσω της προσαγωγού διώρυγας ΔI. Η περίσσεια των νερών που μεταφέρει η διώρυγα ΔVII είναι σημαντική και εμπλουτίζει το υδατικό δυναμικό της λίμνης Τριχωνίδας. Επίσης, στη λίμνη αυτή αποστραγγίζεται και το μεγαλύτερο μέρος των περιοχών που αρδεύει η ΔVII. Από τη λίμνη Τριχωνίδα αρδεύονται εκτάσεις των παρόχθιων TOEB με άντληση. Υπενθυμίζεται ότι η λίμνη Τριχωνίδα, με μέση έκταση 95.3 km², είναι η μεγαλύτερη λίμνη της Ελλάδας και έχει λεκάνη απορροής συνολικής έκτασης 401.2 km², συμπεριλαμβανομένης και της λίμνης. Στη λίμνη εκβάλλουν συνολικά 18 χείμαρροι με πιο σημαντικούς στη βόρεια πλευρά τους Πείνα, Καινουρίου, Λιγόρεμα, Κουβελόρεμμα, Μπουφόρεμμα, Ξηριά και Κρανόρεμμα ενώ στη νότια πλευρά εκβάλλουν μεταξύ άλλων οι χείμαρροι Παπαδάτων, Μπουγλάστης, Γραμματικού, Γαβαλού, Μπουρλέβας και Δαφνιάς. Η λίμνη τροφοδοτείται από καρστικές πηγές υπερχείλισης κυρίως στην Ανατολική - Βορειοανατολική περιμετρική ζώνη.

Η ανάγκη διατήρησης μιας μέγιστης επιτρεπτής στάθμης στη λίμνη ώστε να μη πλημμυρίζουν παρόχθιες περιοχές σε περιόδους πλημμυρών, οδήγησε στην κατασκευή της Ενωτικής Τάφρου που συνδέει τις λίμνες Τριχωνίδα και Λυσιμαχία. Η ρύθμιση της ροής γίνεται μέσω θυροφραγμάτων στην κεφαλή της τάφρου.

Η λίμνη Λυσιμαχία έχει μέση επιφάνεια 13 km² και η λεκάνη απορροής της έχει έκταση 314 km². Στη λίμνη εκβάλλουν 6 χείμαρροι με συνολική έκταση λεκάνης 175 km². Από αυτούς ο Ερημίτσας είναι ο σημαντικότερος με έκταση λεκάνης απορροής 100 km². Η Λίμνη Λυσιμαχία αποφορτίζεται μέσω της Σήραγγας Λυσιμαχίας προς τη νότια περιοχή του Κάτω Αχελώου και μέσω της Τάφρου Διμήκου προς τον Αχελώο σε μικρότερο όμως βαθμό.

Η Σήραγγα Λυσιμαχίας είναι το σημαντικότερο υδραυλικό έργο του υδροσυστήματος και συνδέει τη βόρεια με τη νότια περιοχή του Κάτω Αχελώου. Καταλήγει στο βόρειο μυχό της λιμνοθάλασσας του Αιτωλικού. Η άρδευση των νότιων περιοχών γίνεται μέσω των προσαγωγών διωρύγων ΔXX προς τα δυτικά και ΔXXVIII προς τα ανατολικά. Η παροχέτευση των πλεοναζόντων υδάτων αρχικά προβλέφτηκε προς τη λιμνοθάλασσα του Αιτωλικού. Η εμπειρία, όμως, έδειξε ότι αυτό προκαλεί ευτροφισμό στη λιμνοθάλασσα. Για το λόγο αυτό, σήμερα, η σήραγγα λειτουργεί με τρόπο ώστε οι παροχέτευομενες ποσότητες να μη να μη ξεπερνούν αθροιστικά τη

συνολική παροχετευτικότητα των διωρύγων ΔΧΧ και ΔΧΧVIII, και, βέβαια, να μην υπερχειλίζουν νερά προς λιμνοθάλασσα του Αιτωλικού. Η ρύθμιση της ροής γίνεται με δύο θυροφράγματα στην είσοδο της σήραγγας. Τα πλεονάζοντα νερά της λίμνης αποχετεύονται στον Αχελώο μέσω της τάφρου Διμήκου (ΤΧΧΧ) Στη Τάφρο Διμήκου εκβάλλουν και οι πηγές Αγγελόκαστρου - Διμήκου και η πρωτεύουσα στραγγιστική τάφρος ΤVIII.

Στην έξοδο της Σήραγγας Λυσιμαχίας έχουν κατασκευαστεί οι υδροληψίες των προσαγωγών διωρύγων ΔΧΧ και ΔΧΧVIII. Η προσαγωγός διώρυγα ΔΧΧ ξεκινά από τη δεξιά υδροληψία και αρδεύει τους ΤΟΕΒ Νεοχωρίου και Κατοχής καθώς και τμήμα του ΤΟΕΒ Λεσινίου. Παρουσιάζει έντονα προβλήματα διάβρωσης της επένδυσης στο αρχικό της τμήμα λόγω της κατασκευής της πάνω σε εδάφη με έντονη την παρουσία γύψου. Η διώρυγα διακλαδίζεται στις πρωτεύουσες διώρυγες ΔΙ και ΔII. Η στράγγιση των αρδευόμενων περιοχών γίνεται είτε στις λιμνοθάλασσες Μεσολογγίου και Αιτωλικού είτε απευθείας στο Ιόνιο Πέλαγος.

Η προσαγωγός διώρυγα ΔΧΧVIII ξεκινάει από την αριστερή υδροληψία της εξόδου της Σήραγγας Λυσιμαχίας, υδροδοτεί τους ΤΟΕΒ Μεσολογγίου, Ευηνοχωρίου καθώς και το Polder της Λιμνοθάλασσας Κλείσιοβας. Προβλέπεται στο μέλλον σε περιπτώσεις ανάγκης να υδροδοτεί και τμήμα του ΤΟΕΒ Γαλατά με σίφωνα που θα περνά κάτω από τον Εύηνο. Η στράγγιση των αρδευόμενων περιοχών γίνεται είτε στις λιμνοθάλασσες Μεσολογγίου και Αιτωλικού είτε απευθείας στη θάλασσα.

Προς τη δυτική όχθη του Αχελώου το υδροσύστημα αυτό είναι λιγότερο πολύπλοκο σε σχέση με εκείνο της ανατολικής όχθης αφού περιλαμβάνει τη λίμνη Οζερός, ενώ το αρδευτικό δίκτυο διωρύγων είναι στη σημερινή του μορφή σχετικά απλό. Στο μέλλον όμως προβλέπονται επεκτάσεις των υπαρχόντων αρδευτικών δικτύων αλλά και κατασκευή νέων. Από τη δεξιά υδροληψία του φράγματος εκτροπής κατάντη του ΥΗΣ Στράτου ξεκινάει η προσαγωγός διώρυγα ΔΙ η οποία αρδεύει, στη σημερινή κατάσταση, τους ΤΟΕΒ Οζερού και Φυτειών. Η λίμνη Οζερός έχει μέση επιφάνεια 9.3 km^2 και λεκάνη απορροής έκτασης 56.2 km^2 που τροφοδοτείται εκτός από τις απορροές της λεκάνης και από τις μικρές εισροές λόγω της αποστράγγισης ενός ασθενούς φρεατίου ορίζοντα. Τα πλεονάζοντα νερά της λίμνης παροχετεύονται στον Αχελώο μέσω τάφρου υπερχείλισης. Τα νερά που διαφεύγουν από τη λίμνη αποστραγγίζονται στην κοίτη του Αχελώου, τις μεγάλες πηγές της Λάμπρας και ενδεχομένως στον Αμβρακικό Κόλπο, μέσω των μεγάλων παράκτιων πηγών Αμφιλοχίας και Βλύχας. Η υπερχείλιση της λίμνης σε περιόδους πλημμυρών γίνεται στον Αχελώο μέσω της τάφρου υπερχείλισης Οζερού ΤΙ.

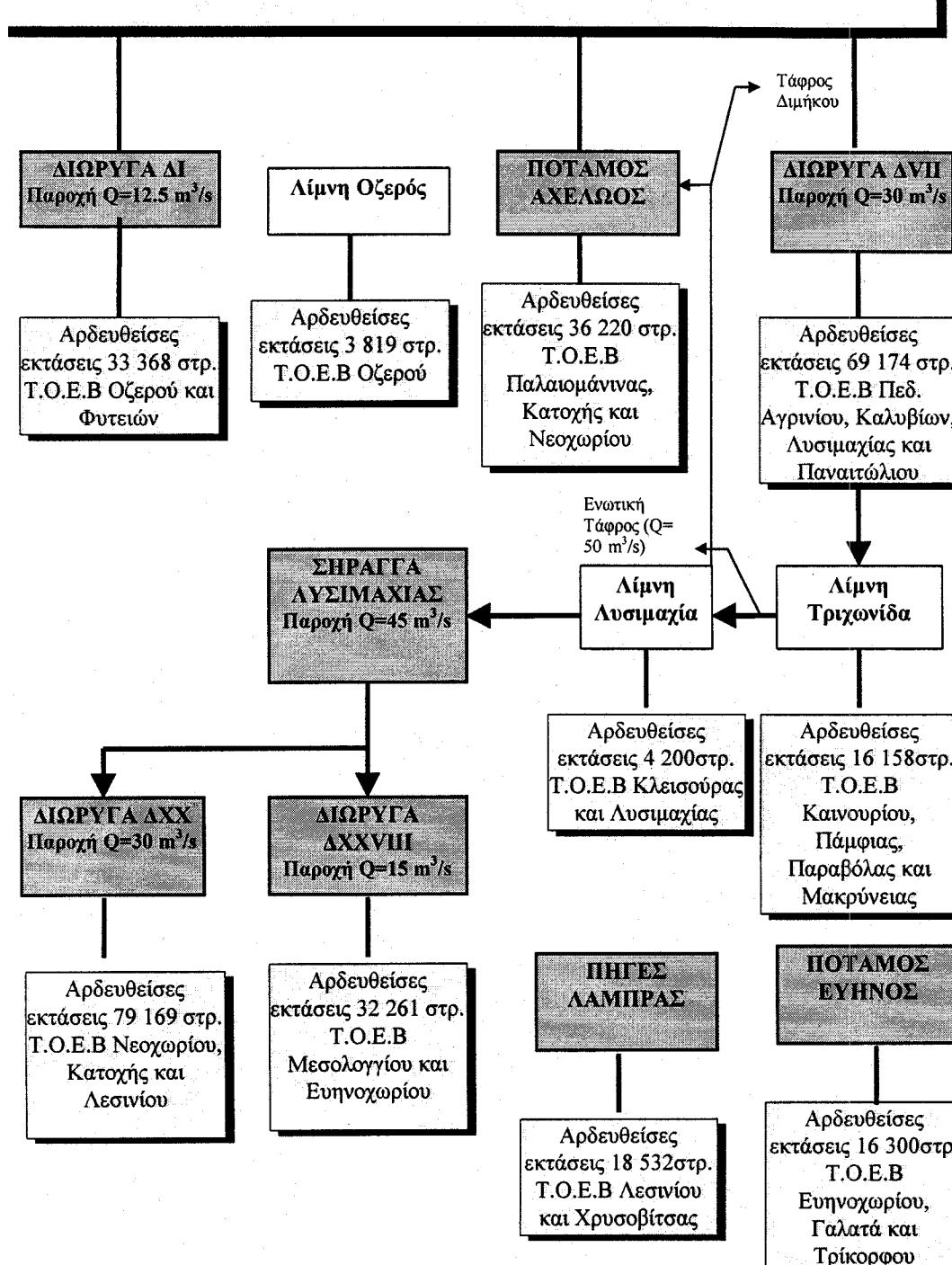
Ο ΤΟΕΒ Λεσινίου (ή Αγρόκτημα Λεσινίου) αρδεύεται από την ΔΧΧ και από τις πηγές Λάμπρας και στραγγίζεται στο Ιόνιο Πέλαγος. Επίσης στην περιοχή του Πενταλόφου αντλείται νερό απευθείας από τον Αχελώο. Οι πηγές Λάμπρας τροφοδοτούνται κατά κύριο λόγο από την εκφόρτιση των ανθρακικών λατυποπαγών και η παροχή τους, σημαντική έως πολύ μεγάλη, της τάξης των $4.4 \text{ m}^3/\text{s}$, σύμφωνα με το ΙΓΜΕ ή $5.5 \text{ m}^3/\text{s}$ κατά τις μετρήσεις της παροχής των πηγών το 1984 (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1995). Τα νερά των πηγών καταλήγουν στην τάφρο του Αγ. Δημητρίου και από εκεί στη θάλασσα.

Οι απορροές του Αχελώου κατάντη της διώρυγας φυγής του ΥΗΣ Στράτου I αποτελούνται μόνο από τις εκροές του ΥΗΣ που είναι διαλείπουσες. Μεταξύ του φράγματος εκτροπής κατάντη του Στράτου και της εξόδου της διώρυγας φυγής στον Αχελώο, η απορροή είναι πολύ μικρή και

αποτελείται μόνο από στραγγίσματα στραγγιστικών τάφρων και την απορροή της αντίστοιχης ενδιάμεσης λεκάνης σε περιόδους βροχοπτώσεων. Η ανεπάρκεια της παροχετευτικότητας του Αχελώου στα στενά του Πενταλόφου συντελεί στο να πλημμυρίζουν οι παρόχθιες περιοχές του Αχελώου.

Στον Χάρτη 4 φαίνονται τα κύρια έργα του υδροσυστήματος, ενώ στο Σχ. 3 παρουσιάζεται σχηματοποιημένο το υδροσύστημα με τις κύριες συνιστώσες του.

ΦΡΑΓΜΑ ΕΚΤΡΟΠΗΣ ΚΑΤΑΝΤΗ ΣΤΡΑΤΟΥ



Σχ. 3 Σχηματοποιημένο διάγραμμα του υδροσυστήματος Κάτω Αχελώου (δεδομένα του 1996).

Με στόχο την επέκταση και την αναβάθμιση των καλλιεργειών στην περιοχή, έχει προγραμματιστεί μια σειρά από νέα έργα κυρίως στην δυτική πλευρά του Αχελώου στην περιοχή της λίμνης Αμβρακίας. Πρόκειται για σταδιακή αντικατάσταση των επιφανειακών δικτύων άρδευσης με δίκτυα καταιονισμού. Τα κυριότερα νέα έργα που η κατασκευή τους έχει προγραμματιστεί είναι:

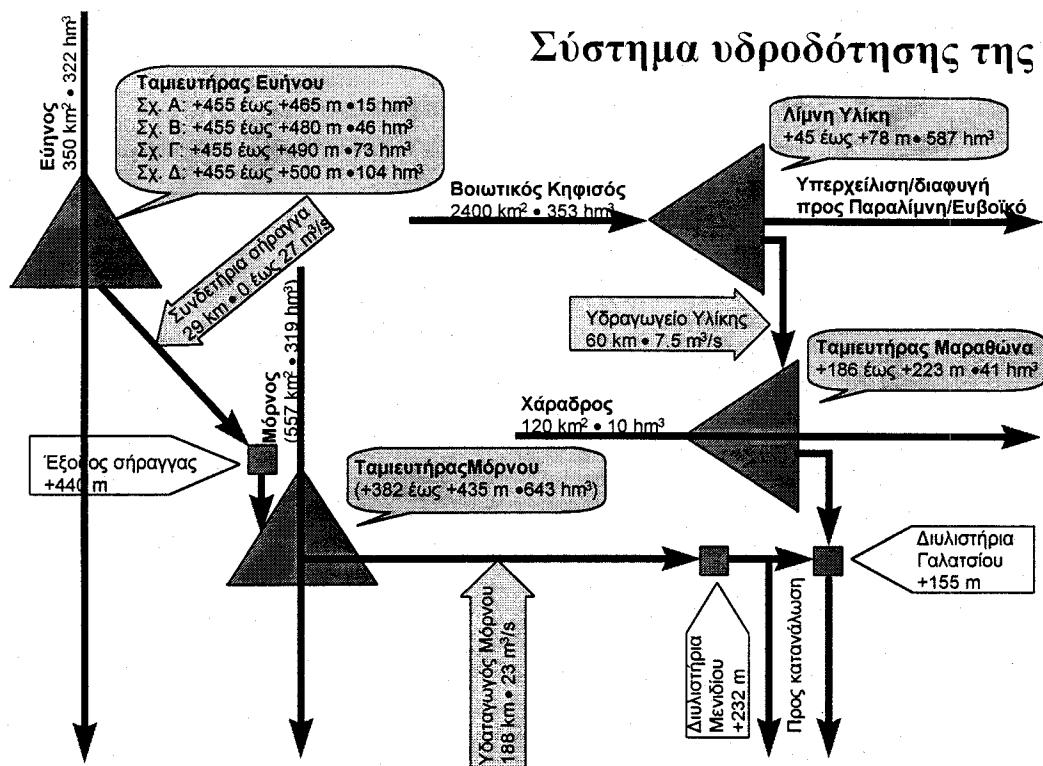
1. Το αρδευτικό φράγμα Αχυρών στη λεκάνη του ποταμού Νήσσα που θα εξυπηρετήσει τις αρδευτικές ανάγκες της περιοχής Ξηρόμερου. Στον αντίστοιχο ταμιευτήρα προβλέπεται και παροχέτευση νερών από τη γειτονική λεκάνη Κεφαλόβρυσου.
2. Η ανακατασκευή και επέκταση της προσαγωγού διώρυγας ΔΙ μέχρι την περιοχή του Βάλτου, η οποία δεν αρδεύταν μέχρι σήμερα. Με το έργο αυτό υπάρχει η δυνατότητα να ενισχυθούν τα υφιστάμενα αρδευτικά δίκτυα Κατούνας και Κονοπίνας. Η επέκταση της ΔΙ θα τροφοδοτήσει τα δίκτυα καταιονισμού του ΤΟΕΒ Φυτειών και στη συνέχεια τα δίκτυα καταιονισμού των παραλίμνιων περιοχών της Αμβρακίας, τα οποία όμως δεν έχουν κατασκευαστεί ακόμα. Το πρώτο τμήμα της επέκτασης της ΔΙ ονομάζεται διώρυγα Αμβρακίας ενώ το δεύτερο τμήμα που καταλήγει στο αντλιοστάσιο Αμφιλοχίας ονομάζεται διώρυγα Αμφιλοχίας. Από το αντλιοστάσιο Αμφιλοχίας θα υδροδοτηθεί η περιοχή Βάλτου μέσω της διώρυγας Βάλτου
3. Η βελτίωση και εκμετάλλευση των νερών της λίμνης Βουλκαριάς με τη μετατροπή της λίμνης σε ταμιευτήρα μέσω της κατασκευής αναχωμάτων. Το τελευταίο αναφέρεται μόνο για λόγους πληρότητας καθόσον η λίμνη Βουλκαριά είναι ανεξάρτητη από το υπό μελέτη υδροσύστημα.

3.3 Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

Στο παρόν ερευνητικό έργο ως υδροδοτικό σύστημα θεωρήσαμε το σύνολο των φυσικών και τεχνητών αγωγών με τους οποίους οδηγείται το νερό από τις πηγές υδροδότησης στα διυλιστήρια στην Αθήνα. Το εσωτερικό δίκτυο διανομής στην πρωτεύουσα δε θεωρείται στη λεπτομέρειά του ως μέρος του υδροσυστήματος αν και περιγράφεται στο Τεύχος 36. Στο σύστημα εντάσσεται και το σύνολο των έργων στη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού καθόσον η απορροή του ποταμού αυτού αποτελεί σημαντικό υδατικό πόρο για την ύδρευση της Αθήνας. Σημειώνεται ότι στο Τεύχος 36 η λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού εξετάστηκε ξεχωριστά από το κύριο υδροδοτικό σύστημα για λόγους αποκλειστικά διευκόλυνσης του αναγνώστη στην κατανόηση της πολυπλοκότητας του όλου συστήματος. Για τους ίδιους λόγους και στο παρόν τεύχος η λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού εξετάζεται σε ξεχωριστό υποκεφάλαιο.

Οι σημαντικότεροι ταμιευτήρες του υδροσυστήματος της Αθήνας είναι οι ταμιευτήρες Μόρνου και Αγ. Δημητρίου στον Εύηνο, η Λίμνη Υλίκη και ο ταμιευτήρας Μαραθώνα. Το υδροδοτικό σύστημα έχει μελετηθεί διεξοδικά στο παρελθόν (π.χ. Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1990, Ναλμπάντης, 1990α, β, Κουτσογιάννης και Ναλμπάντης, 1990, Nalbantis, et al., 1992). Εκτός από την ύδρευση της Αθήνας, το σύστημα Βοιωτικού Κηφισού - Υλίκης εξυπηρετεί και την άρδευση του Κωπαϊδικού Πεδίου με 50 hm^3 ετησίως.

Στο Σχ. 4 παρουσιάζεται με σχηματικό τρόπο το υδροδοτικό σύστημα, με τους ταμιευτήρες και τα κυριότερα υδραγωγεία, ενώ στον Χάρτη 5 φαίνεται και η γεωγραφική θέση των έργων αυτών.



Σχ. 4 Σχηματική παράσταση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας.

Το δυτικό τμήμα του υδροσυστήματος περιλαμβάνει το υποσύστημα των ταμιευτήρων Ευήνου και Μόρνου. Κύριος ταμιευτήρας του υποσυστήματος είναι ο ταμιευτήρας Μόρνου ωφέλιμης χωρητικότητας 640 hm^3 . Το νερό μεταφέρεται στην Αθήνα με βαρύτητα μέσω του Υδαταγωγού Μόρνου μήκους 188 km. Ο ταμιευτήρας είναι γενικά στεγανός εκτός της περιοχής Πύρνου, όπου απαιτήθηκε στεγανοποίηση. Μέσω της σήραγγας Ευήνου - Μόρνου δέχεται και νερά από τον ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου στον Εύηνο. Για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων στα οικοσυστήματα του ποταμού και το δέλτα από τη μείωση της παροχής του Ευήνου λόγω της λειτουργίας του φράγματος προβλέπεται η διατήρηση μόνιμης παραμένουσας ροής κατάντη του φράγματος ίσης με $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (Παναγόπουλος, κ.ά., 1996).

Στο ανατολικό τμήμα του υδροσυστήματος ο σημαντικότερος ταμιευτήρας είναι η Λίμνη Υλίκη που αποτελεί φυσική κατάληξη των απορροών του Βοιωτικού Κηφισού μετά την αποξήρανση της Κωπαΐδας. Από τη λίμνη τα νερά μεταφέρονται προς την Αθήνα με άντληση μέσω του Υδραγωγείου Υλίκης συνολικού μήκους 60 km. Λόγω της διαπερατότητας του καρστικού υπόβαθρου της λίμνης εμφανίζονται σημαντικές υπόγειες διαφυγές νερού. Κατά μέσο ετήσιο όρο, και μαζί με τις απώλειες εξάτμισης, φτάνουν μέχρι και το 50% περίπου των εισροών (Κουτσογιάννης, κ.ά., 1990). Το ποσοστό των διαφυγών αυξάνει με τη στάθμη του νερού στη λίμνη (Κουτσογιάννης, κ.ά., 1990). Οι υπερχειλίσεις της Υλίκης διοχετεύονται μέσω της διώρυγας Μουρικίου προς τη γειτονική Παραλίμνη. Αντίστοιχα οι υπερχειλίσεις της Παραλίμνης οδηγούνται στον Ευβοϊκό κόλπο μέσω της σήραγγας Ανθηδώνας.

Από την Υλίκη ξεκινά το Υδραγωγείο Υλίκης το οποίο καταλήγει στον ταμιευτήρα του Μαραθώνα. Δεδομένου ότι η κατώτατη στάθμη υδροληψίας στην Υλίκη είναι +70.25 m, ενώ η ανώτατη στάθμη του ταμιευτήρα Μαραθώνα είναι +223 m, η μεταφορά γίνεται μόνο με άντληση μέσω των αντλιοστασίων Μουρικίου, Ασωπού, Κρεμάδας, Αγ. Θωμά και Βίλιζας. Λόγω της σχετικά υψηλής στάθμης υδροληψίας του κεντρικού αντλιοστασίου Μουρικίου, κατασκευάστηκε ένα πλωτό αντλιοστάσιο που μεταφέρει το νερό από τα βαθύτερα σημεία της λίμνης προς το κεντρικό αντλιοστάσιο. Το Υδραγωγείο Υλίκης καταλήγει στον ταμιευτήρα Μαραθώνα στην λεκάνη του ποταμού Χάραδρου. Ο ταμιευτήρας αυτός λόγω της μικρής ωφέλιμης χωρητικότητας χρησιμεύει ως αποθήκη ασφαλείας κοντά στην Αθήνα. Λεπτομερέστερη περιγραφή του συστήματος δίνεται στο Τεύχος 36.

Από τον ταμιευτήρα του Μόρνου ξεκινάει ο Υδαταγωγός Μόρνου που αποτελείται από μια σειρά τεχνικών έργων όπως σήραγγες, ανοιχτές διώρυγες και ανεστραμμένους σίφωνες. Η ρύθμιση της ροής γίνεται με ρυθμιστές ροής, οι οποίοι διακρίνονται στα Έργα Καταστροφής Ενέργειας (ΕΚΕ), στους μεριστές και στα συστήματα ελέγχου ροής τύπου "Λ". Υπάρχουν συνολικά πέντε ΕΚΕ, τα οποία μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες: (α) βάννες κοιλης φλέβας, που είναι εγκατεστημένες στην έξοδο της σήραγγας Γκιώνας και στο ενωτικό υδραγωγείο Μόρνου - Μαραθώνα στη θέση Κλειδί, και (β) τοξωτά παράλληλα θυροφράγματα στην έξοδο των σηράγγων Κίρφης, Ελικώνα και Κιθαιρώνα. Στο σύστημα είναι εγκατεστημένοι δύο μεριστές: ο μεριστής Κιθαιρώνα και ο μεριστής Κλειδιού ενώ οι ρυθμιστές τύπου "Λ" είναι 18. Υπάρχουν ακόμη διατάξεις για μέτρηση της παροχής και της στάθμης του νερού. Στην έξοδο της σήραγγας Γκιώνας υπάρχει υδροηλεκτρικός σταθμός της ΔΕΗ. Στο σημείο αυτό του υδροσυστήματος εκτιμώνται από μετρήσεις οι απολήψεις για ύδρευση της Αθήνας από τον ταμιευτήρα Μόρνου. Σχετικά δεδομένα που διατέθηκαν από την ΕΥΔΑΠ. Εκτός από την ύδρευση της Αθήνας, ο Υδαταγωγός Μόρνου χρησιμοποιείται και για την ύδρευση της Άμφισσας, των Ερυθρών, των Πλαταιών, των Βιλίων, της Οινόης, των Λεύκτρων, του Διστόμου, των Στείρων, της Ελλοπίας, της Ξηρονομής, του Προφήτη Ηλία, του Κυριακίου, της Θίσβης και της Δομβραίνης. Στο 1460 χιλιόμετρο της διαδρομής του, ο υδαταγωγός διακλαδίζεται στο μεριστή Κιθαιρώνα στον δευτερεύοντα κλάδο και τον κύριο κλάδο του που συνεχίζει προς τα διωλιστήρια Μάνδρας και Μενιδίου μέσω της σήραγγας Κιθαιρώνα. Ο δευτερεύων κλάδος (Ενωτικό Υδραγωγείο Μόρνου - Μαραθώνα) κατευθύνεται προς το παλιό Υδραγωγείο Υλίκης - Μαραθώνα μέσω του ΕΚΕ Κλειδιού.

Η πραγματική παροχετευτικότητα του υδαταγωγού είναι σαφώς μικρότερη από την παροχή σχεδιασμού (βλ. τεύχος 40). Στον Πίν. 6 παρουσιάζονται συνοπτικά τα κυριότερα χαρακτηριστικά των κύριων υδραγωγείων του υδροδοτικού συστήματος. Σημαντικές συνιστώσες του συστήματος αποτελούν τα ενωτικά υδραγωγεία που επιτρέπουν τη συντήρηση και επισκευή των κύριων υδραγωγείων και αυξάνουν σημαντικά την ασφάλεια του συστήματος έναντι του ενδεχόμενου βλάβης.

Πίν. 7 Συνοπτικός πίνακας των κυριότερων υδραγωγείων.

Υδραγωγεία	Φορέας Κατασκευής	Έτος Λειτουργίας	Διάρυγγες (m)	Σίφωνες (m)	Σήραγγες (m)	Κλειστοί Αγωγοί (m)	Σύνολο (m)	Ολικό (m)
Κύρια Υδραγωγεία								310710
Μαραθώνα-Γαλατσίου	ULEN	1929			15785	5764	21549	
Σουλίου	ΕΕΥ	1949-71				11070	11070	
Κακοσάλεσι	ΕΕΥ	1950	362	1350	9325	12769	23807	
Υλίκης	ΥΔΕ	1957	23385	7500	3000	3800	37685	
Μόρνου	ΥΔΕ	1981	109900	7000	70700		187600	
Εύηνου	ΥΠΕΧΩΔΕ	1995			29000		29000	
Ενωτικά Υδραγωγεία								44855
Κιούρκα-Μενίδι	ΕΕΥ	1974				21655	21655	
Μαραθώνα (Μόρνος-Βίλιζα)	ΥΔΕ	1975	5720	2680		9450	17850	
Κρεμάδα-Κλειδί	ΕΕΥ	1975		2500		2850	5350	
			139367	21030	127810	67358	355 566	

Πηγή: Αγγελόπουλος (1997).

Ο έλεγχος και η διαχείριση του Υδαταγωγού Μόρνου γίνεται μέσω τριών επάλληλων συστημάτων που είναι τα ακόλουθα:

1. Οι προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (Programmed Logical Controllers ή, σε συντομογραφία, PLC) σε επιλεγμένες θέσεις ρύθμισης μέσω θυροφραγμάτων ή θέσεις μέτρησης στάθμης και παροχής.
2. Το Σύστημα Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Πληροφοριών (Supervisory Control And Data Acquisition ή, σε συντομογραφία, SCADA) το οποίο συγκεντρώνει όλες τις πληροφορίες από τους επιμέρους ελεγκτές και τις μεταφέρει στο Γενικό Κέντρο Τηλελέγχου στις εγκαταστάσεις της ΕΥΔΑΠ στο Μενίδι. Υπάρχουν επίσης τα περιφερειακά κέντρα Άμφισσας, Προδρόμου και Θηβών. Από το Γενικό Κέντρο επιτελείται κεντρικά, η όλη λειτουργία του Υδαταγωγού Μόρνου σε συνδυασμό με τη λειτουργία των υδραγωγείου Υλίκης και των γεωτρήσεων.
3. Το Σύστημα Δυναμικής Ρύθμισης (Βαμβακερίδου, 1996) είναι ο αποδέκτης όλων των πληροφοριών και με βάση τις συνθήκες στο δίκτυο προβαίνει σε δυναμική ρύθμιση του δικτύου κάθε 15 min και ορίζει τις νέες θέσεις των θυροφραγμάτων.

Οι απώλειες του Υδαταγωγού Μόρνου είναι ένα εξαιρετικά σημαντικό ζήτημα, αφού η πραγματική απόληψη από τον ταμιευτήρα του Μόρνου προκύπτει από το μέγεθος αυτό, την κατανάλωση στην Αθήνα αλλά και τις απώλειες από τη σήραγγα Γκιώνας. Οι τελευταίες ήταν σημαντικές μέχρι το Δεκέμβριο του 1984 οπότε έγινε επέμβαση στη σήραγγα (έμφραξη εγκούλων). Σύμφωνα με τη Βαμβακερίδου (1998) οι μέσες απώλειες στο τμήμα του Υδαταγωγού Μόρνου

μέχρι το μεριστή Κιθαιρώνα ανέρχονται σε $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ και αυξάνονται σημαντικά κατάντη του μεριστή. Εκτιμήσεις είχαν γίνει σε παλιότερο ερευνητικό πρόγραμμα του ΕΜΠ (Γαβριηλίδης, κ.ά., 1991).

Το Υδραγωγείο Υλίκης αποτελείται από σήραγγες υπό πίεση, σήραγγες με ελεύθερη ροή, διώρυγες με ελεύθερη ροή αλλά και σίφωνες. Μεταφέρει το νερό με άντληση, καθώς η κατώτατη στάθμη υδροληψίας στην Υλίκη είναι +45 m ενώ η ανώτατη στάθμη της λίμνης Μαραθώνα είναι +223 m. Υπάρχουν δύο κύρια αντλιοστάσια: της Υλίκης (Μουρικίου) και της Βίλιζας.

Με το αντλιοστάσιο Μουρικίου το νερό ανυψώνεται σε δεξαμενή ηρεμίας και στη συνέχεια εισέρχεται σε ανοικτή διώρυγας, στη σήραγγα Τανάγρας για να καταλήξει στο μεριστή Κρεμάδας από τον οποίο υπάρχουν δύο εναλλακτικές κατευθύνσεις: Η πρώτη κατεύθυνση είναι προς το ταμιευτήρα του Μαραθώνα μέσω του αντλιοστασίου Βίλιζας. Στη διαδρομή το υδραγωγείου ενισχύεται από τις γεωτρήσεις του Αγ. Θωμά μέσω του αντλιοστασίου Αγ. Θωμά. Στη συνέχεια το νερό εισέρχεται στο κλειστό υδραγωγείο ροής με ελεύθερη επιφάνεια που είναι γνωστό ως υδραγωγείο Κακοσάλεσι, διέρχεται τη σήραγγα Σφενδάλης και το υδραγωγείο Μαλακάσας, τη σήραγγα Κιούρκων και φθάνει στον ταμιευτήρα Μαραθώνα. Στο υδραγωγείο Μαλακάσας (στην είσοδο της σήραγγας Κιούρκων) καταλήγει επίσης και το υδραγωγείο Καλάμου, το οποίο συγκεντρώνει τα νερά των γεωτρήσεων Καλάμου και Μαυροσουβάλας.

Η δεύτερη εναλλακτική κατεύθυνση είναι προς το ενωτικό υδραγωγείο Μόρνου - Μαραθώνα μέσω του αντλιοστασίου Ασωπού και του ΕΚΕ Κλειδιού. Μετά το Κλειδί υπάρχουν δύο δυνατότητες: (1) μέσω της σήραγγας Κλειδιού που καταλήγει στο ενωτικό υδραγωγείο Μόρνου - Μαραθώνα και από εκεί στο παλιό υδραγωγείο Υλίκης μέσω του κλειστού υδραγωγείου Κακοσάλεσι, και (2) μέσω κλειστού αγωγού που είναι το πρώτο τμήμα του ενωτικού υδραγωγείου Μόρνου - Μαραθώνα και μπορεί να επιτελέσει αμφίδρομη λειτουργία. Ιδιαίτερη σημασία για το σύστημα έχουν τα ακόλουθα υδραγωγεία:

1. Ενωτικό υδραγωγείο Μόρνου - Μαραθώνα
2. Αγωγός από νέα διωλιστήρια (Μενίδι) προς τα παλιά διωλιστήρια (Γαλάτσι) μέσω Χελιδονούς
3. Αγωγός ενίσχυσης Βίλιζα - Μαλακάσα
4. Υδραγωγείο Κιούρκα - Μενίδι

Τα κυριότερα αντλιοστάσια του Υδραγωγείου Υλίκης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίν. 8 Κυριότερα αντλιοστάσια των υδραγωγείου Υλίκης με τα βασικά χαρακτηριστικά τους.

Όνομασία Αντλιοστασίου	Ισχύς (HP)	Παροχή ($10^3 \text{ m}^3/\text{ημ}$)
Υλίκη - Κεντρικό	17 300	560
Υλίκη - 7η Μονάδα	3 600	110
Υλίκη - Πλωτά	4 880	700
Κρεμάδα	1 800	310
Ασωπός	9 840	310
Βίλιζα (ολικό)	10 000	490
No 3 - Αυλώνα	3 440	150
No 4 - Σφενδάλη	1 000	340
Άγιος Θωμάς	3 140	120
Κιούρκα - Αδιύλιστο	3 500	330
Κιούρκα - Καθαρό	8 480	210

Στο παράρτημα του Τεύχους 36 γίνεται αναλυτική παρουσίαση όλων των κατασκευαστικών λεπτομερειών των υδραγωγείων.

Μέσω των υδραγωγείων το νερό των ταμιευτήρων καταλήγει στα διυλιστήρια και στη συνέχεια διανέμεται από το εσωτερικό δίκτυο διανομής της πρωτεύουσας. Σήμερα λειτουργούν τέσσερα διυλιστήρια, τα οποία με χρονολογική σειρά έναρξης λειτουργίας είναι τα εξής: διυλιστήρια Γαλατσίου, Μενιδίου, Κιούρκων και Μάνδρας. Τα διυλιστήρια Γαλατσίου υδροδοτούν το Κέντρο των Αθηνών και το Δήμο Πειραιά, τα διυλιστήρια Μενιδίου τις υψηλές περιοχές του Λεκανοπεδίου Αττικής, ενώ ενισχύουν και τα εσωτερικά δίκτυα διανομής των Δήμων Αθηναίων και Πειραιά. Τέλος, τα διυλιστήρια Κιούρκων υδροδοτούν τα ανατολικά προάστια ενώ ενισχύουν και τα βόρεια και τα διυλιστήρια Μάνδρας, τα οποία υδροδοτούν το Θράσιο πεδίο, τη Σαλαμίνα και να ενισχύουν την υδροδότηση των δυτικών προαστίων. Ορισμένα λειτουργικά χαρακτηριστικά των διυλιστηρίων παρουσιάζονται στον Πίν. 9 που ακολουθεί.

Πίν. 9 Χαρακτηριστικά μεγέθη των διυλιστηρίων (Στοιχεία ΕΥΔΑΠ).

Διυλιστήρια	Έτος κατασκευής	Διυλιστική ικανότητα ($10^3 \text{ m}^3/\text{ημ.}$)	Ωφέλιμη χωρητικότητα (10^3 m^3)	Στάθμη υπερχείλισης δεξαμενών (m)
Γαλατσίου	1923	500	230	+159
Μενιδίου	A' φάση 1978 B' φάση 1992	800	290	+232
Κιούρκων	1985	300	35	+248
Μάνδρας	1996	300	50	+232

3.4 Το υδροσύστημα του Βοιωτικού Κηφισού

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα, το υδροσύστημα του Βοιωτικού Κηφισού αποτελεί ουσιαστικά υποσύστημα του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας καθόσον συνδέεται με το τελευταίο μέσω υδραυλικών έργων που παρουσιάζονται στο παρόν υποκεφάλαιο.

Οι κύριοι επιφανειακοί υδατικοί πόροι της περιοχής είναι ο Βοιωτικός Κηφισός με κύριο παραπόταμο τον Έρκυννα και ο ποταμός Μέλας, και οι λίμνες Υλίκη και Παραλίμνη. Εξαιρετικά σημαντικοί είναι και οι υπόγειοι υδατικοί πόροι της λεκάνης. Στην περιοχή αναβλύζουν σημαντικές πηγές όπως οι πηγές Μέλανα (Χαρίτων), Πολύγυρας, Λιβαδειάς και Μαυρονερίου.

Κύρια χρήση νερού είναι η αρδευτική. Τα οργανωμένα αρδευτικά δίκτυα υπάγονται σε τέσσερις οργανισμούς που φαίνονται στον Πίν. 10 μαζί με τις αντίστοιχες αρδευθείσες εκτάσεις για τα έτη 1987, 1988, 1989, 1996, καθώς και η αρδεύσιμη έκταση (ΥΠΠΕ, 1985-1996).

Πίν. 10 Καλλιεργούμενες εκτάσεις των ΤΟΕΒ Βοιωτίας και του Οργανισμού Κωπαΐδας (σε στρέμματα).

Ονομασία ΤΟΕΒ	1987	1988	1989	1996	Αρδεύσιμη
Οργανισμός Κωπαΐδας	164620	162261	161720	160000	180000
Ορχομενού	2940	3050	3000	3000	3500
Λιβαδειάς	4797	4250	4900	5300	6000
Χαιρώνειας	1857	1200	1900	2300	2500
ΣΥΝΟΛΟ	182497	180511	180020	178300	200300

Στο Τεύχος 35 δίνονται αναλυτικοί πίνακες με τις αρδευθείσες εκτάσεις ανά καλλιέργεια και έτος.

Η Κωπαΐδα αποτελεί τη σημαντικότερη αρδευόμενη έκταση στο υδροσύστημα. Εκτείνεται από την έξοδο της λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού μέχρι τον Ορχομενό και έχει έκταση 180 000 στρέμματα. Το δίκτυο των στραγγιστικών τάφρων της χρησιμοποιείται και σαν αρδευτικό. Πρόκειται για ένα σύστημα δευτερευουσών και τριτευουσών τάφρων, που τροφοδοτούνται μέσω του ποταμού Μέλανα (το βόρειο τμήμα), της Εσωτερικής Τάφρου (το νότιο τμήμα) και της Κεντρικής Τάφρου. Κατά μήκος των τριών αυτών κυρίως τάφρων υπάρχουν θυροφράγματα τα οποία ρυθμίζουν την στάθμη στα ανάντη.

Οι κύριοι αγωγοί μεταφοράς νερού στην Κωπαΐδα είναι:

1. Ο Βοιωτικός Κηφισός, νερά από τον οποίο λαμβάνονται για άρδευση μέσω του φράγματος Μάζι.
2. Η Διώρυγα Υλίκης που μεταφέρει νερά από το αντλιοστάσιο Υλίκης και διοχετεύει μέσω μεριστή το 1/3 των νερών της στον ποταμό Μέλανα. Από εκεί τα νερά μέσω της Ενωτικής Διώρυγας εκβάλουν στην Κεντρική σε σημείο πολύ κοντά στην Συγκεντρωτική Τάφρο.
3. Το Υδραγωγείο Κωπαΐδας.
4. Ο ποταμός Μέλανας.

Οι κύριες αρδευτικές-στραγγιστικές τάφροι της Κωπαΐδας είναι:

1. Η Τάφρος Μέλανα που είναι τμήμα του ποταμού Μέλανα.
2. Η Εσωτερική Τάφρος, που είναι παράλληλη του Βοιωτικού Κηφισού σε απόσταση λίγων μέτρων από αυτόν.
3. Η Κεντρική Τάφρος, που είναι η κύρια στραγγιστική, αλλά χρησιμοποιείται και για άρδευση.
4. Η Συγκεντρωτική Τάφρος, που αποτελεί τον αποδέκτη όλων των στραγγιστικών έργων και οδηγεί τα νερά στη σήραγγα Καρδίτσας.

Τα μόνα έργα που κατασκευάστηκαν μετά την παραλαβή της Κωπαΐδας από τους Άγγλους είναι (Γκόφας, 1988):

- Το αντλιοστάσιο της Υλίκης
- Η Διώρυγα Υλίκης για την προσαγωγή νερού από το αντλιοστάσιο Υλίκης στην πεδιάδα της Κωπαΐδας.
- Η Ενωτική Διώρυγα που διοχετεύει νερά από τη Διώρυγα Υλίκης στην Κεντρική Τάφρο.

Στα νοτιοανατολικά της πεδιάδας της Κωπαΐδας βρίσκεται το Α' Κωπαΐδικό πεδίο. Χωρίζεται από την Κωπαΐδα με τον Βοιωτικό Κηφισό. Η έκταση αυτή αρδεύεται μέσω περιφερειακής τάφρου και δικτύου δευτερευουσών τάφρων. Το νερό της άρδευσης προέρχεται από τον Βοιωτικό Κηφισό και οδηγείται στην περιφερειακή τάφρο μέσω του φράγματος Μάζι.

Άλλη αρδευόμενη έκταση βρίσκεται στην περιοχή Κάστρου. Στην περιοχή έχει κατασκευαστεί αρδευτικό δίκτυο από καναλέτα το οποίο είναι εξοπλισμένο με αυτόματους ρυθμιστές στάθμης και ρυθμιστές παροχής. Πηγή τροφοδοσίας του δικτύου είναι η Διώρυγα Υλίκης και γεωτρήσεις.

Τέλος, σημαντική έκταση στην περιοχή του Βοιωτικού Κηφισού δεν ανήκει διοικητικά σε κανένα ΤΟΕΒ αλλά υπάγεται στους κατά τόπους δήμους ή κοινότητες.

Την τελευταία ξηρή περιόδο 1989-94 κατασκευάστηκαν στην περιοχή μεγάλα τεχνικά έργα με σκοπό την αξιοποίηση του υπόγειου υδατικού δυναμικού της λεκάνης του μέσου ρου του Βοιωτικού Κηφισού για την ενίσχυση της ύδρευσης της Αθήνας. Το νερό λαμβάνεται με 15

γεωτρήσεις στις περιοχές Βασιλικών και Παρορίου και οδηγείται είτε στο υδραγωγείο Μόρνου μέσω του υδραγωγείο Διστόμου είτε στη Λίμνη Υλίκη μέσω του υδραγωγείου Κωπαΐδας. Η κατανομή του νερού στα δύο υδραγωγεία γίνεται με έργο μερισμού.

Μετά το τέλος της ξηρασίας και όταν οι ταμιευτήρες στην περιοχή της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας εξασφάλισαν ικανές ποσότητες νερού για την ύδρευση της Πρωτεύουσας, η σχετικά πιο δαπανηρή εκμετάλλευση των πόρων αυτής της περιοχής σταμάτησε. Οι γεωτρήσεις Βασιλικών-Παρορίου τροφοδοτούν πλέον κατά τους καλοκαιρινούς μήνες την Κωπαΐδα με νερό μέσω του υδραγωγείου Κωπαΐδας.

Για τη συλλογή των νερών από τις γεωτρήσεις Βασιλικών-Παρορίου χρησιμοποιείται ένα σύστημα από συλλεκτήριους κλειστούς αγωγούς (ΕΥΔΑΠ, 1995) που καταλήγουν σε ένα ανοιχτό συγκεντρωτικό αγωγό, ο οποίος οδηγεί τα νερά στο έργο μερισμού. Το έργο μερισμού αποτελείται από δύο αντλιοστάσια με κοινή δεξαμενή αντλησης. Στην δεξαμενή αντλησης συγκεντρώνονται τα νερά των γεωτρήσεων Βασιλικών-Παρορίου και μέρος των νερών των πηγών Μαυρονερίου. Τα τελευταία ακολουθούν τη Διώρυγα Μαυρονερίου που εκβάλλει στον Βοιωτικό Κηφισό στο ύψος του ΤΟΕΒ Χαιρώνειας. Στην αρχή της διώρυγας υπάρχει θυρόφραγμα μέσω του οποίου μπορεί να τροφοδοτηθεί διώρυγα που καταλήγει στο έργο μερισμού.

Το υδραγωγείο Κωπαΐδας αποτελείται από ένα κλειστό αγωγό που ξεκινάει από το έργο μερισμού και καταλήγει στην Κεντρική Τάφρο της Κωπαΐδας. Κατά μήκος του υπάρχουν πέντε αντλιοστάσια. Στο υδραγωγείο Κωπαΐδας συγκεντρώνονται και νερά των πηγών Πολύγυρας και Μέλανα (Χαρίτων) μέσω της Διώρυγας Ορχομενού.

Το δεύτερο μεγάλο υδραυλικό έργο στην περιοχή είναι το υδραγωγείο Διστόμου που ξεκινά από το έργο μερισμού και καταλήγει μέσω έργου καταστροφής ενέργειας στο υδραγωγείο Μόρνου μετά τον σίφωνα Διστόμου. Κατά μήκος του υπάρχουν τρία αντλιοστάσια και μια δεξαμενή.

Εκτός από τις πρόσφατες γεωτρήσεις της ΕΥΔΑΠ υπάρχουν και παλιότερες γεωτρήσεις που έχουν διανοιχτεί από το Υπουργείο Γεωργίας σε μεγάλη έκταση της λεκάνης του Β. Κηφισού. Ορισμένες από αυτές καλύπτουν μόνον τοπικές αρδευτικές ανάγκες ενώ άλλες διοχετεύονται τα νερά τους στο υδραγωγείο Κωπαΐδας.

Αναλυτικά τεχνικά στοιχεία για τις γεωτρήσεις, τα υδραγωγεία και τα αντλιοστάσια δίνονται στο Τεύχος 36, ενώ στον Χάρτη 6 συνοψίζονται τα κυριότερα έργα του υδροσυστήματος.

Εκτός από την άρδευση και την ύδρευση της Αθήνας στο υδροσύστημα εντάσσονται και τα έργα ύδρευσης των δύο αστικών κέντρων της περιοχής Θήβας και Λιβαδειάς. Η Θήβα υδρεύεται από πηγές και γεωτρήσεις. Από γεωτρήσεις υδρεύονται και όλες σχεδόν οι βιομηχανικές μονάδες της περιοχής (Γκόφας, 1988). Η Λιβαδειά καθώς και οι βιομηχανικές μονάδες της περιοχής υδρεύονται από τις πηγές του ποταμού Έρκυνα (Γκόφας, 1988).

Άλλη καταναλωτική χρήση νερού στην περιοχή είναι η κτηνοτροφική χρήση. Σχετικά πρωτογενή και επεξεργασμένα δεδομένα ζήτησης νερού δίνονται στο Τεύχος 36. Πρόκειται για δεδομένα ζωικού κεφαλαίου, ετήσιες ανάγκες σε νερό για την ελεύθερη και τη σταβλισμένη κτηνοτροφία (βλ. ΕΜΠ, 1996).

Σε ότι αφορά στη περιβαλλοντική χρήση, στο τεύχος 36 δίνονται στοιχεία ποιότητας νερού, καταγράφονται οι σημειακές πηγές ρύπανσης από αστικά λύματα και βιομηχανικά απόβλητα καθώς και οι διάχυτες πηγές ρύπανσης, παρουσιάζονται δεδομένα μετρήσεων συγκέντρωσης ρυπαντών. Ακόμη, καταγράφονται οι προστατεύμενες περιοχές εξαιρετικού περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος καθώς και τα είδη πανίδας και χλωρίδας που παρατηρούνται στις περιοχές αυτές.

3.5 Το υδροσύστημα του Κάτω Σπερχειού

Η δεύτερη σημαντική λεκάνη απορροής του υδατικού διαμερίσματος της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (07), μετά τη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού, είναι η λεκάνη του Σπερχειού. Ο Σπερχειός, όπως άλλωστε προκύπτει από την ετυμολογία της λέξης, χαρακτηρίζεται από υψηλές πλημμυρικές απορροές. Για το λόγο αυτό, τα υδραυλικά έργα στην κοίτη του ποταμού και κυρίως στο κατάντη τμήμα της που αναφέρεται ως λεκάνη Κάτω Σπερχειού, είναι, στην η πλειονότητά τους, αντιπλημμυρικά και αποστραγγιστικά. Το σημαντικότερο και παλαιότερο αντιπλημμυρικό έργο είναι η ανακουφιστική, τεχνητή (νέα) κοίτη του Σπερχειού. Στη θέση της κοινότητας Κόμμα, ο Σπερχειός διαχωρίζεται σε δύο τμήματα: (1) την τεχνητή, νέα κοίτη (ή, αλλιώς, ανακουφιστική ή εκτροπή) του Σπερχειού, με σχεδόν ευθύγραμμη χάραξη, η οποία οδηγεί μεγάλο μέρος των πλημμυρικών απορροών του Σπερχειού προς τη θάλασσα, και (2) τη φυσική κοίτη που εκβάλλει στο Μαλιακό Κόλπο νοτιότερα από την εκβολή της ανακουφιστικής κοίτης και που τέμνει την Εθνική Οδό Αθηνών - Θεσσαλονίκης στη γέφυρα της Αλαμάνας. Ο διαχωρισμός της ροής στην παλιά και τη νέα κοίτη πραγματοποιείται στο έργο του μεριστή. Οι χαμηλές απορροές οδηγούνται στην παλιά κοίτη, ενώ στις υγρές περιόδους το σύνολο σχεδόν των πλημμυρικών απορροών κατευθύνονται στη νέα κοίτη.

Στα δύο τρίτα της διαδρομής του, ο ποταμός έχει χαρακτήρα ορεινό χειμαρρώδη και κοίτη που διακλαδίζεται σε μερικά σημεία. Στο τελευταίο τρίτο της διαδρομής μετατρέπεται σε πεδινό ποταμό, με έντονο μαιανδρισμό. Το δελταϊκό προσχωσιγενές τμήμα της λεκάνης διαμορφώνεται συνεχώς με μοναδικό ρυθμό εξέλιξης για την Ελλάδα.

Πέραν της ανακουφιστικής κοίτης του Σπερχειού, άλλο σημαντικό αποστραγγιστικό έργο στο υδροσύστημα είναι η τάφρος Λαμίας. Αυτή ξεκινά από το ύψος της κοινότητας Κομποτάδες, ακολουθεί τη φυσική ροή της κοιλάδας, διασχίζει την περιοχή Ανθήλης - Μεγάλης Βρύσης και εκβάλλει στη θάλασσα κοντά στη εκβολή της εκτροπής. Αποχετεύει τόσο τα νερά της χαμηλής περιοχής από Κομποτάδες μέχρι τη θάλασσα, όσο και τα νερά του χειμάρρου Ξηριά και των άλλων ρεμάτων που διαρρέουν τη βορείως αυτής λοφώδη περιοχή και εκβάλουν σε αυτή.

Κύρια χρήση νερού στο υδροσύστημα είναι η αρδευτική. Στην περιοχή έχουν ιδρυθεί και λειτουργούν 14 Τοπικοί Οργανισμοί Εγγείων Βελτιώσεων (TOEB), που εποπτεύονται από την Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων (YEB) Φθιώτιδας. Συνοπτική παρουσίαση των TOEB δίνεται στον Πίν. 11. Η συνολική αρδευόμενη έκταση της κοιλάδας του Σπερχειού ανέρχεται σε 184 000 στρέμματα, από τα οποία τα 88 000 αρδεύονται από επιφανειακές πηγές (Γεωργίου, 1995). Από αυτά τα 23 000 αρδεύονται πλημμελώς κυρίως λόγω της ανεπάρκειας των θερινών παροχών του Σπερχειού και των παραποτάμων του. Τα υπόλοιπα 96 000 στρέμματα αρδεύονται με γεωτρήσεις.

Πίν. 11 ΤΟΕΒ που ανήκουν στην ΥΕΒ Φθιώτιδας (στοιχεία 1997).

α/α	ΤΟΕΒ	Σύστημα Αρδευσης	Αρδευόμενη Έκταση (στρ)	Αρδευθείσα Έκταση (στρ)	Πηγή Υδροδότησης
1	Ανθήλης	Επιφανειακή Καταιονισμός	20 500	16 000	Σπερχειός, πηγές
2	Ροδίτσας	Καταιονισμός Επιφανειακή Στάγδην	14 000	8 000	Σπερχειός, Πηγές Μ. Βρύσης, Μαυρομαντήλας καθώς και γεωτρήσεις
3	Φακίτσας	Καταιονισμός Επιφανειακή	3 900	3 620	Σπερχειός
4	Λιανοκλαδίου, Αμουρίου, Ζηλευτού	Καταιονισμός Επιφανειακή	10 000	6 400	Σπερχειός, γεωτρήσεις
5	5η Ζώνη Θεσ/δος	Καταιονισμός Επιφανειακή Στάγδην	42 000	31 000	Γεωτρήσεις
6	6η Ζώνη Θεσ/δος	Καταιονισμός	28 000	27 500	Γεωτρήσεις
8	Μεταξιατών	Καταιονισμός	12 500	6 370	Γεωτρήσεις
9	Ξυνιάδος	Καταιονισμός	15 000	15 000	Γεωτρήσεις
10	Δαμάστας	Καταιονισμός	800	800	Στραγγιστικές Τάφροι
11	Θερμοπυλών	Καταιονισμός	800	800	Στραγγιστικές Τάφροι
12	Μοσχοχωρίου Α'	Καταιονισμός	1 500	1 500	Στραγγιστικές Τάφροι
13	Μοσχοχωρίου Β'	Καταιονισμός	6 500	6 500	Στραγγιστικές Τάφροι, γεωτρήσεις, Σπερχειός
14	Φραντζή	Επιφανειακή	2 500	2 500	Σπερχειός, Στραγγιστικές Τάφροι
15	Συκάς	Επιφανειακή	2 000	1 200	Σπερχειός

Όπως φαίνεται από τον Πίν. 11, στους περισσότερους ΤΟΕΒ χρησιμοποιούνται περισσότερες από μια πηγές υδροδότησης και περισσότερα από ένα συστήματα άρδευσης. Επίσης παρατηρείται το φαινόμενο της ευρείας χρήσης γεωτρήσεων είτε αυτές ανήκουν στους ΤΟΕΒ είτε είναι ιδιωτικές. Το σημαντικότερο όμως στοιχείο είναι ότι παρατηρούνται σχετικά μικρές διαφορές μεταξύ των αρδευόμενων και των αρδευθεισών εκτάσεων πράγμα που μαρτυρεί εντατική εκμετάλλευση των αρδευτικών δικτύων.

Εκτός από τα δίκτυα των ΤΟΕΒ, υπάρχουν και άλλα που υπάγονται σε δήμους και κοινότητες της περιοχής (βλ. Πίν. 12). Ορισμένα από τα δίκτυα του Πίν. 12 δεν ανήκουν στη λεκάνη απορροής του Σπερχειού, αλλά παρατίθενται για λόγους πληρότητας.

Πίν. 12 Αρδευτικά έργα του νομού Φθιώτιδας (στοιχεία 1986).

Όνομασία Έργου	Πηγή Υδροδότησης	Παροχή Σχεδιασμού m^3/s	Έκταση (στρ)	Δίκτυο Αρδευσης	Φορέας Διοίκησης
Εκβολών Σπερχειού	Σπερχειός και 9 γεωτρήσεις	1.750 0.390	36 500	Ανοικτό επενδεδυμένο	ΤΟΕΒ Ανθήλης Ροδίτσας
Κοινότητας Σπαρτιάς	Πηγές Σπαρτιάς	0.100	7 300	Ανοικτό επενδεδυμένο	Κοινότητα Σπαρτιάς
Κοινότητας Νέου Μοναστηρίου	7 γεωτρήσεις	0.480	3 500	Χαμ. Πίεσης	Κοινότητα Νέου Μοναστηρίου
Ξυνιάδας	15 γεωτρήσεις	0.350	20 000	Χαμ. πίεσης	ΤΟΕΒ Ξυνιάδας
Δήμου Στυλίδας	Χείμαρρος Σαπουνά και 6 γεωτρήσεις	0.130 0.280	10 800	Ανοικτό επενδεδυμένο, Χαμ. πίεσης	Δήμος Στυλίδας
Αμουρίου Λιανοκλαδίου Ζηλευτού	Σπερχειός	1.00	4 000	Ανοικτό Επενδεδυμένο	ΤΟΕΒ Αμουρίου, Λιανοκλαδίου και Ζηλευτού
Τιθορέας	Πηγές Τιθορέας	0.100	1 000	Μέσης πίεσης	Κοινότητα Τιθορέας
Δύο Βουνών	Πηγές Δύο Βουνών	0.060	1 000	Χαμ. Πίεσης	Κοινότητα Δύο Βουνών
Παλαιοχωρίου	Πηγές Παλαιοχωρίου	0.070	1 100	Χαμ. Πίεσης	Κοινότητα Παλαιοχωρίου
Τυμφρηστού	Πηγές Τυμφρηστού	0.070	1 000	Χαμ. Πίεσης	Κοινότητα Τυμφρηστού
Νεράιδας	Πηγές Νεράιδας	0.040	4 000	Χαμ. Πίεσης	Κοινότητα Νεράιδας
Μύλων	Πηγές Μύλων	0.210	1 800	Χαμ. Πίεσης	Κοινότητα Μύλων
Αρχανίου	2 γεωτρήσεις	0.133	3 500	Χαμ. Πίεσης	Κοινότητα Αρχανίου
Λάρυμνας	Πηγές Λάρυμνας	1.190	1 000	Χαμ. Πίεσης	Κοινότητα Λάρυμνας
Μοσχοχωρίου	3 γεωτρήσεις	0.100	14 150	Ανοικτό Χωμάτινο	ΤΟΕΒ Μοσχοχωρίου
Μεταξιατών Κομποτάδων	18 γεωτρήσεις	0.880		Μέσης Πίεσης	ΤΟΕΒ Μεταξιατών Κομποτάδων

Οι κυριότερες καλλιέργειες είναι το βαμβάκι, το ρύζι, ο καπνός και το καλαμπόκι. Δεδομένα για τις αρδευθείσες και αρδευόμενες εκτάσεις ανά καλλιέργεια και ΤΟΕΒ μάς διατέθηκαν από την ΥΕΒ Φθιώτιδας για την πενταετία 1993-97. Η εξέταση των δεδομένων αυτών έδειξε μία αύξηση των καλλιεργειών βαμβακιού καθώς και μια μικρή αύξηση των καλλιεργειών ρυζιού στο σύνολο των ΤΟΕΒ, αύξηση που, κατά κύριο λόγο, οφείλεται στην κατασκευή νέων αρδευτικών έργων.

Το υδροσύστημα χαρακτηρίζεται από έλλειψη αρδευτικών έργων μεγάλης κλίμακας. Οι τοπογραφικές και γεωλογικές συνθήκες δεν ευνοούν την κατασκευή μεγάλων έργων ταμίευσης και η φυσική θερινή παροχή των υδατορευμάτων και πηγών της λεκάνης είναι περιορισμένη και υπόκειται σε απρόβλεπτες και μεγάλες αυξομειώσεις.

Αρκετοί ΤΟΕΒ (π.χ. Δαμάστας, Θερμοπυλών) έχουν συσταθεί σε περιοχές όπου προηγουμένως είχε κατασκευαστεί ολοκληρωμένο στραγγιστικό δίκτυο των πλημμυρικών απορροών του Σπερχειού. Η άρδευση εκεί δεν γίνεται με οργανωμένο τρόπο, αλλά τα νερά που παραμένουν στις στραγγιστικές τάφρους αντλούνται αργότερα από τους ίδιους τους παραγωγούς για άρδευση.

Τα σημαντικότερα αρδευτικά δίκτυα στο υδροσύστημα του Κάτω Σπερχειού είναι τα ακόλουθα:

1. Δίκτυο Ανθήλης-Μεγάλης Βρύσης
2. Δίκτυο Βίστριζας

3. Δίκτυο Αμουρίου - Λιανοκλαδίου - Ζηλευτού

4. Δίκτυο Μεξιατών - Κομποτάδων

Το Δίκτυο Ανθήλης-Μεγάλης Βρύσης είναι το μεγαλύτερο στην περιοχή. Αποτελείται από δύο ζώνες (Α' και Β'), καθεμιά από τις οποίες χωρίζεται στην “υψηλή” και τη “χαμηλή” ζώνη με κριτήριο το υψόμετρο σε σχέση με τη θάλασσα. Η Ζώνη Α' βρίσκεται νότια της ανακουφιστικής κοίτης του Σπερχειού και υδροδοτείται από τον Σπερχειό και τις πηγές Μαυρονερίου. Η Ζώνη Β' τροφοδοτείται από το Σπερχειό και τις πηγές Μεγάλης Βρύσης και Μαυρομαντήλας. Και οι δύο ζώνες αποστραγγίζονται στη θάλασσα.

Κύρια υδροληψία του δικτύου είναι ένα πρόχειρο χωμάτινο φράγμα, το οποίο κατασκευάζεται στην αρχή κάθε αρδευτικής περιόδου στην παλαιά κοίτη του Σπερχειού, κατάντη του μεριστή της παλαιάς και της ανακουφιστικής κοίτης και διοχετεύει το νερό στην Κεντρική Προσαγωγό Διώρυγα (ΚΠΔ). Αυτή μεταφέρει το νερό μέχρι τον κεντρικό μεριστή του δικτύου για τη διανομή του νερού στις δύο ζώνες άρδευσης.

Περισσότερες λεπτομέρειες για τη λειτουργία του δικτύου, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των έργων και ποσοτικά στοιχεία (εκτάσεις, παροχές) δίνονται στο Τεύχος 36. Στον Χάρτη 8 φαίνονται τα κύρια έργα του υδροσυστήματος.

Το δίκτυο Βίστριζας στις σημερινές συνθήκες αρδεύει την περιοχή Σπερχειάδας καθώς και τμήμα της έκτασης του ΤΟΕΒ Συκά. Η υδροληψία των δικτύων γίνεται από τον παραπόταμο του Σπερχειού Βίστριζα, ενώ υπάρχουν και διάσπαρτες γεωτρήσεις στην έκταση του δικτύου. Η απόληψη από την Βίστριζα γίνεται με εκχειλιστή εκτροπής (ή, αλλιώς, αναβαθμός) γνωστό ως φράγμα Βίστριζας. Καθώς οι εκτάσεις που πρόκειται να αρδευτούν βρίσκονται εκατέρωθεν του ποταμού Βίστριζα, έχουν κατασκευαστεί δύο υδροληψίες στις άκρες του εκχειλιστή: η δεξιά που αρδεύει την ανατολική περιοχή του δικτύου Βίστριζας και η αριστερή που αρδεύει την υπόλοιπη δυτική περιοχή του δικτύου. Το φράγμα εκτροπής ολοκληρώθηκε το 1993 το μεγαλύτερο μέρος του δικτύου θα αρχίσει να λειτουργεί από το 2000. Παράλληλα έχει αναπτυχθεί σχέδιο αναδασμού της γης σε αγρότες καθώς και η ίδρυση δύο νέων ΤΟΕΒ (Σπερχειάδας και Βίστριζας) με σκοπό την αποδοτικότερη λειτουργία του δικτύου.

Το δίκτυο Αμουρίου - Λιανοκλαδίου - Ζηλευτού συμπίπτει σχεδόν με τα όρια του αντίστοιχου ΤΟΕΒ. Για το συγκεκριμένο δίκτυο έχουν εκπονηθεί δύο μελέτες (ΥΔΡΟ-ΣΕΚΑ, κ.ά., 1981 και Γκόφα, 1983) βάσει των οποίων έχει κατασκευαστεί το δίκτυο. Πηγή υδροδότησης είναι ο Σπερχειός και η υδροληψία γίνεται μέσω ενός φράγματος εκτροπής στην κοίτη του ποταμού από το οποίο ξεκινά η προσαγωγός διώρυγα.

Το Δίκτυο Μεξιατών - Κομποτάδων υδροδοτείται από 18 γεωτρήσεις και το σύστημα άρδευσης που χρησιμοποιείται είναι ο καταιονισμός.

Σε ότι αφορά στην ύδρευση, η σημαντικότερη κατανάλωση νερού πραγματοποιείται στην πόλη της Λαμίας όπου έχει ίδρυθεί και λειτουργεί η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης του Δήμου Λαμιέων (ΔΕΥΑΛ). Η υδροδότηση του δήμου γίνεται κυρίως από δύο πηγές και από κάποιες συμπληρωματικές γεωτρήσεις, οι οποίες είναι ανεξάρτητες από το υπόλοιπο υδατικό σύστημα.

Το πρώτο εσωτερικό δίκτυο της Λαμίας κατασκευάστηκε με τη λειτουργία του εξωτερικού υδραγωγείου της Ταράτσας το 1894. Κατόπιν, το 1940 λειτούργησε το νέο δίκτυο διανομής της πόλης από την υδατοδεξαμενή του Αγίου Λουκά. Το 1952 έγινε επέκταση του δικτύου ενώ την περίοδο 1970-72 μαζί με τη κατασκευή του νέου εξωτερικού υδραγωγείου στην περιοχή του Γοργοποτάμου έγιναν και περαιτέρω επεκτάσεις του δικτύου για την κάλυψη των ολοένα και αυξανόμενων αναγκών της πόλης. Το εσωτερικό δίκτυο ύδρευσης της πόλης κατασκευάστηκε με βάση σχετική μελέτη (Μαχαίρας, 1984). Η πόλη της Λαμίας υδροδοτείται κυρίως από τις πηγές Ταράτσας μέσω του υδραγωγείου Ταράτσας και τις πηγές Γοργοποτάμου μέσω του υδραγωγείου Γοργοποτάμου. Λόγω της μείωσης της παροχής των πηγών τα τελευταία χρόνια εγκαταστάθηκε και υδροληψία στην κοίτη του Γοργοποτάμου με στόχο την ενίσχυση του συστήματος. Τα δύο υδραγωγεία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους για λόγους ασφαλείας. Περισσότερα τεχνικά στοιχεία για τα δύο υδραγωγεία δίνονται στο τεύχος 36.

Η κτηνοτροφία, όπως και η γεωργία, αποτελούν τους δύο κύριους παραγωγικούς τομείς του νομού Φθιώτιδας. Έτσι, στο υπό μελέτη υδροσύστημα υπεισέρχεται, επίσης, η κτηνοτροφική χρήση. Για τη χρήση αυτή, έγινε καταγραφή των μεγάλων κτηνοτροφικών μονάδων και του αριθμού των ζώων ανά επαρχία τον τελευταίο χρόνο καθώς επίσης οι ανάγκες τους σε νερό. Με βάση την προσωπική επικοινωνία με τους κτηνοτρόφους, οι περισσότερες μεγάλες κτηνοτροφικές μονάδες αντλούν νερό από ιδιωτικές γεωτρήσεις.

Ο νομός Φθιώτιδας δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη βιομηχανική ανάπτυξη, αφού η οικονομία του νομού στηρίζεται κυρίως στη γεωργία και στην κτηνοτροφία. Η μοναδική Βιομηχανική Περιοχή (ΒΙΠΕ) βρίσκεται κοντά στο Δήμο Λαμέων -αναφέρεται ως ΒΙΠΕΛ- και υπεύθυνη υπηρεσία είναι η Ελληνική Τράπεζα Βιομηχανικής Ανάπτυξης (ΕΤΒΑ). Παράλληλα υπάρχουν διάσπαρτες βιομηχανίες στην περιοχή Λαμίας καθώς και σε θύλακες, όπως είναι στην περιοχή Σπερχειάδας-Μακρακώμης. Όσο αφορά τις υδατικές ανάγκες των βιομηχανιών, στοιχεία υπάρχουν μόνο για τη ΒΙΠΕΛ που υδροδοτείται από γεωτρήσεις στην περίμετρο της περιοχής.

Σε ότι αφορά στη περιβαλλοντική χρήση, στο τεύχος 36 δίνονται στοιχεία ποιότητας νερού, καταγράφονται οι σημειακές πηγές ρύπανσης από αστικά λύματα και βιομηχανικά απόβλητα καθώς και οι διάχυτες πηγές ρύπανσης, παρουσιάζονται δεδομένα μετρήσεων συγκέντρωσης ρυπαντών. Ακόμη, καταγράφονται οι προστατευόμενες περιοχές εξαιρετικού περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος καθώς και τα είδη πανίδας και χλωρίδας που παρατηρούνται στις περιοχές αυτές.

3.6 Λοιπά υδροσυστήματα

Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν υδροσυστήματα που δεν συνδέονται με τα υδροσυστήματα που εξετάστηκαν πιο πάνω. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται οι αρδευόμενες περιοχές που ανήκουν σε πέντε ΤΟΕΒ της ΥΕΒ Φωκίδας και παρουσιάζονται στον Πίν. 13.

Πίν. 13 ΤΟΕΒ που ανήκουν στην ΥΕΒ Φωκίδας (στοιχεία 1990).

α/α	ΤΟΕΒ	Σύστημα Άρδευσης	Αρδευόμενη Εκταση (στρ.)	Αρδευθείσα Εκταση (στρ.)	Πηγή Υδροδότησης
1	Πεδιάδας Μόρνου	Επιφανειακή	14 500	8 300	Μόρνος, γεωτρήσεις
2	Τσότρας - Τροιζηνικού	Επιφανειακή	10 557	1 467	Γεωτρήσεις
3	Ευπαλίου - Μοναστηρακίου	Επιφανειακή	4 000	1 400	Τοπικοί χείμαρροι, πηγές και γεωτρήσεις
4	Γραβιάς	Καταιονισμός	3 300	700	Γεωτρήσεις
5	Κοττορός (Άμφισσας)	Επιφανειακή	9 030	1000	Γεωτρήσεις

Στο νομό Φωκίδας έχει εγκριθεί η μελέτη μιας λιμνοδεξαμενής ενώ εκπονούνται μελέτες για άλλες δύο ενώ παράλληλα προωθείται η μελέτη ενός μικρού φράγματος (Γαζέλας, 1994, Ευθυμίου και Θεοδωρόπουλος, 1997). Συνοπτικά τεχνικά χαρακτηριστικά των έργων αυτών δίνονται στο τεύχος 36.

Ανεξάρτητο υδροσύστημα είναι δυνατό να θεωρηθεί και ένα σύνολο αρδευόμενων περιοχών στο νομό Εύβοιας που έχουν οργανωθεί σε τρεις ΤΟΕΒ. Στον Πίν. 14 παρουσιάζονται συνοπτικά οι ΤΟΕΒ του νομού μαζί με τις αρδευόμενες και αρδευθείσες περιοχές και τις πηγές υδροδότησης κατά το έτος 1995.

Πίν. 14 ΤΟΕΒ που ανήκουν στην ΥΕΒ Εύβοιας (στοιχεία 1995).

α/α	ΤΟΕΒ	Σύστημα Άρδευσης	Αρδευόμενη Εκταση (στρ.)	Αρδευθείσα Εκταση (στρ.)	Πηγή Υδροδότησης
1	Ιστιαίας	Καταιονισμός	2 000	200	Γεωτρήσεις
2	Μαντουδίου	Καταιονισμός Στάγδην	1 500	1 200	Γεωτρήσεις
3	Ψαχνών	Επιφανειακή Καταιονισμός Στάγδην	2 380	1 880	Πηγές Γεωτρήσεις

Στο νησί έχει προγραμματιστεί η κατασκευή λιμνοδεξαμενών και μικρών φραγμάτων. Μέχρι στιγμής έχει κατασκευαστεί μία λιμνοδεξαμενή στη θέση Παραδείσι, έχει εγκριθεί η μελέτη άλλης μιας ενώ 6 βρίσκονται στο στάδιο της εκπόνησης. Επίσης έχει κατασκευαστεί ένα μικρό φράγμα και εκπονείται η μελέτη για άλλο ένα. Τεχνικά χαρακτηριστικά των έργων αυτών συνοψίζονται στο τεύχος 36.

Άλλα ανεξάρτητα υδροσυστήματα μπορούν να θεωρηθούν τα συστήματα ύδρευσης των πόλεων της Άμφισσας, του Καρπενησίου και της Χαλκίδας.

Η πόλη της Άμφισσας υδροδοτείται από το υδραγωγείο του Μόρνου που εξυπηρετεί, επίσης, και άλλους οικισμούς, μεταξύ των οποίων η Ιτέα και το Γαλαξίδι. Η πόλη του Καρπενησίου υδρεύεται από πηγές και γεωτρήσεις που βρίσκονται στο όρος Τυμφρηστός στη θέση Βελούχι. Η πόλη της Χαλκίδας μαζί με την Κάνηθο υδροδοτούνται από την Παραλίμνη, γεωτρήσεις της Υλίκης

καθώς και από τοπικές γεωτρήσεις και πηγές στην περιοχή της Εύβοιας. Περιγραφή του υδροδοτικού συστήματος δίνεται στο τεύχος 36.

Στην περιοχή μελέτης έχει μελετηθεί η ΒΙΠΕ Άμφισσας (ΒΙΠΕΑ) της οποίας μόλις πρόσφατα ολοκληρώθηκε η οριστική μελέτη (Μελέτες Έργων Υποδομής, κ.ά., 1998). Η ΒΙΠΕΑ προβλέπεται να υδροδοτηθεί από το δίκτυο ύδρευσης της Άμφισσας. Δεύτερη ΒΙΠΕ είναι η ΒΙΠΕ Αλουμίνιας που δεν λειτουργεί ακόμα αλλά έχουν κατασκευαστεί οι εγκαταστάσεις της. Θα υδροδοτηθεί από το υδραγωγείο του Μόρνου και, συμπληρωματικά, από γεωτρήσεις στην περίμετρο της περιοχής. Τέλος, εκτός των παραπάνω ΒΙΠΕ, στην περιοχή μελέτης υπάρχουν αρκετές διάσπαρτες μεγάλες και μικρότερες βιομηχανικές μονάδες, οι οποίες καταναλώνουν σημαντικές ποσότητες νερού. Για παράδειγμα, το Αλουμίνιο της Ελλάδας που βρίσκεται στην περιοχή Άσπρα Σπίτια στο νομό Φωκίδας, υδροδοτείται από ένα σύστημα 20 γεωτρήσεων που έχουν διανοιχτεί στην περίμετρο του βιομηχανικού συγκροτήματος.

3.7 Επιλογή υδροσυστημάτων για μοντελοποίηση - Μεθοδολογία αντιμετώπισης

Σε γενικές γραμμές οι κύριοι υδατικοί πόροι της Στερεάς Ελλάδας, οι οποίοι έχουν μέχρι σήμερα αξιοποιηθεί με συστηματικό τρόπο, μπορούν να ενταχθούν σε δύο διακεκριμένα υδροσυστήματα. Το πρώτο περιλαμβάνει τους υδατικούς πόρους που έχουν συνδεθεί με την ύδρευση της Αθήνας και συγκεκριμένα τις υδρολογικές λεκάνες Ευήνου, Μόρνου, Βοιωτικού Κηφισού και Υλίκης. Το δεύτερο περιλαμβάνει την υδρολογική λεκάνη του Άνω και Μέσου Αχελώου. Βεβαίως, στη Στερεά Ελλάδα υπάρχουν και άλλοι υδατικοί πόροι αξιόλογοι, είτε από πλευράς υδατικού δυναμικού, είτε λόγω των σημαντικών περιβαλλοντικών διαστάσεων τους, όπως είναι ο ποταμός Σπερχειός, οι λίμνες Τριχωνίδα, Λινσιμαχία, Οζερός, Αμβρακία κ.α. Όμως, από την οπτική του συγκεκριμένου ερευνητικού έργου, τα παραπάνω δύο συστήματα παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ερευνητικό, αλλά και επιχειρησιακό, ενδιαφέρον και γι' αυτό έχει εστιαστεί σε αυτά η έρευνά μας.

Ειδικότερα, τα κύρια έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων στο σύστημα που αφορά στην ύδρευση της Αθήνας έχουν περιγραφεί στο υποκεφάλαιο 3.3. Στο σύστημα εντάσσεται, επίσης και το υδροσύστημα του Βοιωτικού Κηφισού που περιγράφηκε στο υποκεφάλαιο 3.5.

Το σύστημα του Αχελώου μπορεί να διακριθεί σε δύο υποσυστήματα, όριο των οποίων μπορεί σχηματικά να θεωρηθεί ότι είναι το φράγμα Στράτου. Το υποσύστημα του Μέσου και Άνω Αχελώου που παρουσιάστηκε στο υποκεφάλαιο 3.1 και το υποσύστημα του Κάτω Αχελώου που αφορά στις αρδευτικές και λοιπές χρήσεις νερού στην περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας κατάντη του Στράτου (βλ. υποκεφάλαιο 3.2). Δεδομένου ότι το υδροσύστημα του Κάτω Αχελώου έχει αποτελέσει το ιδιαίτερο αντικείμενο ενός παράλληλου ερευνητικού έργου, το οποίο έχει ανατεθεί από τη Διεύθυνση Έργων Εγγείων Βελτιώσεων (Δ7) του ΥΠΕΧΩΔΕ (Επιστημονικός υπεύθυνος Α. Ψιλοβίκος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης), δεν έχουμε επεκταθεί στο παρόν ερευνητικό έργο στη μελέτη αυτού του υποσυστήματος, αλλά περιοριστήκαμε στην εκτίμηση των υδατικών αναγκών και στην εισαγωγή των σχετικών απαιτήσεων στο υπολογιστικό σύστημα που αφορά το υδροσύστημα του Άνω και Μέσου Αχελώου.

Αντίθετα, στο υποσύστημα του Άνω και Μέσου Αχελώου ανάντη του Στράτου, καθώς και στο σύστημα υδροδότησης της Αθήνας έχουμε αφιερώσει το μεγαλύτερο μέρος της μελέτης. Μετά τις εκτεταμένες εργασίες συλλογής και αξιολόγησης των δεδομένων και ανάλυσης των δύο συστημάτων καταρτίστηκαν δύο μαθηματικά μοντέλα που μπορούν να υποστηρίζουν την λήψη αποφάσεων για τη λειτουργία των δύο συστημάτων. Τα μοντέλα αυτά είναι τα ακόλουθα:

1. Μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης υδροσυστήματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας που αναφέρεται στο υδροσύστημα του Άνω και Μέσου Αχελώου.
2. Μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης υδροσυστήματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας που αναφέρεται στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας.

Τα δύο μοντέλα ανήκουν σε δύο διαφορετικές κατηγορίες μεθοδολογιών. Στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας εφαρμόστηκε η συνδυασμένη χρήση προσομοίωσης και βελτιστοποίησης (βλ. Τεύχος 40 και σύνοψη στο κεφάλαιο 7 του παρόντος τεύχους), ενώ για το υδροσύστημα του Άνω και Μέσου Αχελώου το μοντέλο βασίστηκε στη θεωρία του βέλτιστου ελέγχου (βλ. Τεύχος 39 και σύνοψη στο κεφάλαιο 6 του παρόντος τεύχους).

3.8 Μεθοδολογία αντιμετώπισης υδροσυστημάτων χωρίς πλήρη μοντελοποίηση

3.8.1 Γενικά

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, στο παρόν ερευνητικό έργου επιλέξαμε δύο υδροσυστήματα της περιοχής της Στερεάς Ελλάδας για πλήρη μοντελοποίηση. Για τα υπόλοιπα υδροσυστήματα που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο αυτό, δεν έγινε πλήρης μοντελοποίηση. Η μεθοδολογία αντιμετώπισης των συστημάτων αυτών συνοψίζεται στα ακόλουθα:

1. Σε ότι αφορά την άρδευση, που αποτελεί τη σημαντικότερη από πλευράς όγκου καταναλωτική χρήση νερού, καταρτίστηκε μεθοδολογία εκτίμησής τους. Αυτή εφαρμόστηκε στα κυριότερα υδροσυστήματα στα οποία η αρδευτική χρήση είναι σημαντική. Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν τα υδροσυστήματα Κάτω Αχελώου, Κάτω Σπερχειού και Β. Κηφισού. Η σχετική μεθοδολογία συνοψίζεται στο εδάφιο 3.3.2 και περιγράφεται αναλυτικά στο τεύχος 37. Οι εκτιμήσεις των υδατικών αναγκών που έγιναν συνοψίζονται στο κεφάλαιο 4 και δίνονται αναλυτικά στο τεύχος 37.
2. Σε ότι αφορά την ύδρευση, δεν έγιναν νέες εκτιμήσεις στο παρόν έργο, αλλά βασιστήκαμε σε δεδομένα από υφιστάμενες μελέτες. Λόγω της ιδιαίτερης σημασίας της χρήσης αυτής για την περιοχή μελέτης, κυρίως λόγω της ύδρευσης της Πρωτεύουσας έγινε προσπάθεια συστηματοποίησης όλων των διαθέσιμων δεδομένων. Υπενθυμίζεται ότι η ύδρευση αποτελεί τη χρήση πρώτης προτεραιότητας, όπως ορίζεται στο Ν. 1739/87 για τη Διαχείριση των υδατικών πόρων. Η σχετική μεθοδολογία συνοψίζεται στο εδάφιο 3.3.3 και περιγράφεται αναλυτικά στο τεύχος 37. Ποσοτικές εκτιμήσεις γίνονται στο κεφάλαιο 4 και στο τεύχος 37.

3. Για τις άλλες χρήσεις δεν έγιναν νέες εκτιμήσεις στο παρόν έργο, αλλά βασιστήκαμε σε δεδομένα από υφιστάμενες μελέτες. Σχετικά αναλυτικά στοιχεία δίνονται στην περιγραφή του αντίστοιχου, κάθε φορά, υδροσυστήματος στο τεύχος 36.

3.8.2 Μεθοδολογία εκτίμησης αρδευτικών αναγκών

Για την εκτίμηση των σημερινών αναγκών σε αρδευτικό νερό στην περιοχή μελέτης ακολουθήσαμε δύο στάδια υπολογισμών:

1. Υπολογίστηκαν οι ανάγκες σε νερό για την ανάπτυξη της κάθε μιας καλλιέργειας ξεχωριστά. Ο υπολογισμός έγινε για κάθε μήνα της αντίστοιχης βλαστικής περιόδου και κατέληξε σε ποσότητες νερού εκφρασμένες ανά μονάδα έκτασης (mm) σε μέση μηνιαία βάση.
2. Με βάση τις ποσότητες αυτές έγινε εκτίμηση των ποσοτήτων νερού (se hm^3) που απαιτούνται για κάθε επιμέρους έκταση με συγκεκριμένη καλλιέργεια. Οι επιμέρους αυτές εκτάσεις διατίθενται για κάθε έτος και κάθε ευρύτερη γεωγραφική ενότητα. Στην περίπτωση του παρόντος ερευνητικού έργου, η στοιχειώδης ενότητα είναι ο Τοπικός Οργανισμός Εγγείων Βελτιώσεων. Η τελική ευρύτερη ενότητα που χρησιμοποιήσαμε είναι η έκταση που αρδεύεται από ενιαία πηγή υδροδότησης. Αυτή προέκυψε από ομαδοποίηση TOEB ή τμημάτων τους.

Με την παραδοχή ότι, κατά την βλαστική περίοδο, η βροχόπτωση που μπορεί να αξιοποιηθεί από τα φυτά στη συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή είναι αμελητέα, οι ανάγκες σε αρδευτικό νερό λαμβάνονται ίσες με τις ποσότητες που απαιτούνται για την ανάπτυξη των φυτών (στάδιο 2).

Σε συνέχεια του σταδίου 2 έγινε κατάλληλη επεξεργασία των αποτελεσμάτων και εξαγωγή των αναγκών:

1. Στο σύνολο της περιοχής μελέτης και ανά είδος καλλιέργειας.
2. Στο σύνολο της περιοχής μελέτης και για όλα τα είδη καλλιεργειών.
3. Σε κάθε κοινότητα και για όλα τα είδη καλλιεργειών.

Οι ανάγκες σε νερό για συγκεκριμένο είδος καλλιέργειας ανά μονάδα έκτασης εκτιμήθηκαν με βάση την ημιεμπειρική μέθοδο Doorenbos-Pruitt (1977) σε δύο στάδια:

a. Στο πρώτο στάδιο, γίνεται εκτίμηση της μέσης μηνιαίας εξατμιδιαπνοής από την καλλιέργεια αναφοράς (γρασίδι με ορισμένες συνθήκες ανάπτυξης) και τις κλιματικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής που εξετάζεται. Στο στάδιο αυτό γίνεται χρήση των ακόλουθων μετεωρολογικών δεδομένων:

1. Μέση μηνιαία θερμοκρασία ανηγμένη στο υψόμετρο της περιοχής μελέτης.
2. Μέση μηνιαία σχετική υγρασία.
3. Μηνιαία ηλιοφάνεια.

4. Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου.

Κατά τους υπολογισμούς της εξατμοδιαπνοής είναι απαραίτητο να γίνουν αριθμητικές προσεγγίσεις που δίνονται στην εκτεταμένη διαθέσιμη βιβλιογραφία. Εδώ ακολουθήσαμε τις προτάσεις των Κουτσογιάννη και Ξανθόπουλου (1997).

β. Σε ένα δεύτερο στάδιο, γίνεται αναγωγή της εξατμοδιαπνοής από την καλλιέργεια αναφοράς στο κάθε είδος καλλιέργειας που ενδιαφέρει μέσω ενός κατάλληλου φυτικού συντελεστή. Ο συντελεστής αυτός μεταβάλλεται στο χρόνο και είναι συνάρτηση του σταδίου ανάπτυξης του φυτού αλλά και των μετεωρολογικών συνθηκών.

3.8.3 Μεθοδολογία συστηματοποίησης υδρευτικών αναγκών

Οι ποσότητες νερού που καταναλώνονται για ύδρευση ενός οικισμού συμπεριλαμβάνουν, πέραν από τις ποικίλες ανάγκες των μονίμων κατοίκων του, και αυτές των τουριστών, το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών της βιομηχανίας, ακόμη και μέρος των αναγκών της γεωργίας και της κτηνοτροφίας σε περιπτώσεις αγροτικών οικισμών. Στον υπολογισμό των απολήψιμων ποσοτήτων νερού για την κάλυψη υδρευτικών αναγκών μιας συγκεκριμένης περιοχής περιλαμβάνονται και οι κάθε είδους απώλειες των εσωτερικών και εξωτερικών της δικτύων. Το μέγεθος των απωλειών μπορεί να υπολογιστεί στις περιπτώσεις που υπάρχουν σχετικά διαθέσιμα στοιχεία, πράγμα που συμβαίνει ουσιαστικά μόνον στα οικιστικά κέντρα όπου λειτουργούν οργανωμένες επιχειρήσεις ύδρευσης.

Η διαχείριση, εκμετάλλευση και διασφάλιση των ποσοτικών αναγκών και των ποιοτικών προδιαγραφών των νερών ύδρευσης βρίσκεται υπό τον έλεγχο της κεντρικής διοίκησης και της τοπικής αυτοδιοίκησης είτε υπό την μορφή των Δημόσιων Επιχειρήσεων Ύδρευσης Αποχέτευσης (ΔΕΥΑ), είτε συνδέσμων δήμων και κοινοτήτων είτε τέλος και απλών Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ).

Στην περιοχή μελέτης λειτουργούν οι ακόλουθες ΔΕΥΑ, κατά υδατικό διαμέρισμα:

1. Για το Υδατικό Διαμέρισμα 07: Χαλκίδας, Θήβας, Λιβαδειάς, Λαμίας, Ερέτριας, Βασιλικών
2. Για το Υδατικό Διαμέρισμα 06: Μεγάρων, καθώς και η ΕΥΔΑΠ
3. Για το Υδατικό Διαμέρισμα 04: Αγρινίου, Μεσολογγίου, Καρπενησίου, Αμφιλοχίας

Στο παρόν ερευνητικό έργο, έγινε συστηματοποίηση πρόσφατων και μελλοντικών (όπου αυτό είναι δυνατόν) υδρευτικών αναγκών για τις ακόλουθες μονάδες χώρου:

1. Για το σύνολο της περιοχής μελέτης.
2. Για κάθε υδατικό διαμέρισμα με βάση δεδομένα από ΔΕΥΑ. Στο Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής (06) γίνεται ειδικότερη αναφορά στον χώρο της Πρωτεύουσας, όπου οι ανάγκες σε νερό ύδρευσης αντιπροσωπεύονται (1991) το 70.8% περίπου του συνόλου των αναγκών της (ΥΠΑΝ κ.ά., 1997).

3. Ακόμη, παρατίθενται στοιχεία από εκδόσεις της Οικονομικής Επιτροπής της Ένωσης Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης Αποχέτευσης (ΕΔΕΥΑ), τα οποία αφορούν σε πόλεις που λειτουργούν ΔΕΥΑ για τα έτη 1993, 1994 και 1995.

4 Εκτίμηση σημερινών και μελλοντικών υδατικών αναγκών

4.1 Αρδευση

4.1.1 Αρδευτικές ανάγκες περιοχής Κάτω Αχελώου

Για την εκτίμηση της εξάτμισης της καλλιέργειας αναφοράς χρησιμοποιήσαμε δεδομένα μέσων μηνιαίων τιμών από τον μετεωρολογικό σταθμό του Αγρινίου της EMY.

Για τον υπολογισμό των αναγκών σε όρους όγκου νερού, θεωρήσαμε τα δεδομένα των αντίστοιχων εκτάσεων για την κάθε καλλιέργεια για δύο έτη: 1990 και 1996 (που ήταν και το έτος με τα πιο πρόσφατα δεδομένα).

Στους πίνακες του Παραρτήματος Α του τεύχους 37 δίνονται οι αρδευτικές ανάγκες έτους 1990 για κάθε καλλιέργεια στην περιοχή Κάτω Αχελώου ανά πηγή υδροδότησης. Στους Πίν. 15 και Πίν. 16 που ακολουθούν, δίνονται οι αρδευτικές ανάγκες έτους 1990 για το σύνολο των καλλιεργειών των περιοχών Κάτω Αχελώου ανά πηγή υδροδότησης.

Πίν. 15 Αρδευτικές ανάγκες έτους 1990 για το σύνολο των καλλιεργειών των περιοχών Κάτω Αχελώου ανά πηγή υδροδότησης (σε hm³).

Μήνας	Τριχωνίδα	Αχελώος	Δ7	Δ1	Οζερός	ΣΥΝΟΛΑ 1
Απρίλιος	0.86	1.01	3.22	1.38	0.11	6.59
Μάιος	2.57	2.69	9.08	4.40	0.32	19.06
Ιούνιος	3.48	4.23	14.81	6.09	0.45	29.07
Ιούλιος	3.41	4.86	16.52	6.18	0.46	31.43
Αύγουστος	0.48	3.67	10.87	1.76	0.11	16.89
Σεπτέμβριος	0.31	2.04	5.34	1.03	0.06	8.78
Οκτώβριος	0.04	0.26	0.46	0.07	0.01	0.83
ΣΥΝΟΛΟ	11.16	18.76	60.30	20.92	1.52	112.66

Πίν. 16 Αρδευτικές ανάγκες έτους 1990 για το σύνολο των καλλιεργειών των περιοχών Κάτω Αχελώου ανά πηγή υδροδότησης (σε hm³) (συνέχεια).

Μήνας	Εύηνος	Λυσιμαχία	Σ. Λυσιμαχία	Π. Λάμπρας	ΣΥΝΟΛΑ 2	ΣΥΝΟΛΑ
Απρίλιος	0.42	0.10	4.45	0.61	5.57	12.17
Μάιος	1.22	0.30	12.36	1.85	15.73	34.79
Ιούνιος	2.04	0.43	19.76	3.18	25.41	54.48
Ιούλιος	2.62	0.44	23.62	3.82	30.51	61.94
Αύγουστος	2.33	0.13	20.31	3.24	26.01	42.90
Σεπτέμβριος	1.28	0.07	11.49	1.62	14.46	23.24
Οκτώβριος	0.04	0.00	1.33	0.02	1.38	2.21
ΣΥΝΟΛΟ	9.95	1.46	93.32	14.34	119.08	231.74

Όπως προκύπτει από τον Πίν. 16, οι συνολικές αρδευτικές ανάγκες της περιοχής Κάτω Αχελώου εκτιμώνται σε 232 hm³ για τις εκτάσεις που αρδεύτηκαν το έτος 1990.

Στους πίνακες του Παραρτήματος Β του τεύχους 37, δίνονται οι αρδευτικές ανάγκες του έτους 1996 για κάθε καλλιέργεια στην περιοχή Κάτω Αχελώου ανά πηγή υδροδότησης. Στους Πίν. 17, Πίν. 18 και Πίν. 19 που ακολουθούν, δίνονται οι αρδευτικές ανάγκες έτους 1996 για το σύνολο των καλλιεργειών των περιοχών Κάτω Αχελώου ανά πηγή υδροδότησης. Οι πηγές υδροδότησης είναι οι ίδιες όπως και για το έτος 1990. Ειδικά για την υδροδότηση της νότιας περιοχής μέσω της σήραγγας Λυσιμαχίας, για το 1996 έγινε διαχωρισμός των νερών στις τρεις βασικές προσαγωγούς διώρυγες, τη ΔΧΧVII, τη ΔΙ ως συνέχεια της ΔΧΧ και τη ΔΙΙ ως συνέχεια πάλι της ΔΧΧ (διαφορετικές από τις αντίστοιχες στο βόρειο μέρος).

Πίν. 17 Αρδευτικές ανάγκες έτους 1996 για το σύνολο των καλλιεργειών των περιοχών Κάτω Αχελώου ανά πηγή υδροδότησης (σε hm³).

Μήνας	Τριχωνίδα	Αχελώος	Δ7	Δ1	Οζερός	ΣΥΝΟΛΑ 1
Απρίλιος	0.76	1.45	2.86	1.48	0.19	6.74
Μάιος	2.23	4.16	8.26	4.10	0.49	19.26
Ιούνιος	3.07	6.48	13.22	6.17	0.76	29.70
Ιούλιος	3.05	7.93	14.73	6.53	0.81	33.05
Αύγουστος	0.54	6.54	10.00	2.67	0.36	20.12
Σεπτέμβριος	0.32	3.75	5.17	1.35	0.18	10.77
Οκτώβριος	0.03	0.32	0.66	0.19	0.03	1.23
ΣΥΝΟΛΟ	10.01	30.64	54.92	22.49	2.82	120.87

Πίν. 18 Αρδευτικές ανάγκες έτους 1996 για το σύνολο των καλλιεργειών των περιοχών Κάτω Αχελώου ανά πηγή υδροδότησης (σε hm³) (συνέχεια).

Μήνας	Εύηνος	Λυσιμαχία	Π. Λάμπρας	ΣΥΝΟΛΑ 2
Απρίλιος	0.69	0.19	0.61	1.49
Μάιος	1.60	0.62	1.98	4.20
Ιούνιος	2.80	0.95	3.13	6.88
Ιούλιος	3.70	1.03	3.91	8.64
Αύγουστος	3.30	0.56	3.33	7.19
Σεπτέμβριος	1.78	0.28	1.87	3.93
Οκτώβριος	0.06	0.00	0.01	0.06
ΣΥΝΟΛΟ	13.93	3.62	14.84	32.40

Πίν. 19 Αρδευτικές ανάγκες έτους 1996 για το σύνολο των καλλιεργειών των περιοχών Κάτω Αχελώου ανά πηγή υδροδότησης (σε hm³) (συνέχεια).

Μήνας	ΔΧΧVII	ΔΧΧ-ΔΙ	ΔΧΧ-ΔΙΙ	ΣΥΝΟΛΑ 3	ΣΥΝΟΛΑ
Απρίλιος	1.460	1.331	1.495	4.286	12.518
Μάιος	3.320	4.037	4.318	11.675	35.129
Ιούνιος	5.487	6.434	6.979	18.901	55.480
Ιούλιος	7.168	8.094	9.095	24.357	66.054
Αύγουστος	6.374	7.063	8.187	21.625	48.936
Σεπτέμβριος	3.845	4.063	4.649	12.558	27.257
Οκτώβριος	0.716	0.466	0.111	1.292	2.587
ΣΥΝΟΛΟ	28.370	31.488	34.834	94.693	247.960

Σε ότι αφορά στις μελλοντικές ανάγκες σε αρδευτικό νερό, δεν έγιναν πρωτογενείς εκτιμήσεις αλλά καταφύγαμε σε εκτιμήσεις παλιότερων μελετών που αναφέραμε ήδη στο υποκεφάλαιο 2.3. Στον Πίν. 20 δίνονται οι εκτιμήσεις σημερινής και μελλοντικής ζήτησης για άρδευση όπως αυτές έγιναν στα πλαίσια της μελέτης του ΥΠΑΝ κ.ά. (1997).

Πίν. 20 Εκτίμηση σημερινής και μελλοντικής ζήτησης για άρδευση κατά ΥΠΑΝ κ.ά. (1997).

	Άρδευόμενη έκταση με συλλογικά δίκτυα (στρ)	Επήσια κατανάλωση συλλογικών δικτύων (hm^3)	Επήσια κατανάλωση μη συλλογικών δικτύων (hm^3)	Συνολική* επήσια κατανάλωση (hm^3)	Συνολική* κατανάλωση μήνα Ιουλίου (hm^3)
Σημερινή κατάσταση	535 750	321.5	46.4	367.9	147.2
Μεσοπρόθεσμο σενάριο					
Πρόσθετα	25 000	15.0	-		
Σύνολο	560 750	336.5	23.2	359.7**	143.9**
Μακροπρόθεσμο σενάριο					
Πρόσθετα	75 000	45.0	-		
Σύνολο	635 750	381.5	11.6	393.1	157.2

*Για συλλογικά και μη συλλογικά δίκτυα άρδευσης

**Λαμβάνεται τελικά η εκτίμηση της σημερινής κατάστασης

Ακόμη, εκτιμήσεις έγιναν και στη μελέτη του ΥΠΕΧΩΔΕ (1997). Οι εκτιμήσεις αυτές παρουσιάζονται στον Πίν. 21 ανά πηγή υδροδότησης τόσο για την υφιστάμενη όσο και την μελλοντική κατάσταση μετά από την ένταξη νέων αρδευόμενων περιοχών σε συλλογικά δίκτυα. Για την υφιστάμενη κατάσταση δίνεται και εκτίμηση για την περίπτωση που στα υφιστάμενα δίκτυα γίνονται εκτεταμένες ανακατασκευές με ανανέωση του εξοπλισμού, αλλαγή της μεθόδου άρδευσης και, κατά συνέπεια, σημαντικός περιορισμός των απωλειών.

Πίν. 21 Εκτίμηση σημερινής και μελλοντικής ζήτησης για άρδευση κατά ΥΠΕΧΩΔΕ (1995).

a/a	Πηγή	Έκταση (km ²)	Ετήσιες ανάγκες (hm ³)	Ετήσιες ανάγκες με νέα δίκτυα (hm ³)
1	Υφιστάμενα έργα			
1	Αχελώος	207.2	193.6	152
2	Τριχωνίδα-Λυσιμαχία	238.965	185.2	154
3	Άλλες πηγές	28.480	19.2	
	ΣΥΝΟΛΟ Α	474.645	398	325
1	Προτεινόμενα έργα			
1	Αχελώος	134.9	77.0	
2	Τριχωνίδα-Λυσιμαχία	66.5	40.2	
	ΣΥΝΟΛΟ Β	201.4	117	
	ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ (A+B)	676.045	515	442

Συγκριτικά, οι εκτιμήσεις της σημερινής και μελλοντικής ζήτησης για άρδευση, σύμφωνα με τις πιο πάνω μελέτες, παρουσιάζονται στον Πίν. 22.

Πίν. 22 Σύγκριση εκτιμήσεων σημερινής και μελλοντικής ζήτησης για άρδευση από διάφορες μελέτες.

Μέγεθος	Μελέτη ΥΠΑΝ	Μελέτη ΥΠΕΧΩΔΕ
Έκταση υφιστάμενων συλλογικών δικτύων (km ²)	535.750	474.645
Κατανάλωση υφιστάμενων συλλογικών δικτύων (hm ³)	321.5	398 (325)*
Κατανάλωση υφιστάμενων δικτύων (hm ³)	367.9	-
Έκταση μελλοντικών συλλογικών δικτύων (km ²)	635.750**	676.045
Κατανάλωση μελλοντικών συλλογικών δικτύων** (hm ³)	381.5**	515 (442)*
Κατανάλωση μελλοντικών δικτύων (hm ³)	393.1**	

*Μετά από ανακατασκευή των υφισταμένων δικτύων

**Από το μακροπρόθεσμο σενάριο της μελέτης

Παρατηρείται ότι:

- Οι εκτάσεις των συλλογικών δικτύων που δέχεται η κάθε μελέτη δεν διαφέρουν ουσιαστικά μεταξύ τους.
- Οι εκτιμήσεις της μελέτης του ΥΠΕΧΩΔΕ (1995) είναι γενικά μεγαλύτερες, πράγμα που οφείλεται λιγότερο στις εκτάσεις των δικτύων που δέχεται η κάθε μελέτη και περισσότερο στις άλλες παραδοχές των εκτιμήσεων.

Σημειώνεται ότι σύγκριση της σημερινής ζήτησης από τις δύο μελέτες με τις αρδευτικές ανάγκες που εκτιμήθηκαν στο παρόν ερευνητικό έργο δείχνει ότι οι τελευταίες είναι πολύ μικρότερες από τις πρώτες, όπως ήταν, εξ άλλου, αναμενόμενο. Περαιτέρω συγκριτική μελέτη των δύο μεγεθών δεν ήταν δυνατή στα πλαίσια του παρόντος έργου καθόσον:

1. Η ζήτηση αρδευτικού νερού αναφέρεται γενικά στην πηγή τροφοδοσίας.
2. Οι αρδευτικές ανάγκες αναφέρονται στην ίδια της καλλιέργεια.
3. Οι απώλειες των δικτύων είναι άγνωστες από ποσοτική άποψη.
4. Δεν διαθέταμε στοιχεία για άλλες ανάγκες σε αρδευτικό νερό πλην της ανάπτυξης των φυτών (π.χ. απόπλυση αλάτων).

Πάντως, αν δεχτούμε τα αποτελέσματα της μελέτης του ΥΠΑΝ κ.ά. (1997), το ποσοστό των πάσης φύσεως απωλειών σε αρδευτικό νερό στην περιοχή του Κάτω Αχελώου προκύπτει ίσο με $100 \times (1 - (247.96/367.9)) = 32.6\%$. Αν δεχτούμε της εκτίμηση του ΥΠΕΧΩΔΕ (398 hm³) το ποσοστό αυτό γίνεται 37.7%.

4.1.2 Αρδευτικές ανάγκες περιοχής Βοιωτικού Κηφισού

Για την εκτίμηση της εξάτμισης της καλλιέργειας αναφοράς χρησιμοποιήσαμε δεδομένα μέσων μηνιαίων τιμών από τον μετεωρολογικό σταθμό της Αλιάρτου της ΕΜΥ.

Για τον υπολογισμό των αναγκών σε όρους όγκου νερού, θεωρήσαμε τα δεδομένα των αντίστοιχων εκτάσεων για την κάθε καλλιέργεια για το έτος 1996 (που ήταν και το έτος με τα πιο πρόσφατα δεδομένα).

Στους πίνακες του Παραρτήματος Γ του τεύχους 37 δίνονται οι αρδευτικές ανάγκες έτους 1995 για κάθε καλλιέργεια στην περιοχή Βοιωτικού Κηφισού ανά πηγή υδροδότησης. Στον Πίν. 23 που ακολουθεί, δίνονται οι αρδευτικές ανάγκες έτους 1995 για το σύνολο των καλλιεργειών των περιοχών Βοιωτικού Κηφισού ανά πηγή υδροδότησης.

Πίν. 23 Αρδευτικές ανάγκες έτους 1995 για το σύνολο των καλλιεργειών των περιοχών Βοιωτικού Κηφισού ανά πηγή υδροδότησης (σε hm³).

Μήνας	Ποταμοί, Πηγές	Φ. Λίμνες	Τ. Λίμνες	Γεωτ. - Φρέατα	Στρ. Τάφροι	ΣΥΝΟΛΑ
Απρίλιος	2.38	3.63	0.91	1.11	0.39	8.42
Μάιος	5.65	8.25	1.73	2.64	0.76	19.03
Ιούνιος	9.31	14.48	3.91	4.35	1.66	33.72
Ιούλιος	11.74	17.80	4.38	5.49	1.87	41.28
Αύγουστος	10.68	15.74	3.44	4.99	1.49	36.34
Σεπτέμβριος	6.41	8.82	1.31	3.00	0.61	20.15
Οκτώβριος	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΣΥΝΟΛΟ	46.18	68.72	15.68	21.59	6.77	158.94

Σε ότι αφορά στα δεδομένα σημερινής ζήτησης νερού για άρδευση, η μελέτη του ΥΠΑΝ κ.ά. (1997) αναφέρει τα ακόλουθα για το σύνολο του Διαμερίσματος της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας:

1. Το σύνολο των καλλιεργούμενων εκτάσεων εκτιμάται σε 3 495 km².
2. Από τις εκτάσεις αυτές τα 1 079 km² είναι αρδεύσιμα, ενώ τα 819 km² αρδεύονταν το 1991 (ΕΣΥΕ, 1995).

3. Η διαφορά μεταξύ των εκτάσεων που αρδεύονταν το 1991 (819 km^2) και των εκτάσεων που αρδεύονται από υφιστάμενα δίκτυα (653 km^2) δείχνει ότι σημαντικό ποσοστό της αρδευόμενης έκτασης καλύπτεται από ιδιωτικά έργα και γεωτρήσεις.

Σε ότι αφορά στη μελλοντική ζήτηση νερού στο υδατικό διαμέρισμα η μελέτη του ΥΠΑΝ κ.ά. (1997) αναφέρει τα ακόλουθα:

1. Ο στόχος είναι η πλήρης αξιοποίηση των ποτιστικών εκτάσεων.
2. Με βάση τη διάρθρωση των καλλιεργούμενων ποτιστικών και των αρδευόμενων εκτάσεων, προκύπτει ότι σήμερα αρδεύεται σχεδόν το σύνολο των ποτιστικών εκτάσεων στις οποίες καλλιεργούνται αροτραία και κηπευτικά.
3. Οι ετήσιες ποσότητες νερού που αναμένεται να ζητηθούν μελλοντικά για την άρδευση των καλλιεργειών αυτών (αροτραίων και κηπευτικών) εκτιμήθηκαν μόλις σε 8.7 hm^3 . Όσον αφορά στις δενδρώδεις καλλιέργειες και τα αμπέλια, υπολογίστηκε ότι απαιτούνται 460 hm^3 για την άρδευση του συνόλου των καλλιεργειών αυτών, ποσότητα όμως που μπορεί να θεωρηθεί ως πάνω όριο των μελλοντικών ζητήσεων, δεδομένου ότι σε αυτήν περιλαμβάνεται και η άρδευση καλλιεργειών που ενδεχόμενα είναι ξηρικές.

4.1.3 Αρδευτικές ανάγκες περιοχής Σπερχειού

Για την εκτίμηση της εξάτμισης της καλλιέργειας αναφοράς χρησιμοποιήσαμε δεδομένα μέσων μηνιαίων τιμών από τον μετεωρολογικό σταθμό της Λαμίας της EMY.

Στους πίνακες του Παραρτήματος Δ του τεύχους 37 δίνονται οι αρδευτικές ανάγκες έτους 1995 για κάθε καλλιέργεια στην περιοχή Σπερχειού ανά πηγή υδροδότησης. Στον Πίν. 24 που ακολουθεί, δίνονται οι αρδευτικές ανάγκες έτους 1995 για το σύνολο των καλλιεργειών των περιοχών του Σπερχειού ανά πηγή υδροδότησης.

Πίν. 24 Αρδευτικές ανάγκες έτους 1995 για το σύνολο των καλλιεργειών των περιοχών Σπερχειού ανά πηγή υδροδότησης (σε hm^3).

Μήνας	Ποταμοί, Πηγές	Φ. Λίμνες	Τ. Λίμνες	Γεωτ. - Φρέατα	Στρ. Τάφροι	ΣΥΝΟΛΑ
Απρίλιος	1.55	0.00	0.00	0.13	0.00	1.69
Μάιος	4.46	0.00	0.00	0.39	0.00	4.85
Ιούνιος	7.38	0.00	0.00	0.64	0.00	8.02
Ιούλιος	9.98	0.00	0.00	0.87	0.00	10.85
Αύγουστος	8.76	0.00	0.00	0.76	0.00	9.52
Σεπτέμβριος	4.80	0.00	0.00	0.42	0.00	5.22
Οκτώβριος	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06
ΣΥΝΟΛΟ	36.99	0.00	0.00	3.21	0.00	40.21

Σε ότι αφορά στα δεδομένα για τη σημερινή και μελλοντική ζήτηση νερού για άρδευση, η μελέτη του ΥΠΑΝ κ.ά. (1997) ήταν η μόνη πηγή πληροφοριών. Στη μελέτη εκείνη η λεκάνη του Σπερχειού δεν εξετάστηκε ξεχωριστά, καθόσον η χωρική κλίμακα της μελέτης ήταν το υδατικό διαμέρισμα. Τα αποτελέσματα της μελέτης για το σύνολο του διαμερίσματος της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας στο οποίο ανήκει και η λεκάνη του Σπερχειού αναφέρθηκαν ήδη στο υποκεφάλαιο 2.5.

4.2 Υδρευση

4.2.1 Υδρευτικές ανάγκες στο σύνολο της περιοχής μελέτης

Για τον υπολογισμό των σημερινών (1991, όπου υπάρχουν στοιχεία) αναγκών έγινε η παραδοχή ότι για έναν κάτοικο απαιτούνται 200 L/ημέρα, ενώ για κάθε τουρίστα 300 L/διανυκτέρευση. Τα μεγέθη αυτά θεωρούνται αντιπροσωπευτικά για το σύνολο της χώρας (ΥΠΑΝ κ.ά., 1997). Η πρόβλεψη των μελλοντικών αναγκών είναι δύσκολη, λόγω των ποικίλων παραγόντων που υπεισέρχονται στη διαμόρφωσή τους (είδος ανάπτυξης, επιθυμητό επίπεδο διαβίωσης, αρχές διαχειριστικής πολιτικής για τους υδατικούς πόρους, πρόοδος στην κατασκευή σχετικών έργων υποδομής, διαθέσιμα κονδύλια, κλιματικές συνθήκες). Πάντως, τα μεγέθη αυτά δεν προβλέπεται να μεταβληθούν σημαντικά στο μέλλον (σε χρονικό ορίζοντα του 2020). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η μέση κατανάλωση νερού για την περιοχή Αθηνών πριν από τη λήψη των περιοριστικών μέτρων εν όψει της λειψυδρίας της περιόδου 1989-93 δεν ξεπέρασε τα 188 L/ κάτοικο·ημέρα. Με βάση πληθυσμιακά δεδομένα για την περιοχή μελέτης το 1991 (ΕΣΥΕ, 1994), και αντίστοιχες προβλέψεις για το 2001 (ΥΠΑΝ κ.ά., 1997, Παράρτημα 4) εκτιμήθηκαν οι ακόλουθες τιμές για τις ετήσιες υδρευτικές ανάγκες της περιοχής μελέτης

1. Για το 1991: 351 hm³/έτος.

2. Για το 2001: 377.4 hm³/έτος.

4.2.2 Υδρευτικές ανάγκες κατά υδατικό διαμέρισμα

Στη μελέτη του ΥΠΑΝ κ.ά. (1997) έγινε εκτίμηση των υδρευτικών αναγκών κατά νομό με βάση το μόνιμο πληθυσμό και τις διανυκτερεύσεις τουριστών, και στη συνέχεια εκτίμηση στην κλίμακα του υδατικού διαμερίσματος με θεώρηση του ποσοστού συμμετοχής του κάθε νομού στο αντίστοιχο υδατικό διαμέρισμα. Οι σχετικές εκτιμήσεις παρουσιάζονται στους Πίν. 25, Πίν. 26 και Πίν. 27. Στους πίνακες περιλαμβάνονται και εκτιμήσεις για το πεντάμηνο Μαΐου-Σεπτεμβρίου.

Πίν. 25 Εκτίμηση υδρευτικών αναγκών που καλύπτονται από το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, κατά νομό (1991).

Νομός	Ετήσιες ανάγκες (hm ³)	Ανάγκες από Μάιο ως Σεπτ. (hm ³)
Ευρυτανίας	1.80	0.76
Αιτωλ/νίας	16.61	5.99
Λευκάδας	1.58	0.68
Φωκίδας	1.24	0.53
Καρδίτσας	0.54	0.23
Τρικάλων	0.36	0.15
Άρτας	0.28	0.12
Φθιώτιδας	0.00	0.00
Σύνολο	22.41	9.45

Πηγή: ΥΠΑΝ κ.ά. (1997)

Πίν. 26 Εκτίμηση υδρευτικών αναγκών που καλύπτονται από το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (hm^3).

Χρήσεις	Έτος	Ιούλιος
Υδρευση διαμερίσματος	22.4	2.3
Υδρευση Αθήνας	480*	
Σύνολο	500.4	

Πηγή: ΥΠΑΝ κ. ἀ. (1997)

*Μελλοντική τιμή

Πίν. 27 Εκτίμηση υδρευτικών αναγκών Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (hm^3).

Χρήσεις	Έτος	Ιούλιος
Υδρευση διαμερίσματος	41.6	4.2
Υδρευση Αθήνας	124.3	10.9

Πηγή: ΥΠΑΝ κ. ἀ. (1997)

Στο τεύχος 37 δίνονται αναλυτικά δεδομένα που αφορούν την ύδρευση οικιστικών κέντρων της περιοχής μελέτης, και συγκεκριμένα υδατικές κατανάλωσεις στους δήμους Αγρινίου, Μεσολογγίου και Καρπενησίου, Λαμίας και Χαλκίδας (μαζί με την Κάνηθο).

4.2.3 Υδρευτικές ανάγκες Αθήνας

Εκτενέστερη αναφορά γίνεται στην ύδρευση του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής. Ο πληθυσμός του διαμερίσματος υπολογίζεται για το 1991 (ΕΣΥΕ, 1994) σε 3 502 724 κατοίκους (4 500 000 κατά την εκτίμηση του ΚΕΠΕ (ΥΠΑΝ κ. ἀ., 1997) και αποτελεί το 80% του πληθυσμού της περιοχής μελέτης και το 34% του συνόλου της χώρας. Οι ετήσιες ανάγκες ύδρευσης και τουρισμού του διαμερίσματος για το 1991 εκτιμήθηκαν σε 257 hm^3 , ενώ αυτές του μήνα Ιουλίου σε 27 hm^3 (ΥΠΑΝ κ. ἀ., 1997). Η ύδρευση τροφοδοτείται από υδατικούς πόρους στο Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (έργο Υλίκης, 1955) και στη συνέχεια στο Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (έργο Μόρνου, 1980 και Ευήνου, 1995). Λεπτομερής περιγραφή του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας δίνεται στο Τεύχος 36, ενώ συνοπτική περιγραφή δίνεται και στο παρόν τεύχος (υποκεφάλαιο 3.3). Στο Τεύχος 37 δίνονται δεδομένα που αφορούν την κατανάλωση νερού στην Αθήνα και συγκεκριμένα:

1. Δεδομένα εξέλιξης του πληθυσμού της περιοχής Πρωτευούσης (ΕΜΠ/ΤΥΠΥΘΕ, 1990α, Παναγόπουλος, 1996, ΕΣΥΕ, 1994).
2. Εξέλιξη της κατανάλωσης της Πρωτεύουσας.
3. Εξέλιξη απολήψεων και κατανάλωσης για την ύδρευση της Αθήνας.
4. Συντελεστές ανισοκατανομής της ζήτησης νερού στους μήνες του έτους.
5. Ανάλυση και εξέλιξη των διαφόρων κατηγοριών τιμολογημένης ή μη κατανάλωσης (Παναγόπουλος, 1996).

Η κατανάλωση του νερού που μετριέται στα διυλιστήρια περιλαμβάνει τις παρακάτω κατηγορίες τιμολογούμενης ή μη κατανάλωσης:

- Κοινή (οικιακή) κατανάλωση
- Βιομηχανική κατανάλωση
- Δημόσιες και δημοτικές χρήσεις
- Διάφορα
- Απώλειες δικτύου διανομής

Για την εκτίμηση των μελλοντικών υδατικών αναγκών της ΕΥΔΑΠ, τα γενικά μέχρι σήμερα συμπεράσματα για την περαιτέρω εξέλιξη του πληθυσμού της μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- η σχέση γεννήσεων-θανάτων έπαυσε πλέον να είναι θετική,
- η εσωτερική μετανάστευση φαίνεται να έχει παρουσιάσει μηδενικό ισοζύγιο,
- η εξωτερική μετανάστευση δεν βρίσκεται πια σε φάση ισορροπίας, όπως πριν από λίγα χρόνια, λόγω κυρίως των τελευταίων σημαντικών φαινομένων παλινόστησης και εισροής υπηκόων των χωρών της Βαλκανικής, αλλά και άλλων χωρών του τρίτου κόσμου, νόμιμων και μη.

Συμπερασματικά, ο πληθυσμός της Αθήνας δεν προβλέπεται να αυξηθεί σημαντικά τα επόμενα έτη. Από μελέτες της προηγούμενων χρόνων (π.χ. Γερμανόπουλος, 1990) δίνονται διάφορες προβλέψεις πληθυσμού που παρατίθενται στο τεύχος 37.

Έχοντας υπόψη ότι ο σημερινός αριθμός καταναλωτών της ΕΥΔΑΠ ανέρχεται σε 4 000 000 κατοίκους (ΕΥΔΑΠ, 1998), ότι το ΚΕΠΕ εκτιμά τον πληθυσμό του Υδατικού Διαμερίσματος 06 για το 2001 σε 4 700 000 κατοίκους, φαίνεται ότι το σενάριο που βρίσκεται πιο κοντά στην σημερινή πραγματικότητα είναι αυτό των 4 500 000 για το 2010. Οι μελλοντικές ζητήσεις στο υδατικό διαμέρισμα αφορούν βασικά στην κύρια χρήση, που είναι η ύδρευση.

Δεδομένου ότι δεν προβλέπεται σημαντική αύξηση του πληθυσμού τα επόμενα έτη, θεωρείται ότι η ετήσια ζήτηση νερού μελλοντικά δεν θα υπερβαίνει τη μέγιστη παρατηρημένη ζήτηση των 370 hm³ του 1989 (ΥΠΑΝ κ.ά., 1997).

Με βάση την ανάλυση και τις προβλέψεις της μελέτης του Παναγόπουλου (1996) και συγκεκριμένα για πληθυσμό 4 000 000 κατοίκων προκύπτει, ζήτηση νερού για την κάλυψη των μελλοντικών αναγκών της Πρωτεύουσας ίση με 555 hm³ το χρόνο, εφόσον υπολογίζονται οι διαρροές εσωτερικού (15%) και εξωτερικού (10%) δικτύου

4.2.4 Δεδομένα από ΕΔΕΥΑ

Η Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης Αποχέτευσης (ΕΔΕΥΑ), με την ευκαιρία γενικών συνελεύσεών τους, εκπόνησαν Τεύχη στα οποία περιέχονται διάφορα οικονομικά και λοιπά στοιχεία και πληροφορίες για τα έτη 1993, 1994 και 1995 που αφορούν στη λειτουργία των κατά τόπους ΔΕΥΑ. Η εργασία αυτή βασίζεται σε συμπλήρωση ερωτηματολογίων της

Ένωσης και για το λόγο αυτό παρουσιάζονται μόνον οι ΔΕΥΑ που συμπλήρωσαν τα ερωτηματολόγια. Όπως είναι φυσικό, υπάρχει περίπτωση να μην έχουν συμπληρωθεί σωστά τα ερωτηματολόγια, γιατί, όπως σημειώνεται στα τεύχη, δεν έχει γίνει έλεγχος των στοιχείων. Από το σύνολο των δεδομένων των συμπληρωμένων ερωτηματολογίων έχουν επιλεγεί αυτά που ενδιαφέρουν το παρόν έργο και παρουσιάζονται, κατά έτος και υδατικό διαμέρισμα σε πίνακες του τεύχους 37. Συγκεκριμένα οι πίνακες εκείνοι περιλαμβάνουν τα ακόλουθα δεδομένα για κάθε έτος:

1. Εξυπηρετούμενος πληθυσμός
2. Αριθμός υδρομέτρων
3. Ποσότητα νερού που καταναλώνεται
4. Οικονομικά στοιχεία (έσοδα, δαπάνες και τιμή του νερού).

5 Σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας (ΣΓΠ) για τις χρήσεις νερού και για τα χαρακτηριστικά των έργων αξιοποίησης νερού, και σχετικές βάσεις δεδομένων

5.1 Συστήματα πληροφορικής για την οργάνωση και επεξεργασία των δεδομένων

Στις δύο πρώτες φάσεις του ερευνητικού έργου έγινε συλλογή, αξιολόγηση, αρχειοθέτηση και επεξεργασία δεδομένων σχετικά με τους υδατικούς πόρους της περιοχής μελέτης και, σε πολύ μικρότερη έκταση, με τις χρήσεις νερού. Στην παρούσα τρίτη φάση του έργου έμφαση δόθηκε στα δεδομένα χρήσεων και έργων αξιοποίησης νερού.

Στις δύο προηγούμενες φάσεις του έργου, τα δεδομένα ήταν αποθηκευμένα σε διάφορα υπολογιστικά περιβάλλοντα και λειτουργικά συστήματα (κυρίως σε λειτουργικό σύστημα HP-Unix, αλλά και σε Ms-Windows, σε μικρότερο βαθμό) και διαφορετικές βάσεις δεδομένων (Ingres και Info) και εφαρμογές (Ms-Excel). Στη φάση αυτή, επιδιώχτηκε η χρήση ενιαίου υπολογιστικού περιβάλλοντος που να είναι διαδεδομένο και εύχρηστο. Λόγω της μεγάλης ανάπτυξης των προσωπικών υπολογιστών, έγινε δυνατή η επιλογή του παραθυρικού περιβάλλον Windows σε προσωπικό υπολογιστή.

Τα δεδομένα που αρχειοθετήθηκαν στην παρούσα φάση χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

1. Συγκεντρωτικά δεδομένα υδατικών πόρων (επεξεργασμένα)
2. Δεδομένα χρήσεων και έργων αξιοποίησης νερού

Τα δεδομένα οργανώθηκαν σε δύο διαφορετικές Βάσεις Δεδομένων (ΒΔ). Η πρώτη είναι η βάση των γεωγραφικών δεδομένων που αφορά τις χωρικές ιδιότητες των μεγεθών ενδιαφέροντος και αναπτύχθηκε σε Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας (ΣΓΠ). Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό της εταιρείας ESRI σε δύο λειτουργικά συστήματα, HP-Unix (Arc/Info, ESRI, 1995a) και MS-Windows (ArcView, ESRI 1995β). Το πρώτο λογισμικό χρησιμοποιήθηκε για την εισαγωγή της γεωγραφικής πληροφορίας σε υπολογιστή και την υλοποίηση της γεωγραφικής βάσης δεδομένων και το δεύτερο για την απεικόνιση και σύνδεση της πληροφορίας αυτής με την πληροφορία που σχετίζεται με τους υδατικούς πόρους και τις χρήσεις νερού.

Στη δεύτερη βάση που αναφέρεται ως βάση δεδομένων υδρολογίας και χρήσεων νερού, καταχωρήθηκαν περιγραφικές, διαχειριστικές πληροφορίες και χρονοσειρές από μετρήσεις και υλοποιήθηκε σε Σύστημα Διαχείρισης Σχεσιακής Βάσης Δεδομένων (ΣΔΣΒΔ). Χρησιμοποιήθηκε το Σύστημα Διαχείρισης Σχεσιακής Βάσης Δεδομένων MS-Access, που έχει τρία σημαντικά χαρακτηριστικά: (α) είναι διαδεδομένο στους προσωπικούς υπολογιστές, (β) έχει δυνατότητες ανταλλαγής δεδομένων με άλλες παραθυρικές εφαρμογές (DDE, ActiveX), και (γ) διαθέτει

δυνατότητες ανάπτυξης εφαρμογών μέσω μιας διαδεδομένης αντικειμενοστρεφούς γλώσσας προγραμματισμού (Barker, 1997).

Οι δύο βάσεις συνδέθηκαν μέσω της χρήσης κοινών κωδικών ταυτότητας. Το σχήμα αυτό των διασυνδεδεμένων βάσεων επιτρέπει την ανάπτυξη αυτόνομων εφαρμογών και στα δύο συστήματα αλλά και την ανταλλαγή δεδομένων τόσο μεταξύ των δύο συστημάτων, όσο και με άλλες εφαρμογές που χρησιμοποιούν τα δεδομένα. Το σχήμα αυτό αξιοποιεί τις μεγάλες δυνατότητες των ΣΔΣΒΔ και, ταυτόχρονα, επιτρέπει την αυτόνομη χρήση τους, ανεξάρτητα από το ΣΓΠ.

Και οι δύο βάσεις στηρίζονται στο σχεσιακό μοντέλο που χρησιμοποιεί πίνακες ιδιοτήτων των αντικειμένων της κάθε βάσης. Οι στήλες των πινάκων αναφέρονται στις ιδιότητες των αντικειμένων και οι γραμμές σε μία συγκεκριμένη εμφάνιση μιας ιδιότητας. Οι πίνακες με κοινές ιδιότητες συνδέονται με κλειδιά συσχέτισης και σχηματίζουν τη βάση δεδομένων (Yannakoudakis, 1988). Μέσω της σύνδεσης αυτής, οι δύο βάσεις λειτουργούν ως ενιαία βάση.

5.3 Η βάση των γεωγραφικών δεδομένων

Τα γεωγραφικά δεδομένα οργανώθηκαν σε θέματα (sets) κάθε ένα από τα οποία χωρίζεται περαιτέρω σε επίπεδα. Τα θέματα αυτά καθώς και τα αντίστοιχα επίπεδα πληροφορίας παρουσιάζονται στη συνέχεια.

1 Υψογραφία

- Ισοϋψείς καμπύλες με ισοδιάσταση 200 μέτρα
- Ισοϋψείς καμπύλες με ισοδιάσταση 40 μέτρα
- Ακτογραμμή.
- Σημεία με γνωστό υψόμετρο.
- Ψηφιακό μοντέλο εδάφους

2 Υδρογραφία

- Κύρια Υδατορεύματα
- Ταμιευτήρες

3 Υδρολογία

- Βροχομετρικοί Σταθμοί
- Υδρομετρικοί Σταθμοί
- Μετεωρολογικοί Σταθμοί
- Πηγές
- Λεκάνες απορροής
- Λεκάνες απορροής ανάντη υδρομετρικών σταθμών
- Υδατικά Διαμερίσματα

3 Αρδευση

- Αρδευόμενες εκτάσεις
- Αγωγοί Μεταφοράς Αρδευτικού νερού
- Αρδευτικά Αντλιοστάσια
- Γεωτρήσεις
- Δεξαμενές
- Λιμνοδεξαμενές

4 Ύδρευση πόλεων

- Όρια κύριων πόλεων
- Όρια Αθήνας
- Αγωγός μεταφοράς
- Ρυθμιστές ροής
- Αντλιοστάσια
- Φράγματα

5 Ενέργεια

- Σταθμοί παραγωγής

6 Περιβάλλον

- Ελάχιστη διατηρητέα παροχή

7 Γενικά χαρακτηριστικά

- Πόλεις
- Νομοί
- Πρωτεύον οδικό δίκτυο
- Δευτερεύον οδικό δίκτυο
- Σιδηρόδρομος
- Ακτογραμμή

5.4 Η βάση δεδομένων υδρολογίας και χρήσεων νερού

Η βάση περιλαμβάνει τις ακόλουθες κατηγορίες δεδομένων:

1. Δεδομένα υδρολογικού ενδιαφέροντος σε μηνιαία χρονική βάση.
2. Δεδομένα αρδευτικής και κτηνοτροφικής χρήσης νερού: αρδευόμενες και αρδευθείσες εκτάσεις ανά έτος ανά καλλιέργεια και ανά ΤΟΕΒ, ζωικό κεφαλαίο ανά έτος, ανά είδος ζώου και ανά νομό, καθώς και κατασκευαστικά στοιχεία για τους αρδευτικούς αγωγούς, τα αρδευτικά αντλιοστάσια και τις λιμνοδεξαμενές.

3. Δεδομένα ύδρευσης: κατασκευαστικά στοιχεία για τα υδραγωγεία, ετήσιες χρονοσειρές κατανάλωσης νερού για την Αθήνα και άλλες πόλεις.
4. Δεδομένα ταμιευτήρων και υδροηλεκτρικής ενέργειας: κατασκευαστικά στοιχεία για τους ταμιευτήρες, τα φράγματα και τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς, καθώς και μηνιαίες χρονοσειρές σχετικές με τα μεταβαλλόμενα στο χρόνο μεγέθη των ταμιευτήρων (βροχόπτωση, εξάτμιση, στάθμη κλπ), την κατανάλωση νερού και την παραγωγή ενέργειας.

Στο τεύχος 38, δίνεται λεπτομερής κατάλογος των πινάκων της βάσης δεδομένων μαζί με περιγραφή όλων των σχετικών πεδίων.

5.5 Εφαρμογές

Αναπτύχθηκαν εφαρμογές και στα δύο υπολογιστικά περιβάλλοντα που χρησιμοποιήθηκαν. Συγκεκριμένα, οι εφαρμογές αυτές είναι:

1. Εφαρμογή σε περιβάλλον ΣΔΣΒΔ που επιτρέπουν την ανάκτηση των δεδομένων της βάσης. Η εφαρμογή διαθέτει λίστες, με τη βοήθεια των οποίων ο χρήστης είναι σε θέση να ανακτήσει τα δεδομένα που επιθυμεί και να διευκολυνθεί στην υποβολή ερωτημάτων προς τη βάση.
2. Εφαρμογές σε περιβάλλον ΣΓΠ. Οι εφαρμογές για το ΣΓΠ που υλοποιήθηκαν σε ARC-View και είναι δύο ειδών: (α) κατασκευή χάρτη με δεδομένα του ΣΓΠ, και (β) οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων των ερωτήσεων που υποβάλλονται στο ΣΔΣΒΔ. Η σύνδεση γίνεται μέσα από κατάλληλους οδηγούς (ODBC drivers) και με τη μορφή χαρτών δίνεται η χωρική διάσταση στις απαντήσεις.

Οι παραπάνω εφαρμογές δίνονται στο τεύχος 38.

6 Μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης υδροσυστήματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας

6.1 Γενικά

Ως υδροσύστημα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας αναφέρεται το υδροσύστημα του Άνω και Μέσου Αχελώου όπως αυτό περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 3.1 του παρόντος τεύχους. Για το υδροσύστημα αυτό έχει επιλεγεί, ως πιο κατάλληλη και άμεσα εφαρμόσιμη, η Επεκτεταμένη Γραμμική Δευτεροβάθμια Γκαουνσιανή μέθοδος ελέγχου (Extended Linear Quadratic Gaussian ή, σε συντομογραφία, ELQG). Η μέθοδος αυτή έχει εισαχθεί το 1987 από τους Georgakakos and Marks (1987) και έκτοτε έχει αναπτυχθεί περαιτέρω από τον Α. Γεωργακάκο και έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές σημαντικού επιχειρησιακού χαρακτήρα, όπως για παράδειγμα στον ποταμό Νείλο. Πρόσφατες σχετικές δημοσιεύσεις δίνονται στις αναφορές (Georgakakos et al., 1997a, b, c). Για την εφαρμογή της μεθόδου έγινε συνεργασία της ομάδας του ΕΜΠ με την ομάδα του Α. Γεωργακάκου του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Γεωργίας (ΗΠΑ). Η συνεργασία ξεκίνησε από τη Β' Φάση του ερευνητικού έργου στην οποία αναπτύχθηκε πιλοτικό μοντέλο για μέρος του υδροσυστήματος της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας και, συγκεκριμένα, για το υπάρχον σύστημα ταμιευτήρων Κρεμαστών, Καστρακίου και Στράτου. Επιπλέον, μελετήθηκε και η επίπτωση της εκτροπής του Αχελώου στην υδροηλεκτρική παραγωγή από το σύστημα των τριών ταμιευτήρων, χωρίς, όμως μοντελοποίηση της λειτουργίας των έργων εκτροπής. Έτσι, αποκτήθηκε μία πρώτη εικόνα των ενεργειακών επιπτώσεων της εκτροπής στο σύστημα Κρεμαστών-Καστρακίου-Στράτου, για μέγεθος εκτροπής 600 hm^3 ετησίως, όπως πρόσφατα έχει ανακαθοριστεί.

Στην παρούσα Γ' Φάση του έργου, έγινε ανάπτυξη του μοντέλου σε βαθμό ώστε αυτό να πλησιάζει σε επιχειρησιακή μορφή. Πιο συγκεκριμένα:

1. Έγιναν προσθήκες στη μεθοδολογία ώστε να μπορεί να αντιμετωπιστούν συστήματα τόσο μεγάλα και πολύπλοκα όσο αυτό του Αχελώου.
2. Έγινε ακριβέστερη περιγραφή του υδροσυστήματος με συμπεριληψη του συνόλου των υδροηλεκτρικών έργων του Άνω Αχελώου και των συνδεόμενων έργων στην πλευρά της Θεσσαλίας.
3. Εξετάστηκε μεγάλος αριθμός δυνατών σεναρίων συνδυασμών αναπτυξιακών έργων. Η διερεύνηση των σεναρίων αυτών είχε χαρακτήρα τόσο τεχνικό όσο και οικονομικό και περιβαλλοντικό.

Θεωρούμε ότι το προϊόν αυτής της ερευνητικής συνεργασίας είναι ιδιαίτερα σημαντικό, δεδομένου ότι για πρώτη φορά στην Ελλάδα εφαρμόζονται μοντέλα τέτοιας εξελιγμένης τεχνολογίας. Επιπλέον, τα αποτελέσματα της εφαρμογής στον Αχελώο έχουν ένα χαρακτήρα επικαιρότητας, λόγω της σχεδιαζόμενης εκτροπής του Αχελώου και είναι δυνατόν να αποτελέσουν πολύτιμο

εργαλείο για την επιλογή του τελικού σχήματος πλήρους ανάπτυξης του υδατικού δυναμικού του Αχελώου, αλλά και για τη διαχείριση του συστήματος στις παρούσες και μελλοντικές συνθήκες.

6.2 Η μέθοδος βέλτιστου ελέγχου ELQG

Η μέθοδος αυτή υπολογίζει τις απολήψεις σε τρόπο ώστε να ελαχιστοποιηθεί μια αντικειμενική συνάρτηση, η οποία περιλαμβάνει εμμέσως στην έκφρασή της τις απολήψεις και περιγράφει την απόδοση του συστήματος (π.χ. σε όρους απόκλισης από ένα συγκεκριμένο στόχο παραγωγής ενέργειας). Εκτός από την αντικειμενική συνάρτηση αυτή, η μέθοδος χρησιμοποιεί και ένα σύνολο εξισώσεων που περιγράφουν τη δυναμική του συστήματος (εξισώσεις ισοζυγίων ταμιευτήρων) καθώς και ένα σύνολο ανισωτικών περιορισμών που εκφράζουν τους φυσικούς περιορισμούς (π.χ. περιορισμός της στάθμης μέσα στα επιτρεπτά όρια). Πάντως, η μέθοδος, σε ένα δεύτερο στάδιο, συνδυάζεται με προσομοίωση, ο στόχος της οποίας είναι να εξασφαλίσει την εφικτότητα των λύσεων. Η μέθοδος περιγράφεται αναλυτικά στο Τεύχος 39.

Η δυναμική του υπό μελέτη συστήματος περιλαμβάνει, πρώτα πρώτα, τις εξισώσεις υδατικού ισοζυγίου των ταμιευτήρων του συστήματος. Μεταβλητές κατάστασης του συστήματος είναι τα αποθέματα των ταμιευτήρων, ενώ ως μεταβλητές ελέγχου θεωρούνται οι απολήψεις από αυτούς σε όρους όγκου νερού. Μια δεύτερη σειρά εξισώσεων εκφράζει τις περιοριστικές συνθήκες στα αποθέματα και τις απολήψεις υπό μορφή διπλών ανισοτήτων με άνω και κάτω όρια. Ο όγκος για ανάσχεση πλημμυρών δεν συμπεριλαμβάνεται στα αποθέματα. Λόγω της αβεβαιότητας των εισροών, οι περιορισμοί στα αποθέματα εκφράζονται καλύτερα σε πιθανοτική μορφή, δηλαδή τίθενται, κάθε φορά, όρια στην πιθανότητα να ξεπεραστούν συγκεκριμένα όρια του αποθέματος.

Σκοπός της όλης διαδικασίας ελέγχου είναι να μεγιστοποιήσει το μηνιαίο ενεργειακό δυναμικό του συστήματος ταμιευτήρων του Αχελώου, ικανοποιώντας συγχρόνως τις περιβαλλοντικές και υδρευτικές ανάγκες. Η αντικειμενική συνάρτηση, που αποτελεί το τρίτο στοιχείο του μοντέλου, περιλαμβάνει τέσσερις όρους:

1. Ο πρώτος όρος αποσκοπεί στην επιβολή “ποινής” σε περίπτωση αποτυχίας στην επίτευξη του στόχου ενέργειας P^* , σε κάθε στιγμή του ορίζοντα ελέγχου.
2. Ο δεύτερος όρος έχει σκοπό να κρατήσει τις στάθμες των ταμιευτήρων μέσα στα αντίστοιχα όρια τους.
3. Ο τρίτος όρος επιβάλλει ποινή στις αποκλίσεις της στάθμης του ταμιευτήρα από τη μέγιστη στάθμη.
4. Ο τέταρτος όρος επιβάλλει ποινή στις αποκλίσεις της απόληψης από τους αντίστοιχους στόχους.

Στην αντικειμενική συνάρτηση υπεισέρχονται παράμετροι που επιλέγονται από τον χρήστη έτσι ώστε να διαμορφώνουν ευνοϊκές συνθήκες για τη βέλτιστοποίηση.

Η ELQG είναι επαναληπτική μέθοδος βελτιστοποίησης που ξεκινά από μια αρχική ακολουθία ελέγχου και παράγει, διαδοχικά, όλο και καλύτερες ακολουθίες μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση. Σύγκλιση θεωρείται ότι επιτυγχάνεται, όταν η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης δε μειώνεται περαιτέρω. Η μαθηματική κατάστρωση του προβλήματος γίνεται υπό μορφή μοντέλου διαταραχής γύρω από ονομαστικές ακολουθίες κατάστασης και ελέγχου. Αυτό το μοντέλο περιγράφει τη δυναμική σχέση των διανυσμάτων διαταραχής της κατάστασης, του ελέγχου και της εισροής. Η αντικειμενική συνάρτηση εκφράζεται και αυτή σε όρους μεταβλητών διαταραχής. Το πρόβλημα ελέγχου διαταραχής λύνεται και παράγεται τελικά μια βέλτιστη ακολουθία ελέγχου που ορίζει την καινούργια ονομαστική ακολουθία ελέγχου.

Για περισσότερες λεπτομέρειες για τα χαρακτηριστικά της ELQG ο αναγνώστης παραπέμπεται στο Τεύχος 39 καθώς και τη βιβλιογραφία στο τέλος του τεύχους.

6.3 Το Σύστημα υποστήριξης αποφάσεων WSHDSS

Το μαθηματικό μοντέλο που περιγράφηκε πιο πάνω υλοποιήθηκε σε ένα υπολογιστικό σύστημα υποστήριξης αποφάσεων που φέρει το όνομα WSHDSS (συντομογραφία του Western Sterea Hellas Decision Support System). Το σύστημα τρέχει σε προσωπικούς υπολογιστές με λειτουργικό σύστημα Ms-Windows 95 ή Ms-Windows NT 4.0 ή νεότερες εκδόσεις των συστημάτων αυτών. Το μαθηματικό μοντέλο έχει γραφεί σε γλώσσα Fortran 90 ενώ το προσαρμοστικό χρήστη σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε σε περιβάλλον Visual Basic.

Οι κύριες επιλογές που έχει να κάνει ο χρήστης είναι οι ακόλουθες:

1. Επιλογή είδους δοκιμής (δοκιμή ελέγχου ή ελέγχου-προσομοίωσης).
2. Εισαγωγή ονομάτων αρχείων εισόδου για τις εισροές, άλλα υδρολογικά δεδομένα, δεδομένα ζήτησης νερού.
3. Καθορισμός παραμέτρων της διαδικασίας ελέγχου.
4. Εισαγωγή λειτουργικών δεδομένων ταμιευτήρων (π.χ. όρια διακύμανσης στάθμης).
5. Επιλογή σχήματος αξιοποίησης (συνδυασμός έργων που υπεισέρχονται στο υδροσύστημα).
6. Επιλογή αρχείων αποτελεσμάτων.
7. Επιλογή γραφημάτων εξόδου.

Αναλυτικές οδηγίες χρήσης του συστήματος WSHDSS δίνονται σε εγχειρίδιο χρήσης που συνοδεύει το τεύχος 39 του παρόντος ερευνητικού έργου,

6.4 Εφαρμογή του μοντέλου στο του συστήματος ταμιευτήρων του Αχελώου

Το μαθηματικό μοντέλο που περιγράφηκε πιο πάνω εφαρμόστηκε στο υδροσύστημα της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας με πλήρη αναπαράσταση όλων των έργων της εκτροπής του Αχε-

λώου. Έγινε μεγάλος αριθμός δοκιμών που κατατάσσονται δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία, περιλαμβάνονται απλές δοκιμές ελέγχου για 20 συνθετικές χρονοσειρές μηνιαίων εισροών στους ταμιευτήρες του συστήματος διάρκειας ενός υδρολογικού έτους η καθεμία. Αυτές οι δοκιμές είχαν διερευνητικό χαρακτήρα και ήταν ιδιαίτερα σημαντικές για την επιτυχή εφαρμογή του μοντέλου.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τις κύριες δοκιμές του μοντέλου που αναφέρονται ως δοκιμές ελέγχου-προσομοίωσης. Οι δοκιμές αυτές βασίζονται στα πλήρη ιστορικά δείγματα των υδρολογικών μεταβλητών και κύρια των εισροών στους ταμιευτήρες. Αναπαράγονται πιστά την όλη διαδικασία ελέγχου σαν να εφαρμόζονταν για κάθε μήνα των ιστορικών δειγμάτων. Πιο συγκεκριμένα, κάθε δοκιμή ακολουθεί τα εξής βήματα:

1. Για κάθε μήνα του ιστορικού δείγματος, ενεργοποιείται το μοντέλο ελέγχου και εκτιμώνται οι βέλτιστες απολήψεις για τους επόμενους 12 μήνες με βάση ένα σύνολο διαφορετικών σειρών εισροής για τους μήνες αυτούς. Οι σειρές αυτές αποτελούν “προγνώσεις” της εισροής και υπολογίζονται με κατάλληλο μοντέλο.
2. Γίνεται προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος μόνο για τον αμέσως επόμενο μήνα με βάση τη βέλτιστη απόληψη του μήνα αυτού που εκτιμήθηκε στον προηγούμενο μήνα. Ως εισροές λαμβάνονται οι ιστορικά παρατηρημένες τιμές και όχι οι προγνώσεις.

Εξετάστηκαν διάφορα σχήματα ενεργειακής αξιοποίησης με διάφορους συνδυασμούς έργων που υπεισέρχονται, κάθε φορά, στο υδροσύστημα. Τα σχήματα αυτά δίνονται συνοπτικά στον Πίν. 28.

Πίν. 28 Εναλλακτικά σχήματα ενεργειακής αξιοποίησης του υδροσυστήματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας.

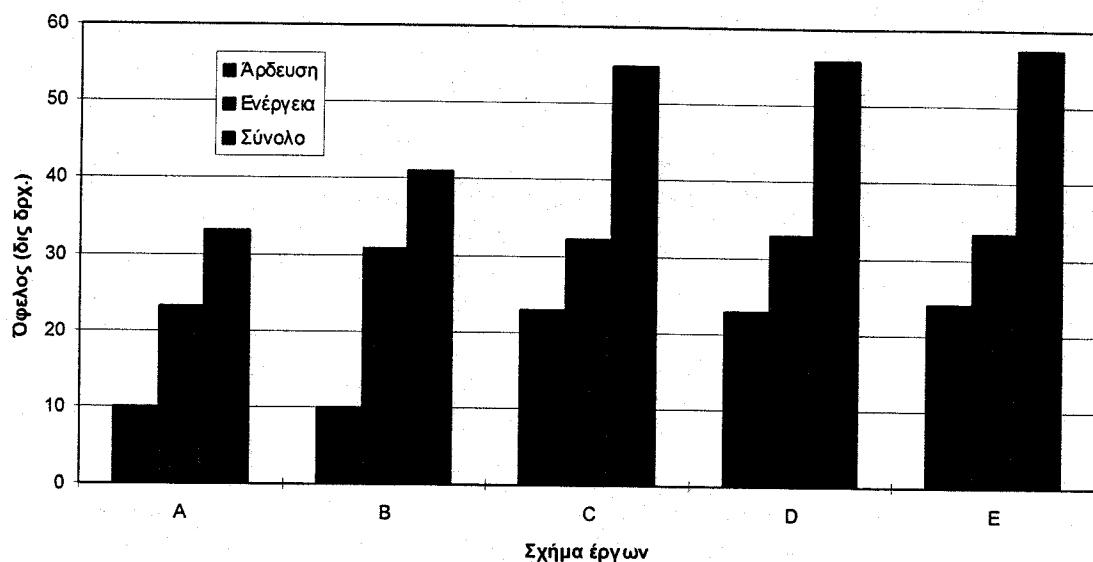
Ταμιευτήρας	A	B	C	D	E
Μεσοχώρα		NAI	NAI	NAI	NAI
Συκιά		NAI	NAI	NAI	NAI
Κρεμαστά	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI
Καστράκι	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI
Στράτος	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI
Μουζάκι			NAI (χωρίς άντληση στο Πευκόφυτο)	NAI (με άντληση στο Πευκόφυτο))	NAI (με άντληση στο Πευκόφυτο))
Πύλη					NAI

Τα εξαγόμενα του μοντέλου για κάθε σχήμα αξιοποίησης είναι τα ακόλουθα:

1. Καμπύλες συχνότητας υπέρβασης της ετησίως παραγόμενης πρωτεύουσας ενέργειας για κάθε ΥΗΕ για όλο το σύστημα.
2. Καμπύλες συχνότητας υπέρβασης της ετησίως παραγόμενης δευτερεύουσας ενέργειας για κάθε ΥΗΕ και για όλο το σύστημα.

3. Καμπύλες συχνότητας υπέρβασης της ετησίως παραγόμενης ολικής ενέργειας για κάθε ΥΗΕ για όλο το σύστημα.
4. Μέσο ετήσιο όφελος από την παραγωγή ενέργειας και την άρδευση.
5. Χρονοσειρές μηνιαίων τιμών εισροής, στάθμης, απόληψης και παραγόμενης ενέργειας για κάθε ταμιευτήρα.

Στο Σχ. 5 παρουσιάζεται το μέσο ετήσιο όφελος από την παραγωγή ενέργειας και την άρδευση καθώς και το συνολικό όφελος για κάθε εναλλακτικό σχήμα αξιοποίησης που εξετάστηκε.



Σχ. 5 Μέσο ετήσιο όφελος από την παραγωγή ενέργειας και την άρδευση καθώς και το συνολικό όφελος για κάθε εναλλακτικό σχήμα αξιοποίησης.

Συνοπτικά στοιχεία για τα συμπεράσματα της εφαρμογής του μοντέλου του υδροσυστήματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας δίνονται στο κεφάλαιο 9 του παρόντος τεύχους. Αναλυτικότερα στοιχεία περιλαμβάνονται στο τεύχος 39.

7 Μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης υδροσυστήματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας

7.1 Γενικό σχήμα μοντελοποίησης

Η γενική μεθοδολογία προσομοίωσης και βελτιστοποίησης υδροσυστήματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας έχει ήδη προδιαγραφεί στη δεύτερη φάση του έργου, στην οποία είχε συνταχθεί και ένα πρώτο, πιλοτικό μοντέλο του συστήματος. Συγκεκριμένα, η μεθοδολογία βασίζεται στο σχήμα: στοχαστική προσομοίωση εισροών - παραμετροποίηση της πολιτικής διαχείρισης του συστήματος με εισαγωγή παραμετρικών κανόνων λειτουργίας, προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος για κάθε σύνολο παραμέτρων, βελτιστοποίηση των παραμέτρων λειτουργίας κάτω από περιορισμούς που αφορούν στην εξασφάλιση ικανοποιητικής αξιοπιστίας.

Στην παρούσα τρίτη φάση του έργου, ολοκληρώθηκε η γεωγραφική αναπαράσταση του συστήματος και των συνιστώσων του, και έγινε μαθηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του και των φυσικών και λειτουργικών περιορισμών του. Ακολούθησε η στοχαστική προσομοίωση των υδρολογικών εισόδων στις διάφορες θέσεις των συστημάτων στην οποία έχει συμπεριληφθεί και η επίδραση, στις επιφανειακές απορροές, από την εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων. Στο λειτουργικό τμήμα του μοντέλου ενσωματώθηκαν δυνατότητες χρήσης δεδομένων κόστους, οφέλους και περιβαλλοντικών δεσμεύσεων. Τα παραπάνω ολοκληρώθηκαν σε λογισμικό πακέτο, κατάλληλο για χρήση από το ΥΠΕΧΩΔΕ. Το πακέτο περιλαμβάνει δύο υπολογιστικά συστήματα που μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους ή να λειτουργούν ανεξάρτητα. Το πρώτο υπολογιστικό σύστημα υλοποιεί το μαθηματικό μοντέλο στοχαστικής προσομοίωσης των υδρολογικών εισόδων στο υπό μελέτη υδροσύστημα και φέρει το όνομα SHyS (από το αγγλικό Stochastic Hydrological Simulator). Το δεύτερο σύστημα, που είναι το κεντρικό σύστημα του όλου πακέτου, ενσωματώνει το μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης της λειτουργίας του υπό μελέτη υδροσυστήματος και ονομάζεται Υδρονομέας.

Το μοντέλο είναι βασισμένο στη θεωρητική εργασία των Nalbantis and Koutsoyiannis (1997), η οποία συνδυάζει τη βελτιστοποίηση με την προσομοίωση του συστήματος. Κατά την προσομοίωση, οι αποφάσεις που αφορούν στις απολήψεις από το σύστημα λαμβάνονται με βάση ένα παραμετρικό ευρετικό κανόνα. Οι παράμετροι αυτού του κανόνα αποτελούν αντικείμενο βελτιστοποίησης, πράγμα που απαιτεί πολλαπλές προσομοιώσεις. Το μοντέλο περιγράφεται στο Τεύχος 40. Εδώ περιοριζόμαστε στη σκιαγράφηση των βασικών χαρακτηριστικών του.

7.2 Μοντέλο στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών χρονοσειρών

7.2.1 Γενικά

Τα μοντέλα προσομοίωσης υδρολογικών χρονοσειρών δίνουν τη δυνατότητα γέννησης συνθετικών σειρών υδρολογικών μεταβλητών (απορροής, βροχής, εξάτμισης κ.ά.) σε πολλές θέσεις

ταυτόχρονα. Οι συνθετικές αυτές σειρές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε προσομοιώσεις υδροσυστημάτων για υποβοήθηση της διαχείρισης τους. Πιο συγκεκριμένα, οι συνθετικές χρονοσειρές βοηθούν στον προγραμματισμό και σχεδιασμό των απαραίτητων υδραυλικών έργων, στον προγραμματισμό ή τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους και στο λειτουργικό τους έλεγχο κάτω από εναλλακτικές πολιτικές διαχείρισης.

Προς το παρόν, οι περισσότερες μελέτες προγραμματισμού, σχεδιασμού ή λειτουργίας υδραυλικών έργων, και στη χώρα μας αλλά και διεθνώς, βασίζονται στις ιστορικές υδρολογικές χρονοσειρές και ακολουθούν ανάλογες καθιερωμένες μεθοδολογίες. Ωστόσο, έχει αποδειχτεί (π.χ. Vogel and Stedinger, 1988) ότι η χρήση της στοχαστικής υδρολογίας οδηγεί σε ακριβέστερες εκτιμήσεις των απαιτούμενων μεγεθών (π.χ. χωρητικότητες στο σχεδιασμό ταμιευτήρων) από αυτές στις οποίες οδηγεί η χρήση μεθόδων που στηρίζονται μόνο στα ιστορικά δεδομένα.

Η στοχαστική υδρολογία και η μέθοδος της προσομοίωσης προσφέρει τη δυνατότητα λεπτομερέστερης και ακριβέστερης μελέτης των συστημάτων υδατικών πόρων, με βάση συνθετικές χρονοσειρές οι οποίες αναπαράγουν τη στατιστική δομή και τις στατιστικές παραμέτρους των ιστορικών δεδομένων. Με βάση τις συνθετικές χρονοσειρές μπορούμε να καταρτίσουμε την πιθανοτική περιγραφή της συμπεριφοράς ενός συστήματος υδατικών πόρων και να αποκτήσουμε εικόνα των μεγεθών που ενδιαφέρουν για ακραία επίπεδα πιθανότητας (π.χ. 1 : 100, 1 : 1000 κτλ.) πράγμα που δεν μπορεί να γίνει μόνο με τα ιστορικά δείγματα που κατά κανόνα είναι διαθέσιμα για μικρή μόνο χρονική περίοδο.

Προϋπόθεση για τη γέννηση συνθετικών χρονοσειρών είναι η υιοθέτηση ενός πιθανοτικού/στοχαστικού μοντέλου που να περιγράφει την από κοινού συνάρτηση κατανομής των υδρολογικών μεταβλητών που ενδιαφέρουν. Ιδιαίτερα ενδιαφέρει η στοχαστική εξάρτηση των μεταβλητών ως προς το χώρο και το χρόνο. Η χωρική εξάρτηση αντιστοιχεί στην εμφανή συγγένεια της ταυτόχρονης υδρολογικής δίαιτας σε γειτονικές θέσεις ή λεκάνες. Αντίστοιχα, η χρονική εξάρτηση αντιστοιχεί στη διαπιστωμένη εμμονή των υδρολογικών (και γενικότερα των γεωφυσικών) μεγεθών.

Εφόσον υιοθετηθεί ένα συγκεκριμένο στοχαστικό μοντέλο για τις μεταβλητές που ενδιαφέρουν, το επόμενο βήμα είναι η εκτίμηση των παραμέτρων του. Κατά κανόνα ενδιαφέρουν οι στατιστικές παράμετροι που καλύπτονται με το γενικό όρο στατιστικές ροπές (μέσες τιμές, διασπορές, συνδιασπορές, τρίτες ροπές κτλ.). Η εκτίμηση των παραμέτρων αυτών γίνεται από τα ιστορικά δείγματα με καθιερωμένες μεθόδους της στατιστικής.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι και η επιλογή ενός συγκεκριμένου στοχαστικού μοντέλου και η εκτίμηση των παραμέτρων του βασίζεται πάντα στο διαθέσιμο ιστορικό δείγμα, το οποίο αποτελεί τη μόνη πρωτογενή πηγή πληροφορίας. Η γέννηση συνθετικών χρονοσειρών (που κατά κανόνα έχει μήκος πολλαπλάσιο του μήκους του διαθέσιμου ιστορικού δείγματος) δεν προσθέτει ουσιαστική πληροφορία, ούτε επαυξάνει τη διάρκεια του συγκεκριμένου ιστορικού δείγματος.

7.2.2 Το γενικό σχήμα προσομοίωσης του μοντέλου

Από τα διάφορα σχήματα προσομοίωσης που έχουν μελετηθεί, θεωρήθηκε ως πλεονεκτικότερο και υιοθετήθηκε ως βάση για τα μοντέλο που αναπτύχθηκε, ένα σχήμα πολλών μεταβλητών

(θέσεων) και δύο διαδοχικών επιπέδων ή φάσεων: Στο πρώτο επίπεδο (γνωστό ως υψηλότερο επίπεδο) γίνεται γέννηση των παράλληλων χρονοσειρών των διάφορων θέσεων σε μια αραιή χρονική κλίμακα. Η χρονική ισοδιάσταση αυτής της κλίμακας λέγεται περίοδος. Στο δεύτερο επίπεδο (γνωστό ως χαμηλότερο επίπεδο) γίνεται γέννηση των χρονοσειρών σε πυκνότερη χρονική κλίμακα και στη συνέχεια εφαρμόζεται μια διαδικασία διόρθωσης που εξασφαλίζει τη συμβατότητα των σειρών χαμηλότερου επιπέδου με αυτές του υψηλότερου επιπέδου (ικανοποίηση της αθροιστικής ιδιότητας). Η χρονική ισοδιάσταση αυτής της πυκνότερης κλίμακας λέγεται υποπερίοδος. Ως χρονική κλίμακα του πρώτου επιπέδου έχει επιλεγεί η ετήσια για διάφορους λόγους, ο κυριότερος από τους οποίους είναι ότι σε αυτή την κλίμακα εξαφανίζονται οι ετήσιες περιοδικότητες και έτσι οι χρονοσειρές εμφανίζουν στάσιμο (stationary) χαρακτήρα. Για το δεύτερο επίπεδο δεν υπάρχει καθορισμένη χρονική κλίμακα και, ανάλογα με το πρόβλημα που μας ενδιαφέρει, μπορούμε να επιλέξουμε κατά περίπτωση εποχική, μηνιαία, δεκαπενθήμερη ή άλλη κλίμακα. Θεωρητικά το σχήμα αυτό θα μπορούσε να επεκταθεί και με επόμενες φάσεις πύκνωσης σε ακόμη λεπτομερέστερες χρονικές κλίμακες, αλλά, ωστόσο, τεχνικά αυτό δεν υποστηρίζεται από την τρέχουσα έκδοση του προγράμματος.

Το παραπάνω σχήμα προσομοίωσης είναι σαφώς πλεονεκτικότερο από το πιο διαδεδομένο σχήμα που γεννά τις μεταβλητές σειριακά, τη μια μετά την άλλη, σε μια και μοναδική φάση που έχει μια μοναδική χρονική κλίμακα αναφοράς (ίδια με την πυκνότερη από τις δύο κλίμακες του παραπάνω σχήματος, δηλαδή τη χρονική κλίμακα του χαμηλότερου επιπέδου). Το βασικό πλεονέκτημα του σχήματος δύο επιπέδων είναι ότι παρέχει τη δυνατότητα διατήρησης των σημαντικών στατιστικών χαρακτηριστικών των χρονοσειρών σε πολλαπλή χρονική κλίμακα. Για παράδειγμα, στην γέννηση μηνιαίων χρονοσειρών, το σχήμα δύο επιπέδων επιτρέπει αφενός τη διατήρηση των στατιστικών χαρακτηριστικών των μηνιαίων απορροών (οι οποίες αποτελούν τις μεταβλητές χαμηλότερου επιπέδου) και αφετέρου τη διατήρηση των στατιστικών χαρακτηριστικών των ετήσιων απορροών (μεταβλητές υψηλότερου επιπέδου), αφού οι δεύτερες γεννώνται ανεξάρτητα και πριν από τις πρώτες με βάση διαφορετικό μοντέλο. Αντίθετα, το σειριακό σχήμα μπορεί να διατηρεί μόνο τα χαρακτηριστικά των μηνιαίων απορροών και να υπολογίζει τις ετήσιες απορροές ως αθροίσματα των μηνιαίων. Σε αυτή όμως την περίπτωση, λόγω συσσώρευσης σφαλμάτων και λόγω αναντιστοιχιών των μοντέλων με τη φυσική πραγματικότητα, δεν διατηρούνται από το σειριακό σχήμα επακριβώς, παρά μόνο σε πρώτη προσέγγιση, τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ετήσιων χρονοσειρών. Βεβαίως, το σχήμα δύο επιπέδων που υιοθετήθηκε έχει και μειονεκτήματα, το κυριότερο από τα οποία είναι η πολυπλοκότητα του σε σχέση με το σειριακό σχήμα ενός επιπέδου.

7.2.3 Στατιστικές παράμετροι που διατηρούνται

Ανεξάρτητα από τη χρονική κλίμακα και το επίπεδο προσομοίωσης (υψηλότερο ή χαμηλότερο), το σύνολο των στατιστικών παραμέτρων των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται από το μοντέλο και τελικά αναπαράγονται (διατηρούνται) στις συνθετικές χρονοσειρές αποτελείται από τις ακόλουθες ομάδες:

Παράμετροι των περιθώριων συναρτήσεων κατανομής κάθε μεταβλητής

- (1) Μέσες τιμές των μεταβλητών.
- (2) Διασπορές των μεταβλητών.

- (3) Συντελεστές ασυμμετρίας των μεταβλητών (και, κατά συνέπεια, τρίτες ροπές).

Παράμετροι των από κοινού συναρτήσεων κατανομής των μεταβλητών

- (4) Συντελεστές αυτοσυσχέτισης με μοναδιαίο χρονικό βήμα μεταξύ μεταβλητών της ίδιας θέσης.
- (5) Συντελεστές ετεροσυσχέτισης με μηδενικό χρονικό βήμα μεταξύ μεταβλητών διαφορετικής θέσης.

Πρόκειται για το ελάχιστο σύνολο ουσιώδων στατιστικών παραμέτρων που κατά κανόνα ενδιαφέρουν (Matalas and Wallis, 1976, σσ. 60, 63). Η επιλογή της ελαχιστοποίησης του αριθμού των παραμέτρων έγινε με σκοπό να είναι το πρόγραμμα κατά το δυνατόν εύχρηστο και γρήγορο, οι σχετικοί αλγόριθμοι κατά το δυνατόν απλούστεροι και η απαιτούμενη προεργασία εκτίμησης παραμέτρων σχετικά απλή και άμεση, χωρίς παράλληλα να χάνεται ουσιώδης και χρήσιμη στατιστική πληροφορία.

Σημειώνεται ότι το παραπάνω σύνολο παραμέτρων αποτελεί την είσοδο στα συγκεκριμένα μοντέλα. Οι παράμετροι αυτές μπορούν να υπολογιστούν από το ίδιο το πρόγραμμα, αν είναι διαθέσιμα τα κατάλληλα ιστορικά δεδομένα, ή να εισαχθούν απ' ευθείας από το χρήστη, αν είναι εξ αρχής γνωστές οι τιμές τους.

Διευκρινίζεται ότι το παραπάνω σύνολο παραμέτρων αφορά κατά περίπτωση και στις μεταβλητές υψηλότερου επιπέδου και στις μεταβλητές χαμηλότερου επιπέδου. Συγκεκριμένα, για την ακολουθία των μεταβλητών υψηλότερου επιπέδου (ετήσιων μεταβλητών), η οποία θεωρείται στάσιμη, χρειάζεται ένα σύνολο τέτοιων παραμέτρων. Αντίστοιχα για την ακολουθία των μεταβλητών χαμηλότερου χρειάζονται τόσα σύνολα παραμέτρων όσες είναι και οι μεταβλητές μιας περιόδου (π.χ. για μηνιαίες μεταβλητές χρειάζονται 12 σύνολα παραμέτρων).

7.2.4 Μοντέλο γέννησης ετήσιων μεταβλητών (μεταβλητών υψηλότερου επιπέδου)

Έχει αποδειχτεί ότι οι ετήσιες χρονοσειρές εμφανίζουν το φαινόμενο της εμμονής (persistence), δηλαδή την τάση ομαδοποίησης των ετών υψηλής υδροφορίας και αντίστοιχα των περιόδων χαμηλής υδροφορίας. Το φαινόμενο αυτό μπορεί εν μέρει να περιγραφεί και να μοντελοποιηθεί μαθηματικά με ένα μη μηδενικό συντελεστή αυτοσυσχέτισης των ετήσιων τιμών της υπόψη μεταβλητής. Ωστόσο, η πληρέστερη μαθηματική αναπαράσταση της μακροπρόθεσμης εμμονής απαιτεί την εισαγωγή της λεγόμενης παραμέτρου Hurst (από το όνομα του ερευνητή που την εισήγαγε και τη μελέτησε, το 1950) της οποίας ο ορισμός και ο τρόπος εκτίμησης είναι αρκετά πολύπλοκος και ξεφεύγει από τους στόχους αυτού του κειμένου.

Πολλοί ερευνητές έχουν αξιολογήσει συγκριτικά τα πολύπλοκα μοντέλα που αναπαριστούν την μακροπρόθεσμη εμμονή των υδρολογικών χρονοσειρών σε σχέση με απλούστερα μοντέλα που αναπαριστούν μόνο συντελεστές αυτοσυσχέτισης των χρονοσειρών. Το γενικό συμπέρασμα των ερευνών ήταν ότι τα απλούστερα μοντέλα δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα σε πρακτικά προβλήματα υδρολογικής προσομοίωσης ενώ η χρήση των πολυπλοκότερων μοντέλων δεν κρίνεται γενικά απαραίτητη. Εξ άλλου, η διαφορά στα αποτελέσματα των δύο τύπων μοντέλων κρίνεται ως αμελητέα αν συγκριθεί με την επίδραση της αβεβαιότητας στην εκτίμηση των παραμέτρων και στους δύο τύπους μοντέλων.

Στο δικό μας μοντέλο έχει υιοθετηθεί το μοντέλο AR(1) που διατηρεί ακριβώς το σύνολο στατιστικών παραμέτρων που περιγράφηκε στο προηγούμενο εδάφιο, ενώ άμεσα υλοποιείται και το μοντέλο τύπου AR(0).

7.2.5 Μοντέλο γέννησης μεταβλητών χαμηλότερου επιπέδου

Όπως προαναφέρθηκε, η γέννηση των μεταβλητών χαμηλότερου επιπέδου, π.χ. μηνιαίων, γίνεται σε δεύτερη φάση και σε τρόπο ώστε το ετήσιο άθροισμα των μεταβλητών να είναι ίσο με την γνωστή τιμή της ετήσιας μεταβλητής. Η τελευταία είναι γνωστή δεδομένου ότι έχει προηγηθεί η εφαρμογή του μοντέλου γέννησης των ετήσιων μεταβλητών. Κατά συνέπεια αυτό που χρειάζεται εδώ είναι ένα μοντέλο επιμερισμού, δηλαδή ένα μοντέλο που να επιμερίζει ένα άθροισμα στις συνιστώσες του.

Ένα τέτοιο μοντέλο είναι το απλό μοντέλο επιμερισμού το οποίο βασίζεται σε θεωρητικά εργασία των Koutsoyiannis and Manetas (1996). Η μεθοδολογία που ακολουθείται στο μοντέλο αυτό βασίζεται κατ' αρχήν σε παρόμοιες εργασίες που έγιναν στις δύο πρώτες φάσεις του έργου. Η νέα εργασία αποτελεί εξέλιξη των προηγούμενων τόσο σε θεωρητικό όσο και σε προγραμματιστικό επίπεδο. Η θεωρητική βελτίωση αφορά στην αποσύνθεση των μητρώων συνδιασπορών (Koutsoyiannis, 1999). Η προγραμματιστική βελτίωση αφορά στη χρήση του περιβάλλοντος Delphi.

Το μοντέλο επιμερισμού διατηρεί, εκτός από την αθροιστική ιδιότητα σε σχέση με τη μεταβλητή υψηλότερου επιπέδου, και το σύνολο στατιστικών παραμέτρων που περιγράφηκε στο εδάφιο 7.2.3. Τονίζεται ότι στο απλό μοντέλο επιμερισμού δεν χρειάζεται εισαγωγή άλλων δευτερευουσών παραμέτρων, όπως συμβαίνει με άλλα μοντέλα επιμερισμού της βιβλιογραφίας. Εξ άλλου, με το ακολουθούμενο σχήμα προσομοίωσης δεν είναι απαραίτητη λεπτομερέστερη περιγραφή της στατιστικής δομής των μεταβλητών χαμηλότερου επιπέδου, που ενδεχομένως θα χρειάζονται αν ακολουθούσαμε ένα αυστηρά σειριακό σχήμα προσομοίωσης, γιατί στην τελευταία περίπτωση θα ήταν πιθανή η συσσώρευση σφαλμάτων στη χρονική κλίμακα υψηλότερου επιπέδου (ετήσια).

Οι μεταβλητές χαμηλότερου επιπέδου (π.χ. μηνιαίες) αρχικά γεννιούνται από ένα μοντέλο PAR(1) ανεξάρτητα από τις ήδη γνωστές μεταβλητές υψηλότερου επιπέδου (π.χ. ετήσιες). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το άθροισμα των μεταβλητών χαμηλότερου επιπέδου για τη χρονική διάρκεια μιας περιόδου να μην ισούται με την αντίστοιχη μεταβλητή υψηλότερου επιπέδου. Την προκύπτουσα διαφορά καλούνται να μειώσουν δύο διαφορετικές τεχνικές: (α) η επανάληψη και (β) η διόρθωση. Έτσι, το πρόγραμμα, αντί να κάνει μια μόνο γέννηση τιμών των μεταβλητών χαμηλότερου επιπέδου μιας περιόδου, γεννά περισσότερες σειρές και τελικά κρατά αυτή που δίνει το μικρότερο σφάλμα σε σχέση με τις ήδη γνωστές τιμές των μεταβλητών υψηλότερου επιπέδου. Σε αυτή τη σειρά επεμβαίνει στη συνέχεια η διαδικασία διόρθωσης, η οποία μηδενίζει το παραπάνω σφάλμα, τροποποιώντας κατάλληλα τις τιμές των μεταβλητών χαμηλότερου επιπέδου. Η τροποποίηση γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην εισάγεται μεροληψία στις στατιστικές παραμέτρους που ενδιαφέρουν. Ο χρήστης καθορίζει το μέγιστο αριθμό επαναλήψεων και το ανώτατο επιτρεπτό σφάλμα. Το πρόγραμμα σταματάει τις επαναλήψεις είτε όταν το σφάλμα γίνει μικρότερο από το επιτρεπτό είτε όταν φτάσει το μέγιστο αριθμό επαναλήψεων.

Επίσης, ο χρήστης καθορίζει ποια διορθωτική διαδικασία θα ακολουθήσει το πρόγραμμα, επιλέγοντας μία από τις τρεις διαθέσιμες επιλογές.

7.2.6 Δομή και λειτουργία του προγράμματος SHyS

Το σχήμα προσομοίωσης που περιγράφηκε στα προηγούμενα εδάφια υλοποιείται από το πρόγραμμα H/Y SHyS. Όπως προαναφέρθηκε, το πρόγραμμα αυτό έχει αναπτυχθεί και λειτουργεί στο υπολογιστικό περιβάλλον Windows 95 (βλ. χαρακτηριστικές εικόνες από το παραθυρικό περιβάλλον του SHyS στο Σχ. 6).

Συνοπτικά, οι εργασίες που εκτελεί το πρόγραμμα είναι οι ακόλουθες:

- Διαχείριση ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών.
- Υπολογισμός στατιστικών χαρακτηριστικών ιστορικών δεδομένων και εκτίμηση παραμέτρων μοντέλου.
- Γέννηση ετήσιων συνθετικών χρονοσειρών σε μία ή περισσότερες θέσεις.
- Γέννηση μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών σε μία ή περισσότερες θέσεις με επιμερισμό των ετήσιων χρονοσειρών.
- Παρουσίαση σε πινακοποιημένη μορφή και γραφική απεικόνιση σε διάφορες μορφές των δεδομένων, των στατιστικών χαρακτηριστικών τους και των παραμέτρων, με δυνατότητα σύγκρισης των ιστορικών και συνθετικών δεδομένων.

Αναλυτικότερη περιγραφή των παραπάνω λειτουργιών, οδηγίες χρήσης του προγράμματος, καθώς και παραδείγματα εφαρμογής δίνονται στο Τεύχος 40.

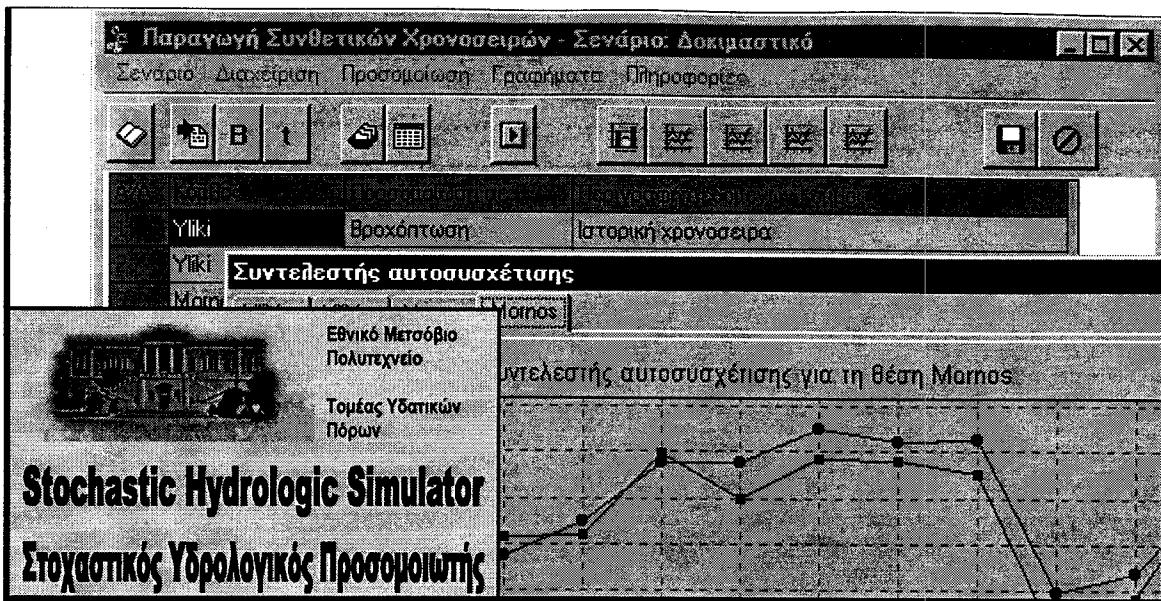
Η τυπική πορεία υπολογισμών που ακολουθεί ο χρήστης συνοψίζεται στα ακόλουθα:

- Κατασκευή ενός σεναρίου. Ως σενάριο ορίζεται το σύνολο των δεδομένων και των κατάλληλων παραμέτρων που καθορίζει πλήρως ένα πρόβλημα σύνθεσης χρονοσειρών.
- Εκτέλεση των υπολογισμών για τη σύνθεση των χρονοσειρών και την αποθήκευση των αποτελεσμάτων στη βάση δεδομένων.
- Παρουσίαση των στατιστικών χαρακτηριστικών των συνθετικών χρονοσειρών μέσω πινάκων και γραφημάτων.

Το σύστημα διαθέτει δική του βάση δεδομένων η οποία περιλαμβάνει:

- Πίνακες ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών, και
- Πίνακες για την καταχώρηση των σεναρίων και των παραμέτρων ρύθμισης του μοντέλου.

Οι αρχές σχεδιασμού της βάσης αυτής περιγράφονται αναλυτικά στο τεύχος 40.



Σχ. 6 Χαρακτηριστικές εικόνες από το παραθυρικό περιβάλλον του ShyS.

7.3 Μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης

Στο κέντρο του συστήματος που αναπτύχθηκε βρίσκεται το μοντέλο λειτουργικής προσομοίωσης των ταμιευτήρων. Αυτό προσομοιώνει όλες τις λειτουργίες του υδροσυστήματος για ένα αριθμό ιστορικών ή προσομοιωμένων ετών λειτουργίας. Οι λειτουργίες που προσομοιώνονται είναι οι απολήψεις από τους ταμιευτήρες για ύδρευση, άρδευση παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας κτλ., οι εισροές στους ταμιευτήρες (από τη βροχή και την απορροή) και οι εκροές λόγω των διαρροών και οι απώλειες εξάτμισης. Επίσης, το μοντέλο λαμβάνει υπόψη του τις περιπτώσεις υπερχείλισης ή κένωσης ενός ταμιευτήρα, καθώς και περιορισμούς που επιβάλει η δεδομένη παροχετευτικότητα των υδραγωγείων.

Το μοντέλο λειτουργικής προσομοίωσης ρυθμίζει τις απολήψεις από τον κάθε ταμιευτήρα με βάση έναν κανόνα λειτουργίας. Ο κανόνας αυτός, λαμβάνει υπόψη την κατάσταση του υδροσυστήματος τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή (συνολικός όγκος νερού στο σύστημα, κατανομή αποθεμάτων στους ταμιευτήρες, εποχή του έτους, ζήτηση) και αποφασίζει για το πόση απόληψη θα γίνει από τον κάθε ταμιευτήρα για κάθε κόμβο ζήτησης (ύδρευση και άρδευση). Δύο από τους βασικούς στόχους ενός κανόνα λειτουργίας είναι η ελαχιστοποίηση των υπερχειλίσεων και των διαρροών. Όσο πιο ορθολογικός είναι ο χρησιμοποιούμενος κανόνας λειτουργίας τόσο πιο μεγάλες απολήψεις θα μπορέσουν να γίνουν, τόσο πιο μεγάλη ασφάλεια απέναντι σε πιθανές περιόδους ξηρασίας θα υπάρχει.

Για την αξιολόγηση ενός κανόνα λειτουργίας θα πρέπει να προσομοιωθεί η λειτουργία του υδροσυστήματος, με βάση αυτόν τον κανόνα, για πολλά (π.χ. μερικές χιλιάδες) χρόνια 5 000 και να υπολογιστεί σε πόσα από αυτά τα χρόνια δεν καλύφθηκε η ζήτηση. Το πόσες φορές δεν καλύφθηκε η ζήτηση (π.χ. 200 φορές στα 5 000 χρόνια) ορίζει την πιθανότητα αστοχίας του συστήματος όταν αυτό ελέγχεται από το συγκεκριμένο κανόνα λειτουργίας (π.χ. $p' = 200 / 5 000 = 0.04$), ή, ισοδύναμα, το αντίστοιχο επίπεδο αξιοπιστίας (π.χ. $p = 1 - 200 / 5 000 = 0.96$).

Οι κανόνες λειτουργίας που έχουν χρησιμοποιηθεί στη βιβλιογραφία είναι προκαθορισμένοι, δηλαδή εξ αρχής διατυπωμένοι σε πλήρη μορφή, η οποία προκύπτει συνήθως με ευρετικές προσεγγίσεις. Αυτό αποτελεί σοβαρό μειονέκτημα της σχετικής μεθοδολογίας, δεδομένου ότι απαιτεί τον προηγούμενο καθορισμό της κατάλληλης πολιτικής διαχείρισης του υπό μελέτη συστήματος, η οποία στις περισσότερες φορές αποτελεί ένα από τα ζητούμενα. Για την αντιμετώπιση αυτού του μειονεκτήματος, οι Nalbantis and Koutsoyiannis (1997) εισήγαγαν παραμετρικούς κανόνες, οι οποίοι περιλαμβάνουν αριθμητικές παραμέτρους. Η εισαγωγή των παραμετρων αυτών δίνει αντίστοιχους βαθμούς ελευθερίας στην πολιτική διαχείρισης του συστήματος και επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της πολιτικής αυτής. Ο προσδιορισμός των τιμών παραμέτρων αποτελεί το στόχο της βελτιστοποίησης. Ωστόσο ο προσδιορισμός αυτών των τιμών δεν είναι απλός λόγω της πολυπλοκότητας ενός συστήματος ταμιευτήρων. Για αυτό το σκοπό, στο μοντέλο που αναπτύχθηκε χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος ο οποίος δοκιμάζει διαδοχικά εναλλακτικούς κανόνες (κανόνες με διαφορετικές παραμέτρους) μέχρι να καταλήξει στη βέλτιστη λύση.

Αναλυτικότερη παρουσίαση του μοντέλου γίνεται στο Τεύχος 40 ενώ, για θεωρητική τεκμηρίωση, ο αναγνώστης παραπέμπεται στη βιβλιογραφία (Nalbantis and Koutsoyiannis, 1997).

Το υδροσύστημα περιγράφεται ως ένα σύνολο κόμβων που συνδέονται μεταξύ τους με αγωγούς. Ένας κόμβος μπορεί να είναι ταμιευτήρας ή να μη διαθέτει αποθηκευτικό όγκο (π.χ. μεριστής). Ένας αγωγός είναι δυνατό να συνδέεται με μία Μονάδα Ενεργειακής Μετατροπής (MEM) που είναι στρόβιλος, αντλιοστάσιο ή αντλιοστρόβιλος.

Το μοντέλο λειτουργικής προσομοίωσης του συστήματος περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

1. Εξισώσεις υδατικού ισοζυγίου για κάθε κόμβο του υδροσυστήματος.
2. Εξισώσεις που περιγράφουν τη σχέση στάθμης και υπόγειων διαφυγών από ταμιευτήρες (με εποχιακές διακυμάνσεις των παραμέτρων τους).
3. Απλοποιημένες σχέσεις μεταβολής της επιφανειακής απορροής συναρτήσει της μεταβολής της απόληψης από τους υπόγειους υδροφορείς.
4. Περιοριστικές συνθήκες στις απολήψεις λόγω πεπερασμένης παροχετευτικότητας των αγωγών.
5. Δυνατότητα αμφίδρομης ροής σε αγωγούς του συστήματος.
6. Εξισώσεις εκτίμησης της παραγόμενης ή καταναλισκόμενης ενέργειας.
7. Εξισώσεις εκτίμησης οικονομικών μεγεθών (π.χ. όφελος από την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, κόστος κατανάλωσης ενέργειας).

Στη λειτουργική προσομοίωση το σύστημα επιδιώκει την εξυπηρέτηση των στόχων που θέτει ο χρήστης (με τη σειρά προτεραιότητας) και την ταυτόχρονη ικανοποίηση των στόχων που προκύπτουν από τον κανόνα λειτουργίας του συστήματος. Ακόμη, επιδιώκεται η αποφυγή υπερχειλίσεων με μεταφορά όγκων νερού σε κατάντη ταμιευτήρες εφόσον αυτό είναι δυνατό.

Οι στόχοι που θέτει ο χρήστης είναι οι ακόλουθοι:

1. Η ικανοποίηση της ζήτησης νερού για καταναλωτική χρήση σε έναν κόμβο.
2. Η διατήρηση μιας ελάχιστης παροχής σε επιλεγμένους αγωγούς.
3. Η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας από στροβίλους.
4. Η διατήρηση του όγκου ταμιευτήρα πάνω από έναν ελάχιστο όγκο ασφαλείας.
5. Η διατήρηση του όγκου του ταμιευτήρα κάτω από έναν μέγιστο όγκο.

Ο βαθμός επιτυχίας στην επίτευξη των στόχων του προβλήματος μετριέται με τη βοήθεια των μέτρων αστοχίας. Χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά μέτρα αστοχίας:

1. Αστοχία χρονικής περιόδου (συνήθως ένα έτος) που ορίζεται από το λόγο των χρονικών περιόδων αστοχίας προς το σύνολο των προσομοιωμένων χρονικών περιόδων. Διευκρινίζεται ότι με τον όρο αστοχία εννοούμε αδυναμία κάλυψης της ζήτησης.
2. Αστοχία χρονικού βήματος που ορίζεται από το λόγο των χρονικών βημάτων αστοχίας προς το σύνολο των προσομοιωμένων χρονικών βημάτων.
3. Αστοχία κάλυψης ζητούμενου όγκου νερού που ορίζεται ως ο λόγος του ελλείμματος κάλυψης ζήτησης προς τη ζητούμενη ποσότητα στην συνολική προσομοιωμένη χρονική περίοδο.

Το υπολογιστικό σύστημα έχει τη δυνατότητα ελαχιστοποίησης της αστοχίας ως προς έναν από τους τρεις παραπάνω όρους ενός στόχου. Πέραν τούτου, ο χρήστης του συστήματος μπορεί να καθορίσει ανώτατες τιμές αστοχίας χρονικής περιόδου για κάθε έναν από τους στόχους, οι οποίες λειτουργούν περιοριστικά κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης:

Η βελτιστοποίηση επιτυγχάνεται με διαδοχικές προσομοιώσεις για διάφορες τιμές των παραμέτρων του τροποποιημένου χωρικού κανόνα. Ανάλογα με την αντικειμενική συνάρτηση που επιλέγεται, προκύπτει ένα από τα ακόλουθα προβλήματα βελτιστοποίησης:

1. Ελαχιστοποίηση της πιθανότητας αστοχίας
2. Μεγιστοποίηση της απόληψης από το σύστημα για δεδομένη πιθανότητα αστοχίας
3. Μεγιστοποίηση της παραγόμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας

7.4 Το υπολογιστικό σύστημα ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ

7.4.1 Δομή του συστήματος

Η δομή του Υδρονομέα παρουσιάζονται στο Σχ. 7. Τα κύρια συστατικά του είναι τα ακόλουθα:

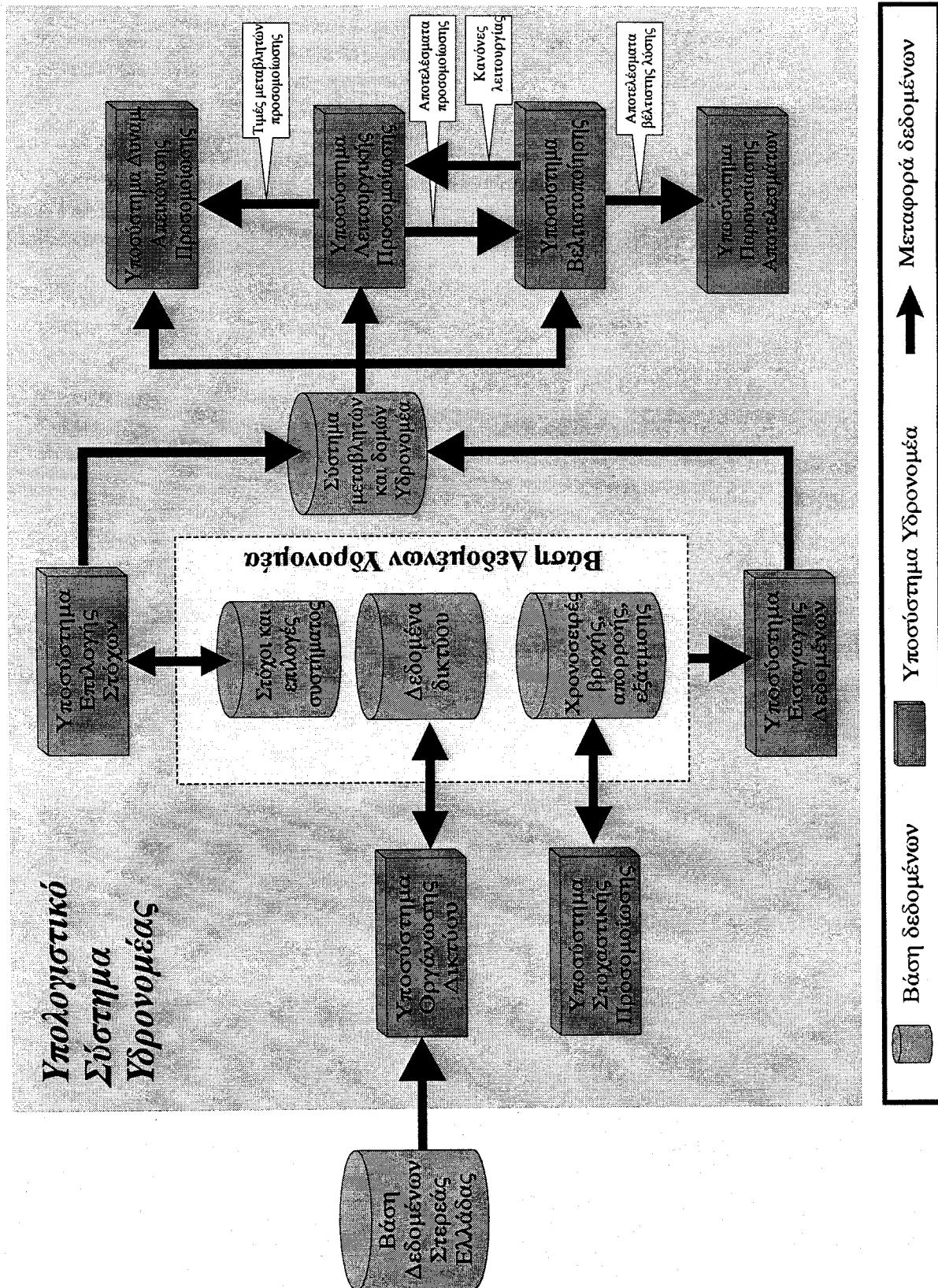
- Υποσύστημα Οργάνωσης Δικτύου του υπό μελέτη υδροσυστήματος.
- Υποσύστημα Στοχαστικής Προσομοίωσης
- Υποσύστημα Επιλογής Στόχων και Περιορισμών Προσομοίωσης
- Υποσύστημα Εισαγωγής (και ελέγχου) Δεδομένων

- Υποσύστημα Λειτουργικής Προσομοίωσης
- Υποσύστημα Βελτιστοποίησης
- Υποσύστημα Δυναμικής Απεικόνισης Προσομοίωσης
- Υποσύστημα Παρουσίασης Αποτελεσμάτων
- Βάση δεδομένων

Η βάση δεδομένων του Υδρονομέα βασίστηκε στο σχεσιακό μοντέλο περιγραφής διαγραμμάτων σχέσεων-οντοτήτων (Entity-Relationship diagram, ER-diagram) του Sommerville (1996). Στο τεύχος 40 δίνεται πλήρης κατάλογος των ιδιοτήτων των διαφόρων οντοτήτων. Οι κλάσεις οντοτήτων της βάσης είναι οι ακόλουθες:

1. Κόμβοι του δικτύου
2. Αγωγοί μεταφοράς νερού
3. Μονάδες ενεργειακής μετατροπής
4. Στόχοι προσομοίωσης

Για την υλοποίηση κρίθηκε επαρκής η δημιουργία μιας τοπικής βάσης δεδομένων ενώ, σε αυτήν τη φάση ανάπτυξης του συστήματος, παρέχεται πολύ περιορισμένη υποστήριξη ελέγχου των δεδομένων.



7.4.2 Βασικές λειτουργίες του συστήματος

Το πρόγραμμα Υδρονομέας εγκαθίσταται με τη βάση δεδομένων του σε περιβάλλον MS-Windows 95/98/NT. Μια τυπική διαδικασία χρήσης του προγράμματος περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. Επιλογή, από τη βάση δεδομένων, του υπό μελέτη υδροσυστήματος.
2. Διαμόρφωση του δικτύου του υδροσυστήματος με το *Υποσύστημα Οργάνωσης Δικτύου*.
3. Τοποθέτηση στόχων της διαχείρισης του υδροσυστήματος με το *Υποσύστημα Επιλογής Στόχων Προσομοίωσης* (κάλυψη της ζήτησης σε νερό, διατήρηση της στάθμης ταμιευτήρων σε επιτρεπτά όρια, διατήρηση ελάχιστη παροχής σε αγωγούς, και μεγιστοποίηση της παραγόμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας)
4. Καθορισμός προτεραιότητας του κάθε στόχου και επιλογή της αποδεκτής τιμής των μέτρων αστοχίας.
5. Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών των υδρολογικών μεγεθών του υδροσυστήματος με το *Υποσύστημα Στοχαστικής Προσομοίωσης*.
6. Εκτέλεση της προσομοίωσης/βελτιστοποίησης με το *Υποσύστημα Λειτουργικής Προσομοίωσης*.
7. Παρακολούθηση σε κάθε βήμα των μεταβολών στα αποθέματα των ταμιευτήρων και των ποσοτήτων που διακινούνται στο υδροσύστημα με το *Υποσύστημα Δυναμικής Απεικόνισης*.
8. Λήψη των αποτελεσμάτων σε όρους τιμών των μέτρων αστοχίας και μέσων ετήσιων υδατικών ενεργειακών ισοζυγίων καθώς και οικονομικών στοιχείων.

7.5 Εφαρμογή του μοντέλου στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

Το μοντέλο που περιγράφηκε στα υποκεφάλαια 7.2 και 7.3 εφαρμόστηκε στο υδροσύστημα της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας. Τα δεδομένα για το υδροσύστημα αντλήθηκαν από εργασίες που έχουν εκτελεστεί στα πλαίσια κυρίως των δύο πρώτων φάσεων του έργου και, δευτερευόντως, από διαχειριστικά δεδομένα που έχουν συλλεγεί στην παρούσα τρίτη φάση. Οι κύριοι στόχοι διαχείρισης του υδροσυστήματος συνοψίζονται στους ακόλουθους:

1. Στόχος ικανοποίησης της ζήτησης νερού για ύδρευση Αθήνας
2. Στόχος ικανοποίησης της ζήτησης νερού για άρδευση της Κωπαΐδας

Εξετάστηκαν τρία διαφορετικά σενάρια ανάπτυξης του υδροσυστήματος:

1. Εκτίμηση των μέγιστων δυνατοτήτων του υδροσυστήματος
2. Κανονική λειτουργία υδροσυστήματος
3. Αποκλεισμός της λίμνης Υλίκης

Τα σενάρια αυτά παρουσιάζονται στη συνέχεια.

7.5.1 Εκτίμηση των μέγιστων δυνατοτήτων του υδροσυστήματος

Αναζητήθηκαν οι μέγιστες δυνατοτήτες του υδροσυστήματος χωρίς περιορισμούς παροχετευτικότητας των υδραγωγείων. Για τον λόγο αυτό ορίστηκε ως τιμή παροχετευτικότητας σε όλους τους αγωγούς του συστήματος η εξωπραγματική τιμή των $30 \text{ m}^3/\text{s}$. Αποτέλεσμα ήταν η παροχετευτικότητα να μην αποτελεί πλέον περιοριστικό παράγοντα στην κάλυψη της ζήτησης. Επομένως η ζήτηση ήταν άμεσα εξαρτημένη από τα υδρολογικά δεδομένα, το σύστημα ταμιευτήρων και τον διαχειριστικό κανόνα λειτουργίας.

Στο λειτουργικό σύστημα τέθηκαν στόχοι προσομοίωσης με την ακόλουθη σειρά προτεραιότητας:

1. Κάλυψη της ζήτησης νερού για την ύδρευση στον κόμβο των Αθηνών. Η αρχική ετήσια ζήτηση ορίστηκε 700 hm^3 . Δεν ορίστηκε ανώτατη αποδεκτή πιθανότητα αστοχίας του στόχου καθότι η αστοχία αυτή ήταν αρχικά προς αναζήτηση.
2. Ο δεύτερος στόχος που τέθηκε ήταν η διατήρηση του αποθέματος στον ταμιευτήρα του Μαραθώνα πάνω από το όριο ασφαλείας των 30 hm^3 . Η αποτυχία κάλυψης αυτού του στόχου σε ένα από τα δέκα χρόνια ορίστηκε ως η ανώτατη αποδεκτή πιθανότητα αστοχίας του στόχου.
3. Τέλος, τέθηκε στόχος απόληψης από τη λίμνη Υλική για αρδευτικούς σκοπούς. Όπως και στο δεύτερο στόχο ορίστηκε και εδώ ως ανώτατη αποδεκτή πιθανότητα αστοχίας η μη κάλυψη της ζήτησης σε μία στις δέκα χρονιές.

Μετά τον ορισμό του σεναρίου πραγματοποιήθηκε η βελτιστοποίηση με στόχο την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας αστοχίας της ζήτησης για την ύδρευση της μείζονος περιοχής Αθηνών. Στη συνεχεία πραγματοποιήθηκε βελτιστοποίηση με στόχο την αναζήτηση της μέγιστης τιμής ζήτησης σε νερό στην Αθήνα με ανώτατη πιθανότητα αστοχίας κάλυψης 1%.

7.5.2 Κανονική λειτουργία του δικτύου υδροδότησης

Το δεύτερο σενάριο διαφοροποιείται σε σχέση με το πρώτο στο ότι ελήφθησαν υπόψη οι πραγματικές παροχετευτικότητες των αγωγών του συστήματος. Οι στόχοι προσομοίωσης, η τοπολογία του δικτύου και οι ιδιότητες των έργων αξιοποίησης παρέμειναν οι ίδιες. Κατά την προσομοίωση επιβεβαιώθηκε ότι η παροχετευτικότητα του υδραγωγείου Κιθαιρώνας-Αθήνα σε συνδυασμό με την παροχετευτικότητα του υδραγωγείου Υλίκης μειώνουν κατά πολύ τις δυνατότητες του συστήματος.

7.5.3 Αποκλεισμός της λίμνης Υλίκης

Όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 3.3, η απόληψη νερού από τη λίμνη Υλίκη για την κάλυψη της ζήτησης ύδρευσης στην Αθήνα συνδέεται με σημαντικό οικονομικό κόστος λόγω της μεγάλης υψημετρικής διαφοράς της λίμνης Υλίκης και του ταμιευτήρα του Μαραθώνα. Για τη μεταφορά του νερού λειτουργεί μια σειρά από αντλιοστάσια που είναι εγκατεστημένα κατά μήκος του υδραγωγείου Υλίκη-Μαραθώνας. Για το λόγο αυτό, ο αποκλεισμός της λίμνης Υλίκης θα μείωνε

σημαντικά το λειτουργικό κόστος του συστήματος υδροδότησης της μείζονος περιοχής Αθηνών, αλλά, βέβαια, και τη δυνατότητα κάλυψης της ζήτησης νερού στην Αθήνα.

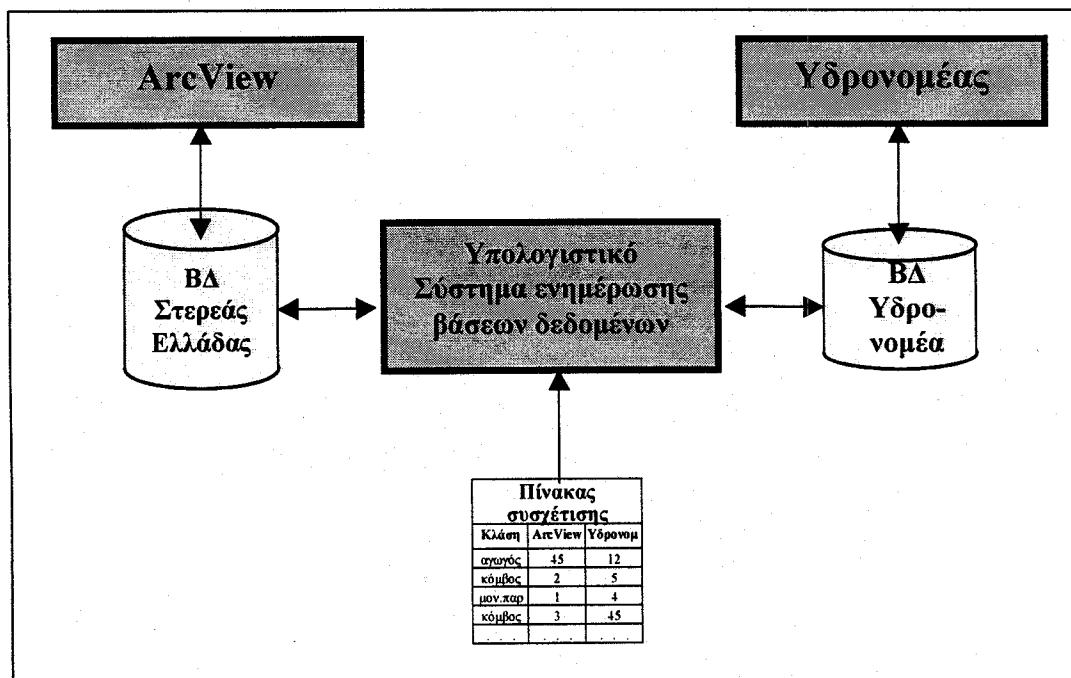
Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο υδροσυστήματος του πρώτου σεναρίου από το οποίο αφαιρέθηκαν οι συνιστώσες του υδραγωγείου Υλίκης. Αριθμητικά αποτελέσματα για τις παραπάνω περιπτώσεις φαίνονται στο τεύχος 40. Ορισμένα πρώτα ενδεικτικά συμπεράσματα είναι τα ακόλουθα:

1. Η μέγιστη ετήσια δυνατότητα του συστήματος υδροδότησης της Αθήνας είναι περίπου 700 hm^3 με ανώτατη πιθανότητα αστοχίας 1%.
2. Η περιορισμένη παροχετευτικότητα των υδραγωγείων Υλίκης-Μαραθώνα και Κιθαιρώνα-Αθήνα μειώνει την ετήσια δυνατότητα υδροδότησης σε επίπεδα κάτω των 500 hm^3 ετησίως.

8 Ολοκλήρωση και διασύνδεση πληροφορικών συστημάτων

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάστηκαν τα συστήματα πληροφορικής στα οποία έγινε η αποθήκευση των δεδομένων για τη διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής μελέτης. Η αποθήκευση έγινε σε δύο βάσεις δεδομένων: (α) τη βάση γεωγραφικών δεδομένων, και (β) τη βάση δεδομένων για την υδρολογία και τις χρήσεις νερού. Οι δύο βάσεις συνδέθηκαν μεταξύ τους και, έτσι, είναι δυνατό να γίνει λόγος για μια ενιαία βάση που αναφέρεται ως Βάση Δεδομένων Στερεάς Ελλάδας (ΒΔΣΕ). Η πρόσβαση στη βάση αυτή με τη δυνατότητα τροποποίησης και επέκτασής της για λόγους προσαρμογής στην εκάστοτε εφαρμογή δίνεται και μέσα από το ίδιο το λογισμικό πακέτο “Υδρονομέας”. Είναι εύλογο οι πληροφορίες που είναι καταχωρημένες στη ΒΔΣΕ να είναι χρήσιμες για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης του υδροσυστήματος της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας.

Η σύνδεση των δύο βάσεων με τη βοήθεια του Συστήματος Επιλεκτικής Ενημέρωσής παρουσιάζεται στο Σχ. 8 και τα χαρακτηριστικά της περιγράφονται αναλυτικά στο τεύχος 40.



Σχ. 8 Σύνδεση Βάσεων δεδομένων της ΒΔΣΕ και του Υδρονομέα

9 Σύνοψη, συμπεράσματα, προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

9.1 Σύνοψη των εργασιών της τρίτης φάσης

Στις δύο πρώτες φάσεις του Ερευνητικού Έργου *Εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας* ολοκληρώθηκαν οι εργασίες που αφορούν στην εκτίμηση των υδατικών πόρων, οι οποίες αποτελούν την απαραίτητη υποδομή για την ορθολογική διαχείρισή τους. Παράλληλα, ξεκίνησαν σε αναγνωριστική μορφή οι εργασίες που αφορούν στη διαχείριση των υδατικών πόρων καθεαυτή. Η παρούσα τρίτη φάση του έργου αφιερώθηκε στη συλλογή και συστηματοποίηση δεδομένων χρήσης νερού, την οργάνωση του συνόλου των διαθέσιμων πληροφοριών σε κατάλληλα συστήματα πληροφορικής και την αξιοποίηση της πληροφορίας για τη μοντελοποίηση των υδροσυστημάτων της περιοχής μελέτης που παρουσιάζουν ιδιαίτερο διαχειριστικό ενδιαφέρον. Αναλυτικότερα:

1. Έγινε επισκόπηση των μελετών διαχείρισης υδατικών πόρων που έχουν κατά καιρούς εκπονηθεί για την περιοχή της Στερεάς Ελλάδας και αντλήθηκαν από αυτές οι σημαντικότερες πληροφορίες, οι οποίες και αξιολογήθηκαν και συστηματοποιήθηκαν.
2. Έγινε συστηματική συλλογή, αξιολόγηση, αρχειοθέτηση και επεξεργασία των σημαντικότερων πληροφοριών για τις χρήσεις νερού και τα έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων στην περιοχή μελέτης.
3. Αναπτύχθηκαν βάσεις δεδομένων για την καταχώρηση και ανάκτηση των πιο πάνω πληροφοριών.
4. Αναπτύχθηκε ένα σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας, συνδεδεμένο με τις παραπάνω βάσεις δεδομένων, για την απεικόνιση και χωρική επεξεργασία των σχετικών πληροφοριών.
5. Ολοκληρώθηκαν οι εργασίες που αφορούν στη διαχείριση υδατικών πόρων καθεαυτή και συγκεκριμένα:
 - Συγκεντρώθηκαν και αξιολογήθηκαν τα βασικότερα δεδομένα διαχείρισης υδατικών πόρων.
 - Αναπτύχθηκε μαθηματικό μοντέλο για τη διαχείριση του συστήματος των ταμιευτήρων του Αχελώου (που αναφέρεται ως υδροσύστημα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας).
 - Αναπτύχθηκε μαθηματικό μοντέλο για τη διαχείριση του συστήματος των ταμιευτήρων υδροδότησης της Αθήνας (που αναφέρεται ως υδροσύστημα Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας).
 - Τα παραπάνω μοντέλα υλοποιήθηκαν σε λογισμικό κατάλληλο για χρήση σε προσωπικούς υπολογιστές.

- Πραγματοποιήθηκαν πιλοτικές εφαρμογές των δύο μοντέλων στα αντίστοιχα υδροσυστήματα.

9.2 Γενικά συμπεράσματα του ερευνητικού έργου

Παρακάτω κωδικοποιούνται μερικά από τα πιο βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τις τρεις φάσεις του έργου.

1. Η περιοχή της Στερεάς Ελλάδας χαρακτηρίζεται από έντονη ποικιλομορφία ως προς το ανάγλυφο, τη γεωλογία, την υδρολογία και υδρογεωλογία, και το κλίμα. Χαρακτηριστικά, η περιοχή δομείται από τους γεωλογικούς σχηματισμούς όλων των εξωτερικών γεωτεκτονικών ζωνών της Ελλάδας. Η ορογραφία της περιοχής, με εξέχουσα την παρουσία της οροσειράς της Πίνδου, προκαλεί έντονη γεωγραφική μεταβλητότητα ως προς το κλίμα και την υδρολογία της περιοχής. Είναι χαρακτηριστικό ότι η ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται στην περιοχή από 400 mm (περιοχή Αττικής) μέχρι 2000 mm (βορειοδυτικό άκρο). Επίσης, είναι χαρακτηριστική η ταυτόχρονη παρουσία στη Στερεά Ελλάδα του μεγαλύτερου σε παροχή ποταμού της χώρας, του Αχελώου, και μιας από τις πιο άνυδρες περιοχές, της Αττικής. Τέλος, είναι εντυπωσιακό το γεγονός ότι οι παραπάνω εντονότατες διαφορές της βροχόπτωσης σε ετήσια κλίμακα, αμβλύνονται, σχεδόν τείνοντας στην ομογενοποίηση, όταν μεταβούμε σε μικρές χρονικές κλίμακες και εξετάσουμε τις υπεύθυνες για την πλημμυρογένεση ισχυρές βροχοπτώσεις.
2. Το συνολικό επιφανειακό δυναμικό της περιοχής είναι πολύ αξιόλογο. Είναι χαρακτηριστικό ότι στην περιοχή του Άνω Αχελώου το επιφανειακό δυναμικό ανά μονάδα επιφάνειας (δηλαδή το ετήσιο ισοδύναμο ύψος απορροής) φτάνει ή ξεπερνά τα 1000 mm ετησίως, πράγμα που κατατάσσει την περιοχή στις πλουσιότερες παγκοσμίως ζώνες (σε σχέση με αυτή τη συγκεκριμένη παράμετρο). Επίσης, στην περιοχή εμφανίζονται σημαντικοί υπόγειοι υδροφορείς με αξιόλογο υδατικό δυναμικό. Πρόβλημα, ωστόσο, δημιουργεί η ανισοκατανομή του δυναμικού αυτού, σε συνδυασμό με την (μη συμβατή) ανισοκατανομή των καταναλώσεων στην ευρύτερη περιοχή της Στερεάς Ελλάδας. Σε σχέση με την εκμετάλλευση του υπόγειου δυναμικού, πρόβλημα δημιουργεί σε μερικές περιπτώσεις η υφαλμύριση. Αξιόλογες ποσότητες καρστικών υπόγειων υδάτων εκφορτίζουν στη θάλασσα υπό συνθήκες όπου η υφαλμύριση έχει αναπτυχθεί σε τέτοιο βαθμό και έκταση, που δυσχεραίνει την εκμετάλλευσή τους, ακόμη και στις αμέσως ανάτη των ακτών περιοχές.
3. Στην περιοχή μελέτης διαπιστώνονται πτωτικές τάσεις τόσο στη βροχόπτωση, όσο και στην απορροή. Οι τάσεις αυτές φαίνεται να είναι γενικευμένες στο σύνολο της Στερεάς Ελλάδας ολλά και έξω από αυτή. Χρονικά οι τάσεις αυτές εντοπίζονται στο σύνολο των διαθέσιμων περιόδων μετρήσεων, οι οποίες ξεκινούν από το 1950-51. Σε μία περίπτωση, (Βοιωτικός Κηφισός) που υπάρχουν πιο παλιά δεδομένα, η πτωτική τάση ξεκινά από το 1920-21. Βεβαίως, μέσα στις συνολικές χρονοσειρές βροχόπτωσης και απορροής εντοπίζονται και χρονικά διαστήματα στα οποία οι τάσεις σταματούν ή και αντιστρέφονται, αλλά πάντως η όλη εικόνα επιβεβαιώνει την καθοδική συνολική πορεία των μεγεθών. Η μεγάλη γεωγραφική έκταση και χρονική διάρκεια του φαινομένου τού προσδίδει σοβαρές διαστάσεις. Η σημασία του φαινομένου αυτού είναι μεγάλη για τους υδατικούς πόρους της χώρας και θα πρέπει να τού δοθεί η δέουσα προσοχή τόσο σε επίπεδο ερευνών και μελετών, όσο και σε επίπεδο διαχείρισης υδατι-

κών πόρων. Ως προς τη διάγνωση των αιτιών του φαινομένου αυτού και τη δυνατότητα πρόγνωσης της εξέλιξής του στο μέλλον, η υδρολογική επιστήμη δεν επιτρέπει συγκεκριμένες απαντήσεις.

4. Οι κυριότερες χρήσεις νερού στο καταναλωτικό επίπεδο αναφέρονται στην άρδευση (με προεξάρχουσες τις περιοχές Αγρινίου και Κωπαΐδας) και την ύδρευση (με προεξάρχουσα την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας). Στο μη καταναλωτικό επίπεδο κυριαρχεί η ενεργειακή εκμετάλλευση του υδατικού δυναμικού του Αχελώου, ενώ τα τελευταία χρόνια έχει αποκτήσει μεγάλη σημασία η χρήση της περιβαλλοντικής διατήρησης.
5. Γενικά το πλούσιο υδατικό δυναμικό της συνολικής περιοχής υπερκαλύπτει τις ανάγκες των διάφορων χρήσεων, έστω και αν ληφθούν υπόψη οι διαπιστωμένες ως τώρα πτωτικές τάσεις. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου το υδατικό δυναμικό παραμένει ανεκμετάλλευτο στο μεγαλύτερο μέρος του (π.χ. Σπερχειός). Λόγω των πλεονασμάτων υδατικού δυναμικού στην περιοχή έχουν υπάρξει πιέσεις μεταφοράς του σε γειτονικές περιοχές (π.χ. εκτροπή Αχελώου προς Θεσσαλία). Λόγω της αναντιστοιχίας της γεωγραφικής κατανομής των πόρων και των χρήσεων έχουν ήδη πραγματοποιηθεί σημαντικά έργα μεταφοράς μέσα στην ευρύτερη περιοχή της Στερεάς Ελλάδας (εκτροπή Ευήνου, Μόρνου και Βοιωτικού Κηφισού προς Αθήνα).
6. Από άποψη επιστημονική, αλλά και επιχειρησιακή, διακρίνονται δύο κύρια υδατικά συστήματα που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον: το σύστημα υδροδότησης της Αθήνας, το οποίο περιλαμβάνει έργα αξιοποίησης επιφανειακού και υπόγειου υδατικού δυναμικού, και το σύστημα ταμιευτήρων Αχελώου. Για τα συστήματα αυτά έχουν κατασκευαστεί μοντέλα προσομοίωσης και βέλτιστης διαχείρισής τους.

9.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Το ερευνητικό έργο *Eκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας*, με το εκτεταμένο σε όγκο και διάρκεια εργασιών αντικείμενό του, έχει ήδη δώσει σημαντικά ερευνητικά αποτελέσματα, όπως μαρτυρούν, τόσο οι επιστημονικές δημοσιεύσεις που έχουν προκύψει από το έργο, οι οποίες έχουν δημοσιευτεί στα πλέον έγκριτα διεθνή επιστημονικά περιοδικά (Water Resources Research, Journal of Hydrology), όσο και τα προϊόντα λογισμικού που έχουν αναπτυχθεί.

Τα σχετικά πεδία έρευνας είναι άμεσα συνδεδεμένα με τις ανάγκες της χώρας και αυτονόητο είναι ότι δεν έχουν κλείσει με το παρόν ερευνητικό έργο. Αντίθετα, στη σημερινή συγκυρία, όπου η χώρα ετοιμάζεται να εκσυγχρονίσει και να εξορθολογίσει τη διαχείριση των υδατικών πόρων της, τα ερευνητικά πεδία είναι περισσότερο ανοιχτά από ποτέ.

Στόχος αυτού του εδαφίου δεν είναι βέβαια να αναλύσει τα ανοιχτά πεδία έρευνας γύρω από την εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της χώρας, πράγμα που αποτελεί δυσχερές αντικείμενο και προϋποθέτει επίπονες συλλογικές προσπάθειες. Ο στόχος είναι μια απλή και επιλεκτική επισήμανση των άμεσων προοπτικών επέκτασης των ερευνών που ήδη έχουν διεξαχθεί στα πλαίσια παρόντος ερευνητικού έργου. Αυτές οι προοπτικές επέκτασης μπορούν να καταταχτούν σε δύο βασικές κατηγορίες, την οργάνωση της πληροφορίας και τη μοντελοποίηση των υδροσυστημάτων.

9.3.1 Οργάνωση της πληροφορίας

Το σημαντικότερο θεμέλιο για τη διαχείριση των υδατικών πόρων είναι η αξιόπιστη και καλά οργανωμένη πληροφορία σχετικά με όλες τις συνιστώσες που αφορούν τους υδατικούς πόρους. Το επίπεδο της πληροφορίας που αφορά στην υδρολογία, και που για πρώτη φορά αντιμετωπίστηκε οργανωμένα στην πρώτη φάση του παρόντος ερευνητικού έργου, ήδη αντιμετωπίζεται καθολικά σε επίπεδο χώρας (Υδροσκόπιο).

Παραμένουν ωστόσο ανοιχτά τα επίπεδα πληροφορίας που αφορούν στα χαρακτηριστικά (α) των χρήσεων νερού και (β) των έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων. Αυτά τα επίπεδα πληροφορίας αντιμετωπίστηκαν για πρώτη φορά στην τρίτη φάση του παρόντος ερευνητικού έργου (για τη γεωγραφική περιοχή της Στερεάς Ελλάδας) και ήδη έχει δοθεί μια πρώτη τεχνική λύση για τον τρόπο αντιμετώπισή τους, με τη χρήση βάσεων δεδομένων και συστημάτων γεωγραφικής πληροφορίας. Βεβαίως ένα τόσο σοβαρό θέμα δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί με μια μοναδική προσέγγιση και σίγουρα θα απαιτηθούν διαδοχικές προσεγγίσεις μέχρι να φτάσουμε σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο σε ότι αφορά τις δομές δεδομένων. Ειδικότερα, η άποψή μας είναι ότι απαιτείται η σύνταξη προδιαγραφών για το σύστημα αποθήκευσης και διαχείρισης των δεδομένων, επανασχεδιασμός των σχετικών βάσεων δεδομένων, σε επάλληλα επίπεδα με διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας, σε τρόπο ώστε να εξυπηρετείται η σύνδεσή τους με διάφορα υδρολογικά και υδρογεωλογικά μοντέλα, και συστήματα υποστήριξης διαχείρισης υδατικών πόρων. Κρίσιμη για τη διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής μελέτης είναι η οργάνωση της υδρογεωλογικής πληροφορίας. Η σύνδεση των μετρήσεων υδρογεωλογικών μεγεθών με γεωγραφικά δεδομένα είναι ιδιαίτερα σημαντική καθόσον η χωρική μεταβολή των μεγεθών αυτών ενδιαφέρει πολύ περισσότερο από τη χρονική μεταβολή. Μάλιστα, οι απαιτήσεις των υδρογεωλογικών μοντέλων σε δυναμικούς υδρογεωλογικούς χάρτες είναι, συνήθως, πολύ μεγαλύτερες από εκείνες των μοντέλων της επιφανειακής υδρολογίας.

9.3.2 Μοντελοποίηση των υδροσυστημάτων

Μια απ' τις σημαντικότερες συνιστώσες του παρόντος ερευνητικού έργου ήταν η ανάπτυξη του υπολογιστικού συστήματος Υδρονομέας και του συνοδευτικού συστήματος στοχαστικής υδρολογικής προσομοίωσης. Έχοντας μια αρχική εμπειρία γύρω από τις δυνατότητες αλλά και τα προβλήματα του υπολογιστικού συστήματος αυτού, μπορούμε να κάνουμε την ακόλουθη αρχική κωδικοποίηση των μελλοντικών απαιτήσεων μιας επόμενης έκδοσής του (πληρέστερη κωδικοποίηση θα μπορεί να γίνει μετά από οργανωμένη χρήση του υπολογιστικού εργαλείου):

1. Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης επιδέχεται βελτιώσεις, που θα απέφεραν σημαντική μείωση του χρόνου απόκρισης του συστήματος. Πολύ αποδοτική ως προς τον χρόνο απόκρισης κρίνεται και η προσαρμογή του Υδρονομέα στην τεχνολογία της παράλληλης και κατανεμημένης επεξεργασίας.
2. Η ιδέα της παραμετροποίησης που έχει εφαρμοστεί στον Υδρονομέα αποδείχθηκε ιδιαίτερα επιτυχής από πολλές απόψεις. Ωστόσο η εφαρμογή της στην τρέχουσα έκδοση είναι περιορισμένη. Εφόσον γίνει δυνατή η αισθητή μείωση του χρόνου απόκρισης, θα καταστεί δυνατό να γενικευτεί η παραμετροποίηση και σε άλλα στοιχεία του υδροσυστήματος, με αναμενόμενο

αποτέλεσμα να βελτιωθούν περαιτέρω τα τελικά αποτελέσματα του υπολογιστικού συστήματος.

3. Στα πλαίσια της επέκτασης του μαθηματικού μοντέλου θα μπορούσε να περιλαμβάνεται η εκπόνηση ενός πλήρους οικονομικού ισολογισμού, συμπεριλαμβανομένων όλων των παραγόντων κόστους και οφέλους που θα προέκυπταν από τη λειτουργία του συστήματος και την εκτέλεση της βελτιστοποίησης με οικονομικούς όρους και στόχους.
4. Ιδιαίτερα χρήσιμη θα ήταν η διερεύνηση της δυνατότητας επιχειρησιακής λειτουργίας του Υδρονομέα. Προϋπόθεση γι' αυτή είναι εκτός από όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω και τα εξής επιπρόσθετα (μεταξύ άλλων):
 - Η τροποποίηση του στοχαστικού μοντέλου σε τρόπο ώστε να λειτουργεί με βάση τα τρέχοντα υδρολογικά δεδομένα εισόδου, σε συνδυασμό και με ένα αυτόματο σύστημα μέτρησης των υδατικών πόρων.
 - Η σύνδεση με μοντέλα υπόγειων νερών (για περιοχές που αυτά παρουσιάζουν ενδιαφέρον).
 - Η ενσωμάτωση μέτρων ασφαλείας του συστήματος έναντι έκτακτων περιστατικών (π.χ. βλάβες), και η προσθήκη υπολογιστικών διαδικασιών για την υποβοήθηση της αντιμετώπισης των περιστατικών αυτών.
 - Η ενσωμάτωση μοντέλου πρόγνωσης της εξέλιξης της ζήτησης (π.χ. υδρευτική, αρδευτική) με αντίστοιχη μετατροπή του τρόπου λειτουργίας του συστήματος σε τρόπο ώστε να μεταβάλλει τους κανόνες λειτουργίας σε διάφορους χρονικούς ορίζοντες.
 - Η ενσωμάτωση ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδατικών πόρων και των χρήσεων.

Αναφορές

Αγγελόπουλος, Γ., *Κατασκευή γεωγραφικής βάσης δεδομένων του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας*, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα, 1997.

Βαμβακερίδου, Λ., Προσωπική επικοινωνία, 1998.

Βαμβακερίδου, Λ., DANAIS, Μελέτη και αναβάθμιση του προγράμματος δυναμικής ρύθμισης του υδραγωγείου Μόρνου, *B' φάση, Εγχειρίδιο χρήσης και εκπαίδευσης*, ΕΜΠ - ΕΥΔΑΠ, Αθήνα, 1996.

Γαβριηλίδης, Ι., Τ. Παπαθανασιάδης, και Γ. Σπαθόπουλος, *Μελέτη υδρομετρικού συστήματος εξωτερικού δικτύου ΕΥΔΑΠ*, Α' Φάση, Τεύχος 2: Τελική Έκθεση, ΕΜΠ - ΕΥΔΑΠ, Αθήνα, 1991.

Γαζέλας, Ε., Το πρόγραμμα λιμνοδεξαμενών και φραγμάτων του Υπουργείου Γεωργίας, *Πρακτικά Πανελλήνιου Σεμιναρίου "Λιμνοδεξαμενές - Φράγματα Πολλαπλής Σκοπιμότητας"*, Θεσσαλονίκη, 1994.

Γερμανόπουλος, Γ., *Διερεύνηση δυνατοτήτων οργάνωσης και επιθεώρησης των δικτύων αποχέτευσης περιοχής ευθύνης ΕΥΔΑΠ*, Ερευνα της εξέλιξης της κατανάλωσης νερού στην πρωτεύονσα, Ερευνητικό πρόγραμμα, Τελική έκθεση, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1990.

Γεωργίου, Κ., *Σπερχειός: Οικολογική και Γεωργική Θεώρηση, Πρακτικά Ημερίδας Σπερχειός 2000+*, Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας και Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Λαμία, 1995.

Γκόφας, Θ., και συνεργάτες, *Τεχνικοοικονομική μελέτη σκοπιμότητας εγγειοβελτιωτικών έργων Κωπαϊδικού και Θηβαϊκού πεδίου*, ΥΠΕΧΩΔΕ 1988.

ΔΕΗ/ΔΑΥΕ, *Εκτροπή Αχελώου και αξιοποίηση Θεσσαλικής πεδιάδας*, Έργα κεφαλής συγκροτήματος εκτροπής, Ενημερωτική έκθεση, ΔΕΗ, Αθήνα, 1987.

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος, *Πραγματικός Πληθυσμός της Ελλάδος κατά την απογραφή της 17ης Μαρτίου 1991*, Αθήνα, 1994.

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος, *Γεωργική στατιστική της Ελλάδας έτους 1991*, Αθήνα, 1995.

ΕΜΠ, *Διερεύνηση προσφερόμενων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 11, ΥΠΕΧΩΔΕ, 1990.

ΕΜΠ και Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας, *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Ποτάμιου Οικοσυστήματος Σπερχειού*, Τεχνική Έκθεση, Τόμος 1, ΕΜΠ, Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας, Αθήνα, 1996.

ΕΥΔΑΠ, *Φωτογραφικό αφιέρωμα*, Αθήνα, 1995.

Ευθυμίου, Χ., και Α. Θεοδωρόπουλος, *Γεωγραφική βάση δεδομένων για τις λιμνοδεξαμενές στην Ελλάδα*, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, 1997.

Κουτσογιάννης, Δ., Προγράμματα στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών χρονοσειρών, Τεύχος 7, *Εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας*, ΕΜΠ, Τομέας ΥΠΥΘΕ, Αθήνα, 1992.

Κουτσογιάννης, Δ., Μελέτη λειτουργίας των ταμιευτήρων, στα πλαίσια της *Γενικής Διάταξης Έργων Εκτροπής Αχελώου προς τη Θεσσαλία*, ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΔΕ Αχελώου, Αθήνα, 1996.

Κουτσογιάννης, Δ., Θ. Ξανθόπουλος, και Ε. Αφτιάς, *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τελική έκθεση, Τεύχος 18, ΕΜΠ, Τομέας ΥΠΥΘΕ, Αθήνα, 1990β.

Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση ΕΜΠ, Αθήνα, 1997.

Μαχαίρας, Α., *Οριστική μελέτη του εσωτερικού δικτύου ύδρευσης Λαμίας*, Δημόσια Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Λαμίας (ΔΕΥΑΛ), Λαμία, 1984.

Μελέτες Έργων Υποδομής Α.Τ.Ε., και Γ. Γκιώνης, *Μελέτη ρυμοτομικού σχεδίου και έργων υποδομής BIO.PA Άμφισσας*, Οριστική μελέτη, ΕΤΒΑ, Ανώνυμη Εταιρεία Μελετών και Διοίκησης Αναπτυξιακών Έργων, Αθήνα, 1998.

Ναλμπάντης, Ι., *Διερεύνηση προσφερόμενων δυνατοτήτων για την ύδρευση της μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 14, Μοντελοποίηση υδροδοτικού συστήματος, Αθήνα, 1990α.

Ναλμπάντης, Ι., *Διερεύνηση προσφερόμενων δυνατοτήτων για την ύδρευση της μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 15, Υδρολογικός σχεδιασμός ταμιευτήρα Εύηνου, Αθήνα, 1990β.

Παναγόπουλος, Π., *Γενική Μελετών ΕΠΕ - Ιστρία*, Ανάλυση Οικοσυστημάτων ΕΠΕ, *Μελέτη διαχείρισης των υδατικών πόρων της υδρολογικής λεκάνης Εύηνου και υδρογεωλογική μελέτη για το καρστικό σύστημα του Εύηνου*, Τόμος I- Έκθεση, ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα, 1996.

ΥΔΡΟ-ΣΕΚΑ Ο.Ε., και Ε. Βασιλείου και Συνεργάτες, *Μελέτη αρδευτικού έργου Αμονρίου - Λιανοκλαδίου - Ζηλεντού*, Οριστική μελέτη, Υπουργείο Γεωργίας, Γενική Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων, Αθήνα, 1981.

ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΔΕ Αχελώου, *Εκτροπή Αχελώου, Συνολική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων*, Παράρτημα Α: Μελέτη Υδατικών Συστημάτων, Αθήνα, 1995.

Υπουργείο Ανάπτυξης, ΕΜΠ, ΙΓΜΕ, ΚΕΠΕ, *Σχέδιο Προγράμματος Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων της Χώρας*, Αθήνα, 1997

Barker, S., *Access 97, Power Programming*, Que., Indianapolis, 1997.

Doorenbos, J., and W. O. Pruitt, Crop water requirements, *FAO Irrigation and drainage paper No 24*, 144 p, 1977.

ESRI, *ARC/INFO Data Model, Concepts, & Key Terms*, User's guide, 1991a.

ESRI, *Editing Coverages and Tables*, User's guide, 1991β.

ESRI, *ArcView GIS*, 1996.

Georgakakos, A.P., and D. Marks, A New Method for the Real-Time Operation of Reservoir System, *Water Resources Research*, 23(7), 1376-1390, 1987.

Georgakakos, A.P., H. Yao, and Y. Yu, A Control Model for Dependable Hydropower Capacity Optimization, *Water Resources Research*, 33(10), 2349-2365, 1997a.

Georgakakos, A.P., H. Yao, and Y. Yu, Control Model for Hydroelectric Energy Optimization, *Water Resources Research*, 33(10), 2367-2379, 1997b.

Georgakakos, A.P., H. Yao, and Y. Yu, A Control Model for Hydroelectric Energy Value Optimization, *ASCE J. for Wat. Res. Plan. and Mgt*, 123(1), 30-38, 1997c.

Korte, G., *The GIS Book*, OnWordPress, Santa Fe, 1997.

Koutsoyiannis, D., Optimal decomposition of covariance matrices for multivariate stochastic models in hydrology, *Water Resour. Res.*, in press, 1999.

Koutsoyiannis, D., and A. Manetas, Simple disaggregation by accurate adjusting procedures, *Water Resour. Res.*, 32(7), 2105-2117, 1996.

Matalas, N.C. and J. R. Wallis, Generation of synthetic flow sequences, in *Systems approach to water management*, edited by A. K. Biswas, McGraw Hill, 1976.

Nalbantis, I., and D. Koutsoyiannis, A parametric rule for planning and management of multiple-reservoir systems, *Water Resour. Res.*, 13(9), 2165-2177, 1997.

- Nalbantis, I., D. Koutsoyiannis, and Th. Xanthopoulos, Modelling the Athens water supply system, *Water Resources Management*, 6, 57-67, 1992.
- Sommerville, I., *Software Engineering*, Addison-Wesley Pub., 1996.
- Vogel, R.M., and J. R. Stedinger, The value of stochastic streamflow models in over-year reservoir design applications, *Water Resour. Res.* 24(9), 1483-90, 1988.
- Yannakoudakis, E., *The architectural logic of Database Systems*, Springer-Verlag, London, 1988. .