
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ, ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΓΟ
ΜΕΛΕΤΗ - ΠΙΛΟΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΛΟΥΡΟΥ ΚΑΙ ΑΡΑΧΘΟΥ

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: ΘΕΜ. ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΣ
ΣΥΝΤΑΞΗ: Ι. ΝΑΛΜΠΑΝΤΗΣ, Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ, Θ. ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΣ

ΑΘΗΝΑ ΑΠΡΙΛΙΟΣ 1991

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	<u>Σελίδα</u>
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Ιστορικό	1
1.2. Διάρθρωση της έκθεσης	1
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	2
2.1. Πλαίσιο ανάλυσης	2
2.1.1. Προκαταρκτική φάση	2
2.1.2. Φάση προετοιμασίας δεδομένων και λογισμικού	3
2.1.3. Φάση της ανάλυσης	3
2.2. Υπολογιστικό πλαίσιο	4
3. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΧΡΗΣΕΩΝ ΝΕΡΟΥ	5
3.1. Γενικά	5
3.2. Υδρομετεωρολογικά δεδομένα	5
3.3. Δεδομένα χρήσεων νερού	7
3.4. Οικονομικά στοιχεία	8
3.5. Σχηματοποίηση του συστήματος διαχείρισης υδατικών πόρων των λεκανών Λούρου και Αράχθου	8
4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ	8
5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	10
5.1. Γενικά	10
5.2. Μεθοδολογία	11
5.3. Αποτελέσματα	12
5.4. Σύγκριση με τις λεκάνες Ευήνου, Μόρνου και Υλίκης-Β.Κηφισού	13
5.5. Συμπεράσματα - Προοπτικές	13
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	14
Σχήμα 1. Χάρτης της περιοχής μελέτης	15
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	16

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Ιστορικό

Το Υπουργείο Βιομηχανίας Έρευνας και Τεχνολογίας με την από 31-3-1989 απόφασή του ανέθεσε στον Τομέα Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ καθήκοντα Συμβούλου στα πλαίσια της "Μελέτης-πιλότου για τη διαχείριση των υδατικών πόρων των λεκανών απορροής Λούρου και Αράχθου".

Για το σκοπό αυτό συστάθηκε ομάδα εργασίας στο ΕΜΠ με επιστημονικό υπεύθυνο τον καθηγητή κ. Θ. Ξανθόπουλο. Η ομάδα αυτή είχε συντονιστή τον Λέκτορα ΕΜΠ κ. Δ. Κουτσογιάννη, Δρ Πολιτικό Μηχανικό και ερευνητές τους Ι. Ναλμπάντη, Δρ Πολ. Μηχανικό και Ν. Μαμάση, Αγρ. Τοπ. Μηχανικό. Επίσης στην ομάδα συμμετείχαν οι Χ. Ανυφαντή, Πολ. Μηχανικός και Δ. Μπώκου, Πολ. Μηχανικός. Την γραμματειακή κάλυψη είχε η κ. Ν. Γαρίνη.

Η ομάδα εργασίας του ΕΜΠ παρακολούθησε τις εργασίες όλων των φάσεων της μελέτης και συμμετείχε στις εργασίες που περιγράφονται αναλυτικά στο Παράρτημα.

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε από ομάδα εργασίας που συγκροτήθηκε για το σκοπό αυτό στο ΥΒΕΤ από επιστήμονες του Υπουργείου και του ΙΓΜΕ και είχε τεχνική βοήθεια στο έργο της από την ομάδα του ΕΜΠ. Την ομάδα εργασίας αυτή αποτέλεσαν οι:

Μ. Γκίνη, Αγρ. Τοπ. Μηχανικός, MSc, ΥΒΕΤ

Π. Τσουμάνης, Αγρ. Τοπ. Μηχανικός, DEA, ΥΒΕΤ

Σ. Τσιμπιδής, Πολ. Μηχανικός, ΥΒΕΤ

Χ. Σμυρνιώτης, Δρ Υδρογεωλόγος, ΙΓΜΕ

Ι. Μυλόπουλος, Δρ Πολ. Μηχανικός, ΥΒΕΤ

Τέλος στην ομάδα συμμετείχε ως ανεξάρτητος μελετητής ο Κ. Μπεζές, Δρ Υδρογεωλόγος.

Την μεθοδολογία της μελέτης μαζί το αντίστοιχο λογισμικό παρείχε ως Σύμβουλος ο Ολλανδικός Οργανισμός Delft Hydraulics. Ο Οργανισμός αυτός πραγματοποίησε και την εκπαίδευση της ομάδας μελέτης στο λογισμικό, και παρείχε τεχνική βοήθεια σε αυτή σε όλα τα στάδια της μελέτης. Την ομάδα του Delft Hydraulics αποτέλεσαν οι:

H. van der Most, Μηχανικός Υδατικών Πόρων, επικεφαλής της ομάδας μέχρι τον Απρίλιο 1990

J. W. Wesseling, Μηχανικός Υδατικών Πόρων, επικεφαλής της ομάδας από το Μάιο 1990

G. F. Prinsen, Μηχανικός Υδατικών Πόρων

P. G. Ruysseenaars, Οικονομολόγος

J. I. Crebas, Μηχανικός Πληροφορικής

J. A. M. van der Gun, Υδρογεωλόγος

1.2. Διάρθρωση της έκθεσης

Εκτός από την εισαγωγή η παρούσα έκθεση περιλαμβάνει ακόμη 4 κεφάλαια.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται συνοπτική αναφορά στη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη ενώ στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα υδρολογικά δεδομένα και τα δεδομένα χρήσης νερού καθώς και η αξιολόγηση και ανάλυση των δεδομένων αυτών.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η ανάλυση των διαφόρων μέτρων και εναλλακτικών πολιτικών διαχείρισης νερού στην περιοχή της μελέτης καθώς και τα συμπεράσματα σχετικά με την ελκυστικότητα αυτών των μέτρων. Τέλος, στο κεφάλαιο 5 γίνεται αξιολόγηση της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε, τόσο σε ότι αφορά στο υδρολογικό μέρος της μελέτης όσο και στο μέρος της διαχείρισης του νερού και αξιολόγησης των διαφόρων υδατικών πολιτικών που

εξετάστηκαν. Ακόμη, σχολιάζονται τα συμπεράσματα της μελέτης και διατυπώνονται ορισμένες σκέψεις σχετικά με την εφαρμοσιμότητα σε άλλες περιοχές της Ελλάδας της τεχνογνωσίας που αποκτήθηκε.

Πρέπει να τονιστεί ότι η παρούσα έκθεση σε καμία περίπτωση δεν υποκαθιστά τις επίσημες εκθέσεις της μελέτης και κατά συνέπεια εκφράζει μόνο την άποψη της ομάδας του ΕΜΠ. Για τόν λόγο αυτό δεν κρίθηκε σκόπιμο να περιληφθούν στην έκθεση πλήρη ποσοτικά στοιχεία από τη μελέτη για τα οποία ο ενδιαφερόμενος θα πρέπει να ανατρέξει στα τεύχη της μελέτης.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε είχε στόχο την ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων που μπορούν να έχουν οι διάφορες δυνατές εναλλακτικές πολιτικές νερού στην περιοχή των λεκανών Λούρου και Αράχθου. Ακόμη, ο χαρακτήρας πιλότου της μελέτης επέβαλε την εφαρμογή μιας μεθοδολογίας που να μπορεί στο μέλλον να εφαρμοστεί και σε άλλες περιοχές της Ελλάδας.

Η μεθοδολογία που προτάθηκε από την Delft Hydraulics συνίσταται στη συστηματοποίηση των διαφόρων βημάτων της μελέτης σε δύο διαφορετικά επίπεδα που όμως είναι αλληλένδετα. Το πρώτο επίπεδο που ονομάζεται Πλαίσιο Ανάλυσης (Framework for analysis) αναφέρεται στη σαφή κατάταξη των εργασιών της μελέτης σε τρεις διακεκριμένες φάσεις: την προκαταρκτική φάση (inception phase), την φάση της προετοιμασίας των δεδομένων και λογισμικού (preparation phase) και την τελική φάση της ανάλυσης (analysis phase) των διαφόρων εναλλακτικών υδατικών πολιτικών (MIET/DWNR et al, 1989). Το δεύτερο επίπεδο αποτελεί το Υπολογιστικό Πλαίσιο (Computational Framework) που περιλαμβάνει το σύνολο των προγραμμάτων H/Y με τα οποία γίνεται η ανάλυση.

2.1. Πλαίσιο ανάλυσης

2.1.1. Προκαταρκτική φάση

Στην προκαταρκτική φάση (βλ. MIET/DWNR et al, 1989) γίνεται αναγνώριση των συγκεκριμένων προβλημάτων που συνδέονται με την ανάπτυξη των υδατικών πόρων της υπό μελέτη περιοχής, με παράλληλη καταγραφή όλων των δυνατών μέτρων διαχείρισης του νερού που προγραμματίζονται κατά τομέα χρήσης νερού. Επισημαίνονται οι στόχοι των διαφόρων πολιτικών διαχείρισης και οι περιορισμοί φυσικού, χρηματο-οικονομικού και νομικού χαρακτήρα. Ακόμη, καθορίζονται πλήρως οι παραδοχές της μελέτης σε ότι αφορά στα γεωγραφικά όρια της υπό μελέτη περιοχής και στην μελλοντική κατάσταση από άποψη υδατικών πόρων. Τέλος, γίνεται επιλογή των μαθηματικών μοντέλων που θα χρησιμοποιηθούν στη φάση της ανάλυσης των εναλλακτικών υδατικών πολιτικών.

Στη συγκεκριμένη μελέτη των λεκανών Λούρου και Αράχθου, καταγράφηκαν τα προβλήματα ανάπτυξης των υδατικών πόρων στις δύο λεκάνες μετά από επισκόπηση παλιότερων μελετών και κυρίως με άμεση, επί τόπου αναγνώριση. Τα κυριότερα προβλήματα και δυνατότητες ανάπτυξης που επισημάνθηκαν είναι:

- Οι ζώνες του Άνω και Μέσου Αράχθου (ανάντη του υφιστάμενου Φράγματος Πουρναρίου) προσφέρονται σχεδόν αποκλειστικά για υδροηλεκτρική αξιοποίηση.
- Ο Άνω Λούρος (ανάντη του φράγματος) προσφέρεται κυρίως για γεωργική και ιχθυοκομική ανάπτυξη.
- Στην Πεδιάδα Άρτας - Πρέβεζας αναμένεται αύξηση της ζήτησης νερού για γεωργική χρήση και ιχθυοκαλλιέργεια με κίνδυνο όμως υπερκεμετάλλευσης των υπόγειων

υδροφορέων και τελική υφαλμύρωσή τους. Παράλληλα υπάρχει ανάγκη προστασίας των παραλιακών ελωδών περιοχών του Αμβρακικού Κόλπου που έχει εξαιρετική οικολογική σημασία.

- Στις περιοχές Ελαιώνα Πρέβεζας, Λάμαρης και Πέτα-Κομποτιού σχεδιάζονται νέα αρδευτικά δίκτυα.
- Στον Αμβρακικό Κόλπο απαιτείται η διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας με την εξασφάλιση μιας ελάχιστης εγγυημένης παροχής γλυκού νερού.

Σε ότι αφορά στις παραδοχές της ανάλυσης θεωρήθηκαν τα ακόλουθα:

- Στο υδατικό σύστημα της περιοχής συνυπολογίζονται και τα υπόγεια νερά που συρρέουν από περιοχές εκτός των ορίων των δύο λεκανών.
- Ως έτος βάσης για την παρούσα κατάσταση θεωρείται το έτος 1987 ενώ για την μελλοντική κατάσταση εξετάζονται δύο χρονικοί ορίζοντες (2000 και 2015).
- Κατασκευάζονται πιθανά σενάρια ανάπτυξης σε ότι αφορά στη γεωργία, στην ιχθυοκαλλιέργεια, στην οικιακή και βιομηχανική χρήση νερού.
- Ο στοχαστικός χαρακτήρας των υδρολογικών μεγεθών λαμβάνεται υπόψη με κατάλληλη επιλογή από τα ιστορικά δεδομένα των τελευταίων 30 ετών, τριών χαρακτηριστικών ετών (μέσο, ξηρό, εξαιρετικά ξηρό).

Τέλος τα μαθηματικά μοντέλα που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στην παράγραφο 2.2.

2.1.2 Φάση προετοιμασίας δεδομένων και λογισμικού

Περιλαμβάνει τις ακόλουθες κύριες δραστηριότητες:

- Συλλογή και ανάλυση υδρομετεωρολογικών δεδομένων, δεδομένων χρήσης νερού και οικονομικών δεδομένων.
- Προετοιμασία του υδατικού συστήματος των λεκανών Λούρου και Αράχθου από διαχειριστική άποψη με σχηματοποίησή του σε ένα δίκτυο κόμβων και κλάδων.
- Προετοιμασία του λογισμικού και εκπαίδευση στη χρήση του.

2.1.3. Φάση της ανάλυσης

Περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Καθορισμός της υφιστάμενης κατάστασης από την άποψη χρήσεων νερού και υποδομής και στη συνέχεια ρύθμιση των παραμέτρων του μοντέλου RIBASIM έτσι ώστε αυτό να μπορεί να αναπαραγάγει την κατάσταση αυτή.
- Καθορισμός της πιο πιθανής μελλοντικής κατάστασης από άποψη ζήτησης νερού και υποδομής για τα έτη 2000 και 2015 που ορίζεται ως βασική περίπτωση (base case).
- Επιλογή αντιπροσωπευτικών υδρομετεωρολογικών συνθηκών (μέσο, ξηρό, πολύ ξηρό έτος).
- Ποσοτική ανάλυση των προβλημάτων επάρκειας του υφιστάμενου συστήματος για 6 μελλοντικές καταστάσεις (2 σενάρια ζήτησης * 3 αντιπροσωπευτικά έτη).
- Εκτίμηση της αποτελεσματικότητας του κάθε προτεινόμενου διαχειριστικού μέτρου σε σχέση με την βασική περίπτωση για κάθε χρονικό ορίζοντα.
- Κατάστρωση εναλλακτικών στρατηγικών διαχείρισης του συστήματος με συνδυασμό

διαχειριστικών μέτρων.

- Εκτίμηση των οικονομικών επιπτώσεων των διαφόρων στρατηγικών διαχείρισης σε όλες τις χρήσεις νερού.
- Αξιολόγηση της καθεμιάς στρατηγικής διαχείρισης.
- Ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων ως προς τις παραμέτρους για τις οποίες έγιναν χονδροειδείς υποθέσεις. Το στάδιο αυτό δεν πραγματοποιήθηκε κυρίως από έλλειψη χρόνου.
- Παρουσίαση των αποτελεσμάτων στους λήπτες αποφάσεων.

2.2 Υπολογιστικό πλαίσιο

Τα μαθηματικά μοντέλα και τα αντίστοιχα πακέτα προγραμμάτων Η/Υ που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη είναι τα ακόλουθα:

- Μοντέλο διαχείρισης RIBASIM το οποίο αναπαριστά την λειτουργία του υδατικού συστήματος. Είσοδοι του μοντέλου είναι η τοπολογία του συστήματος, η εισροή από επιφανειακά ή και υπόγεια νερά, η ζήτηση νερού για κάθε χρήση, και οι φυσικοί περιορισμοί του συστήματος (π.χ. χωρητικότητα ταμιευτήρων, πεπερασμένη παροχτευτικότητα αρδευτικών διωρύγων). Έξοδοι του μοντέλου είναι η κατανομή του νερού στο σύστημα, η απόληψη για κάθε χρήση και η παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια (βλ. Delft Hydraulics, 1987).
- Υδρολογικά μοντέλα:
 - **HYMOS** (βλ. Delft Hydraulics, 1987) με το οποίο έγινε η αποθήκευση, επεξεργασία και η ανάλυση των χρονοσειρών των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών. Το πακέτο προγραμμάτων HYMOS αποτελείται από τα ακόλουθα υποσυστήματα:
HYMOS.DMS: Διαχείριση της βάσης δεδομένων η οποία, αν και εξαιρετικά απλή στη δομή της, κρίνεται ικανοποιητική για μελέτες σχετικά περιορισμένης κλίμακας. Δεν έχει όμως τα χαρακτηριστικά μίας βάσης δεδομένων σε εθνικό επίπεδο και ούτε αξιοποιεί τις σημερινές δυνατότητες της πληροφορικής σε αυτή την κατεύθυνση.
HYMOS.A: Έλεγχος, διόρθωση και συμπλήρωση δεδομένων.
HYMOS.B: Ανάλυση υδρομετεωρολογικών δεδομένων και παραγωγή δευτερογενών δεδομένων.
HYMOS.C: Ανάλυση της σχέσης βροχής-απορροής
 - **BEMER** (βλ. Κ. Μπεζές, 1990) με το οποίο έγινε κυρίως η προσομοίωση σχέσης βροχής - απορροής στις λεκάνες Λούρου και Αράχθου αλλά και επεξεργασία των υδρομετεωρολογικών δεδομένων. Το πακέτο BEMER περιλαμβάνει εκτός από το πρόγραμμα που υλοποιεί το μοντέλο BEMER σε μηνιαία και σε ημερήσια βάση και προγράμματα επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων (υπολογισμός επιφανειακής βροχής, υπολογισμός παροχών από στάθμες).
 - **HYDRA-PC** (βλ. Koutsoyiannis et al, 1991) με το οποίο δημιουργήθηκε η βάση βροχομετρικών δεδομένων σε ημερήσια βάση. Το πακέτο αυτό αποτελεί κατ'αρχήν ένα σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων (Data Base Management System) για προσωπικούς υπολογιστές αξιοποιώντας προχωρημένες τεχνικές αναζήτησης δεδομένων (B δένδρα). Επιτρέπει την πληκτρολόγηση, διόρθωση και παρουσίαση υδρομετεωρολογικών δεδομένων και ακόμη αντιμετωπίζει διάφορες ιδιαιτερότητες των δεδομένων του ελληνικού χώρου (όπως π.χ. η αστάθεια που παρουσιάζεται συνήθως στις καμπύλες στάθμης-παροχής).

- Μοντέλα υπολογισμού της ζήτησης νερού για όλες τις χρήσεις.
- Σχέσεις κατανάλωσης νερού - οικονομικού αποτελέσματος.
- Τεχνικές αξιολόγησης των αποτελεσμάτων και παρουσίαση τους σε πίνακες επιτυχίας (score cards).

Για τις 3 τελευταίες κατηγορίες μοντέλων οι υπολογισμοί έγιναν με πρόγραμμα τύπου spreadsheet.

3. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ - ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΧΡΗΣΕΩΝ ΝΕΡΟΥ

3.1. Γενικά

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει τις λεκάνες Λούρου και Αράχθου στο Ν.Δ τμήμα του υδατικού διαμερισματος της Ηπείρου και μπορεί να χωριστεί στις ακόλουθες κύριες ζώνες:

- Άνω Λούρου (ανάντη του φράγματος Λούρου)
- Άνω και Μέσου Αράχθου (ανάντη του φράγματος Πουρναρίου)
- Πεδιάδα Άρτας - Πρέβεζας
- Λεκάνες Ξηροπόταμου, Βωβού και άλλες μικρότερες πεδιάδες

Τα κύρια υδατορεύματα της περιοχής είναι:

- Ο ποταμός Άραχθος με τους κύριους παραπόταμους Διπόταμο, Μετσοβίτικο, Καλαριτικό και Καλεντίνη και εδαφικό υπόστρωμα της λεκάνης κυρίως από φλύσχη ελάχιστα περατό εκτός από τμήματα της μεσαιας ζώνης.
- Ο ποταμός Λούρος που αποτελεί ουσιαστικά την εκφόρτιση του καρστικού συστήματος της λεκάνης του. Το σύστημα αυτό έχει επί πλέον ως κύριες εξόδους τις πηγές Χανόπουλου, Καμπής, Σκάλας και Πριάλας.

Οι κύριες αρδευόμενες ζώνες υπάρχουσες και μελλοντικές είναι: Αράχθου, Α Λούρου, Β Λούρου, Βλαχέρνας, Λάμαρης και Πέτα - Κομποτίου. Αυτές εξυπηρετούνται κυρίως από τις ακόλουθες τεχνητές διώρυγες :

- Αρδευτική διώρυγα εκτροπής του Αράχθου στο Ιμαρέτ
- Αρδευτική διώρυγα εκτροπής του Λούρου στη Φιλιππιάδα
- Αποστραγγιστική τάφρος Βόσας που λειτουργεί και ως αρδευτική
- Αποστραγγιστικές τάφροι Φιδόκαστρου και Σαλαώρας.

Στην περιοχή της μελέτης υπάρχουν σήμερα δύο έργα για υδροηλεκτρική αξιοποίηση : ο ταμιευτήρας Πουρναρίου Ι και το έργο του Λούρου. Στο άμεσο μέλλον προβλέπεται η ένταξη του έργου των πηγών Αώου ενώ μεσοπρόθεσμα σχεδιάζεται η ένταξη στο σύστημα των ταμιευτήρων Στενού, Καλαριτικού, Αγ. Νικολάου και Μετσοβίτικου.

3.2. Υδρομετεωρολογικά δεδομένα

Ως χρονική βάση για τη μελέτη επιλέχθηκε η μηνιαία για τους ακόλουθους λόγους:

- Η μηνιαία χρονική βάση είναι επαρκής για μελέτες διαχείρισης και σχεδιασμού της ανάπτυξης υδατικών πόρων για την συνήθη κλίμακα των έργων και των ποσοτήτων νερού που υπεισέρχονται στις μελέτες αυτές καθώς και τις απαιτήσεις ακρίβειας των προσεγγίσεων που γίνονται.
- Τα υδρολογικά μεγέθη περιέχουν σφάλματα μετρήσεων και εκτιμήσεων που όμως μειώνονται σημαντικά στην μηνιαία χρονική βάση.
- Υπήρχαν ήδη διαθέσιμα μηνιαία δεδομένα παροχής από τη ΔΕΗ.

Εκτός από τα δεδομένα σε μηνιαία βάση αρχειοθετήθηκε και μεγάλος αριθμός βροχομετρικών δεδομένων σε ημερήσια βάση για τους ακόλουθους λόγους:

- Σε πολλούς σταθμούς δεν υπήρχαν δεδομένα απευθείας σε μηνιαία βάση
- Η ημερήσια χρονική βάση είναι η ελάχιστη απαιτούμενη σε οποιαδήποτε υδρολογική βάση δεδομένων γενικής χρήσης
- Η εφαρμογή του μοντέλου BEMER στην λεκάνη Λούρου έγινε εκτός από την μηνιαία και σε ημερήσια βάση

Αρχειοθετήθηκαν συνολικά 75 σταθμοί υδρομετεωρολογικών δεδομένων αλλά χρησιμοποιήθηκαν τελικά μόνο οι 50 από αυτούς.

Η αρχειοθέτηση των δεδομένων σε ημερήσια βάση έγινε με το πακέτο προγραμμάτων HYDRA-PC (Hydrological Data Retrieval and Analysis for Personal Computers) που αναπτύχθηκε από την ερευνητική ομάδα του Τομέα Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων του ΕΜΠ. Από την ίδια ομάδα αναπτύχθηκε επίσης και πρόγραμμα εκτύπωσης των δεδομένων σε ASCII μορφή ώστε αυτά να είναι έτοιμα να ενσωματωθούν στο πακέτο HYMOS.

Τα δεδομένα παροχής στον ποταμό Λούρο αλλά και μέρος των βροχομετρικών δεδομένων στη λεκάνη αυτή δόθηκαν από το ΙΓΜΕ και επεξεργάστηκαν από το μελετητή κ. Κ. Μπεζέ με τη βοήθεια του πακέτου προγραμμάτων BEMER. Μάλιστα για την εξαγωγή των παροχών στη λεκάνη Λούρου κατασκευάστηκαν και καμπύλες στάθμης-παροχής.

Από τα διαθέσιμα υδρομετεωρολογικά δεδομένα λήφθηκαν οι χρονοσειρές εισροής στους κόμβους εισροής του μοντέλου RIBASIM με τον ακόλουθο τρόπο:

- Συμπλήρωση των χρονοσειρών ημερήσιων βροχοπτώσεων.
- Υπολογισμός της επιφανειακής βροχόπτωσης με βάση τη μέθοδο Thiessen ή και με συσχέτιση ύψους βροχής και συντεταγμένων του κάθε σταθμού.
- Υπολογισμός της εξάτμισης κατά Penman από την επιφάνεια των ταμιευτήρων και της εξάτμισης κατά Thornthwaite από την επιφάνεια των λεκανών που μελετήθηκαν με το μοντέλο BEMER.
- Κατάρτιση καμπυλών στάθμης-παροχής και λήψη των τελικών υδρογραφημάτων σε ημερήσια και μηνιαία βάση για διάφορες θέσεις πηγών και υδατορευμάτων.
- Ρύθμιση του μοντέλου βροχής απορροής BEMER.
- Επέκταση των ιστορικών δειγμάτων απορροής ώστε να καλυφθεί η περίοδος 1960-1988.
- Υπολογισμός των εισροών στους κόμβους εισόδου του υπό μελέτη συστήματος των δύο λεκανών με απλές προσθαφαιρέσεις των απορροών που προέκυψαν από τα προηγούμενα βήματα.

Σε ότι αφορά στη λεκάνη Λούρου, το μοντέλο BEMER εφαρμόστηκε σε 6 θέσεις του ποταμού Λούρου και σε 12 καρστικές πηγές. Η ρύθμιση των παραμέτρων του μοντέλου έγινε για

όλες τις θέσεις για την περίοδο 1983-1988 σε μηνιαία χρονική βάση. Ειδικά όμως για τη θέση του φράγματος Λούρου η ρύθμιση έγινε για την περίοδο 1983-1987 και σε ημερήσια βάση για λόγους σύγκρισης των αποτελεσμάτων με εκείνα του μηνιαίου μοντέλου.

Στη λεκάνη του Αράχθου έγινε επίσης εφαρμογή του μοντέλου BEMER σε μηνιαία βάση για την περίοδο 1960-1980 και τις υπολεκάνες ανάντη των θέσεων Τσιμόβου, γέφυρας Γκόγκου (Καλαρίτικος), Πλάκας και Πουρναρίου. Ειδικά στη θέση της γέφυρας Πλάκας και για λόγους σύγκρισης με τα αποτελέσματα σε μηνιαία βάση, έγινε εφαρμογή και σε ημερήσια βάση για την περίοδο 1961-1964 λαμβάνοντας υπόψη και τη συμβολή του χιονιού. Εκτός από τον ποταμό Άραχθο έγινε εφαρμογή του μοντέλου BEMER και στις πηγές της λεκάνης του Αράχθου Κλίφτη και Πλατανούσας σε μηνιαία χρονική βάση.

Τέλος προσδιορίστηκαν αντιπροσωπευτικές υδρομετεωρολογικές συνθήκες για όλη την περιοχή μελέτης με επιλογή χαρακτηριστικών μεμονωμένων ιστορικών ετών (μέσο, ξηρό, πολύ ξηρό). Για την επιλογή αυτή έγινε κατάταξη των 29 διαθέσιμων ιστορικών ετών θεωρώντας ως κριτήριο τις 4 χρονοσειρές επιφανειακής βροχής και απορροής ανάντη των θέσεων φράγματος Λούρου και Πουρναρίου. Με βάση την εμπειρική συχνότητα μη υπέρβασης επιλέχθηκαν τελικά τα έτη 1971 ως μέσο, 1983 ως ξηρό, 1977 ως πολύ ξηρό με εμπειρικές πιθανότητες υπέρβασης αντίστοιχα 50%, 14% και 3%.

3.3. Δεδομένα χρήσεων νερού

Οι κύριες χρήσεις νερού στην περιοχή της μελέτης είναι η γεωργική χρήση και η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας ενώ ως δευτερεύουσες χρήσεις εμφανίζονται η χρήση ιχθυοκαλλιέργειας και η βιομηχανική και οικιακή χρήση. Για την κάθε μια χρήση και για κάθε αντίστοιχο κόμβο του συστήματος υπολογίστηκε η ζήτηση νερού με τον ακόλουθο τρόπο :

α. Γεωργική χρήση

- Υπολογισμός της ζήτησης νερού για κάθε καλλιέργεια και κάθε μήνα της περιόδου ανάπτυξης με την μέθοδο Blaney-Criddle.
- Συλλογή δεδομένων σχετικά με το ποσοστό συμμετοχής του κάθε είδους καλλιέργειας σε κάθε αρδευόμενη περιοχή.
- Υπολογισμός με βάση τα παραπάνω της ζήτησης αρδευτικού νερού για κάθε αρδευόμενη περιοχή και κάθε μήνα του έτους.

Σημειώνεται ότι τα παραπάνω μεγέθη υπολογίζονται για 3 σενάρια ζήτησης που αντιστοιχούν στην παρούσα κατάσταση (1987) και τη μελλοντική κατάσταση του συστήματος των δύο λεκανών (2000 και 2015).

β. Παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας

Τα υφιστάμενα έργα περιλαμβάνουν τα φράγματα Λούρου και Πουρναρίου I ενώ έως το 2000 αναμένεται να έχουν τεθεί σε λειτουργία τα έργα των πηγών Αώου και Πουρναρίου II στη λεκάνη Αράχθου. Μέχρι το έτος 2015 σχεδιάζεται και η κατασκευή των ταμιευτήρων Αγίου Νικολάου, Στενού-Καλαρίτικου και Μετσοβίτικου.

Για τις ανάγκες της μελέτης θεωρήθηκε ως ζήτηση ενέργειας από τους ταμιευτήρες Πουρναρίου και Λούρου η ενέργεια που έχει παραχθεί το 1987. Για τις υπό μελέτη υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις θεωρήθηκαν οι ποσότητες της παραγόμενης ενέργειας που δίνουν οι αντίστοιχες μελέτες.

γ. Ιχθυοκαλλιεργητική χρήση

Η ζήτηση νερού για κάθε περιοχή υπολογίζεται από τα δεδομένα, για κάθε είδος ψαριού,

της παραγωγής ανά μονάδα επιφάνειας (ton/ha) και από την κατανάλωση νερού ανά μονάδα βάρους παραγόμενων ψαριών ($m^3/s/ton$) με παράλληλη θεώρηση και της επαναχρησιμοποίησης του νερού από περισσότερους από ένα σταθμούς παραγωγής.

δ. Οικιακή και βιομηχανική χρήση

Η ζήτηση υπολογίζεται με κατάρτιση σεναρίων εξέλιξης του πληθυσμού που εξυπηρετείται από αυτές τις χρήσεις και μια μέση κατά κεφαλήν κατανάλωση.

3.4. Οικονομικά στοιχεία

Η οικονομική ανάλυση είχε στόχο την εκτίμηση του καθαρού οφέλους από κάθε χρήση νερού.

Για τη γεωργική και την ιχθυοπαραγωγική χρήση ο τρόπος υπολογισμού του καθαρού οφέλους ήταν ουσιαστικά κοινός. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε περιοχή παραγωγής και είδος παραγωγής υπολογίστηκε καταρχήν η μέγιστη δυνατή παραγωγή (ton) από την επιφάνεια (ha) και τη μέγιστη δυνατή παραγωγή ανά μονάδα επιφάνειας (ton/ha) και στη συνέχεια αυτή μειώθηκε κατά το ποσοστό του σχετικού ελλείμματος νερού που προέκυψε από το μοντέλο RIBASIM ώστε να εκτιμηθεί η πραγματική παραγωγή. Το καθαρό όφελος προέκυψε από την τιμή διάθεσης του προϊόντος, την πραγματική παραγωγή με συνεκτίμηση και του κόστους παραγωγής.

Σε ότι αφορά στην παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας έγινε η παραδοχή ενιαίας τιμής πρωτεύουσας και δευτερεύουσας ενέργειας, καθόσον η λειτουργία των έργων ουσιαστικά μόνο ως εγκαταστάσεων αιχμής δεν επέτρεπε την διάκριση των δύο μορφών ενέργειας. Ακόμη λήφθηκε επίσης υπόψη και το κόστος των αντλήσεων του στραγγιστικού δικτύου της Πεδιάδας Άρτας-Πρέβεζας.

Τέλος δεν λήφθηκε υπόψη το κόστος άντλησης του υπόγειου νερού ούτε και το κόστος κατασκευής των έργων που θεωρήθηκαν, εκτός από τα ιχθυοτροφεία και τα φράγματα στα οποία το κόστος κατασκευής συνυπολογίστηκε στην τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος. Ακόμη, στην ανάλυση θεωρήθηκε ένα οικονομικό περιβάλλον χωρίς πληθωρισμό.

3.5. Σχηματοποίηση του συστήματος διαχείρισης υδατικών πόρων των δύο λεκανών Λούρου και Αράχθου

Το σύστημα διαχείρισης των νερών της υπό μελέτη περιοχής σχηματοποιήθηκε σε ένα αρκετά πολύπλοκο δίκτυο κόμβων και κλάδων που αναπαριστούν αντίστοιχα τα σημεία εισόδου, εξόδου ή αναρρύθμισης ποσοτήτων νερού και τα έργα μεταφοράς μεταξύ των σημείων αυτών. Τα είδη των κόμβων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη είναι τα ακόλουθα:

- Κόμβοι εισροής και διαφυγών.
- Κόμβοι ζήτησης (άρδευσης, ιχθυοκαλλιέργειας, ύδρευσης, μικτοί κόμβοι άρδευσης-ιχθυοκαλλιέργειας-στράγγισης, ελάχιστης παροχής).
- Κόμβοι ελέγχου (ταμιευτήρων και έργων εκτροπής).
- Άλλοι κόμβοι (συμβολής, διαχωρισμού, τέλους, αντλητικών συγκροτημάτων).

4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ

Έγινε καταρχήν ρύθμιση του διαχειριστικού μοντέλου RIBASIM με βάση τα υδρομετεωρολογικά δεδομένα της περιόδου 1985-1988, την υπάρχουσα υποδομή και τη ζήτηση του 1987. Για το σκοπό αυτό υπήρχαν για την παραπάνω περίοδο διαθέσιμα δεδομένα παροχής, στάθμης και

υδροηλεκτρικής ενέργειας στα υπάρχοντα φράγματα Λούρου και Πουρναρίου, παροχές σε διάφορες θέσεις φυσικών και τεχνητών υδατορρευμάτων καθώς και δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας για άντληση νερού από στραγγιστικές τάφρους. Η σύγκριση των προσομοιωμένων και των ιστορικών χρονοσειρών των παραπάνω μεγεθών έγινε με γραφικό τρόπο. Η όλη διαδικασία της ρύθμισης του μοντέλου RIBASIM επέτρεψε τον έλεγχο των διαφόρων επί μέρους αλγορίθμων του μοντέλου, ή ακόμη και την τροποποίηση τους (περίπτωση μοντέλου αποστράγγισης στους μικτούς κόμβους άρδευσης-ιχθυοκαλλιέργειας-στράγγισης. Το ρυθμισμένο πια μοντέλο RIBASIM εφαρμόστηκε για την παρούσα κατάσταση υποδομής και ζήτησης και τα τρία αντιπροσωπευτικά έτη που επιλέχθηκαν. Τα αποτελέσματα του μοντέλου έδωσαν μόνο μικρές ελλείψεις νερού σε μερικές αρδευόμενες περιοχές και ιχθυοτροφεία της περιοχής του Άνω Λούρου.

Στη συνέχεια έγινε ανάλυση της μεσοπρόθεσμης μελλοντικής κατάστασης (έτος 2000) στην οποία θεωρήθηκε καταρχήν η βασική περίπτωση στην οποία, εκτός από τα υπάρχοντα έργα περιλαμβάνονται και τα ακόλουθα κύρια έργα :

- Νέες αρδευτικές περιοχές στη λεκάνη του Λούρου (Δρυόφυτο, Μπόϊδα-Μαυρή, Φιλιππιάδα)
- Ύδρευση της Λευκάδας από τις πηγές Αγ. Γεωργίου
- Νέες ιχθυοκομικές εγκαταστάσεις στη λεκάνη Λούρου (Αγ. Γεώργιος, Σκάλα)
- Έργο Πηγών Αώου
- Νέες αρδευτικές περιοχές στη λεκάνη του Αράχθου (Μετσοβίτικου, Γλυκόςριζο).

Τα διάφορα μέτρα διαχείρισης που εξετάστηκαν είναι τα ακόλουθα :

- Διαχωρισμός της αρδευτικής περιοχής Λάμαρης σε δύο υποπεριοχές, με διαφορετικές πηγές υδροδότησης
 - Άρδευση της ζώνης Α Λούρου από νερά του Αράχθου
 - Σύνδεση των ζωνών Α και Β Λούρου με τον Άραχθο
 - Αύξηση της αποδοτικότητας του αρδευτικού δικτύου κατά περιοχές, σε συνδυασμό με τον περιορισμό των απολήψεων από τους υπόγειους υδροφορείς
- Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι το πιο ελκυστικό από τα παραπάνω μέτρα είναι ο διαχωρισμός της αρδευτικής ζώνης Λάμαρης.

Για την ανάλυση της μακροπρόθεσμης μελλοντικής κατάστασης του έτους 2015 θεωρήθηκε ότι η κατάσταση του συστήματος σε σχέση με τη βασική περίπτωση του 2000 είναι η ακόλουθη:

- Η ζώνη Λάμαρης χωρίζεται σε δύο επιμέρους ζώνες
- Οι ζώνες Α και Β Λούρου συνδέονται με το σύστημα του Αράχθου και στο σύστημα εντάσσεται και ο Ελαιώνας Πρέβεζας
- Τίθεται σε λειτουργία το έργο του Μετσοβίτικου

Τα μέτρα που εξετάστηκαν είναι τα ακόλουθα :

- Ένταξη του ταμιευτήρα Αγ. Νικολάου
- Ένταξη του συστήματος ταμιευτήρων Στενού-Καλαρίτικου επί πλέον του ταμιευτήρα Αγ. Νικολάου
- Περιορισμός της χρήσης υπόγειων νερών

Το πιο ελκυστικό μέτρο αποδείχτηκε η ένταξη στο σύστημα του έργου του Στενού-Καλαρίτικου ενώ φάνηκε ότι είναι δυνατή και η μείωση των απολήψεων από τα υπόγεια αποθέματα.

Το γενικό συμπέρασμα για την περιοχή μελέτης είναι ότι αυτή έχει εξαιρετικά πλούσιο υδατικό δυναμικό σε μεγάλο βαθμό αναξιοποίητο και παρέχει μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης υδατικών πόρων για γεωργική, ενεργειακή και ιχθυοκομική χρήση.

Τα ειδικότερα συμπεράσματα σε σχέση με το σύνολο των στόχων που έθεσε η μελέτη παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1. Γενικά

Η μελέτη πιλότος για τη διαχείριση των λεκανών Λούρου και Αράχθου αποτελεί την πρώτη συστηματική αντιμετώπιση όλων των χρήσεων του νερού, επιφανειακού και υπόγειου, σε εκτεταμένη γεωγραφική περιοχή του ελληνικού χώρου. Η προσπάθεια αυτή είχε πολλά χρήσιμα αποτελέσματα, όχι μόνο για τη συγκεκριμένη περιοχή, αλλά ευρύτερης σημασίας. Έτσι:

- Δημιουργήθηκε μια ομάδα εργασίας στο ΥΒΕΤ, και υλοποιήθηκε η συνεργασία της τον εξειδικευμένο σε θέματα διαχείρισης υδατικών πόρων ολλανδικό οργανισμό Delft Hydraulics, και με τον Τομέα Υδατικών Πόρων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.
- Αναπτύχθηκε από τον ολλανδικό οργανισμό κατάλληλο λογισμικό για τη διαχείριση των υδατικών πόρων.
- Πραγματοποιήθηκε ανταλλαγή εμπειρίας μεταξύ των συνεργαζομένων ομάδων, και εξοικείωση της ομάδας εργασίας με τη λειτουργία του λογισμικού, αλλά και με τη γενικότερη αντιμετώπιση των υδατικών πόρων.
- Δημιουργήθηκαν οι προϋποθέσεις για μελλοντική πληρέστερη και εξελισσόμενη προσέγγιση των προβλημάτων των υδατικών πόρων της χώρας, καθώς και για πραγματοποίηση παρόμοιων διερευνήσεων σε άλλα υδατικά διαμερίσματα της χώρας.

Η επιλογή των λεκανών Λούρου και Αράχθου για τη συγκεκριμένη μελέτη-πιλότο υπήρξε ιδιαίτερα επιτυχής. Η γεωγραφική περιοχή των λεκανών αυτών συνδυάζει:

- Ποικιλία τοπογραφικών χαρακτηριστικών (μεγάλα υψόμετρα Άνω Αράχθου, πεδιάδα Άρτας-Πρέβεζας).
- Ποικιλία γεωλογικών σχηματισμών (φλύσχης λεκάνης Αράχθου, καρστ λεκάνης Λούρου, προσχώσεις Πεδιάδας Άρτας-Πρέβεζας).
- Ταυτόχρονη παρουσία πλούσιων επιφανειακών υδατικών πόρων, με ποικιλία υδρολογικής διαίτας (έντονη διακύμανση παροχής Αράχθου, ομαλή διαίτα Λούρου), και υπόγειων υδροφορέων, καρστικών (λεκάνη Λούρου) και προσχωματικών (Πεδιάδα Άρτας-Πρέβεζας).
- Σαφείς περιβαλλοντικές διαστάσεις, που σχετίζονται κυρίως με την παρουσία του οικολογικά ευαίσθητου Αμβρακικού κόλπου, ως τελικού αποδέκτη των υδατορευμάτων, ο οποίος προστατεύεται και από τη διεθνή σύμβαση RAMSAR.
- Μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης των υδατικών πόρων, και βελτίωσης της υποδομής των έργων διαχείρισης και διανομής.
- Πιθανούς κινδύνους υποβάθμισης υπόγειων υδατικών πόρων, από υπερεκμετάλλευση τους, λόγω υπαλμύρωσης.
- Ποικιλία χρήσεων, με προεξέχουσες την γεωργική και υδροηλεκτρική, και δευτερεύουσες την ιχθυοκαλλιεργητική, την οικιακή και βιομηχανική.

Γενικώς οι υδρολογικές λεκάνες Λούρου και Αράχθου χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα

πλούσιο υδατικό δυναμικό, σε μεγάλο βαθμό αναξιοποίητο. Από αυτή την άποψη οι εν λόγω λεκάνες δεν αποτελούν τυπική περίπτωση στον ελλαδικό χώρο, όπου είναι συνηθέστερες οι ελλειμματικές περιοχές, στις οποίες προβάλλει πιο έντονη η ανάγκη εξοικονόμησης νερού. Το γεγονός αυτό δημιουργεί κάποιες ιδιαιτερότητες στην ακολουθητέα μεθοδολογία, η οποία θα πρέπει να προσαρμοστεί κατάλληλα, προκειμένου να εφαρμοστεί σε άλλα υδατικά διαμερίσματα. Το θέμα αυτό αναλύεται περισσότερο σε επόμενες παραγράφους.

5.2. Μεθοδολογία

Η όλη μελέτη βασίστηκε στην χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή γεγονός που προσφέρει σαφή και προφανή μεθοδολογικά πλεονεκτήματα: τη δυνατότητα αποθήκευσης πληθώρας δεδομένων, την ταχύτητα υπολογισμών, την ευκολία εξέτασης πολλών εναλλακτικών λύσεων, τη δυνατότητα ανάλυσης της ευαισθησίας των αποτελεσμάτων, την εύκολη και πολύμορφη παρουσίαση των αποτελεσμάτων, και, το κυριότερο, τη δυνατότητα ευχερούς μελλοντικής πρόσβασης, αναθεώρησης, βελτίωσης και επέκτασης των μελετών. Στο σημείο αυτό θεωρούμε απαραίτητο να τονίσουμε δύο σημεία, τα οποία θα πρέπει να ληφθούν υπόψη σε μελλοντικές επεκτάσεις του προγράμματος σε άλλες λεκάνες:

- Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και το λογισμικό δεν αποτελούν πανάκεια, αλλά ένα σύγχρονο ισχυρό εργαλείο ανάλυσης, του οποίου η χρήση γίνεται καλύτερη και αποτελεσματικότερη, όταν ο χρήστης κατέχει το γνωσιολογικό υπόβαθρο του λογισμικού.
- Το ίδιο το λογισμικό δεν θα πρέπει να θεωρείται ως ένα οριστικό σύστημα ανάλυσης, αλλά ως υποκείμενο σε "γήρανση" ή και οριστική αχρήστευση, και ως εκ τούτου θα πρέπει πάντα να προβλέπεται η δυνατότητα συντήρησης, ανανέωσης ή αντικατάστασής του.
- Το υπό μελέτη υδατικό σύστημα είναι επίσης εξελισσόμενο και δυναμικό και κατά συνέπεια το λογισμικό θα πρέπει να δίνει τη δυνατότητα επεκτάσεων και τροποποιήσεων του συστήματος.

Η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε στο πρόγραμμα βασίζεται στην επιστημονική μέθοδο της προσομοίωσης. Η μέθοδος αυτή, σε αντίθεση με τη μέθοδο της βελτιστοποίησης, δεν είναι ικανή για την παραγωγή με άμεσο τρόπο της τελικής βέλτιστης λύσης, αλλά επιχειρεί να εξετάσει ξεχωριστά πολλές προκαθορισμένες από το μελετητή εναλλακτικές λύσεις, δίνοντας τις συνέπειες, οικονομικές ή άλλες, κάθε μιας από αυτές. Κατά συνέπεια ο μελετητής είναι υποχρεωμένος να φτάσει στην τελική λύση με μια πορεία διαδοχικών προσεγγίσεων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε τέτοιου είδους προβλήματα πολύπλοκων συστημάτων, όπως αυτό των λεκανών Λούρου και Αράχθου, με πολλούς κόμβους υδροληψίας και χρήσεων, είναι ανέφικτη η χρησιμοποίηση μεθόδων άμεσης βελτιστοποίησης, λόγω της απουσίας αποτελεσματικών αλγορίθμων για μη γραμμικά συστήματα με πολλές μεταβλητές και στοχαστικές εισόδους. Μόνο με υπεραπλουστεύσεις της πραγματικής κατάστασης και σε προβλήματα ακαδημαϊκού-ερευνητικού, παρά επιχειρησιακού χαρακτήρα, θα ήταν δυνατή η χρήση μεθόδων βελτιστοποίησης. Επομένως η επιλογή της μεθόδου της προσομοίωσης στο υπό μελέτη πρόβλημα κρίνεται ως επιτυχής.

Σε ότι αφορά την καθαρώς υδρολογική συνιστώσα του προβλήματος, η μέθοδος που ακολουθήθηκε χαρακτηρίζεται από τα ακόλουθα:

- Χρησιμοποίηση γενικά ιστορικών χρονοσειρών των υδρολογικών μεταβλητών σε μηνιαία βάση.
- Χρησιμοποίηση έτοιμων σειρών μηνιαίων παροχών, υπολογισμένων από τη ΔΕΗ, όπου αυτές υπήρχαν.

- Εφαρμογή του μοντέλου βροχής-απορροής BEMER για συμπλήρωση και επέκταση των δειγμάτων απορροής με βάση δεδομένα βροχοπτώσεων και εξατμίσεων.
- Τελικός σχηματισμός δειγμάτων 29ετούς διάρκειας (1960-1988).
- Πολύ περιορισμένη χρήση στατιστικής υδρολογίας, και εκτίμηση στοιχειωδών εμπειρικών πιθανοτήτων των δειγμάτων.
- Επιλογή τριών χαρακτηριστικών μεμονωμένων υδρολογικών ετών, από τα ιστορικά δείγματα (μέσο έτος, ξηρό, πολύ ξηρό), τα δεδομένα των οποίων χρησιμοποιήθηκαν ως εναλλακτικά υδρολογικά σενάρια και βάση όλων των υπολογισμών διαχείρισης.

Η παραπάνω μεθοδολογία, αν και αρκετά απλουστευτική, αξιολογείται ως επαρκής για τη συγκεκριμένη μελέτη, δεδομένου ότι η εξεταζόμενη περιοχή, λόγω του πλούσιου δυναμικού της δεν οδηγείται σε κρίσιμες καταστάσεις και κατά συνέπεια δεν απαιτούνται λεπτομερέστερες υδρολογικές αναλύσεις. Εξ άλλου το σύστημα, στη σημερινή του τουλάχιστον μορφή, δεν διαθέτει μεγάλους ταμιευτήρες υπερετήσιας ρύθμισης, και έτσι δεν αποκτά κρίσιμη σημασία η χρονική διαδοχή, από έτος σε έτος, των υδρολογικών μεγεθών. Θεωρούμε όμως σκόπιμο να επιστημονοποιήσουμε ότι για άλλα υδατικά διαμερίσματα, ιδιαίτερα της ανατολικής Ελλάδας, θα απαιτηθεί αναλυτική πιθανοτική θεώρηση, όχι μόνο των εισροών, αλλά και των αποτελεσμάτων της διαχείρισης. Για το σκοπό αυτό θα είναι απαραίτητη (α) προσφυγή στα πρωτογενή υδρολογικά δεδομένα και λεπτομερής ανάλυση τους, (β) η θεωρητική στατιστική ανάλυση των δεδομένων σε πολυδιάστατη βάση, (γ) η παραγωγή πολυδιάστατων συνθετικών χρονοσειρών μεγάλου μεγέθους, και (δ) η εφαρμογή όχι μεμονωμένων σεναρίων-ετών, αλλά η χρήση των πλήρων χρονοσειρών.

Ως προς το θέμα της σχηματοποίησης του συστήματος, πρέπει να παρατηρήσουμε ότι έγινε λεπτομερέστατη τοπολογική αναπαράσταση του φυσικού συστήματος, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο για τις ανάγκες της συγκεκριμένης μελέτης, αλλά και για άλλα προβλήματα τοπικού χαρακτήρα. Μάλιστα να χαρακτηριστεί ως υπερβολική για το σκοπό και για την κλίμακα που έγινε, αλλά η λεπτομέρεια της δικαιολογείται από το χαρακτήρα της μελέτης-πυλότητος. Πάντως θα πρέπει, σε επόμενη φάση της μελέτης να εξεταστεί και η δυνατότητα απλούστευσης της σχηματοποίησης του συστήματος εφόσον μελετώνται προβλήματα συνολικής διαχείρισης νερού σε επίπεδο υδατικού διαμερίσματος.

Ένα βασικό στοιχείο της προσομοίωσης του συστήματος είναι οι κανόνες λειτουργίας του. Γενικά το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε λειτουργεί με κανόνες προτεραιότητας χρήσεων, οι οποίες καθορίζονται εκ των προτέρων από το μελετητή και παραμένουν αμετάβλητες κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Σε ότι αφορά στα δεδομένα χρήσεων νερού και την οικονομική ανάλυση η συλλογή νέων δεδομένων είναι απαραίτητη για την πραγματοποίηση λεπτομερέστερων αναλύσεων με συνεκτίμηση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας όλων των έργων και των μακρο-οικονομικών παραμέτρων του προβλήματος. Οι τελευταίες αυτές αναλύσεις θα επιτρέψουν την σύγκριση των αποτελεσμάτων της μελέτης με τα αποτελέσματα άλλων λεπτομερών μελετών επιμέρους αναπτυξιακών έργων (π.χ. φραγμάτων) και την άμεση αντίληψη της σχέσης του επιπέδου συνολικής διαχείρισης και των επιμέρους έργων.

5.3. Αποτελέσματα

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων της μελέτης (βλ. MIET/DWNR & Delft Hydraulics, 1991) προκύπτει ότι το έργο που αλλάζει σημαντικά την ανάπτυξη των υδατικών πόρων της περιοχής είναι το σύστημα διασυνδεδεμένων ταμιευτήρων Στενού και Καλαρίτικου, με κυριότερη επίπτωση την αυξημένη παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Σε σχέση με τη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων για άρδευση, παρατηρείται γενικώς επάρκεια ποσοτήτων επιφανειακού και υπόγειου νερού, ενώ φαίνεται αναγκαία η μελλοντική μεταφορά υδατικών πόρων από τη λεκάνη Αράχθου

προς τη περιοχή Λούρου.

Τα αποτελέσματα της μελέτης προέκυψαν μετά από συνολική θεώρηση των υδρολογικών, διαχειριστικών και οικονομικών παραμέτρων του προβλήματος, και κατά συνέπεια παρουσιάζουν καθολικό και όχι μονομερή χαρακτήρα. Τέλος η μορφή με την οποία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα δίνουν τη δυνατότητα υποστήριξης της λήψης αποφάσεων για το σχεδιασμό και τη λειτουργία των υδατικών πόρων, προσφέροντας και διερευνώντας τις δυνατές εναλλακτικές επιλογές.

5.4. Σύγκριση με τις λεκάνες Ευήνου, Μόρνου και Υλίκης-Β.Κηφισού

Για την εναργέστερη κριτική θεώρηση της μεθοδολογίας και των αποτελεσμάτων της μελέτης, κρίθηκε σκόπιμη μια σύντομη σύγκριση της παρούσας μελέτης με αντίστοιχη μελέτη που εκπονήθηκε από τον Τομέα Υδατικών Πόρων του ΕΜΠ (βλ. Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1990α, Ναλμπάντης κ.α., 1990 και Nalbantis et al, 1991). Στην τελευταία περίπτωση ουσιαστικά είχαμε μία κύρια χρήση, την ύδρευση της Αθήνας, με δευτερεύουσα χρήση την άρδευση της Κωπαΐδας μέσω της Υλίκης. Η κύρια χρήση στη συγκεκριμένη περίπτωση είχε υψηλές απαιτήσεις, όπως εξασφάλιση αξιοπιστίας 99% (κατά μέσο όρο μια αστοχία κάθε 100 χρόνια) στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, καθώς και εξασφάλιση περιθωρίων ασφαλείας έναντι βλάβης κλπ. (βλ. Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1990β).

Οι απαιτήσεις αυτές καθόρισαν ανάλογα και την ακολουθητέα μέθοδο, η οποία σε αντίθεση με την μέθοδο του Λούρου-Αράχθου, δεν έδωσε έμφαση σε οικονομικά μεγέθη, αλλά στο υδρολογικό μέρος (προσδιορισμός υδρολογικών μεγεθών με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια) με έμφαση στις στοχαστικές συνιστώσες του προβλήματος. Έτσι, μετά από λεπτομερείς αναλύσεις των ιστορικών δεδομένων, καταρτίστηκαν μοντέλα υδρολογικής προσομοίωσης, που παρήγαγαν συνθετικά δείγματα σε μηνιαία βάση ολικού μήκους 5000 ετών. Αντί των οικονομικών μεγεθών των αποτελεσμάτων των εναλλακτικών πολιτικών σχεδιασμού και διαχείρισης, ως τελικό κριτήριο επιλογής θεωρήθηκε το τελικώς επιτυγχανόμενο επίπεδο αξιοπιστίας του συστήματος.

Το διαχειριστικό μοντέλο, που καταρτίστηκε στο ΕΜΠ, εξειδικευμένο για το σύστημα Ευήνου-Μόρνου-Υλίκης, λειτούργησε με συνεχείς πολλαπλές χρονοσειρές, σε τρόπο ώστε να μπορεί να εκτιμηθεί με αξιόπιστο τρόπο η πολιτική που εξασφαλίζει τον απαιτούμενο βαθμό αξιοπιστίας 99%. Το υδροδοτικό σύστημα ήταν αρκετά πολύπλοκο, με τρεις βασικούς ταμειυτήρες υπερετησίας ρύθμισης, ένα ταμειυτήρα ασφαλείας, ένα ταμειυτήρα αναρρύθμισης, ενισχυτικές πηγές (κυρίως από υπόγεια νερά) και πολλούς αγωγούς, ακόμα και αμφίδρομης ροής. Όμως για την κατάρτιση του σχηματοποιημένου μοντέλου του συστήματος έγιναν απλουστεύσεις, παίρνοντας υπόψη τους κύριους κόμβους και τα κύρια υδραγωγεία, αλλά η μαθηματική προσομοίωση της λειτουργίας έγινε με τον πληρέστερο δυνατό τρόπο.

Όπως και στην περίπτωση του Λούρου-Αράχθου, η όλη ανάλυση βασίστηκε στη μέθοδο της προσομοίωσης. Στην προσομοίωση λειτουργίας καταρτίστηκαν κανόνες λειτουργίας βασισμένοι στην προτεραιότητα, τόσο των χρήσεων όσο και των πηγών υδροδότησης. Όμως στην περίπτωση Ευήνου-Μόρνου-Υλίκης οι προτεραιότητες ήταν δυναμικά εξαρτώμενες από τις στάθμες των ταμειυτήρων, και για τον καθορισμό τους έγινε έμμεση βελτιστοποίηση.

Συμπερασματικά, και οι δύο περιπτώσεις Λούρου-Αράχθου και Ευήνου-Μόρνου-Υλίκης παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά και διαφορές, που προσδιορίζονται από τις διαφορετικές υδρολογικές διαίτες, επιχειρησιακές ανάγκες και σκοπιμότητες μελετών.

5.5. Συμπεράσματα - Προοπτικές

Η εκπόνηση της μελέτης-πλότου για τη διαχείριση των λεκανών Λούρου και Αράχθου, κάλυψε

τους στόχους της και ανταποκρίθηκε στο χαρακτηρισμό της ως μελέτης-πυλόνου. Αποτελεί ένα πολύ αξιόλογο ξεκίνημα στην ανάπτυξη και διαχείριση των υδατικών πόρων της χώρας, και δημιουργεί τις προϋποθέσεις για μελλοντική πληρέστερη και εξελισσόμενη προσέγγιση των προβλημάτων των υδατικών πόρων, καθώς και για πραγματοποίηση παρόμοιων διερευνήσεων σε άλλα υδατικά διαμερίσματα της χώρας.

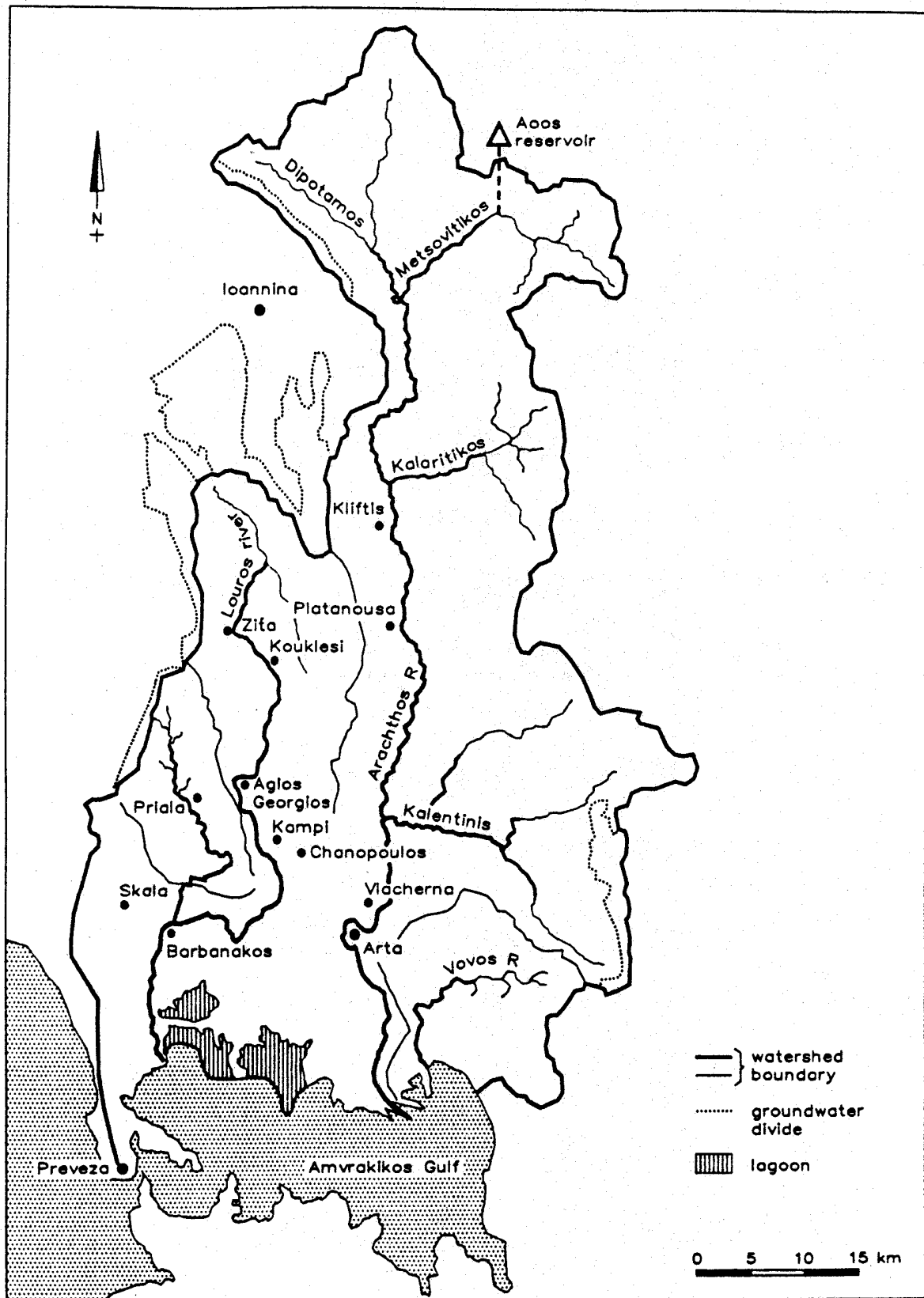
Τα ασθενή σημεία της μελέτης που επισημάνθηκαν, και που κυρίως αφορούν στο υδρολογικό μέρος, δεν αποτελούν ουσιαστικές ελλείψεις από επιχειρησιακής πλευράς.

Σημαντικό όφελος αποτελεί η απόκτηση εμπειρίας των τριών ομάδων εργασίας (YBET, Delft Hydraulics, ΕΜΠ) και η ανάπτυξη της συνεργασίας μεταξύ τους.

Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα της μελέτης αποτελούν μια ορθολογική βάση για λήψη αποφάσεων για την ανάπτυξη και τη διαχείριση των υδατικών πόρων των λεκανών Λούρου και Αράχθου. Κυρίως όμως, με τη συγκεκριμένη μεθοδολογία δημιουργήθηκε ένα πρακτικό και επιστημονικά θεμελιωμένο εργαλείο κατάλληλο για την αντιμετώπιση υδατικών θεμάτων, για τον έλεγχο και την τεχνική υποστήριξη της άσκησης υδατικής πολιτικής.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Δ. Κουτσογιάννης, & Θ. Ξανθόπουλος (1990α): *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 19, Συνοπτική Έκθεση, Ε.Μ.Π, Αθήνα.
- Δ. Κουτσογιάννης, & Θ. Ξανθόπουλος (1990β): *Αξιοπιστία και ασφάλεια του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, στο "Προοπτικές επίλυσης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας"*, Πρακτικά επιστ. ημερίδας ΕΕΔΥΠ, Εκδόσεις Γ. Φούντας, Αθήνα.
- Κ. Μπεζές (1990): *Ανάλυση και περιγραφή του μοντέλου BEMER*, Αθήνα.
- Ι. Ναλμπάντης, Δ. Κουτσογιάννης, Κ. Τσολακίδης & Θ. Ξανθόπουλος (1990β): *Σχεδιασμός και λειτουργία του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, στο "Προοπτικές επίλυσης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας"*, Πρακτικά επιστ. ημερίδας ΕΕΔΥΠ, Εκδόσεις Γ. Φούντας, Αθήνα.
- Delft Hydraulics (1987): *River basin simulation model - RIBASIM (PC-version 1), User's manual*, Delft.
- Delft Hydraulics (1989): *HYMOS - Lecture Notes*, Delft.
- D. Koutsoyiannis, K. Tsolakidis & N. Mamassis, (1991): *HYDRA-PC, A Data-base system for regional hydrological data management*, in G. Tsakiris (editor), *Advances in Water Resources Technology*, Balkema, Rotterdam.
- Ministry of Industry, Energy and Technology, Directorate for Water and National Resources (MIET/DWNR), Delft Hydraulics & TNO Institute of Applied Geoscience (1989): *Pilot study for water resources management of the Louros and Arachthos river basins*, Inception report, Athens.
- Ministry of Industry, Energy and Technology, Directorate for Water and National Resources (MIET/DWNR) & Delft Hydraulics (1990): *Pilot study for water resources management of the Louros and Arachthos river basins*, Progress report no 1, Athens.
- Ministry of Industry, Energy and Technology, Directorate for Water and National Resources (MIET/DWNR) & Delft Hydraulics (1991): *Pilot study for water resources management of the Louros and Arachthos river basins*, Study report (draft), Athens.
- I. Nalbantis, D. Koutsoyiannis & T. Xanthopoulos (1991), *Modelling of the Athens water supply system*, paper presented in the European Conference "Advances in Water Resources Technology", Athens 20-23 March 1991.



Σχήμα 1. Χάρτης της περιοχής μελέτης (MIET/DWNR & Delft Hydraulics, 1991)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Εργασίες ομάδας ΕΜΠ:

1. Συμμετοχή με πλήρη απασχόληση ενός ατόμου στις εργασίες της προκαταρκτικής φάσης της μελέτης (Inception/phase).
2. Συμμετοχή στη συλλογή στοιχείων στην περιοχή της μελέτης με 3 επί τόπου μεταβάσεις (Μάιος 1989, Ιούνιος 1989, Μάιος 1990).
3. Συμμετοχή στις συσκέψεις με τους επιστήμονες της ομάδας του ΥΒΕΤ και του Delft Hydraulics για τον καθορισμό του τεχνικού αντικειμένου της σύμβασης κατά την προκαταρκτική φάση.
4. Συμμετοχή σε διορθώσεις, παρατηρήσεις και σχόλια επάνω στα προσχέδια των εκθέσεων: Προκαταρκτική Έκθεση (Σεπτέμβριος 1989), Έκθεση Προόδου (Απρίλιος 1990), Τελική Έκθεση (Μάρτιος 1991).
5. Διάθεση του λογισμικού HYDRA-PC από πλευράς του ΕΜΠ για την αρχειοθέτηση των δεδομένων.
6. Συλλογή, αξιολόγηση και αρχειοθέτηση σε Η/Υ του συνόλου των υδρομετεωρολογικών δεδομένων της μελέτης σε ημερήσια βάση εκτός εκείνων που δόθηκαν από το ΙΓΜΕ και εκείνων που λήφθηκαν απευθείας σε μηνιαία βάση. Ο όγκος των στοιχείων αυτών αποτιμάται σε 1400 υδρολογικά χρόνια.
7. Συμμετοχή στην εκπαίδευση των Ελλήνων επιστημόνων στη χρήση των πακέτων HYMOS και RIBASIM και συμβολή στην μεταφορά τεχνογνωσίας.
8. Γνωμοδότηση για την οριστική παραλαβή των λογισμικών HYMOS και RIBASIM από την Delft Hydraulics.
9. Συμμετοχή στις εργασίες της ομάδας του ΥΒΕΤ στους χώρους των εργαστηρίων του Delft Hydraulics (Ολλανδία).
10. Αξιολόγηση της μεθοδολογίας και των αποτελεσμάτων της μελέτης.