

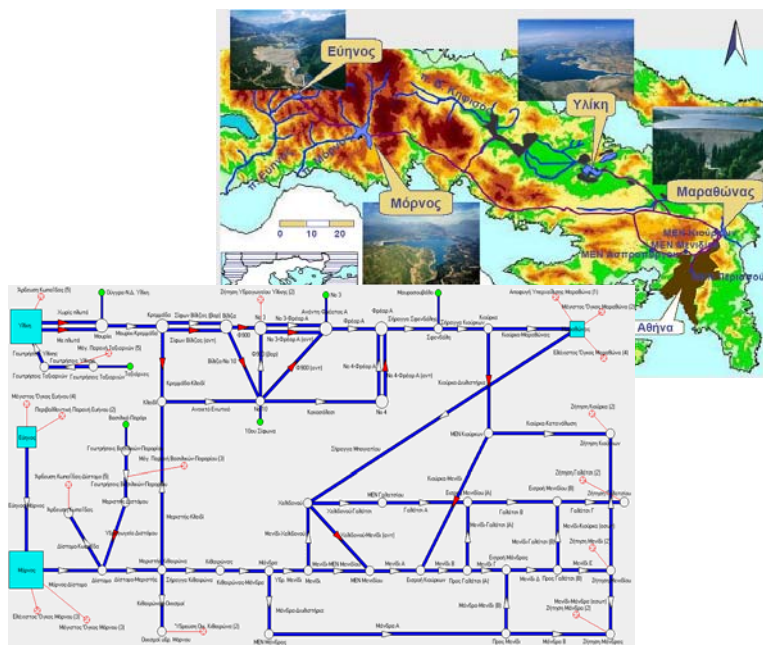


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
(Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΛΗΨΙΜΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΔΡΕΥΣΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ «ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ»



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ:

ΡΟΜΠΟΚΑ ΜΑΡΙΑ

Μηχ/κός Μεταλλείων - Μεταλλουργός ΕΜΠ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Λέκτορας: **N. ΜΑΜΑΣΗΣ**

Αθήνα, Φεβρουάριος 2009

Δ.Π.Μ.Σ.

**«Περιβάλλον
και
Ανάπτυξη»**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο βέλτιστος έλεγχος ενός υδροσυστήματος, ειδικότερα δε ενός υδροσυστήματος μεγάλης κλίμακας όπως είναι αυτό της Αθήνας, προϋποθέτει ολιστική προσέγγιση, με στόχο την ποσοτικά αξιόπιστη, ποιοτικά και περιβαλλοντικά ασφαλή, και οικονομικά πρόσφορη κάλυψη των υδατικών αναγκών, μέσω κατάλληλης αξιοποίησης των διαθέσιμων πόρων. Οι επιζητούμενοι τρόποι διαχείρισης πρέπει να χαρακτηρίζονται από ορθολογικότητα, δηλαδή να είναι επιστημονικά θεμελιωμένοι, αποδοτικότητα, δηλαδή να αξιοποιούν τους υδατικούς πόρους στο μέγιστο δυνατό βαθμό, και βιωσιμότητα, δηλαδή να μη δημιουργούν πρόβλημα εξάντλησης των υδατικών πόρων στο μέλλον για την κάλυψη των σημερινών αναγκών.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί το επιστέγασμα των προσπαθειών μου για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος με τίτλο «Περιβάλλον και Ανάπτυξη» του τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ. Με την ολοκλήρωσή της λήγει μια τεράστια προσωπική προσπάθεια για την απόκτηση όσο το δυνατόν περισσότερων γνώσεων γύρω από πολύπλοκα περιβαλλοντικά ζητήματα που επιζητούν ολοκληρωμένη αντιμετώπιση.

Πριν αρχίσει το κυρίως μέρος της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή αυτής κ. Νικόλαο Μαμάση και τους κ.κ. Ανδρέα Ευστρατιάδη και Γιώργο Καραβοκυρό για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή τους κατά την υλοποίησή της.

Επιπλέον, οφείλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στο σύνολο των διδασκόντων του ΠΜΣ για τη μετάδοση των γνώσεών τους, δημιουργώντας ταυτόχρονα ένα αληθινό και ζεστό περιβάλλον υπό τις συμβουλές και οδηγίες του διευθυντή κ. Δ. Ρόκου.

Τέλος, από καρδιάς ευχαριστώ την οικογένειά μου και όσους μου στάθηκαν ηθικά στη δύσκολη αυτή πορεία εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Μαρίτα Ρομπόκα
Ζωγράφου, Φλεβάρης 2009

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	8
ABSTRACT	11
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΥΔΑΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	17
1.1 ΥΔΑΤΙΚΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ.....	17
1.2 ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ	20
1.3 ΥΔΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	22
1.4 ΥΔΑΤΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ	24
1.5 ΥΔΑΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ.....	27
1.6 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΥΔΑΤΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΔΑΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ	32
2.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ	32
2.2 ΠΛΑΙΣΙΟ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ	34
2.3 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	38
2.4 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ.....	41
2.5 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΕΩΝ	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ	49
3.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ.....	49
3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ.....	51
3.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ (ΣΥΑ) ΓΙΑ ΤΟ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ	55
3.3.1 Υδρονομέας: Σύστημα πληροφορικής για το σχεδιασμό και τη διαχείριση συστημάτων υδατικών πόρων.....	56
3.3.2 Κασταλία: Σύστημα στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών μεταβλητών.....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ.....	63
4.1 Η ΥΔΡΕΥΣΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ ΜΕΧΡΙ ΣΗΜΕΡΑ ...	63

4.2	ΥΔΡΟΔΟΤΟΥΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	65
4.3	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΧΡΗΣΕΩΝ	66
4.4	ΤΟ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	69
4.4.1	Υδατικοί Πόροι	70
4.4.2	Πηγές Υδροληψίας.....	71
4.4.3	Μεταφορά Νερού	74
4.4.4	Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα	79
4.4.5	Επεξεργασία Νερού.....	79
4.4.6	Δίκτυο Ύδρευσης	80
4.5	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ.....	81
4.6	ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ-ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 (ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ): ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΣΦΑΛΟΥΣ		
ΑΠΟΛΗΨΙΜΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΔΡΕΥΣΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ		
ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ «ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ»		83
5.1	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ.....	83
5.2	ΣΧΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	88
5.3	ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	90
5.3.1	Κόμβοι.....	90
5.3.2	Ταμειυτήρες.....	91
5.3.3	Γεωτρήσεις	98
5.3.4	Υδραγωγεία	100
5.3.5	Αντλιοστάσια	103
5.4	ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ.....	106
5.5	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	110
5.6	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ.....	113
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....		126
6.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	126
6.2	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ	128
6.3	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	131
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		134
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....		143
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....		162

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 4.1: Τεχνητή λίμνη Ευήνου.....	69
Εικόνα 4.2: Τεχνητή λίμνη Μαραθώνα.....	70
Εικόνα 4.3: Τεχνητή λίμνη Μόρνου.....	71
Εικόνα 4.4: Φυσική λίμνη Υλίκη.....	71

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού.....	17
Πίνακας 2.1: Ευρωπαϊκές και Μεσογειακές χώρες με περισσότερα από 50 μεγάλα φράγματα και αντίστοιχος αριθμός φραγμάτων.....	36
Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκανών απορροής.....	69
Πίνακας 5.1: Δεδομένα κόμβων υδροσυστήματος Αθήνας.....	88
Πίνακας 5.2: Συντελεστές χωρικής κατανομής της κατανάλωσης νερού στην Αθήνα ανά διυλιστήριο (%), με βάση τα στοιχεία του υδρολογικού έτους 2007-08.....	105
Πίνακας 5.3: Στόχοι και λειτουργικοί περιορισμοί υδροσυστήματος Αθήνας.....	107
Πίνακας 5.4: Χαρακτηριστικά μεγέθη πρωτογενών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών.....	109
Πίνακας 5.5: Αποτελέσματα σεναρίων βελτιστοποίησης για την εκτίμηση του θεωρητικού δυναμικού του συστήματος.....	114
Πίνακας 5.6: Μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο ταμιευτήρων (σε hm ³) για το σενάριο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος, με θεώρηση απεριόριστης παροχετευτικότητας των υδραγωγείων και απαγόρευσης χρήσης γεωτρήσεων (σενάριο A4).....	116

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Ο κύκλος του νερού.....	16
Σχήμα 1.2: Παγκόσμια κατανομή νερού.....	17
Σχήμα 1.3: Μέγιστα, ελάχιστα, προηγούμενου & τρέχοντος έτους αποθέματα ταμιευτήρων.....	29
Σχήμα 2.1: Τα 14 υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας.....	33
Σχήμα 2.2: Περιοχές Ελλάδας που έχει γίνει τεχνητός εμπλουτισμός.....	43
Σχήμα 3.1: ΣΥΑ WATERSHEDSS.....	49
Σχήμα 3.2: ΣΥΑ για τη λειτουργία του ταμιευτήρα Tsengwen.....	50
Σχήμα 3.3: CRDSS (Colorado River Decision Support System).....	50
Σχήμα 3.4: ΣΥΑ MODSIM.....	51
Σχήμα 3.5: Μοντέλο MIKE BASIN.....	52
Σχήμα 3.6: Μοντέλο RIBASIM.....	52
Σχήμα 3.7: Μοντέλο WEAP.....	53
Σχήμα 3.8: Οι συνιστώσες του ΣΥΑ για το υδροσύστημα της Αθήνας.....	54
Σχήμα 3.9: Μοντέλο «Υδρονομέας».....	55
Σχήμα 3.10: Μαθηματικό υπόβαθρο Υδρονομέας.....	56
Σχήμα 3.11: Διάγραμμα ροής σχήματος γέννησης συνθετικών χρονοσειρών για τη στοχαστική	

προσομοίωση συστημάτων υδατικών πόρων σε μηνιαία χρονική κλίμακα, για n συνολικά έτη	59
Σχήμα 4.1: Δήμοι και Κοινότητες εντός περιοχής αρμοδιότητας ΕΥΔΑΠ	64
Σχήμα 4.2: Εξέλιξη κατανάλωσης νερού-πληθυσμού-υδρευτικών έργων στην πρωτεύουσα κατά την περίοδο 1927-2008	64
Σχήμα 4.3: Χρονική εξέλιξη κοινής και συνολικής κατανάλωσης.....	66
Σχήμα 4.4: Χρονική εξέλιξη των διαφόρων κατηγοριών κατανάλωσης (πλην της κοινής)	67
Σχήμα 4.5: Γενική διάταξη του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας	68
Σχήμα 4.6: Υδραγωγείο Μόρνου ανάντη ενωτικού υδραγωγείου Διστόμου	74
Σχήμα 4.7: Υδραγωγείου Μόρνου κατάντη ενωτικού υδραγωγείου Διστόμου.....	74
Σχήμα 4.8: Υδραγωγείο Υλίκης	75
Σχήμα 5.1: Διάγραμμα ροής του μεθοδολογικού σχήματος παραμετροποίηση-προσομοίωση-βελτιστοποίηση.....	82
Σχήμα 5.2: Διαδικασία βελτιστοποίησης.....	85
Σχήμα 5.3: Σχηματοποίηση του υδροσυστήματος της Αθήνας στο μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης «Υδρονομέας»	87
Σχήμα 5.4: Φόρμα δεδομένων ταμιευτήρα Ευήνου.....	90
Σχήμα 5.5: Φόρμα δεδομένων ταμιευτήρα Μαραθώνα.....	91
Σχήμα 5.6: Φόρμα δεδομένων ταμιευτήρα Μόρνου.....	93
Σχήμα 5.7: Φόρμα δεδομένων ταμιευτήρα Υλίκης	95
Σχήμα 5.8: Φόρμες δεδομένων γεωτρήσεων Μαυροσουβάλας και Βασιλικών-Παρορίου	97
Σχήμα 5.9: Φόρμα δεδομένων σήραγγας Ευήνου-Μόρνου.....	99
Σχήμα 5.10: Φόρμα δεδομένων σήραγγας Μπογιατίου.....	100
Σχήμα 5.11: Φόρμα δεδομένων πλωτών αντλιοστασίων Υλίκης	102
Σχήμα 5.12: Φόρμα δεδομένων κυρίου αντλιοστασίου Υλίκης (χωρίς πλωτά)	103
Σχήμα 5.13: Σχηματική απεικόνιση της χωρικής κατανομής της κατανάλωσης νερού στην Αθήνα ανά διυλιστήριο (%), με βάση τα στοιχεία του υδρολογικού έτους 2007-08	105
Σχήμα 5.14: Συνθετική χρονοσειρά ετήσιας απορροής 2000 ετών στον ταμιευτήρα Ευήνου (σε mm) και κινούμενοι μέσοι όροι 100 ετών.....	110
Σχήμα 5.15: Γραφική απεικόνιση 15 σεναρίων ετήσιας απορροής στον ταμιευτήρα Ευήνου (σε mm) για τη δεκαετία 2009-2018	110
Σχήμα 5.16: Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας στο μοντέλο του Υδρονομέα χωρίς την ύπαρξη των γεωτρήσεων (σενάριο A4).....	112
Σχήμα 5.17: Μεταβλητές ελέγχου	113
Σχήμα 5.18: Κριτήρια στοχικής συνάρτησης	114
Σχήμα 5.19: Διάγραμμα της θεωρητικής ασφαλούς απόληξης του συστήματος για διάφορες πολιτικές χρήσης των γεωτρήσεων. Οι τιμές έχουν προκύψει μετά από βελτιστοποίηση των κανόνων λειτουργίας των ταμιευτήρων και με θεώρηση άπειρης παροχετευτικότητας των υδραγωγείων	115
Σχήμα 5.20: Βέλτιστοι κανόνες λειτουργίας ταμιευτήρων Μόρνου, Ευήνου, Υλίκης και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος με θεώρηση απεριόριστης παροχετευτικότητας υδραγωγείων και απαγόρευσης χρήσης γεωτρήσεων (σενάριο A4)	117

Σχήμα 5.21: Γραφική παράσταση βέλτιστων κανόνων λειτουργίας ταμιευτήρων Μόρνου, Ευήνου, Υλίκης και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος με θεώρηση απεριόριστης παροχευτικότητας των υδραγωγείων και απαγόρευσης χρήσης γεωτρήσεων (σενάριο Α4).....	118
Σχήμα 5.22: Βέλτιστοι κανόνες λειτουργίας ταμιευτήρων Μόρνου, Ευήνου, Υλίκης και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος με θεώρηση απεριόριστης παροχευτικότητας υδραγωγείων για την επικρατούσα πολιτική χρήσης γεωτρήσεων	119
Σχήμα 5.23: Γραφική παράσταση βέλτιστων κανόνων λειτουργίας ταμιευτήρων Μόρνου, Ευήνου, Υλίκης και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος με θεώρηση απεριόριστης παροχευτικότητας υδραγωγείων για την επικρατούσα πολιτική χρήσης γεωτρήσεων.....	120
Σχήμα 5.24: Μέση ετήσια πιθανότητα αστοχίας για τις τιμές ζήτησης νερού που τέθηκαν στις πέντε πολιτικές χρήσης των γεωτρήσεων. Οι τιμές έχουν προκύψει μετά από βελτιστοποίηση των κανόνων λειτουργίας των ταμιευτήρων και με θεώρηση άπειρης παροχευτικότητας στα υδραγωγεία	121
Σχήμα 5.25: Βέλτιστοι κανόνες λειτουργίας ταμιευτήρων Μόρνου, Ευήνου, Υλίκης και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος χωρίς τους λειτουργικούς περιορισμούς μεγίστου αποθέματος των ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου, με θεώρηση απεριόριστης παροχευτικότητας υδραγωγείων και απαγόρευσης χρήσης γεωτρήσεων.....	122
Σχήμα 5.26: Γραφική παράσταση βέλτιστων κανόνων λειτουργίας ταμιευτήρων Μόρνου, Ευήνου, Υλίκης και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος χωρίς τους λειτουργικούς περιορισμούς μεγίστου αποθέματος των ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου, με θεώρηση απεριόριστης παροχευτικότητας υδραγωγείων και απαγόρευσης χρήσης γεωτρήσεων	123

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διαχείριση και προστασία των υδατικών πόρων είναι στενά συνδεδεμένη με τη βιωσιμότητα της κοινωνίας και του περιβάλλοντος, όπως επίσης και με την οικονομική ανάπτυξη και ευημερία. Η Αθήνα, έχει αναπτύξει σήμερα ένα αξιόπιστο, εκτενές και σύνθετο σύστημα υδατικών πόρων που περιλαμβάνει επιφανειακά νερά (πόροι τεσσάρων ταμιευτήρων), υπόγειους υδατικούς πόρους, 310 km κύριων υδραγωγείων, 13 αντλητικούς σταθμούς, περισσότερες από 100 γεωτρήσεις και τέσσερις μονάδες επεξεργασίας νερού (ΜΕΝ). Το σύστημα των υδατικών πόρων εξυπηρετεί και δευτερεύουσες χρήσεις, όπως την άρδευση αγροτικών περιοχών και την ύδρευση γειτονικών πόλεων, ενώ καλύπτει και τη διατήρηση μόνιμης ροής $1 \text{ m}^3/\text{s}$ στα κατάντη του φράγματος Ευήνου για περιβαλλοντικούς σκοπούς. Υπεύθυνη για τη λειτουργία του συστήματος είναι η Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ).

Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (ΣΥΑ), σε συνδυασμό με την ανθρώπινη κρίση και εμπειρία, μπορούν να συμβάλλουν στη λήψη ορθολογικών αποφάσεων σε ευρύ φάσμα ασθενώς δομημένων τεχνολογικών προβλημάτων. Η βέλτιστη διαχείριση συστημάτων υδατικών πόρων αποτελεί ένα από τα τυπικά πεδία εφαρμογής των ΣΥΑ. Από το 2000, η διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας γίνεται με τη βοήθεια ενός εξελιγμένου ΣΥΑ, βασική συνιστώσα του οποίου είναι το μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης της διαχείρισης υδατικών συστημάτων «Υδρονομέας». Το μαθηματικό υπόβαθρο του Υδρονομέα ακολουθεί το σχήμα παραμετροποίηση-προσομοίωση-βελτιστοποίηση. Η προσομοίωση εφαρμόζεται για την πιστή αναπαράσταση της λειτουργίας του συστήματος, που εκφράζεται με τη μορφή παραμετρικών κανόνων διαχείρισης, ενώ η βελτιστοποίηση εφαρμόζεται για να εντοπίσει τη βέλτιστη διαχειριστική πολιτική, η οποία ελαχιστοποιεί ταυτόχρονα τη διακινδύνευση και το κόστος κατά τη λήψη αποφάσεων.

Στην παρούσα εργασία, μέσω του λογισμικού «Υδρονομέας», γίνεται μια προσπάθεια εκτίμησης του ασφαλούς απολήψιμου δυναμικού για την ύδρευση της Αθήνας για αποδεκτό επίπεδο αξιοπιστίας ίσο με 99% σε ετήσια βάση, που σημαίνει ότι είναι ανεκτή μία αστοχία κατά μέσο όρο την εκατονταετία. Η μεθοδολογία διαχείρισης που ακολουθείται διακρίνεται σε επιμέρους βήματα.

Πρώτο βήμα είναι η σχηματοποίηση, δηλαδή ο μετασχηματισμός των συνιστωσών του πραγματικού συστήματος της Αθήνας σε συνιστώσες του μοντέλου «Υδρονομέας» που αναπαριστά το εν λόγω σύστημα και ακολουθεί η εισαγωγή των δεδομένων εισόδου. Στοιχεία εισόδου του μοντέλου είναι α) η δομή του δικτύου, ήτοι οι συνιστώσες του και τα χαρακτηριστικά τους, και η τοπολογία και β) οι χρονοσειρές εισροών και απωλειών των ταμιευτήρων, οι οποίες παράγονται συνθετικά με το λογισμικό Κασταλία. Ο καθορισμός των στόχων και λειτουργικών προσδιορισμών ολοκληρώνει την ανάπτυξη του μοντέλου.

Κατόπιν, εξετάζεται μια σειρά σεναρίων αναφορικά με την υδροδότηση της Αθήνας για διάφορες υποθετικές καταστάσεις λειτουργίας του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, εκτιμάται το ασφαλές δυναμικό, ώστε η αξιοπιστία του συστήματος να ανέρχεται ακριβώς στο 99%, για τιμή ζήτησης που κυμαίνεται από 400 hm³ έως 610 hm³ ετησίως και για πέντε διαφορετικές πολιτικές χρήσης γεωτρήσεων (εντατική, συντηρητική, περιορισμένη, απαγόρευση χρήσης και τρέχουσα).

Αντικείμενο των σεναρίων είναι ο προσδιορισμός του θεωρητικού δυναμικού του υδροσυστήματος για τις παραπάνω πέντε πολιτικές χρήσης γεωτρήσεων, με άρση των περιορισμών παροχτετευτικότητας των υδραγωγείων και ανεξαρτήτως οικονομικών όρων. Ως προς τη μοντελοποίηση τους, οι γεωτρήσεις, οι οποίες θεωρούνται εφεδρικοί υδατικοί πόροι, ομαδοποιούνται ώστε να αναπαριστούν τη συνολική απόληψη (άντληση) νερού από κάθε υδραυλικά ανεξάρτητο υπόγειο σύστημα (υδροφορέα). Ανά ομάδα γεωτρήσεων εισάγονται δύο παράμετροι τύπου κατωφλίου, που εκφράζουν τα κρίσιμα όρια του ποσοστού πλήρωσης των ταμιευτήρων. Σε περίπτωση που το ποσοστό ολικό απόθεμα/ολική χωρητικότητα υπερβαίνει το άνω όριο, τότε απαγορεύεται η χρήση της συγκεκριμένης ομάδας και οι απολήψεις νερού πραγματοποιούνται αποκλειστικά από τους ταμιευτήρες, ενώ αν το ποσοστό είναι μικρότερο από το κάτω όριο, τότε επιβάλλεται η χρήση της συγκεκριμένης ομάδας, ανεξαρτήτως κόστους. Σε ενδιάμεσες τιμές, η ομάδα γεωτρήσεων ενεργοποιείται ή όχι με βάση οικονομικά κριτήρια (κατανάλωση ενέργειας). Οι παράμετροι των κανόνων λειτουργίας των ταμιευτήρων αποτελούν τις μεταβλητές ελέγχου του προβλήματος, οι οποίες εκτιμώνται μέσω βελτιστοποίησης και η μέση ετήσια πιθανότητα αστοχίας των στόχων ύδρευσης που έχουν τεθεί στις τέσσερις ΜΕΝ, στις οποίες επιμερίζεται η συνολική ζήτηση νερού στην Αθήνα, τις προς βελτιστοποίηση μεταβλητές (κριτήρια) της στοχικής συνάρτησης.

Η εκτέλεση βελτιστοποίησης υπό συνθήκες σταθερής ζήτησης και για χρονικό ορίζοντα 2000 ετών υπολογίζει ότι, σε ετήσια βάση, το ασφαλές απολήψιμο δυναμικό στα διυλιστήρια, ανέρχεται σε 608 hm³ για εντατική χρήση των γεωτρήσεων, σε 575 hm³ για συντηρητική και σε 535 hm³ για περιορισμένη, ενώ αν αγνοηθεί η δυνατότητα αξιοποίησης των υπόγειων υδατικών πόρων, η ασφαλής απόδοση του συστήματος είναι 450 hm³/έτος. Αντίστοιχα, με την τρέχουσα πολιτική χρήσης γεωτρήσεων που εφαρμόζει η ΕΥΔΑΠ, η μέγιστη ασφαλής ποσότητα νερού στα διυλιστήρια υπολογίζεται στα 570 hm³/έτος.

Στη συνέχεια, επιχειρείται εκτίμηση του ασφαλούς απολήψιμου δυναμικού για την ύδρευση της Αθήνας σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Θεωρώντας το επίπεδο αξιοπιστίας του συστήματος στο 99% και πολιτική χρήσης γεωτρήσεων την πολιτική που εφαρμόζει η ΕΥΔΑΠ επί του παρόντος, με τις επίκαιρες τιμές παροχτετευτικότητας των υδραγωγείων, η βελτιστοποίηση περιορίζει το ασφαλές ετήσιο απολήψιμο δυναμικό στα διυλιστήρια στα 480 hm³.

Τέλος, διερευνάται αν και με ποιο τρόπο οι λειτουργικοί περιορισμοί μεγίστου

αποθέματος που έχουν τεθεί στους ταμειωτήρες Μόρνου και Ευήνου επιδρούν στην αξιοπιστία του συστήματος. Σε αυτή την περίπτωση, καταργώντας τους συγκεκριμένους περιορισμούς και με θεώρηση απεριόριστης παροχαρακτηριστικότητας στα υδραγωγεία και χρήσης μόνο των επιφανειακών υδάτων, για ετήσια ζήτηση 450 hm^3 νερού, η εκτέλεση βελτιστοποίησης καταδεικνύει ότι δεν υπάρχει καμία αλλαγή στην αξιοπιστία του συστήματος (η μέση ετήσια πιθανότητα αστοχίας του στόχου ύδρευσης της Αθήνας διατηρείται όπως και στην περίπτωση της ύπαρξης των λειτουργικών περιορισμών στο 1%).

Η εργασία ολοκληρώνεται με μια σύνοψη των κυριότερων συμπερασμάτων και τη διατύπωση ορισμένων προτάσεων στην κατεύθυνση της βελτίωσης της λειτουργίας του συστήματος υδροδότησης της Αθήνας, καθώς επίσης και για τον περιορισμό της υδατικής κατανάλωσης και την ορθολογική χρήση του νερού.

ABSTRACT

Management and protection of water resources is closely related to the sustainability of the society and the environment as well as to the economical development and prosperity. Athens has developed today a reliable, extensive and complex water resource system that includes surface water (resources four reservoirs), groundwater resources, 310 km of main aqueducts, 13 pumping stations, more than 100 boreholes and four water treatment plants (WTPs). The water resource system also serves secondary uses such as irrigation and water supply of nearby towns and also provides an environmental preservation flow of 1 m³/s in the Evinos River. The system is run by the Athens Water Supply and Sewerage Company (EYDAP).

Decision support systems (DSS), in combination with human judgment and experience, may guide to rational decisions in a variety of ill-structured technological problems. Optimal management of water resource systems constitutes a typical field for the application of DSS. Since 2000, an advanced DSS has been developed for the management of the Athens water resource system. In particular, the model for simulating and optimising the management of water resources "Hydronomeas", is in operation for the management of the hydrosystem. The mathematical framework of Hydronomeas follows the parameterisation-simulation-optimisation scheme. Simulation is applied to faithfully represent the system operation, expressed in the form of parametric management rules, whereas optimisation is applied to derive the optimal management policy, which simultaneously minimises the risk and cost of decision-making.

The case study of thesis is to allocate the safe yield of the Athens water resource system (AWRS), via the use of Hydronomeas, for an adopted reliability level equal to 99% on an annual basis, which means that only one failure of the system to meet the target in 100 simulated years would be acceptable. Hence a step-by-step flow allocation methodology is applied to allocate the available water resources through the hydrosystem.

The first step is to schematise real-world components of the AWRS into a model representation. A network optimisation model is formulated and the input data are inserted. The input data include a) the hydrosystem structure, namely the system components and their attributes and the topology and b) the hydrologic data series, namely long-term synthetic time series of runoff, rainfall and evaporation, statistically consistent with the historical ones and generated by the Castalia model. The definition of system's targets and physical constraints complete the development of the hydrosystem model.

Afterwards, many scenarios of several hypothetical situations for the water supply system of Athens are examined. These scenarios cover different assumptions for the future annual water demand between 400 and 610 hm³, as well as five different management policies

concerning groundwater resources (intensive, moderate, limited, no use and current).

The objective of the above scenarios is to calculate the theoretical potential of the water resources system regardless of any restrictions imposed by conveyance capacity limits of aqueducts and regardless of any costs due to the conveyance of the water through the network. Special rules regulate the operation of boreholes, which are clustered in borehole groups, in order to simulate the real use of underground water as auxiliary resource. More specifically, groundwater releases are regulated according to the ratio V/K , where V is the estimated active storage of the reservoir system and K is its total active capacity. For each borehole group two thresholds are defined, the upper one to forbid the usage of groundwater if the active storage of the system exceeds this upper threshold (to avoid unnecessary exploitation of aquifers when there is abundance of surface water), and the lower one to enforce their usage if the storage falls below it. Between these thresholds, the usage of groundwater depends on economic criteria. Parameters a and b of the reservoir operating rules are considered as control variables of the problem to be determined by optimization, and the four water supply targets that correspond to the water demand in the four main districts of the Athens metropolitan area, each served by one of the four water treatment plants of Athens, constitute the objective function criteria.

After optimisation based on steady state simulations with synthetic time series of 2000 years length, the safe yield of the system, estimated at the location of water treatment plants, is 608 hm^3 per year for the intensive policy of groundwater use, 575 hm^3 for the moderate policy, 535 hm^3 for the limited policy and 450 hm^3 when the boreholes are not in use. Respectively, the safe yield at the WTPs, according to the current policy of groundwater use implemented for the present by EYDAP, amounts to 570 hm^3 .

Then, it is attempted to evaluate the safe yield of the water resource system at the actual conditions. Having considered the average annual reliability level equal to 99%, for the current policy of groundwater use, the discharge capacity values of the aqueducts are set to their actual values. In this case, the execution of optimisation reduces the safe yield of the system, estimated at the location of WTPs, to 480 hm^3 per year.

Finally, it is examined whether the operational constraints of maximum water storage volume, which have been set in the Mornos and Evinos reservoirs, affect the adopted reliability level. Having aborted the previous two targets and having considered unlimited discharge capacity of aqueducts and no use of groundwater resources, for constant annual water demand equal to 450 hm^3 , the execution of optimisation demonstrates that there is no change concerning the adopted reliability level.

The thesis concludes with a summary of most important points and a list of some proposals for the improvement of the Athens water resource system operation, as well as for the restriction of water consumption and the rational water use.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

«Δεν έχει σημασία ποιοι είμαστε, που ζούμε, τι κάνουμε, όλοι εξαρτιόμαστε από το νερό. Το χρειαζόμαστε κάθε μέρα, με πάρα πολλούς τρόπους. Το χρειαζόμαστε για να είμαστε υγιείς, για να παράγουμε την τροφή μας, για τις μεταφορές, την άρδευση και τη βιομηχανία. Το χρειαζόμαστε για τα ζώα και τα φυτά, για να αλλάζουν οι εποχές και τα χρώματα. Ωστόσο, παρά τη σημασία των αποθεμάτων του νερού για τη ζωή και την ύπαρξή μας, δείχνουμε μια συνεχώς αυξανόμενη έλλειψη σεβασμού για τα αποθέματα νερού. Τα σπαταλάμε, τα λεηλατούμε, τα μολύνουμε, ξεχνώντας πόσο απαραίτητα είναι για την επιβίωσή μας».

Με αυτά τα λόγια ξεκινά η ανακήρυξη του 2003, ως παγκόσμιου έτους για τα Νερά, από τον ΟΗΕ. Η ανακήρυξη του Έτους των Νερών, είναι μια προσπάθεια από τον κορυφαίο διεθνή οργανισμό, να ευαισθητοποιήσει την παγκόσμια κοινότητα για τους φυσικούς πόρους και τη σημασία τους για την ανθρωπότητα (Adventure Zone, 2003).

Είναι αμφίβολο αν υφίσταται στον πλανήτη μας φυσικός πόρος όπως το νερό, με τέτοια ζωτική αξία, οικολογική σημασία, οικονομική σπουδαιότητα και πολιτισμική παρουσία. Το νερό είναι κύριος παράγοντας για την υγιεινή διαβίωση και την ανάπτυξη της οικονομίας και του φυσικού περιβάλλοντος και η ύπαρξή του αποτελεί ένα από τα βασικά συγκριτικά πλεονεκτήματα κάθε περιοχής. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλες όψεις αρνητικές, που προσδιορίζουν το νερό ως πρόβλημα στις σημερινές κοινωνίες. Πρόβλημα πολυσύνθετο, βαθύτατα κοινωνικό, οικονομικό και πολιτικό.

Αν και η ποσότητα του νερού στη Γη είναι σταθερή (υδρολογικός κύκλος), το κατάλληλο προς χρήση νερό υφίσταται σημαντική μείωση. Στον 20^ο αιώνα, λόγω της πληθυσμιακής αύξησης, η ζήτηση σε νερό, για οικιακή, βιομηχανική και αγροτική χρήση αυξήθηκε κατακόρυφα. Φαινόμενα όπως αυτό της κλιματικής αλλαγής, της ερημοποίησης, της ρύπανσης και της διασπάθισης των υδατικών αποθεμάτων, καθώς και η άνιση κατανομή των αξιοποιήσιμων υδατικών πόρων με τις περιοχές της εύκρατης ζώνης να αντιμετωπίζουν τις επιπτώσεις των κλιματολογικών αλλαγών και των σταδιακά μειούμενων βροχοπτώσεων επιδεινώνουν την κατάσταση. Έτσι ενώ στις βιομηχανικές χώρες η πρόσβαση σε καθαρό νερό είναι πρακτικά 100%, στις αναπτυσσόμενες χώρες ανέρχεται στο 80% (ένας στους πέντε κατοίκους δεν έχει πρόσβαση σε καθαρό νερό) και στην Αφρική φθάνει μόλις στο 55% (σχεδόν ο ένας στους δύο κατοίκους στερείται καθαρό πόσιμο νερό) (Παναγιώτου, 2008).

Οι υδατικοί πόροι αποτελούν απαραίτητη προϋπόθεση για τη διατήρηση της ζωής και την ανάπτυξη κάθε είδους δραστηριότητας και η ορθολογική τους διαχείριση απαιτεί σφαιρική αντιμετώπιση και πλανητική συναίνεση. Η διεθνής διάσκεψη στο Ρίο το 1992 ανακήρυξε το νερό ως παγκόσμια κληρονομιά και έθεσε προτεραιότητες στη διαχείρισή του. Αλλαγή στον τρόπο διαχείρισης των υδατικών πόρων επιχειρήθηκε και σε πανευρωπαϊκό επίπεδο με την Οδηγία-Πλαίσιο για το Νερό (ΟΠΝ 2000/60/ΕΕ) η οποία ενσωματώθηκε στην Ελλάδα με το Ν. 3199/2003.

Σε εθνικό επίπεδο η ετήσια κατανάλωση νερού ξεπερνάει τα 800 κυβικά μέτρα ανά κάτοικο με τον αντίστοιχο ευρωπαϊκό μέσο όρο (Ευρώπη των 15) να είναι λίγο πάνω από τα 600 (Μελέτη του Εθνικού Κέντρου Περιβάλλοντος & Αειφόρου Ανάπτυξης, 2003). Μεγάλη ζήτηση για νερό δημιουργούν οι ανθρώπινες δραστηριότητες με τη γεωργία να χαρακτηρίζεται ως δραστηριότητα ιδιαίτερα επιβαρυντική. Ωστόσο αν και το συνολικό δυναμικό της Ελλάδας σε υδατικούς πόρους υπερκαλύπτει την κατανάλωση, η άνιση κατανομή τους έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει έως και διπλάσια ποσότητα νερού απ' ό,τι καταναλώνεται, αλλά όχι στις περιοχές υψηλής ζήτησης. Το πρόβλημα οξύνεται με τη μεγάλη συγκέντρωση πληθυσμού στις μεγαλοπόλεις και με την αύξηση των αναγκών ύδρευσης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω τουρισμού και άρδευσης, λόγω έλλειψης βροχοπτώσεων. Στο υδατικό διαμέρισμα της Αττικής το οποίο και μελετάται στην παρούσα εργασία, τα όποια υδατικά προβλήματα σχετίζονται με τη συγκέντρωση του 1/3 και άνω του πληθυσμού και της οικονομικής δραστηριότητας της χώρας στην περιοχή αυτή (Alpha Bank, 2008).

Η ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων απαιτείται ακόμη και σε περιπτώσεις αφθονίας νερού. Για το λόγο αυτό, η ανάπτυξη ενός συστήματος εκσυγχρονισμού της εποπτείας και διαχείρισης των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας, θεωρήθηκε θεμελιώδους σημασίας. Η βέλτιστη διαχείριση συστημάτων υδατικών πόρων αποτελεί ένα από τα τυπικά πεδία εφαρμογής των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων-ΣΥΑ (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2003). Έτσι η συνεργασία ΕΜΠ και ΕΥΔΑΠ οδήγησε στην ανάπτυξη ενός ΣΥΑ το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την υποστήριξη της εποπτείας και διαχείρισης του εξαιρετικά απαιτητικού υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας. Κύρια συνιστώσα του συγκεκριμένου ΣΥΑ είναι το μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης «ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ».

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της διαχείρισης των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αττικής, μέσω της εφαρμογής του μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης «ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ». Η παρούσα εργασία απαρτίζεται από πέντε κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί μία εισαγωγή στο υδατικό περιβάλλον. Γίνεται σύντομη αναφορά στην προέλευση και κατανομή του νερού και στον υδρολογικό του κύκλο, ακολουθεί ορισμός και ταξινόμηση των υδατικών πόρων, περιγράφονται οι διαστάσεις και χρήσεις του νερού, τα υδατικά προβλήματα και οι αιτίες δημιουργίας τους και καταγράφεται η ελληνική υδατική πραγματικότητα.

Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά στην υδατική διαχείριση. Δίνεται ο ορισμός, οι στόχοι, οι κανόνες και οι δραστηριότητες της Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων. Ακολουθεί η περιγραφή του θεσμικού πλαισίου διαχείρισης και προστασίας των υδατικών πόρων και η κατάσταση της αξιοποίησής τους στον ελλαδικό χώρο. Εξηγείται η έννοια της ολοκληρωμένης διαχείρισης του νερού και ο τρόπος που συμβάλλει στην αειφορία των

υδατικών πόρων. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με παράθεση ορισμένων σύνθετων μορφών υδατικής διαχείρισης.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (ΣΥΑ) εξετάζοντας τη συνεισφορά τους στη διαχείριση των Υδατικών Πόρων και επισημαίνοντας τα κυριότερα διαχειριστικά μοντέλα. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο ΣΥΑ που δημιουργήθηκε για την υποστήριξη της εποπτείας και διαχείρισης των υδατικών πόρων της Αθήνας και τις κύριες συνιστώσες του, όπως το μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης «ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ», το οποίο χρησιμοποιείται για τη διεξαγωγή της παρούσας εργασίας.

Το τέταρτο κεφάλαιο αφορά στην υδροδότηση της πρωτεύουσας. Αρχικά γίνεται ιστορική αναδρομή στην ύδρευση της Αθήνας και παρουσιάζονται οι περιοχές που υδροδοτούνται από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε., την εταιρεία που είναι σήμερα υπεύθυνη για την ύδρευση της πρωτεύουσας. Ακολουθεί σύντομη αναφορά στη χρονική εξέλιξη της συνολικής κατανάλωσης του νερού στην πρωτεύουσα και στις κατηγορίες χρήσεων, στις οποίες αυτή υποδιαιρείται και στη συνέχεια περιγράφονται τα χαρακτηριστικά και η δομή (υδατικοί πόροι, ταμιευτήρες, γεωτρήσεις, υδραγωγεία, έργα διαχείρισης υδραγωγείων, μικρά υδροηλεκτρικά έργα, διυλιστήρια, δίκτυο ύδρευσης) του ιδιαίτερα σύνθετου υδροδοτικού της συστήματος. Τέλος δίνονται πληροφορίες για την ποιότητα του νερού και παρουσιάζονται οι ιδιαιτερότητες του δικτύου, τα επίπεδα πολυπλοκότητας στη διαχείρισή του και τα προβλήματα που προκύπτουν κατά τη λειτουργία του.

Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί τη μελέτη περίπτωσης (case study) της παρούσας εργασίας. Αρχικά γίνεται σχηματοποίηση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας στο μοντέλο του Υδρονομέα και εισάγονται τα δεδομένα εισόδου του (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις, υδραγωγεία, ενεργειακά και υδρολογικά δεδομένα, στόχοι και λειτουργικοί περιορισμοί). Στη συνέχεια πραγματοποιείται βελτιστοποίηση, προκειμένου να βρεθούν οι βέλτιστοι κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων και εκτιμάται το ασφαλές υδατικό δυναμικό (safe yield) για διάφορες πολιτικές χρήσης των γεωτρήσεων, συμπεριλαμβανομένης και της πολιτικής που εφαρμόζεται από την ΕΥΔΑΠ στην παρούσα φάση, ώστε το σύστημα να ανταποκρίνεται στο αποδεκτό επίπεδο αξιοπιστίας του 99%. Τέλος, διερευνάται αν και με ποιο τρόπο η ύπαρξη των λειτουργικών περιορισμών μεγίστου αποθέματος που έχουν τεθεί στους ταμιευτήρες Μόρνου και Ευήνου επιδρά στην αξιοπιστία του συστήματος.

Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται σύνοψη των βασικών σημείων της εργασίας, παρουσιάζονται τα κύρια συμπεράσματά της και διατυπώνονται ορισμένες προτάσεις σχετικά με τη διαχειριστική πολιτική που θα πρέπει να ακολουθηθεί για την ασφάλεια, αξιοπιστία και βιωσιμότητα του ιδιαίτερα σύνθετου και πολύπλοκου υδροδοτικού συστήματος της πρωτεύουσας.

Επιπλέον, υπάρχουν δύο παραρτήματα με πίνακες και σχήματα δεδομένων και αποτελεσμάτων. Ειδικότερα, αυτά αναφέρονται: (α) στα δεδομένα εισόδου του μοντέλου

«Υδρονομέας» και (β) στα αποτελέσματα των σεναρίων βελτιστοποίησης και συγκεκριμένα στους βέλτιστους κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων του υδροσυστήματος της Αθήνας και στο θεωρητικά απολήψιμο υδατικό δυναμικό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΥΔΑΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί εισαγωγή στο υδατικό περιβάλλον. Αρχικά δίνονται πληροφορίες για την προέλευση και την κατανομή του νερού και τον υδρολογικό του κύκλο, ακολουθεί σύντομη αναφορά στον ορισμό και την ταξινόμηση των υδατικών πόρων, κατόπιν περιγράφονται η περιβαλλοντική, κοινωνική, οικονομική και αναπτυξιακή διάσταση του νερού και οι χρήσεις του, και τέλος καταγράφονται τα παγκόσμια υδατικά προβλήματα, εξειδικεύοντας στην υδατική εικόνα και στα ιδιαίτερα προβλήματα που απαντώνται στον ελλαδικό χώρο.

1.1 ΥΔΑΤΙΚΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Η προέλευση του νερού είναι στενά συνδεδεμένη με τις διαδικασίες και τους μηχανισμούς που διαμόρφωσαν τη γη και το στερεό φλοιό της. Ο O. Yu. Schmidt υποστήριξε ότι στα αρχικά στάδια σχηματισμού της, υδάτινα μόρια στερεοποιήθηκαν από ψύξη και ομαδοποιήθηκαν με τη μορφή νέφους αέριας σκόνης, που συμπυκνώθηκε. Η συσσωρευμένη θερμότητα, από τη μετέπειτα ραδιενεργή θέρμανση, προκάλεσε εξάτμιση της υδάτινης μορφής από τον πυρήνα της γης και οι υδρατμοί, ψυχόμενοι εκ νέου, συμπυκνώθηκαν σε σταγόνες και κατέπεσαν ως «θερμή μόρα». Περισσότερο αληθοφανής ήταν η άποψη κατά την οποία οι υδρατμοί εμφανίστηκαν στο «πλάσμα» της σχηματιζόμενης γης ταυτόχρονα με τα διάφορα ορυκτά και, στην περίοδο της ψύξης μετέπεσαν στην υγρή μορφή σχηματίζοντας την υδρόσφαιρα. Την ταυτόχρονη διαμόρφωση στερεού φλοιού και νερού υποστήριξε ο σοβιετικός ακαδημαϊκός D. I. Scherbakov, ο οποίος πρόσθεσε ότι η συνολική μάζα του νερού στη γη δεν υφίσταται καμία μεταβολή.

Ο Αργεντινός γεωλόγος Geinsgeimer ανέφερε ότι η γη χάνει προοδευτικά νερό με τη διαδικασία της αποσύνθεσης των υδρατμών, στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, σε υδρογόνο και οξυγόνο, άποψη την οποία υποστήριζαν και σοβιετικοί επιστήμονες στη δεκαετία του '70, ενώ τόνισαν ότι η μείωση αυτή θεωρείται αμελητέα, αφού σύμφωνα με τους υπολογισμούς τους, η απώλεια νερού σε ολόκληρη τη γεωλογική ιστορία της γης, προκάλεσε υποβιβασμό στην επιφάνεια των ωκεανών μόλις της τάξης των 2-3 m. Τέλος, πειστική ήταν και η θεωρία του V. I. Vernadsky κατά την οποία η ποσότητα του νερού της γης έχει παραμείνει αμετάβλητη για μεγάλη περίοδο και οι θάλασσες, που πλημμυρίζουν την ξηρά, κατά τη διάρκεια των επικλύσεων, δεν είναι παρά «παφλασμοί» του παγκόσμιου ωκεανού (Στουρνάρας, 2007).

Το νερό της γης επομένως, δε χάνεται, αλλά ανακυκλώνεται, μετατρέπεται δηλαδή με κάθε δυνατό τρόπο από τη στερεά μορφή των πάγων στην υγρή των ποταμών, των λιμνών και της θάλασσας και στην αέρια των υδρατμών. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως "Υδρολογικός Κύκλος" ή "Κύκλος του Νερού" (σχήμα 1.1).

Η κυκλική διαδικασία του υδρολογικού κύκλου επιτυγχάνεται εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας. Λόγω της θέρμανσης και των ανέμων στην επιφάνεια της γης, τα νερά της εξατμίζονται και δημιουργούν τους υδρατμούς, των οποίων ένα μέρος συμπυκνώνεται και σχηματίζει τα σύννεφα. Τα ρεύματα του αέρα κινούν τα σύννεφα γύρω απ' την υδρόγειο. Παράλληλα τα σταγονίδια νερού που σχηματίζουν τα σύννεφα συγκρούονται, μεγαλώνουν, και τελικά πέφτουν ως βροχή ή άλλες μορφές νετού¹, εμπλουτίζοντας τις αποθήκες νερού της γης, επιφανειακές (θάλασσες, λίμνες) και υπόγειες (Wikipedia, 2008).

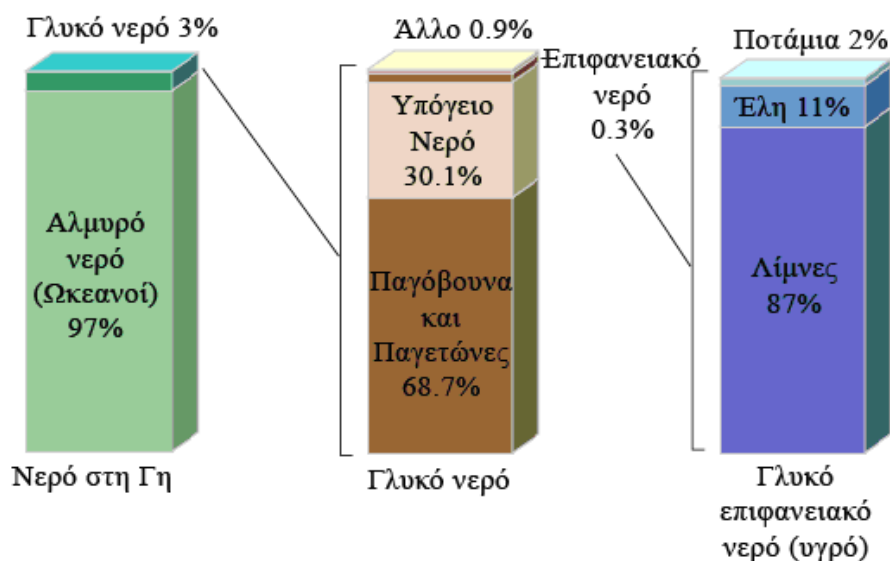


Σχήμα 1.1: Ο κύκλος του νερού

Πηγή: Perlman et al., 2005

Το νερό καλύπτει πάνω από το 70% της επιφάνειας της γης. Οι μεγαλύτερες ποσότητες νερού βρίσκονται στη θάλασσα και καταλήγουν στην ξηρά, ως ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα με την εξάτμιση και τη μεταφορά των υδρατμών, ενώ τα επιφανειακά νερά των ποταμών και οι διαδρομές των υπογείων έχουν ως κατάληξη κάποιο φυσικό αποδέκτη, συνήθως τη θάλασσα. Το νερό των θαλασσών είναι αλμυρό, λόγω της μεγάλης του περιεκτικότητας σε αλάτι, ενώ το πόσιμο ή "γλυκό" νερό, προέρχεται από τους ποταμούς και τις λίμνες. Στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 1.2) και πίνακα δεδομένων (πίνακας 1.1) περιγράφεται λεπτομερώς η κατανομή του νερού της γης σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Παρατηρείται λοιπόν ότι από τα συνολικά 1.386 εκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα του νερού στη γη το 97% περίπου είναι αλμυρό. Το 68% του γλυκού νερού είναι δεσμευμένο σε πάγο και παγετώνες και ένα 30% του γλυκού νερού βρίσκεται σε υπόγειους υδροφορείς. Το επιφανειακό γλυκό νερό που βρίσκεται σε ποτάμια και λίμνες ανέρχεται συνολικά σε 93.100 κυβικά χιλιόμετρα και αποτελεί το 1/150 του 1% του συνολικού νερού στη γη. Πάρα ταύτα, τα ποτάμια και οι λίμνες είναι οι βασικές πηγές νερού για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών.

¹ Υετός ονομάζεται κάθε πτώση ή εναπόθεση στο έδαφος προϊόντων του ύδατος (σε υγρή ή στερεά μορφή, επιμερισμένη), τα οποία προέρχονται από συμπύκνωση των υδρατμών της ατμόσφαιρας. Κυριότερες μορφές νετού είναι η βροχή, το χιονόνερο, οι ψεκάδες, το χαλάζι, το χιόνι, οι χιονόκοκκοι, οι παγοβελόνες, οι παγόκοκκοι και ο υαλοπάγος (Wikipedia, 2008).



Σχήμα 1.2: Παγκόσμια κατανομή νερού

Πίνακας 1.1: Εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού

ΜΟΡΦΗ ΝΕΡΟΥ	ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΚΥΒΙΚΑ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΑ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ
Ωκεανοί, Θάλασσες & Κόλποι	1.338.000.000	--	96,5
Παγόβουνα, Παγετώνες & Μόνιμο χιόνι	24.064.000	68,7	1,74
Υπόγειο Νερό	23.400.000	--	1,7
Γλυκό	10.530.000	30,1	0,76
Αλμυρό	12.870.000	--	0,94
Εδαφική Υγρασία	16.500	0,05	0,001
Εδαφικός πάγος & Μόνιμα παγωμένο έδαφος	300.000	0,86	0,022
Λίμνες	176.400	--	0,013
Γλυκές	91.000	0,26	0,007
Αλμυρές	85.400	--	0,006
Ατμόσφαιρα	12.900	0,04	0,001
Έλη	11.470	0,03	0,0008
Ποταμοί	2.120	0,006	0,0002
Βιολογικό Νερό	1.120	0,003	0,0001
Σύνολο	1.386.000.000	--	100

Πηγή: Gleick, P. H., 1996

Το γεγονός ότι οι λίμνες και τα ποτάμια (επιφανειακά νερά), είναι οι κύριες πηγές νερού, ή αλλιώς υδατικοί πόροι, φαίνεται να έρχεται σε αντίθεση με την εικόνα που δίνει ο παραπάνω πίνακας, σύμφωνα με την οποία τα υπόγεια νερά είναι κατά τάξεις μεγέθους

περισσότερα από τα επιφανειακά. Η εξήγηση έγκειται στο ότι οι πόροι του νερού δεν είναι αποθεματικοί, αλλά ανανεώσιμοι. Επομένως αυτό που έχει σημασία δεν είναι η ποσότητα νερού που είναι αποθηκευμένη, αλλά αυτή που ανανεώνεται κάθε χρόνο. Έτσι, λοιπόν, τα επιφανειακά νερά διακινούνται και άρα ανανεώνονται με πολύ πιο γρήγορους ρυθμούς από τα υπόγεια. Με άλλα λόγια δεν έχει τόσο σημασία η στατική εικόνα της αποθήκευσης του νερού, αλλά η δυναμική εικόνα της κυκλοφορίας του νερού στην υδρόγειο, η οποία περιγράφεται από τις ποσότητες των διακινήσεων του νερού ανάμεσα στις διάφορες μορφές, δηλαδή από τις ποσότητες που μεταφέρονται μέσα στον υδρολογικό κύκλο (Perlman et al., 2005).

1.2 ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

Υδατικοί πόροι ονομάζονται οι ποσότητες νερού που βρίσκονται σε κατάσταση (μορφή, ποιότητα, θέση) κατάλληλη για την εξυπηρέτηση συγκεκριμένων αναγκών. Οι υδατικοί πόροι δεν ταυτίζονται με το συνολικά διαθέσιμο νερό του Πλανήτη. Έτσι, το 96,5% του φυσικού νερού που βρίσκεται στη θάλασσα δε θεωρείται, γενικά, υδατικός πόρος. Το ίδιο συμβαίνει και με μια ποσότητα υπογείου νερού υψηλής αλατότητας, που ανέρχεται στο 1% του φυσικού νερού, καθώς επίσης και με το ακινητοποιημένο νερό των πολικών παγετώνων, που αποτελεί το 1,7% του συνόλου. Απομένει, λοιπόν, το γλυκό νερό των λιμνών, των ποταμών και των υπογείων υδροφορέων σε μικρά και μεσαία βάθη, δηλαδή οι τυπικοί υδατικοί πόροι σε ποσοστό μικρότερο του 1% (Ξανθόπουλος και Κουτσογιάννης, 1997).

Βάσει της Οδηγίας-Πλαίσιο 2000/60/EK, οι υδατικοί πόροι διακρίνονται σε εσωτερικά επιφανειακά, υπόγεια, μεταβατικά και παράκτια ύδατα. **Επιφανειακά** είναι τα εσωτερικά ύδατα πλην των υπογείων, τα μεταβατικά και τα παράκτια ύδατα και **υπόγεια** τα ύδατα που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους στη ζώνη κορεσμού και σε άμεση επαφή με το έδαφος ή το υπέδαφος. Το σύνολο των στάσιμων ή των ρεόντων επιφανειακών υδάτων και όλα τα υπόγεια ύδατα που βρίσκονται προς την πλευρά της ξηράς σε σχέση με τη γραμμή βάσης από την οποία μετράται το εύρος των χωρικών υδάτων αποτελούν τα **εσωτερικά** ύδατα (inland waters). **Μεταβατικά** (transitional waters) χαρακτηρίζονται τα συστήματα επιφανειακών υδάτων πλησίον του στομίου ποταμών που εν μέρει είναι αλμυρά λόγω της γειτνιάσής τους με παράκτια ύδατα, αλλά τα οποία επηρεάζονται ουσιαστικά από ρεύματα γλυκού νερού και **παράκτια** (coastal waters) είναι τα επιφανειακά ύδατα που βρίσκονται στην πλευρά της ξηράς μιας γραμμής, κάθε σημείο της οποίας βρίσκεται σε απόσταση ενός ναυτικού μιλίου προς τη θάλασσα από το πλησιέστερο σημείο της γραμμής βάσης, από την οποία μετράται το εύρος των χωρικών υδάτων και τα οποία, κατά περίπτωση, εκτείνονται μέχρι του απώτερου ορίου των μεταβατικών υδάτων (Νόμος 3199/2003).

Τα εσωτερικά ύδατα χαρακτηρίζονται από την παρουσία γλυκού νερού και

διακρίνονται σε ρέοντα (ποτάμια, χείμαρροι) και στάσιμα ύδατα (λίμνες, ταμιευτήρες, έλη) (Παναγιωτίδης, 2007).

Η επιμήκης υδατοσυλλογή με τρεχούμενο νερό, το οποίο ρέει προς τα κατάντη με τη βαρύτητα, καλείται **ποταμός**. Το νερό των ποταμών προέρχεται κυρίως απευθείας από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και από την επιφανειακή απορροή, υπάρχουν όμως και περιπτώσεις τροφοδοσίας ποταμών με υπόγεια νερά ή με νερό λιμνών. Ανάλογα με το πλάτος της υδατοσυλλογής τα ποτάμια διακρίνονται σε: i) ρυάκια πηγών και μικρά ρυάκια, με πλάτος μέχρι 1 m και ζώνη επιρροής έως 2 km², ii) μεγάλα ρυάκια, με πλάτος από 1 έως 3 m και ζώνη επιρροής από 2 έως 50 km², iii) μικρά ποτάμια, με πλάτος από 3 έως 10 m και ζώνη επιρροής από 50 έως 300 km² και iv) μεγάλα ποτάμια, με πλάτος μεγαλύτερο των 10 m και ζώνη επιρροής από 50 έως 500 km² σε μεγάλο υψόμετρο και από 300 έως 500 km² στην πεδιάδα, ενώ διαφοροποιούνται ανάλογα και με τα χημικά χαρακτηριστικά των νερών τους (περιεκτικότητά σε Ca και Mg, pH κ.λπ.). Τα υδάτινα ρεύματα παροδικής ροής ονομάζονται **χείμαρροι**. Η δημιουργία τους οφείλεται κυρίως στις μεγάλες τοπογραφικές κλίσεις και έμμεσα στην έλλειψη δασικής βλάστησης. Εν αντιθέσει με τα ποτάμια που έχουν μόνιμη ροή, οι χείμαρροι δέχονται νερό μόνο από τις βροχοπτώσεις με αποτέλεσμα να παρατηρούνται στη ροή τους εποχικές διακυμάνσεις (Μοντεσάντου, 1999).

Η μικρή ή μεγάλη υδάτινη μάζα στη στεριά που περιέχει γλυκό, υφάλμυρο και αλμυρό νερό με άμεση, έμμεση, υπόγεια ή και επίγεια σύνδεση ή χωρίς σύνδεση με άλλους υδάτινους χώρους και αποδέκτες λέγεται **λίμνη**. Ανάλογα με την προέλευσή τους οι λίμνες κατατάσσονται σε τεκτονικές, ηφαιστειακές, λίμνες κατολισθήσεων, παγετωνικές και καρστικές, ενώ η συνδυασμένη δράση ποταμών και θάλασσας στις περιοχές των εκβολών έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία παρακτιών λιμνών. Οι **ταμιευτήρες** (τεχνητές λίμνες) αποτελούν υδατικά συστήματα ανθρωπογενούς προέλευσης που δημιουργούνται για τη συλλογή νερού και είναι εφοδιασμένοι με κατασκευές (θυρίδες, αναχώματα), μέσω των οποίων ρυθμίζεται η στάθμη του νερού για να εξυπηρετούνται οι ανάγκες για τις οποίες έχουν κατασκευαστεί. Πέραν της αντιπλημμυρικής, υδρευτικής, αρδευτικής και υδροηλεκτρικής αξίας που διαθέτουν εξαιτίας της αποθήκευσης του νερού, οι περισσότεροι ταμιευτήρες έχουν αποκτήσει με την πάροδο του χρόνου βιολογική και αλιευτική αξία και αξία αναψυχής, καθώς εντός τους διαβιούν πολύτιμα υδροτοπικά οικοσυστήματα (EKBY, 2008).

Ανάλογα συστήματα με τις λίμνες είναι τα **έλη**, δηλαδή οι πρόσκαιρες ή μόνιμες υδάτινες περιοχές όπου τα λιμνάζοντα νερά είναι συνήθως αβαθή και καλύπτονται ως επί το πλείστον από υδρόβιες, υδροχαρείς, υδρόφιλες και ελόβιες φυτοκοινωνίες. Οι φυσικές ή τεχνητές περιοχές που αποτελούνται από έλη με πλώδη βλάστηση, από μη αποκλειστικούς ομβροδίατα έλη με τυρφώδες υπόστρωμα, από τυρφώδεις γαίες ή από νερό καλούνται **υγρότοποι**. Οι υγρότοποι μπορεί να βρίσκονται κοντά στην ακτή (παράκτιοι υγρότοποι) ή στο εσωτερικό της χέρσου (εσωτερικοί υγρότοποι), να είναι φυσικοί ή τεχνητοί (Κουσουρής,

2007).

Τα παράκτια και μεταβατικά ύδατα (coastal and transitional waters) χαρακτηρίζονται από την παρουσία αλμυρού νερού και περιλαμβάνουν τις θάλασσες (seas), τις λιμνοθάλασσες (lagoons) και τα εκβολικά συστήματα (estuaries).

Με την ευρύτερη έννοιά του ο όρος **θάλασσα** περιλαμβάνει το σύνολο των αλμυρών τμημάτων της υδρόσφαιρας, τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους και καλύπτουν τα 7/10 της επιφάνειας του πλανήτη. Γεωγραφικά αναφέρεται σε σχετικά περιορισμένες εκτάσεις που περιβάλλονται από την ξηρά (Μεσόγειος θάλασσα), σε αντίθεση με τον ανοικτό ωκεανό. Η θάλασσα είναι ο τελικός αποδέκτης της επιφανειακής απορροής που μεταφέρει όλα τα προϊόντα της διάβρωσης της χέρσου, καθώς και τα υλικά που προέρχονται από τη βιολογική δραστηριότητα. Ως **λιμνοθάλασσες** (lagoons), ορίζονται παράκτιες υδατοσυλλογές με ήρεμα και αβαθή νερά που επικοινωνούν με τη θάλασσα μέσω στενών διαύλων. Οι λιμνοθάλασσες σχηματίζονται είτε στις εκβολές ποταμών, είτε σε κοραλλιογενείς υφάλους. Καλύπτουν περίπου το 10% της παγκόσμιας ακτογραμμής και αποτελούν θέσεις μεγάλης οικολογικής και οικονομικής αξίας. Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν οι **εκβολές και τα δέλτα** των ποταμών, εξαιτίας του μεταβατικού χαρακτήρα και της αλληλεπίδρασης ως προς το θαλασσινό και το γλυκό νερό. Εντός τους δημιουργούνται ιδιαίζουσες φυσικοχημικές συνθήκες, αποτίθενται και μετακινούνται φερτά υλικά και συναθροίζονται νεαρά ψάρια και καρκινοειδή (Παναγιωτίδης, 2007).

Η ανάπτυξη των υδατικών πόρων προϋποθέτει δύο βασικούς τύπους υδραυλικών έργων, τα έργα αποθήκευσης και τα έργα μεταφοράς. Τα κυριότερα έργα αποθήκευσης είναι οι ταμιευτήρες (τεχνητές λίμνες), οι οποίοι δημιουργούνται με την κατασκευή φραγμάτων σε κατάλληλες θέσεις ποταμών. Τα έργα μεταφοράς περιλαμβάνουν υδραγωγεία και δίκτυα διανομής, τα οποία λειτουργούν είτε ως ανοικτοί αγωγοί (διώρυγες, υδατογέφυρες) είτε ως κλειστοί (σήραγγες, σίφωνες, σωλήνες υπό πίεση), ενώ μια τρίτη κατηγορία υδραυλικών έργων, τα αντιπλημμυρικά, κατασκευάζονται για την αντιμετώπιση των φυσικών κινδύνων που συνδέονται με την πλημμυρική (καταστροφική) δίαιτα του νερού (Ξανθόπουλος και Κουτσογιάννης, 1997).

1.3 ΥΔΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ

Το νερό είναι ο απαραίτητος φυσικός πόρος και το μοναδικό οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό αγαθό για τη διατήρηση, ανάπτυξη και επιβίωση της ανθρωπότητας και του πλανήτη. Είναι όμως και το πλέον ευαίσθητο και το πρώτο θιγόμενο περιβαλλοντικό συστατικό όσον αφορά την ποσότητά του, λόγω της υπερκατανάλωσης και την ποιότητά του, λόγω της ρύπανσης (Κουσουρή, 2008).

Σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 2000/60 που καθορίζει το πλαίσιο της υδατικής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης με κύριο άξονα την περιβαλλοντική διάσταση του νερού

«Το ύδωρ δεν είναι εμπορικό προϊόν, αλλά αποτελεί κληρονομιά που πρέπει να προστατεύεται». Η Οδηγία στοχεύει στην αναχαίτιση οποιασδήποτε περαιτέρω υποβάθμισης και στην επίτευξη καλής κατάστασης για όλα τα υδάτινα σώματα των κρατών-μελών έως το 2015 και εισάγει νέα κριτήρια για μια ορθολογική οικονομική διαχείριση των υδατικών πόρων που καθορίζεται από την αρχή της ανάκτησης κόστους, συνεκτιμώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις χρήσεις του νερού βάσει της αρχής ο «ρυπαίνων πληρώνει», και την αξία του σε συνθήκες έλλειψης. Το νερό λοιπόν, ως πολύτιμο περιβαλλοντικό αγαθό, πρέπει να προστατεύεται με κάθε τρόπο, προκειμένου να συνεχίσει να υπάρχει ζωή στη φύση και να συντηρείται η οικολογική ισορροπία, ενώ οφείλει να έχει λελογισμένη χρήση.

Το νερό αποτελεί κοινωνικό αγαθό με την έννοια της παραδοχής του αναφαίρετου κοινωνικού δικαιώματος στη χρήση του. Η παραδοχή αυτή απένειμε μια μορφή κοινωνικής δικαιοσύνης, καθώς συνετέλεσε στο να αποκτήσουν πρόσβαση σε νερό ικανής ποσότητας και ικανοποιητικής ποιότητας, ισότιμα, όλοι οι κάτοικοι της γης, χωρίς κοινωνικούς, οικονομικούς ή άλλους αποκλεισμούς. Ωστόσο, η κοινωνική θεώρηση του νερού έρχεται σε αντίφαση με την προσπάθεια κοστολόγησής του, καθώς ένα κοινωνικό αγαθό είναι δύσκολο να έχει τιμή που να ικανοποιεί ισότιμα όλους τους χρήστες (Κολοκυθά, 2000).

Στο παρελθόν η οικονομική διάσταση του νερού είχε παραβλεφθεί. Το γεγονός ότι λογιζόταν ως φυσικό αγαθό σε επάρκεια σε συνδυασμό με τη σχεδόν δωρεάν προσφορά του, οδήγησε τους χρήστες στην υποτίμηση της περιβαλλοντικής του αξίας, στη σπατάλη του και στην ποιοτική και ποσοτική του υποβάθμιση. Σήμερα, δεδομένου ότι το νερό βρίσκεται σε ανεπάρκεια σε πολλές περιοχές, η αναγνώριση της πλήρους αξίας του είναι επιβεβλημένη και αποτελεί εγγύηση για τη βιώσιμη διαχείριση, διατήρηση και προστασία του.

Η πλήρης αξία του νερού υπολογίζεται με τον υπολογισμό και την ένταξη στην οικονομική αξιολόγηση του άμεσου κόστους, του κόστους ευκαιρίας και του περιβαλλοντικού κόστους. Το άμεσο κόστος, έχει τη μορφή του κόστους κεφαλαίου, του κόστους εργασίας και του κόστους των διοικητικών και άλλων ρυθμίσεων που είναι απαραίτητες για τη συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία και διανομή του νερού και αποτελεί μέχρι σήμερα τη συνήθη πρακτική, μιας και η τελική τιμή του νερού υπολογίζεται αποκλειστικά βάσει των δαπανών αξιοποίησής του, αγνοώντας οτιδήποτε σχετίζεται με την αξία αυτού καθαυτού του φυσικού πόρου. Το κόστος ευκαιρίας, αντιστοιχεί στην πλέον πολύτιμη εναλλακτική χρήση του νερού αποκαθιστώντας, όταν λαμβάνεται υπόψη, την ισχύ του οικονομικού νόμου της ζήτησης και της προσφοράς και, τέλος, το περιβαλλοντικό κόστος, με τη μορφή των διαφυγόντων κερδών, εξαιτίας της εξάντλησης ή της υποβάθμισης του νερού, αποδίδει στο φυσικό πόρο την περιβαλλοντική του αξία, συμπληρώνοντας την κοστολόγησή του σύμφωνα με την πλήρη αξία του.

Αυτό που θα κρίνει πάντως την επιτυχία της πολιτικής κοστολόγησης του νερού,

σύμφωνα με την πλήρη αξία του, είναι το κατά πόσο θα επιτευχθεί να γίνει κοινή συνείδηση στους πολίτες, ότι δεν αποτελεί ένα ακόμη εισπρακτικό μέσο του κράτους και ότι δε στοχεύει πουθενά αλλού, παρά μόνο στην προστασία του πολύτιμου φυσικού αγαθού από τη σπάταλη χρήση και την ποιοτική υποβάθμιση. Η προβολή του κοινωνικού χαρακτήρα του τελικού στόχου, που είναι η βελτίωση της ποιότητας και των συνθηκών της ζωής, καθώς και του γεγονότος της αποκατάστασης της σημερινής κοινωνικής αδικίας (άλλοι σπαταλούν και ρυπαίνουν το νερό και άλλοι αναγκάζονται να πληρώνουν για να το μεταφέρουν από μακριά ή να το καθαρίζουν), είναι στοιχεία που θα πρέπει να αξιοποιηθούν κατάλληλα για την υιοθέτηση μιας σύγχρονης πολιτικής νερού (Μυλόπουλος, 2008).

Το νερό, εκτός από τη σημασία του ως παράγοντας που καθορίζει την ποιότητα του περιβάλλοντος και την κοινωνική του σημασία, έχει έντονη αναπτυξιακή διάσταση. Καθορίζει τη δυνατότητα ή την αδυναμία επέκτασης των παραγωγικών δραστηριοτήτων, προσδιορίζοντας πολλές φορές και αυτήν την αποδοτικότητά τους. Το νερό, ως οικονομικό αγαθό, για να παραχθεί χρειάζεται την πραγματοποίηση επενδύσεων. Οι επενδύσεις που γίνονται για την παραγωγή και αξιοποίηση του νερού, ανάλογα με τη χρήση στην οποία θα διατεθεί, διακρίνονται σε επενδύσεις ύδρευσης (οικιακής χρήσης), άρδευσης (γεωργία) και σε επενδύσεις λοιπών οικονομικών δραστηριοτήτων (βιομηχανική χρήση και παραγωγή ενέργειας). Αποβλέπουν στην αξιοποίηση του νερού σε μία ή/και περισσότερες χρήσεις (ύδρευση και άρδευση, παραγωγή ενέργειας και άρδευση, παραγωγή ενέργειας, άρδευση και ύδρευση κ.λπ.) και έχουν άμεσα και έμμεσα κοινωνικοοικονομικά οφέλη που αφορούν στη μείωση του κόστους παραγωγής και τη βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων (κυρίως των γεωργικών), στην ανάπτυξη παραγωγικών τομέων όπως ο τουρισμός, ενώ έμμεσα ενισχύεται η απασχόληση και τα εισοδήματα (Μουλαΐδου και Τσακαλίδου, 2004).

1.4 ΥΔΑΤΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

Η χρήση του νερού συνεχώς αυξάνεται. Τα 6,4 δισεκατομμύρια ανθρώπων του πλανήτη, ήδη χρησιμοποιούν το 54% του συνόλου των αποθεμάτων νερού που περιέχεται στα ποτάμια, τις λίμνες και τις υπόγειες πηγές, ποσοστό το οποίο μέχρι το 2025 αναμένεται να ανέλθει σε 70%. Η εκτίμηση αυτή αντικατοπτρίζει την επίδραση της αύξησης του πληθυσμού στα αποθέματα του νερού. Εάν η κατά κεφαλή κατανάλωση αποθεμάτων νερού συνεχίσει να αυξάνεται με τον τρέχοντα ρυθμό, ο άνθρωπος μέσα σε 25 χρόνια θα χρησιμοποιεί το 90% των διαθέσιμων αποθεμάτων, αφήνοντας μόλις το 10% για τα υπόλοιπα είδη του πλανήτη (Adventure Zone, 2003).

Οι χρήσεις του νερού διακρίνονται σε καταναλωτικές και μη. Οι καταναλωτικές χρήσεις απαιτούν την απόληψη/εκροή συγκεκριμένης ποσότητας νερού, η οποία εξέρχεται από το φυσικό υδατικό σύστημα και της οποίας μόνο ένα μέρος επιστρέφει στο εν λόγω σύστημα (άμεσα ή έμμεσα), με διαφοροποιημένη την ποιοτική του κατάσταση.

Καταναλωτικές υδατικές χρήσεις είναι η άρδευση, η ύδρευση, η κτηνοτροφία, η βιομηχανία και η ψύξη (βιομηχανικών συγκροτημάτων και ΑΗΣ). Μη καταναλωτικές είναι οι χρήσεις, στις οποίες το νερό χρησιμοποιείται χωρίς να μεταβάλλονται (ουσιωδώς) τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του και χωρίς να απομακρύνεται από το φυσικό υδατικό σύστημα. Στις μη καταναλωτικές υδατικές χρήσεις συγκαταλέγονται η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, η περιβαλλοντική διατήρηση, η αναψυχή, η ναυσιπλοΐα και η ιχθυοκαλλιέργεια (Κουτσογιάννης, 2007).

Σήμερα, σε παγκόσμια βάση, το 70% των υδάτων που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος ετησίως, καταναλώνεται από τη γεωργία (κυρίως με τη μορφή της άρδευσης). Η βιομηχανία χρησιμοποιεί το 22% και η οικιακή χρήση (νοικοκυριό) το 8%. Αυτά τα μέσα παγκόσμια ποσοστά ποικίλουν πάρα πολύ μεταξύ των διαφόρων περιοχών του πλανήτη. Στην Αφρική για παράδειγμα, η γεωργία απορροφά το 88% της συνολικής κατανάλωσης, η οικιακή χρήση το 7% και η βιομηχανία το 5%. Στην Ευρώπη πάλι, το περισσότερο νερό καταναλώνεται από τη βιομηχανία (54%) με τη γεωργία να ακολουθεί με ποσοστό 33% και την οικιακή χρήση να βρίσκεται στην τρίτη θέση με 13% (Adventure Zone, 2003).

Αστική Χρήση: Η σημαντικότερη μορφή αστικής ζήτησης είναι η ύδρευση. Παρόλο που στην Ελλάδα ποσοτικά αντιστοιχεί μόνο στο 12% περίπου των συνολικών καταναλωτικών χρήσεων (ή 920 hm³ ετησίως), οι ποιοτικές απαιτήσεις για την ύδρευση είναι πολύ υψηλές. Πρόκειται εξάλλου για τη χρήση, η οποία είναι κοινωνικά καταξιωμένη και θεσμικά κατοχυρωμένη (Ν. 1739/87) ως η χρήση πρώτης προτεραιότητας (Κουτσογιάννης, 2007). Κατά τη διαχείριση των υδατικών πόρων, προκειμένου να ικανοποιηθεί η ανάγκη της ύδρευσης, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι εξής δύο παράγοντες: πρώτον, η πολύ μικρή επιτρεπτή αστοχία στην παροχή και δεύτερον η εξασφάλιση καλής ποιότητας νερού.

Το 5-20% του νερού, που καταναλώνεται καθημερινά, χρησιμοποιείται από τα νοικοκυριά, ενώ η εύκολη πρόσβαση και η αυξημένη χρήση του, κυρίως στον τομέα της προσωπικής υγιεινής, έχουν ως αποτέλεσμα τη συνεχή αύξηση της κατανάλωσής του. Σήμερα, η μέση ημερήσια οικιακή κατανάλωση ανέρχεται σε περίπου 200 λίτρα νερό κατ' άτομο μαζί με τις απώλειες (Κουτσογιάννης κ.ά., 2007). Πέραν των αναγκών ύδρευσης των μόνιμων και εποχιακών κατοίκων (παραθεριστικές περιοχές), στην αστική χρήση συγκαταλέγονται επίσης η τουριστική χρήση του νερού (ξενοδοχειακές μονάδες, ενοικιαζόμενα δωμάτια), η οποία κατά μέσο όρο ανέρχεται σε 300 λίτρα την ημέρα κατ' άτομο, η βιοτεχνική χρήση, οι μικροαρδευτικές ανάγκες (μη οικιακή γεωργική χρήση), οι απώλειες των δικτύων κατά τη μεταφορά και τη διανομή του νερού και η δημόσια/δημοτική χρήση (σχολεία, δημόσια κτίρια, κοινοτικά καταστήματα, νοσοκομεία, πυροσβεστικοί κρουνοί) (Μιμίκου, 2004).

Αγροτική Χρήση: Θεωρείται παγκοσμίως ο μεγαλύτερος χρήστης νερού και αγγίζει το 70 με 90% της συνολικής χρήσης. Παρότι η υψηλή κατανάλωση νερού για άρδευση

επιφέρει εκτεταμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, κανείς δε μπορεί να παραβλέψει το ζωτικό ρόλο της άρδευσης στην παραγωγή τροφής. Εκτιμάται ότι το 36% των γεωργικών προϊόντων παγκόσμια προέρχεται από το 16% της συνολικής γεωργικής γης, που είναι οι αρδευόμενες εκτάσεις (Αθανασούλας, 2008). Προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η αναλογία αρδευόμενων εκτάσεων και πληθυσμού θα έπρεπε μέχρι το 2025 οι αρδευόμενες εκτάσεις να αυξηθούν κατά 20-30%. Όμως, διάφοροι παράγοντες, κυρίως η ανταγωνιστική σχέση με τις άλλες μορφές ζήτησης, δεν επιτρέπουν την αύξησή της. Έτσι, οι πρακτικές στην αρδευόμενη αγροκαλλιέργεια προσανατολίζονται στην αύξηση της παραγωγής ανά μονάδα καταναλώσιμου νερού, παρά στην αύξηση της αρδευόμενης έκτασης (Μιμίκου, 2004).

Βιομηχανία: Η χρήση του νερού στη βιομηχανία βρίσκεται στο 22% της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης (59% σε χώρες με υψηλό και 8% σε χώρες με χαμηλό εισόδημα). Τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα στα αναπτυγμένα κράτη, λόγω της έντονης τεχνολογικής ανάπτυξης, γίνονται σημαντικές προσπάθειες για τον περιορισμό της κατανάλωσης του νερού για βιομηχανική χρήση και τη μείωση της παραγωγής βιομηχανικών αποβλήτων. Σύμμαχοι των προσπαθειών αυτών είναι καταρχήν οι αυστηροί κανονισμοί και περιορισμοί που επιβάλλονται από τη νομοθεσία και τις οδηγίες που εκδίδονται, αλλά και η κλιμακωτή τιμολόγηση της κατανάλωσης και η ανάπτυξη περιβαλλοντικής και κοινωνικής συνείδησης (Adventure Zone, 2003).

Ενέργεια: Οι παγκόσμιες ενεργειακές απαιτήσεις, κυρίως για ηλεκτρισμό, αναμένεται να αυξηθούν σε μεγάλο βαθμό στη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα, όχι μόνο εξαιτίας δημογραφικών πιέσεων αλλά και εξαιτίας των συνεχώς βελτιούμενων προδιαγραφών διαβίωσης, την αστική και βιομηχανική διόγκωση και τις αυξανόμενες προσδοκίες. Το 1996, το 18,4% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας προέρχονταν από υδροηλεκτρική ενέργεια (Μιμίκου, 2004). Σήμερα, η υδροηλεκτρική ενέργεια, μαζί με την αιολική, θεωρείται η μοναδική μορφή ενέργειας που είναι ανανεώσιμη και οικονομικά βιώσιμη. Παγκοσμίως, υπάρχουν περίπου 45.000 μεγάλα υδροηλεκτρικά φράγματα σε λειτουργία, ενώ η χώρα με τη μεγαλύτερη παραγωγή υδροηλεκτρισμού είναι ο Καναδάς και ακολουθούν οι Η.Π.Α. και η Βραζιλία.

Οι εκτεταμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επιφέρει η σημερινή ανεξέλεγκτη διασπάθιση των υδατικών πόρων, καθιστούν επιβεβλημένη την εφαρμογή μιας νέας πολιτικής και κουλτούρας για το νερό σε επίπεδο κρατών, εταιρειών ύδρευσης, βιομηχανιών, αγροτών και πολιτών, ενώ πέραν του περιορισμού της σπατάλης και της ανάπτυξης υδατικής συνείδησης, σημαντική συμβολή ως προς την επίτευξη υδατικής εξοικονόμησης, έχουν η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση του νερού (Χρυσόγελος, 2008).

1.5 ΥΔΑΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Παρά το γεγονός ότι οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι είναι επαρκείς για την κάλυψη των συνολικών υδατικών αναγκών του πλανήτη, η ανομοιόμορφη κατανομή τους δημιουργεί ανισότητες και έχει πυροδοτήσει δεκάδες διαμάχες σε ολόκληρο τον κόσμο. Η Ασία, η ήπειρος που φιλοξενεί το 60% του παγκόσμιου πληθυσμού, κατέχει το 36% του συνολικού νερού που καταλήγει στις λίμνες και τα ποτάμια. Αντίθετα, ο ποταμός Αμαζόνιος περιέχει το 15% του συνολικού νερού των ποταμών, μόνο όμως το 0,4% του παγκόσμιου πληθυσμού έχει πρόσβαση, λόγω γεωγραφικής θέσης, στη χρήση του. Η ανομοιόμορφη κατανομή ισχύει και για τις βροχοπτώσεις με ορισμένες περιοχές της γης να είναι σχεδόν πάντοτε ξηρές, και άλλες, παρότι δεν είναι ξηρές, να πλήττονται κατά καιρούς από περιόδους ξηρασίας (Γκούνδρας, 2007).

Τα βασικά υδατικά ζητήματα που απασχολούν σήμερα κράτη και διεθνείς οργανισμούς είναι τα εξής τρία: η λειψυδρία, η μόλυνση των υδροφόρων οριζόντων και η ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων. Ένας στους έξι ανθρώπους παγκοσμίως (1,1 δις) δεν έχει πρόσβαση σε νερό, την ίδια στιγμή που ένας στους τρεις πίνει νερό που προέρχεται από εγκαταστάσεις που δεν πληρούν τις βασικές προϋποθέσεις υγιεινής (Σύλλας, 2007).

Ως λειψυδρία καλείται η περιστασιακή ή μονιμότερη έλλειψη νερού σε σχέση πάντα με τη χρήση, την κατάχρηση και τις πάσης μορφής απώλειες (Γσακίρης, 2008). Το φαινόμενο της λειψυδρίας σημειώνεται όταν οι ποσότητες του νερού που αφαιρούνται από τις λίμνες, τα ποτάμια ή το υπέδαφος είναι τόσο μεγάλες, ώστε οι προμήθειες νερού δεν επαρκούν πλέον για την ικανοποίηση των ανθρώπινων αναγκών ή των αναγκών του οικοσυστήματος. Μιλώντας με αριθμούς, η λειψυδρία, έχει οριστεί ως η κατάσταση κατά την οποία η διαθεσιμότητα νερού σε μια χώρα ή μια περιοχή είναι μικρότερη των 1000 m³/άτομο/έτος (MIO-ECSDE, 2007). Σε έναν Ισλανδό αντιστοιχούν ετησίως 708.000 m³ νερού, σε έναν Έλληνα 3.000 m³ και σε έναν Αιγύπτιο 30 m³ (Σταμάτη, 2000).

Οι άνθρωποι στις αναπτυγμένες χώρες καταναλώνουν καθημερινά κατά μέσο όρο περίπου 10 φορές περισσότερο νερό από εκείνους στις αναπτυσσόμενες. Υπολογίζεται ότι ο μέσος καταναλωτής των αναπτυγμένων χωρών χρησιμοποιεί την ημέρα άμεσα ή έμμεσα 500-800 λίτρα νερό (300 m³ ετησίως). Στις μεγάλες πόλεις, η κατανάλωση νερού υπολογίζεται σε 300-600 λίτρα ανά άτομο την ημέρα με το αντίστοιχο ποσό στις μικρές πόλεις να είναι 100-150 λίτρα. Στις αναπτυσσόμενες χώρες στην Ασία, την Αφρική και τη Λατινική Αμερική, η δημόσια κατανάλωση νερού αντιπροσωπεύει 50-100 λίτρα ανά άτομο την ημέρα (30 m³ ετησίως), ενώ σε περιοχές με ανεπαρκείς υδατικούς πόρους το ποσό αυτό ενδέχεται να μην ξεπερνά ημερησίως τα 10-40 λίτρα (Μεσόγειος SOS, 2008).

Στον πλανήτη κατοικούν 6,4 δισεκατομμύρια άνθρωποι, αριθμός διπλάσιος απ' ότι το

1960, ο οποίος το 2050 αναμένεται να παρουσιάσει αύξηση της τάξεως του 45% και να φτάσει τα 9,3 δις. Η αύξηση του πληθυσμού της γης, σε συνδυασμό με την αλλαγή των συνθηκών διαβίωσης, δημιουργούν δύο αντιφατικές τάσεις: τη συνεχή μείωση των κατά κεφαλήν διαθέσιμων υδατικών πόρων, εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού από τη μία πλευρά, και τη διαρκή αύξηση των κατά κεφαλήν υδατικών απαιτήσεων, ως αποτέλεσμα της αλλαγής των συνθηκών διαβίωσης από την άλλη (ΑΣΔΑ, 2008).

Το νερό, εκτός από απαραίτητο για τη συντήρηση της ίδιας της ζωής, είναι πρωταρχικής σημασίας για μεγάλο πλήθος εξόχως σημαντικών δραστηριοτήτων του ανθρώπου, από τη γεωργία και τη βιομηχανική ανάπτυξη, μέχρι τον τουρισμό και την παραγωγή ενέργειας. Η επέκταση και εντατικοποίηση των αρδεύσεων, με την εισαγωγή σύγχρονων υδροβόρων καλλιεργειών και την εφαρμογή σπάταλων σε νερό αρδευτικών μεθόδων στον αγροτικό τομέα και οι αυξημένες σε νερό απαιτήσεις επεξεργασίας των προϊόντων στο βιομηχανικό τομέα, επαληθεύουν τη μεγάλη αλλαγή που έχει επιτελεσθεί στη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών στην υδατική ζήτηση. Στο μέλλον εκτιμάται ότι θα υπάρξει περαιτέρω αύξηση των υδατικών αναγκών για τη γεωργία, την παροχή πόσιμου νερού, τις υπηρεσίες υγιεινής, τη λειτουργία βιομηχανιών και την τροφοδότηση των πόλεων. Κατά συνέπεια, το έλλειμμα στο υδατικό ισοζύγιο προσφοράς-ζήτησης ενδέχεται να αυξηθεί ακόμη περισσότερο, απειλώντας την παγκόσμια οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη και περιβαλλοντική βιωσιμότητα (Μεσόγειος SOS, 2008).

Έτσι αν το 2000, 508.000.000 άνθρωποι αντιμετώπιζαν προβλήματα λειψυδρίας, σύμφωνα με έκθεση του World Resources Institute, ο αριθμός αυτός το 2025 θα επταπλασιαστεί και θα φτάσει τα 3,5 δις, ενώ το 2050, εκτιμάται ότι 4,2 δις άνθρωποι (πάνω από το 45% του παγκόσμιου πληθυσμού) θα στερούνται της ελάχιστης απαιτούμενης ποσότητας νερού (50 λίτρα την ημέρα) για την επιβίωση και την ατομική τους καθαριότητα (Τζαμτζής, 2008).

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, που προήλθε από τις υψηλές εκπομπές των αερίων καύσης εξαιτίας της έντονης αναπτυξιακής δραστηριότητας των πλούσιων χωρών του βορρά στους τομείς της βιομηχανίας, της παραγωγής ενέργειας και των μεταφορών, προκάλεσε την υπερθέρμανση του πλανήτη, η οποία με τη σειρά της οδήγησε σε απορρύθμιση του κλίματος. Η απορρύθμιση του κλίματος έχει άμεσο αντίκτυπο σε οτιδήποτε σχετίζεται με το νερό. Μάλιστα η κλιματική αλλαγή εκτιμάται ότι θα επιφέρει στις περιοχές της Βόρειας και Κεντρικής Ευρώπης αύξηση του μέσου ύψους της βροχής, στις περιοχές της Μεσογείου συχνότερη εμφάνιση ακραίων φαινομένων με τη μορφή της εναλλαγής ξηρών και υγρών περιόδων και στις περιοχές του τρίτου κόσμου αύξηση της ανομβρίας. Γίνεται λοιπόν εύκολα αντιληπτό ότι σε συνθήκες κλιματικής αλλαγής, αναμένεται έξαρση των φαινομένων λειψυδρίας στις αναπτυσσόμενες χώρες (Μυλόπουλος, 2007).

Στα προβλήματα της λειψυδρίας και των απαιτήσεων του αυξανόμενου πληθυσμού,

έρχεται να προστεθεί το πρόβλημα της μόλυνσης. Υπολογίζεται ότι η ποσότητα των λυμάτων (οικιακών και βιομηχανικών) που καταλήγει κάθε χρόνο στους ποταμούς του πλανήτη, ισοδυναμεί με 450 km³. Στην Αφρική, τα απόβλητα της αναπτυσσόμενης βιομηχανίας καταλήγουν, χωρίς καμία διεργασία, στα νερά των ποταμών. Στα αναπτυγμένα κράτη πάλι, οι ποταμοί συχνά δηλητηριάζονται από τοξικές χημικές ουσίες, συμπεριλαμβανομένων των γεωργικών λιπασμάτων. Στη Βόρεια Αμερική, τη Νότια Ασία και τις περιοχές του Ειρηνικού τα περισσότερα ποτάμια και λίμνες έχουν επιβαρυνθεί από νιτρικά άλατα, απόβλητα βιομηχανιών και βαρέα μέταλλα (μόλυβδος, χρώμιο), ενώ οι 31 ποταμοί που διασχίζουν την Ευρώπη παρουσιάζουν προβλήματα ρύπανσης, με το 25% αυτών να είναι μολυσμένοι και ορισμένοι μάλιστα σε τέτοιο βαθμό, ώστε θεωρούνται οικολογικά νεκροί. Οι ασθένειες που σχετίζονται με το νερό (διαρροϊκές ασθένειες, χολέρα, τυφοειδής πυρετός) μπορούν να προκαλέσουν ακόμη και θάνατο. Υπενθυμίζεται ότι περισσότεροι από 400 εκατομμύρια άνθρωποι πάσχουν από γαστρεντερίτιδα και ακόμη 230 εκατομμύρια από άλλες ασθένειες που μεταδίδονται με το ακατάλληλο νερό (Καϊτατζής, 2007).

Η μεγάλη αύξηση του πληθυσμού, οι μη αιεφόροι μορφές κατανάλωσης, οι κακές πρακτικές διαχείρισης, η ρύπανση, η ανεπαρκής επένδυση σε υποδομές και η χαμηλή αποδοτικότητα στη χρήση του νερού, οδηγούν στην ταχύτατη μείωση των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων. Η κατάσταση των παγκόσμιων αποθεμάτων νερού παραμένει σήμερα εξαιρετικά επισφαλής, ενώ η ανάγκη για την ολοκληρωμένη και βιώσιμη διαχείρισή τους, επείγει όσο ποτέ άλλοτε. Ο εντοπισμός και η ανάπτυξη νέων πόρων, η ενίσχυση του θεσμικού δυναμικού και της διακυβέρνησης σε όλα τα επίπεδα, η περαιτέρω προώθηση της τεχνολογίας, η επιστράτευση υψηλότερου μεγέθους οικονομικών πόρων και η σωστή εφαρμογή των υπάρχουσών πρακτικών και γνώσεων είναι ενέργειες που συνθέτουν το πλαίσιο δράσης για την επιτυχή αντιμετώπιση των κρίσιμων υδατικών ζητημάτων (Μεσόγειος SOS, 2008).

1.6 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΥΔΑΤΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

Το σύνολο των υδατικών πόρων της Ελλάδας, επιφανειακών και υπόγειων, εκτιμάται στα 69 δις m³, εκ των οποίων τα 49 δις είναι η μέση ετήσια επιφανειακή απορροή και τα 20 δις οι υπόγειοι υδατικοί πόροι (Δάνδολος κ.ά., 2008). Συνολικά η Ελλάδα διαθέτει επαρκείς επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους. Υπάρχουν, όμως, διάφοροι λόγοι που μειώνουν σημαντικά την πραγματική διαθέσιμη ποσότητά τους και δυσκολεύουν την αξιοποίησή τους. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι η χωρικά και χρονικά άνιση κατανομή των υδατικών πόρων, η χωρικά και χρονικά ανομοιόμορφη κατανομή της ζήτησης ύδατος, η γεωμορφολογία της χώρας, η εξάρτηση της βόρειας Ελλάδας από διασυννοριακούς ποταμούς (περίπου 13 Gm³/y), το μεγάλο ανάπτυγμα ακτών και τα πολλά άνυδρα ή με ελάχιστους υδατικούς πόρους νησιά. Τα προβλήματα διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων επιτείνουν η

σημαντική αύξηση της κατανάλωσης, η μείωση της εισροής νερών από τις γειτονικές χώρες, η ρύπανση και η εμμονή ακραίων φαινομένων (ξηρασίες) (Σουφλιάς, 2008).

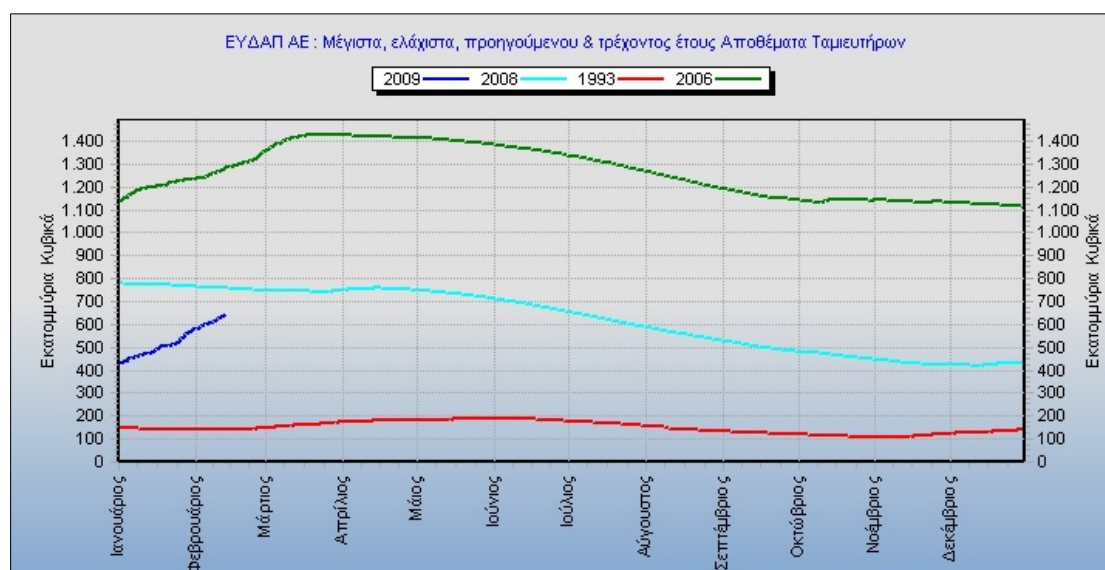
Οι δύο σημαντικότερες χρήσεις νερού στην Ελλάδα είναι η αστική και η αγροτική, με την αγροτική να απορροφά τη μερίδα του λέοντος με ποσοστό 86% (το 96% του οποίου αφορά άρδευση και απ' αυτό το 80% χάνεται σε απώλειες από τον υδρολογικό κύκλο της κάθε περιοχής). Η κατανομή για την αγροτική χρήση νερού της χώρας έχει ως εξής: το μεγαλύτερο μερίδιο κατέχει η Θεσσαλία (απορροφά το 25% του «γεωργικού» νερού και συγκεντρώνει το 21,7% της συνολικής ζήτησης νερού στη χώρα), με την Ανατολική Στερεά (12,5% της αγροτικής ζήτησης νερού), στη δεύτερη θέση, και την Κεντρική Μακεδονία (10,5%), στην τρίτη. Το μεγαλύτερο ποσοστό της αστικής χρήσης απορροφάται στην ύδρευση των μεγάλων αστικών κέντρων. Στην Ελλάδα την πρωτιά κατέχει η περιοχή της Αττικής, όπου καταναλώνεται το 4% του συνολικά διαθέσιμου νερού της χώρας, ποσότητα υπερτριπλάσια της αμέσως επόμενης (Κεντρική Μακεδονία). Ως προς τις υπόλοιπες «κατευθύνσεις» του νερού, μόλις το 2% των υδάτων απορροφάται για βιομηχανική χρήση, ενώ στο 1% ανέρχεται το ποσοστό του νερού που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας (Τερζής, 2006).

Το υδρολογικό καθεστώς της Ελλάδας παρουσιάζει ιδιαιτερότητες που διαφοροποιούν σημαντικά τις ανατολικές περιοχές της χώρας, οι οποίες, μαζί με τα νησιά του Αιγαίου και την Κρήτη, είναι περιοχές ιδιαίτερα προβληματικές από πλευράς φυσικού εμπλουτισμού, καθώς δέχονται μικρά ποσά βροχής, πολύ άνισρα κατανεμημένα στο χρόνο. Βιώνουν δηλαδή καταστροφικές πλημμύρες, ιδιαίτερα το χειμώνα, και μεγάλες ξηρασίες το καλοκαίρι. Η ανισότητα αυτή αναμένεται να αυξηθεί με μια ενδεχόμενη κλιματική αλλαγή, η οποία θα επιδεινώσει την επικινδυνότητα των πλημμυρών και παράλληλα τη δριμύτητα της ξηρασίας. Ειδικά για την ξηρασία, οι περιοχές αυτές βιώνουν ένα καθεστώς «ενδημικής» έλλειψης νερού που, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, απασχολεί λιγότερο ή περισσότερο. Για να μιλήσει όμως κανείς για λειψυδρία, σε μια περιοχή, θα πρέπει να αναφέρεται συνδυασμένα όχι μόνο στην κατάσταση των υδατικών πόρων, αλλά και στις χρήσεις του νερού. Δυστυχώς για την Ελλάδα, οι μεγάλοι χρήστες νερού βρίσκονται κυρίως στη μειονεκτική, όπως προαναφέρθηκε, από πλευράς φυσικού εμπλουτισμού, ανατολική και νότια περιοχή της χώρας. Η ανομοιόμορφη κατανομή των υδατικών πόρων, σε συνδυασμό με την πολύ υψηλή κατανάλωση νερού που συντελείται σε αυτές τις περιοχές, με ιδιαίτερη δε ένταση στη Θεσσαλία και στην Αττική, δημιουργούν σχεδόν μόνιμες συνθήκες διαρκούς επικινδυνότητας έλλειψης νερού και μη κάλυψης της υδατικής ζήτησης (Μιμίκου, 2001).

Τη διαχείριση των υδατικών πόρων στην Ελλάδα χαρακτηρίζουν η αλόγιστη χρήση και η ανεξέλεγκτη σπατάλη. Σε κάθε Έλληνα αναλογούν ετησίως περίπου 400 km³ νερό, όταν ο αντίστοιχος παγκόσμιος μέσος όρος είναι 240 km³. Καθημερινά χάνονται τεράστιες ποσότητες νερού λόγω των κακοσυντηρημένων αρδευτικών συστημάτων και της

λανθασμένης νοοτροπίας των Ελλήνων καταναλωτών. Στον αγροτικό τομέα, καταγράφονται απώλειες νερού της τάξεως του 45%. Η μεγάλη σπατάλη νερού στη γεωργία προκύπτει από έρευνα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου, σύμφωνα με την οποία το νερό που καταναλώνει συνολικά η Ελλάδα ανέρχεται ετησίως σε 25,2 Gm³, από τα οποία μόλις τα 0,83 Gm³ χρησιμοποιούνται στον οικιακό τομέα. Η κατανάλωση του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση σήμερα στην Ελλάδα, συγκριτικά με τις ανάγκες, μπορεί να θεωρηθεί ως «υπεράντληση», αφού σπαταλάται μέχρι και 40% περισσότερο νερό από το απαιτούμενο. Ωστόσο, η χρήση προηγμένων τεχνολογιών άρδευσης, η ανακύκλωση νερού και η μείωση των απωλειών στην αποθήκευση, μεταφορά και εφαρμογή του νερού και ο περιορισμός του χρόνου άρδευσης στο δεκατετράωρο μεταξύ 18.00 και 08.00, αποτελούν σημαντικά στοιχεία αντιμετώπισης της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης (Γιουρουκέλη, 2008).

Στην πρωτεύουσα τα αποθέματα νερού στις αρχές του παρόντος υδρολογικού έτους παρουσίαζαν σημαντική μείωση. Χαρακτηριστικά, τα συνολικά αποθέματα στους ταμιευτήρες της ΕΥΔΑΠ την 1/1/2008 ανέρχονταν κατά μέσο όρο σε 481 hm³, ποσότητα κατά 321 hm³ μικρότερη από την αντίστοιχη του 2007 και 662 hm³ μικρότερη από την αντίστοιχη του 2006 (σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3: Μέγιστα, ελάχιστα, προηγούμενου & τρέχοντος έτους αποθέματα ταμιευτήρων

Πηγή: <http://www.eydap.gr>

Η αλόγιστη χρήση και η ανεξέλεγκτη σπατάλη νερού, συνέπεια της οποίας είναι η μείωση των υδατικών διαθεσίμων, καθιστά επιτακτική ανάγκη τη λήψη μέτρων για τον περιορισμό της κατανάλωσης. Η Ελλάδα πρέπει να εξετάσει τον τρόπο με τον οποίο διαχειρίζεται τους υδατικούς της πόρους και να φροντίσει ώστε οι ανάγκες διαχείρισης του νερού να ενσωματωθούν στις υπάρχουσες περιβαλλοντικές πολιτικές. Χρειάζεται ολοκληρωμένος σχεδιασμός και εφαρμογή των νόμων στην πράξη. Είναι καιρός να αλλάξουμε στάση και να υιοθετήσουμε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, ώστε να εξασφαλισθεί η ποσοτική και ποιοτική επάρκεια των υδατικών αποθεμάτων (Μόσχου, 2007).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΔΑΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων (ΔΥΠ), η οποία προβάλλει σήμερα περισσότερο από ποτέ ως κεφαλαιώδες ζήτημα πρωταρχικής σημασίας. Συγκεκριμένα δίνεται ο ορισμός, οι στόχοι, οι κανόνες και οι δραστηριότητες της ΔΥΠ και παρατίθενται τα χαρακτηριστικά που πρέπει να διακρίνουν τους αναζητούμενους τρόπους υδατικής διαχείρισης αλλά και τα στοιχεία που συνθέτουν το βασικό υπόβαθρο μιας αποτελεσματικής διαχείρισης. Ακολουθεί περιγραφή του εθνικού θεσμικού πλαισίου διαχείρισης και προστασίας των υδατικών πόρων και η κατάσταση της αξιοποίησής τους στην Ελλάδα, κατόπιν εξηγείται η έννοια της ολοκληρωμένης διαχείρισης του νερού και η συμβολή της στην αειφορία των υδατικών πόρων, και, τέλος, καταγράφονται κάποιες «σύγχρονες» μορφές υδατικών διαχειρίσεων.

2.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Η άνιση κατανομή των διαθέσιμων υδατικών πόρων σε χωροχρονικό επίπεδο, οι ολοένα αυξανόμενες ανάγκες σε υδατικό δυναμικό για διάφορες χρήσεις, η, διαρκώς, αυξανόμενη απειλή υδατικών ελλειμμάτων και ποιοτικής υποβάθμισης των υδατικών συστημάτων, οι λειψυδρίες και ξηρασίες, οι ρυπάνσεις και μολύνσεις, καθιστούν το θέμα της υδατικής διαχείρισης, ως πρωτεύον και κυριαρχικό (Στουρνάρας, 2007). Η Διαχείριση Υδατικών Πόρων (ΔΥΠ), ως επιστημονική προσέγγιση, αλλά και ως επιχειρησιακή πρακτική, βρίσκεται σε άμεση συσχέτιση και εμπλέκεται ενεργά με τη διαδικασία της ανάπτυξης, αλλά και με εκείνη της περιβαλλοντικής πολιτικής. Αυτό είναι φυσικό, καθώς το νερό είναι από τα πλέον πολύτιμα και ευαίσθητα περιβαλλοντικά αγαθά, ως ανανεώσιμος φυσικός πόρος, ενώ συγχρόνως συμμετέχει ενεργά στην αναπτυξιακή διαδικασία, αποτελώντας προϋπόθεση για κάθε μορφή οικονομικής ανάπτυξης (Μυλόπουλος, 2000).

Στη διεθνή βιβλιογραφία, απαντώνται περισσότεροι του ενός ορισμοί της ΔΥΠ. Σύμφωνα με το Ν. 1739/1987 του ΥΒΕΤ, ως διαχείριση υδατικών πόρων, νοείται το σύνολο των μέτρων και των δραστηριοτήτων που πρέπει να αναπτύσσονται για την κάλυψη των αναγκών σε νερό. Ο Grigg (1996) ορίζει ως διαχείριση υδατικών πόρων την εφαρμογή μέτρων (κατασκευαστικών και μη)² για τον έλεγχο των συστημάτων υδατικών πόρων³ (φυσικών και τεχνητών) προς όφελος του ανθρώπου και του περιβάλλοντος. Πλήρης ορισμός

² Τα κατασκευαστικά μέτρα αφορούν σε τεχνικές κατασκευές και εγκαταστάσεις που σκοπό έχουν την ποσοτική και ποιοτική ρύθμιση του νερού. Τα μη κατασκευαστικά μέτρα περιλαμβάνουν διαχειριστικά σχέδια και δράσεις που δεν απαιτούν τεχνικές κατασκευές (τιμολογιακά σχέδια, ζωνοποίηση περιοχών, θέσπιση κινήτρων, δημόσιες σχέσεις, διακανονισμοί, ασφαλιστήρια κ.λπ.) (Βαράνου κ.ά., 2005).

³ Ο όρος υδροσύστημα χαρακτηρίζει ένα σύστημα αποτελούμενο από φυσικά υδάτινα σώματα και τεχνικά έργα, που συνεργαζόμενα εξυπηρετούν έναν ή περισσότερους σκοπούς, που αναφέρονται τόσο στην αξιοποίηση του νερού ως φυσικού πόρου, όσο και στην προστασία από την καταστροφική δράση του ως φυσικού κινδύνου. Το σύστημα υδατικών πόρων (water resource system) είναι όρος με περιεχόμενο στενότερο του υδροσυστήματος-δεν περιλαμβάνει τα συστήματα ελέγχου πλημμυρών (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1997).

της ΔΥΠ είναι και αυτός του Μαμάση (2007), όπου Διαχείριση Υδατικών Πόρων καλείται το σύνολο των δράσεων (έργων και μέτρων), μέσω των οποίων επιδιώκεται η πληρέστερη δυνατή κάλυψη των σημερινών και μελλοντικών αναγκών σε νερό για κάθε χρήση ή στην περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό, επιδιώκεται η εξασφάλιση της ισότιμης ικανοποίησης όλων των ενδιαφερομένων, σε σχέση με την κοινωνική σημασία της κάθε χρήσης. Οι δράσεις αναπτύσσονται σε πέντε επίπεδα (θεσμικό, τεχνολογικό, οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό), έτσι ώστε να επιτυγχάνεται το βέλτιστο αναπτυξιακό, οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό αποτέλεσμα.

Η ΔΥΠ έχει ως στόχους: α) την προμήθεια νερού επαρκούς ποσότητας και κατάλληλης ποιότητας για την ικανοποίηση των διαφόρων αναγκών, β) την προστασία των υδατικών πόρων από τη ρύπανση, γ) τη διατήρηση των οικοσυστημάτων και του φυσικού περιβάλλοντος, δ) την προστασία από τα ακραία φαινόμενα (πλημμύρες/ξηρασίες), ε) τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας των υδατικών πόρων, στ) τη μέριμνα για τη διατήρηση των αναγκαίων αποθεμάτων στο μέλλον και την αποφυγή μη αναστρέψιμων επεμβάσεων και ζ) τη διατήρηση υψηλού επιπέδου αξιοπιστίας (περιορισμός της αβεβαιότητας) (Κουτσογιάννης, 2007). Βασικοί κανόνες της ΔΥΠ είναι η ισομερής κατανομή μεταξύ των χρηστών με βάση αντικειμενικά κριτήρια, η οικονομική βελτιστοποίηση της χρήσης νερού σήμερα και στο μέλλον, η αποφυγή βλαβών και άλλων αρνητικών συνεπειών (καταστροφή πόρων και περιβάλλοντος) και η βιωσιμότητα της ανάπτυξης (Μαμάσης, 2007).

Δύο ειδών δραστηριότητες σχετίζονται με τους υδατικούς πόρους. Η πρώτη δραστηριότητα περιλαμβάνει τα «έργα» και αναφέρεται στα έργα ανάπτυξης (δίκτυα ύδρευσης, γεωτρήσεις κ.λπ.) και τα έργα διατήρησης και ελέγχου (αντιπλημμυρικά έργα, έργα βιολογικού καθαρισμού κ.λπ.) των υδατικών πόρων. Η δεύτερη δραστηριότητα αφορά στη διαχείριση των υδατικών πόρων για την εξασφάλιση της βέλτιστης χρήσης νερού στο παρόν και στο μέλλον. Στις δραστηριότητες της ΔΥΠ περιλαμβάνονται: α) η έρευνα και μελέτη των υδατικών πόρων (με οικονομικά και κοινωνικά κριτήρια), β) η συλλογή και η ανάλυση των ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων για τους υφιστάμενους και αναξιοποίητους υδατικούς πόρους και τη ζήτηση σε όλους τους τομείς, με βάση τα υφιστάμενα έργα ή έργα που μπορούν να γίνουν, γ) η ανάπτυξη στρατηγικής και προετοιμασίας «σχεδίων», δ) η απόφαση για σχέδια και η εξασφάλιση αποδοχής και συμμετοχής των διαφόρων ενδιαφερομένων ομάδων και ε) η εφαρμογή κάθε σχεδίου (Τσακίρης, 1995).

Οι αναζητούμενοι τρόποι υδατικής διαχείρισης πρέπει να χαρακτηρίζονται από ορθολογικότητα (δηλαδή να είναι επιστημονικά θεμελιωμένοι), αποδοτικότητα (δηλαδή να αξιοποιούν τους υδατικούς πόρους στο μέγιστο δυνατό βαθμό) και βιωσιμότητα (δηλαδή να μη δημιουργούν πρόβλημα εξάντλησης των υδατικών πόρων στο μέλλον για την κάλυψη των αναγκών του σήμερα). Το αποτέλεσμα της βέλτιστης λειτουργίας είναι η κάλυψη της ζήτησης

να γίνεται με αξιοπιστία (μείωση της πιθανότητας μη κάλυψης της ζήτησης νερού σε αποδεκτά επίπεδα), με νερό ασφαλούς ποιότητας, με μεθόδους που δε δημιουργούν προβλήματα στο περιβάλλον και με οικονομικά πρόσφορο τρόπο (Μαμάσης, 2007).

Βασικό υπόβαθρο για την επίτευξη αποτελεσματικής διαχείρισης, αποτελεί το ανθρώπινο δυναμικό και η τεχνολογική υποδομή, ενώ απαραίτητη είναι και η κατάλληλη υλικοτεχνική υποδομή, με την υιοθέτηση σύγχρονων τεχνολογιών και αντιλήψεων. Βάσεις δεδομένων, επαρκείς και ενημερωμένες με τα απαραίτητα δεδομένα, κατάλληλο λογισμικό για τη διαχείριση της πρωτογενούς πληροφορίας, βαθμονομημένα ομοιώματα για την προσομοίωση των φυσικών διεργασιών και την ανάπτυξη σεναρίων και γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών για την προσομοίωση της χωρικής μεταβλητότητας των συνιστωσών είναι μόνο μερικά από τα απαραίτητα στοιχεία που συνθέτουν το πλαίσιο πάνω στο οποίο θα αναπτυχθούν οι δράσεις και οι ενέργειες με σκοπό τη διαχείριση (Βαράνου κ.ά., 2005).

Σύμφωνα με τον Ασημακόπουλο (2008) τα βασικά εργαλεία για την ορθολογική διαχείριση της ζήτησης νερού είναι τα εξής πέντε: α) επιβολή (νομοθεσία, αυστηρές προδιαγραφές, πρότυπα), β) ενθάρρυνση (υποστήριξη των καταναλωτών για την ορθολογική χρήση του νερού), γ) τεχνολογία και σχεδιασμός (διαχείριση διαρροών και ελαχιστοποίηση απωλειών, μέτρηση κατανάλωσης, μείωση πίεσης, μειωτές ροής), δ) οικονομικά εργαλεία (οικονομικά κίνητρα και αντικίνητρα-τιμολόγηση) και ε) εκπαίδευση (πρόσβαση σε δεδομένα, πληροφόρηση, ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των καταναλωτών).

Για να θεωρηθεί ολοκληρωμένος ένας αναπτυξιακός σχεδιασμός, είτε σε επίπεδο χώρας, είτε σε επίπεδο περιφερειακό, επιβάλλεται να είναι ενταγμένη σ' αυτόν μια στρατηγική διαχείρισης υδατικών πόρων, κεντρικά και περιφερειακά. Απαιτείται δε, ενεργός συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων κρατικών φορέων και όλων των ενδιαφερομένων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Μια αποτελεσματική διαχείριση προάγει, ανάμεσα σε άλλα, τη διατήρηση των υπαρχόντων φυσικών υδατικών συστημάτων, τη σχεδιασμένη επαναχρησιμοποίηση των υδατικών πόρων, την αναβάθμιση της ποιότητας των υδατικών πόρων και τη διαχείριση της ζήτησης του νερού με σκοπό την εξοικονόμηση (Βαράνου κ.ά., 2005).

2.2 ΠΛΑΙΣΙΟ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Σύμφωνα με την Έκθεση Περιβαλλοντικών Επιδόσεων του 2000 που υπέβαλε η Ελλάδα στον ΟΟΣΑ, διαθέτει επάρκεια υδατικών πόρων. Εξαιτίας, όμως, της ανομοιογενούς κατανομής τους μέσα στον ελλαδικό χώρο καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολη η διαχείριση και η βιώσιμη χρήση τους. Το πρόβλημα οξύνεται ακόμη περισσότερο λόγω της κακής διαχείρισης των υδατικών πόρων. Η ανεξέλεγκτη οικιστική ανάπτυξη, οι υδροβόρες καλλιέργειες και η αλόγιστη σπατάλη κυρίως στη γεωργία, η τουριστική ανάπτυξη που φτάνει στην κορύφωση

της μέσα στο καλοκαίρι, δηλαδή στην πιο ξηρή περίοδο του υδρολογικού κύκλου, τα πλημμελώς συντηρούμενα δίκτυα ύδρευσης, η μη επαναχρησιμοποίηση δευτερογενών και τριτογενών επεξεργασμένων λυμάτων είναι μερικοί από τους παράγοντες που συντελούν προς αυτή την κατεύθυνση. Επιπλέον, η έλλειψη μέχρι πρότινος κατάλληλης διαχειριστικής νομοθεσίας και πρακτικής (μόλις το 1987 ψηφίστηκε ο Ν.1739) και η απουσία υδατικής συνείδησης, συνιστούσαν εγκληματική αμέλεια (Δράκος, 2008). Είναι γεγονός ότι στην έκθεση του ΟΟΣΑ για το περιβάλλον στην Ελλάδα, από πλευράς υδατικής διαχείρισης η Ελλάδα, τουλάχιστον μέχρι τα τελευταία χρόνια, χαρακτηρίστηκε ως χώρα «σπάταλη» (Στουρνάρας, 2007).

Την ΔΥΠ στην Ελλάδα επιδιώκει να ρυθμίσει ο Ν. 1739/1987 «Διαχείριση των Υδατικών Πόρων και άλλες διατάξεις». Ο νόμος αυτός εισάγει την ολοκληρωμένη και διατομεακή αντιμετώπιση των θεμάτων αξιοποίησης και προστασίας των υδατικών πόρων, θεσμοθετεί διαδικασίες και όργανα προγραμματισμού και διαχείρισης, δημιουργεί προϋποθέσεις για τη διαμόρφωση υδατικών πολιτικών σε συνδυασμό με τις αναπτυξιακές και συμβάλλει στην προστασία και ανανέωση των υδατικών πόρων και στην εξομάλυνση των ανταγωνιστικών χρήσεων. Μεταξύ άλλων, με το Ν. 1739/1987 ορίζεται το αρμόδιο για τους φυσικούς πόρους Υπουργείο Ανάπτυξης και συγκεκριμένα η Δ/ση Υδατικού Δυναμικού και Φυσικών Πόρων ως φορέας για τη διαχείριση των υδατικών πόρων, καθώς και οι αρμόδιοι φορείς χρήσης.



Σχήμα 2.1: Τα 14 υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας
Πηγή: ΥΠΑΝ, 2008

Θεσμοθετούνται επίσης, τα 14 υδατικά διαμερίσματα⁴ της χώρας (σύνολα λεκανών απορροής με κατά το δυνατόν όμοιες υδρολογικές-υδρογεωλογικές συνθήκες) (σχήμα 2.1), που αποτελούν το περιφερειακό επίπεδο στον τομέα της διαχείρισης του νερού (ΥΠΑΝ, 2008).

Ωστόσο, οι αδυναμίες του δημόσιου τομέα, αλλά κυρίως η πολυπλοκότητα του θεσμοθετηθέντος διοικητικού σχήματος (δυσχέρεια στη λήψη καθοριστικών αποφάσεων) συνέτειναν στη μη προώθηση της εφαρμογής του Ν. 1739/1987 στην κλίμακα που

⁴ Τα 14 υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας είναι της Δυτικής Πελοποννήσου (01), της Βόρειας Πελοποννήσου (02), της Ανατολικής Πελοποννήσου (03), της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (04), της Ηπείρου (05), της Αττικής (06), της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (07), της Θεσσαλίας (08), της Δυτικής Μακεδονίας (09), της Κεντρικής Μακεδονίας (10), της Ανατολικής Μακεδονίας (11), της Θράκης (12), της Κρήτης (13) και των Νήσων Αιγαίου (14).

επιβάλλεται από το μέγεθος των προβλημάτων, με αποτέλεσμα τη συνέχιση της αποσπασματικής και ευκαιριακής αντιμετώπισης του νερού.

Αν και ο Ν. 1739/1987 αποτέλεσε το πλαίσιο διαχείρισης και προστασίας των υδάτων στη χώρα μας για 15 χρόνια περίπου, η Οδηγία-Πλαίσιο 2000/60/EK είναι το νέο θεσμικό εργαλείο για την προστασία των υδατικών πόρων. Βασικοί στόχοι της Οδηγίας-Πλαίσιο είναι: α) ο ανασχηματισμός της ευρωπαϊκής νομοθεσίας, εισάγοντας ένα νέο μοντέλο για τη διαχείριση των νερών κάθε μορφής, β) η επίτευξη της καλής οικολογικής και χημικής κατάστασης των υδατικών συστημάτων και η αποτροπή της περαιτέρω υποβάθμισής τους και γ) η επιβολή της υδατικής διαχείρισης σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού με συντονισμό όλων των υδατικών χρήσεων. Σε αυτή τη λογική, η Κοινοτική Οδηγία υποχρεώνει τα κράτη-μέλη μέχρι το 2015 και μέσα από διαδοχικές φάσεις προγραμμάτων και δράσεων, να επιτύχουν την «καλή» ποιοτική κατάσταση των υδάτων, έτσι όπως αυτή ορίζεται χημικά και βιολογικά στην Οδηγία.

Η Οδηγία-Πλαίσιο, που έχει ενσωματωθεί στην εθνική νομοθεσία με το Ν. 3199/2003 «Προστασία και διαχείριση των Υδάτων-Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2000» και το Π.Δ. 51/2007, εισάγει ορισμένες σημαντικές αρχές σχετικά με την πολιτική που θα πρέπει να ακολουθείται. Αναφέρει ότι το νερό δεν είναι εμπορικό προϊόν αλλά αποτελεί κληρονομιά που πρέπει να προστατεύεται, ότι το κόστος των παρεχόμενων υπηρεσιών ύδατος προς τον πολίτη θα πρέπει να ανακτάται και ότι ο ρυπαίνων τους υδατικούς πόρους θα πληρώνει. Επίσης, καταρτίζεται μητρώο προστατευμένων περιοχών για την προστασία οικοτόπων που εξαρτώνται από το νερό, προσδιορίζονται όλα τα υδατικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την ύδρευση και που παρέχουν νερό σε περισσότερα από 50 άτομα, παρακολουθούνται και προστατεύονται τα υδατικά συστήματα που εξυπηρετούν ανθρώπινες ανάγκες άνω των 100 m³/ημερησίως, ορίζονται τα υδατικά συστήματα τα οποία μελλοντικά πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για υδρευτική χρήση, καθορίζεται κατάλογος ουσιών που προκαλούν ρύπανση στα ύδατα και καθιερώνονται κυρώσεις από τα κράτη-μέλη αποτρεπτικές για τους ρυπαίνοντες, ανάλογες και αυστηρές. Σε εφαρμογή του παραπάνω πλαισίου, με το Ν. 3199/2003 θεσμοθετείται, μεταξύ άλλων, μια σειρά από κρίσιμα όργανα για την προστασία και διαχείριση των νερών, σε εθνικό (Εθνική Επιτροπή Υδάτων, Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων, Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων του ΥΠΕΧΩΔΕ) και περιφερειακό (Διευθύνσεις Υδάτων, Περιφερειακά Συμβούλια Υδάτων) επίπεδο (Τζανακούλης, 2008).

Το δε Π.Δ. 51 του 2007 «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2000/60/EK «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2000», περιγράφει τις περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού και τα χαρακτηριστικά τους, δίδει τους

περιβαλλοντικούς στόχους και τα μέτρα για την επίτευξη αυτών στους υδατικούς πόρους, καθορίζει μέτρα για τα υδρευτικά συστήματα, επιβάλλει στις Δ/νσεις Υδάτων την παρακολούθηση και διασφάλιση της αειφορίας και της καλής κατάστασης των υδρευτικών συστημάτων της κάθε Περιφέρειας και εισάγει την καταβολή κόστους χρήσης νερού, για τον έλεγχο των σημειακών και των διάχυτων πηγών ρύπανσης. Γίνεται, επίσης, αναφορά στα προγράμματα παρακολούθησης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και των προστατευόμενων περιοχών, στα προγράμματα μέτρων, ειδικών μέτρων κατά της ρύπανσης και ειδικών μέτρων για την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων, στα σχέδια διαχείρισης και στη διαδικασία δημοσιοποίησης τους, στην υποχρέωση υποβολής εκθέσεων στην Επιτροπή Ε.Κ. και στις κυρώσεις που επιβάλλονται σε όσους ρυπαίνουν τα νερά.

Η μέχρι τώρα πορεία της χώρας μας καταδεικνύει, ωστόσο, την αδυναμία προσαρμογής της Ελλάδας στις επιταγές της Οδηγίας-Πλαίσιο, με αποτέλεσμα η επίτευξη ως το 2015 των στόχων για καλή ποιοτική και ποσοτική κατάσταση και αποτροπή της περαιτέρω υποβάθμισης όλων των υδάτων της χώρας, όπως αυτοί ορίζονται βάσει του Ν. 3199/2003 και του Π.Δ. 51/2007, να καθίσταται εξαιρετικά αμφίβολη. Η Ελλάδα βρίσκεται στην τελευταία θέση όσον αφορά στην εφαρμογή των όρων της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ. Δεν έχει ολοκληρώσει, ως όφειλε μέχρι τις αρχές του 2005, την ανάλυση των χαρακτηριστικών και των επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (γεωργία, τουρισμός) στην κατάσταση των υδάτων, δεν έχουν λειτουργήσει το Εθνικό Συμβούλιο και τα Περιφερειακά Συμβούλια Υδάτων, αν και έχουν συσταθεί προ τετραετίας περίπου, δεν έχουν στελεχωθεί οι Δ/νσεις Υδάτων των Περιφερειών, δεν έχουν ολοκληρωθεί τα Διαχειριστικά Σχέδια των Περιφερειών και δεν έχουν ληφθεί μέτρα για την προσαρμογή σε βασικές αρχές της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, όπως ο ρυπαίνων πληρώνει, η αξιολόγηση των υδατικών σωμάτων και η ανάκτηση του κόστους. Ιδιαίτερα η ανάκτηση του κόστους του αρδευτικού νερού, που αποτελεί άνω του 85% της συνολικής κατανάλωσης νερού στην Ελλάδα είναι θέμα μείζονος σημασίας (Αγγελάκης, 2008).

Κατά συνέπεια, αποτελεί αδήριτη ανάγκη, η ανάπτυξη μιας συνολικής στρατηγικής διαχείρισης των υδατικών πόρων, ενώ πρέπει να επανεξετασθεί η εναρμόνιση της Ελληνικής νομοθεσίας με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες της ελληνικής επικράτειας. Η πολιτεία πρέπει να προωθήσει άμεσα την καλύτερη διαχείριση του νερού, υιοθετώντας μια πολιτική στραμμένη στην ανάπτυξη των υδατικών πόρων και την προστασία του περιβάλλοντος, μια πολιτική που να αφορά στο σύνολο του πληθυσμού με προφανείς κοινωνικοοικονομικές ωφέλειες. Βασικοί τομείς δράσης στους οποίους πρέπει να επικεντρώνεται η εθνική προσπάθεια είναι: α) η προστασία των υπόγειων υδάτων με περιορισμό των απωλειών ύδατος, υποκατάσταση των υπόγειων υδάτων με επιφανειακά και μείωση των σημειακών και διάχυτων πηγών ρύπανσης, β) η εξοικονόμηση ύδατος μέσω της

αποχέτευσης και επεξεργασίας λυμάτων, γ) η αξιοποίηση και ανάπτυξη των επιφανειακών υδατικών πόρων με μεγάλα υδραυλικά έργα υποδομής, έργα βελτίωσης της κατάστασης των υδροφορέων, έργα εξοικονόμησης ενέργειας από τις αντλήσεις και έργα βελτίωσης των συνθηκών ύδρευσης, δ) η διαχείριση της ζήτησης με προσδιορισμό της προσφοράς και ζήτησης, αποδοτικότερες μεθόδους άρδευσης, λιγότερο υδροβόρες καλλιέργειες και συντήρηση/επιδιόρθωση των αρδευτικών καναλιών και δικτύων, ε) η αντιπλημμυρική προστασία με χρηματοδότηση και κατασκευή αντιπλημμυρικών έργων, στ) οι διακρατικές συμφωνίες με τα όμορα κράτη, με σκοπό τη μακροπρόθεσμη ολοκληρωμένη διαχείριση και προστασία της ποιότητας των υδατικών πόρων και την εξασφάλιση της ελάχιστης περιβαλλοντικής παροχής, για τα σημαντικά οικοσυστήματα της περιοχής και, ζ) η κοστολόγηση των χρήσεων και έργων αξιοποίησης του νερού, σε συνδυασμό με τον επιμερισμό του κόστους-οφέλους στις διάφορες χρήσεις και τη δημιουργία ενός συστήματος κινήτρων (επιδότησεις, αποζημιώσεις) (Δράκος, 2008).

2.3 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η ανάπτυξη των υδατικών πόρων μιας περιοχής προϋποθέτει κατά κανόνα μεγάλης κλίμακας υδραυλικά έργα, κυρίως φράγματα και ταμιευτήρες. Με δεδομένες τις γεωγραφικές και κλιματικές ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει η Ελλάδα (άνιση χωροχρονική κατανομή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και κατά μείζονα λόγο των απορροών, έντονες γεωμορφολογικές διαφοροποιήσεις ανά υδατικό διαμέρισμα, σε συνδυασμό με τη χρονική αντιστροφή της κατανομής της ζήτησης και της υπερσυγκέντρωσής της σε περιορισμένους χώρους με ασήμαντους υδατικούς πόρους), θα περίμενε κανείς να έχει υψηλούς δείκτες στην κατασκευή μεγάλων υδραυλικών έργων αξιοποίησης των υδατικών πόρων. Όμως, η πραγματικότητα είναι διαφορετική. Ο πίνακας 2.1 δείχνει χαρακτηριστικά ότι η Ελλάδα δεν εντάσσεται καν σε ένα κατάλογο 23 χωρών του ευρωπαϊκού και μεσογειακού περίγυρου της, που διαθέτουν περισσότερα από 50 φράγματα. Η Ισπανία διαθέτει 1196 φράγματα και ακολουθεί η Τουρκία με 625 φράγματα. Η Γαλλία, η Ιταλία και το Ηνωμένο Βασίλειο διαθέτουν πάνω από 500 φράγματα. Είναι ακόμη χαρακτηριστικό ότι μια μικρή χώρα όπως η Αλβανία διαθέτει 306 φράγματα, ενώ ο αριθμός των φραγμάτων στην Ελλάδα μόλις φτάνει τα 46 (Κουτσογιάννης, 2007).

Πίνακας 2.1: Ευρωπαϊκές και Μεσογειακές χώρες με περισσότερα από 50 μεγάλα φράγματα και αντίστοιχος αριθμός φραγμάτων

Ισπανία	1196	Αυστρία	149
Τουρκία	625	Γσεχία	118
Γαλλία	569	Αλγερία	107
Ιταλία	524	Πορτογαλία	103

Ηνωμένο Βασίλειο	517	Μαρόκο	92
Νορβηγία	335	Ρωσία	91
Γερμανία	311	Τυνησία	72
Αλβανία	306	Γιουγκοσλαβία	69
Ρουμανία	246	Φινλανδία	55
Σουηδία	190	Κύπρος	52
Βουλγαρία	180	Σλοβακία	50
Ελβετία	156	ΕΛΛΑΔΑ	46

Πηγή: *World Commission on Dams, 2000 (Annex V)*

Διεθνώς, τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει σκεπτικισμός για τη σκοπιμότητα κατασκευής μεγάλων φραγμάτων (World Commission on Dams, 2000). Ο σκεπτικισμός είναι εύλογος σχετικά με την κατασκευή νέων φραγμάτων σε ισχυρές Ευρωπαϊκές χώρες (Γαλλία, Γερμανία, Μεγάλη Βρετανία, Ιταλία, Ισπανία), καθώς πρόκειται για χώρες που ήδη έχουν αναπτύξει ικανοποιητικά τους υδατικούς τους πόρους, τόσο από πλευράς διάθεσης νερού για υδρευτικές και αρδευτικές χρήσεις, όσο και για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Δικαιολογημένος σε ένα βαθμό είναι και ο σκεπτικισμός που έχει εκφραστεί για την κατασκευή φραγμάτων σε φτωχές χώρες της Αφρικής και της Ασίας, οι οποίες στερούνται της εγχώριας τεχνογνωσίας, κυρίως όσον αφορά τη διαχείριση των φραγμάτων στη φάση λειτουργίας, με αποτέλεσμα συχνά τα έργα να μη λειτουργούν ικανοποιητικά. Η κατάσταση στην Ελλάδα είναι όμως τελείως διαφορετική, αφού αφενός διατίθεται η απαιτούμενη εγχώρια τεχνογνωσία για την κατασκευή και λειτουργία των έργων και αφετέρου οι υδατικοί της πόροι δεν έχουν αναπτυχθεί ακόμη στο βαθμό που θα έπρεπε, ώστε να καλύπτονται οι υδατικές και ενεργειακές της ανάγκες.

Οι λόγοι της καθυστέρησης στην ανάπτυξη των υδραυλικών έργων στην Ελλάδα αρχικά αποδίδονται στα οικονομικά προβλήματα στη διάρκεια της σύγχρονης ιστορίας, ενώ στη σημερινή εποχή που οι οικονομικές δυνατότητες είναι μεγαλύτερες, η λήψη αποφάσεων για νέα έργα έχει γίνει ιδιαίτερα δυσχερής, λόγω των κοινωνικών αντιδράσεων. Η συχνή έλλειψη κεντρικού προγραμματισμού και σχεδιασμού για την αξιοποίηση των υδατικών πόρων, η δυσλειτουργία του κρατικού μηχανισμού σε συνδυασμό με τη ανάγκη σοβαρής και μακρόχρονης μελετητικής προετοιμασίας, μέχρι να ξεκινήσει η υλοποίηση ενός μεγάλου έργου, το μεγάλο αρχικό κόστος και η δυσκολία χρηματοδότησης έργων της συγκεκριμένης κλίμακας, κάνουν συχνά τους πολίτες διστακτικούς στον τρόπο που αντιδρούν στα έργα αυτά και φιλικούς προς τις ομάδες που εναντιώνονται στην κατασκευή τους (Κουτσογιάννης και Τσελέντης, 2002).

Η καθυστέρηση αναφέρεται κυρίως στα έργα αξιοποίησης των επιφανειακών νερών, καθώς τα υπόγεια νερά (όπου υπάρχουν) έχουν αξιοποιηθεί σε επαρκή βαθμό με τη διάνοιξη

και λειτουργία συλλογικών ή ιδιωτικών γεωτρήσεων. Αυτό γιατί η αξιοποίηση των υπόγειων νερών παρουσιάζει (ιδιαίτερα για μικρής και μεσαίας κλίμακας τοπική αξιοποίηση), τεχνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα σε σχέση με εκείνη των επιφανειακών, δεδομένου ότι δεν απαιτείται η κατασκευή έργων ταμίευσης και μεταφοράς. Για τον ίδιο λόγο, η αξιοποίηση των υπογείων υδατικών πόρων έχει οδηγήσει συχνά στην υπερεκμετάλλευσή τους, σε βαθμό πολύ μεγαλύτερο του ρυθμού ανανέωσης των αποθεμάτων. Κατά συνέπεια, οι υπόγειοι υδατικοί πόροι πολλών παράκτιων περιοχών και νησιών αλλά και περιοχών απομακρυσμένων από τη θάλασσα (Θεσσαλία) αντιμετωπίζουν προβλήματα, όπως ταπείνωση στάθμης, καθιζήσεις εδαφών, υφαλμύρωση και γενικότερη ποιοτική υποβάθμιση του νερού, τα οποία είναι δισεπίλυτα, λόγω της αργής κίνησης και ανανέωσης του υπογείου νερού (μπορεί να απαιτούνται και αιώνες για την αντιστροφή της κατάστασης).

Έτσι, σήμερα είναι επιτακτική η ανάγκη αυστηρά ελεγχόμενης εκμετάλλευσης των υπογείων υδροφορέων, συνδυασμένης με την αξιοποίηση των επιφανειακών νερών. Δεδομένης της κακής ποσοτικής και ποιοτικής κατάστασης των υπογείων υδατικών πόρων της χώρας και της απαίτησης ανάκαμψής τους, αποτελεί μονόδρομη διαχειριστική επιλογή η αξιοποίηση των επιφανειακών υδατικών πόρων. Η επιλογή αυτή συνδυάζεται με την κατασκευή και τη λειτουργία μεσαίας και μεγάλης κλίμακας και οικονομικής αξίας έργων, τα οποία θα επιτρέψουν την κάλυψη των υδατικών ελλειμμάτων των ελλειμματικών περιοχών της χώρας και τη μερική επαναφορά των υπογείων υδατικών πόρων σε ανεκτή κατάσταση. Λόγω της κλίμακας τους, τα έργα αυτά απαιτούν προσεκτικό περιβαλλοντικό σχεδιασμό με στόχο την κατά το δυνατό μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη μεγιστοποίηση των θετικών (Κουτσογιάννης, 2007).

Τα έργα αυτού του τύπου που έχουν κατασκευαστεί ως τώρα, στην πλειονότητά τους σχεδιάστηκαν αρχικά ως καθαρά ενεργειακά έργα και το κόστος τους υπερκαλύφθηκε από το όφελος της παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας, συμβάλλοντας έτσι στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας και στην εθνική οικονομία. Παρά τον αρχικό σχεδιασμό τους με κυρίαρχο το ενεργειακό κριτήριο, τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα στην πραγματικότητα λειτούργησαν ως έργα πολλαπλού σκοπού, αποδίδοντας νερό και για καταναλωτικές χρήσεις, κυρίως ύδρευση και άρδευση. Στα έργα αυτά συμπεριλαμβάνονται περίπου 20 μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα που έχουν μελετηθεί (στον Αχελώο, τον Αλιάκμονα, τον Αώο, τον Καλαμά και τον Αραχθό) και 250 μικρά υδροηλεκτρικά έργα που έχουν ήδη αδειοδοτηθεί. Λιγότερα έργα μεγάλης κλίμακας (ταμιευτήρες Μόρνου και Ευήνου) σχεδιάστηκαν με στόχο την κάλυψη καταναλωτικών χρήσεων. Σήμερα βρίσκεται υπό κατασκευή ένας (μικρός) αριθμός μεσαίας κλίμακας έργων για την ύδρευση μεγάλων αστικών συγκροτημάτων, ενώ έχει τεθεί σε εφαρμογή το πρόγραμμα κατασκευής λιμνοδεξαμενών και υδρευτικών/άρδευτικών φραγμάτων του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (11 ήδη κατασκευαζόμενα, 87 με οριστικές εγκεκριμένες μελέτες, και 9 με εκπονούμενες ή

προς ανάθεση μελέτες). Στο πλαίσιο της κάλυψης των υδατικών ελλειμμάτων με επιφανειακά νερά, υπό τις προϋποθέσεις της Οδηγίας 2000/60, ιδιαίτερη έμφαση δίδεται επίσης, στην ολοκλήρωση των έργων μεταφοράς νερού από τον Αχελώο στη Θεσσαλία και την κατασκευή των φραγμάτων λεκάνης Πηνειού, έργα τα οποία όπως προκύπτει, θα έχουν ιδιαίτερα θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις (βελτίωση κατάστασης υδροφορέων, εξοικονόμηση ενέργειας από αντλήσεις, βελτίωση των συνθηκών ύδρευσης, βελτίωση ποιοτικής κατάστασης οικοσυστήματος Πηνειού, ενεργειακό όφελος από την παραγωγή «πράσινης» υδροηλεκτρικής ενέργειας) (Σουφλιάς, 2008).

Ωστόσο, πολλά από τα υφιστάμενα υδραυλικά έργα της χώρας αντιμετωπίζουν προβλήματα λειτουργίας, λόγω ελλιπούς διοίκησης και συντήρησης και γενικά δεν έχει γίνει αποτίμηση της λειτουργίας τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις εξάλλου, τα έργα σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν ως μεμονωμένα έργα, ενώ στην πραγματικότητα εντάσσονται σε ευρύτερα συστήματα αξιοποίησης υδατικών πόρων. Ευτυχώς εξαίρεση αποτελούν τα υδροηλεκτρικά έργα, τα οποία συντηρούνται και λειτουργούν χωρίς προβλήματα, με τη διαχείρισή τους να προσαρμόζεται στις εξελισσόμενες κοινωνικές και οικονομικές ανάγκες. Πλέον χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του ταμιευτήρα Πλαστήρα, που αν και αρχικά σχεδιάστηκε ως υδροηλεκτρικό έργο, στη δεκαετία του '80 απέκτησε και καταναλωτικές χρήσεις (άρδευση και ύδρευση), για να προστεθεί στη δεκαετία του '90 και η αισθητική-οικοτουριστική-περιβαλλοντική χρήση) (ΓΓΕΤ, 2001).

Πρέπει να γίνει αντιληπτό ότι στην Ελλάδα οι εκτροπές ή μεταφορές νερού είναι αναπόφευκτες, για τον απλούστατο λόγο ότι σε άλλες περιοχές παρατηρείται η μεγαλύτερη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων και σε άλλες η μεγαλύτερη ζήτηση νερού. Αναγκαία θεωρείται επίσης, η κατασκευή νέων έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων, επειδή μεγάλο μέρος του εκμεταλλεύσιμου υδατικού δυναμικού δεν χρησιμοποιείται, ενώ υπάρχουν σημαντικά ελλείμματα. Τα μεγάλα υδραυλικά έργα υποδομής έχουν πολλαπλές ευεργετικές πτυχές για την ανάπτυξη (παραγωγή ενέργειας, άρδευση), την ποιότητα ζωής (ύδρευση, οικοτουρισμός) και το περιβάλλον (οικοσυστήματα, αισθητική τοπίου) και επιτρέπουν πολλαπλές διαχειριστικές επιλογές για τη λειτουργία τους, οι οποίες δεν είναι στάσιμες στο χρόνο αλλά προσαρμόζονται στις εκάστοτε κοινωνικές και οικονομικές ανάγκες, γι' αυτό οφείλουν να αντιμετωπίζονται χωρίς δογματισμό και ιδεολογικές προκαταλήψεις, ακόμη και αν πρόκειται για μεγάλους ταμιευτήρες και μεταφορές ή εκτροπές νερού σε άλλες λεκάνες (Κουτσογιάννης, 2007).

2.4 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Οι αυξανόμενες ανάγκες και πολλαπλές απαιτήσεις για χρήση νερού, σε συνδυασμό με τη μείωση των υδατικών διαθεσίμων και την υποβάθμιση των υδατικών πόρων από την

αλόγιστη χρήση και ρύπανση, ως συνέπεια των δραστηριοτήτων ανθρωπογενούς προέλευσης, καθιστούν αναγκαία μια πιο ορθολογική αντιμετώπιση της χρήσης του νερού. Η ανάγκη αυτή γίνεται επιτακτική στο πλαίσιο της γενικότερης επιδίωξης για μια στρατηγική βιώσιμης ανάπτυξης⁵ που θα συνδυάζει την ταυτόχρονη επίτευξη των στόχων της οικονομικής ανάπτυξης, της κοινωνικής δικαιοσύνης και της προστασίας του περιβάλλοντος στο παρόν και στο μέλλον (Λέκκας, 1996).

Η εξασφάλιση της επάρκειας του νερού είναι πρωταρχικής σημασίας για τη βιώσιμη ανάπτυξη, όμως δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί χωρίς ριζική αλλαγή του τρόπου θεώρησης του νερού και εξίσου ριζική βελτίωση της διαχείρισής του. Ο επαναπροσδιορισμός της υδατικής πολιτικής σύμφωνα με την παραδοχή και τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης, επιβάλλει την υιοθέτηση τεσσάρων βασικών αρχών, με την υλοποίηση των οποίων, η διαχείριση του νερού αποκτά τα χαρακτηριστικά της βιωσιμότητας, καθώς επιτυγχάνονται ταυτόχρονα τόσο ο στόχος της διατήρησης της περιβαλλοντικής ακεραιότητας, με την προστασία και αναβάθμιση των υδατικών συστημάτων, όσο και εκείνος της οικονομικής ανάπτυξης, με την ικανοποίηση των αναγκών σε νερό. Οι τέσσερις βασικές αρχές της Βιώσιμης Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων είναι: α) η ενιαία και ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των τεχνικών, οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών παραμέτρων της διαχείρισης των υδατικών πόρων, β) η διαχείριση της ζήτησης, αντί της ζημιογόνου περιβαλλοντικά, αλλά και αδιέξοδης οικονομικά πολιτικής της διαχείρισης της προσφοράς του νερού, γ) η οικονομική θεώρηση του νερού και κοστολόγησή του σύμφωνα με την πλήρη αξία του, η οποία αντανακλά την αξία της πλέον πολύτιμης εναλλακτικής ή δυννητικής χρήσης του και δ) η αποκεντρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων με την ένταξη και συμμετοχή στην όλη διαδικασία των τελικών χρηστών του νερού, εκπροσώπων δηλαδή όλων των συναρμόδιων και άμεσα ενδιαφερόμενων τοπικών και κοινωνικών φορέων, καθώς και ανάμειξη και εμπλοκή και του ιδιωτικού τομέα (Μυλόπουλος, 2000).

«Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων (ΟΔΥΠ)» καλείται η διαδικασία, η οποία προάγει τη συντονισμένη ανάπτυξη και διαχείριση των φυσικών υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπογείων νερών και των σχετικών χερσαίων και άλλων σχετιζομένων πόρων), με στόχο τη μεγιστοποίηση της οικονομικής και κοινωνικής ευημερίας με δίκαιο (equitable) τρόπο, χωρίς να υπονομείται η βιωσιμότητα των ζωτικών οικοσυστημάτων (Global Water Partnership, 2000 και Loucks et al., 2005). Η έννοια της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης περιλαμβάνει: α) όλα τα τμήματα του υδρολογικού κύκλου από την κατακρήμνιση και την απορροή ή την κατεΐσδυση, β) την αποθήκευση σε φυσικούς και

⁵ Βιώσιμη (αειφόρος) είναι η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να θέτει σε κίνδυνο τη δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους. Σχετίζεται με τη συνέχεια στις οικονομικές, κοινωνικές, θεσμικές και περιβαλλοντικές πτυχές της ανθρώπινης κοινωνίας και στο φυσικό (μη ανθρώπινο) περιβάλλον (Επιτροπή Brundtland, 1987).

τεχνητούς ταμιευτήρες, γ) τη διανομή, χρήση και μέριμνα για τα χρησιμοποιούμενα νερά, δ) την προσέγγιση της περιοχής ενδιαφέροντος (λεκάνης απορροής), ε) τη φύση αυτής καθεαυτής της διαχείρισης, στ) τη διαχείριση τόσο της ζήτησης του νερού-χρήσης όσο και της προσφοράς/παροχής, ζ) τη διαχείριση με βάση τη διεπιστημονική προσέγγιση και η) τη διαχείριση με τη συμμετοχή όλων των ενδιαφερόμενων φορέων (Σκούλλος, 2002).

Βασικές διαστάσεις της ΟΔΥΠ είναι η τεχνοκρατική διάσταση, η διοικητική δομή και η διαδικασία υλοποίησης. Η πρώτη εξ' αυτών αναφέρεται στην επιστημονική προσέγγιση της διαχείρισης, ενώ οι υπόλοιπες δύο καθορίζουν ποιος θα υλοποιήσει τις ενέργειες και με ποιους τρόπους θα εφαρμοστεί η ΔΥΠ. Η Διαχείριση των Υδατικών Πόρων αποτελεί συνεχή διαδικασία, η οποία διακρίνεται σε Στρατηγική και Επιχειρησιακή Φάση. Στην πρώτη επιλέγονται με "ορθολογικό" τρόπο τα απαιτούμενα μέτρα και έργα και στη δεύτερη συντελείται η "ορθολογική" τους λειτουργία. Ο πλέον σύγχρονος όρος είναι η «Ολική Διαχείριση Υδρολογικής Λεκάνης», όπου το έδαφος, οι χρήσεις/καλύψεις γης, η βλάστηση και το νερό αποτελούν ένα ενιαίο σύνολο (Τσακίρης, 2001).

Σήμερα παρατηρείται μια μετάβαση από τις προσεγγίσεις του παρελθόντος που είναι προσανατολισμένες κύρια στην ύδρευση και τη μόλυνση, προς την κατεύθυνση της ορθολογικότερης διαχείρισης των υδατικών πόρων. Το ενδιαφέρον μεταφέρεται προς τη βέλτιστη αξιοποίηση του νερού, στο οποίο υπάρχει ήδη πρόσβαση και προς την εν δυνάμει επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωσή του. Γίνονται προσπάθειες να αυξηθεί η συνειδητοποίηση της ανάγκης να μειωθεί η διάθεση ρύπων, ιδιαίτερα από τις μικρές και τις μεσαίου μεγέθους βιομηχανίες στις αναπτυσσόμενες χώρες, προκειμένου να αποφευχθεί το νερό στο οποίο υπάρχει πρόσβαση, να είναι πολύ μολυσμένο και ακατάλληλο για χρήση, με αποτέλεσμα να διακυβεύεται ο βιοπορισμός των κατάντη κατοίκων. Επιπλέον, η συσχέτιση των περιοχών ανάντη-κατάντη σε σχέση με τους υδατικούς πόρους προσελκύει όλο και περισσότερο την προσοχή, με την "υδροαλληλεγγύη" (hydrosolidarity) ως μια καινούρια υπό μελέτη έννοια η οποία προβλέπει μια ηθική διάσταση στην ολιστική προσέγγιση του προβλήματος. Μια προσέγγιση των οικοσυστημάτων σε επίπεδο λεκανών απορροής, βασιζόμενη στην ενοποίηση χρήσεων γης, νερού και οικοσυστημάτων. Τα συμφέροντα του κατάντη πληθυσμού εκφράζονται από μια νέα έμφαση στη διαδοχική επαναχρησιμοποίηση με αξιοποίηση του πλεονεκτήματος από τις επιστρεφόμενες ροές και με έναν καλύτερο έλεγχο της καταναλωτικής χρήσης στην ανάντη αγροτική και δασική παραγωγή.

Το νερό εμπλέκεται βαθύτατα στις αλληλεπιδράσεις περιβάλλοντος και ανάπτυξης, και αποτελεί βασικό παράγοντα για την κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη και την ποιότητα ζωής. Ενώ στο παρελθόν η προσπάθεια κάλυψης των αυξανόμενων υδατικών αναγκών επικεντρωνόταν στη μεγιστοποίηση των διαθέσιμων πόρων με την κατασκευή έργων ανάπτυξης, ο στόχος αυτός όλο και περισσότερο αλλάζει προς την κατεύθυνση της επίτευξης του βέλτιστου αποτελέσματος στη διαχείριση κάθε σταγόνας διαθέσιμου νερού. Οι σύγχρονες

προκλήσεις στη διαχείριση των υδατικών πόρων επικεντρώνονται στη διαχείριση της ζήτησης των υδατικών πόρων και όχι στην ανάπτυξη νέων πόρων, στην αύξηση της αποτελεσματικότητας των χρήσεων νερού, στη χρήση μη συμβατικών υδατικών πόρων (αφαλατωμένο νερό, εκροές επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, υφάλμυρα νερά, νερά στράγγισης), στη διατήρηση/βελτίωση της ποιότητας νερού των υδατικών συστημάτων και την εξάλειψη των περιβαλλοντικών κινδύνων και φυσικά στην εξοικονόμηση νερού με οποιοδήποτε πρόσφορο μέσο (Ξένος, 2002).

Αν και το 2015, έτος-ορόσημο για τη διασφάλιση της καλής κατάστασης των νερών, φαίνεται μακρινό, η εφαρμογή των πολιτικών για τα νερά απαιτούν δράσεις χρονοβόρες και πολύπλοκες. Η ουσία είναι τελικά, πως πρέπει να γίνουν σημαντικές αλλαγές για την ενιαία διαχείριση και τη βιώσιμη χρήση των υδατικών πόρων και να εφαρμοσθούν αυστηρά μέτρα για την καταπολέμηση της σπατάλης (ακόμη και ισχυρές τιμολογιακές διαφοροποιήσεις- το νερό μιας πισίνας σε μια βίλα δε μπορεί να στοιχίζει το ίδιο με το νερό οικιακής χρήσης μιας μέσης οικογένειας). Η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων και η χρήση συστημάτων εξοικονόμησης νερού στα κτίρια και τις πόλεις είναι ικανοποιητικές λύσεις περιορισμού της κατανάλωσης του νερού. Επίσης, η σταθερή απογραφή των εστιών ρύπανσης θα οδηγήσει στην αντιμετώπιση της ρύπανσης και στην ανάκαμψη των υδάτων από ποιοτικής πλευράς, ενώ η επέκταση των συστημάτων αφαλάτωσης, όπου απαιτείται και ιδιαίτερα στα νησιά θα ελέγξει και θα περιορίσει την υπερεκμετάλλευση των υπογείων υδροφορέων. Τέλος, ένας παράγοντας, η συμμετοχή του οποίου, όχι μόνο δεν πρέπει να αποδοκιμάζεται και να εμποδίζεται, αλλά να επιδιώκεται και να ενθαρρύνεται, είναι η λαϊκή συμμετοχή, με τη μορφή φορέων, αυτοδιοικήσεως ή και ατομικά. Είναι παράγοντας, που αν ενημερωθεί με το σωστό τρόπο, είναι ο μόνος που μπορεί να εμποδίσει αυθαιρεσίες, ατέλειες και κάθε είδους κακές εφαρμογές του υδατικού σχεδιασμού και διαχείρισης. Για το λόγο αυτό η σωστή ενημέρωση των πολιτών για τα προβλήματα των υδατικών πόρων είναι πράξη πρωταρχικής σημασίας και χρήζει ιδιαίτερης προσοχής (Κακλαμάνης, 2008).

2.5 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΕΩΝ

Οι αυξανόμενες ανάγκες σε νερό, η επέκταση των υδατικών χρήσεων, η εξάντληση των υδατικών αποθεμάτων, οι απαιτήσεις της βιώσιμης ανάπτυξης, η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου και οι οικολογικοί και περιβαλλοντικοί περιορισμοί, επιβάλλουν τη σύγχρονη θεώρηση των παραμέτρων που υπεισέρχονται στο ζήτημα των υδατικών διαχειρίσεων, συνδυασμένων ή μη. Νέες πρακτικές έρχονται να αποτελέσουν συμπληρωματικές ή κυρίαρχες πλευρές των υδατικών ισοζυγίων και διαχειρίσεων, εκ των οποίων οι κυριότερες είναι οι ακόλουθες (Στουρνάρας, 2007):

Τεχνητός Εμπλουτισμός

Σε μια λεκάνη ή περιοχή, υπό φυσικές συνθήκες, χωρίς παρέμβαση του ανθρώπου, το

νερό των κατακρημνισμάτων που καταλήγει στα υδροφόρα στρώματα και τα τροφοδοτεί, είτε άμεσα με την κατείδυση, είτε έμμεσα με τη διήθηση από τις κοίτες του υδρογραφικού δικτύου, είναι ο φυσικός εμπλουτισμός. Το ύψος του είναι ορισμένο κάθε υδρολογικό έτος και εξαρτάται από τη γεωλογική σύσταση, από το βροχομετρικό ύψος και το βροχομετρικό σύστημα (ετήσια κατανομή της βροχής). Ο άνθρωπος έχει τη δυνατότητα να αυξήσει την ποσότητα αυτή του νερού, να προκαλέσει δηλαδή «τεχνητό εμπλουτισμό» (σχήμα 2.2). Με τον όρο «τεχνητός εμπλουτισμός» (artificial recharge) χαρακτηρίζεται η αύξηση των ποσοτήτων μετεωρικού νερού που εισέρχεται στα υδροφόρα στρώματα με χρήση διαδικασιών, τεχνικών και εγκαταστάσεων-διατάξεων από τον άνθρωπο. Στην πιο ευρεία έννοια, ο τεχνητός εμπλουτισμός είναι η εισαγωγή πρόσθετων ποσοτήτων νερού στα υδροφόρα στρώματα. Το πρόσθετο αυτό νερό μπορεί να προέρχεται από επιφανειακό νερό ή από νερό παρακειμένων υδροφόρων στρωμάτων.



Σχήμα 2.2: Περιοχές Ελλάδας που έχει γίνει τεχνητός εμπλουτισμός

Πηγή: Σούλιος, 2008

Προϋποθέσεις εφαρμογής του τεχνητού εμπλουτισμού είναι η ύπαρξη επαρκούς ποσότητας επιφανειακού νερού, ποιότητα επιφανειακού νερού κατάλληλη και χημικά συμβατή με αυτή του υπογείου, κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες (επιφάνειες και υπέδαφος με μεγάλη περατότητα, υδροφόρα στρώματα σε αλληλουχία και σε υδραυλική διασύνδεση) και περιοχές γεωμορφολογικά κατάλληλες και οικονομικά προσιτό κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος.

Στα πλεονεκτήματα του τεχνητού εμπλουτισμού συγκαταλέγονται οι γενικά θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις (βελτίωση της ποιότητας του υπογείου νερού, προστασία της ύπαρξης και της λειτουργίας πηγών και υγροτόπων, αποφυγή συνίζησης και άρα ποσοτικής υποβάθμισης υδροφορέων, αποφυγή ή αναχαίτιση διείσδυσης θαλασσινού νερού στα παράκτια υδροφόρα στρώματα), ο μειωμένος κίνδυνος φυσικών καταστροφών (κατολισθήσεις, πλημμύρες, άμεσες μολύνσεις κ.λπ.) των υπογείων ταμιευτήρων συγκριτικά με τους επιφανειακούς, η μη αχρήστευση της υπάρχουσας υποδομής λόγω υπεράντλησης από γεωτρήσεις και αγωγούς και οι μειωμένες απώλειες νερού από εξατμίσεις. Στον αντίποδα, τα μειονεκτήματα είναι η απαίτηση συνεχούς και επιμελούς παρακολούθησης των συστημάτων τεχνητού εμπλουτισμού, η ύπαρξη κινδύνου μόλυνσης-ρύπανσης του υπογείου νερού αν, έστω επεισοδιακά, χρησιμοποιηθεί μολυσμένο-ρυπασμένο νερό και η συχνή έλλειψη κατάλληλων συνθηκών υπό οικονομικά συμφέροντες όρους για την εφαρμογή τεχνητού

εμπλουτισμού (Σούλιος, 2008).

Νέες Πηγές Υδροληψίας

Προκειμένου περί υπογείων υδάτων, η συγκεκριμένη λύση αφορά σε υδροφορίες, που, αρχικά, είχαν εξαιρεθεί από την εκμετάλλευση, εξαιτίας κάποιου προβληματικού χαρακτήρα τους. Ειδικότερα, αναφέρεται: α) στη χρήση υπογείων νερών χαμηλής ποιότητας, πρόβλημα το οποίο αντιμετωπίζεται, με την ανάμειξη των προβληματικών νερών με άλλα καλύτερης ποιότητας, καθώς και με την επεξεργασία τους, για τη βελτίωση της ποιότητάς τους, β) στη χρήση υδροφόρων οριζόντων, χαρακτηρισθέντων ως ανεπαρκών, είτε λόγω πλημμελούς ή ελαττωματικής μελέτης και προσέγγισής τους, είτε λόγω κακής κατασκευής των γεωτρήσεων εκμετάλλευσης, με συνέπεια την εξαγωγή λανθασμένων συμπερασμάτων περί της δυνατότητας των υδροφόρων οριζόντων, και γ) στην κατασκευή παρακτίων ή παραποτάμιων υδροληπτικών έργων, διαδικασία που απαιτεί ειδική μελέτη, δεδομένου ότι караδοκούν ανεπιθύμητες επιπτώσεις, οι οποίες μπορούν να αποφευχθούν, με το συνδυασμό γεωτρήσεων εκμετάλλευσης και εισπίεσης (παράκτιες περιοχές), αλλά και με γνώση της ακριβώς επιτρεπόμενης παροχής άντλησης για τη διατήρηση της ελάχιστης απαιτούμενης ποτάμιας παροχής και των πηγών που, ενδεχομένως, τροφοδοτούν το ποτάμι.

Μεταφορές και Εκτροπές Νερού

Οι μεταφορές νερού αναφέρονται από μια υδρολογική λεκάνη σε μια άλλη, από περιοχές που πλεονάζει το υδατικό δυναμικό, σε περιοχές στις οποίες οι χρήσεις γης και, γενικά, οι δραστηριότητες απαιτούν μεγαλύτερες ποσότητες νερού. Οι μεταφορές του επιφανειακού υδατικού δυναμικού γίνονται, είτε με μερικές ή ολικές εκτροπές ποταμών, είτε μέσω αγωγών. Η διαδικασία αυτή αντιμετωπίζει εκτός των αντιρρήσεων τοπικών παραγόντων, στο εσωτερικό μιας χώρας, και διακρατικά προβλήματα σε περίπτωση συνοριακών περιοχών. Στην περίπτωση των υπογείων νερών, το πρόβλημα παραμένει το ίδιο, με μειωμένες, όμως, τις δυνατότητες ελέγχου αντλούμενης παροχής και ποιότητας νερού. Ειδική περίπτωση του θέματος αποτελεί η μεταφορά νερού με υδροφόρα πλοία στα νησιά.

Στην Ελλάδα, όπου το πρόβλημα της γεωγραφικής μεταβλητότητας είναι έντονο, αλλά και οι γεωγραφικές περιοχές μεγάλης διαθεσιμότητας υδατικών πόρων δε συμπίπτουν με τις περιοχές εντατικής ζήτησης, οι εκτροπές νερού αποτελούν αναπόφευκτη λύση. Οι κυριότερες σε λειτουργία εκτροπές μεταξύ υδατικών διαμερισμάτων είναι: α) η μεταφορά νερού από το διαμέρισμα της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (λεκάνη Βοιωτικού Κηφισού και Υλίκης) στο διαμέρισμα Αττικής (ύδρευση Αθήνας), β) η μεταφορά νερού από το διαμέρισμα της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (λεκάνες Ευήνου και Μόρνου) στο διαμέρισμα Αττικής (ύδρευση Αθήνας), γ) η μεταφορά νερού από το διαμέρισμα της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (λεκάνη Αχελώου, υπολεκάνη Ταυρωπού) στο διαμέρισμα Θεσσαλίας (ύδρευση Καρδίτσας, άρδευση Θεσσαλικής πεδιάδας), δ) η μεταφορά νερού από το διαμέρισμα της Δυτικής Μακεδονίας (λεκάνη Αλιάκμονα) στο διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας (ύδρευση

Θεσσαλονίκης, άρδευση πεδιάδας Θεσσαλονίκης) και ε) η μεταφορά νερού με πλωτά μέσα από διάφορα διαμερίσματα, στο διαμέρισμα Νησιών Αιγαίου (ύδρευση άνυδρων νησιών).

Από τις υπό μελέτη ή κατασκευή εκτροπές, τη μεγαλύτερη σημασία έχει η δεύτερη εκτροπή του Αχελώου (από το φράγμα Συκιάς) προς τη Θεσσαλία, ενώ ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε η κλιμάκωση των εκτροπών προς τα άνυδρα νησιά με μεγαλύτερης κλίμακας πλωτά μέσα ή και υποθαλάσσιους αγωγούς. Αναμφισβήτητα, οι εκτροπές νερού αποτελούν επεμβάσεις στο περιβάλλον και, κατά συνέπεια, απαιτούν προσεκτική εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και μείωση των αρνητικών από αυτές (Κουτσογιάννης, 2007).

Αφαλατώσεις

Οι αφαλατώσεις αφορούν στην προσπάθεια αφαίρεσης αλάτων από το θαλασσινό νερό (κυρίως) για να προκύψει νερό ανεκτής ποιότητας για κάποιες χρήσεις, ακόμη και για την ύδρευση. Η τεχνική των αφαλατώσεων βασιζόταν στα πρώτα χρόνια στην εφαρμογή της αρχής της ηλεκτρόλυσης, ενώ σήμερα βασίζεται, με τη βοήθεια ειδικών μεμβρανών, στην εφαρμογή του φαινομένου της αντίστροφης όσμωσης. Σε κάθε περίπτωση, πρόκειται για μια διαδικασία της οποίας η εφαρμογή δεν έχει γενικευθεί, για δύο, κυρίως, λόγους. Ο πρώτος είναι ότι πρόκειται για διαδικασία που απαιτεί κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, η οποία επιφέρει επιπτώσεις ή δημιουργεί απαιτήσεις στο τοπικό ή στο γενικότερο ενεργειακό ισοζύγιο και σε ό,τι αυτές συνεπάγονται. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι απαιτεί πολύ ακριβά ανταλλακτικά, τόσο σε κανονικές συνθήκες αντικατάστασης των μεμβρανών των υπολοίπων εξαρτημάτων, όσο και σε περίπτωση ατυχήματος, όπως η διέλευση καθαρού νερού από τις μεμβράνες.

Οι μόνες χώρες, στις οποίες βρίσκει μαζική εφαρμογή η αφαλάτωση, είναι οι χώρες του Κόλπου, εξαιτίας της φθηνής ενέργειας που διαθέτουν από τις πετρελαιοπηγές. Η οικονομική ευμάρεια και οι δραστηριότητες που έχουν αναπτυχθεί στις χώρες αυτές κάνουν, επίσης, να ξεπερνιέται το εμπόδιο της συντηρήσεως υψηλού κόστους. Το παραγόμενο νερό, πάντως, δεν είναι πλήρως ανεκτό από πλευράς οργανοληπτικών χαρακτήρων (κυρίως γεύσης) και όσοι μπορούν χρησιμοποιούν, ως πόσιμο, εμφιαλωμένο νερό, τοπικό ή εισαγόμενο. Στην Ελλάδα, μετά την πρώτη εγκατάσταση αφαλάτωσης παλαιάς τεχνολογίας στη Σύμη, αρκετά μικρά νησιά (Τήνος, Μύκονος) έχουν εγκαταστήσει μικρές τέτοιες μονάδες με αποτελέσματα ικανοποιητικά (το νερό της μονάδας αφαλάτωσης αναμιγνύεται με νερά άλλης προελεύσεως και το μίγμα εμφανίζει καλούς οργανοληπτικούς χαρακτήρες), που ελέγχονται ακόμα, λόγω του μικρού χρόνου από την εγκατάσταση των μονάδων αυτών.

Συνδυασμένες και Εναλλακτικές Χρήσεις Νερού

Η εφαρμογή των συνδυασμένων υδατικών χρήσεων δεν υπακούει σε γενικούς κανόνες, αλλά είναι συνάρτηση των τοπικών συνθηκών και αναγκών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα για την Ελλάδα, τα φράγματα της ΔΕΗ, που, γενικά, είναι πολλαπλής χρησιμότητας (συνδυασμοί άρδευσεων, υδρεύσεων, ηλεκτροπαραγωγής, αναρρόθμισης της

ροής, αντιπλημμυρικής προστασίας). Στις βιομηχανίες, συνδυασμένες χρήσεις επιδιώκονται, με άξονα το νερό, κυρίως, ψύξης.

Οι εναλλακτικές χρήσεις νερού είναι, επίσης, αποτέλεσμα των τοπικών δυνατοτήτων και υφισταμένων χρήσεων και των τοπικών υδρολογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών. Η αρχή τους αναφέρει ότι ένα συγκεκριμένο υδατικό σύστημα μπορεί να χρησιμοποιείται εναλλακτικά σε περισσότερους από έναν αποδέκτες (καταναλωτές) ή σε περισσότερες από μια χρήσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, τα φράγματα που μελετήθηκαν στην Ικαρία, όπου είχε προταθεί στο παρελθόν, να χρησιμοποιούνται εναλλακτικά το χειμώνα για ηλεκτροπαραγωγή, με τη χρήση του νερού της υπερχειλίσης και το καλοκαίρι για άρδευση. Οι τοπικές συνθήκες που επιτρέπουν, αρχικά, μια τέτοια πρόταση είναι το ύψος των υδατοπτώσεων (500-700 m) και οι αγροτικές δραστηριότητες σε μεγάλα υψόμετρα (οροπέδια), καθώς η γεωμορφολογική φυσιογνωμία της Ικαρίας δεν εμφανίζει πεδινές περιοχές σε μικρά υψόμετρα.

Χρήση Χρησιμοποιημένων Νερών

Η χρησιμοποίηση των αστικών λυμάτων ξεκινά από την αρχαιότητα. Στο Μινωικό κόσμο βρέθηκαν συστήματα αποχέτευσης και επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων. Ωστόσο, η μαζική προσπάθεια στο θέμα αυτό τοποθετείται στις αρχές του 20^{ου} αιώνα και συνδέεται, αφενός με τη διαφαινόμενη, τότε, ανεπάρκεια των υδατικών πόρων, αλλά και με το πρόβλημα διάθεσης στο περιβάλλον των λυμάτων κάθε μορφής και προέλευσης. Σήμερα, πολλές χώρες εφαρμόζουν αυτής της μορφής την ανακύκλωση και μάλιστα, σε ορισμένες περιπτώσεις, με υποχρεωτικό τρόπο (ΗΠΑ, ΕΕ, Ιαπωνία, Ισραήλ). Στην Ευρώπη, από το 17^ο ως τον 18^ο αιώνα, τα απόβλητα, λύματα και απορρίμματα έβρισκαν θέση στους δρόμους. Μόλις στο τέλος του 19^{ου} αιώνα έγινε αποδεκτή η συλλογή των αστικών λυμάτων σε χωριστό δίκτυο από τα όμβρια, ενώ μέχρι τα μέσα του 19^{ου} αιώνα θεωρείτο αποδεκτή η εκβολή των (ανεπεξέργαστων) λυμάτων σε κάποιον υδάτινο αποδέκτη (θάλασσα, λίμνη, ποτάμι), πράγμα που ευθυνόταν και για τις επιδημίες της εποχής..

Η χρησιμοποίηση τέτοιων υγρών, προϋποθέτει τον προηγούμενο σχετικό καθαρισμό τους. Ένας τέτοιος καθαρισμός, συνίσταται στην αποδόμηση, αποτελεσματική και σύντομη, της οργανικής ύλης, με ταυτόχρονη συγκράτηση των μικροοργανισμών που επιτέλεσαν την αποδόμηση, στην απολύμανση και στη βελτίωση των μακροσκοπικών χαρακτήρων του υγρού. Μετά τον καθαρισμό του, το λύμα, χρησιμοποιείται ως έχει ή μετά από ανάμιξη του με καθαρό νερό ή με θαλασσινό νερό. Οι κυριότερες χρήσεις του είναι η άρδευση και οι εγκαταστάσεις αναψυχής.

Υδατική Οικονομία και Ιεράρχηση στις Χρήσεις Νερού

Τόσο η υδατική οικονομία, μετ' επιτάσεως, μάλιστα, όσο και η ιεράρχηση των υδατικών χρήσεων, προκύπτει, πλέον, ως αναγκαιότητα, στο πλαίσιο όμως, μιας επιστημονικά τεκμηριωμένης και ορθολογικής υδατικής διαχείρισης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται επισκόπηση των εργαλείων διαχείρισης υδατικών πόρων. Αρχικά, γίνεται μια εισαγωγή στα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (ΣΥΑ) και τις χρήσεις τους με ιδιαίτερη αναφορά σε αυτά που αφορούν στη διαχείριση των υδατικών πόρων. Στη συνέχεια, παρατίθενται κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα ΣΥΑ και διεθνώς καταξιωμένα μοντέλα, τα οποία έχουν ευρέως χρησιμοποιηθεί σε μελέτες υδροσυστημάτων και, τέλος, παρουσιάζεται το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων που αναπτύχθηκε με στόχο τη διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας. Ειδικότερα, παρουσιάζονται οι στόχοι του ΣΥΑ, οι συνιστώσες του, οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιεί και τα χαρακτηριστικά του λογισμικού που αναπτύχθηκε, δίνοντας έμφαση στο μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ που αποτελεί κύρια συνιστώσα του ΣΥΑ και το οποίο χρησιμοποιείται στα πλαίσια της διεξαγωγής της παρούσας εργασίας.

3.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Σύμφωνα με ένα γενικό ορισμό, τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (ΣΥΑ-αγγλικά Decision Support Systems, DSS) είναι εφαρμογές λογισμικού που υποστηρίζουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, βοηθώντας τους αρμόδιους χρήστες να κατανοήσουν τις επιπτώσεις των δράσεών τους (French, 2000). Ο όρος «σύστημα υποστήριξης αποφάσεων» αντικατέστησε σχεδόν ολοκληρωτικά τις πρακτικά ισοδύναμες έννοιες «έμπειρο σύστημα» και «τεχνητή νοημοσύνη», οι οποίες ήταν ιδιαίτερα διαδεδομένες στην επιστήμη της πληροφορικής μέχρι πριν μια δεκαετία. Η διαφοροποίηση αυτή σηματοδοτεί σημαντική στροφή στην προτεραιότητα των στόχων ανάπτυξης των υπολογιστικών συστημάτων, δηλαδή από την υποκατάσταση, στην υποβοήθηση της κρίσης του χρήστη-εμπειρογνώμονα (Dreyfus and Dreyfus, 1986· Watkins and McKinney, 1995).

Τα ΣΥΑ διαθέτουν ευρύ πεδίο εφαρμογής, κυρίως στον έλεγχο και στη διαχείριση πολύπλοκων φυσικών ή τεχνητών συστημάτων (Eom et al., 1998· Turban and Aronson, 1998). Μπορεί να λεχθεί ότι κινούνται στην αιχμή της επιστήμης και τεχνολογίας, αξιοποιώντας αφενός τις ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις στο χώρο της πληροφορικής και αφετέρου την παραγωγή νέας γνώσης στο επιστημονικό πεδίο της μαθηματικής προσομοίωσης⁶ και ανάλυσης συστημάτων⁷.

⁶ Προσομοίωση (simulation) είναι η τεχνική μίμησης της λειτουργίας ενός πραγματικού συστήματος, όπως αυτό εξελίσσεται στο χρόνο (Winston, 1994). Μοντέλο προσομοίωσης (simulation model) είναι ένα σύνολο υποθέσεων σχετικά με τη δυναμική λειτουργία ενός συστήματος, εκφρασμένων με τη μορφή μαθηματικών ή λογικών σχέσεων και κωδικοποιημένων, συνήθως, σε κάποια γλώσσα προγραμματισμού (Κουτσογιάννης, 2007).

⁷ Ανάλυση συστημάτων (systems analysis) καλείται η μεθοδολογική αντιμετώπιση πολύπλοκων δομών ή φαινομένων, για τα οποία δεν υπάρχει αναλυτική λύση. Αποσκοπεί στην αναγνώριση του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί ένα σύστημα, χωρίς λεπτομερειακή θεώρηση των σχέσεων ή φυσικών διεργασιών που το διέπουν (Grigg, 1996). Συνήθως, η αντιμετώπιση των προβλημάτων ανάλυσης συστημάτων

Συναξιολογώντας επιπρόσθετα μια ποικιλία άλλων ορισμών που έχουν δοθεί για τα ΣΥΑ (Sol, 1983· Andriole, 1989· Adelman, 1992· Watkins and McKinney, 1995), σε ένα ΣΥΑ διακρίνονται τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: α) πρόκειται για ολοκληρωμένο σύστημα από υπολογιστικά εργαλεία, με διαδραστικό, κατά κανόνα, περιβάλλον λειτουργίας (δηλαδή προϋποθέτει επέμβαση του χρήστη, μέσω κατάλληλα σχεδιασμένου interface), β) παρέχει δυνατότητες τυποποίησης, οργάνωσης, διαχείρισης και επεξεργασίας των πληροφοριών (μέσω βάσεων δεδομένων), καθώς και οπτικοποίησης αυτών (μέσω συστημάτων γεωγραφικής πληροφορίας), γ) περιέχει υπολογιστικά εργαλεία ανάλυσης συστημάτων, όπως μοντέλα προσομοίωσης, βελτιστοποίησης και ανάλυσης αποφάσεων και, δ) σχεδιάζεται με στόχο την υποβοήθηση του χρήστη στη λήψη αποφάσεων σε σχετικά πολύπλοκα και ασθενώς δομημένα προβλήματα (δηλαδή προβλήματα που δεν επιδέχονται άμεση διατύπωση εξισώσεων), μέσω της διατύπωσης και λεπτομερούς μελέτης σειράς εναλλακτικών επιλογών.

Στις δραστηριότητες που σχετίζονται με τη λήψη αποφάσεων κατατάσσονται η συλλογή πρωτογενών δεδομένων και επεξεργασία τους (ήτοι, μετατροπή τους σε χρήσιμη πληροφορία για την εκτίμηση της κατάστασης), η διατύπωση και διερεύνηση εναλλακτικών λύσεων, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, η λήψη της απόφασης και η ανάληψη των σχετικών δράσεων (Sage, 1993).

Η συλλογή των πρωτογενών δεδομένων γίνεται, τα τελευταία χρόνια, όλο και περισσότερο μέσω συστημάτων αυτοματισμού των μετρήσεων, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ως συνιστώσες ενός ΣΥΑ. Η κύρια λειτουργία των ΣΥΑ επικεντρώνεται στην επεξεργασία των δεδομένων και στη διατύπωση και διερεύνηση μιας σειράς εναλλακτικών λύσεων. Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται μέσω εφαρμογών διαχείρισης και επεξεργασίας των πληροφοριών, οι οποίες μπορεί να είναι από απλά εργαλεία λογιστικών φύλλων μέχρι πιο σύνθετα εργαλεία σχεσιακών βάσεων δεδομένων και συστημάτων γεωγραφικής πληροφορίας. Από την άλλη πλευρά, η διατύπωση και διερεύνηση των εναλλακτικών λύσεων που αποτελεί την κεντρική συνιστώσα ενός ΣΥΑ, αναφέρεται στην εφαρμογή εξειδικευμένων μαθηματικών μοντέλων (από απλά εμπειρικά μοντέλα έως εξελιγμένα μοντέλα προσομοίωσης και βελτιστοποίησης), τα οποία αναπαριστούν τη δυναμική εξέλιξη του υπό μελέτη συστήματος, διερευνώντας τις επιπτώσεις εναλλακτικών δράσεων που σχετίζονται με τη λειτουργία και διαχείριση αυτού. Με τον τρόπο αυτό, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αξιολογήσει αλλά και να ερμηνεύσει ένα ευρύ φάσμα τέτοιων δράσεων, εστιάζοντας όχι μόνο στις άμεσες επιπτώσεις (που μπορεί να είναι και προφανείς)

βασίζεται σε μια διαδοχή από εναλλακτικές αποφάσεις (decisions) και αξιολογήσεις (evaluations) των επιπτώσεων κάθε απόφασης στο υπό μελέτη σύστημα. Αν κάθε μια από τις εναλλακτικές αποφάσεις που ικανοποιούν τους περιορισμούς του προβλήματος, μπορεί να περιγραφεί από ένα σύνολο τιμών, και αν σε κάθε τέτοια περιγραφή μπορεί να αντιστοιχιστεί ένα πραγματικό μέτρο επίδοσης (performance measure), τότε ως βέλτιστη (optimal) νοείται η απόφαση που μεγιστοποιεί το εν λόγω μέτρο. Για το λόγο αυτό, η ανάλυση συστημάτων έχει πρακτικά ταυτιστεί με το γενικότερο όρο βελτιστοποίηση (optimisation) (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007).

αλλά και στις μελλοντικές. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η λήψη της τελικής απόφασης και, συνεπακόλουθα, η ανάληψη των σχετικών δράσεων τεκμηριώνεται αντικειμενικά, και σε συνδυασμό με την εμπειρία και κρίση του αναλυτή, οδηγεί στην επιλογή της απόφασης με ορθολογικά κριτήρια (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007).

3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Λόγω της πολυπλοκότητας στη δομή και λειτουργία τους, της πληθώρας δεδομένων που απαιτεί η διαχείρισή τους, και των πολλαπλών, κατά κανόνα ανταγωνιστικών, στόχων που εξυπηρετούν, τα συστήματα υδατικών πόρων έχουν αποτελέσει ένα προνομιακό πεδίο εφαρμογής των ΣΥΑ. Μερικές από τις υποπεριοχές των συστημάτων υδατικών πόρων όπου έχει εφαρμοστεί η τεχνολογία των ΣΥΑ είναι η διαχείριση λιμνών και ταμιευτήρων (για την εξυπηρέτηση στόχων υδροδότησης, παραγωγής ενέργειας, ελέγχου ρύπανσης), ο έλεγχος πλημμυρών και η διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου (σε λεκάνες ποταμών αλλά και αστικές λεκάνες), η διαχείριση υδροφορέων και η συνδυασμένη χρήση επιφανειακών και υπογείων νερών, η διαχείριση συστημάτων διανομής νερού, ο έλεγχος της ρύπανσης σε λεκάνες απορροής και Δέλτα ποταμών και η διαχείριση μη σημειακών πηγών ρύπανσης σε γεωργικές περιοχές (Watkins and Mc Kinney, 1995).

Για να δειχθεί το μεγάλο εύρος των υπολογιστικών μέσων που χρησιμοποιούνται στα ΣΥΑ (επομένως και του βαθμού πολυπλοκότητας των ΣΥΑ) αναφέρονται τα ακόλουθα χαρακτηριστικά παραδείγματα ΣΥΑ (Κουτσογιάννης, 2001· Ευστρατιάδης κ.ά., 2007).

Το ΣΥΑ **WATERSHEDSS** σχεδιάστηκε για την υποβοήθηση διαχειριστών λεκανών απορροής και χρήσεων γης σχετικά με τα προβλήματα ποιότητας νερού, προκειμένου να επιλέγουν τις καταλληλότερες πρακτικές διαχείρισης. Κατά κύριο λόγο, πρόκειται για ένα σύστημα ερωταποκρίσεων, όπου σε κατάλληλες φόρμες μέσω του Διαδικτύου παρέχονται γενική πληροφόρηση και ειδικότερες κατά περίπτωση οδηγίες για την αντιμετώπιση προβλημάτων ρύπανσης (σχήμα 3.1).

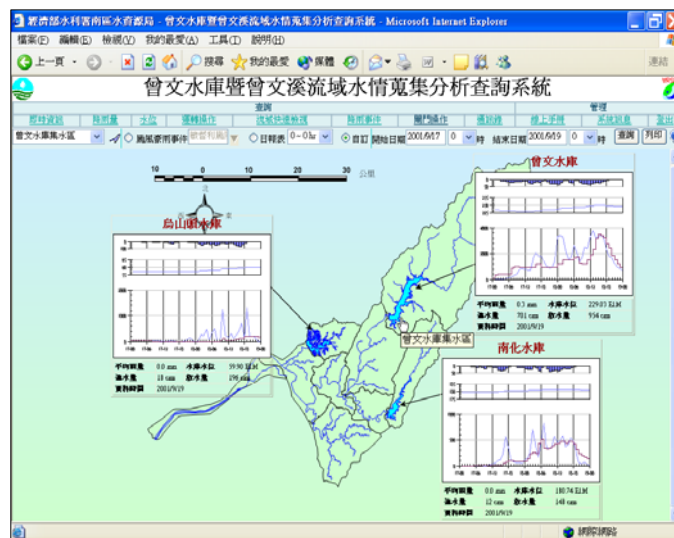


Σχήμα 3.1: ΣΥΑ WATERSHEDSS

Πηγή: <http://www.water.ncsu.edu/watershedss/dss/la ke/human.html>

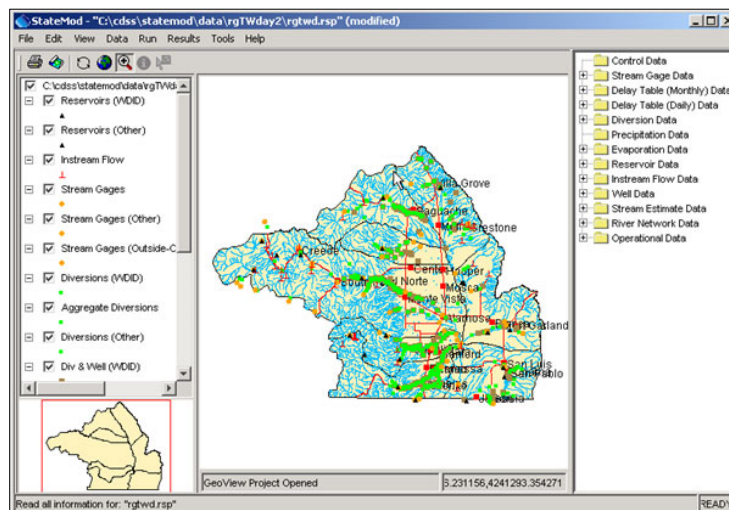
Το ΣΥΑ για τη λειτουργία του Ταμιευτήρα **Tsengwen** (ο μεγαλύτερος ταμιευτήρας στην Taiwan) αποτελεί ένα απλό εργαλείο βασισμένο σε λογιστικό πακέτο (Excel), το οποίο πραγματοποιεί τυπικές εργασίες των υδρολογικών δεδομένων και των δεδομένων αποθεμάτων του ταμιευτήρα και παρέχει κανόνες λειτουργίας του ταμιευτήρα σε πραγματικό

χρόνο (σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2: ΣΥΑ για τη λειτουργία του ταμιευτήρα Tsengwen
 Πηγή: <http://tlcheng.twbbs.org/Paper/tsengwen2004/tsengwen3.htm>

Το ΣΥΑ CRDSS (Colorado River Decision Support System) είναι μια πολυσύνθετη εφαρμογή λογισμικού που ενσωματώνει τεχνολογίες βάσεων δεδομένων, συστημάτων γεωγραφικής πληροφορίας και υδρολογικών μοντέλων, προκειμένου να μελετήσει τις επιπτώσεις εναλλακτικών πολιτικών διαχείρισης, ελέγχοντας τη δυνατότητα να ικανοποιήσει το υδροσύστημα του ποταμού Colorado τις παρούσες και μελλοντικές υδατικές ανάγκες (σχήμα 3.3).

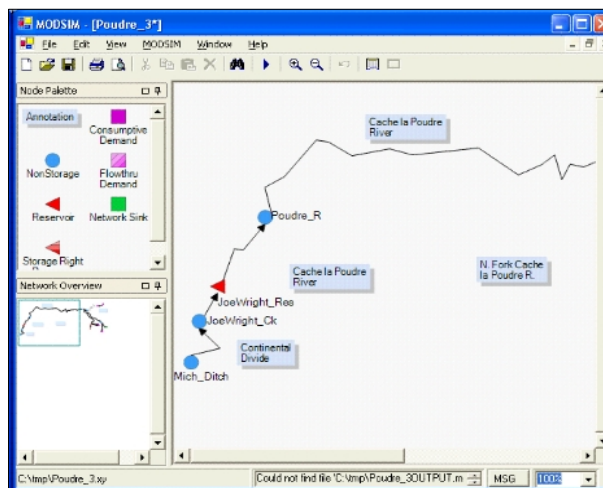


Σχήμα 3.3: CRDSS (Colorado River Decision Support System)
 Πηγή: http://www.riverside.com/projects/marketing_flyers/CDSS.asp

Το ΣΥΑ MODSIM (Colorado State University) (σχήμα 3.4) είναι ένα γενικευμένο σύστημα υποστήριξης διαχειριστικών αποφάσεων και μοντέλο ροής λεκανών απορροής. Για τη συνδυασμένη ανάλυση επιφανειακών και υπογείων υδατικών πόρων συνδέεται με το μοντέλο MODRSP, ενώ για την προσομοίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού,

λειτουργεί σε συνδυασμό με το μοντέλο QUAL2E, που πραγματοποιεί μονοδιάστατη ανάλυση σε ποταμούς. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα συνεργασίας του συστήματος με πλατφόρμα GIS, για τη διαχείριση της χωρικής πληροφορίας.

Το MODSIM υποστηρίζει, συγκριτικά με τα κοινά εμπορικά πακέτα, πολύ πληρέστερο μαθηματικό υπόβαθρο με την κύρια ιδέα του να βασίζεται σε ένα σχήμα δικτυακού προγραμματισμού. Λειτουργεί σε μηνιαίο, εβδομαδιαίο ή ημερήσιο βήμα, με κατάλληλη προσαρμογή των δεδομένων εισόδου και επιτρέπει διαχρονική μεταβολή των περιορισμών του συστήματος. Το μοντέλο προσομοίωσης, δηλαδή η κατανομή των ροών του υδροσυστήματος, διαμορφώνεται ως πρόβλημα δικτυακού γραμμικού προγραμματισμού, εισάγοντας στους



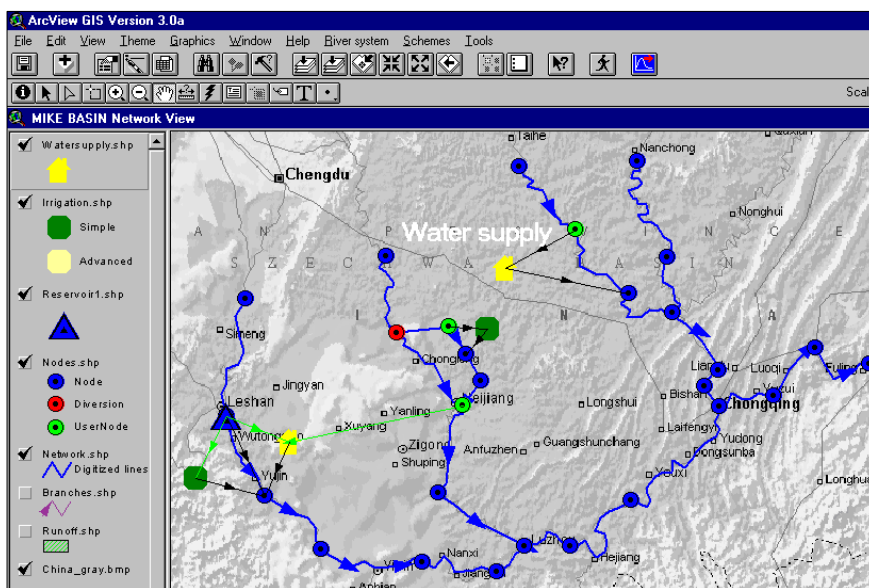
Σχήμα 3.4: ΣΥΣΤΗΜΑ MODSIM

Πηγή: <http://modsim.engr.colostate.edu/8.1ScreenShotBig.jpg>

κλάδους εικονικά κόστη. Δεν πραγματοποιεί βελτιστοποίηση και η λειτουργία του συστήματος ορίζεται με βάση τα αποθέματα-στόχους των ταμιευτήρων και τη σειρά προτεραιότητας των στόχων. Στην πραγματικότητα, δεν πρόκειται για εμπορικό πακέτο αλλά για πανεπιστημιακό προϊόν, ελεύθερα διαθέσιμο στο Διαδίκτυο, το οποίο έχει εφαρμοστεί κυρίως στις ΗΠΑ, από δημόσιους φορείς, καθώς και σε μελέτες στην Αίγυπτο και τη Βραζιλία.

Το μοντέλο MIKE BASIN (DHI Software) αξιοποιεί τις δυνατότητες του ArcGIS, σε συνδυασμό με υδρολογικά μοντέλα, για την παροχή διαχειριστικών λύσεων στην κλίμακα λεκάνης απορροής. Η φιλοσοφία του μοντέλου είναι πολύ απλή, ενώ δίνεται έμφαση στη χωρική και χρονική οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Οι προσομοιώσεις γίνονται πάνω σε ένα σχήμα δικτύου, του οποίου οι κλάδοι αναπαριστούν τμήματα ποταμών και οι κόμβοι θέσεις συμβολής, εκτροπής, ταμιευτήρες και χρήστες νερού. Το MIKE BASIN θεωρεί, συνήθως, μόνιμες συνθήκες, οπότε λειτουργεί αποκλειστικά με εξισώσεις συνέχειας. Ωστόσο, στην περίπτωση μεγάλων ποταμών επιτρέπει και τη χρήση μοντέλων διόδευσης (Muskingum, μοντέλο γραμμικού ταμιευτήρα). Το μοντέλο προσομοιώνει μια πληθώρα χρήσεων νερού, υιοθετώντας απλές διαχειριστικές προσεγγίσεις, ενώ στην περίπτωση που υπάρχει έλλειμμα για την ικανοποίηση της συνολικής ζήτησης, οπότε προκύπτει σύγκρουση ως προς την κατανομή των απολήψεων, τροφοδοτεί τους χρήστες κατά προτεραιότητα. Εναλλακτικά, χρησιμοποιεί κανόνες διαχείρισης των απολήψεων, που ορίζονται με τη βοήθεια μακροεντολών σε γλώσσα Visual Basic. Μάλιστα, με χρήση του ενσωματωμένου

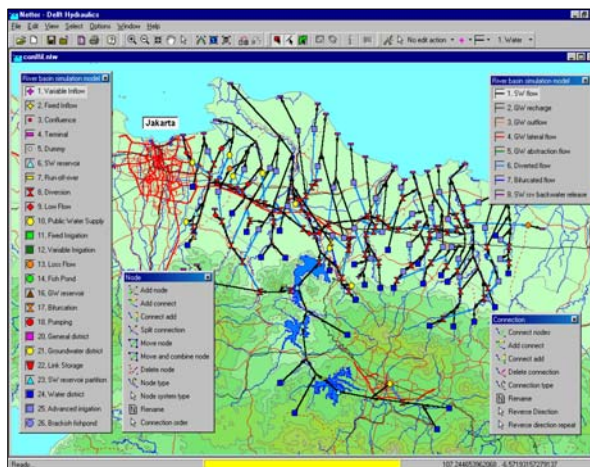
επιλυτή (solver) του Excel, παρέχεται η δυνατότητα βελτιστοποίησης των εν λόγω κανόνων, ως προς ένα ευρύ φάσμα κριτηρίων (σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.5: Μοντέλο MIKE BASIN

Πηγή: <http://www.cwrw.utexas.edu/gis/gishyd98/dhi/mikebas/Mbasmain.htm>

Το μοντέλο RIBASIM (Delft Hydraulics) (σχήμα 3.6) αναπαριστά τη συμπεριφορά λεκανών απορροής κάτω από διαφορετικές υδρολογικές συνθήκες, εκτιμώντας και αξιολογώντας μέτρα σχετικά με τις υποδομές και τον τρόπο διαχείρισης και λειτουργίας του συστήματος. Συνδυάζεται με το λογισμικό HYMOS της ίδιας εταιρείας, που υποστηρίζει μια βάση δεδομένων, καθώς και με υδρολογικά (SACRAMENTO) και ποιοτικά μοντέλα (DELWAQ). Υποστηρίζει οποιοδήποτε χρονικό βήμα προσομοίωσης, παράγει πρότυπα διανομής και επιτρέπει τη λεπτομερή ανάλυση της ποιότητας του νερού και των φερτών σε ποταμούς και ταμειυτήρες, εξετάζοντας την πηγή προέλευσης κάθε υδατικού πόρου. Κατά την προετοιμασία των υδατικών ισοζυγίων λαμβάνονται ακόμη υπόψη οι εκροές των βιομηχανιών, η αποστράγγιση από τη γεωργία και η κατάντη επαναχρησιμοποίηση του νερού.



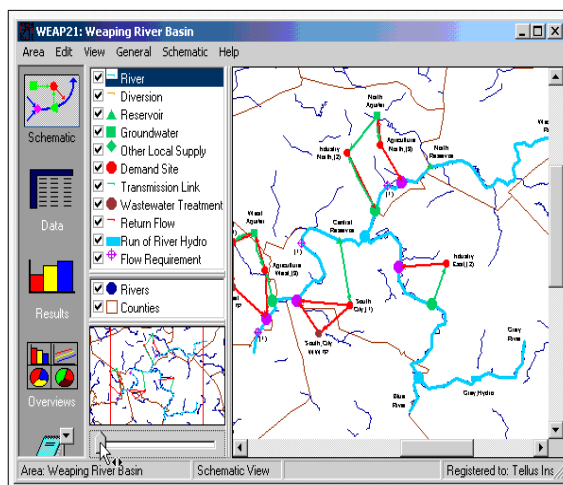
Σχήμα 3.6: Μοντέλο RIBASIM

Πηγή: <http://www.wldelft.nl/soft/ribasim/int/index.html>

Το WEAP (Stockholm Environment Institute) (σχήμα 3.7) είναι από τα πλέον διαδεδομένα διαχειριστικά εργαλεία, που έχει εφαρμοστεί σε μελέτες υδατικών πόρων στις

ΗΠΑ, το Μεξικό, την Κίνα, την Κεντρική Ασία, την Αφρική, την Αίγυπτο, το Ισραήλ και την Ινδία. Η σύλληψη του μοντέλου είναι πολύ απλή, ώστε να είναι κατανοητή και από μη εξειδικευμένους χρήστες. Με τη βοήθεια εργαλείων συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας, δημιουργείται ένα σενάριο αναφοράς (reference scenario/current accounts) πάνω στο οποίο βασίζονται υποθετικά (what if-) σενάρια. Τα τελευταία ξεκινούν από την ίδια χρονική στιγμή και μπορούν να διαφοροποιηθούν από δεδομένα εισόδου. Για κάθε χρήση νερού ορίζονται προτεραιότητες απόληψης από συγκεκριμένους υδατικούς πόρους, για τη συνολική ζήτηση ή για κάποιο ποσοστό της.

Στα αποτελέσματα του μοντέλου περιλαμβάνονται η ζήτηση στους πόρους και η κατανάλωση για κάθε κόμβο κατανάλωσης, η κάλυψη σε νερό, το έλλειμμα νερού και το ποσοστό κάλυψης για κάθε κόμβο κατανάλωσης, το κόστος του νερού ανά πόρο ή ανά κόμβο κατανάλωσης, το ισοζύγιο των κόμβων, οι εισοδοί και έξοδοι από μια περιοχή, η διακύμανση της παροχής υδατορεύματος και το ποσοστό κάλυψης της ζήτησης ελάχιστης παροχής, η διακύμανση της στάθμης, το ισοζύγιο και οι απώλειες των υπογείων υδροφορέων, η διακύμανση της στάθμης και το ισοζύγιο των ταμιευτήρων, η παραγόμενη από υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις ενέργεια, η εξάτμιση και η διαρροή σε κλάδους του δικτύου και η δημιουργία και μεταφορά ρύπανσης.

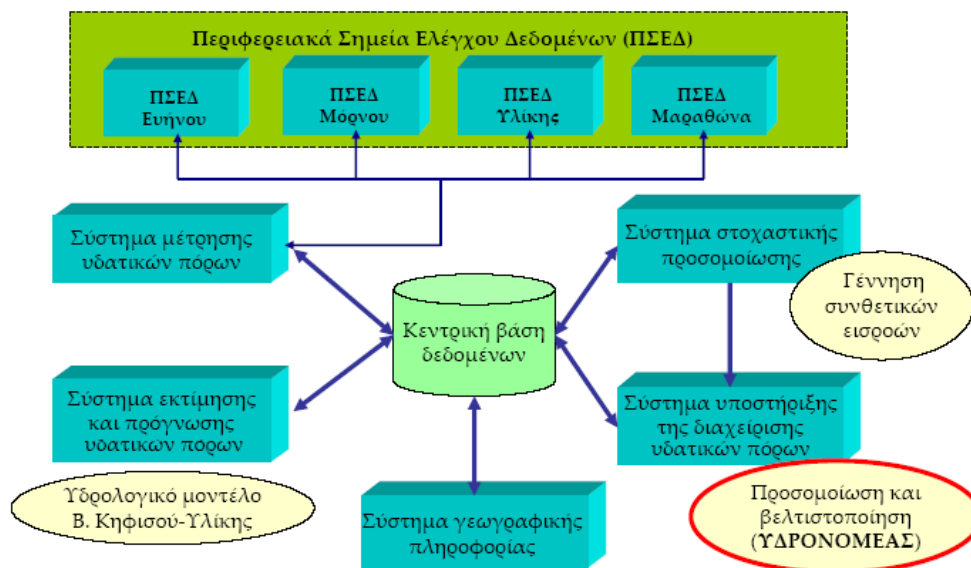


Σχήμα 3.7: Μοντέλο WEAP

Πηγή: <http://www.weap21.org/index.asp?doc=04>

3.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ (ΣΥΑ) ΓΙΑ ΤΟ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

Το σύστημα για την υποστήριξη της εποπτείας και διαχείρισης των υδατικών πόρων της Αθήνας είναι ένα εξελιγμένο ΣΥΑ που αναπτύσσεται με τη συνεργασία του ΕΜΠ και της ΕΥΔΑΠ στο πλαίσιο σχετικού ερευνητικού έργου. Οι κύριες συνιστώσες του είναι οι εξής (Νασίκας, 2003· Κουτσογιάννης, 2001) (σχήμα 3.8):



Σχήμα 3.8: Οι συνιστώσες του ΣΥΑ για το υδροσύστημα της Αθήνας

Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2007

- Σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας για την απεικόνιση και εποπτεία του υδροδοτικού συστήματος, με τελικό προϊόν ένα σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων και γεωγραφικής πληροφορίας, με τα απαραίτητα δεδομένα και τις κατάλληλες εφαρμογές λογισμικού, σε επιχειρησιακή λειτουργία.

- Σύστημα μέτρησης των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας, με τελικό προϊόν τη μελέτη, προμήθεια, εγκατάσταση και επιχειρησιακή λειτουργία ενός δικτύου αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών μέτρησης υδρολογικών και μετεωρολογικών μεταβλητών.

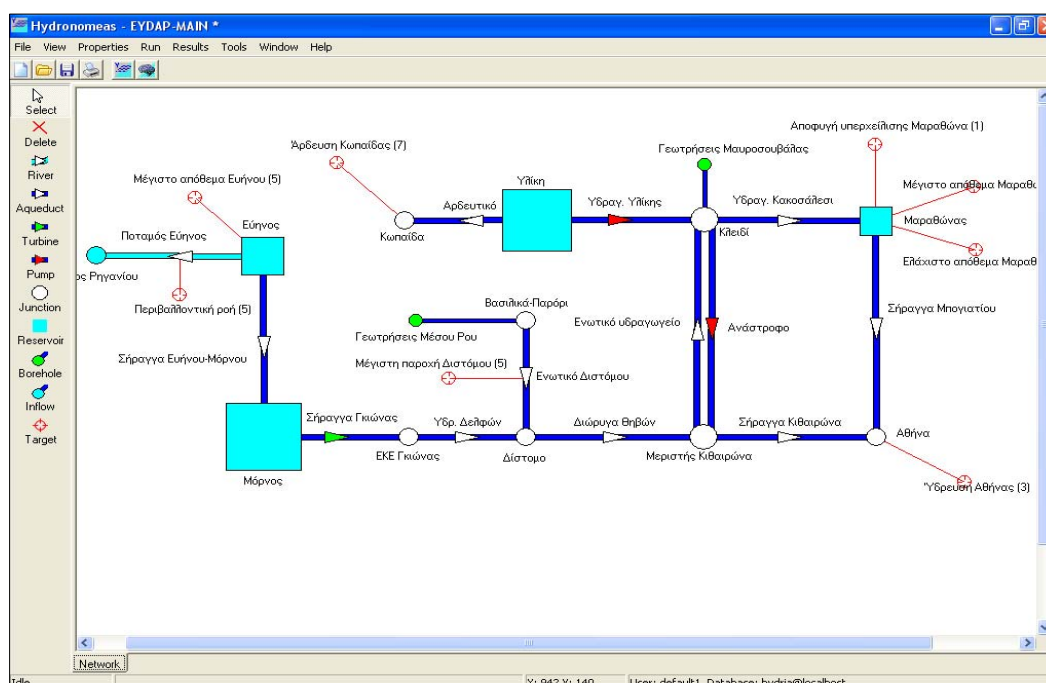
- Υδρολογικά μοντέλα και ειδικότερα α) μοντέλα στοχαστικής υδρολογίας για την προσομοίωση και πρόγνωση των εισροών και απωλειών των ταμιευτήρων Ευήνου, Μόρνου, Υλίκης και Μαραθώνα (πρόγραμμα ΚΑΣΤΑΛΙΑ) και β) μοντέλο για την εκτίμηση και πρόγνωση των υπογείων υδατικών πόρων της περιοχής Βοιωτικού Κηφισού-Υλίκης.

- Μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης της λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος (πρόγραμμα ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ), το οποίο λειτουργεί με πολλαπλούς στόχους και χρήσεις υδατικών πόρων και εξάγει ως αποτελέσματα τους πιο αποδοτικούς διαχειριστικούς κανόνες για τη λειτουργία του συστήματος, τις διακινήσεις νερού σε όλες τις συνιστώσες του (ταμιευτήρες, υδραγωγεία, αντλιοστάσια, υπόγειοι υδροφορείς, μονάδες παραγωγής ενέργειας) και τα αντίστοιχα οικονομικά μεγέθη.

3.3.1 Υδρονομέας: Σύστημα πληροφορικής για το σχεδιασμό και τη διαχείριση συστημάτων υδατικών πόρων

Ο «Υδρονομέας» (σχήμα 3.9) είναι ένα επιχειρησιακό εργαλείο πληροφορικής για τη διαχείριση πολύπλοκων συστημάτων υδατικών πόρων. Είναι κατάλληλο για ευρύ φάσμα υδροσυστημάτων, ενσωματώνοντας ένα πλήθος φυσικών, λειτουργικών, διοικητικών και

περιβαλλοντικών όψεων της ολοκληρωμένης διαχείρισης λεκανών απορροής. Λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά του φυσικού συστήματος (υδρολογικές εισροές), τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά των υδραυλικών έργων και υδατικές ανάγκες και λειτουργικούς περιορισμούς. Εντοπίζει την πλέον πρόσφορη πολιτική διαχείρισης, με τη μορφή κανόνων λειτουργίας των κύριων υδραυλικών έργων και απαντά σε ένα πλήθος ερωτημάτων όπως: α) ποια είναι η μακροπρόθεσμη (ασφαλής) απόδοση ενός υδροσυστήματος;, β) με ποιο επίπεδο αξιοπιστίας μπορούν να επιτευχθούν οι στόχοι και περιορισμοί στη χρήση νερού (ποσοτικοί, ποιοτικοί, ενεργειακοί, περιβαλλοντικοί);, γ) ποιο είναι το ελάχιστο κόστος λειτουργίας του συστήματος;, δ) ποιο είναι το ενεργειακό όφελος του συστήματος από την παραγωγή πρωτεύουσας και δευτερεύουσας υδροηλεκτρικής ενέργειας;, ε) ποιες είναι οι επιπτώσεις υδροκλιματικών αλλαγών στο υδροσύστημα;, στ) ποιες είναι οι επιπτώσεις αλλαγών ή έκτακτων περιστατικών στο δίκτυο; (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007).



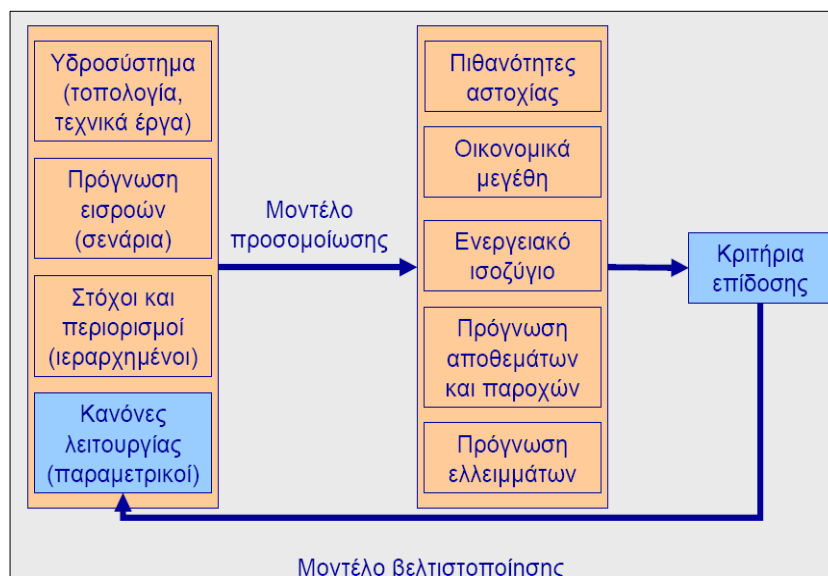
Σχήμα 3.9: Μοντέλο «Υδρονομέας»

Πηγή: ΕΜΠ

Το μαθηματικό υπόβαθρο του Υδρονομέα (σχήμα 3.10) ακολουθεί το σχήμα παραμετροποίηση⁸-προσομοίωση-βελτιστοποίηση. Η προσομοίωση εφαρμόζεται για την πιστή αναπαράσταση της λειτουργίας του συστήματος, που εκφράζεται με τη μορφή παραμετρικών κανόνων διαχείρισης, ενώ η βελτιστοποίηση εφαρμόζεται για να εντοπίσει τη βέλτιστη διαχειριστική πολιτική, η οποία ελαχιστοποιεί ταυτόχρονα τη διακινδύνευση και το

⁸ Οι παραμετρικοί κανόνες αποτελούν μαθηματικές σχέσεις οι οποίες συνδέουν τις απολήψεις από τους ταμιευτήρες με το συνολικό ωφέλιμο όγκο, ο οποίος περιγράφει την κατάσταση του συστήματος. Οι σχέσεις αυτές περιέχουν μικρό αριθμό παραμέτρων (δύο ανά ταμιευτήρα), οι οποίες αποτελούν τις προς βελτιστοποίηση μεταβλητές (Ευστρατιάδης και Καραβοκυρός, 2007).

κόστος κατά τη λήψη αποφάσεων. Η θεμελιώδης αρχή του Υδρονομέα είναι ότι συνδυάζει τις τεχνικές προσομοίωσης και βελτιστοποίησης σε ένα ενιαίο πλαίσιο.



Σχήμα 3.10: Μαθηματικό υπόβαθρο Υδρονομέα

Πηγή: <http://www.odysseusproject.gr>

Οι γενικές αρχές στις οποίες βασίστηκε η ανάπτυξη του μαθηματικού υποβάθρου του Υδρονομέα συνοψίζονται στις εξής: α) ευελιξία ως προς τη σχηματοποίηση, με δυνατότητα περιγραφής των τεχνικών έργων αλλά και των φυσικών συνιστωσών (υδατορεύματα), σε υδροσυστήματα κάθε κλίμακας, β) ρεαλιστική αναπαράσταση της λειτουργίας των υδροσυστημάτων, χωρίς υπερσύνθετη περιγραφή των διεργασιών, με υπερπληθείς και ασαφείς παραμέτρους και υπερβολικές απαιτήσεις σε δεδομένα, γ) ολιστική προσέγγιση, με ενσωμάτωση όλων των πτυχών της διαχείρισης των υδατικών πόρων (τεχνικών, οικονομικών, ενεργειακών, περιβαλλοντικών), δ) περιγραφή διαχειριστικών πολιτικών με χρήση πρακτικών κανόνων, που να είναι κατανοητοί από μη έμπειρους χρήστες και να έχουν μακροχρόνια ισχύ, ε) ποσοτικοποίηση της υδρολογικής αβεβαιότητας και του ρίσκου στη λήψη των αποφάσεων, με στοχαστική πρόγνωση υδρολογικών και διαχειριστικών μεγεθών, στ) βελτιστοποίηση της λειτουργίας του υδροσυστήματος ως προς ένα ευρύ φάσμα διαχειριστικών παραμέτρων του και έναντι πληθώρας κριτηρίων αξιολόγησης και ζ) περιορισμός του υπολογιστικού φόρτου κατά τη σύζευξη των σχημάτων στοχαστικής προσομοίωσης και βελτιστοποίησης, με την υιοθέτηση φειδωλής παραμετροποίησης και τη χρήση εξελιγμένων αλγορίθμων (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007).

Ο Υδρονομέας αναπτύχθηκε ώστε να λειτουργεί στα πλαίσια ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων, με γραφικό περιβάλλον εργασίας που επιτρέπει στο χρήστη τη δημιουργία υδροσυστημάτων οποιασδήποτε διάταξης, τα οποία αποτελούνται από έργα προσφοράς και αποθήκευσης νερού (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις), θέσεις ζήτησης νερού ή

αλλαγής της γεωμετρίας του δικτύου (κόμβοι), μέσα μεταφοράς νερού (ποτάμια, υδραγωγεία) και διατάξεις κατανάλωσης και παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας (αντλιοστάσια, στρόβιλοι). Στα χαρακτηριστικά των έργων (φυσικοί περιορισμοί) εντάσσονται η ελάχιστη και μέγιστη στάθμη λειτουργίας, η σχέση στάθμης-αποθέματος-επιφάνειας, η σχέση στάθμης-διαφυγών, οι χρονοσειρές εισροών των ταμιευτήρων, η δυναμικότητα των γεωτρήσεων, η παροχευετικότητα και οι διαρροές των υδραγωγείων και η ειδική ενέργεια των αντλιοστασίων, ενώ η ζήτηση νερού για ύδρευση, άρδευση και περιβαλλοντική διατήρηση, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, η αποφυγή της υπερχειλίσης ταμιευτήρων, ο έλεγχος της στάθμης ταμιευτήρων και της παροχής υδατορευμάτων ή υδραγωγείων και ο έλεγχος της ποιότητας νερού αποτελούν τους λειτουργικούς περιορισμούς της διαχείρισης του συστήματος (Ευστρατιάδης και Καραβοκυρός, 2007).

Ο Υδρονομέας υποστηρίζει δύο μορφές προσομοίωσης: μόνιμης κατάστασης και καταληκτική. Η προσομοίωση μόνιμης κατάστασης επιλέγεται για τη διερεύνηση της λειτουργίας του υδροσυστήματος ανεξαρτήτως αρχικών συνθηκών, με χρήση συνθετικών χρονοσειρών μεγάλου μήκους. Αντίθετα, η καταληκτική προσομοίωση εφαρμόζεται εφόσον εξετάζεται η μελλοντική συμπεριφορά του υδροσυστήματος σε ορίζοντα λίγων ετών.

Στην καταληκτική προσομοίωση παράγονται πολλές αλλά μικρού, κατά κανόνα, μήκους σειρές εισροών, με κατάλληλη προσαρμογή του στοχαστικού μοντέλου ώστε να λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ιστορικών δειγμάτων αλλά και την ακολουθία των ιστορικών τιμών, και ιδιαίτερα των πλέον πρόσφατων. Η λειτουργία αυτή του μοντέλου ονομάζεται στοχαστική πρόγνωση. Στη συνέχεια, επαναλαμβάνεται το μοντέλο λειτουργικής προσομοίωσης με διαφορετικό κάθε φορά σενάριο εισροών, αλλά με τις ίδιες αρχικές συνθήκες αποθεμάτων, τις ίδιες συνθήκες μεταβολής παραμέτρων (εφόσον το σύστημα χαρακτηρίζεται από μη στασιμότητα), και την ίδια συνθήκη τερματισμού (χρονικός ορίζοντας ελέγχου) (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007).

Στα αποτελέσματα του Υδρονομέα, τα οποία παρουσιάζονται σε μορφή πινάκων, διαγραμμάτων και εκθέσεων περιλαμβάνονται ο βέλτιστος κανόνας λειτουργίας για όλους τους ταμιευτήρες του υδροσυστήματος, η πιθανότητα αστοχίας σε χρονική διάσταση για όλους τους στόχους που έθεσε ο χρήστης και η καμπύλη πρόγνωσης των συνολικών αποθεμάτων του συστήματος και του κάθε ταμιευτήρα ξεχωριστά. Αναλυτικά ισοζύγια ταμιευτήρων, κόμβων και παροχών των υδραγωγείων, ενεργειακά ισοζύγια και λειτουργικά οικονομικά στοιχεία συμπληρώνουν το φάσμα των αποτελεσμάτων (Καραβοκυρός, 2001).

Από το έτος 2000, ο «Υδρονομέας» αποτελεί το κεντρικό υποστηρικτικό εργαλείο της Εταιρείας Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ). Πραγματοποιεί προσομοίωση και βελτιστοποίηση της λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας προτείνοντας τον αποδοτικότερο κανόνα λειτουργίας των τεσσάρων ταμιευτήρων (Μαραθώνα, Ευήνου, Μόρνου και Υλίκης) και του τρόπου μεταφοράς του νερού στο δίκτυο.

Η εφαρμογή του διαχειριστικού αυτού μοντέλου δίνει τη δυνατότητα στην ΕΥΔΑΠ να πραγματοποιεί ακριβέστερες προβλέψεις σχετικά με την επάρκεια των υδατικών πόρων και την αξιοπιστία των πολιτικών διαχείρισης και να επιλέγει βέλτιστους τρόπους διαχείρισης, εξοικονομώντας πολύτιμους υδατικούς και οικονομικούς πόρους (Νασίκας, 2003).

3.3.2 Κασταλία: Σύστημα στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών μεταβλητών

Η «Κασταλία» χρησιμοποιείται για τη γέννηση συνθετικών υδρολογικών χρονοσειρών σε πολλαπλές θέσεις και πολλαπλές χρονικές κλίμακες, στατιστικά συνεπών με τα αντίστοιχα ιστορικά δεδομένα. Υλοποιεί ένα σχήμα στοχαστικής ανάλυσης πολλών μεταβλητών, κατάλληλο για την αναπαραγωγή χαρακτηριστικών ιδιοτεροτήτων των υδρολογικών διεργασιών, όπως της μακροπρόθεσμης εμμονής⁹ και της περιοδικότητας. Το μοντέλο λειτουργεί και ως εργαλείο στοχαστικής πρόγνωσης, εφόσον τροφοδοτείται με επίκαιρα υδρολογικά δεδομένα. Στην περίπτωση αυτή γεννά σενάρια εισροών που χρησιμοποιούνται στην καταληκτική προσομοίωση υδροσυστημάτων (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007).

Το μαθηματικό σύστημα της Κασταλίας πληροί όλες τις απαιτήσεις που πρέπει να έχει ένα τέτοιο σύστημα, ώστε να αναπαράγει τα χαρακτηριστικά των ιστορικών χρονοσειρών διαφόρων μεταβλητών που αναφέρονται σε χωρικά κατανεμημένα στοιχεία των υδροσυστημάτων, όπως ταμειυτήρες. Η κύρια λειτουργία του είναι η παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών, των οποίων οι μελλοντικές τιμές θα πρέπει να είναι συνεπείς με τις επίκαιρες και τις ιστορικές τιμές.

Το μοντέλο γέννησης συνθετικών χρονοσειρών μπορεί να εφαρμοστεί με δύο τρόπους: (α) για τη γέννηση χρονοσειρών μεγάλου μήκους, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές τύπου μόνιμης κατάστασης και, συνεπώς, δεν εξαρτώνται από τις αρχικές συνθήκες της προσομοίωσης, και (β) για τη γέννηση πολλαπλών σεναρίων μικρού μήκους, τα οποία χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές τύπου καταληκτικής προσομοίωσης.

Για τη γέννηση συνθετικών χρονοσειρών υιοθετήθηκε ένα στοχαστικό σχήμα πολλών μεταβλητών, το οποίο υλοποιείται σε δύο χρονικά επίπεδα. Κάθε μεταβλητή αναφέρεται σε συγκεκριμένη υδρολογική διεργασία, που λαμβάνει χώρα σε συγκεκριμένη γεωγραφική θέση. Το πρώτο επίπεδο (υψηλό επίπεδο) αναφέρεται σε χρονοσειρές αραιής χρονικής κλίμακας, η

⁹ Η μακροπρόθεσμη εμμονή (persistence) των υδρολογικών χρονοσειρών ανακαλύφθηκε από τον Hurst (1951), στα πλαίσια μελέτης του φράγματος του Ασουάν. Ο Hurst, αναλύοντας τις χρονοσειρές του ποταμού Νείλου καθώς και άλλες υδρολογικές και γεωφυσικές χρονοσειρές που ήταν διαθέσιμες για αρκετές εκατοντάδες έτη, διαπίστωσε την ιδιότητα των υγρών και ξηρών ετών να εμφανίζονται κατά ομάδες, σχηματίζοντας μακρές περιόδους υψηλής και χαμηλής υδροφορίας, αντίστοιχα. Έκτοτε, η μακροπρόθεσμη εμμονή των φυσικών χρονοσειρών έλαβε την ονομασία φαινόμενο Hurst, ενώ αργότερα εισήχθη από τον γνωστό μαθηματικό Mandelbrot η έκφραση φαινόμενο Ιωσήφ. Το φαινόμενο εντοπίζεται σε πλήθος γεωφυσικών και κλιματολογικών μεταβλητών, όπως η ένταση ανέμων, η μέση παγκόσμια θερμοκρασία και το πάχος δακτυλίων δέντρων (Koutsoyiannis, 2002). Η μακροπρόθεσμη εμμονή των χρονοσειρών που περιγράφουν φυσικές διεργασίες εμφανίζεται με τη μορφή υψηλών θετικών τιμών των συντελεστών αυτοσυσχέτισης, ακόμη και για μεγάλη χρονική υστέρηση, της τάξης των δεκάδων ή και εκατοντάδων ετών (Ευστρατιάδης κ.ά., 2005).

ισοδιάσταση της οποίας θα καλείται εφεξής περίοδος, ενώ το δεύτερο επίπεδο (χαμηλό επίπεδο) αναφέρεται σε πυκνότερη χρονική κλίμακα, που θα καλείται υποπερίοδος. Ως υψηλή χρονική κλίμακα επιλέγεται η ετήσια, για την οποία οι στοχαστικές ανελιξίες θεωρούνται στάσιμες, ενώ ως χαμηλή χρονική κλίμακα επιλέγεται η μηνιαία, που είναι η συνήθης κλίμακα στη διαχείριση συστημάτων υδατικών πόρων.



Σχήμα 3.11: Διάγραμμα ροής σχήματος γέννησης συνθετικών χρονοσειρών για τη στοχαστική προσομοίωση συστημάτων υδατικών πόρων σε μηνιαία χρονική κλίμακα, για n συνολικά έτη

Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2005

Το διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας γέννησης συνθετικών χρονοσειρών απεικονίζεται στο σχήμα 3.11. Είσοδος του μοντέλου είναι τα μηνιαία ιστορικά δείγματα των μεταβλητών, βάσει των οποίων προκύπτουν τα αντίστοιχα ετήσια. Πρώτα υπολογίζονται τα δειγματικά στατιστικά χαρακτηριστικά, τόσο σε μηνιαία όσο και σε ετήσια βάση. Στη συνέχεια, για κάθε ετήσια μεταβλητή ορίζεται μια θεωρητική συνάρτηση αυτοσυσχέτισης, η οποία περιγράφει την μακροπρόθεσμη εμμονή της αντίστοιχης υδρολογικής διεργασίας. Η δομή της αυτοσυσχέτισης αναπαράγεται μέσω ενός στάσιμου μοντέλου συμμετρικά κινούμενων μέσων όρων (μοντέλο SMA), οι παράμετροι του οποίου εκτιμώνται συναρτήσει των στατιστικών χαρακτηριστικών των ετήσιων ιστορικών χρονοσειρών. Το μοντέλο SMA, που σημειωτέον είναι γενικευμένο, ώστε να προσαρμόζεται σε πολυμεταβλητά σχήματα προσομοίωσης, χρησιμοποιείται για την γέννηση συνθετικών χρονοσειρών σε όλες τις θέσεις και για ολόκληρο το χρονικό ορίζοντα της προσομοίωσης.

Για τη στοχαστική προσομοίωση των μηνιαίων μεταβλητών χρησιμοποιείται ως βάση ένα περιοδικό μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης, το PAR(1), διατυπωμένο ως πολυμεταβλητό. Οι παράμετροι του μοντέλου εκτιμώνται συναρτήσει των στατιστικών χαρακτηριστικών των μηνιαίων ιστορικών χρονοσειρών. Η γέννηση των μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών, η οποία προϋποθέτει να έχει ολοκληρωθεί η παραγωγή των ετήσιων συνθετικών τιμών, γίνεται σε στάδια. Αρχικά, για κάθε ένα έτος ξεχωριστά, γεννώνται 12 μηνιαίες τιμές μέσω του μοντέλου PAR(1), οι οποίες προφανώς δεν είναι συνεπείς με τις αντίστοιχες ετήσιες. Για την αποκατάσταση της συνέπειας, εφαρμόζεται μια διαδικασία γραμμικής αναγωγής (μοντέλο επιμερισμού), μέσω της οποίας οι μηνιαίες συνθετικές τιμές διορθώνονται, ώστε συναθροιζόμενες να ισούνται με την αντίστοιχη ετήσια. Η διαδικασία γέννησης μηνιαίων τιμών επαναλαμβάνεται για όλα τα έτη, οπότε προκύπτει ένα τελικό συνθετικό δείγμα μηνιαίων τιμών που είναι συνεπές με το ετήσιο, το οποίο έχει προκύψει με εφαρμογή του μοντέλου SMA, αναπαράγοντας κατ' αυτόν τον τρόπο το ιδιαίτερα κρίσιμο φαινόμενο της εμμονής (Ευστρατιάδης κ.ά., 2005).

Τα στατιστικά χαρακτηριστικά που αναπαράγονται από το μαθηματικό σύστημα της Κασταλίας εντάσσονται σε δύο κατηγορίες παραμέτρων: α) παράμετροι των περιθωρίων συναρτήσεων κατανομής (μέσες τιμές, τυπικές αποκλίσεις και συντελεστές ασυμμετρίας) και β) παράμετροι των από κοινού συναρτήσεων κατανομής (συντελεστές αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης και συντελεστές ετεροσυσχέτισης μηδενικής τάξης). Οι παράμετροι αυτές συνιστούν το ελάχιστο σύνολο ουσιωδών στατιστικών παραμέτρων που, κατά κανόνα, απαιτούνται για την αναπαραγωγή της δίαιτας των υδρολογικών μεταβλητών στα πλαίσια της στοχαστικής προσομοίωσης ενός υδροσυστήματος (Ευστρατιάδης και Κουτσογιάννης, 2004).

Αναφορικά με το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας και τη διαχείρισή του, το σύστημα στοχαστικής προσομοίωσης «Κασταλία»: α) δημιουργεί συνθετικές χρονοσειρές μεγάλου μήκους, οι οποίες διατηρούν τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ιστορικών χρονοσειρών, β) χρησιμοποιεί τα ιστορικά δεδομένα εισροών, βροχόπτωσης και απωλειών των ταμιευτήρων Ευήνου, Μόρνου, Υλίκης και Μαραθώνα, γ) αναπαράγει τις έμμονες ξηρασίες που παρατηρούνται στην περιοχή και, δ) αποτελεί απαραίτητο εργαλείο για την λειτουργία του υπολογιστικού συστήματος «Υδρονομέας», δεδομένου ότι για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων προσομοιώσεων απαιτούνται χρονοσειρές εισόδου μεγάλου μήκους (Νασίκας, 2003).

Γενικά, η συνδυαστική λειτουργία των προγραμμάτων «Κασταλία» και «Υδρονομέας» κρίνεται επιβεβλημένη, αφενός λόγω του κοινού θεωρητικού πλαισίου στο οποίο βασίζεται η μαθηματική προσέγγιση του προβλήματος προσομοίωσης και αφετέρου για πρακτικούς λόγους, καθώς η δομή των μεμονωμένων χρονοσειρών μεγάλου μήκους ή, ακόμη περισσότερο, των σεναρίων πρόγνωσης που γεννά η Κασταλία είναι πλήρως συμβατή με τη δομή που εισάγεται στον Υδρονομέα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

Το συγκεκριμένο κεφάλαιο αναφέρεται στην υδροδότηση της Αθήνας. Αρχικά γίνεται ιστορική αναφορά στην ύδρευση της Αθήνας και στο ιστορικό της ανάπτυξης του υδροδοτικού της συστήματος και παρατίθενται οι περιοχές, η υδροδότηση των οποίων ανήκει στην αρμοδιότητα της ΕΥΔΑΠ. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η εξέλιξη της κατανάλωσης του νερού στην πρωτεύουσα και οι κατηγορίες χρήσεων του νερού και ακολουθεί η περιγραφή των υδατικών πόρων και έργων που απαρτίζουν το σημερινό υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις, υδραγωγεία, έργα διαχείρισης υδραγωγείων, μικρά υδροηλεκτρικά έργα, διυλιστήρια, δίκτυο ύδρευσης). Τέλος, δίνονται πληροφορίες για την ποιότητα του νερού και παρουσιάζονται οι ιδιαιτερότητες του συστήματος υδροδότησης και τα προβλήματα που προκύπτουν κατά τη λειτουργία του.

4.1 Η ΥΔΡΕΥΣΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ ΜΕΧΡΙ ΣΗΜΕΡΑ

Από την αρχαιότητα η Αθήνα συνδέει την ιστορία της και τη ζωή της με ένα βασικό πρόβλημα: τη λειψυδρία, την ανεπάρκεια δηλαδή του νερού. Και αυτό γιατί τα επιφανειακά νερά ήταν πάντα λιγοστά, καθώς δεν υπάρχουν μεγάλα ποτάμια και λίμνες στην Αττική γη. Η υδροδότηση της πόλης γινόταν κατά το πλείστον από πηγές και πηγάδια. Παράλληλα, υπήρχαν πολλές κρήνες διάσπαρτες, όπως και πλήθος δεξαμενών, όπου συγκεντρωνόταν βρόχινο νερό (ομβροδέκτες). Από τα γνωστότερα αρχαία υδραγωγεία ήταν το Πεισιστράτειο που κατασκεύασε ο τύραννος Πεισίστρατος το 530 π.Χ., μήκους 2.800 m, το οποίο αντλούσε νερό από τις πηγές του Υμηττού, ενώ υπήρχαν και άλλα μικρότερα υδραγωγεία σε διάφορα σημεία της πόλης και υδρομαστεύσεις βοηθούμενες από μικροφράγματα.

Το σημαντικότερο ιστορικά έργο για την υδροδότηση της Αθήνας ήταν το Αδριάνειο Υδραγωγείο που κατασκευάστηκε από το Ρωμαίο Αυτοκράτορα Αδριανό (134-140 μ.Χ.). Ξεκινούσε από τους πρόποδες της Πάρνηθας και κατέληγε στο Λυκαβηττό, όπου δημιουργήθηκε η Αδριάνειος Δεξαμενή, στην οποία αποθηκεύονταν τα νερά του υδραγωγείου και τα οποία διοχετεύονταν με υδατογέφυρες στην πόλη των Αθηνών. Το Αδριάνειο Υδραγωγείο και η Δεξαμενή λειτούργησαν μέχρι την εποχή της Τουρκοκρατίας. Τότε, όπως και τα περισσότερα μικρότερα υδραγωγεία που λειτουργούσαν από την αρχαιότητα περιήλθαν σε αχρηστία, με αποτέλεσμα οι Αθηναίοι για να καλύψουν τις υδατικές τους ανάγκες, στράφηκαν στην κατασκευή πηγαδιών στα σπίτια και στους κήπους τους.

Κατά τη διάρκεια του εθνικοαπελευθερωτικού αγώνα των Ελλήνων από τους Τούρκους (1821), σημειώθηκαν πολλές καταστροφές στην υδροδοτική υποδομή της πόλης. Μετά την απελευθέρωση (1833) το υδροδοτικό πρόβλημα της Αθήνας ήταν οξύτατο και με δεδομένη τη σταδιακή πληθυσμιακή αύξησή της, ήταν επείγουσα ανάγκη η αντιμετώπισή

του. Με πρωτοβουλία της εκάστοτε δημοτικής αρχής της πόλης έγιναν σημαντικά έργα, όπως επισκευές και καθαρισμοί του Αδριάνειου Υδραγωγείου που τέθηκε και πάλι σε λειτουργία το 1840. Το 1870 ανακαλύφθηκε και η Αδριάνειος Δεξαμενή, η οποία ανακατασκευάστηκε φτάνοντας στα 2.200 m³ χωρητικότητα και λειτούργησε μέχρι και το 1940, ενώ κατασκευάστηκαν και λειτούργησαν και άλλα μικρού μεγέθους υδραγωγεία.

Μέχρι το 1924 η Αθήνα υδρευόταν κυρίως από τα νερά των πηγών της Πάρνηθας και από τον υπόγειο υδροφόρα. Ωστόσο, η αύξηση του πληθυσμού της, κυρίως μετά την μικρασιατική καταστροφή, δημιούργησε διαρκώς νέες ανάγκες. Έτσι το 1925 έκαναν την εμφάνισή τους τα πρώτα σύγχρονα έργα ύδρευσης στην περιοχή της πρωτεύουσας, ενώ υπεγράφη σύμβαση μεταξύ του Ελληνικού Δημοσίου, της Αμερικανικής Εταιρείας ULEN και της Τράπεζας Αθηνών για τη χρηματοδότηση και κατασκευή έργων ύδρευσης της πρωτεύουσας από τη λεκάνη απορροής της Πάρνηθας, των οποίων την υλοποίηση θα αναλάμβανε η ULEN και την εποπτεία θα είχε η Ελληνική Εταιρεία Υδάτων (ΕΕΥ).

Το πρώτο μεγάλο έργο ήταν το φράγμα του Μαραθώνα και η ομώνυμη τεχνητή λίμνη (1925-1931), ενώ για τη μεταφορά του νερού από το Μαραθώνα στην Αθήνα κατασκευάστηκε η σήραγγα Μπογιατιού. Τα δύο παραπάνω έργα μαζί με το Διυλιστήριο Γαλατσίου και το δίκτυο διανομής Αθήνας και Πειραιά αποτέλεσαν την πρώτη οργανωμένη προσπάθεια για την ορθολογική ύδρευση της Αθήνας. Αργότερα, λόγω της συνεχιζόμενης αύξησης του πληθυσμού της Αθήνας, κρίθηκε αναγκαία και η χρησιμοποίηση των νερών της φυσικής λίμνης Υλίκης, η οποία βρίσκεται στη Βοιωτία.

Το 1974 οι αρμοδιότητες για την υδροδότηση της Αθήνας που ως τότε είχε η εταιρεία ULEN, μεταβιβάζονται εξ ολοκλήρου στην ΕΕΥ, ενώ το 1980 αλλάζει οριστικά το θεσμικό πλαίσιο και η Ελληνική Εταιρεία Υδάτων (ΕΕΥ) και ο Οργανισμός Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΟΑΠ), ανεξάρτητοι μέχρι τότε οργανισμοί με διακριτές αρμοδιότητες (ύδρευση η ΕΕΥ και αποχέτευση ο ΟΑΠ), συγχωνεύονται στον ενιαίο πλέον φορέα διαχείρισης ύδρευσης και αποχέτευσης της πρωτεύουσας, την ΕΥΔΑΠ ΑΕ.

Ένα σημαντικό έργο που ενίσχυσε την υδροδότηση της Αθήνας, είναι το φράγμα στον ποταμό Μόρνο (1969-1979), το ψηλότερο χωμάτινο φράγμα σε ευρωπαϊκό επίπεδο, ύψους 126 m, απ' όπου το νερό καταλήγει στην Αθήνα μέσω του υδραγωγείου του Μόρνου, του δεύτερου μεγαλύτερου υδραγωγείου στην Ευρώπη. Μεγάλο έργο είναι και η εκτροπή του ποταμού Ευήνου προς τον ταμιευτήρα του Μόρνου με την κατασκευή του ομώνυμου φράγματος (1992-2001) και της σήραγγας Ευήνου-Μόρνου (1992-1994). Τα υδραγωγεία Μόρνου και Υλίκης επικοινωνούν μεταξύ τους με ενωτικά υδραγωγεία, η ύπαρξη των οποίων επιτρέπει τον έλεγχο, τη συντήρηση και την επισκευή των εγκαταστάσεων των δύο υδραγωγείων με τη δυνατότητα παύσης του ενός εξ αυτών.

Μέσω των υδραγωγείων Μόρνου και Υλίκης το ακατέργαστο νερό μεταφέρεται στις τέσσερις μονάδες επεξεργασίας νερού (ΜΕΝ) Γαλατσίου, Αχαρνών (Μενιδίου),

Πολυδενδρίου (Κιούρκων) και Μάνδρας (Ασπροπύργου), όπου υποβάλλεται στην αναγκαία επεξεργασία καθαρισμού, απολύμανσης και μεταποίησής του σε πόσιμο. Εν συνεχεία, το πόσιμο πλέον νερό διοχετεύεται στις δεξαμενές πόλεως, απ' όπου, μέσω εκτενούς δικτύου σωληνώσεων μήκους περίπου 9.000 km, διανέμεται στους καταναλωτές (ΕΥΔΑΠ, 2008).

4.2 ΥΔΡΟΔΟΤΟΥΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

Η περιοχή αρμοδιότητας της ΕΥΔΑΠ καλύπτει τα διοικητικά όρια των παρακάτω Δήμων και Κοινοτήτων, τους οποίους υδρεύει είτε απευθείας, είτε με μεγάλες παροχές¹⁰: Αγίων Αναργύρων, Αγίας Βαρβάρας, Αγίου Δημητρίου, Αγίου Ιωάννη Ρέντη, Αγίας Παρασκευής, Αθηνών, Αιαντείου Σαλαμίνας**, Αιγάλεω, Αλίμου, Αμαρουσίου**, Άνοιξης*, Άνω Λιοσίων*, Αργυρούπολης, Ασπροπύργου, Αρτέμιδας (Λούτσας)*, Αχαρνών**, Βάρης**, Βούλας, Βουλιαγμένης, Βριλησίων*, Βύρωνα, Γαλατσίου**, Γέρακα**, Γλυκών Νερών**, Γλυφάδας**, Δάφνης, Διονύσου*, Δραπετσώνας, Δροσιάς*, Εκάλυψης*, Ελευσίνας, Ελληνικού, Ζεφυρίου, Ζωγράφου, Ηλιούπολης, Ηρακλείου, Θρακομακεδόνων, Καισαριανής, Καλλιθέας, Καλυβίων**, Αμπελακίων Σαλαμίνας (περιοχές Καματερού και Σεληνίων), Κάντζας**, Κερατέας*, Κερατσίνιου, Κηφισιάς**, Κορυδαλλού, Κορωπίου*, Κουβαρά*, Λυκόβρυσης, Μάνδρας*, Μαραθώνα*, Μαρκόπουλου*, Μελισσίων, Μεταμόρφωσης, Μοσχάτου, Μπάλας (Ροδόπολης)*, Νίκαιας, Νέας Ερυθραίας*, Νέας Ιωνίας, Νέων Λιοσίων (Ιλιον), Νέας Πεντέλης, Νέας Περάμου**, Νέας Σμύρνης, Νέας Φιλαδέλφειας, Νέας Χαλκηδόνας, Νέου Ψυχικού, Παιανίας*, Παλαιού Φαλήρου, Παπάγου, Πεντέλης**, Πειραιά, Περάματος, Περιστερίου, Πετρούπολης, Πεύκης, Σαλαμίνας**, Σπάτων*, Ταύρου, Υμηττού, Φιλοθέης, Χαϊδαρίου, Χαλανδρίου, Χολαργού και Ψυχικού.

Παράλληλα, υπάρχουν Δήμοι, Κοινότητες και Συνοικισμοί που βρίσκονται εκτός περιοχής αρμοδιότητας της ΕΥΔΑΠ, υδρεύονται όμως έμμεσα από την ΕΥΔΑΠ διαμέσου μεγάλων παροχών που έχουν εκχωρηθεί στον κάθε Οργανισμό Τοπικής Αυτοδιοίκησης. Οι περιοχές αυτές είναι το Αγκίστρι, ο Άγιος Στέφανος, ο Άγιος Κωνσταντίνος, η Αίγινα, τα Αμπελάκια Σαλαμίνας (εκτός περιοχών Καματερού και Σεληνίων), η Ανάβυσσος, η Ανθούσα, οι Αφίδναι, ο Βαρνάβας, τα Βίλλια, το Γραμματικό, οι Ερυθραίοι, ο Κάλαμος, το Καπανδρίτι, το Κρουονέρι, η Λαυρεωτική, η Μαγούλα, η Μαλακάσα, το Μαρκόπουλο Ωρωπού, τα Μέγαρα, η Νέα Μάκρη, τα Νέα Παλάτια, η Οινόη, η Παλαιά Φώκεια, η Παλλήνη (εκτός Κάντζας), το Πικέρμι, το Πολυδένδρι, η Ραφήνα, η Σαρωνίδα, η Σκάλα Ωρωπού, η Σταμάτα και η Φυλή. Η ΕΥΔΑΠ υδρεύει, επίσης νησιά της Νομαρχίας Κυκλάδων και ΟΤΑ διαφόρων Νομών της Στερεάς Ελλάδας κατά μήκος των Υδραγωγείων Μόρνου και Υλίκης (σχήμα 4.1) (ΕΥΔΑΠ, 2008).

¹⁰ * Περιοχές που τροφοδοτεί η ΕΥΔΑΠ διαμέσου Δήμου ή Κοινότητας, χωρίς ευθύνη και συμμετοχή στη λειτουργία του τοπικού εσωτερικού δικτύου.

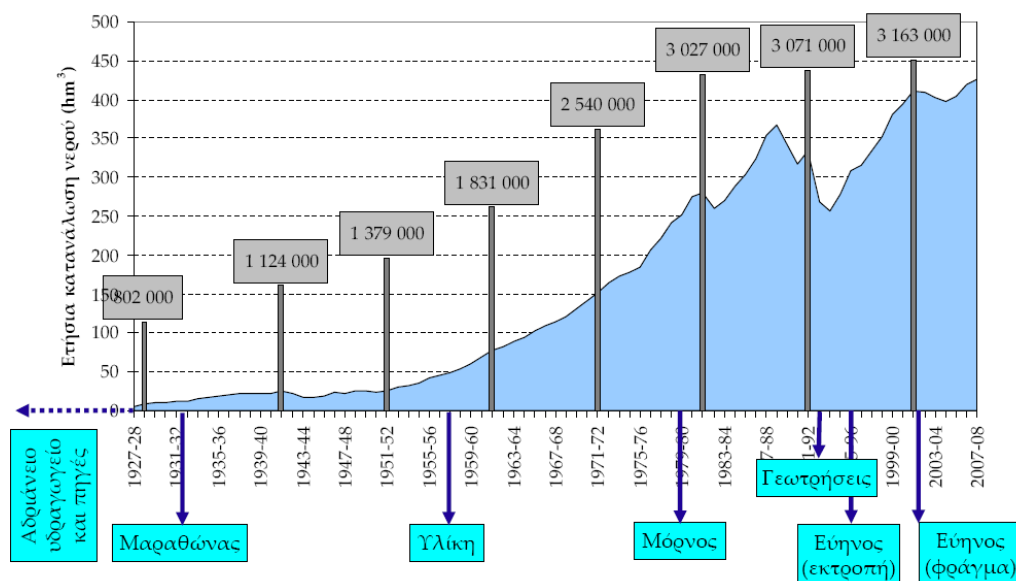
** Περιοχές με μικτό σύστημα ύδρευσης, δηλαδή περιοχές όπου κάποια τμήματα τα καλύπτει η ΕΥΔΑΠ και άλλα τμήματα καλύπτονται είτε με ιδιωτικό δίκτυο, είτε με ευθύνη του ΟΤΑ.



Σχήμα 4.1: Δήμοι και Κοινοότητες εντός περιοχής αρμοδιότητας ΕΥΔΑΠ

4.3 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΧΡΗΣΕΩΝ

Η εξέλιξη της ετήσιας κατανάλωσης νερού στην περιοχή της πρωτεύουσας, σε συνδυασμό με την αύξηση του πληθυσμού της και την ένταξη των διαφόρων νέων υδρευτικών έργων στο υδροδοτικό της σύστημα, από το υδρολογικό έτος 1927-28 μέχρι και το υδρολογικό έτος 2007-08, παρουσιάζεται στο σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2: Εξέλιξη κατανάλωσης νερού-πληθυσμού-υδρευτικών έργων στην πρωτεύουσα κατά την περίοδο 1927-2008

Πηγή: Ευστρατιάδης, 2008

Από το παραπάνω σχήμα γίνεται αντιληπτό ότι η κατανάλωση νερού στην πρωτεύουσα, παρουσιάζει έντονη και συνεχιζόμενη αύξηση. Χαρακτηριστικά μέσα σε ογδόντα χρόνια η ετήσια κατανάλωση νερού αυξήθηκε κατά 420 hm^3 (από $5,4 \text{ hm}^3$ το υδρολογικό έτος 1927-28 έφτασε στα $425,8 \text{ hm}^3$ το υδρολογικό έτος 2007-08). Η αύξηση αυτή είναι άμεσα συσχετιζόμενη με την αντίστοιχη αύξηση του πληθυσμού της πρωτεύουσας, ο οποίος από 802.000 άτομα το 1928 ανήλθε στα 3.163.000 άτομα το 2001 (ΕΣΥΕ, 2001).

Κατά συνέπεια, ο βασικός παράγοντας που επιδρά στη χρονική εξέλιξη της ετήσιας κατανάλωσης νερού είναι η διακύμανση του υδρευόμενου πληθυσμού (συμπεριλαμβανομένων των τουριστών και των μεταναστών). Άλλοι παράγοντες είναι ο βαθμός ανάπτυξης των άλλων χρήσεων νερού (βιομηχανικές, δημόσιες, δημοτικές), η αύξηση του βιοτικού επιπέδου (επιδρά στην ειδική ή κατά κεφαλή κατανάλωση), η υδροδότηση νέων περιοχών, τα έκτακτα περιστατικά και οι απώλειες του εξωτερικού δικτύου μεταφοράς και του εσωτερικού δικτύου διανομής. Ακόμη, σημαντική επίδραση έχουν η τιμολογιακή πολιτική της εταιρείας, η ενημέρωση του κοινού για την εξοικονόμηση του νερού και οι μετεωρολογικές συνθήκες (βροχόπτωση, θερμοκρασία). Οι τελευταίες επηρεάζουν την εποχιακή διακύμανση, εφόσον δε θεωρηθούν σενάρια κλιματικής αλλαγής.

Η συνολική κατανάλωση νερού υποδιαιρείται στις ακόλουθες κατηγορίες χρήσεων (Ευστρατιάδης κ.ά., 2004· ΕΥΔΑΠ, 2006· ΕΥΔΑΠ, 2008):

- **Κοινή κατανάλωση:** Αφορά στην παροχή νερού με τιμολόγιο κοινής κατανάλωσης μέσα στην περιοχή ευθύνης της ΕΥΔΑΠ. Περιλαμβάνει την οικιακή κατανάλωση καθώς και αυτή από μικρές επαγγελματικές δραστηριότητες (γραφεία, καταστήματα), για τις οποίες δεν συντρέχουν λόγοι τιμολόγησης με το βιομηχανικό-επαγγελματικό τιμολόγιο. Η κοινή κατανάλωση την τελευταία δεκαετία κυμαίνεται στο 62-68% της συνολικής τιμολογημένης.

- **Κατανάλωση για την ενίσχυση των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ):** Αφορά στην παροχή νερού σε κοινότητες εντός της περιοχής αρμοδιότητας της ΕΥΔΑΠ. Το νερό δίνεται συνολικά στους ΟΤΑ, οι οποίοι το διανέμουν στους χρήστες μέσω των δικών τους δικτύων. Η κατανάλωση των ΟΤΑ την τελευταία δεκαετία κυμαίνεται στο 13-17% της συνολικής τιμολογημένης.

- **Βιομηχανική και επαγγελματική κατανάλωση:** Αφορά στην παροχή νερού με τιμολόγιο βιομηχανικής κατανάλωσης εντός των περιοχών ευθύνης ή αρμοδιότητας. Περιλαμβάνει κυρίως βιομηχανίες και, δευτερευόντως, ξενοδοχεία, τουριστικές και αθλητικές εγκαταστάσεις. Η βιομηχανική κατανάλωση την τελευταία δεκαετία κυμαίνεται στο 7-11% της συνολικής τιμολογημένης.

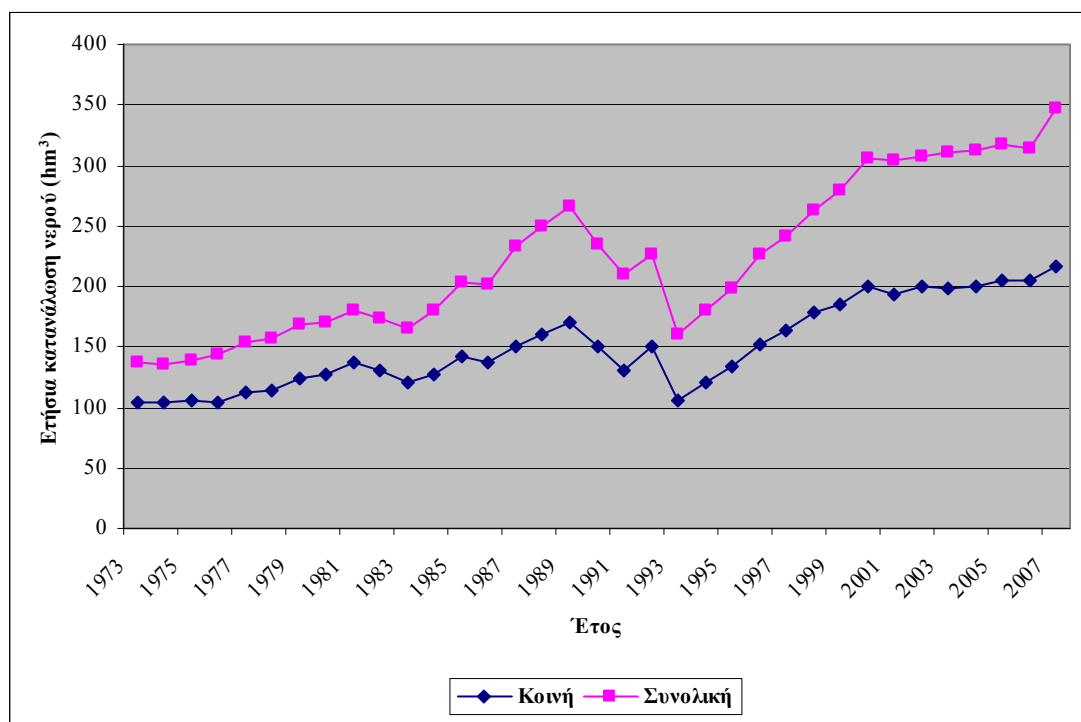
- **Δημόσια και δημοτική κατανάλωση:** Περιλαμβάνει την κατανάλωση δημοσίων και δημοτικών εγκαταστάσεων, ύδρευση και άρδευση κοινόχρηστων χώρων (πάρκα, πρασιές

οδών), πέραν της δωρεάν ποσότητας που χορηγείται για το σκοπό αυτό. Η δημόσια και δημοτική κατανάλωση την τελευταία δεκαετία κυμαίνεται στο 7-9% της συνολικής τιμολογημένης.

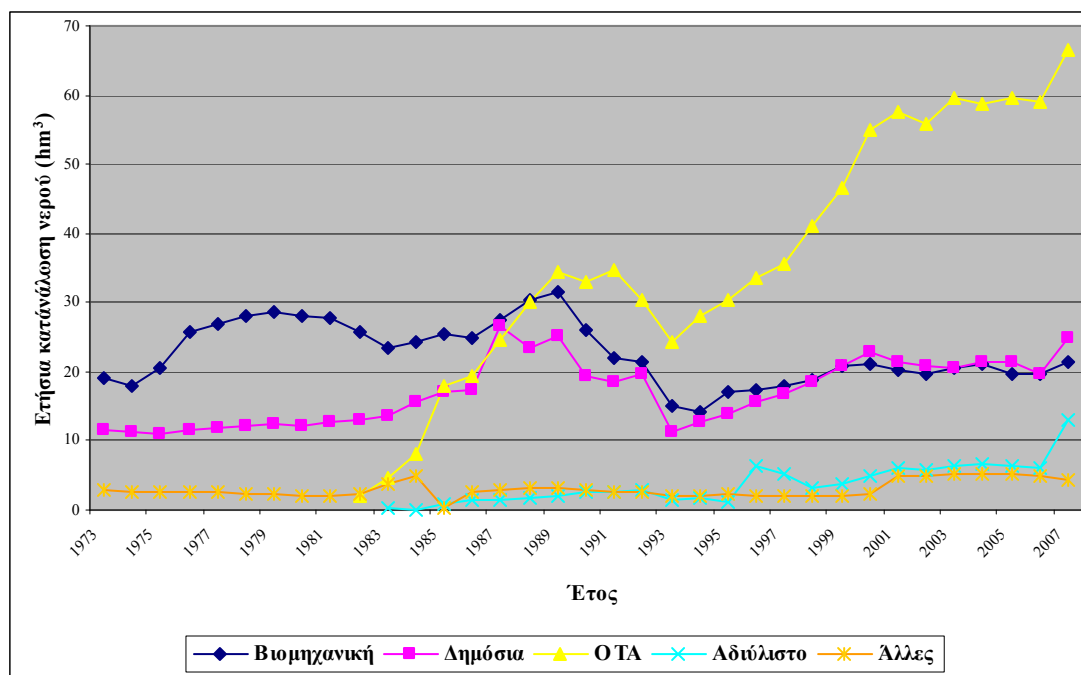
- **Αδιύλιστο νερό:** Πρόκειται για το ακατέργαστο νερό που παρέχεται σε ορισμένους δήμους και κοινότητες κοντά στα εξωτερικά υδραγωγεία της ΕΥΔΑΠ, και συγκεκριμένα: Άμφισσα, Δίστομο, Στείρι, Κυριάκι, Ερυθρές, Πλαταιές, Βίλια, Οινόη, Πρόδρομος, Λεύκτρα, Προφήτης Ηλίας, Ελλοπία, Ξηρονομή, Δόμβραινα, Θίσβη, εγκαταστάσεις Αλουμίνας και ΥΠΕΧΩΔΕ, Κάζα και Κατανάβα (υδραγωγείο Μόρνου)· PEPSICO, ΕΛΒΑΛ, ΕΑΒ, Σχηματάρι, Στρατόπεδο Μαχαίρα, Παπαναστασίου, ΕΤΕΜ, COCA COLA (υδραγωγείο Υλίκης). Η κατανάλωση αυτή την τελευταία δεκαετία κυμαίνεται στο 1-3% της συνολικής τιμολογημένης.

- **Άλλες χρήσεις:** Περιλαμβάνουν τις καταναλώσεις της πυροσβεστικής, φιλανθρωπικών ιδρυμάτων, του Οργανισμού Λιμένος Πειραιώς καθώς και μικρές ποσότητες που παρέχονται δωρεάν για το πότισμα κοινοχρήστων χώρων. Οι καταναλώσεις αυτές την τελευταία δεκαετία κυμαίνονται γύρω στο 1% της συνολικής τιμολογημένης.

Στο σχήμα 4.3 παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη της κοινής σε σύγκριση με τη συνολική κατανάλωση, ενώ στο σχήμα 4.4 δίνονται οι υπόλοιπες κατηγορίες κατανάλωσης.



Σχήμα 4.3: Χρονική εξέλιξη κοινής και συνολικής κατανάλωσης



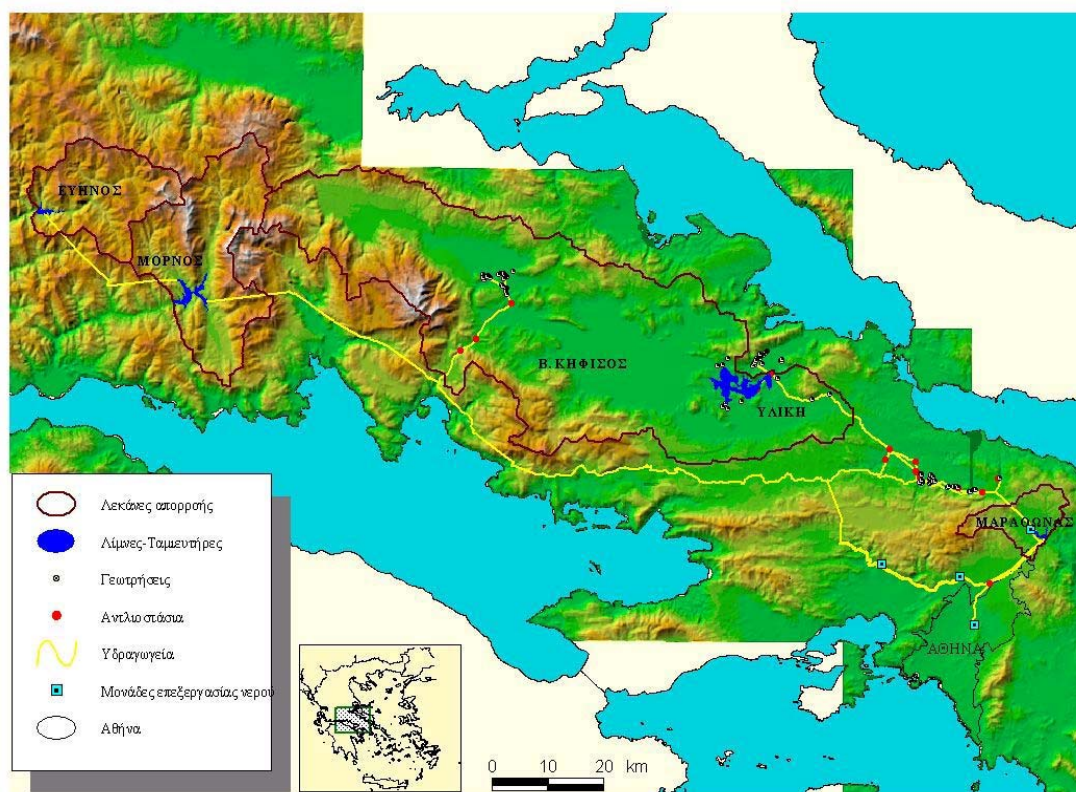
Σχήμα 4.4: Χρονική εξέλιξη των διαφόρων κατηγοριών κατανάλωσης (πλην της κοινής)

4.4 ΤΟ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας (σχήμα 4.5) αποτελεί ένα από τα πιο εκτεταμένα και πολύπλοκα υδατικά συστήματα της χώρας. Το σύστημα εκτείνεται σε τρία υδατικά διαμερίσματα (Αττικής, Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας), αναπτυσσόμενο σε έκταση της τάξης των 4000 km². Περιλαμβάνει επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους, έργα αποθήκευσης επιφανειακού νερού (ταμιευτήρες και φράγματα), έργα άντλησης υπογείου νερού (γεωτρήσεις), έργα μεταφοράς νερού (υδραγωγεία), έργα διαχείρισης των υδραγωγείων (εξωτερικά αντλιοστάσια, ρυθμιστές ροής), μικρά υδροηλεκτρικά έργα, μονάδες επεξεργασίας νερού (ΜΕΝ) και εσωτερικό δίκτυο διανομής του πόσιμου νερού (Κουτσογιάννης, 1999).

Ο έλεγχος του συστήματος προϋποθέτει ένα σύνολο αποφάσεων που σχετίζονται με την κατανομή των απολήψεων από τις πηγές και τον τρόπο μεταφοράς τους μέσω του δικτύου των υδραγωγείων. Η δυνατότητα πολλαπλών εναλλακτικών λύσεων εγείρει την ανάγκη επιλογής της καλύτερης κάθε φορά λύσης. Η βελτιστοποίηση της διαχείρισης αποσκοπεί στην αναζήτηση ορθολογικών, αποδοτικών και βιώσιμων πολιτικών διαχείρισης του υδροσυστήματος, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη ποσότητα νερού με την απαιτούμενη αξιοπιστία, και ταυτόχρονα να ελαχιστοποιείται το κόστος λειτουργίας του συστήματος που αναφέρεται, κατά μείζονα λόγο, στη χρήση ενεργοβόρων διατάξεων (αντλιοστάσια, γεωτρήσεις). Προφανώς, οι στόχοι βελτιστοποίησης της αξιοπιστίας και οικονομικότητας του συστήματος είναι αντικρουόμενοι. Κατά συνέπεια, αναζητείται η πλέον

πρόσφορη διαχείριση, η οποία εξασφαλίζει μακροχρόνια επάρκεια των υδατικών πόρων, και μάλιστα υπό καθεστώς ποικίλων αβεβαιοτήτων που διέπουν το σύστημα (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2003).



Σχήμα 4.5: Γενική διάταξη του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας

Πηγή: Κουτσογιάννης κ.ά., 2002

4.4.1 Υδατικοί Πόροι

Το σύστημα των υδατικών πόρων για την υδροδότηση της Αθήνας περιλαμβάνει τρεις ποταμούς με σχεδόν συνεχή ροή (Μόρνος, Εύηνος και Βοιωτικός Κηφισός), δύο ποταμούς χειμαρρικής διάταξης (Χάραδρος και Ασωπός), τη λίμνη Υλίκη και το σύστημα των υπογείων υδροφορέων (υδροφορείς μέσου ρου Βοιωτικού Κηφισού, Υλίκης-Παραλίμνης και Βορειοανατολικής Πάρνηθας). Οι υδατικοί πόροι, με τις σημερινές συνθήκες λειτουργίας, μπορούν επίσης να διακριθούν σε κύριους (Μόρνος, Εύηνος), που η εκμετάλλευσή τους είναι συνεχής, πρωτίστως λόγω του χαμηλότερου κόστους, δευτερεύοντες (Υλίκη, Μαραθώνας), που λόγω αυξημένου κόστους χρησιμοποιούνται μόνο όταν δεν αρκούν οι κύριοι ή όταν για οποιοδήποτε λόγο (υψηλή κατανάλωση, βλάβη υδραγωγείων) δεν είναι δυνατή η έγκαιρη μεταφορά νερού από τους κύριους πόρους στην Αθήνα και εφεδρικούς (υπόγειοι υδατικοί πόροι), οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης (έμμομη ξηρασία, βλάβες υδραγωγείων). Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των ποταμών και των λεκανών απορροής τους ανάντη των ταμιευτήρων, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1 (Κουτσογιάννης κ.ά., 2002).

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκανών απορροής

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΡΡΟΗ (hm ³)
Μόρνου (ανάντη φράγματος)	586,1	235,3
Ευήνου (ανάντη φράγματος)	351,9	277,7
Βοιωτικού Κηφισού και Υλίκης ⁽¹⁾	2.466,6	295,0
Χάραδρου (ανάντη φράγματος)	118,0	14,4
Ασωπού ⁽²⁾	759,0	-
⁽¹⁾ Η λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού έχει έκταση 2.042,6 km ² και η υπολεκάνη της Υλίκης 424 km ² .		
⁽²⁾ Συνολική έκταση λεκάνης απορροής.		

Πηγή: Κουτσογιάννης κ.ά., 2002

Εκτός από την ύδρευση της Αθήνας, οι υδατικοί πόροι Βοιωτικού Κηφισού-Υλίκης εξυπηρετούν και την άρδευση του Κωπαϊδικού πεδίου, τόσο με άμεσες απολήψεις στη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού, όσο και με αντλήσεις από την Υλίκη, ενώ στη λεκάνη του ποταμού Ευήνου ένα μέρος των ποσοτήτων νερού που ταμιεύονται διατίθεται για την κάλυψη της απαίτησης της οικολογικής παροχής (παροχή 1 m³/s) στα κατάντη (Κουτσογιάννης, 1999).

4.4.2 Πηγές Υδροληψίας

Η συλλογή των επιφανειακών νερών γίνεται στους ταμιευτήρες του Μαραθώνα, της Υλίκης, του Μόρνου και του Ευήνου (ΕΥΔΑΠ, 2008· Κουτσογιάννης κ.ά., 2002).

Ταμιευτήρας Ευήνου

Στον ποταμό Ευήνο, στην περιοχή Αγίου Δημητρίου του νομού Αιτωλοακαρνανίας (Ορεινή Ναυπακτία), κατασκευάστηκε το φράγμα και η σήραγγα Ευήνου-Μόρνου. Το έργο αυτό αποτελεί τη δεύτερη φάση του συστήματος υδροδότησης της μείζονος περιοχής της Αθήνας, η οποία προέβλεπε ενίσχυση του βασικού ταμιευτήρα του Μόρνου, από τη γειτονική λεκάνη του ποταμού Ευήνου. Ξεκίνησε το 1992 με την κατασκευή του φράγματος και ολοκληρώθηκε το καλοκαίρι του 2001, οπότε και



Εικόνα 4.1: Τεχνητή λίμνη Ευήνου

Πηγή: http://www.itia.ntua.gr/nikos/arx_int/CDfrag/reservoirs/evinos_main.htm

άρχισε η διαδικασία της πρώτης πλήρωσης του ταμιευτήρα του φράγματος, η οποία ολοκληρώθηκε στα τέλη του 2002.

Πρόκειται για φράγμα χωμάτινο, με αδιαπέρατο αργιλικό πυρήνα, φίλτρο κατάντη του πυρήνα, στραγγιστήρια από χάλικες στο ανάντη σώμα του φράγματος και προστατευτική λιθορριπή στην ανάντη πλευρά. Στην επιλογή της λύσης φράγματος αυτής της κατηγορίας οδήγησαν, μεταξύ άλλων, οι έντονα διαταραγμένοι γεωλογικοί σχηματισμοί της ευρύτερης περιοχής και οι υψηλές απαιτήσεις για ασφάλεια κατά σεισμού. Άλλοι παράγοντες, οι οποίοι επηρέασαν το σχεδιασμό του έργου, ήταν η έντονη και απότομη διακύμανση της παροχής του ποταμού, η σημαντική παροχή φερτών υλών και η εμπειρία καλής συμπεριφοράς παρόμοιων φραγμάτων σε τέτοιου είδους εδάφη. Το φράγμα δημιουργεί τεχνητή λίμνη επιφάνειας 3,6 km² με μέγιστη χωρητικότητα νερού 138 hm³ και μέγιστο ωφέλιμο όγκο 113 hm³ (εικόνα 4.1). Εκτός από το φράγμα, κατασκευάστηκε και η ενωτική σήραγγα προσαγωγής, η οποία στην ουσία αποτελεί την οδό μεταφοράς των υδάτων του ποταμού Ευήνου στον ταμιευτήρα του Μόρνου. Η διάνοιξη της σήραγγας διήρκησε δύο έτη (1992-1994) και πριν την πλήρωση του ταμιευτήρα Ευήνου λειτούργησε προσωρινή υδροληψία (10 m³/sec) ως την είσοδο της σήραγγας.

Ταμιευτήρας Μαραθώνα

Δημιουργήθηκε με την κατασκευή φράγματος βαρύτητας από σκυρόδεμα επενδεδυμένο από πεντελικό μάρμαρο, στη συμβολή των χειμάρρων Χάραδρου και Βαρνάβα.

Ο ταμιευτήρας (εικόνα 4.2) έχει επιφάνεια 2,45 km², μέγιστο όγκο νερού 42,9 hm³ και ωφέλιμο όγκο 34 hm³. Ο ταμιευτήρας του Μαραθώνα λειτουργεί ως εφεδρεία του υδροδοτικού συστήματος της μείζονος περιοχής της Αττικής και κυρίως ως δεξαμενή αναρρύθμισής του. Το βασικό πλεονέκτημά του είναι η εγγύτητά του προς την Αθήνα, γεγονός που τον καθιστά



Εικόνα 4.2: Τεχνητή λίμνη Μαραθώνα

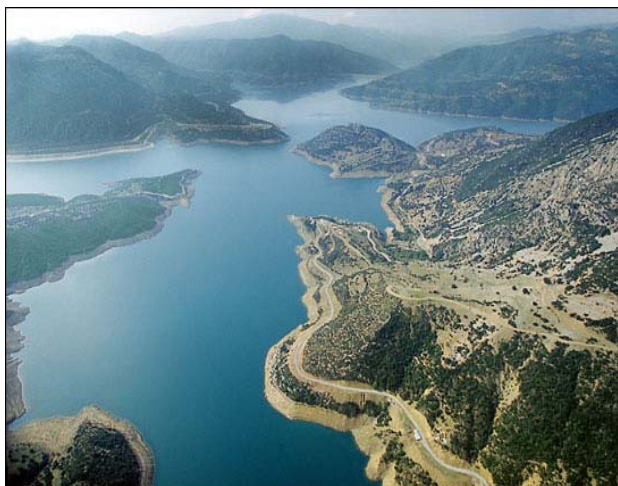
Πηγή: <http://www.eydap.gr>

την κύρια αποθήκη ασφαλείας του υδροδοτικού συστήματος. Τροφοδοτείται από τον ταμιευτήρα της Υλίκης και τον ταμιευτήρα του Μόρνου, μέσω του υδραγωγείου Υλίκης και του ενωτικού υδραγωγείου Μόρνου-Υλίκης.

Ταμιευτήρας Μόρνου

Στην κοίτη του ποταμού Μόρνου 7 km δυτικά του Λιδορικίου στο νομό Φωκίδας δημιουργήθηκε με την κατασκευή χωμάτινου φράγματος, ο ταμιευτήρας του Μόρνου (εικόνα 4.3). Το έργο ξεκίνησε το 1969 και ολοκληρώθηκε το 1979, αλλά η κανονική του λειτουργία

άρχισε το 1981. Το φράγμα, ένα από τα μεγαλύτερα χωμάτινα φράγματα της Ευρώπης, αποτελείται από αδιαπέρατο αργιλικό πυρήνα, μεταβατικές ζώνες φίλτρων εκατέρωθεν του πυρήνα, σώματα στήριξης του πυρήνα ανάντη-κατάντη από αμμοχάλικο και προστατευτική λιθορριπή στην ανάντη πλευρά. Ο ανάντη πόδας του φράγματος είναι διαμορφωμένος σε πρόφραγμα με στεγανό αργιλικό πυρήνα. Το φράγμα δημιουργεί τεχνητή λίμνη επιφάνειας 20 km², μέγιστου όγκου 765 hm³ νερού και μέγιστου ωφέλιμου όγκου 630 hm³, ενώ υπάρχει η δυνατότητα αποληψιμότητας επιπλέον 90 hm³ νερού με άντληση.



Εικόνα 4.3: Τεχνητή λίμνη Μόρνου
Πηγή: <http://www.eydap.gr>

Ο ταμιευτήρας είναι γενικά στεγανός, εκτός της περιοχής Πύρνου, όπου τα διαπερατά καρστικά ασβεστολιθικά της πετρώματα στεγανοποιήθηκαν με επιφανειακή επένδυση από ασφαλτοσκυρόδεμα σε συνδυασμό με στοά στράγγισης και κατακόρυφη κουρτίνα τσιμεντενέσεων στο χαμηλότερο σημείο της.

Ταμιευτήρας Υλίκης

Η λίμνη Υλίκη (εικόνα 4.4), μετά την αποξήρανση της Κωπαΐδας (αρχές 20^{ου} αιώνα) αποτελεί φυσική κατάληξη των απορροών του Βοιωτικού Κηφισού. Το καρστικό υπόβαθρο της λίμνης έχει συνέπεια την υπόγεια διαφυγή σημαντικών ποσοτήτων νερού. Το 1956 η φυσική λίμνη του νομού Βοιωτίας εντάσσεται στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας με σκοπό να καλυφθούν οι ανάγκες κατανάλωσης, λόγω του αλματώδους ρυθμού ανάπτυξης και της αύξησης του πληθυσμού του λεκανοπεδίου.



Εικόνα 4.4: Φυσική λίμνη Υλίκη
Πηγή: <http://www.eydap.gr>

Από τους ταμιευτήρες υδροδότησης της Αθήνας, μόνο αυτός της Υλίκης είναι φυσικός και χρησιμοποιείται σήμερα ως βοηθητικός υδατικός πόρος. Η λίμνη έχει επιφάνεια 22 km² κατά μέσο όρο, μέγιστη χωρητικότητα 600 hm³ νερού και ωφέλιμο όγκο 590 hm³ νερού. Ωστόσο, το εν λόγω υδατικό δυναμικό δεν είναι εξ ολοκλήρου αξιοποιήσιμο, εξαιτίας των σημαντικών υπόγειων διαφυγών που παρατηρούνται στη λίμνη. Λόγω του ότι η Υλίκη

βρίσκεται σε χαμηλότερο υψόμετρο από την Αθήνα, απαιτείται άντληση του νερού της. Για το λόγο αυτό διαθέτει αντλητικά συγκροτήματα (πλωτά και χερσαία) μεγάλης ισχύος. Το κεντρικό αντλιοστάσιο μάλιστα συγκαταλέγεται στα μεγαλύτερα της Ευρώπης (παροχeyeυτική ικανότητα $750.000 \text{ m}^3/\text{day}$ και εγκατεστημένη ισχύς 21.000HP). Τα αντλιοστάσια καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που καθιστά την υδροληψία και τη μεταφορά του νερού από την Υλίκη ιδιαίτερα δαπανηρή (υψηλό λειτουργικό κόστος).

Γεωτρήσεις-Αντλήσεις Υπογείων Υδάτων

Πέραν των επιφανειακών υδατικών πόρων, τα οποία συλλέγονται στους παραπάνω τέσσερις ταμιευτήρες, για την υδροδότηση της μείζονος περιοχής της Αττικής χρησιμοποιείται και υπόγειο υδατικό δυναμικό. Στις περιοχές μέσου ρου του Βοιωτικού Κηφισού (Δαύλεια, Παρόρι, Βασιλικά), πεδιάδας Κωπαΐδας, Υλίκης, Βίλιζας, Αυλώνα και Μαυροσουβάλας (Β.Α. Πάρνηθα), υπάρχουν γεωτρήσεις κατάλληλα εξοπλισμένες, οι οποίες μπορούν να εμπλουτίσουν τις ποσότητες των επιφανειακών νερών των ταμιευτήρων. Συνολικά έχουν εγκατασταθεί περισσότερες 100 γεωτρήσεις, ισχύος 24.915HP και ημερήσιας αντλητικής ικανότητας 800.000 m^3 νερού. Οι γεωτρήσεις λειτουργούν σε ομάδες και είναι εφεδρικές· παραμένουν σε ετοιμότητα για να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις έμμονης ξηρασίας ή έκτακτων περιστατικών (βλάβες υδραγωγείων). Ως προς τη λειτουργία τους διακρίνονται σε κύριες και άλλες (Κουτσογιάννης κ.ά., 2002).

4.4.3 Μεταφορά Νερού

Η μεταφορά του ανεπεξέργαστου νερού από τους ταμιευτήρες μέχρι τις μονάδες επεξεργασίας νερού γίνεται μέσω ενός εκτεταμένου και σύνθετου συστήματος εξωτερικών υδραγωγείων¹¹ που περιλαμβάνει κύρια, ενωτικά και βοηθητικά υδραγωγεία με συνολικά μήκη $310,7 \text{ km}$, $104,7 \text{ km}$ και $80,1 \text{ km}$ αντίστοιχα (Κουτσογιάννης κ.ά., 2002).

Κύρια Υδραγωγεία

Το **υδραγωγείο (σήραγγα) Ευήνου-Μόρνου** μεταφέρει το νερό από τον Ευήνο προς το μεγαλύτερης χωρητικότητας ταμιευτήρα του Μόρνου. Η σήραγγα λειτουργεί υπό πίεση, έχει συνολικό μήκος $29,4 \text{ km}$, διάμετρο επένδυσης $3,5 \text{ m}$ και μεταβλητή παροχeyeυτικότητα (μέγιστη $27 \text{ m}^3/\text{sec}$), ανάλογη με τη στάθμη του ταμιευτήρα Ευήνου. Η σήραγγα εκβάλλει στον ταμιευτήρα του Μόρνου 10 m πάνω από τη στάθμη υπερχείλισης του φράγματος ($+445 \text{ m}$) (Κουτσογιάννης κ.ά., 2002).

Το **υδραγωγείο Μόρνου** (σχήματα 4.6 και 4.7), συνολικού μήκους 192 km (το δεύτερο μεγαλύτερο στην Ευρώπη), μεταφέρει νερό από τον ταμιευτήρα Μόρνου στις μονάδες επεξεργασίας Μάνδρας και Μενιδίου (ΕΥΔΑΠ, 2008· Κουτσογιάννης κ.ά., 2002). Συνδέεται με το υδραγωγείο Υλίκης στη θέση Δαφνούλα (μεριστής Κιθαιρώνα) μέσω του

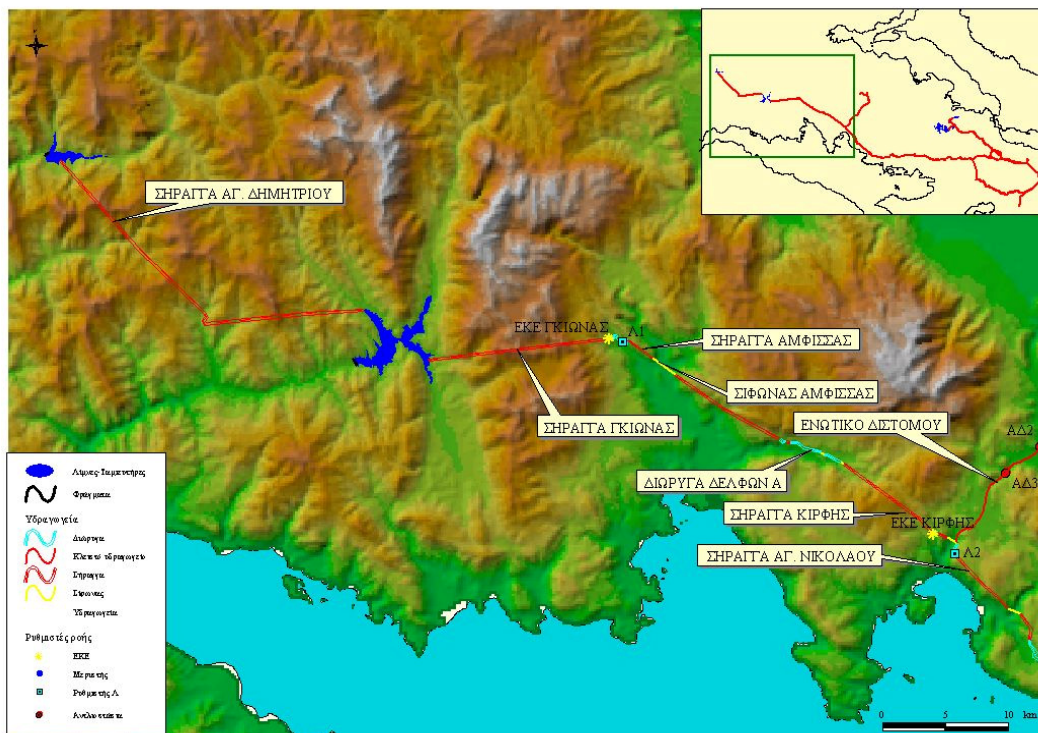
¹¹ Ως δίκτυο εξωτερικών υδραγωγείων νοείται το σύνολο των αγωγών και λοιπών έργων (αντλιοστάσια κ.λπ.) από την έξοδο των ταμιευτήρων μέχρι και τα διυλιστήρια (Κουτσογιάννης κ.ά., 2000).

ενωτικού υδραγωγείου Μόρνου-Υλίκης. Αποτελείται από:

- 15 σήραγγες διαμέτρων 3,6 έως 4 m. Εννέα από αυτές λειτουργούν υπό πίεση (Γκιώνας, Κίρφης, Ελικώνα Α', Κιθαιρώνα, Άμφισσας, Μοναστηρίου, Αγ. Νικολάου, Κυριακίου, Θίσβης) και έξι με ελεύθερη ροή (Κασταλίας, Δελφών, Διστόμου, Ελικώνα Β', Ταξιαρχών, Προδρόμου). Οι σήραγγες Γκιώνας, Κίρφης, Ελικώνα Α' και Κιθαιρώνα καταλήγουν σε έργα καταστροφής ενέργειας (ΕΚΕ).
- 12 σίφωνες μήκους 7 km. Οι έξι ανάντη του όρους «Κιθαιρώνας» (Άμφισσας, Σ36, Σ38, Διστόμου, Καλογερικού, Ελικώνα) είναι δίδυμοι χαλύβδινοι αγωγοί, επενδυμένοι με οπλισμένο σκυρόδεμα, με διάμετρο 2,55 m και παροχετευτικότητα 23 m³/s. Οι άλλοι έξι (Σ163, Σ168, Σ174, Χασιάς, Σ183, Σ188) κατάντη Κιθαιρώνα, έχουν διαμέτρους 2,55-3,20 m και συνολική παροχετευτικότητα 11m³/s.
- 15 διώρυγες μήκους 73 km.

Το υδραγωγείο Μόρνου, λόγω του πολύ μεγάλου μήκους του (πλην των εγκαταστάσεων της αρχής και του τέλους του) διαθέτει κατά μήκος ικανό αριθμό τεχνικών έργων ρύθμισης και ασφάλειας (έργα καταστροφής ενέργειας, θυροφράγματα, ένα κεντρικό και τέσσερα περιφερειακά Κέντρα Ελέγχου). Όλες αυτές οι εγκαταστάσεις εντάσσονται σε ένα σύστημα εποπτικού ελέγχου και συλλογής πληροφοριών (SCADA) για τον τηλεέλεγχο και τηλεχειρισμό του υδραγωγείου από το Γενικό Κέντρο Τηλεχειρισμού που λειτουργεί στο χώρο των ΜΕΝ Αχαρνών, ώστε να γίνεται δυναμική ρύθμιση του υδραγωγείου Μόρνου και του ενωτικού υδραγωγείου Μόρνου-Υλίκης. Ως δυναμική ρύθμιση νοείται η προσαρμογή της ροής και των παροχών του υδραγωγείου στην κυμαινόμενη ζήτηση των μονάδων επεξεργασίας νερού (ΕΥΔΑΠ, 2008).

Εκτός από την ύδρευση της Αθήνας, ο υδαταγωγός Μόρνου χρησιμοποιείται και για την ύδρευση 18 Δήμων και Κοινοτήτων των νομών Φωκίδος, Βοιωτίας και Αττικής που βρίσκονται κατά μήκος του υδραγωγείου (Άμφισσα, Ερυθρές, Πλαταιές, Βίλλια, Οινόη, Λεύκτρα, Δίστομο, Στείρα, Ελλοπία, Ξηρονομή, Προφήτη Ηλία, Κυριάκι, Θίσβη, Δομβραίνα κ.λπ.) (Κουτσογιάννης, 1999).



Σχήμα 4.6: Υδραγωγείο Μόρνου ανάντη ενωτικού υδραγωγείου Διστόμου

Πηγή: Κουτσογιάννης κ.ά., 2002



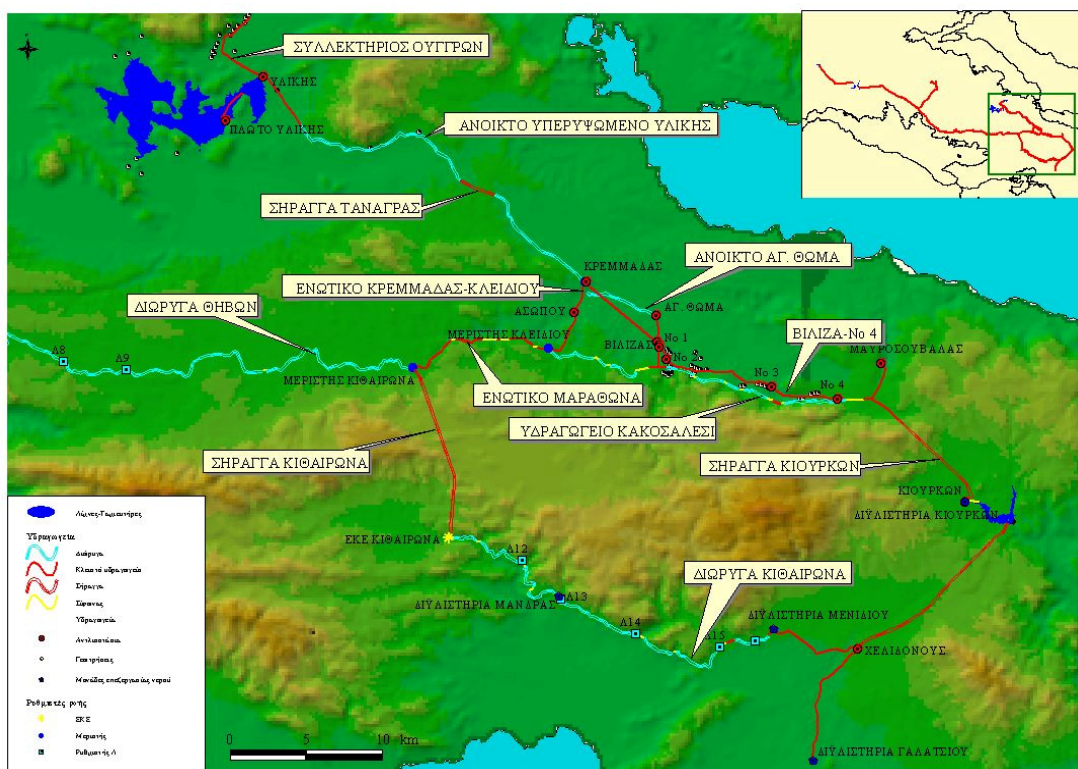
Σχήμα 4.7: Υδραγωγείο Μόρνου κατόντη ενωτικού υδραγωγείου Διστόμου

Πηγή: Κουτσογιάννης κ.ά., 2002

Το υδραγωγείο Υλίκης (σχήμα 4.8), συνολικού μήκους 66,7 km, μεταφέρει νερό

από τη λίμνη Υλίκη, στα διυλιστήρια Κιούρκων και τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα (ΕΥΔΑΠ, 2008· Κουτσογιάννης κ.ά., 2002). Συνδέεται μέσω του ενωτικού υδραγωγείου Μόρνου-Υλίκης με το υδραγωγείο Μόρνου στη θέση Δαφνούλα (μεριστής Κιθαιρώνα). Το υδραγωγείο Υλίκης αποτελείται από:

- το κλειστό υδραγωγείο, από το κεντρικό αντλιοστάσιο (+80 m) ως τη δεξαμενή ηρεμίας, το ανοικτό υδραγωγείο Υλίκης (διώρυγα ορθογωνικής διατομής μήκους 14,5 km), τη σήραγγα Τανάγρας, και το δίδυμο ανοικτό υδραγωγείο Υλίκης-Κρεμμάδας, ελεύθερης ροής ως το διαχωριστή Κρεμμάδας (+172 m),
- δύο σίφωνες, διαμέτρου 1,3 m ως το αντλιοστάσιο Βίλιζας,
- καταθλιπτικό χαλύβδινο αγωγό διαμέτρου 0,9 m και μήκους 13 km από το αντλιοστάσιο Βίλιζας ως το αντλιοστάσιο Νο4,
- τη σήραγγα Σφενδάλης, το υδραγωγείο Μαλακάσας και χαλύβδινο αγωγό διαμέτρου 1,9 m, παράλληλο με το υδραγωγείο Μαλακάσας ως τη σήραγγα Κιούρκων και,
- τη σήραγγα Κιούρκων ως τα διυλιστήρια Κιούρκων και τον ταμιευτήρα Μαραθώνα.



Σχήμα 4.8: Υδραγωγείο Υλίκης

Πηγή: Κουτσογιάννης κ.ά., 2002

Ενωτικά και Βοηθητικά Υδραγωγεία

Εκτός των κυρίων υδραγωγείων, υπάρχουν τα ενωτικά υδραγωγεία, των οποίων ο ρόλος είναι πολύ σημαντικός, δεδομένου ότι διασυνδέουν τα κύρια υδραγωγεία, επιτρέπουν τον έλεγχο και τη συντήρηση των εγκαταστάσεων προσαγωγής και καθιστούν δυνατή την

επιλογή εναλλακτικών τρόπων εκμετάλλευσης των πηγών και της μεταφοράς του νερού, ανάλογα με τις υδρολογικές συνθήκες και τις απαιτήσεις της κατανάλωσης. Επίσης, υπάρχουν και τα βοηθητικά υδραγωγεία, ήτοι οι κλειστοί αγωγοί για τη μεταφορά νερού από τις γεωτρήσεις προς τους ταμιευτήρες ή τα κύρια υδραγωγεία.

Το ενωτικό υδραγωγείο Μόρνου-Υλίκης διασυνδέει το υδραγωγείο Μόρνου με το υδραγωγείο Υλίκης και έχει συνολικό μήκος 17,9 km. Από το υδραγωγείο Κακοσάλεσι μέχρι το μεριστή Κλειδιού αποτελείται από ανοικτό υδραγωγείο ορθογωνικής διατομής μήκους 5,7 km και από σίφωνες μήκους 2,7 km. Από το μεριστή Κλειδιού μέχρι τη "Δαφνούλα" του υδραγωγείου Μόρνου, αποτελείται από κλειστό αγωγό διαμέτρου 1800 mm, μήκους 9,5 km από προεντεταμένο σκυρόδεμα.

Το ενωτικό υδραγωγείο Μαραθώνα-Γαλατσίου μεταφέρει το νερό του ταμιευτήρα Μαραθώνα στη μονάδα επεξεργασίας Γαλατσίου και έχει συνολικό μήκος 21,5 km. Από τη λίμνη Μαραθώνα το νερό διοχετεύεται στην περιοχή της Χελιδονούς, μέσω της σήραγγας Μπογιατίου, μήκους 13,4 km. Από τη Χελιδονού, μέσω σήραγγας μήκους 2,3 km και πλέγματος κλειστών αγωγών μήκους 5,8 km τροφοδοτούνται τα διυλιστήρια Γαλατσίου.

Το ενωτικό υδραγωγείο Διστόμου μεταφέρει το νερό από τις γεωτρήσεις Βασιλικών-Παρορίου και το ρέμα Μαυρονερίου στο υδραγωγείο Μόρνου. Αποτελείται από καταθλιπτικό χαλύβδινο αγωγό διαμέτρου 1.200 mm, συνολικού μήκους 19 km (<http://www.eydap.gr>).

Έργα Διαχείρισης Υδραγωγείων

Η λειτουργία των υδραγωγείων γίνεται με εξωτερικά αντλιοστάσια και ρυθμιστές ροής. Τα εξωτερικά αντλιοστάσια εξυπηρετούν τη μεταφορά του νερού από τις χαμηλές υψομετρικά πηγές (λίμνη Υλίκης, γεωτρήσεις), προς τη λίμνη Μαραθώνα και το υδραγωγείο Μόρνου. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς όλων των αντλητικών συγκροτημάτων ανέρχεται σε 120.000HP. Μπορούν να διακριθούν σε βασικά και βοηθητικά. Τα βασικά αντλιοστάσια είναι της Υλίκης, της Βίλιζας και του Διστόμου (ΕΥΔΑΠ, 2006).

Οι ρυθμιστές ροής του νερού βρίσκονται κυρίως στο υδραγωγείο του Μόρνου και διακρίνονται σε έργα καταστροφής ενέργειας, μεριστές και συστήματα ελέγχου «τύπου Λ». Με τα έργα αυτά είναι δυνατόν να αποθηκευτεί νερό σε περίπτωση ατυχήματος ή βλάβης των υδραγωγείων.

Τα έργα καταστροφής ενέργειας (ΕΚΕ) είναι τοποθετημένα στις εξόδους των σηράγγων υπό πίεση. Είναι εξοπλισμένα με θυροφράγματα και συνδυάζονται με λεκάνες ηρεμίας κατάντη και πύργους ανάπαλσης ανάντη. Στο υδραγωγείο Μόρνου υπάρχουν πέντε ΕΚΕ που χωρίζονται σε δύο είδη: βάννες κοίλης φλέβας (Γκιώνας και Κλειδιού) και τοξωτά παράλληλα θυροφράγματα (Κίρφης, Ελικώνα και Κιθαιρώνα).

Οι μεριστές είναι τέσσερις (Κρεμμάδας, Κλειδιού, Κιθαιρώνα και Χελιδονούς). Ο μεριστής Χελιδονούς είναι σημαντικός κόμβος για το σύστημα αφού χρησιμοποιείται στη

διασύνδεση των μονάδων επεξεργασίας.

Οι ρυθμιστές «τύπου Λ» είναι επίπεδα θυροφράγματα, τα οποία ανοίγουν και κλείνουν, ώστε να ρυθμίζεται η παροχή, να απομονώνονται τα κατάντη τμήματα ή να αποθηκεύεται νερό στα ανάντη τμήματα. Τα θυροφράγματα είναι είτε ανοικτά (τελείως ή μερικά), είτε κλειστά, οπότε η ροή γίνεται με υπερχειλίση. Στο υδραγωγείο υπάρχουν 24 ρυθμιστές, εκ των οποίων οι 18 είναι τύπου Λ.

Οι υπερχειλιστές βρίσκονται ανάντη των σιφώνων και των σηράγγων και αποχετεύουν τις ποσότητες νερού που δεν μπορούν να αποθηκευτούν στο δίκτυο (περίπτωση απότομων μειώσεων της ζήτησης). Οι κύριοι υπερχειλιστές βρίσκονται στις θέσεις Δαφνούλα (ανάντη μεριστή Κιθαιρώνα), Χασιά, Εσχατία (ανάντη της ΜΕΝ Μενιδίου) και στις εισόδους των σηράγγων Κίρφης και Ελικώνα.

Οι εκκενωτές χρησιμεύουν για την εκκένωση τμημάτων των υδραγωγείων σε περιπτώσεις ατυχημάτων ή εργασιών συντήρησης. Συνολικά υπάρχουν 34 εκκενωτές με κυριότερο της Χασιάς (στον Λ14) (Κουτσογιάννης κ.ά., 2002).

4.4.4 Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα

Κατά μήκος του υδραγωγείου Μόρνου έχουν κατασκευασθεί μικρά υδροηλεκτρικά έργα (ΜΥΗΕ), ολικής καθαρής ηλεκτρικής ισχύος 3,24 MW. Από το 2004 λειτουργούν οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί στις θέσεις Κίρφη και Ελικώνας, συνολικής ισχύος 1,41 MW, ενώ έτοιμοι προς λειτουργία είναι οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί στις θέσεις Καρτάλα (Κιθαιρώνας) και Μάνδρα, δυναμικότητας 1,2 MW και 0,63 MW αντίστοιχα. Σε εξέλιξη βρίσκεται η κατασκευή μικρού υδροηλεκτρικού έργου στο φράγμα του Ευήνου (ισχύς 0,82 MW), του οποίου οι εργασίες ξεκίνησαν το 2008 και αναμένεται να ολοκληρωθούν στο τέλος του 2009 (ΕΥΔΑΠ, 2008).

4.4.5 Επεξεργασία Νερού

Το ακατέργαστο νερό, αφού συλλεχθεί στους ταμιευτήρες, φτάνει μέσω των υδραγωγείων στις Μονάδες Επεξεργασίας Νερού. Εκεί υποβάλλεται σε επεξεργασία, με σκοπό τη σταδιακή απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων και των κολλοειδών και την εξόντωση των μικροοργανισμών που περιέχει. Αρχικά το νερό απολυμαίνεται με την προσθήκη χλωρίου και στη συνέχεια με την προσθήκη θειικού αργιλίου τα στερεά σωματίδια που υπάρχουν μέσα στο νερό συσσωματώνονται σε κροκίδες. Στις δεξαμενές καθίζησης οι κροκίδες -υποβοηθούμενες από την προσθήκη κατάλληλου βελτιωτικού κροκίδωσης- καθιζάνουν στον πυθμένα και το νερό διαυγάζεται σε σημαντικό ποσοστό. Τα υπόλοιπα πολύ ελαφρά σωματίδια και κολλοειδή κατακρατούνται σε φίλτρα άμμου. Ακολούθως, το νερό διοχετεύεται στις δεξαμενές αποθήκευσης του καθαρού πλέον νερού, αφού γίνει προσθήκη κατάλληλης ποσότητας χλωρίου, ώστε να διασφαλιστεί η απολυμαντική του δράση ως τις βρύσες των καταναλωτών, ακόμη και τις πιο απομακρυσμένες από τις ΜΕΝ.

Οι Μονάδες Επεξεργασίας Νερού (ΜΕΝ) στο λεκανοπέδιο της Αττικής, έχουν

συνολική ημερήσια δυναμικότητα επεξεργασίας (δυλιστική ικανότητα) 1.800.000 m³ νερού, και είναι οι εξής τέσσερις (Κωνσταντοπούλου, 2008):

- ΜΕΝ Γαλασίου, δυναμικότητας (μέγιστης δυνατότητας) 540.000 m³/day, με δύο επιμέρους εγκαταστάσεις, την Παλιά Μονάδα (100.000 m³/day) και τη Νέα Μονάδα (440.000 m³/day), κατασκευής 1927 και 1931 αντίστοιχα. Οι ΜΕΝ Γαλασίου τροφοδοτούν το δίκτυο διανομής που εξυπηρετεί το κέντρο της πόλης των Αθηνών και το δήμο Πειραιά.
- ΜΕΝ Αχαρνών (Μενίδι), δυναμικότητας 850.000 m³/day, με δύο επιμέρους εγκαταστάσεις, την Παλιά Μονάδα (650.000 m³/day) και τη Νέα Μονάδα (200.000 m³/day), κατασκευής 1978 και 1993 αντίστοιχα. Οι ΜΕΝ Αχαρνών τροφοδοτούν το 60% των περιοχών του Λεκανοπεδίου.
- ΜΕΝ Πολυδενδρίου (Κιούρκα), δυναμικότητας 200.000 m³/day, κατασκευής 1986. Το πόσιμο νερό διανέμεται στα ανατολικά παράλια της Αττικής από Μαραθώνα μέχρι Λαύριο, στα νότια παράλια από Λαύριο μέχρι Βάρη και στα βόρεια προάστια (Αγ. Στέφανος, Βαρυμπόμπη, Θρακομακεδόνες και τμήμα της Κηφισιάς).
- ΜΕΝ Μάνδρας (Ασπροπύργου), δυναμικότητας 200.000 m³/day (σε περιπτώσεις αιχμής-θερινή περίοδος, 300.000 m³/day), κατασκευής 1997. Οι ΜΕΝ Ασπροπύργου διοχετεύουν με νερό το δίκτυο διανομής που εξυπηρετεί το Θριάσιο Πεδίο και τη Σαλαμίνα και ενισχύουν τα δυτικά προάστια της Αθήνας.

Μέχρι σχετικά πρόσφατα, οι ΜΕΝ Ασπροπύργου, Αχαρνών και Πολυδενδρίου τροφοδοτούνταν αποκλειστικά από το Μόρνο, ενώ οι ΜΕΝ Γαλασίου τροφοδοτούνταν από μίγμα Μόρνου και Μαραθώνα. Σήμερα οι ΜΕΝ Πολυδενδρίου τροφοδοτούνται αποκλειστικά πλέον από νερό Υλίκης, οι ΜΕΝ Αχαρνών από μίγμα Μόρνου και Υλίκης (υπερτερεί ο Μόρνος), οι ΜΕΝ Γαλασίου από μίγμα Μόρνου και Μαραθώνα, στον οποίο διοχετεύεται σταθερά νερό Υλίκης, ενώ οι ΜΕΝ Ασπροπύργου τροφοδοτούνται σχεδόν αμιγώς με νερό Μόρνου. Στις ΜΕΝ Πολυδενδρίου η επεξεργασία προσαρμόστηκε στις νέες συνθήκες και η ποιότητα του παραγόμενου πόσιμου νερού παραμένει άριστη, όπως και στις άλλες τρεις ΜΕΝ.

Κατά το 2007, οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού της ΕΥΔΑΠ τροφοδότησαν τους καταναλωτές με 416 hm³, έναντι 417,5 hm³ το 2006. Αντίστοιχα, για το 2008 τα μέχρι τώρα στοιχεία, δείχνουν ότι η κατανάλωση νερού ανέρχεται σε 1.100.000 m³/day (400 hm³/year), με το ατιμολόγητο νερό να αποτελεί το 19% της ετήσιας κατανάλωσης και να βρίσκεται ως ποσοστό κάτω από το όριο του 20%, που πρόσφατα θεσπίστηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και με τις διαρροές του δικτύου να ανέρχονται σε ποσοστό περίπου 10% επί των συνολικών απολήψεων (ΕΥΔΑΠ, 2008).

4.4.6 Δίκτυο Ύδρευσης

Ως δίκτυο ύδρευσης νοείται το σύνολο των αγωγών μεταφοράς και διανομής

επεξεργασμένου νερού από τις Μονάδες Επεξεργασίας Νερού μέχρι τους υδρομετρητές των καταναλωτών, συμπεριλαμβανομένων και των εγκαταστάσεων υποστήριξης, όπως δεξαμενές ρύθμισης-αποθήκευσης νερού και αντλιοστάσια. Το συνολικό μήκος του δικτύου ανέρχεται σε 8.270 km, εξυπηρετεί 1.941.628 υδρομετρητές, ενώ εκτιμάται ότι οι συνολικοί καταναλωτές ανέρχονται σε περίπου 4.000.000. Το 65% του συνολικού μήκους του δικτύου ύδρευσης αποτελείται από σωλήνες αμιαντοτσιμέντου, ενώ το υπόλοιπο είναι χαλυβδοσωλήνες (15%), σωλήνες χυτοσιδήρου (15%) και σωλήνες από PVC ή πολυαιθυλένιο PE (5%). Η ονομαστική πίεση λειτουργίας κυμαίνεται από 2 έως 25bar. Το δίκτυο ύδρευσης περιλαμβάνει πληθώρα εξαρτημάτων που εξασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία του και τη δυνατότητα αντιμετώπισης προβλημάτων άμεσα. Υπάρχουν εγκατεστημένες περί τις 70.000 δικλίδες απομόνωσης και 500 βάνες ελέγχου πίεσης. Για την ομαλή και αδιάλειπτη τροφοδοσία των καταναλωτών, το δίκτυο ύδρευσης περιλαμβάνει σε διάφορα σημεία της Αττικής, 56 δεξαμενές ρύθμισης-αποθήκευσης συνολικής χωρητικότητας 868.343 m³ νερού και 72 αντλιοστάσια (αντλητικά συγκροτήματα 613 αντλιών), συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 19,7 MW, που λειτουργούν είτε για την υδροδότηση δεξαμενών ή αντλιοστασίων που μεταφέρουν νερό σε υψηλές υψομετρικά περιοχές, είτε για την απευθείας τροφοδότηση του δικτύου ύδρευσης (Booster).

Από το 1993 λειτουργεί επιτυχώς και το εγκατεστημένο σύστημα τηλεέλεγχου-τηλεχειρισμού (SCADA) για την παρακολούθηση της λειτουργίας των ΜΕΝ, του δικτύου ύδρευσης, των δεξαμενών ρύθμισης-αποθήκευσης, των αντλιοστασίων καθώς και σημαντικών κομβικών σημείων του δικτύου τροφοδοσίας, ενώ υπάρχει και εργαστήριο ελέγχου υδρομετρητών διαπιστευμένο κατά ISO 17025 (ΕΥΔΑΠ, 2008).

4.5 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ

Για τον έλεγχο της ποιότητας του νερού πραγματοποιούνται δειγματοληψίες, με ημερήσια, εβδομαδιαία ή μηνιαία συχνότητα, σε όλα τα καίρια σημεία του συστήματος ύδρευσης, από τις πηγές και τους ταμιευτήρες ως την βρύση των καταναλωτών. Τα δείγματα υποβάλλονται σε εργαστηριακό έλεγχο ποιότητας σύμφωνα με τις απαιτήσεις της ισχύουσας Ελληνικής και Κοινοτικής Νομοθεσίας για την ποιότητα του ανεπεξέργαστου και του πόσιμου νερού. Το νομικό πλαίσιο των απαιτήσεων ποιότητας του νερού αποτελείται από τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης 75/440/Ε.Ο.Κ. και 2000/60/Ε.Ε. για το ανεπεξέργαστο νερό και από την Οδηγία 98/83/Ε.Ε., η οποία αφορά στο πόσιμο νερό που διανέμεται από το δίκτυο ύδρευσης και εναρμονίστηκε με την Ελληνική Νομοθεσία με την ΚΥΑ 2600/2001. Για τον έλεγχο του υπολειμματικού χλωρίου στο πόσιμο νερό χρησιμοποιείται η Υπουργική Απόφαση 5673/1958.

Επί του παρόντος, η ποιότητα του ανεπεξέργαστου νερού είναι καλή, για τα νερά Βοιωτικού Κηφισού, Υλίκης, Παραλίμνης και Μαραθώνα (κατατάσσονται σε κατηγορίες που

κυμαίνονται στο φάσμα τιμών A2 προς A1) και πολύ καλή, για τα νερά του Ευήνου και του Μόρνου (το νερό ταξινομείται στην κατηγορία A1 για το σύνολο σχεδόν των παραμέτρων ποιότητας). Η επεξεργασία του νερού καλύπτει τις αυστηρότερες απαιτήσεις της κατηγορίας A2, ικανοποιώντας πλήρως τις ανάγκες παραγωγής υγιεινού πόσιμου νερού. Τέλος, η ποιότητα του πόσιμου νερού στο δίκτυο της ύδρευσης, είναι άριστη και σύμφωνη με την ισχύουσα Οδηγία 98/83/ΕΕ (ΕΥΔΑΠ, 2006).

4.6 ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ-ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Το υδροδοτικό σύστημα χαρακτηρίζεται από την πολυπλοκότητα του τροφοδοτικού δικτύου, τη γεωγραφική διασπορά των πηγών και υδραγωγείων, τη μεγάλη απόσταση των πηγών από τους καταναλωτές, τις σημαντικές απώλειες νερού της λίμνης Υλίκης και το υψηλό κόστος άντλησης από την Υλίκη ή τις γεωτρήσεις. Οι δυσκολίες μεταφοράς νερού οφείλονται στην παλαιότητα και μειωμένη αξιοπιστία ορισμένων υδραγωγείων, τη μειωμένη παροχετευτικότητα ορισμένων κλάδων και την μη ύπαρξη δυνατότητας αναρύθμισης κοντά στην πόλη. Το κυριότερο όμως πρόβλημα είναι η ανεπάρκεια του φυσικού πόρου σε συνδυασμό με τη συνεχή αύξηση της κατανάλωσης.

Είναι γεγονός ότι, οι αλληπάλληλες λειψυδρίες και οι αυξανόμενες ανάγκες υδροδότησης του πληθυσμού, οδήγησαν στη διόγκωση ενός υδρευτικού συστήματος, που διασχίζει τέσσερις Νομούς και έχει εγκατεστημένη ισχύ αντλιοστασίων 120.000HP, των οποίων η λειτουργία κοστίζει ακριβά. Το 2008, τη δεύτερη χειρότερη χρονιά από πλευράς βροχοπτώσεων της τελευταίας οκταετίας, τα αποθέματα των ταμιευτήρων σημείωσαν αρνητικό ρεκόρ επταετίας, πέφτοντας κάτω από τα επίπεδα της τελευταίας ξηρασίας του 2002 (μόλις 427 hm³ νερού στα τέλη Νοεμβρίου του 2008).

Η απόληψη από τη λίμνη Υλίκη και τις γεωτρήσεις, η οποία επιτυγχάνεται με άντληση, παρόλη τη δαπανηρή λειτουργία, είναι επιβεβλημένη κατά τη διάρκεια πτωχών υδρολογικών περιόδων, όταν τα αποθέματα των ταμιευτήρων Μόρνου-Ευήνου είναι πενιχρά. Σήμερα οι ΜΕΝ Πολυδενδρίου τροφοδοτούνται αποκλειστικά πλέον από νερό Υλίκης και οι ΜΕΝ Αχαρνών από μίγμα Μόρνου και Υλίκης, ενώ νερό γεωτρήσεων δε χρησιμοποιείται ακόμη (Νασίκας, 2003· Καρανίκας, 2008· Κωνσταντοπούλου, 2008).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 (ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ): ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΑΠΟΛΗΨΙΜΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΔΡΕΥΣΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ «ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ»

Το παρόν κεφάλαιο διαπραγματεύεται τη μελέτη περίπτωσης (case study) της παρούσας εργασίας που είναι ο εντοπισμός της βέλτιστης κατανομής των απολήψεων από τους υδατικούς πόρους του υδροσυστήματος της Αθήνας, για μια αποδεκτή πιθανότητα αστοχίας ικανοποίησης της ζήτησης σε νερό. Συγκεκριμένα, αρχικά σχηματίζεται το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας στο μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης «Υδρονομέας» και εισάγονται τα δεδομένα εισόδου του (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις, υδραγωγεία, ενεργειακά και υδρολογικά δεδομένα, στόχοι και λειτουργικοί περιορισμοί). Στη συνέχεια πραγματοποιείται βελτιστοποίηση, προκειμένου να βρεθούν οι βέλτιστοι κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων του συστήματος και εκτιμάται το θεωρητικά απολήψιμο υδατικό δυναμικό, για διάφορες πολιτικές χρήσης των γεωτρήσεων, συμπεριλαμβανομένης και της πολιτικής που εφαρμόζεται από την ΕΥΔΑΠ στην παρούσα φάση, ώστε το σύστημα να ανταποκρίνεται στο αποδεκτό επίπεδο αξιοπιστίας του 99%. Τέλος, διερευνάται αν και με ποιο τρόπο, η εξαίρεση του φυσικού περιορισμού της παροχρευτικότητας των υδραγωγείων που έχει ληφθεί υπόψη στα παραπάνω σενάρια, όπως επίσης και η ύπαρξη των λειτουργικών περιορισμών μεγίστου αποθέματος που έχουν τεθεί στους ταμιευτήρες Μόρνου και Ευήνου, επιδρά στην αξιοπιστία του συστήματος.

5.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

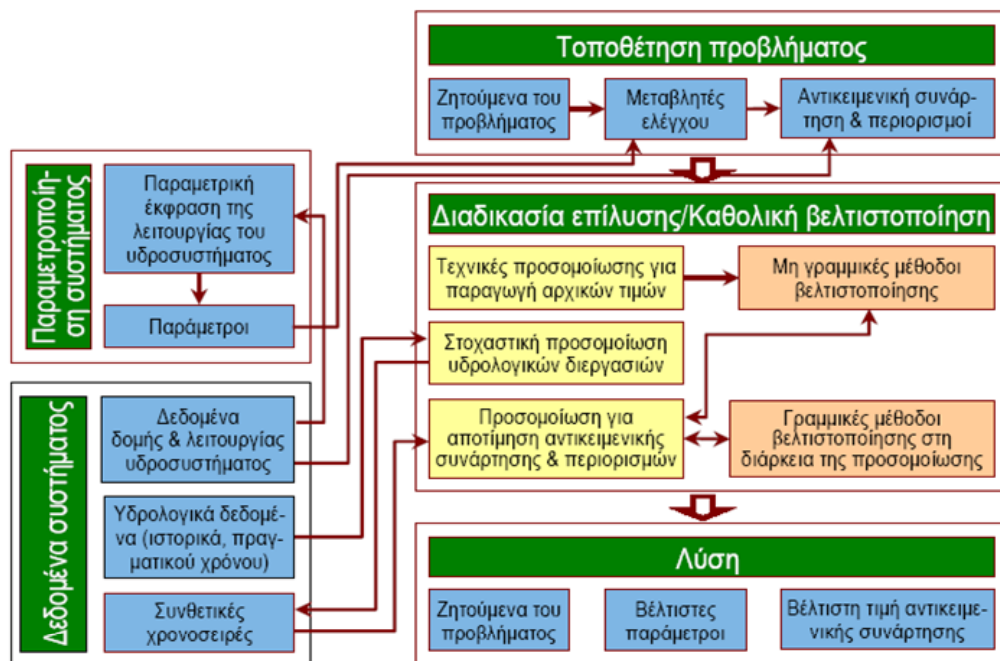
Η διαχείριση του συστήματος υδατικών πόρων της ΕΥΔΑΠ συνίσταται στον καθορισμό των απολήψιμων ποσοτήτων από τους ταμιευτήρες και τους υδροφορείς, καθώς και στον τρόπο διοχέτευσής τους στο δίκτυο των εξωτερικών υδραγωγείων, ώστε να εξασφαλίζεται η μακροπρόθεσμη επάρκεια των πόρων ύδρευσης της Αθήνας, με το ελάχιστο δυνατό κόστος.

Το μαθηματικό μοντέλο του υδροσυστήματος βασίζεται στη μεθοδολογία βέλτιστης διαχείρισης συστημάτων ταμιευτήρων πολλαπλού σκοπού (Nalbantis and Koutsoyiannis, 1997· Koutsoyiannis et al., 2001· Koutsoyiannis et al., 2002· Efstratiadis et al., 2003), της οποίας η κύρια ιδέα συνίσταται στην παραμετρική διατύπωση των κανόνων λειτουργίας των ταμιευτήρων, βάσει της εξίσωσης:

$$S_i^* = K_i - a_i K + b_i V \text{ για κάθε } i = 1, 2, \dots, n$$

όπου S_i^* το επιδιωκόμενο απόθεμα του i ταμιευτήρα στο τέλος κάθε μήνα, n ο συνολικός αριθμός των ταμιευτήρων, V ο συνολικός ωφέλιμος όγκος του υδατικού συστήματος του τρέχοντος μήνα, K_i η ωφέλιμη χωρητικότητα του i ταμιευτήρα, K η συνολική ωφέλιμη χωρητικότητα του συστήματος και a_i , b_i παράμετροι. Τα αποθέματα-στόχοι διορθώνονται, έτσι ώστε να ικανοποιούν τους φυσικούς περιορισμούς ελάχιστου και μεγίστου αποθέματος,

και τελικά η μορφή των κανόνων λειτουργίας γίνεται μη γραμμική. Δεδομένων των παραμέτρων a_i και b_i , ο τρόπος διαχείρισης του υδροσυστήματος είναι πλήρως καθορισμένος, εφόσον οι επιδιωκόμενες απολήψεις από τους ταμιευτήρες εκφράζονται συναρτήσει της ποσότητας των υδάτινων αποθεμάτων που διατίθενται στο σύστημα σε κάθε χρονικό βήμα.



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα ροής του μεθοδολογικού σχήματος παραμετροποίηση-προσομοίωση-βελτιστοποίηση

Πηγή: Κουτσογιάννης κ.ά., 2002

Στο παραπάνω σχήμα (σχήμα 5.1) απεικονίζεται το διάγραμμα ροής του μοντέλου διαχείρισης, το οποίο βασίζεται στο μεθοδολογικό σχήμα παραμετροποίηση-προσομοίωση-βελτιστοποίηση. Στοιχεία εισόδου του μοντέλου είναι α) το υδροδοτικό σύστημα, δηλαδή η δομή του δικτύου, οι συνιστώσες του (ταμιευτήρες, αγωγοί, αντλιοστάσια κ.λπ.) και τα χαρακτηριστικά τους, και β) οι χρονοσειρές εισροών και απωλειών των ταμιευτήρων, οι οποίες προκύπτουν είτε από ιστορικό δείγμα, είτε παράγονται συνθετικά, από το λογισμικό στοχαστικής προσομοίωσης Κασταλία. Οι παράμετροι των κανόνων λειτουργίας των ταμιευτήρων και, κατά περίπτωση, το προς μεγιστοποίηση απολήψιμο δυναμικό του συστήματος, αποτελούν τις μεταβλητές ελέγχου του προβλήματος, οι οποίες εκτιμώνται μέσω βελτιστοποίησης. Στο μοντέλο παρέχεται επίσης, η δυνατότητα προσδιορισμού στόχων και λειτουργικών περιορισμών, οι οποίοι ενσωματώνονται σε μια ενιαία έκφραση, που αποτελεί το δείκτη επίδοσης του συστήματος.

Η επίδοση κάθε συγκεκριμένης διαχειριστικής πολιτικής, όπως αυτή καθορίζεται μέσω των παραμέτρων a_i και b_i , αποτιμάται μέσω προσομοίωσης. Η προσομοίωση είναι μια υπολογιστική διαδικασία, κατά την οποία αναπαρίστανται με ακρίβεια οι φυσικές διεργασίες και η λειτουργία του υδροσυστήματος, για μια ορισμένη χρονική περίοδο. Σε κάθε βήμα

προσομοίωσης και για δεδομένες τιμές των παραμέτρων a_i και b_i υπολογίζονται τα επιθυμητά αποθέματα και συνεπώς, οι επιδιωκόμενες απολήψεις από τους ταμειυτήρες και τους υπόγειους υδροφορείς. Ωστόσο, η γνώση των επιθυμητών απολήψεων δεν είναι πάντοτε επαρκής για τον προσδιορισμό όλων των μεταβλητών του υδροσυστήματος, ήτοι των πραγματικών απολήψεων και των παροχών στα υδραγωγεία, εφόσον ισχύει μία τουλάχιστον από τις ακόλουθες συνθήκες: α) οι επιθυμητές απολήψεις από τους ταμειυτήρες δε μπορούν να διοχετευτούν κατάντη εξαιτίας των φυσικών περιορισμών του δικτύου (παροχευετικότητα αγωγών, δυναμικότητες αντλιοστασίων, χωρητικότητες ΜΕΝ), β) ο τρόπος μεταφοράς των απολήψεων από τις πηγές στην κατανάλωση δεν είναι μονοσήμαντος, αλλά προκύπτουν εναλλακτικές διαδρομές νερού και, μάλιστα, με διαφορετικό κόστος, γ) πολλαπλοί και αντικρουόμενοι στόχοι πρέπει να ικανοποιηθούν ταυτόχρονα, δ) η συνολική ζήτηση νερού είναι μεγαλύτερη από τη συνολική προσφορά του συστήματος.

Ο προσδιορισμός και η μεταφορά των απολήψεων από τις πηγές (ταμειυτήρες, γεωτρήσεις) προς τους κόμβους κατανάλωσης διατυπώνεται ως πρόβλημα δικτυακού γραμμικού προγραμματισμού, ζητούμενα του οποίου είναι: α) η αυστηρή ικανοποίηση όλων των φυσικών περιορισμών του υδροσυστήματος, β) η ιεραρχημένη ικανοποίηση των διαχειριστικών στόχων, βάσει της σειράς προτεραιότητας που έχει οριστεί, γ) η ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς του νερού στο δίκτυο (κόστος άντλησης), δ) η ελαχιστοποίηση της απόκλισης μεταξύ των πραγματικών και των επιθυμητών απολήψεων, έτσι ώστε να τηρείται όσο το δυνατόν ο κανόνας διαχείρισης των ταμειυτήρων και ε) η ελαχιστοποίηση των απωλειών του συστήματος λόγω υπερχειλίσσης και διαρροών (Κουτσογιάννης κ.ά., 2002).

Η βελτιστοποίηση αποτελεί ένα από τα ισχυρότερα χαρακτηριστικά του Υδρονομέα και έχει ιδιαίτερο νόημα, όταν το υδροσύστημα καλείται να ικανοποιήσει πολλαπλούς και αντικρουόμενους στόχους, από πολλαπλές θέσεις απολήψεων, επιφανειακές και υπόγειες. Σε μια τέτοια περίπτωση, το γραμμικό μοντέλο κατανομής που εφαρμόζεται στα πλαίσια της προσομοίωσης, εισάγοντας ως μοναδικό κριτήριο βελτιστοποίησης την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς των απολήψεων στις θέσεις κατανάλωσης, δεν εξασφαλίζει βιωσιμότητα, δηλαδή επάρκεια πόρων σε μακροχρόνιο ορίζοντα. Αυτό συμβαίνει επειδή οι έννοιες του κόστους και της αξιοπιστίας στη διαχείριση των υδατικών πόρων είναι αντικρουόμενες. Για το λόγο αυτό, απαιτείται μια πιο μακροσκοπική θεώρηση του προβλήματος, που λαμβάνει υπόψη, όχι μόνο τις τρέχουσες συνθήκες, αλλά και τις μελλοντικές. Αυτό γίνεται με τη θεώρηση ορισμένων χαρακτηριστικών μεγεθών της διαχείρισης ως αγνώστων, και την εκτίμησή τους βάσει καθολικών κριτηρίων, που αναφέρονται στο σύνολο του ορίζοντα ελέγχου. Τα μεγέθη αυτά θεωρούνται μεταβλητές ελέγχου ενός «εξωτερικού» προβλήματος μη γραμμικής βελτιστοποίησης, ως προς τα εν λόγω κριτήρια, από την επίλυση του οποίου προκύπτει η πλέον πρόσφορη διαχειριστική πολιτική. Οι αρχές της εν λόγω πολιτικής έχουν

γενική ισχύ, δεν εξαρτώνται δηλαδή από τις τρέχουσες συνθήκες εισροών αλλά από το μακροχρόνιο υδρολογικό και διαχειριστικό καθεστώς του υδροσυστήματος.

Η πολιτική διαχείρισης του υδροσυστήματος εκφράζεται, κατά μείζονα λόγο, μέσω των κανόνων λειτουργίας των ταμιευτήρων και των γεωτρήσεων, η μαθηματική διατύπωση των οποίων γίνεται παραμετρικά. Συγκεκριμένα, οι κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων ορίζονται συναρτήσει των αδιάστατων παραμέτρων a_i και b_i , που είναι δύο ανά ταμιευτήρα (ή μόνο μία, εφόσον θεωρηθεί ο ομογενής κανόνας) και μπορεί να μεταβάλλονται ανάλογα με την εποχή του έτους. Από την άλλη πλευρά, οι κανόνες λειτουργίας των γεωτρήσεων ορίζονται συναρτήσει των επίσης αδιάστατων παραμέτρων b_i^{up} και b_i^{down} , που μπορούν επίσης να μεταβάλλονται εποχιακά. Εκτός των παραμέτρων των κανόνων λειτουργίας, είναι δυνατός και ορισμός μεταβλητών ελέγχου σε τιμές στόχων και λειτουργικών περιορισμών, με την προϋπόθεση ότι αυτές έχουν διαχρονική ισχύ. Ειδικότερα μπορούν να οριστούν τα εξής: α) μια σταθερή τιμή για όλους τους μήνες του έτους, β) δύο σταθερές τιμές για τις αντίστοιχες περιόδους του έτους, γ) μια σταθερή μέση τιμή για όλο το έτος, που διατηρεί μια συγκεκριμένη μηνιαία κατανομή και δ) μεμονωμένες τιμές για κάθε μήνα του έτους. Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι για κάθε ταμιευτήρα μπορούν να θεωρηθούν μία, δύο ή τέσσερις μεταβλητές ελέγχου, για κάθε γεώτρηση δύο ή τέσσερις, ενώ για κάθε στόχο ή περιορισμό μπορούν μία, δύο ή δώδεκα.

Η αναζήτηση των μεταβλητών γίνεται σε ένα πεπερασμένο διάστημα που καλείται εφικτός χώρος και προσδιορίζεται από μια ελάχιστη και μια μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή. Όσον αφορά στις παραμέτρους των κανόνων λειτουργίας, επειδή αυτές είναι αδιάστατες, το εύρος διακύμανσής τους δε μπορεί να ξεπερνά το διάστημα $[0, 1]$. Όσον αφορά στις μεταβλητές ελέγχου που αναφέρονται σε στόχους και περιορισμούς, ο χρήστης μπορεί να ορίσει οποιαδήποτε ελάχιστη και μέγιστη τιμή τους, αρκεί να είναι μεγαλύτερη του μηδενός.

Μια συγκεκριμένη διαχειριστική πολιτική αποτιμάται ποσοτικά βάσει του μέτρου επίδοσης. Το μέτρο επίδοσης είναι ένας καθολικός αριθμητικός δείκτης και ορίζεται ως:

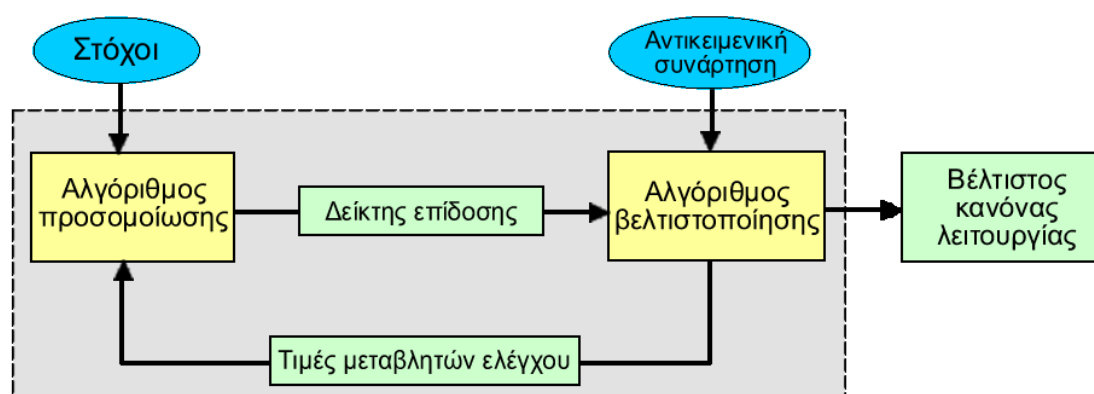
$$\Sigma = \sum_{j=1}^m w_j f_j$$

όπου f_j μεμονωμένα κριτήρια ελέγχου και w_j συντελεστές βάρους, που εκφράζουν τη σχετική σπουδαιότητα των κριτηρίων. Τα κριτήρια αναφέρονται σε μεμονωμένα και συγκεντρωτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης και εντάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες: α) μέση ετήσια κατανάλωση νερού σε επιλεγμένους κόμβους και ταμιευτήρες, β) μέση ετήσια πιθανότητα αστοχίας επιλεγμένων στόχων και περιορισμών, γ) μέγιστη ετήσια πιθανότητα αστοχίας επιλεγμένων στόχων και περιορισμών, δ) μέσο ετήσιο έλλειμμα επιλεγμένων στόχων και περιορισμών, ε) μέγιστο ετήσιο έλλειμμα επιλεγμένων στόχων και περιορισμών, στ) μέση ετήσια οικονομική επίδοση υδροσυστήματος (άθροισμα κόστους-οφέλους), ζ) μέση

ετήσια κατανάλωση ενέργειας, η) ετήσια παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας και θ) μέσες ετήσιες απώλειες λόγω υπερχειλίσης.

Στην πραγματικότητα, πρόκειται για μια μαθηματική ποσότητα, που αντιστοιχεί στη στοχαστική συνάρτηση του προβλήματος βελτιστοποίησης και χρησιμοποιείται ως μέτρο σύγκρισης εναλλακτικών λύσεων (ως λύση, νοείται ένα σύνολο εφικτών τιμών των μεταβλητών ελέγχου, που υποδηλώνει μια συγκεκριμένη διαχειριστική πολιτική). Είναι προφανές ότι η εισαγωγή διαφορετικών κριτηρίων ή και η διατήρηση των ίδιων, αλλά με διαφορετικές τιμές συντελεστών βάρους, διαφοροποιεί το πρόβλημα και οδηγεί εύλογα σε αλλαγή της προτεινόμενης διαχειριστικής πολιτικής (Ευστρατιάδης, 2007).

Η διαδικασία βελτιστοποίησης, όπως απεικονίζεται στο σχήμα 5.2 προϋποθέτει την πραγματοποίηση ενός ικανού αριθμού προσομοιώσεων, για την αποτίμηση του δείκτη επίδοσης, ως προς διαφορετικές τιμές των παραμέτρων. Κάθε φορά που δοκιμάζεται μια νέα λύση, δίνονται οι επίκαιρες τιμές των παραμέτρων στον αλγόριθμο προσομοίωσης και υπολογίζεται η αντίστοιχη τιμή του δείκτη επίδοσης. Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης ανήκει στις στοχαστικές εξελικτικές μεθόδους, που εξετάζουν πολλαπλές λύσεις παράλληλα και σταδιακά συγκλίνουν προς τη βέλτιστη. Οι λύσεις αυτές θεωρείται ότι διαμορφώνουν έναν πληθυσμό, που σε αντιστοιχία με τη φυσική διεργασία της εξέλιξης, οδηγείται σε στατιστικά ισχυρότερες γενιές, με βελτιωμένα χαρακτηριστικά. Στα αρχικά στάδια αναζήτησης, η πορεία του αλγορίθμου είναι σχεδόν τυχαία (άλλοτε εντοπίζει καλύτερες και άλλοτε χειρότερες λύσεις), προοδευτικά όμως η πορεία του αλγορίθμου σταθεροποιείται προς την κατεύθυνση βελτίωσης της τιμής του δείκτη επίδοσης, ώσπου να συγκλίνει σε μια τελική τιμή. Κατά διαστήματα, ελέγχονται λύσεις μακριά από την τρέχουσα βέλτιστη, ώστε να δοθεί η ευκαιρία διαφυγής από τοπικά ακρότατα (Καραβοκυρός κ.ά., 2007).



Σχήμα 5.2: Διαδικασία βελτιστοποίησης

Πηγή: Καραβοκυρός κ.ά., 2007

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της διαδικασίας βελτιστοποίησης στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, προκειμένου να εντοπιστούν οι βέλτιστοι κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων και να εκτιμηθεί το θεωρητικά απολήψιμο υδατικό δυναμικό, παρουσιάζονται στην ενότητα 5.6.

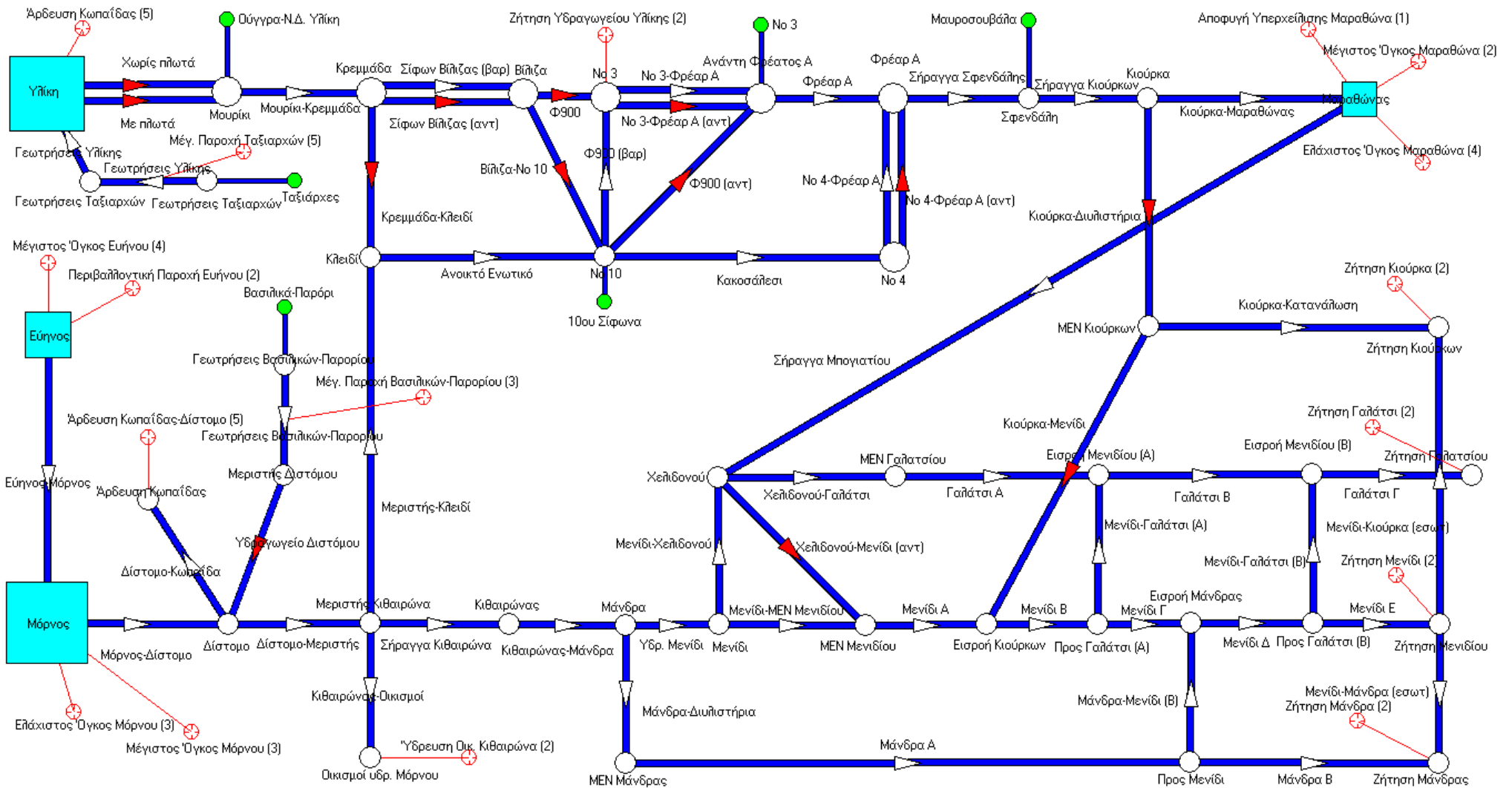
5.2 ΣΧΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σχηματοποίηση (schematization) είναι η διαδικασία μετασχηματισμού των συνιστωσών ενός φυσικού συστήματος σε συνιστώσες του μαθηματικού μοντέλου που αναπαριστά το εν λόγω σύστημα (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007). Λόγω της δικτυακής δομής τους, η σχηματική διάταξη των συστημάτων υδατικών πόρων έχει συνήθως τη μορφή γράφου (graph), αποτελείται δηλαδή από κόμβους και κλάδους (υδραγωγεία, ανοιχτοί αγωγοί). Στην παρούσα εργασία, το φυσικό σύστημα που μετασχηματίστηκε είναι το υδατικό σύστημα της Αθήνας και το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είναι ο «Υδρονομέας».

Το υδροσύστημα της Αθήνας παρίσταται ως ένα δίκτυο, το οποίο αποτελείται από κόμβους και κλάδους. Οι κόμβοι του δικτύου αποτελούν σημεία προσφοράς (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις) ή ζήτησης νερού, καθώς και σημεία αλλαγής των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του δικτύου, ενώ οι κλάδοι ορίζουν τις δυνατές διαδρομές του νερού και κατά κανόνα ταυτίζονται με τους πραγματικούς αγωγούς του δικτύου.

Το χαρακτηριστικό μέγεθος των κλάδων είναι η παροχετευτικότητα, δηλαδή η μέγιστη ασφαλής παροχή που μπορεί να διέλθει από τον αντίστοιχο αγωγό, είτε με βάση τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά, είτε με βάση τη δυναμικότητα των αντλιοστασίων που λειτουργούν κατά μήκος αυτού, εφόσον πρόκειται για καταθλιπτικό αγωγό. Οι περισσότεροι κλάδοι του δικτύου έχουν σταθερή τιμή παροχετευτικότητας, με εξαίρεση ορισμένους καταθλιπτικούς αγωγούς, καθώς και τις σήραγγες Ευήνου-Μόρνου και Μπογιατίου, η παροχετευτικότητα των οποίων είναι συνάρτηση της στάθμης των ανάντη ταμιευτήρων Ευήνου και Μαραθώνα, αντίστοιχα. Η φορά ροής στους κλάδους είναι μοναδική. Ένα άλλο χαρακτηριστικό μέγεθος των κλάδων του δικτύου είναι οι διαρροές. Το δίκτυο εξωτερικών υδραγωγείων παρουσιάζει σημαντικές διαρροές, οι οποίες εκτιμώνται σε περίπου 10% επί των συνολικών απολήψεων (ΕΥΔΑΠ, 2008).

Στο σχήμα 5.3 παρουσιάζεται η σχηματοποίηση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, και πιο συγκεκριμένα η διάταξη των συνιστωσών του δικτύου, στο μοντέλο του Υδρονομέα. Το μοντέλο σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε να ανταποκρίνεται στις πραγματικές (σημερινές) συνθήκες του υδροσυστήματος. Περιλαμβάνει όλους τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους (κύριους και εφεδρικούς), τα έργα αξιοποίησης νερού που χρησιμοποιεί η ΕΥΔΑΠ με τα χαρακτηριστικά τους μεγέθη και τη βασική τοπολογία του δικτύου. Επίσης, λαμβάνεται υπόψη το αρχικό τμήμα του εσωτερικού δικτύου κατάντη των διυλιστηρίων, στο βαθμό που αυτό επηρεάζει τη δυνατότητα κάλυψης της ζήτησης των αντίστοιχων περιοχών υδροδότησης.



Σχήμα 5.3: Σχηματοποίηση του υδρουσυστήματος της Αθήνας στο μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης «Υδρονομέας»

5.3 ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Οι συνιστώσες του μαθηματικού μοντέλου που αναπτύχθηκε για την αναπαράσταση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, είναι οι εξής (Καραβοκυρός κ.ά., 2004):

- κόμβοι, ήτοι θέσεις ζήτησης νερού ή σημεία αλλαγής της γεωμετρίας και των χαρακτηριστικών μεγεθών του δικτύου·
- ταμιευτήρες, ήτοι έργα αποθήκευσης επιφανειακών υδατικών πόρων·
- γεωτρήσεις, ήτοι έργα υδροληψίας από υπόγειους υδροφορείς·
- υδραγωγεία, ήτοι στοιχεία μεταφοράς νερού που συνδέουν ζεύγη κόμβων και αναφέρονται σε φυσικούς ή τεχνητούς αγωγούς·
- αντλιοστάσια, που είναι ειδικοί τύποι υδραγωγείων, κατά μήκος των οποίων καταναλώνεται ενέργεια.

5.3.1 Κόμβοι

Ως «κόμβος» (Junction), νοείται η εννοιολογική οντότητα που αντιπροσωπεύει ένα σημείο του δικτύου, χωρίς δυνατότητα προσφοράς ή αποθήκευσης νερού. Ένας κόμβος στον Υδρονομέα μπορεί στην πραγματικότητα να αντιπροσωπεύει: α) ένα σημείο σύνδεσης μιας γεώτρησης στο δίκτυο, β) έναν μεριστή, γ) μια μονάδα επεξεργασίας νερού, δ) μια περιοχή ζήτησης υδρευτικού ή αρδευτικού νερού, ε) μια έξοδο από το υδροσύστημα (Καραβοκυρός κ.ά., 2007). Στο μοντέλο που αναπαριστά το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, οι κόμβοι ανέρχονται σε 38 και είναι οι εξής (πίνακας 5.1):

Πίνακας 5.1: Δεδομένα κόμβων υδροσυστήματος Αθήνας

A/A	ΟΝΟΜΑΣΙΑ
1	Άρδευση Κωπαΐδας
2	Ανάκτη Φρέατος Α
3	Βίλιζα
4	Γεωτρήσεις Βασιλικών-Παρορίου
5	Γεωτρήσεις Ταξιαρχών
6	Γεωτρήσεις Υλίκης
7	Δίστομο
8	Εισροή Κιούρκων
9	Εισροή Μάνδρας
10	Εισροή Μενιδίου (Α)
11	Εισροή Μενιδίου (Β)
12	Ζήτηση Γαλατσίου
13	Ζήτηση Κιούρκων
14	Ζήτηση Μάνδρας
15	Ζήτηση Μενιδίου
16	Κιθαιρώνας
17	Κιούρκα
18	Κλειδί
19	Κρεμμίδα

20	MEN Γαλατσίου
21	MEN Κιούρκων
22	MEN Μάνδρας
23	MEN Μενιδίου
24	Μάνδρα
25	Μενίδι
26	Μεριστής Διστόμου
27	Μεριστής Κιθαιρώνα
28	Μουρίκι
29	No10
30	No 3
31	No 4
32	Οικισμοί υδρ. Μόρνου
33	Προς Γαλάτσι (Α)
34	Προς Γαλάτσι (Β)
35	Προς Μενίδι
36	Σφενδάλη
37	Φρέαρ Α
38	Χελιδονού

Πηγή: *EMIT*

5.3.2 Ταμιευτήρες

Ταμιευτήρας (Reservoir) καλείται το εννοιολογικό αντικείμενο που αντιπροσωπεύει ένα τεχνικό έργο αποθήκευσης επιφανειακών υδατικών πόρων με επαρκή χωρητικότητα, ώστε να επιτυγχάνεται ρύθμιση της ροής για χρονικό ορίζοντα μεγαλύτερο του μήνα, που είναι και η συμβατική χρονική διακριτότητα του μοντέλου προσομοίωσης (Καραβοκυρός κ.ά., 2004). Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας αποτελείται από τους τέσσερις ταμιευτήρες: Ευήνου, Μόρνου, Υλίκης και Μαραθώνα. Οι ταμιευτήρες, όπως και οι γεωτρήσεις, αποτελούν ειδικές κατηγορίες κόμβων. Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των ταμιευτήρων είναι η χωρητικότητα, ο νεκρός όγκος και οι καμπύλες στάθμης-όγκου-επιφάνειας. Οι εισροές, οι οποίες περιλαμβάνουν την απορροή από την ανάντη λεκάνη, καθώς και την επιφανειακή βροχόπτωση και εξάτμιση, παράγονται συνθετικά. Ο ταμιευτήρας του Μόρνου και κυρίως η λίμνη Υλίκη, παρουσιάζουν σημαντικές υπόγειες διαφυγές, με εποχιακές διακυμάνσεις.

Στο μοντέλο του Υδρονομέα η φόρμα δεδομένων ταμιευτήρα αποτελείται από: α) το βασικό φύλλο δεδομένων, β) το φύλλο καμπυλών στάθμης-όγκου-επιφάνειας, γ) το φύλλο δεδομένων υπόγειων διαφυγών, δ) το φύλλο δεδομένων κανόνων διαχείρισης και ε) το φύλλο χρονοσειρών.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι φόρμες δεδομένων των τεσσάρων ταμιευτήρων του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας.

Η έκταση της λεκάνης απορροής του **ταμιευτήρα Ευήνου** ανέρχεται σε 352 km² (Catchment area). Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την επίκαιρη επιφάνεια του

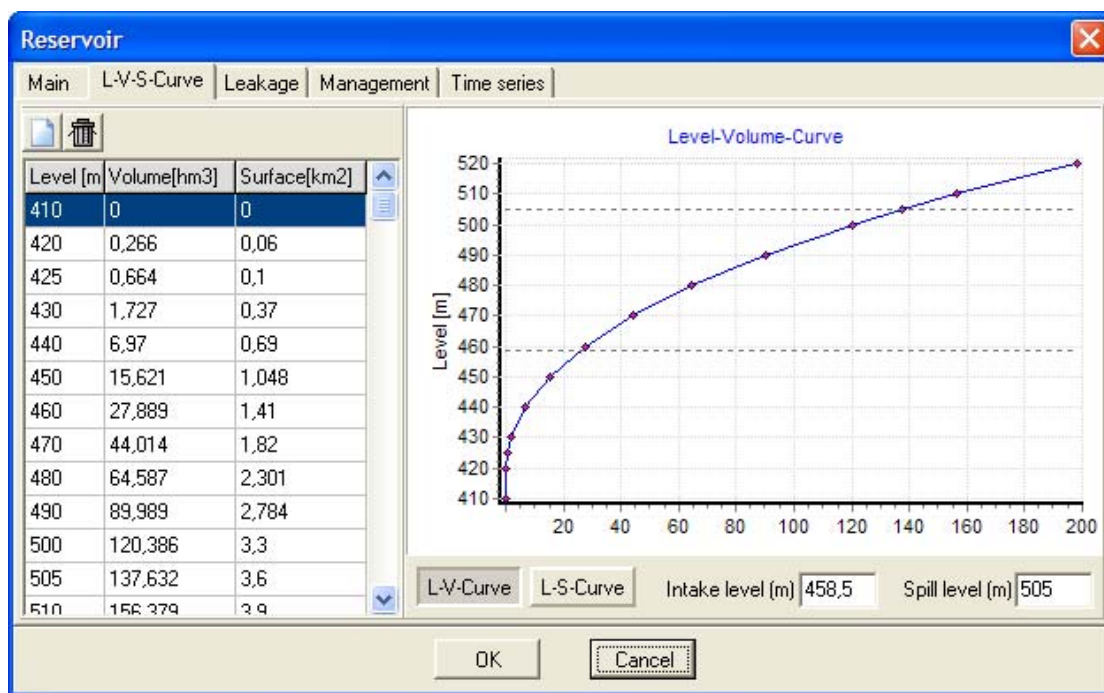
ταμιευτήρα και τη χρονοσειρά απορροής (φύλλο χρονοσειρών), ώστε να υπολογιστεί η απορροή στον ταμιευτήρα, για κάθε χρονικό βήμα προσομοίωσης. Η στάθμη υπερχειλίσης (Spill level) που αντιστοιχεί στη χωρητικότητα του ταμιευτήρα σε hm^3 (Storage capacity) βρίσκεται στα +505 m, η αρχική στάθμη (Initial level), που αντιστοιχεί στον αρχικό όγκο του ταμιευτήρα σε hm^3 (Initial volume) κατά την εκκίνηση της προσομοίωσης, ορίζεται στα +481,6 m και η στάθμη υδροληψίας (Intake level) που αντιστοιχεί στο νεκρό όγκο του ταμιευτήρα σε hm^3 (Dead volume) είναι στα +458,5 m. Ο ταμιευτήρας δεν παρουσιάζει υπόγειες διαφυγές, το απόθεμά του υπολογίζεται συναρτήσει της στάθμης του (πίνακας Α1, παράρτημα Α) και η διαχείρισή του πραγματοποιείται με βάση τον παραμετρικό κανόνα λειτουργίας.

Η φόρμα δεδομένων του ταμιευτήρα Ευήνου παρουσιάζεται στο σχήμα 5.4.

The screenshot shows the 'Reservoir' software interface with the following data entries:

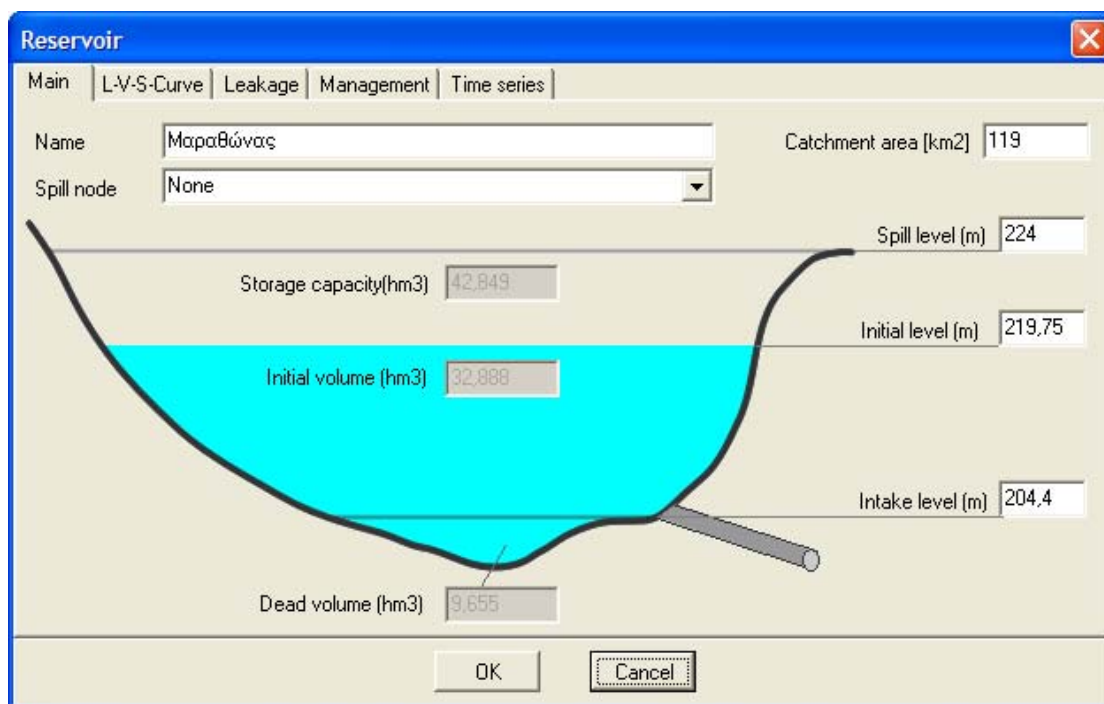
Field	Value
Name	Εύηνος
Catchment area [km ²]	352
Spill node	None
Spill level (m)	505
Storage capacity(hm ³)	137,632
Initial level (m)	481,6
Initial volume (hm ³)	68,316
Intake level (m)	458,5
Dead volume (hm ³)	25,768

Σχήμα 5.4: Φόρμα δεδομένων ταμιευτήρα Ευήνου
(α) βασικό φύλλο δεδομένων

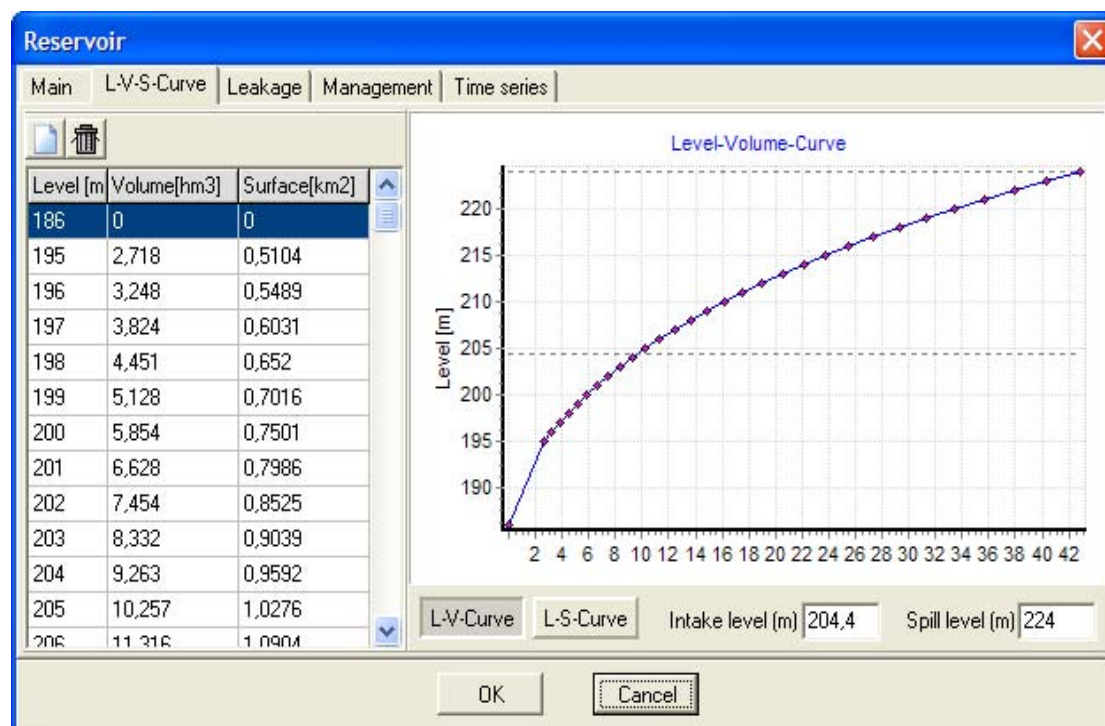


Σχήμα 5.4: Φόρμα δεδομένων ταμιευτήρα Ευήνου (β) φύλλο καμπλών στάθμης-όγκου-επιφάνειας

Η κατώτατη στάθμη υδροληψίας του **ταμιευτήρα Μαραθώνα** βρίσκεται στα +204,4 m, η στάθμη υπερχειλίσης στα +224 m, ενώ η έκταση της λεκάνης απορροής του ανέρχεται σε 119 km². Η αρχική του στάθμη ορίζεται στα +219,75 m. Ο ταμιευτήρας δεν παρουσιάζει υπόγειες διαφυγές, το απόθεμά του υπολογίζεται συναρτήσει της στάθμης του (πίνακας Α2, παράρτημα Α) και η διαχείρισή του πραγματοποιείται με σταθερούς όγκους-στόχους. Η φόρμα δεδομένων του ταμιευτήρα Μαραθώνα παρουσιάζεται στο σχήμα 5.5.



Σχήμα 5.5: Φόρμα δεδομένων ταμιευτήρα Μαραθώνα (α) βασικό φύλλο δεδομένων

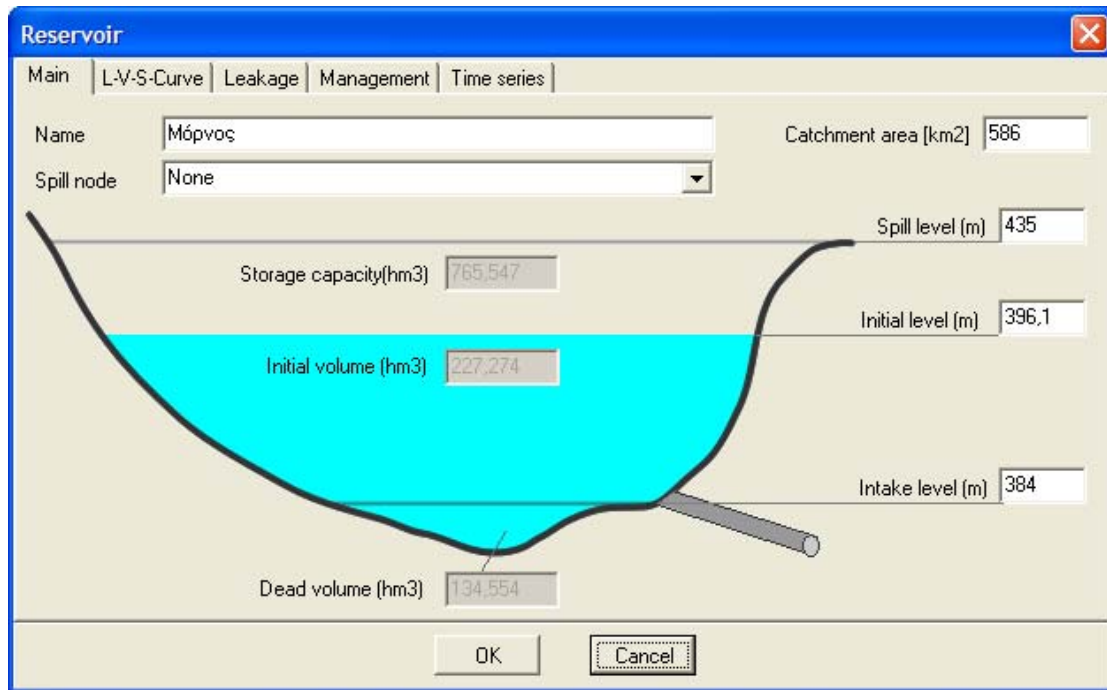


Σχήμα 5.5: Φόρμα δεδομένων ταμιευτήρα Μαραθώνα
(β) φύλλο καμπυλών στάθμης-όγκου-επιφάνειας

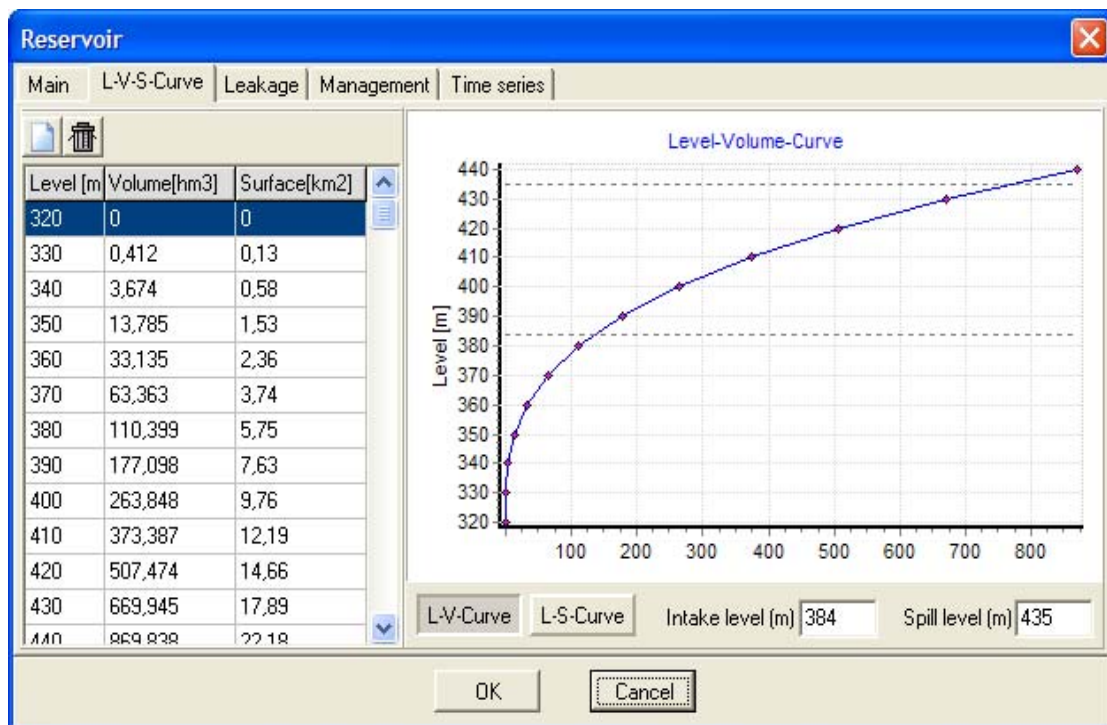
Η έκταση της λεκάνης απορροής του **ταμιευτήρα Μόρνου** ανέρχεται σε 586 km². Η κατώτατη στάθμη υδροληψίας του ταμιευτήρα βρίσκεται στα +384 m και η στάθμη υπερχειλίσης στα +435 m. Η αρχική του στάθμη ορίζεται στα +396,1 m. Ο ταμιευτήρας παρουσιάζει μικρές υπόγειες διαφυγές, το απόθεμά του υπολογίζεται συναρτήσει της στάθμης του (πίνακας Α3, παράρτημα Α) και η διαχείρισή του πραγματοποιείται με βάση τον παραμετρικό κανόνα λειτουργίας.

Οι υπόγειες διαφυγές του ταμιευτήρα καθορίζονται με παραμετρικό τρόπο από το φύλλο παραμέτρων υπόγειων διαφυγών της φόρμας. Η εξίσωση υπολογισμού υπογείων διαφυγών είναι: $\Delta = \alpha x^3 + \beta x^2 + \gamma x + \epsilon + \xi$, όπου Δ οι υπόγειες διαφυγές σε hm³, x η στάθμη του ταμιευτήρα σε m, α , β , γ και ϵ συντελεστές της εξίσωσης και ξ ένας τυχαίος όρος σφάλματος που θεωρείται ότι ακολουθεί κανονική κατανομή, μέση τιμή μηδέν και τυπική απόκλιση σ (σε hm³) (Καραβοκυρός κ.ά., 2007). Στον ταμιευτήρα του Μόρνου, για τον υπολογισμό των υπογείων διαφυγών, οι τιμές των συντελεστών γ και ϵ ορίζονται, αντίστοιχα, σε 0,023348 και -8,97 και για τους δώδεκα μήνες του έτους. Σημειώνεται ωστόσο, ότι, για όλους τους συντελεστές της εξίσωσης και την τυπική απόκλιση, είναι δυνατή η καταχώριση ξεχωριστών τιμών για κάθε μήνα του έτους.

Η φόρμα δεδομένων του ταμιευτήρα Μόρνου παρουσιάζεται στο σχήμα 5.6.



Σχήμα 5.6: Φόρμα δεδομένων ταμιευτήρα Μόρνου
(α) βασικό φύλλο δεδομένων



Σχήμα 5.6: Φόρμα δεδομένων ταμιευτήρα Μόρνου
(β) φύλλο καμπυλών στάθμης-όγκου-επιφάνειας

Reservoir

Main | L-V-S-Curve | Leakage | Management | Time series

$\Delta = ax^3 + \beta x^2 + \gamma x + \delta + \varepsilon$ Δ : Leakage a, β, γ, δ : Coefficients
 x : Water Level ε : Random error with standard deviation σ

Month	Coefficient α	Coefficient β	Coefficient γ	Coefficient δ	Std. dev. σ
1	0	0	0,023348	-8,97	0
2	0	0	0,023348	-8,97	0
3	0	0	0,023348	-8,97	0
4	0	0	0,023348	-8,97	0
5	0	0	0,023348	-8,97	0
6	0	0	0,023348	-8,97	0
7	0	0	0,023348	-8,97	0
8	0	0	0,023348	-8,97	0
9	0	0	0,023348	-8,97	0
10	0	0	0,023348	-8,97	0
11	0	0	0,023348	-8,97	0
12	0	0	0,023348	-8,97	0

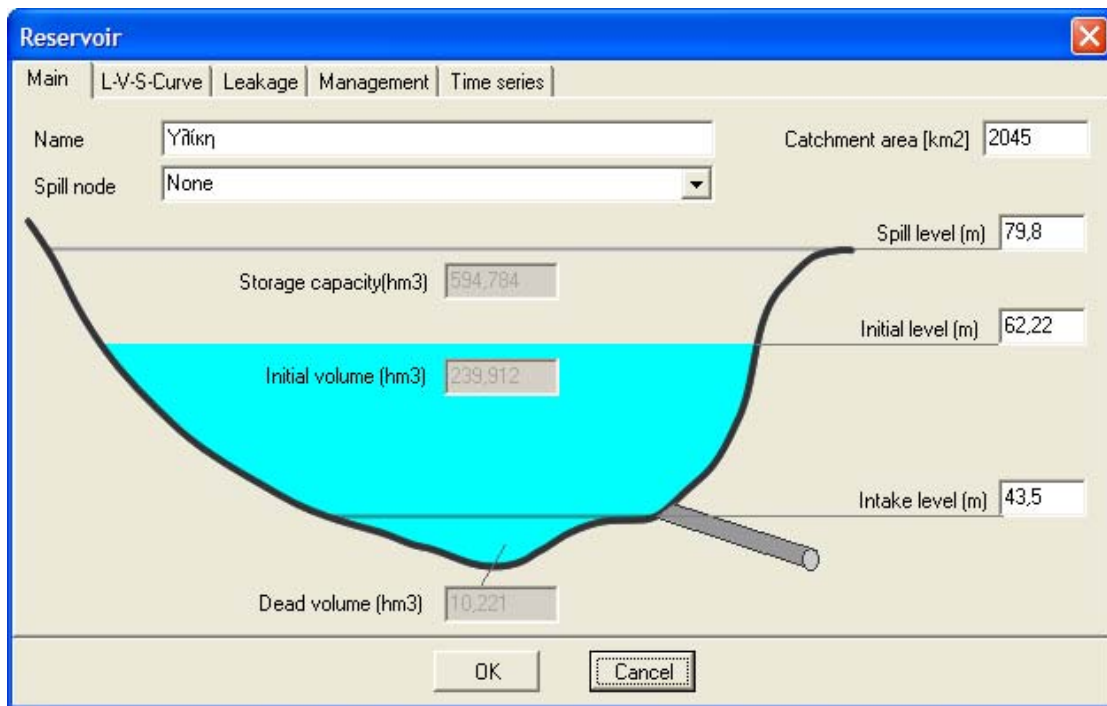
OK Cancel

Σχήμα 5.6: Φόρμα δεδομένων ταμιευτήρα Μόρνου
(γ) φύλλο δεδομένων υπόγειων διαφυγών

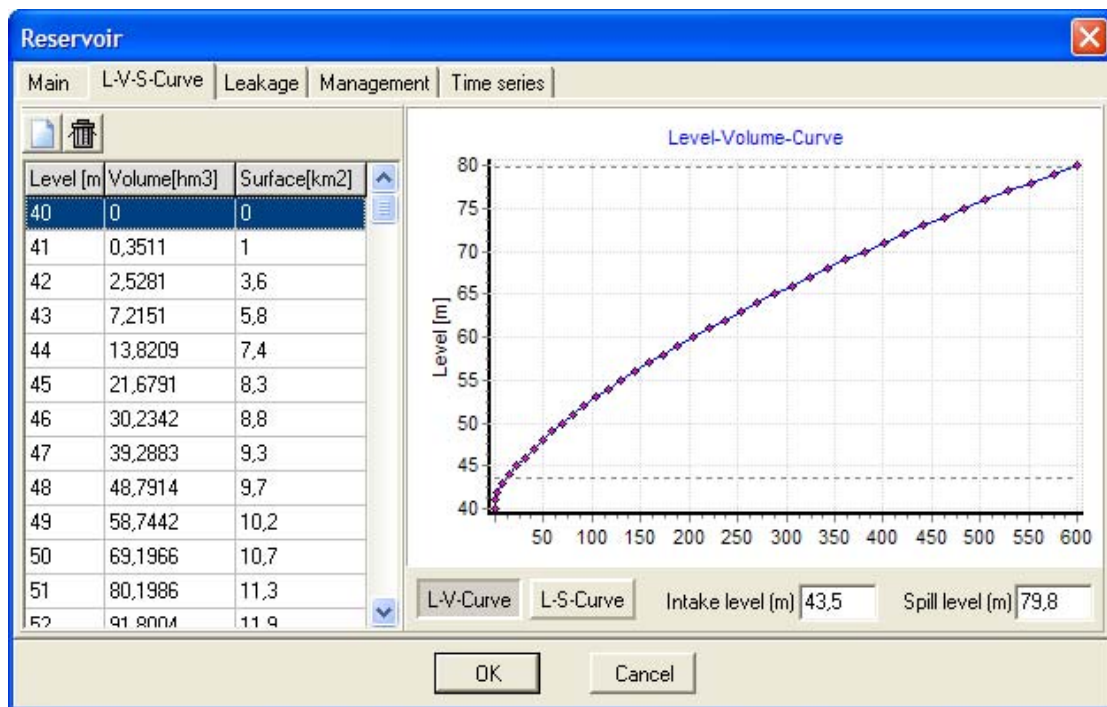
Η κατώτατη στάθμη υδροληψίας του **ταμιευτήρα Υλίκης** βρίσκεται στα +43,5 m, η στάθμη υπερχειλίσης στα +79,8 m, ενώ η έκταση της λεκάνης απορροής του ανέρχεται σε 2045 km². Η αρχική του στάθμη ορίζεται στα +62,22 m. Ο ταμιευτήρας παρουσιάζει υπόγειες διαφυγές, το απόθεμά του υπολογίζεται συναρτήσει της στάθμης του (πίνακας A4, παράρτημα Α) και η διαχείρισή του πραγματοποιείται με βάση τον παραμετρικό κανόνα λειτουργίας.

Οι υπόγειες διαφυγές του ταμιευτήρα καθορίζονται με παραμετρικό τρόπο από το φύλλο παραμέτρων υπόγειων διαφυγών της φόρμας με την εξίσωση υπολογισμού των υπογείων διαφυγών $\Delta = ax^3 + \beta x^2 + \gamma x + \varepsilon + \xi$. Ο συντελεστής γ ορίζεται και για τους δώδεκα μήνες του έτους, σε 0,545, ο συντελεστής ε ορίζεται σε -26,68 πέραν των μηνών Μάρτιο έως και Ιούλιο, που η τιμή του είναι -21,8 και η τυπική απόκλιση σ ανέρχεται σε 3,6 εκτός από τους μήνες Μάρτιο έως και Ιούλιο (3,7).

Η φόρμα δεδομένων του ταμιευτήρα Υλίκης παρατίθεται στο σχήμα 5.7.



Σχήμα 5.7: Φόρμα δεδομένων ταμιευτήρα Υλίκης (α) βασικό φύλλο δεδομένων



Σχήμα 5.7: Φόρμα δεδομένων ταμιευτήρα Υλίκης (β) φύλλο καμπυλών στάθμης-όγκου-επιφάνειας

Reservoir

Main | L-V-S-Curve | Leakage | Management | Time series

$$\Delta = \alpha x^3 + \beta x^2 + \gamma x + \delta + \varepsilon$$

Δ : Leakage $\alpha, \beta, \gamma, \delta$: Coefficients
 x : Water Level ε : Random error with standard deviation σ

Month	Coefficient α	Coefficient β	Coefficient γ	Coefficient δ	Std. dev. σ
1	0	0	0,545	-26,6	3,6
2	0	0	0,545	-26,6	3,6
3	0	0	0,545	-21,8	3,7
4	0	0	0,545	-21,8	3,7
5	0	0	0,545	-21,8	3,7
6	0	0	0,545	-21,8	3,7
7	0	0	0,545	-21,8	3,7
8	0	0	0,545	-26,6	3,6
9	0	0	0,545	-26,6	3,6
10	0	0	0,545	-26,6	3,6
11	0	0	0,545	-26,6	3,6
12	0	0	0,545	-26,6	3,6

OK Cancel

Σχήμα 5.7: Φόρμα δεδομένων ταμιευτήρα Υλίκης
(γ) φύλλο δεδομένων υπόγειων διαφυγών

5.3.3 Γεωτρήσεις

Ως γεώτρηση (Borehole), νοείται ένα εννοιολογικό αντικείμενο, που περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα έργα υδροληψίας, από υπόγειους υδροφορείς (Καραβοκυρός κ.ά., 2004). Στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, οι γεωτρήσεις αντιμετωπίζονται ως εφεδρικοί πόροι και το δυναμικό τους θεωρείται κατά προσέγγιση σταθερό. Ως προς τη μοντελοποίησή τους, οι γεωτρήσεις ομαδοποιούνται, ώστε να αναπαριστούν τη συνολική απόληψη (άντληση) νερού, από κάθε υδραυλικά ανεξάρτητο υπόγειο σύστημα (υδροφορέα).

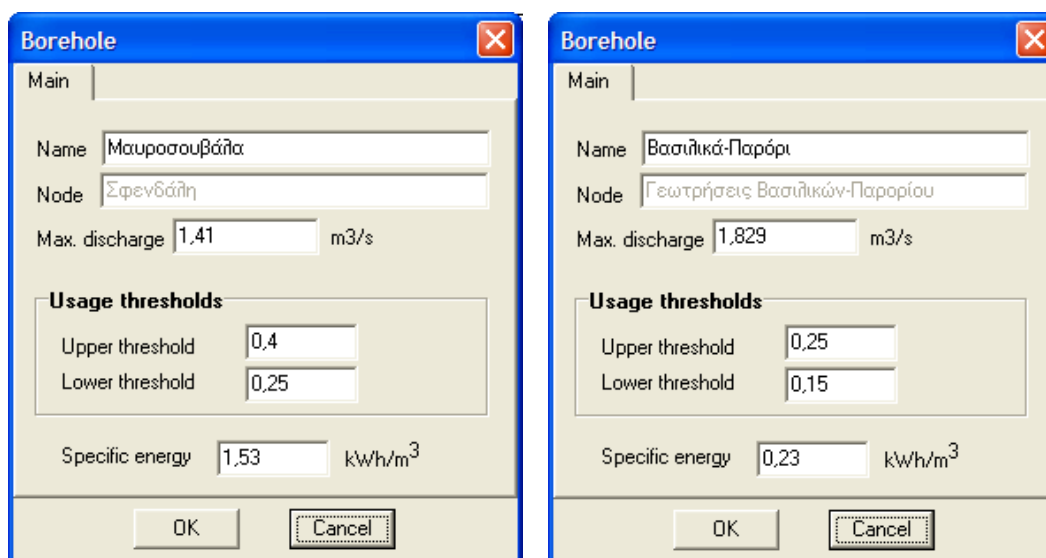
Κατά τη σχηματοποίηση μιας γεώτρησης, προσδιορίζονται η ονομασία της, η μέγιστη παροχή που μπορεί να αντληθεί από τον υπόγειο υδροφορέα (εφόσον πρόκειται για ομάδες γεωτρήσεων, στο πεδίο αναγράφεται η αθροιστική παροχεταιυτική τους ικανότητα) (Max. Discharge σε m^3/sec) και η ειδική ενέργεια (Specific energy) σε kWh/m^3 , η οποία εκφράζει την κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για την άντληση ενός κυβικού μέτρου νερού, από τον υπόγειο υδροφορέα.

Ανά ομάδα γεωτρήσεων, εισάγονται δύο παράμετροι τύπου κατωφλίου που εκφράζουν κρίσιμα όρια του ποσοστού πλήρωσης των ταμιευτήρων, των οποίων οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 1. Στην περίπτωση που το ποσοστό (=ολικό απόθεμα/ολική χωρητικότητα) υπερβαίνει το άνω όριο, απαγορεύεται η χρήση της συγκεκριμένης ομάδας και οι απολήψεις νερού πραγματοποιούνται αποκλειστικά από τους ταμιευτήρες, ενώ αν το ποσοστό είναι μικρότερο από το κάτω όριο, επιβάλλεται η χρήση της συγκεκριμένης ομάδας, ανεξαρτήτως κόστους. Σε ενδιάμεσες τιμές πάλι, η ομάδα γεωτρήσεων ενεργοποιείται ή όχι με βάση οικονομικά κριτήρια (κατανάλωση ενέργειας) (Ευστρατιάδης, 2008).

Στο μοντέλο που αναπαριστά το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, εισάγονται οι ακόλουθες 6 ομάδες γεωτρήσεων με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Βασιλικών-Παρορίου, με μέση δυναμικότητα (σε μηνιαία βάση) $1,83 \text{ m}^3/\text{s}$, ειδική ενέργεια $0,23 \text{ kWh/m}^3$ και άνω και κάτω όριο $0,25$ και $0,15$ αντίστοιχα·
- $10^{\text{ου}}$ σίφωνα, με μέση δυναμικότητα (σε μηνιαία βάση) $0,314 \text{ m}^3/\text{s}$, ειδική ενέργεια $1,05 \text{ kWh/m}^3$ και άνω και κάτω όριο $0,4$ και $0,25$ αντίστοιχα·
- Μαυροσουβάλας, με μέση δυναμικότητα (σε μηνιαία βάση) $1,41 \text{ m}^3/\text{s}$, ειδική ενέργεια $1,53 \text{ kWh/m}^3$ και άνω και κάτω όριο $0,4$ και $0,25$ αντίστοιχα·
- Νο3, με μέση δυναμικότητα (σε μηνιαία βάση) $0,341 \text{ m}^3/\text{s}$, ειδική ενέργεια $1,3 \text{ kWh/m}^3$ και άνω και κάτω όριο $0,4$ και $0,25$ αντίστοιχα·
- Ούγγρων-ΝΔ Υλίκης, με μέση δυναμικότητα (σε μηνιαία βάση) $2,023 \text{ m}^3/\text{s}$, ειδική ενέργεια $0,52 \text{ kWh/m}^3$ και άνω και κάτω όριο $0,4$ και $0,25$ αντίστοιχα·
- Ταξιαρχών, με μέση δυναμικότητα (σε μηνιαία βάση) $0,537 \text{ m}^3/\text{s}$, ειδική ενέργεια $0,68 \text{ kWh/m}^3$ και άνω και κάτω όριο $0,25$ και $0,15$ αντίστοιχα·

Κατά τη θερινή περίοδο (Ιούνιος-Σεπτέμβριος), από τη συνολική δυναμικότητα των γεωτρήσεων της Μαυροσουβάλας, εξαιρείται εκείνη η παροχή που υπολογίζεται ότι αποτελεί συνεισφορά της ΕΥΔΑΠ σε τοπικούς οικισμούς και δεν καταλήγει στο δίκτυο ύδρευσης της Αθήνας, η οποία ανέρχεται σε $0,13 \text{ m}^3/\text{s}$. Οι ομάδες γεωτρήσεων Βασιλικών-Παρορίου και Ταξιαρχών, χρησιμοποιούνται μόνο την περίοδο Ιανουαρίου-Ιουνίου, ενώ συγκριτικά με τις υπόλοιπες ομάδες γεωτρήσεων διαθέτουν χαμηλότερα κατώφλια, δεδομένου ότι θεωρούνται δεύτερη εφεδρεία και γίνεται χρήση τους, μόνο σε περιπτώσεις απόλυτης ανάγκης. Οι λοιπές ομάδες γεωτρήσεων της ΕΥΔΑΠ καθώς και το μικρό φράγμα υδροληψίας του Αγίου Θωμά, δε λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο. Στο σχήμα 5.8 παρατίθενται οι φόρμες δεδομένων δύο εκ των 6 ομάδων γεωτρήσεων (Μαυροσουβάλα, Βασιλικά-Παρόρι). Οι φόρμες δεδομένων των υπολοίπων ομάδων γεωτρήσεων βρίσκονται στο παράρτημα Α.



Σχήμα 5.8: Φόρμες δεδομένων γεωτρήσεων Μαυροσουβάλας και Βασιλικών-Παρορίου

5.3.4 Υδραγωγεία

Ως υδραγωγείο (Aqueduct), νοείται το εννοιολογικό αντικείμενο που συνδέει έναν κόμβο μεγαλύτερου ενεργειακού υψομέτρου (ανάντη κόμβος), με έναν κόμβο μικρότερου ενεργειακού υψομέτρου (κατάντη κόμβος), καθορίζοντας έτσι μονοσήμαντα τη φορά ροής του νερού. Ένα υδραγωγείο, μπορεί να αντιπροσωπεύει ένα μεμονωμένο αγωγό ή ένα σύστημα αγωγών σε σειρά, όπως για παράδειγμα σωληνωτούς αγωγούς, διώρυγες, σήραγγες και σίφωνες. Ένα υδραγωγείο, ως εξαρτημένη συνιστώσα του δικτύου, ορίζεται από τις ανάντη και κατάντη συνιστώσες δικτύου, οι οποίες μπορεί να είναι κόμβος, κόμβος υδατορεύματος ή ταμιευτήρας.

Στη φόρμα δεδομένων υδραγωγείου στο μοντέλο του Υδρονομέα, αναγράφονται οι εξής χαρακτηριστικές ιδιότητες: α) η ονομασία του υδραγωγείου (Name), β) ο ανάντη και ο κατάντη κόμβος που ορίζουν το υδραγωγείο (Upstream node, Downstream node), γ) οι στάθμες τροφοδοσίας και εξαγωγής του υδραγωγείου (Inlet level, Outlet level) σε m, που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ύψους πτώσης, στην περίπτωση μεταβλητής παροχетеυτικότητας και για τον υπολογισμό της παραγωγής/κατανάλωσης ενέργειας κατά τη μεταφορά νερού μέσω στροβίλων/αντλιοστασίων, ενώ όταν ο ανάντη κόμβος είναι ταμιευτήρας, τότε η στάθμη τροφοδοσίας δίνεται από τη στάθμη του ταμιευτήρα και η στάθμη του πεδίου Inlet level δε λαμβάνεται υπόψη, δ) η μεταβλητή Variable outlet level, η οποία έχει νόημα μόνο στην περίπτωση που ο κατάντη κόμβος είναι ταμιευτήρας, οπότε εάν είναι αληθής το υψόμετρο εξαγωγής του αγωγού, ταυτίζεται με τη στάθμη του εν λόγω ταμιευτήρα, ε) η περιοχή συντελεστή διαρροής (Leakage coefficient), όπου εισάγεται η τιμή του συντελεστή διαρροής, ο οποίος μπορεί είτε να είναι σταθερός, είτε να μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου και στ) η περιοχή δεδομένων παροχетеυτικότητας (Discharge capacity), όπου εισάγονται η τιμή της παροχетеυτικότητας, η οποία μπορεί είτε να είναι σταθερή, είτε να είναι μεταβλητή με το ύψος πτώσης, είτε τέλος να είναι μεταβλητή με το ύψος πτώσης και το χρόνο, καθώς και ο συντελεστής μείωσης της παροχетеυτικότητας (Reduction coefficient) που λαμβάνει υπόψη χρονικούς περιορισμούς (πραγματικούς ή εικονικούς) στη χρήση του υδραγωγείου και παίρνει τιμές από 0 έως 1.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι ο Υδρονομέας παρέχει και τη δυνατότητα άρσης της παροχетеυτικότητας των υδραγωγείων, με την εντολή Unlimited discharge capacity στο φύλλο προσομοίωσης (Simulation) της φόρμας επιλογών. Η επιλογή αυτή είναι χρήσιμη στον υπολογισμό του θεωρητικού δυναμικού του υδροσυστήματος, εξαιρουμένου του φυσικού περιορισμού της παροχетеυτικότητας και χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη περίπτωσης (case study) της παρούσας εργασίας.

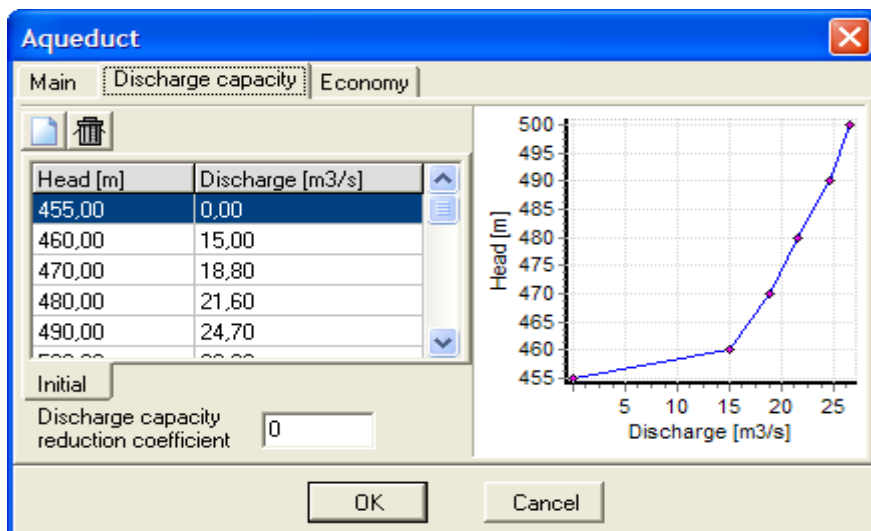
Στο τελευταίο φύλλο της φόρμας υδραγωγείου (economy), μπορούν να δοθούν κάποια οικονομικά στοιχεία, τα οποία ενδέχεται να επηρεάσουν την προσομοίωση. Πρόκειται για ιδεατά κόστη που δεν έχουν απαραίτητα αντιστοίχιση σε πραγματικό κόστος και

συγκεκριμένα: α) το κόστος ενεργοποίησης (Activation cost), πάγιο κόστος που χρεώνεται σε κάθε χρονικό βήμα, κατά το οποίο χρησιμοποιείται το συγκεκριμένο υδραγωγείο και β) το κόστος μεταφοράς (Transportation cost), που χρεώνεται για τη μεταφορά κάθε κυβικού μέτρου νερού. Μέσω των οικονομικών στοιχείων, μπορεί να επηρεαστεί η χρήση του συγκεκριμένου υδραγωγείου, σε σχέση με άλλα παράλληλα υδραγωγεία, κατά την προσομοίωση. Έτσι, ορίζοντας μια θετική τιμή κόστους, αποτρέπεται η χρήση του υδραγωγείου (μιας διαδρομής), εφόσον υπάρχουν εναλλακτικές δυνατότητες ή ορίζοντας ένα αρνητικό κόστος (όφελος), προτιμάται το συγκεκριμένο υδραγωγείο (διαδρομή), σε σχέση με άλλα, με μεγαλύτερο κόστος. Όλα τα υδραγωγεία έχουν μηδενικό κόστος, ως τυπική τιμή.

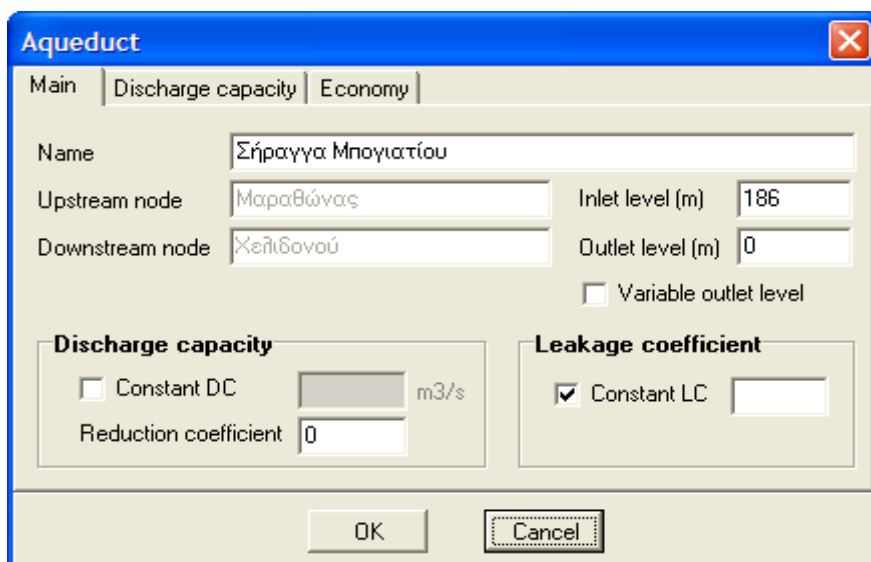
Η σχηματοποίηση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας περιλαμβάνει 57 κλάδους, εκ των οποίων οι 44 αποτελούν υδραγωγεία και οι 13 αντλιοστάσια. Οι φόρμες δεδομένων όλων των υδραγωγείων, παρουσιάζονται στο παράρτημα Α, ενώ στη συνέχεια (σχήματα 5.9, 5.10) παρατίθενται ενδεικτικά οι φόρμες δεδομένων των σηράγγων Ευήνου-Μόρνου και Μπογιατίου, η παροχτευτικότητα των οποίων είναι συνάρτηση της στάθμης των ανάντη ταμιευτήρων Ευήνου και Μαραθώνα, αντίστοιχα. Σε όλα τα υπόλοιπα υδραγωγεία, η παροχτευτικότητα παραμένει σταθερή.

The image shows a software window titled "Aqueduct" with three tabs: "Main", "Discharge capacity", and "Economy". The "Main" tab is active. The "Name" field contains "Εύηνος-Μόρνος". The "Upstream node" field contains "Εύηνος" and the "Inlet level (m)" field contains "500". The "Downstream node" field contains "Μόρνος" and the "Outlet level (m)" field contains "0". There is a checkbox for "Variable outlet level" which is unchecked. Below these fields are two sections: "Discharge capacity" and "Leakage coefficient". In the "Discharge capacity" section, the "Constant DC" checkbox is unchecked, and the "Reduction coefficient" field contains "0". In the "Leakage coefficient" section, the "Constant LC" checkbox is checked.

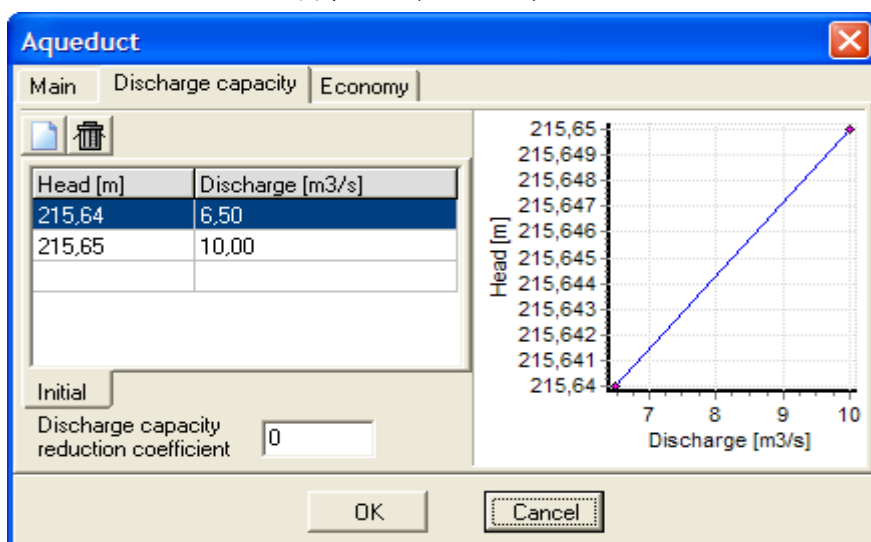
Σχήμα 5.9: Φόρμα δεδομένων σήραγγας Ευήνου-Μόρνου
(α) βασικό φύλλο δεδομένων



Σχήμα 5.9: Φόρμα δεδομένων σήραγγας Ενίγνου-Μόρνου (β) φύλλο δεδομένων παροχευτικότητας



Σχήμα 5.10: Φόρμα δεδομένων σήραγγας Μπογιατίου (α) βασικό φύλλο δεδομένων



Σχήμα 5.10: Φόρμα δεδομένων σήραγγας Μπογιατίου (β) φύλλο δεδομένων παροχευτικότητας

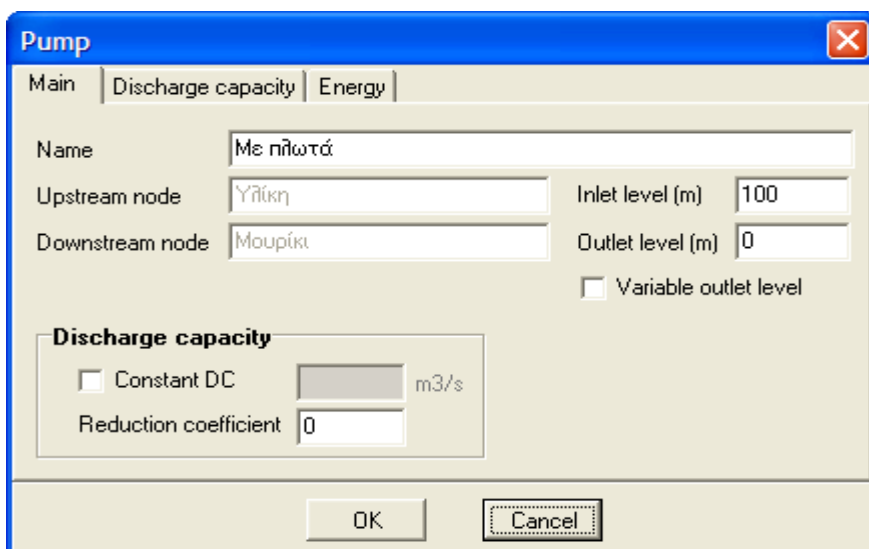
5.3.5 Αντλιοστάσια

Ένα αντλιοστάσιο (Pump) μεταφέρει νερό, από ένα σημείο του δικτύου σε ένα άλλο, καταναλώνοντας παράλληλα ενέργεια. Στον Υδρονομέα, το αντλιοστάσιο αναπαρίσταται στο μοντέλο, ως ένα υδραγωγείο με επιπρόσθετα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας. Αντίστοιχα με ένα υδραγωγείο, το αντλιοστάσιο ως εξαρτημένη συνιστώσα του δικτύου ορίζεται στο μοντέλο από τις ανάντη και κατάντη συνιστώσες δικτύου (κόμβος, κόμβος υδατορεύματος, ταμιευτήρας).

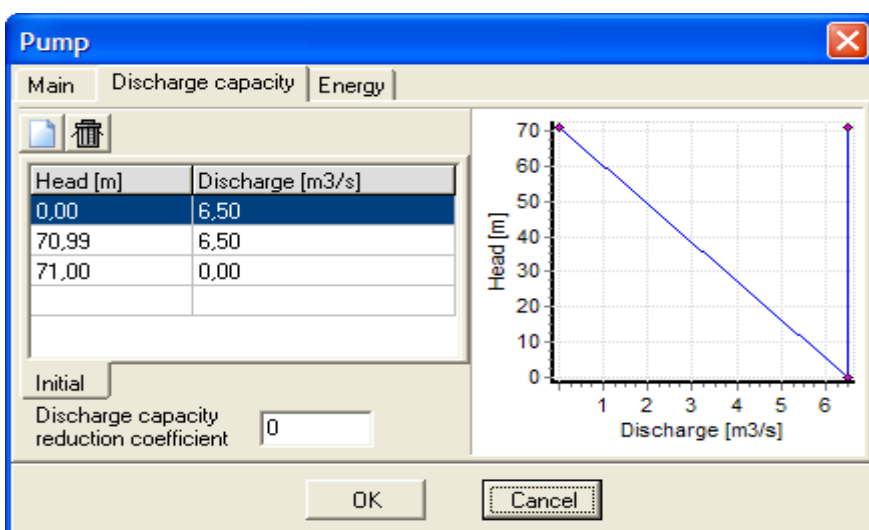
Η φόρμα δεδομένων αντλιοστασίου είναι αντίστοιχη με τη φόρμα δεδομένων υδραγωγείου, με τη διαφορά ότι: α) τα αντλιοστάσια δεν έχουν διαρροές στο μοντέλο και άρα στη φόρμα δεν υπάρχει πρόβλεψη για εισαγωγή τιμής συντελεστή διαρροής και, β) η κατανάλωση ενέργειας ορίζεται με βάση έναν συντελεστή ειδικής ενέργειας (συντελεστής ψ), από το φύλλο ενέργειας (Energy). Η κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία του αντλιοστασίου, μεταβάλλεται συναρτήσει του ύψους πτώσης, δηλαδή της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ του ανάντη και του κατάντη κόμβου ή ταμιευτήρα. Στην περίπτωση αυτή, η κατανάλωση ενέργειας δίνεται από τη σχέση $E = \psi \cdot V \cdot \Delta h$, όπου V ο διερχόμενος όγκος νερού από το αντλιοστάσιο και Δh το ύψος πτώσης. Η κατανάλωση ενέργειας δίνεται σε GWh, ενώ η τιμή του συντελεστή ψ δίνεται σε GWh/hm^4 , και είναι εξ ορισμού μεγαλύτερη από τη θεωρητική ποσότητα 0,2725 (η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε μηδενικές ενεργειακές απώλειες και μοναδιαίο συντελεστή απόδοσης του αντλιοστασίου).

Το κόστος λειτουργίας των αντλιοστασίων λαμβάνεται υπόψη στο μοντέλο, στο οποίο εισάγεται ως κόστος ανά μονάδα μεταφερόμενου όγκου νερού στους αντίστοιχους κλάδους. Το κόστος αυτό αποτιμάται σε μονάδες καταναλισκόμενης ενέργειας. Όταν η ροή γίνεται με βαρύτητα, το κόστος μεταφοράς είναι μηδενικό.

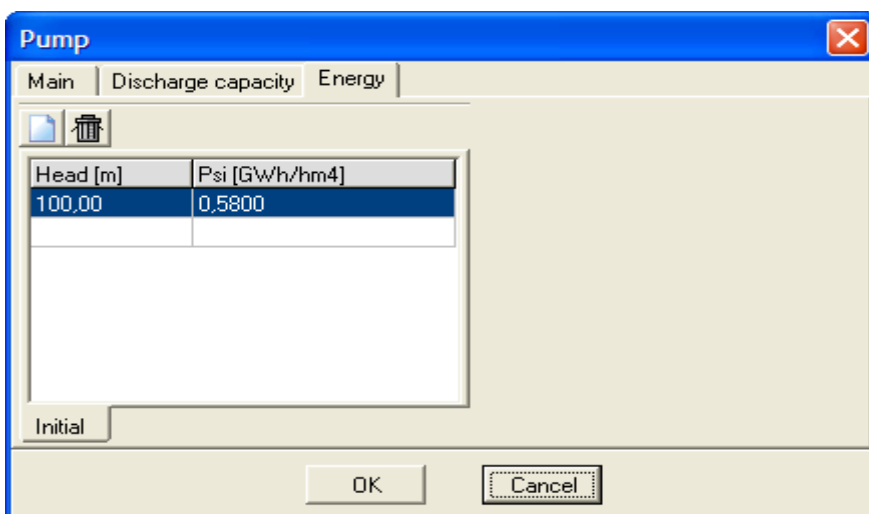
Στο μοντέλο αναπαράστασης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, τα αντλιοστάσια ανέρχονται σε 13. Οι φόρμες δεδομένων όλων των αντλιοστασίων παρατίθενται στο παράρτημα Α. Ενδεικτικά στα παρακάτω σχήματα (σχήματα 5.11, 5.12) παρουσιάζονται οι φόρμες δεδομένων των δύο κλάδων κατάντη της Υλίκης, εκ των οποίων ο πρώτος προσομοιώνει τη λειτουργία των πλωτών αντλιοστασίων για στάθμες χαμηλότερες από +71,0m (με πλωτά) και ο δεύτερος τη λειτουργία του κυρίου αντλιοστασίου της λίμνης (χωρίς πλωτά-αντλιοστάσιο Μουρικού). Οι φόρμες των υπολοίπων αντλιοστασίων εμφανίζονται στο παράρτημα Α.



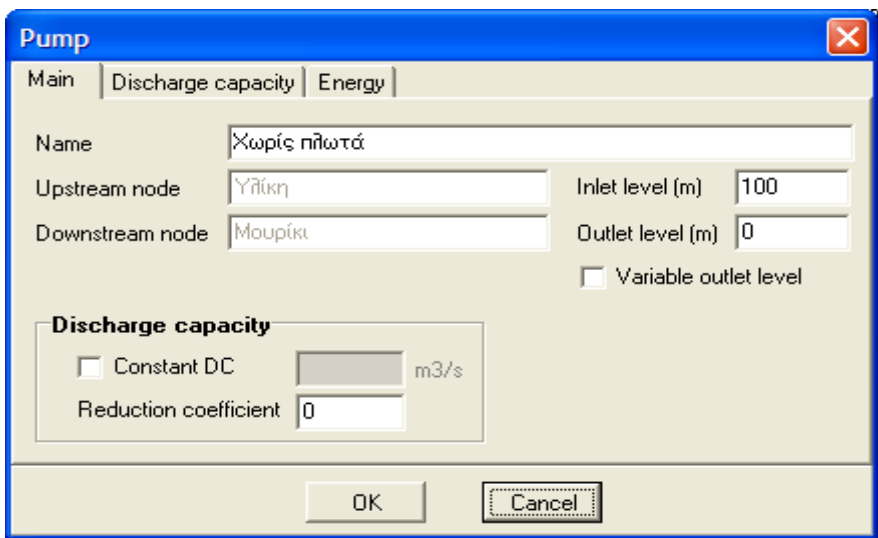
Σχήμα 5.11: Φόρμα δεδομένων πλοτών αντλιοστασίων Υλίκης (α) βασικό φύλλο δεδομένων



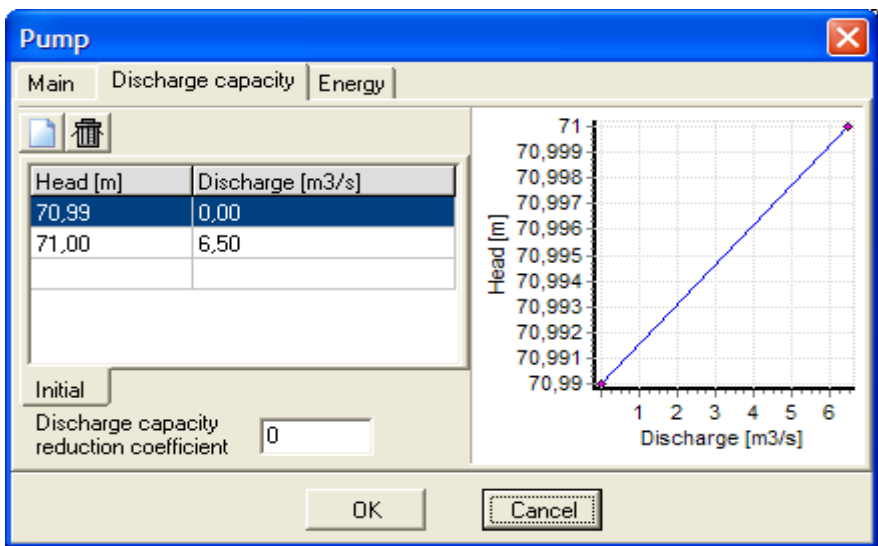
Σχήμα 5.11: Φόρμα δεδομένων πλοτών αντλιοστασίων Υλίκης (β) φύλλο δεδομένων παροχετευτικότητας



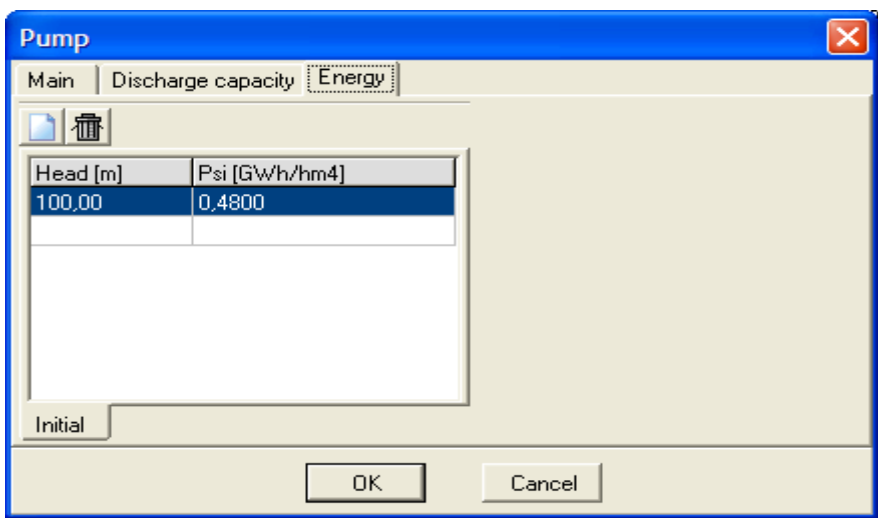
Σχήμα 5.11: Φόρμα δεδομένων πλοτών αντλιοστασίων Υλίκης (γ) φύλλο δεδομένων ενέργειας



Σχήμα 5.12: Φόρμα δεδομένων κυρίου αντλιοστασίου Υλίκης (χωρίς πλωτά) (α) βασικό φύλλο δεδομένων



Σχήμα 5.12: Φόρμα δεδομένων κυρίου αντλιοστασίου Υλίκης (χωρίς πλωτά) (β) φύλλο δεδομένων παροχευτικότητας



Σχήμα 5.12: Φόρμα δεδομένων κυρίου αντλιοστασίου Υλίκης (χωρίς πλωτά) (γ) φύλλο δεδομένων ενέργειας

5.4 ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

Στις συνιστώσες του υδροσυστήματος, είναι δυνατός ο ορισμός στόχων, δηλαδή χρήσεων νερού, και λειτουργικών περιορισμών, με τη μορφή επιθυμητών ορίων σε μεταβλητές, από τις ακόλουθες κατηγορίες (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007):

- επιθυμητή απόληψη νερού για άρδευση, ύδρευση ή άλλη χρήση, που αναφέρεται σε κόμβο ή ταμιευτήρα·
- αποφυγή απωλειών νερού λόγω υπερχειλίσης, που αναφέρεται σε ταμιευτήρα·
- διατήρηση του αποθέματος ταμιευτήρα μεταξύ μιας ελάχιστης και μιας μέγιστης επιθυμητής τιμής·
- διατήρηση παροχής μεταξύ μιας ελάχιστης και μιας μέγιστης επιθυμητής τιμής, που αναφέρονται σε υδραγωγείο ή υδατόρευμα·
- παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας σε στρόβιλο.

Οι επιχειρησιακοί στόχοι του συστήματος ορίζονται κατά σειρά προτεραιότητας (επίπεδο προτεραιότητας από 1 έως 8), ώστε σε περίπτωση ανεπαρκών αποθεμάτων το μοντέλο να ικανοποιεί μόνο τους στόχους υψηλής προτεραιότητας. Οι τιμές των στόχων μπορούν να μεταβάλλονται τόσο εποχιακά (από μήνα σε μήνα) όσο και διαχρονικά (από έτος σε έτος). Για την επίτευξη των στόχων και περιορισμών, δεν απαιτείται ο εκ των προτέρων προκαθορισμός του τρόπου μεταφοράς νερού ή της κατανομής των υδατικών πόρων στο δίκτυο. Σε κάθε χρονικό βήμα, το μοντέλο προσομοίωσης εκτιμά την πλέον πρόσφορη κατανομή των διαθέσιμων υδατικών πόρων, βελτιστοποιώντας τις απολήψεις από κάθε θέση προσφοράς και τον τρόπο μεταφοράς τους για την ικανοποίηση των στόχων και περιορισμών, με τη δεδομένη σειρά προτεραιότητας. Σε περίπτωση που σε κάποιο χρονικό βήμα (μήνας) δεν είναι δυνατή η πλήρης εξυπηρέτηση κάποιου στόχου, τότε καταγράφεται αστοχία εξυπηρέτησης του στόχου τον εν λόγω μήνα και υπολογίζεται το αντίστοιχο έλλειμμα. Ταυτόχρονα, καταγράφεται αστοχία και σε ετήσια κλίμακα, καθώς θεωρείται ότι αν έστω και ένας μήνας του έτους είναι ελλειμματικός, τότε όλο το έτος χαρακτηρίζεται ελλειμματικό. Στο πέρας της προσομοίωσης, το μοντέλο αθροίζει τις αστοχίες και τα ελλείμματα, και βάσει αυτών εκτιμά εμπειρικές πιθανότητες αστοχίας και άλλα στατιστικά μεγέθη.

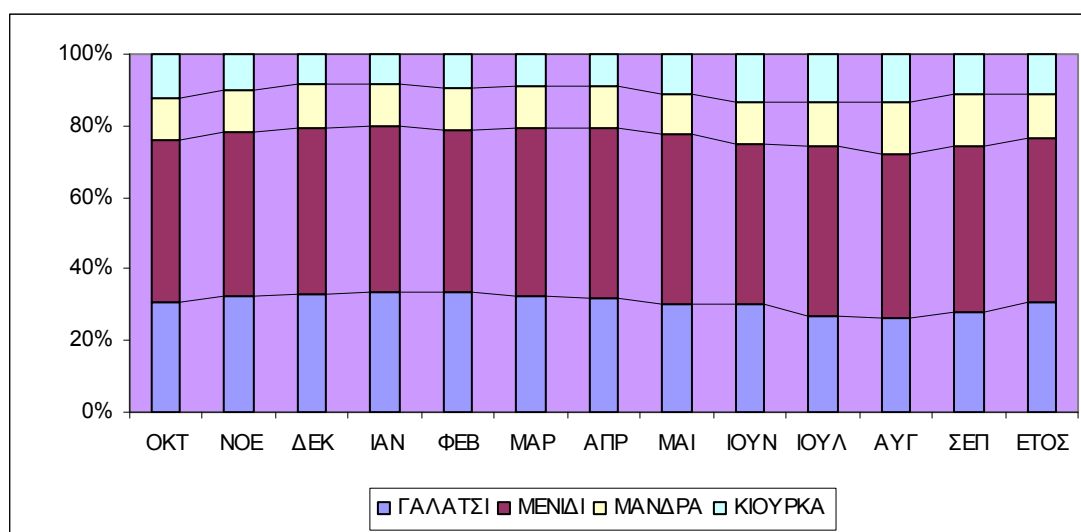
Στο μοντέλο που αναπαριστά το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας συνδυάζονται οι εξής ανταγωνιστικοί στόχοι: α) ύδρευση Αθηνών, επιμερισμένη κατάντη των τεσσάρων μονάδων επεξεργασίας νερού (Μενίδι, Γαλάτσι, Κιούρκα, Μάνδρα), β) αποφυγή υπερχειλίσης ταμιευτήρα Μαραθώνα, γ) διατήρηση περιβαλλοντικής παροχής $1 \text{ m}^3/\text{s}$ κατάντη φράγματος Ευήνου, δ) θέσπιση επιθυμητών ορίων διακύμανσης του αποθέματος Μαραθώνα (μεταβλητών ανά μήνα), ε) διατήρηση κατωφλίων αποθέματος (μέγιστων, ελαχίστων) στο Μόρνο και τον Εύηνο (σταθερά όλο το χρόνο), στ) ύδρευση οικισμών και διαφόρων εγκαταστάσεων κατά μήκος των υδραγωγείων Μόρνου και Υλίκης και ζ) άρδευση Κωπαΐδας.

Ο κύριος στόχος του υδροσυστήματος είναι η κάλυψη της ζήτησης νερού στη μείζονα περιοχή Αθηνών, με τη μέγιστη αξιοπιστία και το ελάχιστο κόστος. Ως αποδεκτή αξιοπιστία θεωρείται το 99% που αντιστοιχεί σε ένα, κατά μέσο όρο, έτος με έλλειμμα νερού στην εκατονταετία. Κατά το υδρολογικό έτος 2007-08 η κατανάλωση νερού στην Αθήνα, καταμετρημένη στην έξοδο των τεσσάρων ΜΕΝ (Μενιδίου, Γαλατσίου, Κιούρκων, Μάνδρας), ανήλθε στα 425,8 hm³. Ως κατανομή της συνολικής ζήτησης στις επιμέρους περιοχές συμβατικά θεωρείται η αντίστοιχη κατανομή στα διυλιστήρια. Η κατανομή αυτή με βάση τα δεδομένα του υδρολογικού έτους 2007-2008, παρουσιάζεται στον πίνακα 5.2 και στο σχήμα 5.13.

Πίνακας 5.2: Συντελεστές χωρικής κατανομής της κατανάλωσης νερού στην Αθήνα ανά διυλιστήριο (%), με βάση τα στοιχεία του υδρολογικού έτους 2007-08.

ΜΗΝΑΣ	ΓΑΛΑΤΣΙ	ΜΕΝΙΔΙ	ΜΑΝΔΡΑ	ΚΙΟΥΡΚΑ
Οκτώβριος	30,6	45,4	11,9	12,1
Νοέμβριος	32,6	45,8	11,6	10,0
Δεκέμβριος	33,0	46,3	12,1	8,6
Ιανουάριος	33,4	46,2	12,0	8,4
Φεβρουάριος	33,4	45,2	12,0	9,3
Μάρτιος	32,5	47,0	11,8	8,7
Απρίλιος	32,1	47,0	11,8	9,1
Μάιος	30,3	47,1	11,4	11,2
Ιούνιος	29,9	45,1	11,8	13,2
Ιούλιος	27,1	46,9	12,4	13,5
Αύγουστος	26,2	45,7	14,4	13,7
Σεπτέμβριος	27,7	46,8	14,2	11,3

Πηγή: ΕΜΠ



Σχήμα 5.13: Σχηματική απεικόνιση της χωρικής κατανομής της κατανάλωσης νερού στην Αθήνα ανά διυλιστήριο (%), με βάση τα στοιχεία του υδρολογικού έτους 2007-2008.

Ο στόχος αποφυγής της υπερχειλίσης του ταμιευτήρα Μαραθώνα τίθεται σε απόλυτη προτεραιότητα, δεδομένου ότι σε μια τέτοια περίπτωση αναμένεται να προκληθούν πολύ σημαντικές ζημιές κατάντη του φράγματος.

Στον ταμιευτήρα Μαραθώνα, η μέγιστη χωρητικότητα του οποίου ανέρχεται σε 42,9 hm³, προβλέπεται η διατήρηση ενός ελάχιστου αποθέματος ασφαλείας αφενός για την κάλυψη της αυξημένης θερινής ζήτησης και αφετέρου για την αντιμετώπιση έκτακτων περιστατικών. Το ελάχιστο αυτό επιθυμητό απόθεμα στον ταμιευτήρα Μαραθώνα ορίζεται ίσο με 34,5 hm³ κατά το μήνα Μάιο, ο οποίος αντιστοιχεί στην έναρξη της θερινής περιόδου, και εν συνεχεία μειώνεται μέχρι τα 25,4 hm³ το μήνα Σεπτέμβριο. Από την άλλη πλευρά, η ανάγκη αποφυγής υπερχειλίσης του ταμιευτήρα, επιβάλλει τη διατήρηση του αποθέματος του κάτω από ένα ανώτατο όριο, το οποίο ορίζεται ίσο με 32 hm³ κατά τη χειμερινή περίοδο, για να ανέλθει, κατά τη θερινή περίοδο, στα 35 hm³. Κατά συνέπεια, διατηρείται ένα περιθώριο ασφαλείας που κυμαίνεται από 7,9 έως 10,9 hm³ για την αποθήκευση των πλημμυρικών απορροών στον ταμιευτήρα.

Για τον περιορισμό της πιθανότητας υπερχειλίσης των ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου, τίθενται, επίσης, ανώτατα όρια διακύμανσης του μικτού αποθέματος, ίσα με 650 hm³ και 110 hm³ αντίστοιχα, τα οποία θεωρούνται σταθερά για όλο το υδρολογικό έτος. Οι στόχοι ανώτατου αποθέματος για τους παραπάνω ταμιευτήρες έχουν χαμηλότερη προτεραιότητα σε σχέση με τον αντίστοιχο στόχο του Μαραθώνα, δεδομένου ότι μόνο η αποφυγή υπερχειλίσης του τελευταίου κρίνεται απόλυτα επιτακτική. Τέλος, ορίζεται ένας στόχος διατήρησης ενός ελάχιστου ωφέλιμου αποθέματος 150 hm³ στον ταμιευτήρα Μόρνου (μικτό 290 hm³), ποσότητα η οποία επαρκεί για να καλύψει τη ζήτηση έως και 5 μηνών, στην περίπτωση εξαιρετικά δυσμενών υδρολογικών συνθηκών.

Εκτός από τη μείζονα περιοχή Αθηνών, το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ εξυπηρετεί και ορισμένες τοπικές χρήσεις νερού, κυρίως για την ύδρευση των παρακείμενων στο κανάλι του Μόρνου οικισμών (ύδρευση οικισμών Κιθαιρώνα). Η ετήσια ζήτηση νερού στους οικισμούς ανέρχεται σε 6,3 hm³. Πέρα των απολήψεων κατά μήκος του υδραγωγείου του Μόρνου, πραγματοποιούνται απολήψεις και κατά μήκος του υδραγωγείου Υλίκης, και συγκεκριμένα στο τμήμα μεταξύ Κρεμμάδας και Βίλιζας. Οι εν λόγω απολήψεις ανέρχονται σε 3,2 hm³/έτος, και αφορούν τη ύδρευση παρακείμενων στο υδραγωγείο Υλίκης οικισμών, καθώς και στρατοπέδων και βιομηχανικών μονάδων.

Για την άμβλυνση των επιπτώσεων από τη λειτουργία του ταμιευτήρα Ευήνου, προβλέπεται η διατήρηση μόνιμης παραμένουσας ροής κατάντη του φράγματος Αγίου Δημητρίου ίσης με 1 m³/s ή 2,6 hm³/μήνα. Ο περιορισμός αυτός τίθεται στο μοντέλο με τη μορφή στόχου σταθερής απόληψης από τον ταμιευτήρα.

Το μοντέλο του υδροσυστήματος λαμβάνει υπόψη και την αρδευτική απόληψη (άρδευση Κωπαΐδας) από την Υλίκη, η οποία, ωστόσο, θεωρείται στόχος χαμηλής

προτεραιότητας. Η αρδευτική απόληψη πραγματοποιείται σχεδόν αποκλειστικά κατά την περίοδο Ιουνίου-Αυγούστου, ενώ πολύ μικρό ποσοστό, της τάξης του 5%, αναλογεί στους μήνες Απρίλιο και Μάιο. Η τιμή του στόχου αρδευτικής απόληξης από την Υλίκη ορίζεται στα 35 hm³/έτος. Επιπλέον, τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο διατίθεται για την άρδευση του Κωπαϊδικού πεδίου μια ποσότητα νερού και από το υδραγωγείο του Μόρνου, της τάξης των 3,2 hm³/μήνα. Η απόληξη αυτή επιτυγχάνεται μέσω αντλιοστασίου και αντίστροφης λειτουργίας του υδραγωγείου Διστόμου και θεωρείται επίσης, στόχος χαμηλής προτεραιότητας.

Συγκεντρωτικά τα χαρακτηριστικά των στόχων και λειτουργικών περιορισμών του υδροσυστήματος της Αθήνας, παρατίθενται στον πίνακα 5.3, ενώ οι φόρμες των δεδομένων τους βρίσκονται στο παράρτημα Α.

Πίνακας 5.3: Στόχοι και λειτουργικοί περιορισμοί υδροσυστήματος Αθήνας

ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ
Αποφυγή Υπερχείλισης Μαραθώνα	Αποφυγή υπερχειλίσης	No spill	1
Ζήτηση Γαλάτσι	Κατανάλωση νερού για ύδρευση	Water supply	2
Ζήτηση Μενίδι	Κατανάλωση νερού για ύδρευση	Water supply	2
Ζήτηση Κιούρκα	Κατανάλωση νερού για ύδρευση	Water supply	2
Ζήτηση Μάνδρα	Κατανάλωση νερού για ύδρευση	Water supply	2
Ζήτηση Υδραγωγείου Υλίκης	Κατανάλωση νερού για ύδρευση	Water supply	2
Ύδρευση Οικισμών Κιθαιρώνα	Κατανάλωση νερού για ύδρευση	Water supply	2
Περιβαλλοντική παροχή Ευήνου	Ελάχιστη ροή για περιβαλλοντική διατήρηση	Water supply	2
Μέγιστος Όγκος Μαραθώνα	Μέγιστο απόθεμα ταμιευτήρα	Max. Volume	2
Μέγιστος Όγκος Μόρνου	Μέγιστο απόθεμα ταμιευτήρα	Max. Volume	3
Ελάχιστος Όγκος Μόρνου	Ελάχιστο απόθεμα ταμιευτήρα	Min. Volume	3
Μέγιστη Παροχή Βασιλικών-Παρορίου	Μέγιστη ροή υδραγωγείου	Max. flow	3
Μέγιστος Όγκος Ευήνου	Μέγιστο απόθεμα ταμιευτήρα	Max. Volume	4
Ελάχιστος Όγκος Μαραθώνα	Ελάχιστο απόθεμα ταμιευτήρα	Min. Volume	4
Άρδευση Κωπαΐδας	Κατανάλωση νερού για άρδευση	Irrigation	5

Μέγιστη Παροχή Ταξιαρχών	Μέγιστη ροή υδραγωγείου	Max. flow	5
Άρδευση Κωπαΐδας-Δίστομο	Κατανάλωση νερού για άρδευση	Irrigation	5

Πηγή: *EMIT*

5.5 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Οι υδρολογικές μεταβλητές του υδροσυστήματος δίνονται με τη μορφή ακολουθιών γνωστών τιμών, δηλαδή χρονοσειρών, που ορίζονται σε επιλεγμένες συνιστώσες του δικτύου. Γενικότερα χρονοσειρές ορίζονται στους ταμιευτήρες και στους κόμβους εισροής με τις χρονοσειρές των ταμιευτήρων να είναι τριών ειδών: απορροής, βροχόπτωσης και εξάτμισης. Η απορροή αναφέρεται στην εισροή νερού από την υπολεκάνη ανάντη του φράγματος, ενώ η βροχόπτωση και η εξάτμιση αναφέρονται στην επιφάνεια του ταμιευτήρα. Όλες οι τιμές των παραπάνω χρονοσειρών δίνονται σε μονάδες ισοδύναμου ύψους νερού (υποχρεωτικά σε mm), ενώ οι χρονοσειρές στους κόμβους εισροής δίνονται απευθείας σε μονάδες παροχής (m^3/s).

Οι χρονοσειρές του μοντέλου μπορεί να είναι ιστορικές ή συνθετικές, που σημαίνει ότι παράγονται μέσω κάποιου στοχαστικού μοντέλου. Η χρήση συνθετικών χρονοσειρών σε προγράμματα διαχείρισης υδατικών συστημάτων, επιτρέπει τη διερεύνηση της λειτουργίας τους για μεγάλο πλήθος υδροκλιματικών καταστάσεων. Με τον τρόπο αυτό ποσοτικοποιείται η αβεβαιότητα ως προς την εξέλιξη της φυσικής διαθεσιμότητας του νερού και παρέχεται η δυνατότητα εξαγωγής ασφαλών συμπερασμάτων ως προς την επίδοση και αξιοπιστία του υπό εξέταση υδροσυστήματος.

Τα μοντέλα γέννησης συνθετικών χρονοσειρών επιτρέπουν τη διατήρηση των στατιστικών συσχετίσεων μεταξύ των αντίστοιχων υδρολογικών διεργασιών, έτσι ώστε η αναπαράσταση των υδρολογικών διεργασιών να είναι ρεαλιστική και συμβατή με τις πραγματικές συνθήκες του συστήματος. Χρονοσειρές που παράγονται μέσω μιας τέτοιας συστηματικής διαδικασίας, ομαδοποιούνται σε υδρολογικά σενάρια. Συνεπώς, το υδρολογικό σενάριο αναφέρεται σε ένα σύνολο συνθετικών χρονοσειρών, που είναι στατιστικά συνεπείς μεταξύ τους (Καραβοκυρός κ.ά., 2007).

Η παραγωγή και διαχείριση των υδρολογικών σεναρίων του Υδρονομέα γίνεται από εξειδικευμένα εργαλεία, που παρέχονται από τα λογισμικά Υδρογνώμων και Κασταλία, ενώ η δομή τους διαφοροποιείται ανάλογα με τον τύπο της προσομοίωσης. Στην προσομοίωση μόνιμης κατάστασης, το σενάριο περιλαμβάνει μια μοναδική χρονοσειρά για κάθε υδρολογική μεταβλητή, που κατά κανόνα έχει πολύ μεγάλο μήκος, της τάξης των εκατοντάδων ή χιλιάδων ετών. Από την άλλη πλευρά, στην καταληκτική προσομοίωση, κάθε σενάριο περιλαμβάνει ένα πλήθος ενοτήτων (της τάξης των δεκάδων ή εκατοντάδων), που αντιστοιχούν σε διαφορετικές στοχαστικές προγνώσεις της εκάστοτε μεταβλητής, για σχετικά μικρό χρονικό ορίζοντα (μηνών ή ετών). Κάθε ενότητα ξεκινά από τις ίδιες συνθήκες

διαθεσιμότητας νερού, δηλαδή την ίδια αρχική στάθμη των ταμιευτήρων (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007).

Για το σύστημα της Αθήνας, ως ελάχιστο αποδεκτό επίπεδο αξιοπιστίας θεωρείται το 99%, που αντιστοιχεί σε κατά μέσο όρο μία αστοχία κάθε 100 έτη. Το απαιτούμενο πλήθος των προσομοιωμένων χρονικών περιόδων σχετίζεται άμεσα με την ακρίβεια υπολογισμού της ζητούμενης αξιοπιστίας και δεδομένου ότι στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, το όριο αξιοπιστίας που επιβάλλεται είναι πολύ υψηλό, ως ικανοποιητικό πλήθος εκτιμάται ότι είναι τα 2000 έτη. Η εν λόγω αξιοπιστία προϋποθέτει πλήρη επάρκεια υδατικών πόρων για την κάλυψη της ζήτησης σε τουλάχιστον 1980 από τα 2000 προσομοιωμένα έτη.

Η χρήση του κοινού ιστορικού δείγματος εισροών των ταμιευτήρων του υδροσυστήματος της Αθήνας, το οποίο ανέρχεται σε μόλις 30 έτη, κρίνεται απόλυτα ανεπαρκής για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σχετικά με την απόδοση του συστήματος. Για τη διερεύνηση της αξιοπιστίας του συστήματος (μακροπρόθεσμη προσομοίωση), παρήχθησαν, μέσω του προγράμματος στοχαστικής προσομοίωσης «Κασταλία», συνθετικές χρονοσειρές απορροής, βροχόπτωσης και εξάτμισης, μήκους 2000 ετών, στους τέσσερις ταμιευτήρες Μόρνου, Ευήνου, Υλίκης και Μαραθώνα. Τα χαρακτηριστικά των πρωτογενών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τη γέννηση των συνθετικών χρονοσειρών συνοψίζονται στον πίνακα 5.4. Κατά τη γέννηση συνθετικών χρονοσειρών μεγάλου μήκους δεν λαμβάνονται υπόψη οι ιστορικές χρονοσειρές καθαυτές, παρά μόνο τα στατιστικά τους χαρακτηριστικά. Αυτό συμβαίνει, διότι, εξαιτίας του μεγάλου (θεωρητικά άπειρου) μήκους προσομοίωσης, η επίδραση της ακολουθίας των τιμών του παρελθόντος είναι πρακτικά αμελητέα (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2002).

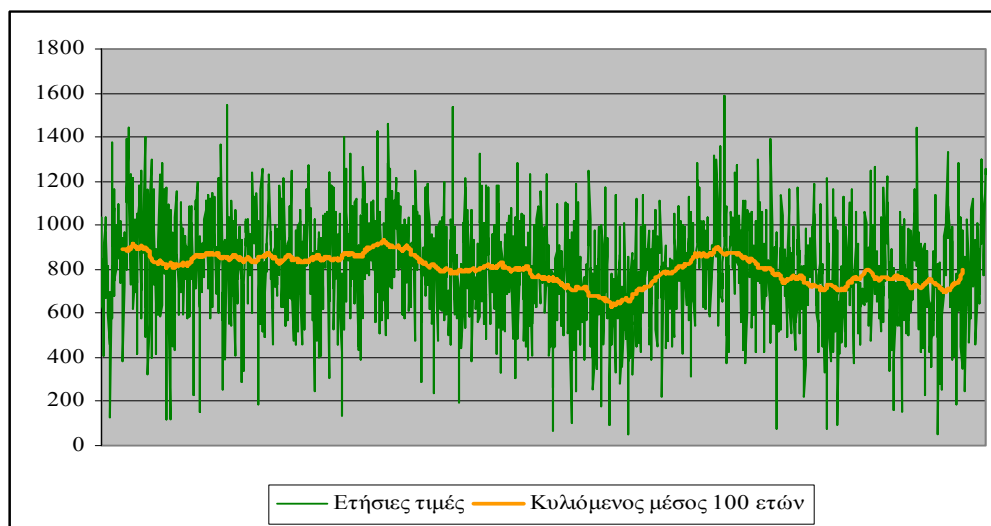
Πίνακας 5.4: Χαρακτηριστικά μεγέθη πρωτογενών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΔΕΙΓΜΑ	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΤΙΜΗ (mm)	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (mm)
Βροχόπτωση Μόρνου	1958-2008	934,5	205,6
Απορροή Μόρνου	1979-2008	408,2	144,7
Εξάτμιση Μόρνου	1979-1994, 2002-2006	1263,2	48,3
Βροχόπτωση Ευήνου	1970-2008	1220,8	283,9
Απορροή Ευήνου	1970-2008	785,6	230,4
Εξάτμιση Ευήνου	1973-1994	1224,5	64,5
Βροχόπτωση Υλίκης	1907-2008	653,6	158,3
Απορροή Υλίκης/Β. Κηφισού	1907-2008	143,8	63,4
Εξάτμιση Υλίκης	1977-1997, 2002-2006	1338,2	36,4

Βροχόπτωση Μαραθώνα	1932-2008	589,4	147,8
Απορροή Μαραθώνα	1932-2008	112,3	42,0
Εξάτμιση Μαραθώνα	1933-1980, 2002-2006	1315,2	163,5

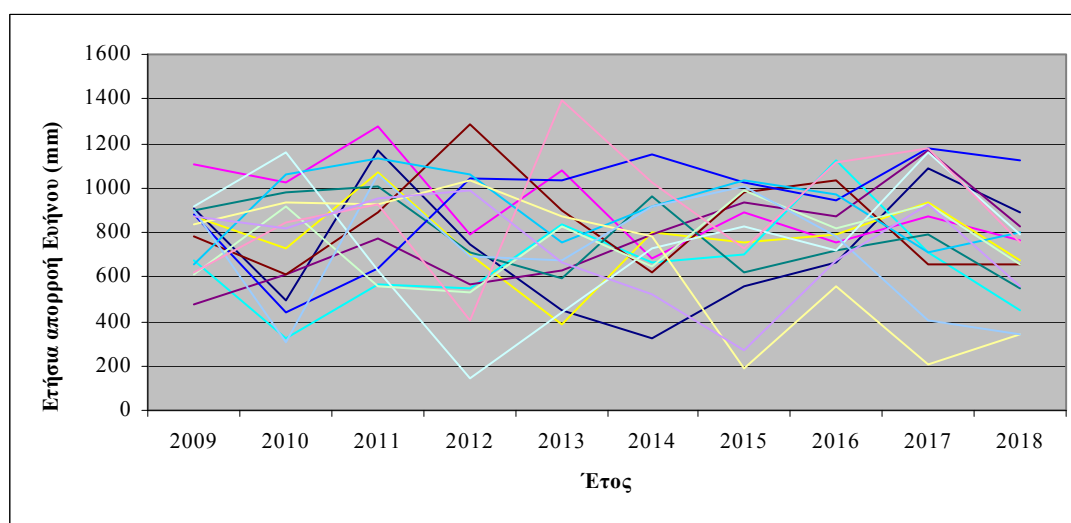
Πηγή: *EMIT*

Ενδεικτικά, η συνθετική χρονοσειρά ετήσιας απορροής 2000 ετών στον ταμιευτήρα Ευήνου απεικονίζεται γραφικά στο σχήμα 5.14.



Σχήμα 5.14: Συνθετική χρονοσειρά ετήσιας απορροής 2000 ετών στον ταμιευτήρα Ευήνου (σε mm) και κινούμενοι μέσοι 100 ετών.

Για την προσομοίωση του υδροσυστήματος σε βραχύ χρονικό ορίζοντα, παρήχθησαν ακόμη 200 υδρολογικά σενάρια στοχαστικής πρόγνωσης, μήκους 10 ετών (περίοδος 2009-2018). Τα σενάρια αυτά λαμβάνουν υπόψη τους όχι μόνο τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ιστορικών χρονοσειρών, αλλά και την ακολουθία των απορροών των τελευταίων ετών. Ένα παράδειγμα εφαρμογής τους, για την εξέλιξη της ετήσιας απορροής στον ταμιευτήρα Ευήνου, φαίνεται στο σχήμα 5.15.



Σχήμα 5.15: Γραφική απεικόνιση 15 σεναρίων ετήσιας απορροής στον ταμιευτήρα Ευήνου (σε mm) για τη δεκαετία 2009-2018.

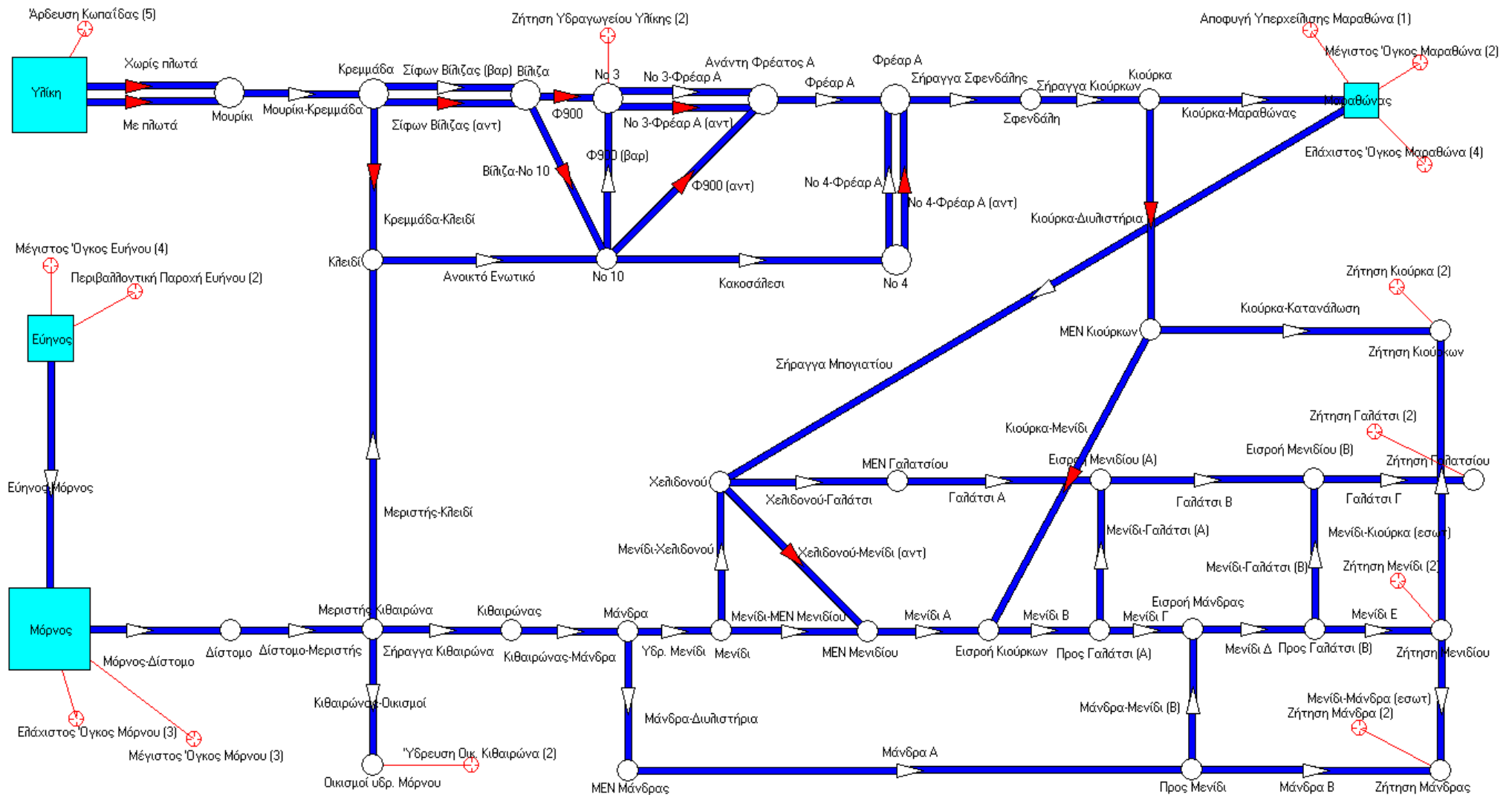
5.6 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων που έγιναν, για διάφορα σενάρια λειτουργίας του υδροσυστήματος. Οι αναλύσεις αυτές είχαν ως στόχο την εκτίμηση του θεωρητικού απολήψιμου δυναμικού του υδροσυστήματος, με άρση των περιορισμών παροχαρακτηριστικότητας του δικτύου.

Λαμβάνοντας υπόψη τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, την τοπολογία του υδροσυστήματος και τα χαρακτηριστικά των ταμιευτήρων (νεκρός όγκος, ωφέλιμη χωρητικότητα, υπόγειες διαφυγές, σχέσεις στάθμης-αποθέματος και στάθμης-επιφάνειας) και αγνοώντας τους περιορισμούς παροχαρακτηριστικότητας των υδραγωγείων, εκτιμήθηκε το θεωρητικό δυναμικό του υδροσυστήματος, για διάφορες πολιτικές χρήσης των γεωτρήσεων, ανεξαρτήτως οικονομικών όρων. Το θεωρητικό δυναμικό του υδροσυστήματος αντιστοιχεί στη μέγιστη δυνατή απόληψη για την ύδρευση της Αθήνας, έτσι ώστε η αξιοπιστία του συστήματος να ανέρχεται ακριβώς στο 99%. Κατά τον υπολογισμό του εν λόγω δυναμικού, η ετήσια τιμή του συνολικού στόχου ύδρευσης στην Αθήνα αποτέλεσε μεταβλητή προς μεγιστοποίηση, ενώ τόσο η χωρική, όσο και η χρονική της κατανομή θεωρήθηκαν σταθερές. Στα σενάρια που εξετάστηκαν συνυπολογίστηκαν και οι λοιποί διαχειριστικοί στόχοι του συστήματος, οι οποίοι αναλύονται στην παράγραφο 5.4.

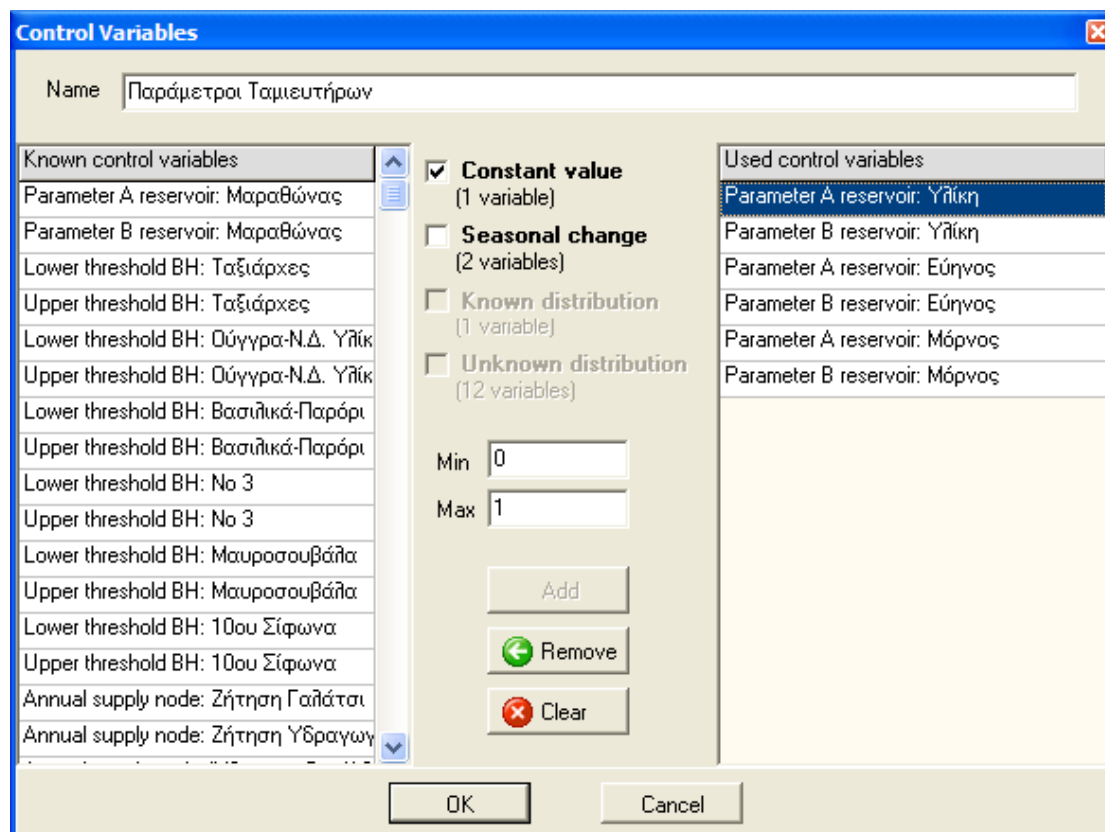
Πέραν του ετήσιου στόχου ύδρευσης, αναζητήθηκαν και οι βέλτιστοι κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων, για πέντε σενάρια χρήσης των γεωτρήσεων, συμπεριλαμβανομένης και της πολιτικής που υιοθετείται από την ΕΥΔΑΠ στην παρούσα χρονική περίοδο. Σημειώνεται ότι τα σενάρια αυτά είναι θεωρητικά, και αναφέρονται στη διαχείριση του συστήματος σε επίπεδο μακροπρόθεσμης στρατηγικής.

Στο σενάριο A1 θεωρήθηκε εντατική χρήση των γεωτρήσεων, και οι τιμές των κατωφλίων τους ορίστηκαν ίσες με 80% (άνω όριο) και 50% (κάτω όριο). Υπενθυμίζεται ότι το άνω όριο υποδηλώνει το ποσοστό του ωφέλιμου όγκου του συστήματος, πέραν του οποίου απαγορεύεται η χρήση των γεωτρήσεων. Από την άλλη πλευρά, το κάτω όριο υποδηλώνει το ποσοστό του ωφέλιμου όγκου του συστήματος, κάτω από το οποίο οι γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται κατά προτεραιότητα, ανεξαρτήτως κόστους. Δεδομένου ότι κατά την μεγιστοποίηση του θεωρητικού υδατικού δυναμικού δεν ελήφθησαν υπόψη οικονομικά κριτήρια (εκφρασμένα με όρους ενέργειας άντλησης), η επίδραση των κάτω κατωφλίων των γεωτρήσεων είναι σχετικά περιορισμένη. Στο σενάριο A2 θεωρήθηκε συντηρητική χρήση των γεωτρήσεων και οι τιμές των κατωφλίων τους ορίστηκαν ίσες με 40% και 25%. Στο σενάριο A3 θεωρήθηκε περιορισμένη χρήση των γεωτρήσεων, και οι τιμές των κατωφλίων τους ορίστηκαν ίσες με 20% και 10%. Τέλος, στο σενάριο A4 απαγορεύτηκε πλήρως η χρήση των γεωτρήσεων (σχήμα 5.16).



Σχήμα 5.16: Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας στο μοντέλο του Υδρονομέα χωρίς την ύπαρξη των γεωτρήσεων (σενάριο A4)

Ως μεταβλητές ελέγχου, δηλαδή οι παράμετροι που θα χρησιμοποιήσει ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης, ώστε να εντοπιστεί η βέλτιστη διαχειριστική πολιτική του υδροσυστήματος, ορίζονται οι αδιάστατες παράμετροι a και b των κανόνων λειτουργίας των τριών ταμειυτήρων Εύηνου, Μόρνου και Υλίκης (συνολικά έξι μεταβλητές ελέγχου), χωρίς εποχιακή διαφοροποίηση (Constant value) και με εύρος διακύμανσης από 0 έως 1 (ελάχιστη τιμή 0 και μέγιστη τιμή 1) (σχήμα 5.17).



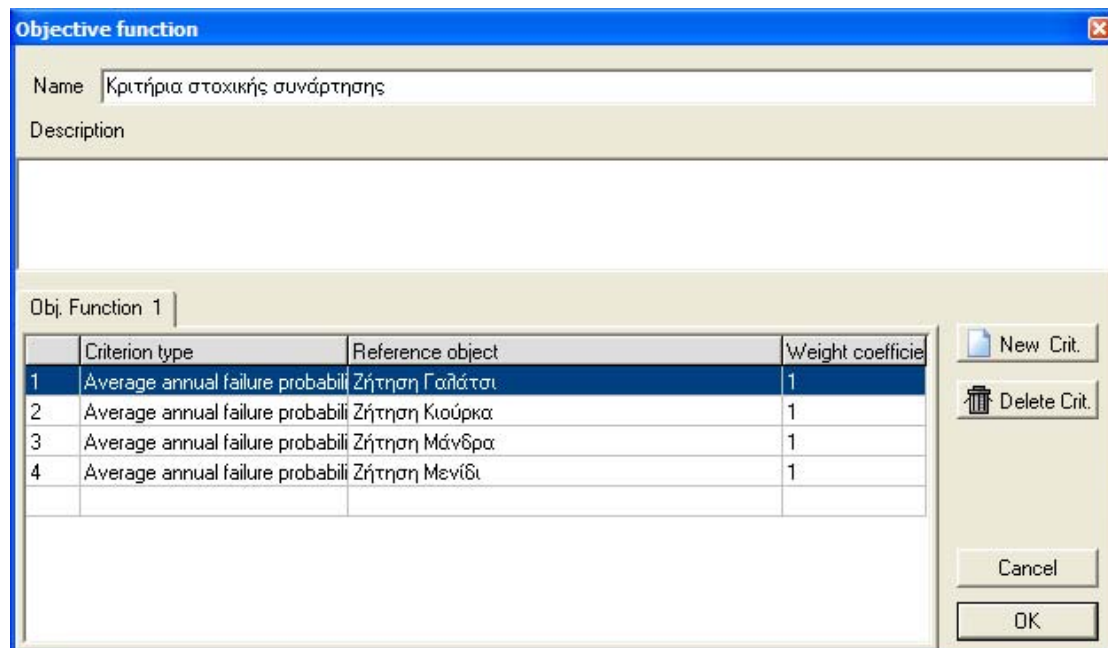
Σχήμα 5.17: Μεταβλητές ελέγχου

Η στοχική συνάρτηση που χρησιμοποιείται κατά τη διαδικασία της βελτιστοποίησης έχει μορφή:

$$\Sigma = \sum_{j=1}^m w_j f_j$$

όπου f_j μεμονωμένα κριτήρια ελέγχου και w_j συντελεστές βάρους, που εκφράζουν τη σχετική σπουδαιότητα των κριτηρίων. Οι προς βελτιστοποίηση μεταβλητές (κριτήρια) της στοχικής συνάρτησης είναι τέσσερις και αφορούν στη μέση ετήσια πιθανότητα αστοχίας των στόχων: Ζήτηση Γαλασίου, Ζήτηση Μενιδίου, Ζήτηση Κιούρκων και Ζήτηση Μάνδρας. Λαμβάνεται δηλαδή η μέση ετήσια πιθανότητα αστοχίας στις τέσσερις ΜΕΝ που επιμερίζεται ο στόχος της ύδρευσης της Αθήνας (η αστοχία ενός εκ των τεσσάρων παραπάνω στόχων συνεπάγεται αστοχία στο στόχο ύδρευσης της Αθήνας). Η μέγιστη αποδεκτή τιμή της μέσης ετήσιας πιθανότητας αστοχίας είναι 1%, έτσι ώστε να διατηρείται η αξιοπιστία του

συστήματος στα αποδεκτά όρια του 99%. Τέλος, ο συντελεστής βαρύτητας και για τα τέσσερα κριτήρια της στοχικής συνάρτησης παίρνει την τιμή 1 (σχήμα 5.18).



Σχήμα 5.18: Κριτήρια στοχικής συνάρτησης

Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης για τις τέσσερις παραπάνω πολιτικές χρήσης γεωτρήσεων, με θεώρηση αξιοπιστίας 99% συνοψίζονται στον πίνακα 5.5.

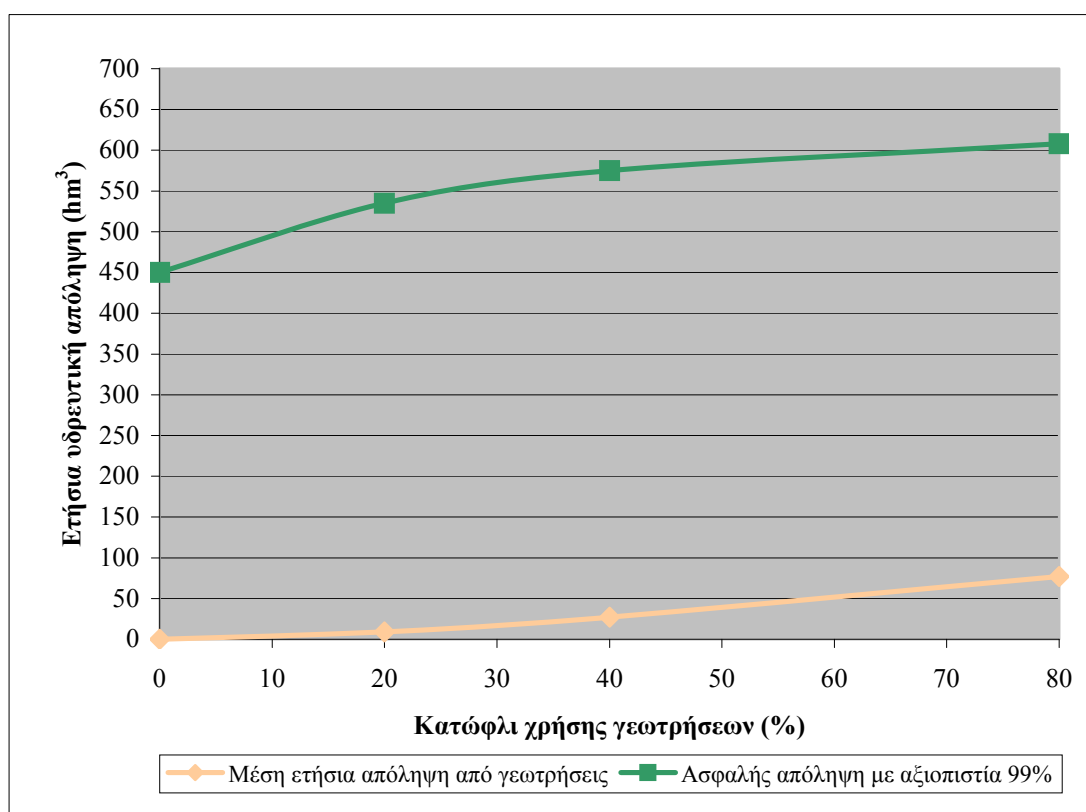
Πίνακας 5.5: Αποτελέσματα σεναρίων βελτιστοποίησης για την εκτίμηση του θεωρητικού δυναμικού του συστήματος.

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
Άνω κατώφλι χρήσης γεωτρήσεων (%)	80	40	20	0
Κάτω κατώφλι χρήσης γεωτρήσεων (%)	50	25	10	0
Μέση ετήσια απόληψη από επιφανειακά νερά (hm ³) ⁽¹⁾	593	607	582	492
Μέση ετήσια απόληψη από υπόγεια νερά (hm ³)	77	27	9	0
Μέσες ετήσιες απώλειες υδραγωγείων (hm ³)	57	55	52	45
Ασφαλής ετήσια ποσότητα νερού στα διωλιστήρια (hm ³) ⁽²⁾	608	575	535	450
⁽¹⁾ Εκροές από Μόρνο και Υλίκη για ύδρευση				
⁽²⁾ Με θεώρηση αξιοπιστίας 99%				

Πηγή: Υδρονομέας

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.19, η μακροχρόνια ασφαλής απόδοση του συστήματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πολιτική χρήσης των γεωτρήσεων που υιοθετείται. Μάλιστα, μικρή αύξηση της μέσης συνεισφοράς των υπογείων υδάτων έχει ως

αποτέλεσμα σημαντικά μεγαλύτερο θεωρητικό δυναμικό, γεγονός που υποδηλώνει ότι αν και από ποσοτικής πλευράς οι γεωτρήσεις δεν έχουν αξιόλογη συμμετοχή, εντούτοις αποτελούν ιδιαίτερα κρίσιμο παράγοντα ως προς την αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος. Αν αγνοηθεί η δυνατότητα αξιοποίησης των υπόγειων υδατικών πόρων και λαμβάνοντας υπόψη τις διαρροές των εξωτερικών υδραγωγείων, η ασφαλής απόδοση του συστήματος ανέρχεται στα 450 hm³/έτος (σενάριο A4). Από την άλλη πλευρά, μια πολιτική εντατικής χρήσης των γεωτρήσεων, όπως αυτή του σεναρίου A1, είναι βέβαιο ότι θα είχε ιδιαίτερα δυσμενείς επιπτώσεις ως προς το εκμεταλλεύσιμο δυναμικό των υπόγειων υδροφορέων, οι οποίοι σε καμία περίπτωση δε μπορούν να θεωρηθούν ανεξάντλητοι. Κατά συνέπεια, επιβάλλεται να γίνεται συντηρητική χρήση των γεωτρήσεων, υιοθετώντας άνω κατώφλια της τάξης του 40%, στα οποία αντιστοιχεί ασφαλής υδρευτική απόληψη περίπου 575 hm³/έτος, συμπεριλαμβανομένων των διαρροών του δικτύου (σενάριο A2). Είναι προφανές ότι μια τέτοια πολιτική διαχείρισης θεωρείται επιβεβλημένη τόσο για λόγους βιωσιμότητας των υπόγειων υδατικών πόρων, όσο και για λόγους οικονομίας του συστήματος.



Σχήμα 5.19: Διάγραμμα της θεωρητικής ασφαλούς απόληξης του συστήματος για διάφορες πολιτικές χρήσης των γεωτρήσεων. Οι τιμές έχουν προκύψει μετά από βελτιστοποίηση των κανόνων λειτουργίας των ταμειυτήρων και με θεώρηση άπειρης παροχετευτικότητας των υδραγωγείων.

Στον πίνακα 5.6 παρατίθεται το μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο των ταμειυτήρων που αναφέρεται στο σενάριο A4 (για τα σενάρια A1, A2 και A3 βλ. παράρτημα Β), στο οποίο απαγορεύεται πλήρως η χρήση γεωτρήσεων. Από τα στοιχεία του πίνακα προκύπτει ότι η φυσική τροφοδοσία του συστήματος (λόγω απορροής και βροχοπτώσης) ανέρχεται σε 872,28

hm³, ενώ οι απώλειες λόγω εξάτμισης, υπόγειων διαφυγών και υπερχειλίσεων φτάνουν τα 304,92 hm³. Από το σύνολο των απωλειών, τα 143,76 hm³, ήτοι ποσοστό 47%, αντιστοιχεί στις υπόγειες διαφυγές της Υλίκης, ενώ οι απώλειες λόγω υπερχειλίσεως είναι σχετικά περιορισμένες, τόσο λόγω της άρσης των περιορισμών παροχτετευτικότητας στο δίκτυο, όσο και χάρη στην καλύτερη διαχείριση που επιτυγχάνεται με τη θεώρηση των στόχων μέγιστου αποθέματος στους ταμιευτήρες Μαραθώνα, Μόρνου και Ευήνου.

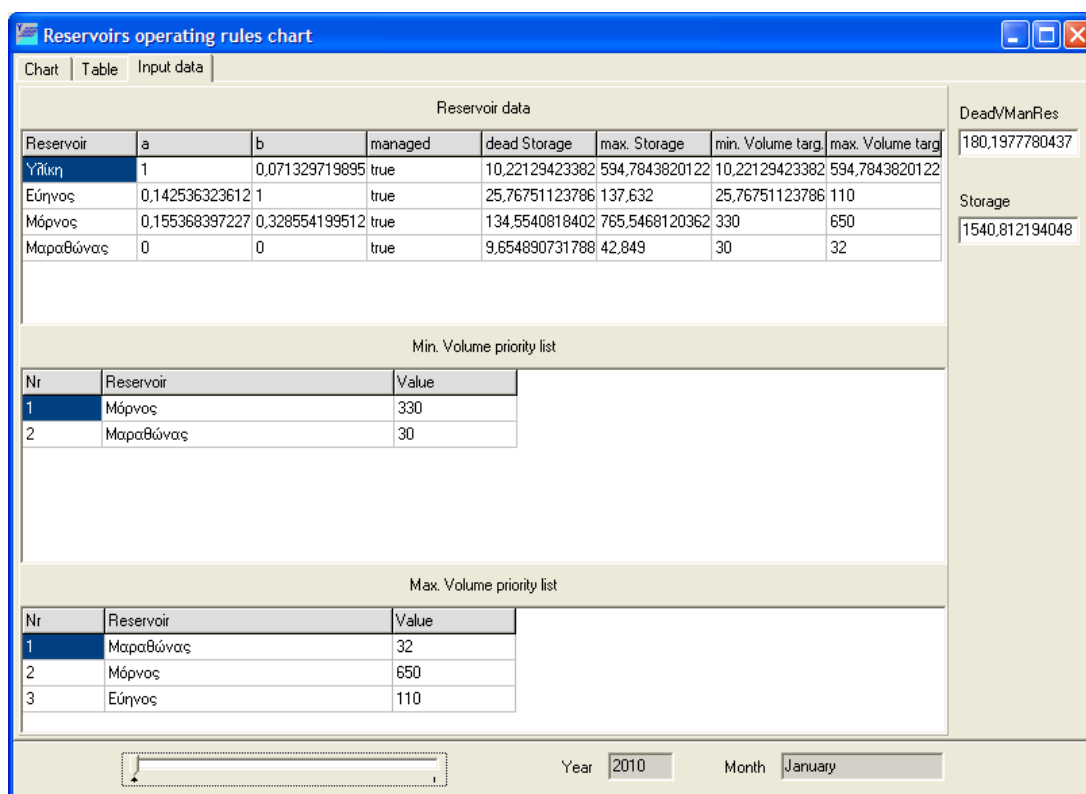
Πίνακας 5.6: Μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο ταμιευτήρων (σε hm³) για το σενάριο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος, με θεώρηση απειρίοστης παροχτετευτικότητας των υδραγωγείων και απαγόρευσης χρήσης γεωτρήσεων (σενάριο A4).

	ΥΛΙΚΗ	ΕΥΗΝΟΣ	ΜΟΡΝΟΣ	ΜΑΡΑΘΩΝΑΣ	ΣΥΝΟΛΟ
Εισροή από υπολεκάνη	307,08 (332,4)	279,6 (285,48)	238,32 (218,64)	13,32 (17,88)	838,44
Βροχόπτωση	11,88 (12,12)	4,08 (3,6)	16,8 (15,84)	1,2 (1,32)	33,96
Εξάτμιση	25,08 (19,2)	4,2 (2,76)	22,92 (15,24)	2,88 (2,28)	54,96
Υπόγειες διαφυγές	143,76 (87,48)	-	12,6 (1,8)	-	156,24
Εισροή από υδραγωγεία	-	-	248,4 (249,12)	17,04 (35,16)	265,32
Απόληψη για ύδρευση	88,08 (166,80)	248,4 (249,12)	403,8 (171,96)	28,68 (41,52)	768,84
Απόληψη για άρδευση	32,4 (58,56)	-	-	-	32,4
Οικολογική παροχή	-	31,2 (1,08)	-	-	31,2
Υπερχειλίση	29,52 (151,68)	0,0 (1,2)	63,96 (219,96)	-	93,60
Μέσο ολικό απόθεμα	341,38 (185,19)	122,01 (20,21)	659,48 (96,38)	32,74 (5,80)	-

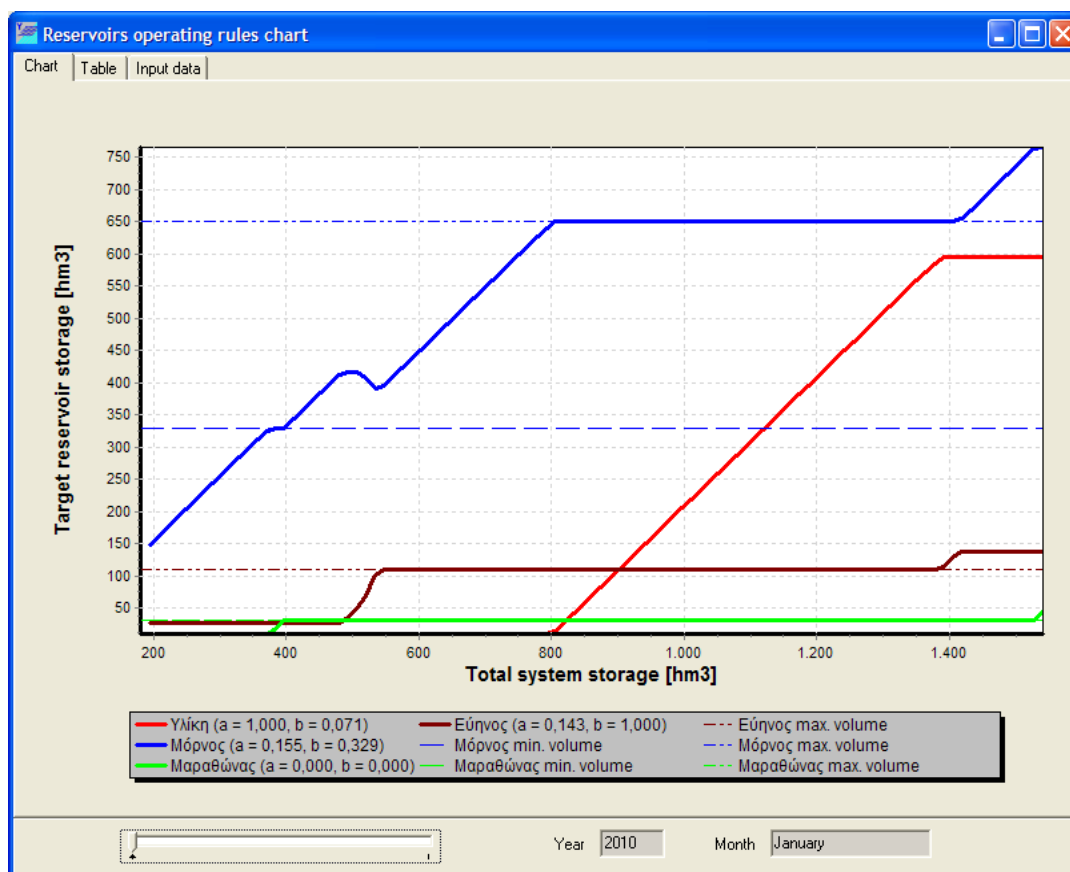
Στα σχήματα 5.20 και 5.21 απεικονίζονται οι βέλτιστοι κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων του σεναρίου A4 (για τα σενάρια A1, A2 και A3 βλ. παράρτημα Β), βάσει των οποίων επιβεβαιώνεται η λογική υπόθεση ότι η μεγιστοποίηση της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος, επιτυγχάνεται με ελαχιστοποίηση των απωλειών των ταμιευτήρων. Οι κανόνες λειτουργίας επιβάλλουν αρχικά την αποθήκευση του συνόλου του ωφέλιμου όγκου του συστήματος στον Μόρνο και τον Ευήνο, μέχρις ότου οι στάθμες τους φτάσουν στην τιμή των ελάχιστων όγκων-στόχων που έχουν τεθεί. Όταν η στάθμη του Μόρνου φτάσει στον ελάχιστο όγκο-στόχο του σταδιακά αρχίζει η πλήρωση του Μαραθώνα. Η αποθήκευση νερού στην Υλίκη ξεκινά, εφόσον και το απόθεμα νερού στο Μόρνο έχει φτάσει στο μέγιστο όγκο-στόχο

του. Με την πολιτική αυτή περιορίζονται τόσο οι υπόγειες διαφυγές της Υλίκης όσο και οι υπερχειλίσεις του Μαραθώνα, αφού οι στάθμες τους διατηρούνται στο χαμηλότερο δυνατό επίπεδο. Εφόσον το απόθεμα του συστήματος ξεπερνά την χωρητικότητα του ταμιευτήρα Μόρνου, τότε πρέπει να αποθηκεύεται κατά προτεραιότητα στην Υλίκη, καθώς υπάρχει αυξημένη πιθανότητα υπερχείλισης του Ευήνου, δεδομένου ότι δεν διατίθενται περιθώρια διοχέτευσης του πλεονάζοντος αποθέματός του στο Μόρνο.

Υπενθυμίζεται ότι οι κανόνες λειτουργίας δίνουν το επιθυμητό απόθεμα των ταμιευτήρων σε σχέση με το συνολικό απόθεμα του συστήματος. Οι κανόνες αυτοί καθορίζουν μονοσήμαντα τις απολήψεις από τους ταμιευτήρες μόνο στο βαθμό που οι φυσικοί περιορισμοί του συστήματος (παροχτετευτικότητες υδραγωγείων) το επιτρέπουν και υπό την προϋπόθεση ότι μπορούν να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα όλοι οι στόχοι και λειτουργικοί περιορισμοί (τα επιθυμητά όρια διακύμανσης των ταμιευτήρων). Σε κάθε άλλη περίπτωση οι πραγματικές απολήψεις διαφοροποιούνται από τις επιθυμητές, και οι κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων ακολουθούνται μόνο κατά προσέγγιση.



Σχήμα 5.20: Βέλτιστοι κανόνες λειτουργίας ταμιευτήρων Μόρνου, Ευήνου, Υλίκης και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος με θεώρηση απειρίοστης παροχτετευτικότητας των υδραγωγείων και απαγόρευσης χρήσης γεωτρήσεων (σενάριο A4).



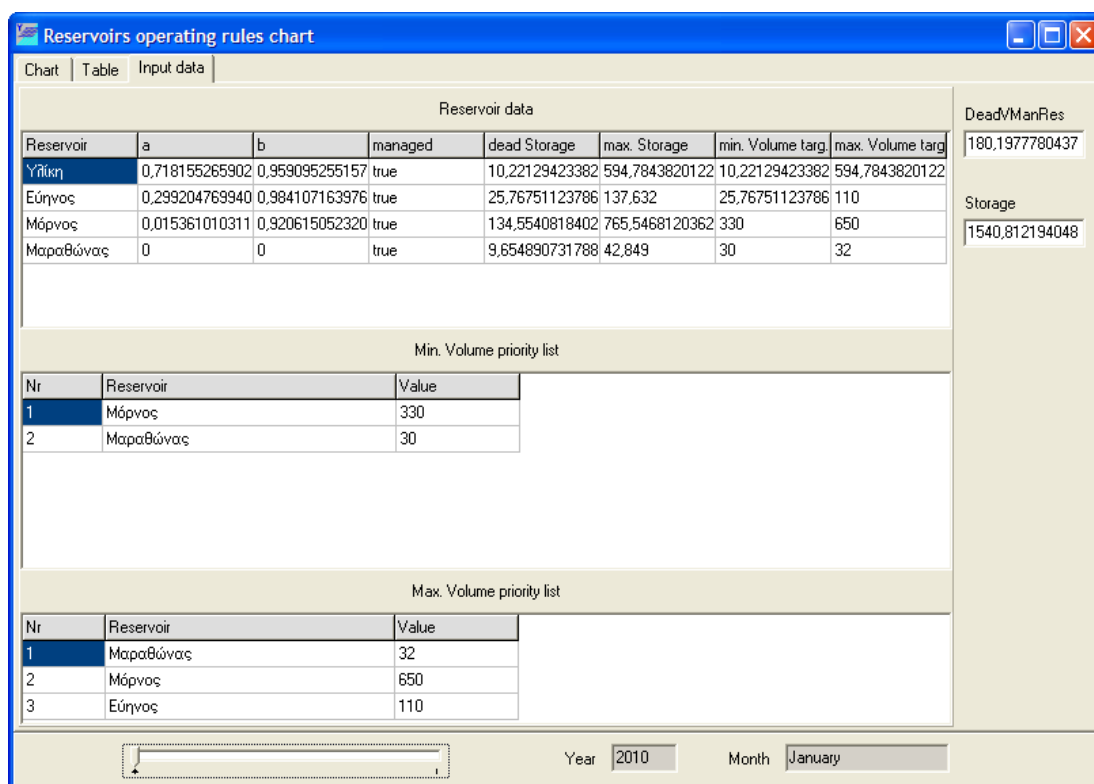
Σχήμα 5.21: Γραφική παράσταση βέλτιστων κανόνων λειτουργίας ταμιευτήρων Μόρνος, Εύηνος, Υλίκης και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος με θεώρηση απεριόριστης παροχευτικότητας των υδραγωγείων και απαγόρευσης χρήσης γεωτρήσεων (σενάριο A4).

Μετά την εύρεση των βέλτιστων κανόνων λειτουργίας των ταμιευτήρων του υδροσυστήματος της Αθήνας και την εκτίμηση του θεωρητικά απολήψιμου υδατικού δυναμικού για τις τέσσερις παραπάνω πολιτικές χρήσης γεωτρήσεων (εντατική, συντηρητική, περιορισμένη και απαγόρευση χρήσης γεωτρήσεων), θεωρώντας άπειρη την παροχευτική ικανότητα των υδραγωγείων, κρίθηκε σκόπιμη, η βελτιστοποίηση των κανόνων λειτουργίας των ταμιευτήρων με βάση την πολιτική χρήσης των γεωτρήσεων που εφαρμόζεται από την ΕΥΔΑΠ στην παρούσα χρονική περίοδο. Η ΕΥΔΑΠ ως προς τους υπόγειους υδατικούς πόρους, υιοθετεί τη συντηρητική πολιτική χρήσης των γεωτρήσεων, με τιμές κατωφλίων 25% και 40%. Εξαιρέση αποτελούν οι γεωτρήσεις Βασιλικών-Παρορίου και Ταξιαρχών, των οποίων οι τιμές των κατωφλίων ορίζονται σε 15% και 25%, ώστε η ενεργοποίησή τους να επιβάλλεται μόνο στην περίπτωση εξαιρετικά δυσμενών συνθηκών.

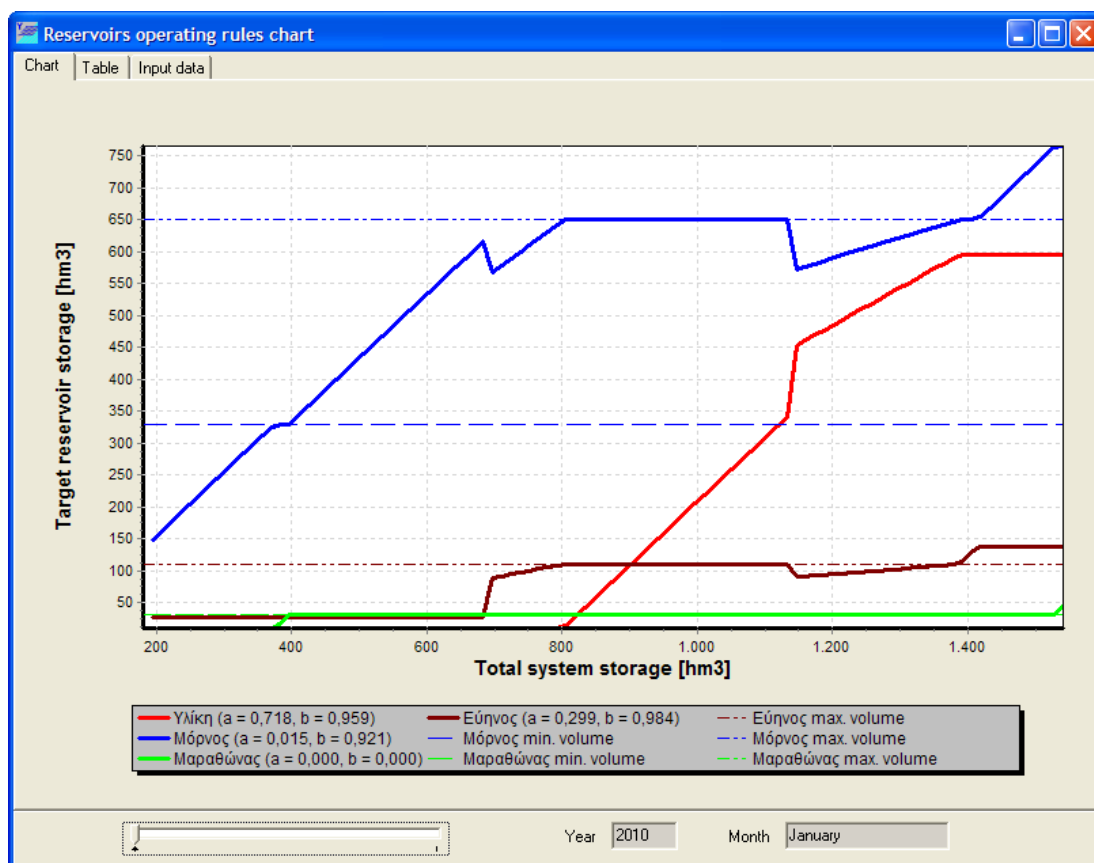
Διατηρώντας τις ίδιες προϋποθέσεις με τα τέσσερα προηγούμενα σενάρια (άπειρη παροχευτικότητα υδραγωγείων, ίδιες μεταβλητές ελέγχου, ίδια κριτήρια στοχικής συνάρτησης), εκτελείται βελτιστοποίηση, για διάφορες τιμές της ζήτησης νερού. Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης καταδεικνύουν ότι το υδατικό δυναμικό που μπορεί να ληφθεί από το υδροσύστημα της Αθήνας, στα αποδεκτά όρια της αξιοπιστίας του 99%

ανέρχεται σε 570 hm^3 , τιμή λίγο μικρότερη από την αντίστοιχη της συντηρητικής πολιτικής χρήσης των γεωτρήσεων (575 hm^3). Εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι αυτή η μικρή διαφορά των 5 hm^3 οφείλεται στα κατώφλια των γεωτρήσεων Βασιλικών-Παρορίου και Ταξιαρχών που στην πολιτική που υιοθετείται από την ΕΥΔΑΠ είναι 25% και 15% και όχι 40% και 25%.

Οι βέλτιστοι κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων για την επικρατούσα πολιτική χρήσης των γεωτρήσεων, παρατίθενται στα σχήματα 5.22 και 5.23 (για το μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο των ταμιευτήρων βλ. παράρτημα Β). Η γραφική παράσταση των κανόνων λειτουργίας των ταμιευτήρων της επικρατούσας πολιτικής χρήσης των γεωτρήσεων παρατηρούμε ότι δεν έχει ουσιαστικές διαφορές σε σχέση με τη γραφική παράσταση των βέλτιστων κανόνων λειτουργίας του σεναρίου Α4. Ακολουθείται η ίδια πολιτική πλήρωσης των ταμιευτήρων με το σύνολο του ωφέλιμου όγκου του συστήματος να αποθηκεύεται αρχικά σε Μόρνο και Εύηνο μέχρι τη στάθμη των λειτουργικών περιορισμών μεγίστου αποθέματος, και στη συνέχεια, στη ζώνη των 800 hm^3 συνολικού αποθέματος, ξεκινά η πλήρωση της Υλίκης, με ρυθμό ανάλογο της χωρητικότητάς της, έως ότου ο ταμιευτήρας πληρωθεί. Τέλος, στα επίπεδα συνολικού αποθέματος άνω των 1400 hm^3 , το πλεονάζον νερό αποθηκεύεται στους ταμιευτήρες Μόρνου και Εύηνου, ενώ οι ταμιευτήρες Μαραθώνα και Υλίκης διατηρούν σταθερά τα αποθέματά τους.



Σχήμα 5.22: Βέλτιστοι κανόνες λειτουργίας ταμιευτήρων Μόρνου, Εύηνου, Υλίκης και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος με θεώρηση απεριόριστης παρεχόμενης υδραγωγείων για την επικρατούσα πολιτική χρήση γεωτρήσεων.



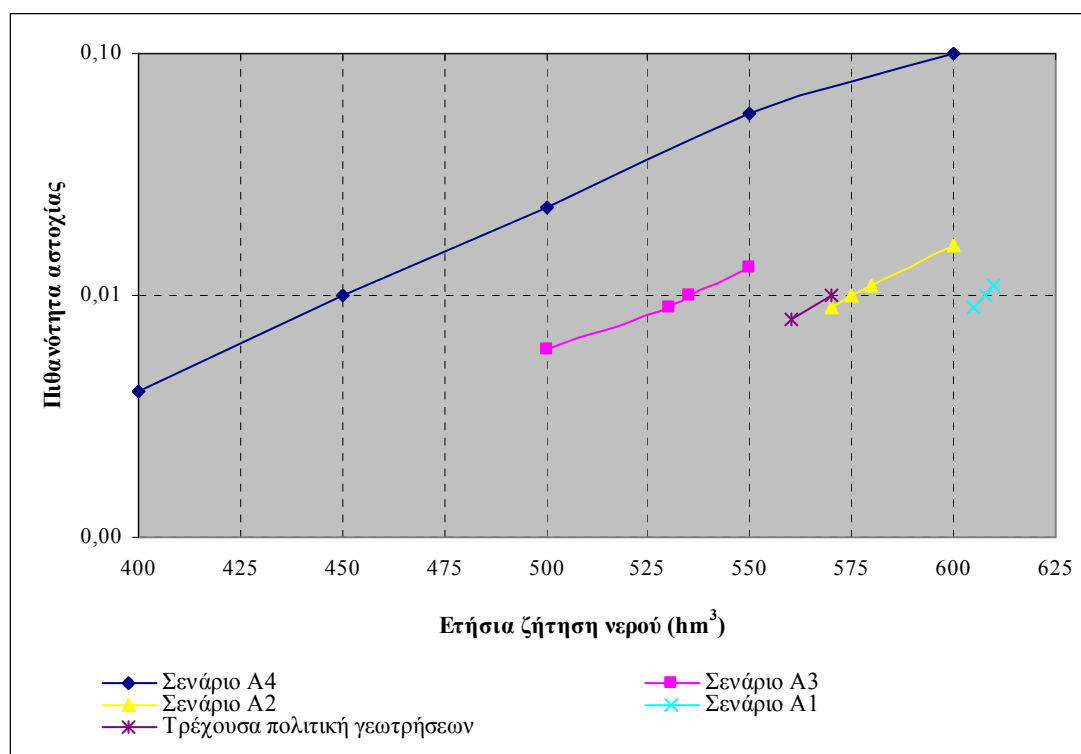
Σχήμα 5.23: Γραφική παράσταση βέλτιστων κανόνων λειτουργίας ταμιευτήρων Μόρνου, Ευήνου, Υλίκης και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος με θεώρηση απεριόριστης παροχευτικότητας υδραγωγείων για την επικρατούσα πολιτική χρήσης γεωτρήσεων.

Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί ότι, επειδή σε όλα τα παραπάνω σενάρια έχει θεωρηθεί απεριόριστη παροχευτικότητα στα υδραγωγεία, οι τιμές που έχουν προκύψει για το ασφαλές απολήψιμο δυναμικό για την ύδρευση της Αθήνας, ώστε η αξιοπιστία του συστήματος να ανέρχεται ακριβώς στο 99%, είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες τιμές που θα προέκυπταν, αν εκτελούνταν βελτιστοποίηση με τις επίκαιρες τιμές παροχευτικότητας των υδραγωγείων. Η θεώρηση απεριόριστης παροχευτικότητας στα υδραγωγεία καθιστά εφικτή τη διοχέτευση άπειρων ποσοτήτων νερού, το οποίο στην πραγματικότητα είναι ανέφικτο, μιας και οι ποσότητες νερού που μπορούν να διοχετεύσουν τα υδραγωγεία έχουν κάποια μέγιστη τιμή, η οποία είναι άμεσα εξαρτώμενη από την παροχευτική τους ικανότητα.

Έτσι για την πολιτική χρήσης των γεωτρήσεων που υιοθετείται από την ΕΥΔΑΠ την παρούσα χρονική περίοδο, θεωρώντας τις ίδιες μεταβλητές ελέγχου (παράμετροι a και b ταμιευτήρων Μόρνου, Ευήνου και Υλίκης) και τα ίδια κριτήρια στοχικής συνάρτησης (μέση ετήσια πιθανότητα αστοχίας σε Μενίδι, Γαλάτσι, Κιούρκα και Μάνδρα), η εκτέλεση βελτιστοποίησης με τις επίκαιρες τιμές παροχευτικότητας στα υδραγωγεία (actual discharge capacity) περιορίζει το ασφαλές απολήψιμο δυναμικό στα διυλιστήρια στα 480 hm^3 (για το μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο και τους βέλτιστους κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων βλ.

παράρτημα Β), τιμή αρκετά μικρότερη από τα 570 hm^3 που προκύπτουν από τη βελτιστοποίηση, εξαιρούμενου του φυσικού περιορισμού της παροχетеυτικότητας (unlimited discharge capacity).

Συγκεντρωτικά, η μέση ετήσια πιθανότητα αστοχίας του στόχου ύδρευσης της Αθήνας, για τις διάφορες τιμές ζήτησης νερού που τέθηκαν στις παραπάνω πέντε πολιτικές χρήσης γεωτρήσεων, με θεώρηση απεριόριστης παροχетеυτικότητας στα υδραγωγεία απεικονίζεται στο σχήμα 5.24.



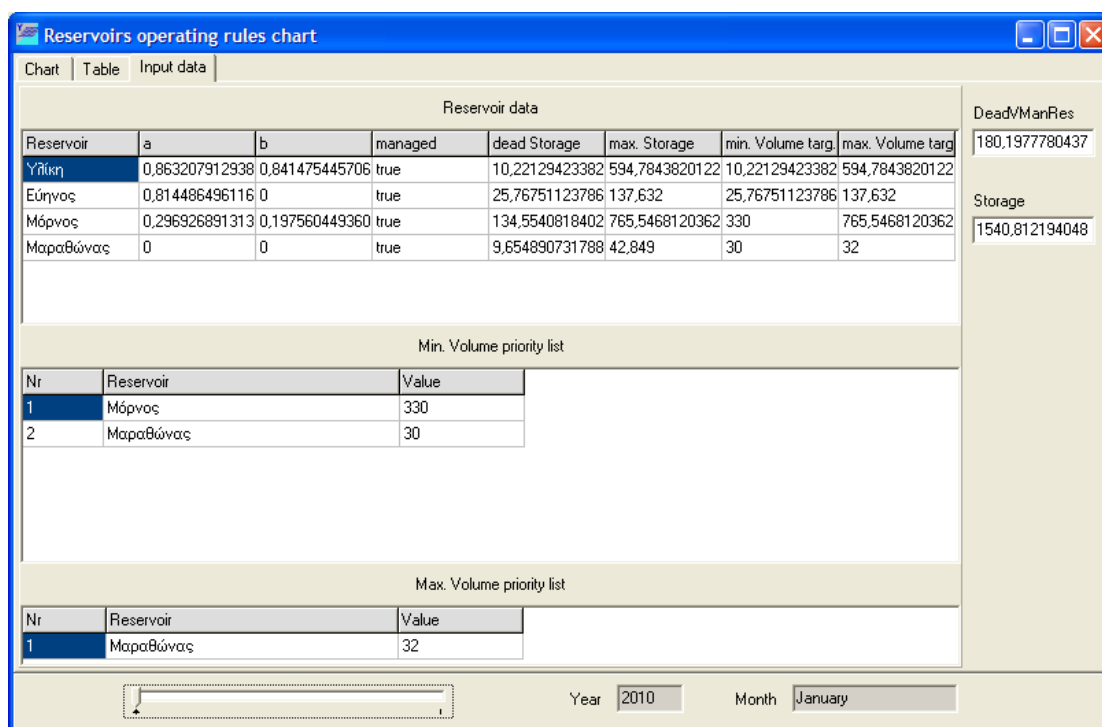
Σχήμα 5.24: Μέση ετήσια πιθανότητα αστοχίας για τις τιμές ζήτησης νερού που τέθηκαν στις πέντε πολιτικές χρήσεις των γεωτρήσεων. Οι τιμές έχουν προκύψει μετά από βελτιστοποίηση των κανόνων λειτουργίας των ταμιευτήρων και με θεώρηση άπειρης παροχетеυτικότητας στα υδραγωγεία..

Η τελευταία διερεύνηση της παρούσας εργασίας αφορά στο αν και κατά πόσο οι λειτουργικοί περιορισμοί μεγίστου αποθέματος που έχουν τεθεί στους ταμιευτήρες Ευήνου και Μόρνου, επιδρούν στη διατήρηση της αξιοπιστίας του στόχου ύδρευσης της Αθήνας. Καταργώντας τους λειτουργικούς περιορισμούς μεγίστου αποθέματος που έχουν τεθεί στους ταμιευτήρες Μόρνου και Ευήνου, και με τις προϋποθέσεις του σεναρίου A4 (άπειρη παροχетеυτικότητα υδραγωγείων, απαγόρευση χρήσης γεωτρήσεων), εκτελείται βελτιστοποίηση για ετήσια τιμή ζήτησης 450 hm^3 (ασφαλές απολήψιμο υδατικό δυναμικό με θεώρηση αξιοπιστίας 99% για το σενάριο A4), προκειμένου να εξετασθεί αν παρουσιάζονται αλλαγές στην τιμή του στόχου ύδρευσης της Αθήνας.

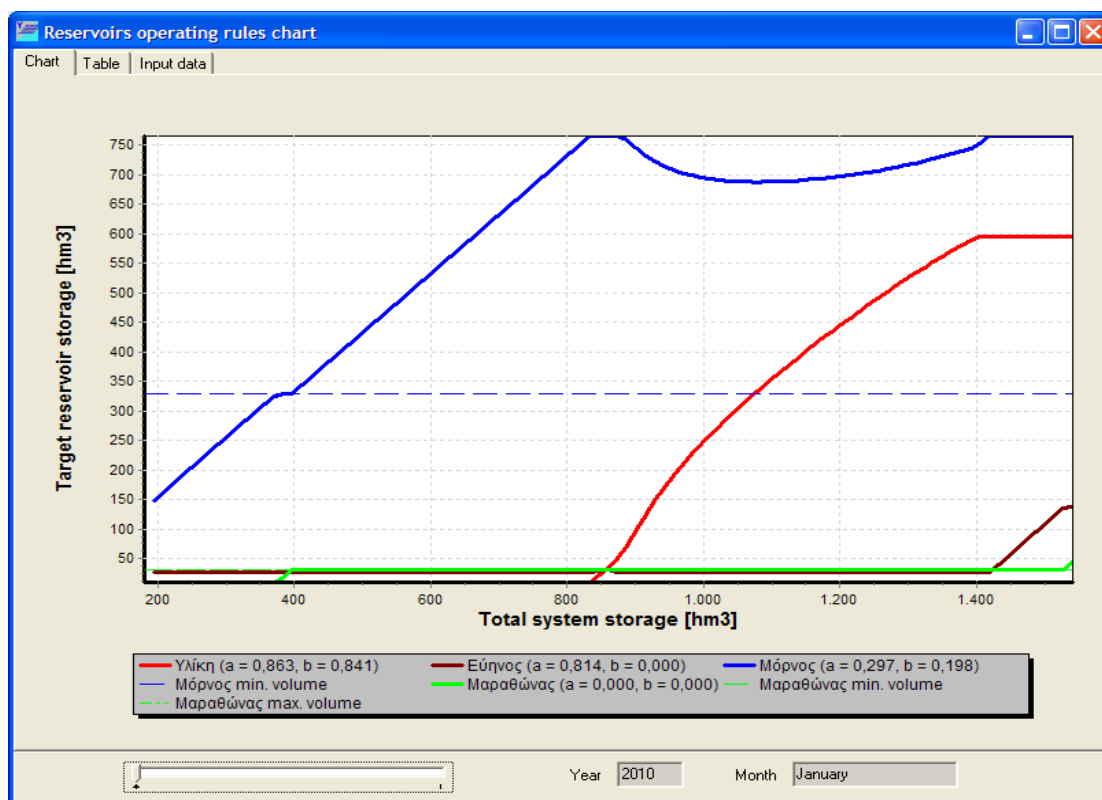
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση της βελτιστοποίησης καταδεικνύουν ότι η μέση ετήσια πιθανότητα αστοχίας του στόχου ύδρευσης της Αθήνας διατηρείται στα αποδεκτά όρια του 1%, όπως και στην περίπτωση του σεναρίου A4,

ανεξαρτήτως της ύπαρξης των λειτουργικών περιορισμών μεγίστου αποθέματος στους ταμιευτήρες Μόρνου και Ευήνου, γεγονός που εκτιμάται ότι οφείλεται στη θεώρηση άπειρης παροχευετικότητας στα υδραγωγεία. Η ύπαρξη του λειτουργικού περιορισμού μεγίστου αποθέματος ταμιευτήρα ουσιαστικά εισάγεται για την αποφυγή υπερχειλίσής του. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η άρση των λειτουργικών περιορισμών μεγίστου αποθέματος συνεπάγεται αύξηση της πιθανότητας υπερχειλίσης των ταμιευτήρων και κατά συνέπεια, μεγαλύτερη πιθανότητα αστοχίας του συστήματος. Ωστόσο, η θεώρηση άπειρης παροχευετικότητας, καθιστά εφικτή τη διοχέτευση «άπειρων» όγκων ποσότητας νερού, με αποτέλεσμα η πιθανότητα υπερχειλίσης των ταμιευτήρων να «παρουσιάζεται» μηδενική και το σύστημα να μην αστοχεί.

Οι βέλτιστοι κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων του υδροσυστήματος της Αθήνας, χωρίς τους λειτουργικούς περιορισμούς μεγίστου αποθέματος στους ταμιευτήρες Μόρνου και Ευήνου παρατίθενται στα σχήματα 5.25 και 5.26 (για το μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο των ταμιευτήρων βλ. παράρτημα Β).



Σχήμα 5.25: Βέλτιστοι κανόνες λειτουργίας ταμιευτήρων Μόρνου, Ευήνου, Υλίκης και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος χωρίς τους λειτουργικούς περιορισμούς μεγίστου αποθέματος των ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου, με θεώρηση απεριόριστης παροχευετικότητας υδραγωγείων και απαγόρευσης χρήσης γεωτρήσεων.



Σχήμα 5.26: Γραφική παράσταση βέλτιστων κανόνων λειτουργίας ταμιευτήρων Μόρνου, Εύηνου, Υλίκης και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος χωρίς τους λειτουργικούς περιορισμούς μεγίστου αποθέματος των ταμιευτήρων Μόρνου και Εύηνου, με θεώρηση απεριόριστης παρεχόμενης υδραγωγείων και απαγόρευσης χρήσης γεωτρήσεων.

Στη γραφική παράσταση του σχήματος 5.26 παρατηρείται ότι η κατάργηση των μεγίστων όγκων-στόχων στους ταμιευτήρες Εύηνου και Μόρνου, έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της πολιτικής πλήρωσης των ταμιευτήρων. Οι κανόνες λειτουργίας επιβάλλουν αρχικά την αποθήκευση του συνόλου του ωφέλιμου όγκου του συστήματος στον Μόρνο (και όχι σε Μόρνο και Εύηνο όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις), μέχρι να καλυφθεί η χωρητικότητα του ταμιευτήρα για να ξεκινήσει (όταν το συνολικό απόθεμα του συστήματος είναι 800 hm^3) η πλήρωση της Υλίκης, με ρυθμό ανάλογο της χωρητικότητάς της, έως ότου ο ταμιευτήρας πληρωθεί. Τέλος, στα επίπεδα συνολικού αποθέματος άνω των 1400 hm^3 πλεονάζον νερό αποθηκεύεται στον ταμιευτήρα του Εύηνου, ενώ οι ταμιευτήρες Μαραθώνα, Υλίκης και Μόρνου διατηρούν σταθερά τα αποθέματά τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εξαιτίας του ξηρού κλίματος της ευρύτερης περιοχής, η Αθήνα έχει υποφέρει από συχνά φαινόμενα λειψυδρίας στη μακρά ιστορία της, αλλά πρόσφατα έχει αποκτήσει ένα αξιόπιστο υδροδοτικό σύστημα. Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας εκτείνεται σε μια περιοχή περίπου 4000 τετραγωνικών χιλιομέτρων και περιλαμβάνει επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους. Ενσωματώνει τέσσερις ταμιευτήρες, κύρια υδραγωγεία μήκους 310 km, 13 κύρια αντλιοστάσια, περισσότερες από 100 γεωτρήσεις και τέσσερις μονάδες επεξεργασίας νερού (ΜΕΝ). Το σύστημα των υδατικών πόρων εξυπηρετεί και δευτερεύουσες χρήσεις όπως την άρδευση αγροτικών περιοχών και την ύδρευση γειτονικών πόλεων. Τέλος, στη λεκάνη του ποταμού Ευήνου ένα μέρος των ποσοτήτων νερού που ταμιεύονται διατίθενται για την κάλυψη της απαίτησης οικολογικής παροχής (μόνιμη παραμένουσα ροή 1 m³/s) στα κατάντη. Την ευθύνη της λειτουργίας του συστήματος έχει η Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.).

Το σύστημα υδροδότησης της Αθήνας, χαρακτηρίζεται από τη δυνατότητα πολλαπλών εναλλακτικών λύσεων, τόσο ως προς τους υδατικούς πόρους (4 ταμιευτήρες και γεωτρήσεις, κύριοι, βοηθητικοί και εφεδρικοί υδατικοί πόροι), όσο και ως προς τις διαδρομές μεταφοράς (δύο κύριες διαδρομές με δυνατότητα αλληλοσυνδέσεων). Οι εναλλακτικές λύσεις, οι οποίες ωστόσο τον τελευταίο καιρό έχουν περιοριστεί σε μεγάλο βαθμό εξαιτίας της μακροχρόνιας βλάβης του ενωτικού υδραγωγείου Μόρνου-Υλίκης, συμβάλλουν θετικά στην αξιοπιστία του συστήματος, και στις συνήθεις συνθήκες λειτουργίας αλλά και στην κάλυψη περιπτώσεων έκτακτων αναγκών, είτε αυτές οφείλονται στην υδρολογική δίαιτα (ξηρασία), είτε σε άλλους λόγους (περιστατικά βλαβών). Από την άλλη πλευρά, η δυνατότητα εναλλακτικών λύσεων, εγείρει την ανάγκη ορθής επιλογής της καλύτερης κάθε φορά λύσης και συνακόλουθα της χρήσης προχωρημένων μεθόδων διαχείρισης βασισμένων σε τεχνικές βελτιστοποίησης.

Στα μειονεκτήματα του συστήματος συγκαταλέγονται η πολυπλοκότητα του τροφοδοτικού δικτύου, η γεωγραφική διασπορά των πηγών και υδραγωγείων, η μεγάλη απόσταση των πηγών από τους καταναλωτές, οι σημαντικές απώλειες νερού της λίμνης Υλίκης και το υψηλό κόστος άντλησης από την Υλίκη και τις γεωτρήσεις. Οι δυσκολίες μεταφοράς νερού οφείλονται στην παλαιότητα και μειωμένη αξιοπιστία ορισμένων υδραγωγείων, τη μειωμένη παροχαρακτηριστική ορισμένων κλάδων και την μη ύπαρξη δυνατότητας αναρύθμισης κοντά στην πόλη. Το κυριότερο όμως πρόβλημα είναι η ανεπάρκεια του φυσικού πόρου σε συνδυασμό με τη συνεχή αύξηση της κατανάλωσης.

Οι υπόγειοι υδατικοί πόροι αντιμετωπίζονται ως εφεδρικοί, για την κάλυψη δυσμενών υδρολογικών συνθηκών και έκτακτων περιστατικών. Η χρήση των υπόγειων

υδατικών πόρων θα πρέπει να ορίζεται εκ των προτέρων, με βάση την εξέλιξη των αποθεμάτων, και όχι όταν αυτά βρίσκονται σε οριακά επίπεδα. Η ενεργοποίηση των γεωτρήσεων οφείλει να ακολουθεί συγκεκριμένους κανόνες, όπως αυτοί έχουν οριστεί στο μοντέλο προσομοίωσης.

Η διατήρηση της οικολογικής παροχής κατάντη του φράγματος Ευήνου που επιβάλλουν οι σχετικοί περιβαλλοντικοί όροι, αποτελεί το σημαντικότερο, από περιβαλλοντικής πλευράς, περιορισμό στη διαχείριση του συστήματος. Η τήρηση του όρου αυτού έχει βέβαια αρνητική συνέπεια για την υδροδότηση της Αθήνας, καθώς αφαιρεί από το δυναμικό του συστήματος περί τα 30 hm³ ετησίως.

Ο ταμιευτήρας Μαραθώνα, που είναι ο μόνος που βρίσκεται κοντά στην κατανάλωση, θεωρείται πρωταρχικής σημασίας όχι μόνο για τη ρυθμιστική του λειτουργία, αλλά και για την ασφάλεια του όλου συστήματος, έναντι έκτακτων περιστατικών. Όμως, η δόμηση στην κοίτη του Χάραδρου κατάντη του ταμιευτήρα, δημιουργεί τον κίνδυνο καταστροφών σε περίπτωση υπερχειλίσσης μετά από έντονο πλημμυρικό επεισόδιο. Για τη μείωση αυτού του κινδύνου, ο οποίος πάντως δε μπορεί να εξαλειφθεί, έχουν τεθεί ανώτατα όρια στην αποθήκευση νερού στον ταμιευτήρα Μαραθώνα, τα οποία μάλιστα μεταβάλλονται εποχιακά (το χειμώνα που η πιθανότητα πλημμυρών είναι μεγαλύτερη, τίθεται χαμηλότερο όριο αποθέματος). Το γεγονός αυτό, ωστόσο, μικραίνει κατά πολύ τη ρυθμιστική δυνατότητα και το επίπεδο ασφάλειας του υδροδοτικού συστήματος έναντι περιστατικών βλάβης των υδραγωγείων.

Η ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων αποτελεί κρίσιμο ζήτημα για τη βιώσιμη ανάπτυξη των κοινωνιών, ιδιαίτερα στην εποχή μας, όπου η ζήτηση ακολουθεί έντονα αυξητικές τάσεις. Η πολυπλοκότητα της διαχείρισης των υδατικών πόρων δημιουργεί την ανάγκη ολιστικής προσέγγισης που βασίζεται στη θεωρία συστημάτων και κάνει χρήση προχωρημένων μαθηματικών τεχνικών. Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (συστήματα λογισμικού που υποστηρίζουν τη διαδικασία λήψης των αποφάσεων βοηθώντας τους αρμόδιους ως προς την κατανόηση των επιπτώσεων των αποφάσεων τους), σε συνδυασμό με την ανθρώπινη κρίση και εμπειρία, μπορούν να συμβάλλουν στη λήψη ορθολογικών αποφάσεων σε ευρύ φάσμα ασθενώς δομημένων τεχνολογικών προβλημάτων. Η βέλτιστη διαχείριση συστημάτων υδατικών πόρων αποτελεί ένα από τα τυπικά πεδία εφαρμογής των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων-ΣΥΑ.

Η διαχείριση και εποπτεία του ιδιαίτερα σύνθετου υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας στηρίζεται στην ανάπτυξη ενός εξελιγμένου ΣΥΑ. Κύριες συνιστώσες του ΣΥΑ είναι τα λογισμικά πακέτα «Κασταλία» και «Υδρονομέας» (προσομοίωση και βελτιστοποίηση υδροδοτικού συστήματος), τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διεξαγωγή της παρούσας εργασίας. Ο «Υδρονομέας» είναι ένα ολοκληρωμένο εργαλείο προσομοίωσης και βέλτιστης διαχείρισης συστημάτων υδατικών πόρων, που ενσωματώνει πλήθος φυσικών, λειτουργικών,

οικονομικών, διοικητικών και περιβαλλοντικών πτυχών του νερού. Το πρόγραμμα προτείνει πολιτικές διαχείρισης, τέτοιες ώστε να ελαχιστοποιούνται το κόστος λειτουργίας και η διακινδύνευση όσον αφορά στην ποσοτική και ποιοτική επάρκεια του νερού για κάθε χρήση. Η «Κασταλία» χρησιμοποιείται για τη γέννηση συνθετικών υδρολογικών χρονοσειρών σε πολλαπλές θέσεις και πολλαπλές χρονικές κλίμακες, στατιστικά συνεπών με τα αντίστοιχα ιστορικά δεδομένα. Υλοποιεί ένα σχήμα στοχαστικής ανάλυσης πολλών μεταβλητών, κατάλληλο για την αναπαραγωγή χαρακτηριστικών ιδιοτεροτήτων των υδρολογικών διεργασιών, όπως της μακροπρόθεσμης εμμονής και της περιοδικότητας.

6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

Ο γενικός στόχος που τίθεται για την υδροδότηση της Αθήνας σε κάθε περίπτωση είναι η κάλυψη της ζήτησης με αξιοπιστία 99% (πιθανότητα αστοχίας 1%) σε ετήσια βάση και σε συνθήκες μόνιμης κατάστασης (steady-state). Αυτό σημαίνει ότι είναι ανεκτή μία αστοχία την εκατονταετία κατά μέσο όρο σε συνθήκες σταθερής ζήτησης. Η μηδενική αστοχία, αν και θα ήταν επιθυμητή, είναι προφανές ότι δεν είναι ρεαλιστική. Η αστοχία 1% θεωρείται απόλυτα ικανοποιητική για ένα μείζον υδροδοτικό σύστημα όπως αυτό της Αθήνας.

Αστοχία μπορεί να προκύψει από δύο κυρίως αιτίες: την εξάντληση των υδατικών πόρων και την εξάντληση της παροχτευτικότητας των αγωγών μεταφοράς. Η μεθοδολογία που ακολουθείται στην περίπτωση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας αντιμετωπίζει ταυτόχρονα και τις δύο αυτές αιτίες. Έτσι η αποδεκτή πιθανότητα αστοχίας 1% αποτελεί συνολική πιθανότητα, χωρίς διάκριση της πραγματικής αιτίας (χωρίς βέβαια αυτό να σημαίνει ότι δεν ενδιαφέρει κάθε φορά η εξακρίβωση των αιτιών της αστοχίας).

Η βελτιστοποίηση της διαχείρισης των υδατικών πόρων της Αθήνας αποσκοπεί στην αναζήτηση ορθολογικών, αποδοτικών και βιώσιμων πολιτικών διαχείρισης του υδροσυστήματος, ως προς κάποιο καθολικό μέτρο επίδοσης, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη ποσότητα νερού με την απαιτούμενη αξιοπιστία, και ταυτόχρονα να ελαχιστοποιείται το κόστος λειτουργίας του συστήματος που αναφέρεται, κατά μείζονα λόγο, στη χρήση ενεργοβόρων διατάξεων (αντλιοστάσια, γεωτρήσεις). Προφανώς, οι στόχοι βελτιστοποίησης της αξιοπιστίας και οικονομικότητας του συστήματος είναι αντικρουόμενοι. Κατά συνέπεια, αναζητείται η πλέον πρόσφορη διαχείριση, η οποία εξασφαλίζει μακροχρόνια επάρκεια των υδατικών πόρων, και μάλιστα υπό καθεστώς ποικίλων αβεβαιοτήτων που διέπουν το σύστημα.

Το θεωρητικό δυναμικό του υδροσυστήματος της Αθήνας αντιστοιχεί στη μέγιστη δυνατή απόληψη για την ύδρευση της Αθήνας, έτσι ώστε η αξιοπιστία του συστήματος να ανέρχεται ακριβώς στο 99%. Κατά τον υπολογισμό του εν λόγω δυναμικού, η ετήσια τιμή του συνολικού στόχου ύδρευσης στην Αθήνα αποτέλεσε μεταβλητή προς μεγιστοποίηση, ενώ

πέραν του ετήσιου στόχου ύδρευσης, αναζητήθηκαν και οι βέλτιστοι κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων Μόρνου, Ευήνου, Υλίκης και Μαραθώνα.

Στην παρούσα εργασία εκτιμήθηκε το ασφαλές απολήψιμο δυναμικό για την ύδρευση της Αθήνας, εξαιρουμένου του φυσικού περιορισμού της παροχетеυτικότητας των υδραγωγείων (θεώρηση απεριόριστης παροχетеυτικότητας), για πέντε διαφορετικές πολιτικές χρήσης γεωτρήσεων (πέντε διαφορετικά σενάρια) και για ετήσια τιμή ζήτησης που κυμαίνεται από 400 hm³ έως 610 hm³.

Στο σενάριο A1 θεωρήθηκε εντατική χρήση των γεωτρήσεων, και οι τιμές των κατωφλίων τους ορίστηκαν ίσες με 80% (άνω όριο) και 50% (κάτω όριο). Στο σενάριο A2 θεωρήθηκε συντηρητική χρήση των γεωτρήσεων (τιμές κατωφλίων 40% και 25%), στο σενάριο A3 θεωρήθηκε περιορισμένη χρήση των γεωτρήσεων (τιμές κατωφλίων 20% και 10%) και στο σενάριο A4 απαγορεύτηκε πλήρως η χρήση των γεωτρήσεων. Στο πέμπτο σενάριο τα κατώφλια των γεωτρήσεων διαμορφώθηκαν σύμφωνα με την πολιτική χρήσης γεωτρήσεων που υιοθετεί η ΕΥΔΑΠ. Η διαχειριστική πολιτική που υιοθετείται επί του παρόντος από την ΕΥΔΑΠ προσεγγίζει την ανωτέρω συντηρητική χρήση γεωτρήσεων (τιμές άνω και κάτω κατωφλίων 40% και 25% αντίστοιχα), πέραν των γεωτρήσεων Βασιλικών-Παρορίου και Ταξιαρχών που οι τιμές κατωφλίων ορίζονται σε 25% και 15%, ώστε να ενεργοποιούνται σε περίπτωση εξαιρετικά δυσμενών συνθηκών. Υπενθυμίζεται ότι οι δύο παράμετροι τύπου κατωφλίου που εισάγονται ανά ομάδα γεωτρήσεων, εκφράζουν τα κρίσιμα όρια του ποσοστού πλήρωσης των ταμιευτήρων. Το άνω όριο υποδηλώνει το ποσοστό του ωφέλιμου όγκου του συστήματος, πέραν του οποίου απαγορεύεται η χρήση των γεωτρήσεων και το κάτω όριο το ποσοστό του ωφέλιμου όγκου του συστήματος, κάτω από το οποίο οι γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται κατά προτεραιότητα, ανεξαρτήτως κόστους. Σε ενδιάμεσες τιμές, η ομάδα γεωτρήσεων ενεργοποιείται ή όχι με βάση οικονομικά κριτήρια (κατανάλωση ενέργειας).

Συνολικά διαμορφώθηκαν 18 διαφορετικοί συνδυασμοί γεωτρήσεων και ετήσιας ζήτησης νερού και σε κάθε συνδυασμό εκτελέστηκε βελτιστοποίηση (διαδικασία ιδιαίτερα χρονοβόρα), προκειμένου για κάθε μια πολιτική χρήσης γεωτρήσεων, να βρεθεί το ασφαλές απολήψιμο δυναμικό για την ύδρευση της Αθήνας, ώστε η αξιοπιστία του συστήματος να ανέρχεται ακριβώς στο 99%.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης, αν δεν γίνει καθόλου εκμετάλλευση των γεωτρήσεων, η ασφαλής ετήσια ποσότητα νερού στα διυλιστήρια με θεώρηση αξιοπιστίας (ασφάλειας) 99%, λαμβάνοντας υπόψη τις διαρροές και το φαινόμενο της μακροπρόθεσμης υδρολογικής εμμονής, ανέρχεται σε 450 hm³. Σε αυτή την περίπτωση, η μέση ετήσια απόληψη από τα επιφανειακά νερά (εκροές από Μόρνο και Υλίκη για ύδρευση) ανέρχεται σε 492 hm³, ενώ οι μέσες ετήσιες απώλειες νερού στα υδραγωγεία είναι 45 hm³. Αντίστοιχα, η φυσική τροφοδοσία του συστήματος (λόγω απορροής και βροχόπτωσης)

ανέρχεται σε 872,28 hm³, ενώ οι απώλειες λόγω εξάτμισης, υπόγειων διαφυγών και υπερχειλίσεων φτάνουν τα 304,92 hm³.

Η παραπάνω ποσότητα αποτελεί ένα κατώτατο όριο του απολήψιμου δυναμικού του συστήματος, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η παροχетеυτικότητα των υδραγωγείων, και αυξάνεται ανάλογα με την πολιτική χρήσης των γεωτρήσεων. Με εντατική εκμετάλλευση των γεωτρήσεων, με τρόπο ώστε το σύνολο των γεωτρήσεων να λειτουργεί υποχρεωτικά (ανεξαρτήτως κόστους), όταν το συνολικό απόθεμα των ταμιευτήρων μειωθεί κάτω από το κατώφλι του 50% της χωρητικότητάς τους και δυνητικά (παίρνοντας υπόψη και το κόστος), όταν το συνολικό απόθεμα των ταμιευτήρων μειωθεί κάτω από το κατώφλι του 80% της χωρητικότητάς τους, η θεωρητικά μέγιστη ασφαλής ποσότητα νερού (αξιοπιστία 99%) στα διυλιστήρια ετησίως, είναι 608 hm³. Σε αυτή τη διαχειριστική πολιτική, η μέση ετήσια συμβολή των υπόγειων νερών στο συνολικό απολήψιμο υδατικό δυναμικό ανέρχεται σε 77 hm³, και των αντίστοιχων επιφανειακών σε 593 hm³.

Από την άλλη πλευρά, η περιορισμένη χρήση των γεωτρήσεων (τιμές άνω και κάτω κατωφλίων 20% και 10% αντίστοιχα), συνεπάγεται την ασφαλή ετήσια ποσότητα 535 hm³ νερού στα διυλιστήρια (αξιοπιστία 99%), με τη συμμετοχή των επιφανειακών νερών (Μόρνου και Υλίκης) σε 582 hm³/έτος και των υπόγειων σε 9 hm³/έτος. Οι διαρροές στα υδραγωγεία υπολογίζονται σε 52 hm³/έτος.

Με μία πιο μετριοπαθή, οικονομικότερη και βιώσιμη πολιτική εκμετάλλευσης των υπόγειων υδατικών πόρων, όπου οι δύο τιμές κατωφλίων που χαρακτηρίζουν τη χρήση των γεωτρήσεων επιλέγονται στο 25% και 40%, το ασφαλές υδατικό δυναμικό στα διυλιστήρια υπολογίζεται στα 575 hm³, με τη συμβολή υπόγειων και επιφανειακών νερών στα 27 hm³ και 607 hm³ αντίστοιχα, και τις μέσες απώλειες στα υδραγωγεία στα 55 hm³/έτος.

Με την επικρατούσα πολιτική χρήσης γεωτρήσεων που εφαρμόζει η ΕΥΔΑΠ, η μέγιστη ασφαλής ποσότητα νερού στα διυλιστήρια υπολογίζεται στα 570 hm³, εκ των οποίων τα 604 hm³ προέρχονται από τις εκροές του Μόρνου και της Υλίκης για ύδρευση και τα 25 hm³ από τις γεωτρήσεις. Οι συγκεκριμένες ποσότητες θα πρέπει να θεωρούνται ως ασφαλή θεωρητικά όρια απόληψης από το σύστημα υπό συνθήκες βιώσιμης διαχείρισης.

Όσον αφορά στους λειτουργικούς περιορισμούς μεγίστου αποθέματος που έχουν τεθεί στους ταμιευτήρες Μόρνου και Ευήνου για την αποφυγή της υπερχειλίσεώς τους, η εκτέλεση βελτιστοποίησης, καταργώντας τους συγκεκριμένους λειτουργικούς στόχους και με θεώρηση απεριόριστης παροχетеυτικότητας στα υδραγωγεία και χρήσης μόνο των επιφανειακών υδάτων, για ετήσια ζήτηση 450 hm³ νερού, δεν παρουσιάζει καμία αλλαγή στη μέση ετήσια πιθανότητα αστοχίας του στόχου ύδρευσης της Αθήνας (διατηρείται όπως και στην περίπτωση της ύπαρξης των λειτουργικών περιορισμών στο 1%). Το γεγονός αυτό, κατά πάσα πιθανότητα, οφείλεται στην άρση των περιορισμών παροχетеυτικότητας στα υδραγωγεία, που καθιστά εφικτή τη δυνατότητα διοχέτευσης «άπειρων» ποσοτήτων νερού,

με αποτέλεσμα η πιθανότητα υπερχειλίσης των ταμιευτήρων θεωρητικά να είναι «μηδενική».

Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί ότι, επειδή σε όλα τα παραπάνω σενάρια έχει θεωρηθεί απεριόριστη παροχευτικότητα στα υδραγωγεία, οι τιμές που έχουν προκύψει για το ασφαλές απολήψιμο δυναμικό για την ύδρευση της Αθήνας, ώστε η αξιοπιστία του συστήματος να ανέρχεται ακριβώς στο 99%, είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες τιμές που θα προέκυπταν, αν εκτελούνταν βελτιστοποίηση με τις επίκαιρες τιμές παροχευτικότητας των υδραγωγείων. Η θεώρηση απεριόριστης παροχευτικότητας στα υδραγωγεία καθιστά εφικτή τη διοχέτευση άπειρων ποσοτήτων νερού, το οποίο στην πραγματικότητα είναι ανέφικτο, μιας και οι ποσότητες νερού που μπορούν να διοχετεύσουν τα υδραγωγεία έχουν κάποια μέγιστη τιμή, η οποία είναι άμεσα εξαρτώμενη από την παροχευτική τους ικανότητα.

Αξίζει να αναφερθεί ότι στην περίπτωση της τρέχουσας πολιτικής χρήσης γεωτρήσεων (πολιτική ΕΥΔΑΠ), με τις ίδιες προϋποθέσεις (ίδιες μεταβλητές ελέγχου, ίδια κριτήρια στοχικής συνάρτησης), εάν η βελτιστοποίηση διεξαχθεί με τις επίκαιρες τιμές παροχευτικότητας των υδραγωγείων (Actual discharge capacity), το ασφαλές απολήψιμο δυναμικό στα διυλιστήρια περιορίζεται στα 480 hm^3 , τιμή αρκετά μικρότερη συγκριτικά με τα 570 hm^3 που προέκυψαν από τη βελτιστοποίηση, εξαιρούμενου του φυσικού περιορισμού της παροχευτικότητας. Το γεγονός αυτό αυξάνει τον κίνδυνο αστοχίας του στόχου ύδρευσης της Αθήνας σε περίπτωση αύξησης της ζήτησης και δεδομένου ότι η ζήτηση στην περιοχή της πρωτεύουσας, σύμφωνα με τα μέχρι τώρα αποτελέσματα, παρουσιάζει συνεχή αύξηση, ο κίνδυνος εξάντλησης της μεταφορικής ικανότητας των υδραγωγείων και μη κάλυψης των υδατικών αναγκών της πρωτεύουσας, θα είναι ορατός τα επόμενα χρόνια.

6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σταθερά μια αύξηση της κατανάλωσης νερού στην περιοχή της πρωτεύουσας. Σύμφωνα με τα επίσημα δεδομένα της ΕΥΔΑΠ, το υδρολογικό έτος 2007-2008, η συνολική κατανάλωση νερού ανήλθε στα $425,8 \text{ hm}^3$, τιμή αυξημένη κατά $7,1 \text{ hm}^3$ από την αντίστοιχη του υδρολογικού έτους 2006-2007 ($418,7 \text{ hm}^3$) και κατά $20,7 \text{ hm}^3$ από την αντίστοιχη του υδρολογικού έτους 2005-2006 ($405,1 \text{ hm}^3$). Συγκρίνοντας τα μεγέθη ασφαλούς απόληψης με τα σενάρια αύξησης της κατανάλωσης, προκύπτει το συμπέρασμα ότι το υπάρχον σύστημα υδατικών πόρων είναι δύσκολο να καλύψει την αυξανόμενη ζήτηση, εφόσον αυτή δε συγκρατηθεί σε μικρά σχετικά επίπεδα. Επιπλέον, η αύξηση της ζήτησης νερού, περιορίζει σημαντικά και τη δυνατότητα επιλογών ως προς τις διαδρομές μεταφοράς νερού, καθώς εξαντλείται η μεταφορική ικανότητα των υδραγωγείων. Το ζήτημα της εξάντλησης της μεταφορικής ικανότητας των υδραγωγείων μπορεί να αντιμετωπιστεί ολοκληρωτικά μόνο με δαπανηρά έργα.

Η κατασκευή νέων έργων ταμίευσης και μεταφοράς νερού, με σκοπό την κάλυψη της

ζήτησης, σε περίπτωση που το υπάρχον υδροδοτικό σύστημα αστοχεί, απαιτεί σημαντικές οικονομικές δαπάνες, με αποτέλεσμα η υλοποίησή τους να είναι εξαιρετικά δύσκολη, αν όχι ανέφικτη. Για το λόγο αυτό, στο επίπεδο των διαχειριστικών μέτρων, για την αντιμετώπιση της αστοχίας προτείνεται κατ' αρχάς η ενεργοποίηση πηγών που είναι πλησιέστερα στην Αθήνα και που η μεταφορά τους δεν επιβαρύνει τα κρίσιμα σημεία του δικτύου, ενώ στην περίπτωση που και αυτά τα μέτρα αποδεικνύονται ανεπαρκή, το επόμενο διαχειριστικό μέτρο είναι η επιβολή περιορισμών στην κατανάλωση νερού.

Επιπλέον, κάθε προσπάθεια επέκτασης των υπηρεσιών της ΕΥΔΑΠ προς άλλες περιοχές θα πρέπει να συνδυάζεται με αξιοποίηση και περαιτέρω ανάπτυξη των τοπικών υδατικών πόρων, ώστε να περιοριστούν οι πιέσεις προς το σημερινό σύστημα υδατικών πόρων.

Όσον αφορά στο υδρευτικό δίκτυο διανομής, ο έλεγχος και ο περιορισμός των διαρροών (αλλά και του μη τιμολογούμενου νερού) είναι σήμερα επιτακτική ανάγκη. Η παλαιότητα του δικτύου και η περιορισμένη επιτήρηση και συντήρησή του έχει ως αποτέλεσμα να χάνονται σημαντικές ποσότητες νερού κατά τη μεταφορά (~25%). Η τεχνολογία προσφέρει σήμερα πολλές δυνατότητες (γεωγραφικές βάσεις δεδομένων, μαθηματικά μοντέλα συνεχούς προσομοίωσης δικτύων, συσκευές εντοπισμού διαρροών, ραντάρ εδάφους και κάμερες εντοπισμού και ελέγχου αγωγών, υλικά επισκευών) για την επιτήρηση των δικτύων, την ανίχνευση των διαρροών και την αποκατάσταση των βλαβών. Πάντως παλαιά δίκτυα που βρίσκονται σε κακή κατάσταση, με πολλές συσσωρευμένες βλάβες, είναι ίσως προτιμότερο να αντικαθίστανται παρά να επισκευάζονται.

Προκειμένου να περιοριστεί η ποσότητα νερού που καταναλώνεται για δημόσια και δημοτική χρήση, η χρήση νερού δεύτερης ποιότητας από αποθηκευμένα όμβρια, τοπικές γεωτρήσεις και επαναχρησιμοποιημένα λύματα, αποτελεί μια προφανή λύση για την άρδευση των κοινόχρηστων χώρων (πάρκα, πρασιές οδών), οι οποίοι στο πλαίσιο της γενικότερης τάσης για βελτίωση της ποιότητας ζωής, παρουσιάζουν αυξητική τάση ως προς την έκτασή τους, με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η αντίστοιχη κατανάλωση του νερού.

Στη βιομηχανία είναι σύνηθες φαινόμενο να χρησιμοποιείται ανακυκλωμένο νερό, το οποίο παράγεται ως παραπροϊόν κατά τις διάφορες διεργασίες. Ωστόσο, μελλοντικά προβλέπεται η βιομηχανία να αποτελέσει σημαντικό χρήστη και των ανακτημένων αστικών λυμάτων. Τα αστικά λύματα είναι κατάλληλα για πολλές βιομηχανίες που χρησιμοποιούν νερό, το οποίο δε χρειάζεται να έχει την ποιότητα του πόσιμου. Οι κύριες βιομηχανικές χρήσεις των αστικών λυμάτων είναι το νερό ψύξης, το νερό τροφοδοσίας λεβήτων και το νερό κατεργασίας ή βιομηχανικό νερό. Η κυρίαρχη όμως χρήση που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ζήτηση είναι το νερό ψύξης (Ανδρεαδάκης, 2008). Η χρήση των ανακτημένων αστικών λυμάτων, είναι προφανές, ότι θα περιορίσει αρκετά την κατανάλωση του πόσιμου νερού στη βιομηχανία.

Σημαντικό εργαλείο για τη διαχείριση της ζήτησης είναι η κλιμακωτή τιμολόγηση του νερού, συνδυαζόμενη με την ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των καταναλωτών για τη συνετή χρήση του νερού. Τα εργαλεία αυτά φάνηκαν εξαιρετικά χρήσιμα στην περίοδο της σχετικά πρόσφατης έμμονης λειψυδρίας στην Αθήνα, αφού μειώθηκε η κατανάλωση νερού κατά το 1/3 (Κουτσογιάννης, 2007). Ένα σύστημα κλιμακωτής τιμολόγησης νερού προσφέρει τη δυνατότητα εφαρμογής κοινωνικής δικαιοσύνης, επιβραβεύοντας με χαμηλότερη κατά μονάδα χρέωση τη συνετή χρήση, ενώ αντιθέτως, αποθαρρύνεται με υψηλότερη χρέωση η αλόγιστη χρήση νερού. Η ανωτέρω κλιμακωτή τιμολόγηση της κατανάλωσης νερού δίνει έμφαση στην ορθολογική ανάκτηση του κόστους λειτουργίας των συστημάτων ύδρευσης, διατηρεί σε υψηλά επίπεδα την ανταγωνιστικότητα του συστήματος και, παράλληλα, συμβάλλει καθοριστικά στην περιφρούρηση του υπό διαχείριση ζωτικού φυσικού πόρου.

Το πιο αποτελεσματικό και οικονομικό μέτρο για την εξασφάλιση νερού είναι η ευαισθητοποίηση του κοινού για την ορθολογική χρήση του. Ως εκ τούτου, η εντατικοποίηση της προσπάθειας ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης του κοινού, για την ανάγκη εξοικονόμησης νερού ύδρευσης σε ατομικό και συλλογικό επίπεδο, αποτελεί βασική προτεραιότητα. Δράσεις που θα μπορούσαν να συμβάλλουν στην καλλιέργεια και ανάπτυξη υδατικής συνείδησης στους καταναλωτές είναι εκστρατείες ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης στα ΜΜΕ (τηλεόραση, ραδιόφωνο, εφημερίδες), διανομή ενημερωτικών εντύπων στους καταναλωτές για τις πρακτικές εξοικονόμησης νερού στο σπίτι, ώστε να περιοριστεί η οικιακή κατανάλωση και διοργάνωση συνεδρίων και ημερίδων με συμμετοχή των αρμόδιων τοπικών και κρατικών φορέων, οι οποίοι θα ενημερώνουν τους πολίτες για την αναγκαιότητα ορθολογικής χρήσης του νερού και την αποφυγή της υπερβολικής σπατάλης. Τέλος, απαραίτητη είναι η ύπαρξη συνεπούς και συνεχούς περιβαλλοντικής παιδείας σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης, έτσι ώστε, με την ανάπτυξη των κατάλληλων εκπαιδευτικών προγραμμάτων στα σχολεία, οι μαθητές να είναι σε θέση να κατανοήσουν τη σπουδαιότητα του νερού στην καθημερινή ζωή και να αντιληφθούν την ανάγκη περιορισμού της σπατάλης στην κατανάλωσή του και της σωστής χρήσης του.

Πρέπει να γίνει συνείδηση όλων ότι το νερό, το βασικό αυτό στοιχείο της ζωής, έχουμε ευθύνη και υποχρέωση να το διαχειριζόμαστε σωστά και να καταβάλλουμε κάθε δυνατή προσπάθεια για την εξοικονόμησή του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

- Π.Δ. 51/2007** "Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2000/60/ΕΚ «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000" (ΦΕΚ 54Α/08-03-2007).
- Ν. 3199/2003** "Προστασία και διαχείριση των υδάτων-Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000" (ΦΕΚ 280Α/09-12-2003).
- Ν. 1739/87** "Διαχείριση των υδατικών πόρων και άλλες διατάξεις" (ΦΕΚ 201Α/20-11-87).

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Dreyfus, H., and Dreyfus, S.** (1986). *Mind over Machine: The Power of Human Intuition and Expertise in the Era of the Computer*, Free Press.
- Eom, S. B., Lee, S. M., Kim E. B., and Somarajan, C.** (1998). A survey of decision support system applications (1994-1998), *Journal of Operational Research*.
- French, S.** (2000). *Decision Analysis and Decision Support Systems*, 3rd draft edition.
- Grigg, N. S.** (1996). *Water Resources Management*, McGraw-Hill, New York.
- Perlman, H., Makropoulos, C., and Koutsoyiannis, D.** (2005). *The water cycle*, United States Geological Survey.
- Sage, A. P.** (1993). Associates systems for decision support, *Information and Decision Technologies*.
- Turban, E., and Aronson, J.** (1998). *Decision Support Systems and Intelligent Systems*, Prentice-Hall, New Jersey.
- Watkins, D. W., and McKinney, D. C.** (1995). Recent developments associated with decision support systems in water resources, *U.S. National Report to International Union of Geodesy and Geophysics 1991-1994*, Reviews of Geophysics, Vol. 33 Supplement 1995, American Geophysical Union.
- Winston, W. L.** (1994). *Operations Research, Applications and Algorithms*, 3rd edition, Duxbury, Belmont.
- World Commission on Dams** (2000). *Dams and Development: A New Framework for Decision-Making*.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- Αγγελάκης, Α.** (2008). «Αστείρευτες» ολιγορίες στη διαχείριση του νερού. *Μηνιαίο Τεχνικό Περιοδικό Θερμοϋδραυλικός*, Τεύχος Σεπτεμβρίου. Διαθέσιμο στην URL: <http://www.thermoydravlikos.gr/article.php?ID=132>

Adventure Zone (2003). Διεθνές Έτος Νερών, *Adventure Zone*, 13 Μαΐου. Διαθέσιμο στην URL:

<http://www.asxetos.gr/article.aspx?i=315>

Alpha Bank (2008): Το νερό ως εμπόρευμα σε ανεπάρκεια και η πολιτική των τροφίμων, *ΗΜΕΡΗΣΙΑ*, 9 Σεπτεμβρίου. Διαθέσιμο στην URL:

<http://www.imerisia.gr/general.asp?catid=12336&subid=20110&tag=9329&pubid=3115102>

Αναπτυξιακός Σύνδεσμος Δυτικής Αττικής (ΑΣΔΑ) (2008). Ερημοποίηση μεγάλων εκτάσεων της γης. Διαθέσιμο στην URL:

<http://www.asda.gr/gym8per/Programes/water/water10.htm>

Ανδρεαδάκης, Α. (2008). Οι χρήσεις που προτείνονται, *Hydromedia.gr*. Διαθέσιμο στην URL: <http://www.hydromedia.gr/content.asp?contentid=122>

Ασημακόπουλος, Δ. (2008). Προοπτικές και Εργαλεία για την Ορθολογική Διαχείριση της Ζήτησης Νερού. *Παρουσίαση στο πλαίσιο της ημερίδας «Το νερό στην εποχή της κλιματικής αλλαγής»*. Αθήνα, 28 Μαρτίου.

Βαράνου, Α., Δασακλής, Α., Φωτόπουλος, Φ., και Μπαλτάς, Ε. (2005). *Διαχείριση Υδατικών Πόρων*, Σημειώσεις του μαθήματος "Διαχείριση Υδατικών Πόρων" του Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, Αθήνα.

Βουτυράκης, Μ. (2005). Αειφόρος Ανάπτυξη και Νερό, *Ecocrete.gr*, *Το βήμα των Οικολογικών και Περιβαλλοντικών Ομάδων της Κρήτης*, 25 Μαρτίου. Διαθέσιμο στην URL:

http://www.ecocrete.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=1255&Itemid=82

Γανίδου, Μ. (2002). Νερό, Μέσο Ζωής, Ανάγκη Προστασίας, *Καταναλωτικά Βήματα*, Μάρτιος-Απρίλιος. Διαθέσιμο στην URL:

<http://www.kepka.org/Grk/info/Inveroment/inv005.htm>

Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) (2001). Μελέτη προσανατολισμού εστιασμένου προγράμματος ΕΠΑν Υδατικοί Πόροι, Αθήνα.

Γιουρουκέλη, Μ. (2008). Χάνονται 1,6 δις. km³ νερού το χρόνο στην Ελλάδα. *ΗΜΕΡΗΣΙΑ*, 7 Ιουλίου. Διαθέσιμο στην URL:

<http://qualitynet.lighthouse.gr/displayITM1.asp?ITMID=60390>

Γκούνδρας, Γ. (2008). Νερό: Η Ζωογόνος Δύναμη. Διαθέσιμο στην URL:

<http://www.gngnet.gr/users/ggoudr/WATER.TXT>

Δάνδολος, Η., Παπαθανασίου, Κ., Γιωτάκης, Κ., Σαμπατακάκης, Π., και Παπαστεργίου, Κ. (2008). Ο Ρόλος και οι Αρμοδιότητες της Αυτοδιοίκησης στη Διαχείριση και Προστασία Υδατικών Πόρων, Ινστιτούτο Τοπικής Αυτοδιοίκησης, Αθήνα.

Δράκος, Δ. (2008). Ομιλία Προέδρου Ένωσης Νομαρχιακών Αυτοδιοικήσεων Ελλάδος (ΕΝΑΕ), Συνέδριο ΚΕΔΚΕ-ΕΝΑΕ-ΙΤΑ για τους Υδατικούς Πόρους, Καλαμάτα, 28-29 Μαΐου. Διαθέσιμο στην URL:

<http://www.enaef.gr/nea.asp?NewsYear=2008&id=690>

Ελληνικό Κέντρο Βιότοπων-Υγρότοπων (ΕΚΒΥ) (2008). Ελληνικοί Υγρότοποι. Διαθέσιμο στην URL:

http://www.ekby.gr/ekby/el/Greek_Wetlands_main_el.html#ORISMOS

Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ) (2008). *Εξαμηνιαία Οικονομική Έκθεση-Στοιχεία και Πληροφορίες Περιόδου, Α' Εξάμηνο*, Αθήνα, Αύγουστος.

Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ) (2008). *Fact Sheet 2008*, Αθήνα, 9 Απριλίου.

Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ) (2008). *Νερό, αγαθό ζωής και δημιουργίας*, Φυλλάδιο παρουσίασης ΕΥΔΑΠ, Αθήνα.

Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ) (2008). *Ετήσιο Δελτίο Έτους 2007*, Αθήνα, Μάιος.

Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ) (2008). Απάντηση σε Δημοσίευμα της Εφημερίδας Ελεύθερος Τύπος, Δελτίο Τύπου, Αθήνα, 3 Μαΐου.

Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ) (2006). *Ενημερωτικό Σημείωμα*, Αθήνα.

Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ) (2006). *Ετήσιο Δελτίο Έτους 2005*, Αθήνα, Ιούνιος.

Ευστρατιάδης, Α. (2008). *Προσομοίωση και βελτιστοποίηση διαχείρισης υδροδοτικού συστήματος Αθήνας*, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος-ΕΜΠ, Αθήνα.

Ευστρατιάδης, Α. και Καραβοκυρός, Γ. (2007). Το μαθηματικό μοντέλο του Υδρονομέα, *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, ΕΜΠ, Αθήνα.

Ευστρατιάδης, Α., Καραβοκυρός, Γ., Κουτσογιάννης, Δ. (2007). Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης της διαχείρισης υδατικών συστημάτων «ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ», *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα ΟΔΥΣΣΕΥΣ*, Τεύχος 9, ΕΜΠ, Αθήνα.

Ευστρατιάδης, Α., και Κουτσογιάννης, Δ. (2004). Κασταλία (έκδοση 2.0): Σύστημα στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών μεταβλητών, *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, Τεύχος 23, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων-ΕΜΠ, Αθήνα.

Ευστρατιάδης, Α., Κουτσογιάννης, Δ., Κοζάνης, Σ. (2005). Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών μεταβλητών «Κασταλία», *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)*, Τεύχος 3, ΕΜΠ, Αθήνα.

Ευστρατιάδης, Α., Κουτσογιάννης, Δ., Μαμάσης, Ν. (2007). Βελτιστοποίηση της λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος Αθήνας, *Δεύτερο Διεθνές Συνέδριο Περιβάλλον-Βιώσιμη Διαχείριση Υδατικών Πόρων-Προηγμένες Τεχνολογίες για την Εξοικονόμηση Υδάτος*

την 4^η Προγραμματική Περίοδο 2007-2013, Αθήνα.

Ευστρατιάδης, Α., Μαμάσης, Ν., Κουτσογιάννης, Δ. (2007). *Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων σε προβλήματα διαχείρισης υδατικών πόρων*, Σημειώσεις στο πλαίσιο του μαθήματος "Διαχείριση Υδατικών Πόρων" του Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, Αθήνα.

Ευστρατιάδης, Α., Καραβοκυρός, Γ., Κουκουβίνος, Α., Κουτσογιάννης, Δ., Μαμάσης, Ν., Ναλμπάντης, Ι., Ρόζος, Ε., Νασίκας, Α., Νικολόπουλος, Δ., Κούτρα, Μ. (2004). Σχέδιο διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας - Έτος 2003-2004, *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, ΕΜΠ, Αθήνα.

Καϊτατζής, Φ. (2007). Το Μαρτύριο της Σταγόνας, *ΕΛΕΥΘΕΡΟΤΥΠΙΑ*, 22 Μαρτίου. Διαθέσιμο στην URL:

http://www.enet.gr/online/online_text/c=112,id=87722500,34692292,7280708

Κακλαμάνης, Ν. (2008). Ο Ρόλος και οι Αρμοδιότητες της Αυτοδιοίκησης στη Διαχείριση και την Προστασία των Υδατικών Πόρων, Συνέδριο ΚΕΔΚΕ-ΕΝΑΕ-ΙΤΑ για τους Υδατικούς Πόρους, Καλαμάτα, 28-29 Μαΐου.

Καραβοκυρός, Γ. (2001). Η διαχείριση των πόρων για την ύδρευση της Αθήνας-Το υπολογιστικό σύστημα Υδρονομέας, *ΤΑ ΝΕΑ ΤΟΥ ΣΕΓΜ*, Σεπτέμβριος-Οκτώβριος.

Καραβοκυρός, Γ., Ευστρατιάδης, Α., Βαζίμας, Ι. (2007). Υδρονομέας έκδοση 4: Υπολογιστικό Σύστημα Προσομοίωσης και Βέλτιστης Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, ΝΑΜΑ Σύμβουλοι Μηχανικοί & Μελετητές Α.Ε., Αθήνα.

Καραβοκυρός, Γ., Ευστρατιάδης, Α., Κουτσογιάννης, Δ. (2004). Υδρονομέας (έκδοση 3.2): Σύστημα υποστήριξης της διαχείρισης υδατικών πόρων, Τεύχος 24, ΕΜΠ, Αθήνα.

Καρανίκας, Χ. (2008). SOS για τη Λειψυδρία σε όλη τη Χώρα. *ΤΑ ΝΕΑ*, 11 Σεπτεμβρίου. Διαθέσιμο στην URL:

<http://www.qualitynet.gr/displayITM1.asp?ITMID=60590>

Κοζάνης, Σ., Χριστοφίδης, Α., Ευστρατιάδης, Α. (2005). Περιγραφή συστήματος διαχείρισης και επεξεργασίας δεδομένων «Υδρογνώμων», *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα ΟΔΥΣΣΕΥΣ*, Τεύχος 2, ΕΜΠ, Αθήνα.

Κολοκυθά, Ε. (2000) Η σταγόνα και το γκαζόν: Αυτοί που καταναλώνουν τις μεγαλύτερες ποσότητες νερού πληρώνουν από ελάχιστα έως καθόλου, *Το ΒΗΜΑ*, 12 Ιανουαρίου. Διαθέσιμο στην URL:

http://tovima.dolnet.gr/print_article.php?e=B&f=13110&m=C07&aa=1

Κουσουρής, Θ. (2008). Βιωματικά Εργαλεία Ευαισθητοποίησης ως προς το Νερό, τις Αξίες και Λειτουργίες του. Διαθέσιμο στην URL:

<http://www.perivallon.com/material/availablematerial/YLIK0epimorfosis%20PE/pe->

nerobiomatika.pdf

Κουσουρής, Θ. (2007). ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ (Προέλευση, Ταξινόμηση, Κατανομή, Αποθέματα, Υγρότοποι, Αξιοποίηση, Διαχείριση). Διαθέσιμο στην URL:

<http://www.perivallon.com/material/availablematerial/YLIKOErimorfosis%20PE/ydatikoiporoi.pdf>

Κουτσογιάννης, Δ. (2007). *Εισαγωγή: έννοιες, μεθοδολογία, μεγέθη, πλαίσιο διαχείρισης υδατικών πόρων στην Ελλάδα*, Σημειώσεις στο πλαίσιο του μαθήματος "Διαχείριση Υδατικών Πόρων" του Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, Αθήνα.

Κουτσογιάννης, Δ. (2007). *Έργα Αξιοποίησης των Υδατικών Πόρων*, Σημειώσεις στο πλαίσιο του μαθήματος "Διαχείριση Υδατικών Πόρων" του Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, Αθήνα.

Κουτσογιάννης, Δ. (2007). *Νερό και Αστική Ανάπτυξη*, Σημειώσεις στο πλαίσιο του μαθήματος "Διαχείριση Υδατικών Πόρων" του Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, Αθήνα.

Κουτσογιάννης, Δ. (2001). Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων στη διαχείριση υδατικών πόρων: Η περίπτωση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, *2^η Ημερίδα της ΕΥΔΑΠ για την Παγκόσμια Ημέρα Νερού*, Αθήνα, 22 Μαρτίου.

Κουτσογιάννης, Δ. (1999). Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, Διαμόρφωση θεσμικού πλαισίου ποιότητας πόσιμου νερού της πρωτεύουσας, ΕΜΠ, Αθήνα.

Κουτσογιάννης, Δ., Ανδρεαδάκης, Α., Μαμάσης, Ν. (2005). ΟΔΥΣΣΕΥΣ: Πληροφοριακό σύστημα για την προσομοίωση και διαχείριση υδροσυστημάτων, *15^η συνάντηση Ελλήνων χρηστών του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (G.I.S.) ArcInfo-ArcView-ArcIMS*, Marathon Data Systems, Αθήνα.

Κουτσογιάννης, Δ. και Ευστρατιάδης, Α. (2003). Εμπειρία από την ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων για τη διαχείριση μεγάλης κλίμακας υδροσυστημάτων της Ελλάδας, *Πρακτικά της Ημερίδας "Μελέτες και Έρευνες Υδατικών Πόρων στον Κυπριακό Χώρο"*, Σιδηρόπουλος, Ε. και Ιακωβίδης, Γ. (επιμ.), ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Κουτσογιάννης, Δ., Ευστρατιάδης, Α., Καραβοκυρός, Γ., Κουκουβίνος, Α., Μαμάσης, Ν., Ναλμπάντης, Ι., Ρόζος, Ε., Καρόπουλος, Χ., Νασίκας, Α., Νεστορίδου, Ε., Νικολόπουλος, Δ. (2002). Σχέδιο διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας - Έτος 2002-2003, *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, Τεύχος 14, ΕΜΠ, Αθήνα.

Κουτσογιάννης, Δ., Ευστρατιάδης, Α., Καραβοκυρός, Γ., Κουκουβίνος, Α., Μαμάσης, Ν., Ναλμπάντης, Ι., Γκριντζιά, Δ., Δαμιανόγλου, Ν., Ξανθάκης, Α., Πολιτάκη Σ., Τσουκαλά, Β. (2000) Σχέδιο διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας - Έτος 2000-2001, *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, Τεύχος 5, ΕΜΠ, Αθήνα.

Κουτσογιάννης, Δ., Μαμάσης, Ν., Ευστρατιάδης, Α. (2007). *Σχηματοποίηση υδροσυστήματος, προσφορά, ζήτηση*, Σημειώσεις στο πλαίσιο του μαθήματος "Διαχείριση Υδατικών Πόρων" του Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, Αθήνα.

Κουτσογιάννης, Δ., και Ευστρατιάδης, Α. (2002). *Κασταλία: Σύστημα στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών μεταβλητών*, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Κουτσογιάννης, Δ., και Τσελέντης, Ι. (2002). Σχόλιο για τις προοπτικές ανάπτυξης των υδατικών πόρων στην Ελλάδα σε σχέση με την Κοινοτική Οδηγία-Πλαίσιο για το νερό, Οδηγία-πλαίσιο για τα νερά-Εναρμόνιση με την ελληνική πραγματικότητα, ΕΜΠ, Αθήνα.

Κωνσταντοπούλου, Κ. (2008). Επεξεργασία Νερού, *Πηγή*, Τριμηνιαία Έκδοση των Δημοσίων Σχέσεων της ΕΥΔΑΠ, Τεύχος 50, ΕΥΔΑΠ, Αθήνα.

Λέκκας, Θ. (1996). *Περιβαλλοντική Μηχανική Ι, Διαχείριση Υδατικών Πόρων*. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος. Αθήνα: Εκδόσεις Κόσμος ΠΕΜΕΡ.

Μαμάσης, Ν. (2007). *Διαχείριση Υδατικών Πόρων*, Σημειώσεις στο πλαίσιο του μαθήματος "Υδατικό Περιβάλλον και Ανάπτυξη" του Δ.Π.Μ.Σ. "Περιβάλλον και Ανάπτυξη", ΕΜΠ, Αθήνα.

Μεσόγειος SOS (2008). Η λειψυδρία προ των πυλών, *Δίκτυο Μεσόγειος SOS*. Διαθέσιμο στην URL:

<http://www.medsos.gr/content/view/359/34/>

Μιμίκου, Μ. (2001). Κι όμως είναι αγαθό εν ανεπαρκεία- Ελλάδα: Και «πνιγμένη» και διασπασμένη, *ΕΛΕΥΘΕΡΟΤΥΠΙΑ*, 21 Αυγούστου. Διαθέσιμο στην URL:

http://www.enet.gr/online/online_issues?pid=61&dt=21/08/2001&id=85196596

Μιμίκου, Μ. και Φωτόπουλος, Φ. (2004). *Υδατικό Περιβάλλον και Ανάπτυξη*, Σημειώσεις του Δ.Π.Μ.Σ. "Περιβάλλον και Ανάπτυξη", ΕΜΠ, Αθήνα.

ΜΙΟ-ΕCSDE (2007). Στοιχεία για το Νερό και τη Λειψυδρία. *Ecocrete.gr, Το βήμα των Οικολογικών και Περιβαλλοντικών Ομάδων της Κρήτης*, 23 Μαρτίου. Διαθέσιμο στην URL:

http://www.ecocrete.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=3464&Itemid=0

Μοντεσάντου, Β. (1999). *Σημειώσεις Λιμνολογίας-Ποτάμια Υδροσυστήματα*. Διάλεξη του Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, Αθήνα.

Μόσχου, Ν. (2008) Προβληματική η Διαχείριση των Υδάτων σε Πανευρωπαϊκό Επίπεδο, *Act click, e-εφημερίδα*, 21 Μαρτίου-21 Απριλίου, Έτος 2^ο, Τεύχος 38^ο. Διαθέσιμο στην URL:

http://www.actclick.com/site/articlePages/mainArticle_770.aspx

Μουλαΐδου, Φ. και Τσακαλίδου, Φ. (2004). *Το πρόβλημα του Νερού*, Λευκωσία. Διαθέσιμο στην URL:

<http://users.uom.gr/~esartz/teaching/ergasies/Periballov2004/Nera.ppt>

Μυλόπουλος, Ι. (2008). Είναι το νερό Οικονομικό Αγαθό;, *Σόλων*, 1 Αυγούστου. Διαθέσιμο

στην URL:

<http://www.solon.org.gr/index.php/2008-07-15-19-12-42/54-2008-07-15-14-19-18/192-2008-07-17-11-58-02.html>

Μυλόπουλος, Ι. (2007). Νερό ο Επόμενος εφιάλτης, *xlaxanas*, 10 Αυγούστου. Διαθέσιμο στην URL:

<http://www.xlaxanas.gr/index.php?>

Μυλόπουλος, Ι. (2000). Διαχείριση της Ζήτησης και Κοστολόγηση Νερού, Ελληνική Επιτροπή Υδάτων. Διαθέσιμο στην URL:

<http://www.waterinfo.gr/eedyp/papers/IMylopoulos.html>

Μυλόπουλος, Ι. (2000). Αγαθό εν ανεπαρκεία, *ΤΟ ΒΗΜΑ*, 12 Νοεμβρίου. Διαθέσιμο στην URL:

<http://tovima.dolnet.gr/default.asp?pid=2&artid=127850&ct=34>

Μωράκη, Χ. (2008). Ο πλανήτης διψάει, *Act click, e-εφημερίδα*, 21 Μαρτίου-21 Απριλίου, Έτος 2^ο, Τεύχος 38^ο. Διαθέσιμο στην URL:

http://www.actclick.com/site/articlePages/mainArticle_801.aspx

Νασίκας, Α. (2003). Διαχείριση εξωτερικού υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας. ΕΥΔΑΠ Α.Ε. Λάρνακα, 22 Μαρτίου.

Ξανθόπουλος, Θ. και Κουτσογιάννης, Δ. (1997). Υδατικοί Πόροι, *Τεχνολογία & Πληροφορική*, Εκπαιδευτική Ελληνική Εγκυκλοπαίδεια: Εκδοτική Αθηνών.

Ξένος, Δ. (2002). Ολοκληρωμένη Διαχείριση Νερού: το κλειδί για την αειφορία των υδατικών πόρων, ΥΔΡΟΡΑΜΑ 2002, 3^ο Διεθνές Φόρουμ., Αθήνα.

Παναγιωτίδης, Π. (2007). *Υδατικά Οικοσυστήματα: Εσωτερικά Υδατα*, Διάλεξη του Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, Αθήνα.

Παναγιωτίδης, Π. (2007). *Υδατικά Οικοσυστήματα: Παράκτια & Μεταβατικά Υδατα*, Διάλεξη του Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, Αθήνα.

Παναγιωτίδης, Π. (2007). *Διαχείριση Υδατικών Οικοσυστημάτων Παράκτια & Μεταβατικά Υδατα Μέρος α: Θάλασσες*, Διάλεξη του Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, Αθήνα.

Παναγιωτίδης, Π. (2007). *Διαχείριση Υδατικών Οικοσυστημάτων Παράκτια & Μεταβατικά Υδατα Μέρος β: Λιμνοθάλασσες*, Διάλεξη του Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, Αθήνα.

Παναγιωτίδης, Π. (2007). *Διαχείριση Υδατικών Οικοσυστημάτων Παράκτια & Μεταβατικά Υδατα Μέρος γ: Ακτή*, Διάλεξη του Δ.Π.Μ.Σ. "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", ΕΜΠ, Αθήνα.

Παναγιώτου, Ι. (2008). Παγκόσμιο πρόβλημα η έλλειψη νερού, *ΑΙΧΜΕΣ*, 28 Μαρτίου. Διαθέσιμο στην URL:

http://www.aixmes.com/index.php?option=com_content&task=view&id=1008&Itemid=58

- Σκούλλος, Μ.** (2002). Προβλήματα στην αιεφόρο διαχείριση των υδατικών πόρων στην Ελλάδα, *Ελληνικοί υδατικοί πόροι-μια ρεαλιστική προσέγγιση*, Συνέδριο, Αθήνα, 25 Μαΐου.
- Σούλιος, Γ.** (2008). Εκμετάλλευση και Διαχείριση Υπογείου Νερού, Τμήμα Γεωλογίας-Τομέας Γεωλογίας, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη. Διαθέσιμο στην URL:
<http://www.geo.auth.gr/763/>
- Σουφλιάς, Γ.** (2008). *Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων*, Συνέντευξη Τύπου, ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα.
- Σταμάτη, Α.** (2005). Νερό: Ο νέος Χρυσός, Ιστοσελίδα της Οικολογίας για τη Λαμία και τη Φθιώτιδα, *ΤΑ ΝΕΑ*, 25 Νοεμβρίου. Διαθέσιμο στην URL:
http://www.e-ecology.gr/DiscView.asp?mid=648&forum_id=2
- Στουρνάρας, Γ.** (2007). *Νερό. Περιβαλλοντική Διάσταση και Διαδρομή*, Αθήνα: Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ.
- Σόλλας, Χ.** (2008). Πρόχειρο το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Υδάτων, *ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ*. Διαθέσιμο στην URL:
<http://www.mofeu.eu/forum/showthread.php?t=1147>
- Τερζής, Γ.** (2006). Τεράστια σπατάλη νερού για άρδευση, *ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ*, 17 Μαΐου. Διαθέσιμο στην URL:
http://www.greenpage.gr/blue_spatali_nerou.htm
- Τζαμτζής, Ι.** (2008) Το νερό και το μέλλον, *Hydromedia*. Διαθέσιμο στην URL:
<http://www.hydromedia.gr/content.asp?contentid=664>
- Τζανακούλης, Κ.** (2008). *Εισήγηση-παρουσίαση μελέτης από πλευράς Δ.Σ. Κεντρικής Ένωσης Δήμων και Κοινοτήτων Ελλάδος του Αντιπροέδρου της ΚΕΔΚΕ*, Συνέδριο για τους Υδατικούς Πόρους, Ένωση Νομαρχιακών Αυτοδιοικήσεων Ελλάδος, 30 Μαΐου.
- Τσακίρης, Γ.** (2008). Λειψυδρία: παροδικό ή μόνιμο φαινόμενο;, *Kykladesnews*, 5 Ιουνίου. Διαθέσιμο στην URL:
<http://www.kykladesnews.gr/default.asp?pid=4&la=1&nID=8258>
- Τσακίρης, Γ.** (2001). Διαχείριση Υδατικών Πόρων για την Ειρήνη την Ανάπτυξη και το Περιβάλλον, *Αιγαίο-Νερό-Βιώσιμη Ανάπτυξη*, Συμπόσιο του Υπουργείου Αιγαίου, Πάρος, 6-7 Ιουλίου.
- Τσακίρης, Γ.** (1995). Εισαγωγή στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων. *Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία*, Τσακίρης, Γ. (επιμ.). Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.
- Χρυσόγελος, Ν.** (2008). 50 λίτρα για κάθε άτομο, *ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ*, 1 Ιουνίου. Διαθέσιμο στην URL:
http://www.kathimerini.gr/4dcgi/_w_articles_ell_1_01/06/2008_272267

ΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

<http://el.wikipedia.org/wiki/>, Wikipedia, Ιστοχώρος Ελεύθερης Εγκυκλοπαίδειας.

<http://itia.ntua.gr/el/>, Ερευνητική Ομάδα ΙΤΙΑ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος.

<http://www.eydap.gr>, Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.).

<http://www.physics4u.gr/news/2003/scnews871.html>, Physics 4u, Παγκόσμιο Φόρουμ για το Νερό.

<http://www.odysseusproject.gr/index.htm>, ΟΔΥΣΣΕΥΣ: Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα, Έργο που υλοποιήθηκε στα πλαίσια του Επιχειρησιακού Προγράμματος ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ του Γ' Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης από τον Ιούλιο 2003 έως τον Δεκέμβριο 2006.

http://www.ypan.gr/fysikoi_poroi/emne_yd.htm, Γενική Διεύθυνση Φυσικού Πλούτου, Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού και Φυσικών Πόρων, Υπουργείο Ανάπτυξης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ

Πίνακας Α1: Σχέσεις στάθμης-αποθέματος και στάθμης-επιφάνειας ταμιεντήρα Ευήνου

ΣΧΕΣΕΙΣ ΣΤΑΘΜΗΣ-ΟΓΚΟΥ-ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ		
Στάθμη	Όγκος	Επιφάνεια
410	0	0
420	0,266	0,06
425	0,664	0,1
430	1,727	0,37
440	6,97	0,69
450	15,621	1,048
460	27,889	1,41
470	44,014	1,82
480	64,587	2,301
490	89,989	2,784
500	120,386	3,3
505	137,632	3,6
510	156,379	3,9
520	198,243	4,477

Πηγή: Reporting Manager

Πίνακας Α2: Σχέσεις στάθμης-αποθέματος και στάθμης-επιφάνειας ταμιεντήρα Μαραθώνα

ΣΧΕΣΕΙΣ ΣΤΑΘΜΗΣ-ΟΓΚΟΥ-ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ		
Στάθμη	Όγκος	Επιφάνεια
186	0	0
195	2,718	0,5104
196	3,248	0,5489
197	3,824	0,6031
198	4,451	0,652
199	5,128	0,7016
200	5,854	0,7501
201	6,628	0,7986
202	7,454	0,8525
203	8,332	0,9039
204	9,263	0,9592
205	10,257	1,0276
206	11,316	1,0904
207	12,435	1,1491
208	13,618	1,2151
209	14,875	1,2996
210	16,195	1,3406
211	17,571	1,4114
212	19,017	1,4813
213	20,534	1,5519
214	22,123	1,6269
215	23,787	1,7007
216	25,531	1,7881

217	27,365	1,88
218	29,291	1,9719
219	31,309	2,0652
220	33,424	2,1643
221	35,635	2,258
222	37,94	2,353
223	40,341	2,4483
224	42,849	2,5695

Πηγή: Reporting Manager

Πίνακας Α3: Σχέσεις στάθμης-αποθέματος και στάθμης-επιφάνειας ταμιευτήρα Μόρνου

ΣΧΕΣΕΙΣ ΣΤΑΘΜΗΣ-ΟΓΚΟΥ-ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ		
Στάθμη	Όγκος	Επιφάνεια
320	0	0
330	0,412	0,13
340	3,674	0,58
350	13,785	1,53
360	33,135	2,36
370	63,363	3,74
380	110,399	5,75
390	177,098	7,63
400	263,848	9,76
410	373,387	12,19
420	507,474	14,66
430	669,945	17,89
440	869,838	22,18

Πηγή: Reporting Manager

Πίνακας Α4: Σχέσεις στάθμης-αποθέματος και στάθμης-επιφάνειας ταμιευτήρα Υλίκης

ΣΧΕΣΕΙΣ ΣΤΑΘΜΗΣ-ΟΓΚΟΥ-ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ		
Στάθμη	Όγκος	Επιφάνεια
40	0	0
41	0,3511	1
42	2,5281	3,6
43	7,2151	5,8
44	13,8209	7,4
45	21,6791	8,3
46	30,2342	8,8
47	39,2883	9,3
48	48,7914	9,7
49	58,7442	10,2
50	69,1966	10,7
51	80,1986	11,3
52	91,8004	11,9
53	104,0019	12,5
54	116,8033	13,1
55	130,1546	13,6
56	144,0058	14,1

57	158,3069	14,5
58	173,0578	15
59	188,2588	15,4
60	203,8596	15,8
61	219,8604	16,2
62	236,2612	16,6
63	253,0118	16,9
64	270,1125	17,3
65	287,6131	17,7
66	305,4636	18
67	323,6641	18,4
68	342,2646	18,8
69	361,2651	19,2
70	380,6655	19,6
71	400,466	20
72	420,6664	20,4
73	441,2667	20,8
74	462,2671	21,2
75	483,7173	21,7
76	505,8168	22,5
77	528,4672	22,8
78	551,5174	23,3
79	575,2168	24,1
80	599,7164	24,9

Πηγή: Reporting Manager

ΦΟΡΜΕΣ ΛΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

ΦΟΡΜΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΩΝ

Aqueduct

Main | Economy

Name: Άνοικτό Ενωτικό

Upstream node: Κλειδί Inlet level (m): 245

Downstream node: Νο 10 Outlet level (m): 241

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 4.2 m3/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: 0

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Γαλάται Α

Upstream node: ΜΕΝ Γαλαταίου Inlet level (m): 0

Downstream node: Εισροή Μενιδίου (Α) Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 7 m3/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: 0

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Γαλάται Β

Upstream node: Εισροή Μενιδίου (Α) Inlet level (m): 0

Downstream node: Εισροή Μενιδίου (Β) Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 10 m3/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: 0

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Γαλάται Γ

Upstream node: Εισροή Μενιδίου (Β) Inlet level (m): 0

Downstream node: Ζήτηση Γαλαταίου Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 10 m3/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: 0

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Γεωτρήσεις Ταξιαρχών

Upstream node: Γεωτρήσεις Ταξιαρχών Inlet level (m): 0

Downstream node: Γεωτρήσεις Υλίκης Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 0.537 m3/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC:

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Γεωτρήσεις Βασιλικών-Παρορίου

Upstream node: Γεωτρήσεις Βασιλικών-Παρορίου Inlet level (m): 0

Downstream node: Μεριατής Διατόμου Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 1.829 m3/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC:

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Γεωτρήσεις Υλίκης

Upstream node: Γεωτρήσεις Υλίκης Inlet level (m): 0

Downstream node: Υλίκη Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 2 m3/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC:

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Δίστομο-Κωπαίδα

Upstream node: Δίστομο Inlet level (m): 0

Downstream node: Άρδευση Κωπαίδας Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 10 m3/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: 0

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Δίστομο-Μεριστής

Upstream node: Δίστομο Inlet level (m): 0

Downstream node: Μεριστής Κιθαιρώνας Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 18 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: 0,06

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Κακοσάλασι

Upstream node: Νο 10 Inlet level (m): 0

Downstream node: Νο 4 Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 3,8 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: 0

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Κιθαιρώνας-Μάνδρα

Upstream node: Κιθαιρώνας Inlet level (m): 0

Downstream node: Μάνδρα Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 17 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: []

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Κιθαιρώνας-Οικισμοί

Upstream node: Μεριστής Κιθαιρώνας Inlet level (m): 0

Downstream node: Οικισμοί υδρ. Μόρνου Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 10 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: []

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Κιούρκα-Κατανάλωση

Upstream node: ΜΕΝ Κιούρκων Inlet level (m): 0

Downstream node: Ζήτηση Κιούρκων Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 3,5 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: []

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Κιούρκα-Μαραθώνας

Upstream node: Κιούρκα Inlet level (m): 227

Downstream node: Μαραθώνας Outlet level (m): 50

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 10 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: []

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Μενίδι Α

Upstream node: ΜΕΝ Μενιδίου Inlet level (m): 0

Downstream node: Εισροή Κιούρκων Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 9 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: []

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Μενίδι Β

Upstream node: Εισροή Κιούρκων Inlet level (m): 0

Downstream node: Προς Γαλάτσι (Α) Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 10 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: []

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Μενίδι Γ

Upstream node: Προς Γαλάττι (Α) Inlet level (m): 0

Downstream node: Εισροή Μάνδρας Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 10 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Μενίδι Δ

Upstream node: Εισροή Μάνδρας Inlet level (m): 0

Downstream node: Προς Γαλάττι (Β) Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 10 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Μενίδι Ε

Upstream node: Προς Γαλάττι (Β) Inlet level (m): 0

Downstream node: Ζήτηση Μενιδίου Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 10 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Μενίδι-Γαλάττι (Α)

Upstream node: Προς Γαλάττι (Α) Inlet level (m): 0

Downstream node: Εισροή Μενιδίου (Α) Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 1,2 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Μενίδι-Γαλάττι (Β)

Upstream node: Προς Γαλάττι (Β) Inlet level (m): 0

Downstream node: Εισροή Μενιδίου (Β) Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 1,2 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Μενίδι-Κιούρκια (εσωτ)

Upstream node: Ζήτηση Μενιδίου Inlet level (m): 0

Downstream node: Ζήτηση Κιούρκων Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 0,2 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Μάνδρα Α

Upstream node: ΜΕΝ Μάνδρας Inlet level (m): 0

Downstream node: Προς Μενίδι Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 3,5 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Μάνδρα Β

Upstream node: Προς Μενίδι Inlet level (m): 0

Downstream node: Ζήτηση Μάνδρας Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 3,5 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Μάνδρα-Διωπιατήρια

Upstream node: Μάνδρα Inlet level (m): 0

Downstream node: MEN Μάνδρας Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 3,5 m3/s

Reduction coefficient: 0,12

Leakage coefficient

Constant LC

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Μάνδρα-Μενίδι (B)

Upstream node: Προς Μενίδι Inlet level (m): 0

Downstream node: Εισαγωγή Μάνδρας Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 0,8 m3/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Μεριαστής-Κλειδί

Upstream node: Μεριαστής Κιθαριώνα Inlet level (m): 250

Downstream node: Κλειδί Outlet level (m): 245

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 4 m3/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Μενίδι-Χελιδονού

Upstream node: Μενίδι Inlet level (m): 0

Downstream node: Χελιδονού Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 6 m3/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: No 3-Φρέαρ A

Upstream node: No 3 Inlet level (m): 0

Downstream node: Ανάντη Φρέατος A Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 0,8 m3/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: No 4-Φρέαρ A

Upstream node: No 4 Inlet level (m): 0

Downstream node: Φρέαρ A Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 3,1 m3/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Μενίδι-Μάνδρα (εσωτ)

Upstream node: Ζήτηση Μενιδίου Inlet level (m): 0

Downstream node: Ζήτηση Μάνδρας Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 0,8 m3/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Μενίδι-MEN Μενιδίου

Upstream node: Μενίδι Inlet level (m): 0

Downstream node: MEN Μενιδίου Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 12 m3/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Μόρνος-Δίσταμο

Upstream node: Μόρνος Inlet level (m): 384

Downstream node: Δίσταμο Outlet level (m): 350

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 18 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: []

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Μουρίκι-Κρεμμάδα

Upstream node: Μουρίκι Inlet level (m): 0

Downstream node: Κρεμμάδα Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 7,5 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: 0,03

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Σήραγγα Κιθαιρώνα

Upstream node: Μεριστής Κιθαιρώνα Inlet level (m): 250

Downstream node: Κιθαιρώνας Outlet level (m): 50

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 18 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: 0,04

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Σήραγγα Κιούρκων

Upstream node: Σφενδάλη Inlet level (m): 0

Downstream node: Κιούρκα Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 5,2 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: 0,04

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Σήραγγα Σφενδάλης

Upstream node: Φρέαρ Α Inlet level (m): 0

Downstream node: Σφενδάλη Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 5,2 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: []

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Σίφων Βιήζας (βαρ)

Upstream node: Κρεμμάδα Inlet level (m): 250

Downstream node: Βιήζα Outlet level (m): 241

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 3,2 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: []

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Υδρ. Μενίδι

Upstream node: Μάνδρα Inlet level (m): 0

Downstream node: Μενίδι Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 12 m³/s

Reduction coefficient: 0,12

Leakage coefficient

Constant LC: []

OK Cancel

Aqueduct

Main | Economy

Name: Φ900 (βαρ)

Upstream node: No 10 Inlet level (m): 0

Downstream node: No 3 Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 0,46 m³/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC: []

OK Cancel

Aqueduct

Main Economy

Name: Φρέαρ Α

Upstream node: Ανάντη Φρέατος Α Inlet level (m): 0

Downstream node: Φρέαρ Α Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC 1.8 m3/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC

OK Cancel

Aqueduct

Main Economy

Name: Χελιδονού-Γαλάτται

Upstream node: Χελιδονού Inlet level (m): 0

Downstream node: ΜΕΝ Γαλαττίου Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC 6.5 m3/s

Reduction coefficient: 0

Leakage coefficient

Constant LC

OK Cancel

ΦΟΡΜΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΤΑΙΟΣΤΑΣΙΩΝ

Pump

Main Energy

Name: Βίληζα-No 10

Upstream node: Βίληζα Inlet level (m): 100

Downstream node: No 10 Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC 3.6 m3/s

Reduction coefficient: 0

OK Cancel

Pump

Main Energy

Head [m]	Psi [GW/h/m4]
100.00	0.3100

Initial

OK Cancel

Pump

Main Energy

Name: Κιούρκα-Διυλιστήρια

Upstream node: Κιούρκα Inlet level (m): 227

Downstream node: ΜΕΝ Κιούρκων Outlet level (m): 223

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC 3.47 m3/s

Reduction coefficient: 0

OK Cancel

Pump

Main Energy

Head [m]	Psi [GW/h/m4]
4.00	1.5000

Initial

OK Cancel

Pump

Main Energy

Name: Κιούρκα-Μενίδι

Upstream node: ΜΕΝ Κιούρκων Inlet level (m): 100

Downstream node: Είσορή Κιούρκων Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC 1.04 m3/s

Reduction coefficient: 0

OK Cancel

Pump

Main Energy

Head [m]	Psi [GW/h/m4]
100.00	0.2725

Initial

OK Cancel

Pump

Main Energy

Name: Κρεμμίδα-Κλειδί

Upstream node: Κρεμμίδα Inlet level (m): 100

Downstream node: Κλειδί Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC 6 m3/s

Reduction coefficient: 0

OK Cancel

Pump

Main Energy

Head [m]	Psi [GW/h/hm4]
100,00	0,4400

Initial

OK Cancel

Pump

Main Energy

Name: Νο 3-Φρέαρ Α (αντ)

Upstream node: Νο 3 Inlet level (m): 100

Downstream node: Ανάντη Φρέατος Α Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC 0,9 m3/s

Reduction coefficient: 0

OK Cancel

Pump

Main Energy

Head [m]	Psi [GW/h/hm4]
100,00	2,8000

Initial

OK Cancel

Pump

Main Energy

Name: Νο 4-Φρέαρ Α (αντ)

Upstream node: Νο 4 Inlet level (m): 100

Downstream node: Φρέαρ Α Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC 0,6 m3/s

Reduction coefficient: 0

OK Cancel

Pump

Main Energy

Head [m]	Psi [GW/h/hm4]
100,00	0,5700

Initial

OK Cancel

Pump

Main Energy

Name: Σίφων Βιήζας (αντ)

Upstream node: Κρεμμίδα Inlet level (m): 100

Downstream node: Βιήζα Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC 1,1 m3/s

Reduction coefficient: 0

OK Cancel

Pump

Main Energy

Head [m]	Psi [GW/h/hm4]
100,00	0,4800

Initial

OK Cancel

Pump

Main | Energy

Name: Υδρογωγείο Διστόμου

Upstream node: Μεριστής Διστόμου Inlet level (m): 100

Downstream node: Δίστομο Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 2 m3/s

Reduction coefficient: 0

OK Cancel

Pump

Main | Energy

Head [m]	Psi [GW/h/hm4]
100.00	1.3000

Initial

OK Cancel

Pump

Main | Energy

Name: Φ900

Upstream node: Βιήζα Inlet level (m): 100

Downstream node: No 3 Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 1.7 m3/s

Reduction coefficient: 0

OK Cancel

Pump

Main | Energy

Head [m]	Psi [GW/h/hm4]
100.00	0.3100

Initial

OK Cancel

Pump

Main | Energy

Name: Φ900 (αντ)

Upstream node: No 10 Inlet level (m): 100

Downstream node: Ανάντη Φρέατος Α Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 1.7 m3/s

Reduction coefficient: 0

OK Cancel

Pump

Main | Energy

Head [m]	Psi [GW/h/hm4]
100.00	2.1000

Initial

OK Cancel

Pump

Main | Energy

Name: Χελιδονού-Μενιδι (αντ)

Upstream node: Χελιδονού Inlet level (m): 100

Downstream node: ΜΕΝ Μενιδίου Outlet level (m): 0

Variable outlet level

Discharge capacity

Constant DC: 2 m3/s

Reduction coefficient: 0

OK Cancel

Pump

Main | Energy

Head [m]	Psi [GW/h/hm4]
100.00	0.3500

Initial

OK Cancel

ΦΟΡΜΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟΧΩΝ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΩΝ

Target

General

Name: Αποφυγή Υπερχειλίσης Μαραθώνα

Category: No spill

Reservoir: Μαραθώνας

Target priority: 1

Description: Αποφυγή υπερχειλίσης Μαραθώνα

OK Cancel

Target

General Data

Name: Ζήτηση Κιούρκια

Category: Water supply

Node: Ζήτηση Κιούρκια

Return node: None

Constant target value: 0 hm³/Month

Target priority: 2

Return ratio: 0

Description: Κατανάλωση νερού για ύδρευση

OK Cancel

Target

General Data

Initial values

Unit	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
hm ³	2,6	2,9	2,9	2,9	4,2	5,1	5,9	5,4	4,4	4,4	3,2	2,7

Specific values

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December

OK Cancel

Target

General Data

Name: Ζήτηση Γαϊάτσι

Category: Water supply

Node: Ζήτηση Γαϊατσίου

Return node: None

Constant target value: 0 hm³/Month

Target priority: 2

Return ratio: 0

Description: Κατανάλωση νερού για ύδρευση

OK Cancel

Target

General | Data

Initial values

Unit	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
hm3	10,5	10,5	10,7	10,2	11,4	11,6	11,9	10,4	10,8	11,2	10,3	10,3

Specific values

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December

OK Cancel

Target

General | Data

Name: Ζήτηση Μενίδι Constant target value: 0 hm3/Month

Category: Water supply Target priority: 2

Node: Ζήτηση Μενιδίου Return ratio: 0

Return node: None

Description: Κατανάλωση νερού για ύδρευση

OK Cancel

Target

General | Data

Initial values

Unit	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
hm3	14,5	14,2	15,5	15	17,7	17,5	20,6	18,2	18,3	16,5	14,4	14,5

Specific values

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December

OK Cancel

Target

General | Data

Name: Ζήτηση Μάνδρα Constant target value: 0 hm3/Month

Category: Water supply Target priority: 2

Node: Ζήτηση Μάνδρας Return ratio: 0

Return node: None

Description: Κατανάλωση νερού για ύδρευση

OK Cancel

Target

General Data

Initial values

Unit	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
hm3	3,8	3,8	3,9	3,8	4,3	4,6	5,4	5,7	5,6	4,3	3,6	3,8

Specific values

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December

OK Cancel

Target

General

Name: Ζήτηση Υδραγωγείου Υπικής

Category: Water supply

Node: No 3

Return node: None

Description: Κατανάλωση νερού για ύδρευση

Constant target value: 0,27 hm3/Month

Target priority: 2

Return ratio: 0

OK Cancel

Target

General Data

Name: Ύδρευση Δικ. Κιθαιρώνια

Category: Water supply

Node: Δικασμοί υδρ. Μόρνου

Return node: None

Description: Κατανάλωση νερού για ύδρευση

Constant target value: 0 hm3/Month

Target priority: 2

Return ratio: 0

OK Cancel

Target

General Data

Initial values

Unit	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
hm3	0,43	0,4	0,46	0,45	0,52	0,57	0,71	0,76	0,63	0,45	0,43	0,45

Specific values

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December

OK Cancel

Target

General

Name: Περιβαλλοντική Παροχή Ευήνου Constant target value: 2,6 hm3/Month

Category: Water supply Target priority: 2

Node: Ευήνος

Return node: None Return ratio: 0

Description: Περιβαλλοντική Παροχή Ευήνου Είδος: Κατανάλωση νερού για ύδρευση

OK Cancel

Target

General Data

Name: Μέγιστος Όγκος Μαραθώνα Constant target value: 0 hm3

Category: Max. volume Target priority: 2

Reservoir: Μαραθώνας

Description: Μέγιστο απόθεμα ταμιευτήρα

OK Cancel

Target

General Data

Initial values

Unit	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
hm3	32	32	32	33,5	35	35	35	35	35	33,5	32	32

Specific values

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December

OK Cancel

Target

General

Name: Μέγιστος Όγκος Μόρνου Constant target value: 650 hm3

Category: Max. volume Target priority: 3

Reservoir: Μόρνος

Description: Μέγιστο απόθεμα ταμιευτήρα

OK Cancel

Target

General | Data

Name: Ελάχιστος Όγκος Μόρνου Constant target value 0 hm3

Category: Min. volume Target priority: 3

Reservoir: Μόρνος

Description: Ελάχιστο απόθεμα ταμειυτήρα

OK Cancel

Target

General | Data

Initial values

Unit	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
hm3	330	330	330	330	290	290	290	290	290	330	330	330

Specific values

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December

OK Cancel

Target

General | Data

Name: Μέγ. Παροχή Βασιλικών-Παρορίου Constant target value 0 m3/s

Category: Max. flow Target priority: 3

Conduit: Γεωτρήσεις Βασιλικών-Παρορίου

Description: Μέγιστη παροχή γεωτρήσεων Βασιλικών-Παρορίου

OK Cancel

Target

General | Data

Initial values

Unit	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
m3/s	1,829	1,829	1,829	1,829	1,829	1,829	0	0	0	0	0	0

Specific values

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December

OK Cancel

Target

General | Data

Name: Ελάχιστος Όγκος Μαραθώνα Constant target value 0 hm3

Category: Min. volume Target priority: 4

Reservoir: Μαραθώνας

Description: Ελάχιστο απόθεμα ταμειυτήρα

OK Cancel

Target

General | Data

Initial values

Unit	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
hm3	30	30,4	30,4	33,4	34,5	32,2	30	26,8	25,4	26,6	27,7	28,8

Specific values

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December

OK Cancel

Target

General

Name: Μέγιστος Όγκος Ευήνου Constant target value 110 hm3

Category: Max. volume Target priority: 4

Reservoir: Εύηνος

Description: Μέγιστο απόθεμα ταμειυτήρα

OK Cancel

Target

General | Data

Name: Άρδευση Κωπαΐδας Constant target value 0 hm3/Month

Category: Irrigation Target priority: 5

Node: Υψηλή

Return node: None Return ratio: 0

Description: Κατανάλωση νερού για άρδευση

OK Cancel

Target

General | Data

Initial values

Unit	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
hm3	0	0	0	0,4	1,4	7	15,4	10,8	0	0	0	0

Specific values

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December

OK Cancel

Target

General | Data

Name: Μέγ. Παροχή Ταξιαρχών Constant target value 0 m3/s

Category: Max. flow Target priority: 5

Conduit: Γεωτρήσεις Ταξιαρχών

Description: Μέγιστη παροχή γεωτρήσεων Ταξιαρχών

OK Cancel

Target

General | Data

Initial values

Unit	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
m3/s	0,537	0,537	0,537	0,537	0,537	0,537	0	0	0	0	0	0

Specific values

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December

OK Cancel

Target

General | Data

Name: Άρδευση Κωπαίδας-Δίστομο Constant target value 0 hm3/Month

Category: Irrigation Target priority: 5

Node: Άρδευση Κωπαίδας Return ratio: 0

Return node: None

Description: Κατανάλωση νερού για άρδευση

OK Cancel

Target

General Data

Initial values

Unit	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
hm ³	0	0	0	0	0	0	3,2	3,2	0	0	0	0

Specific values

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December

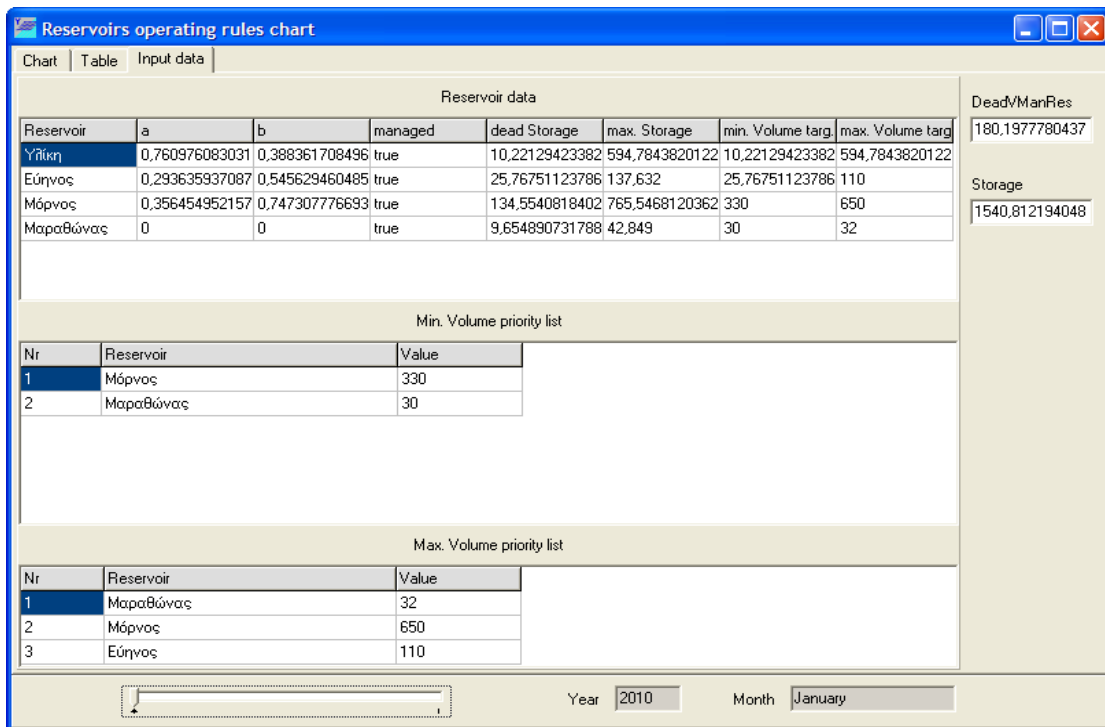
OK Cancel

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**ΒΕΛΤΙΣΤΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΑΠΟΛΗΨΙΜΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ**

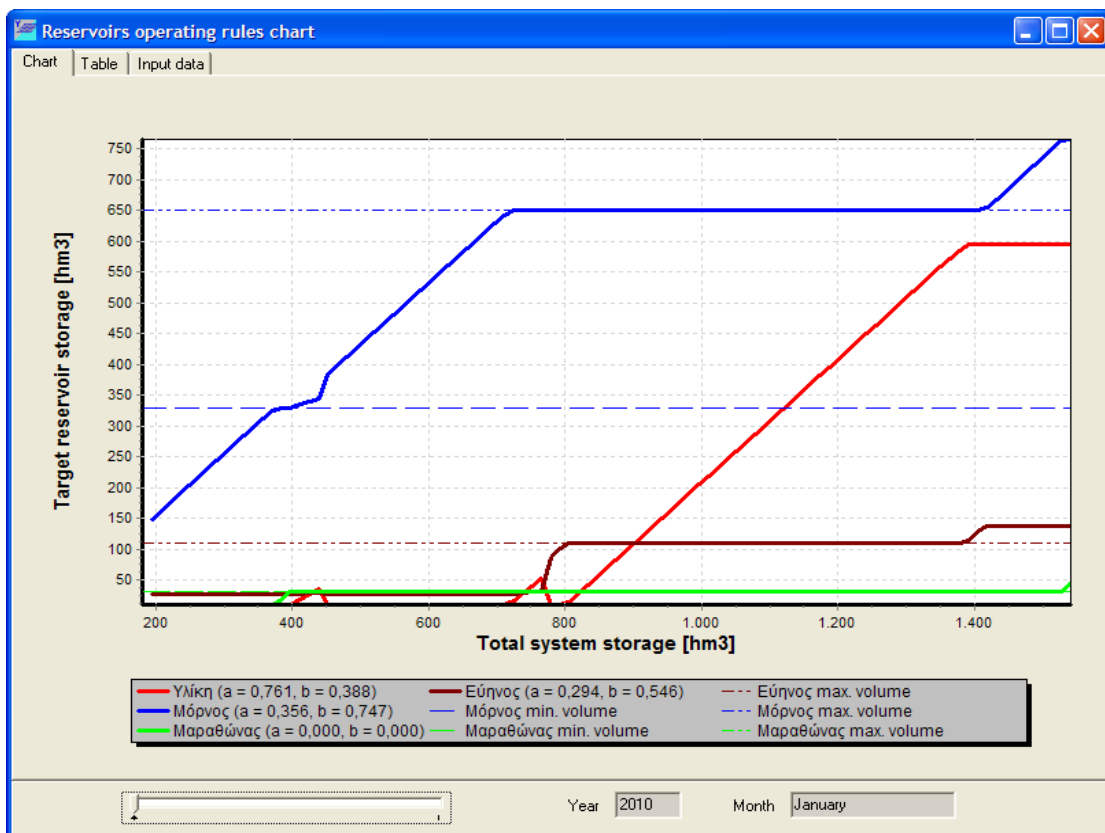
Πίνακας Β1: Μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο ταμιευτήρων (σε hm^3) για το σενάριο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος, με τη θεώρηση απεριόριστης παροχαρακτηριστικότητας υδραγωγείων και εντατικής χρήσης γεωτρήσεων (σενάριο Α1).

	ΥΔΙΚΗ	ΕΥΗΝΟΣ	ΜΟΡΝΟΣ	ΜΑΡΑΘΩΝΑΣ	ΣΥΝΟΛΟ
Εισροή από υπολεκάνη	307,56 (332,88)	279,84 (285,72)	238,44 (218,76)	13,44 (17,88)	839,28
Βροχόπτωση	9,60 (9,96)	3,60 (3,48)	16,44 (15,60)	1,20 (1,32)	30,84
Εξάτμιση	21,36 (17,52)	3,72 (2,76)	22,20 (14,64)	2,88 (2,16)	50,16
Υπόγειες διαφυγές	102,60 (85,80)	-	12,24 (1,92)	-	114,72
Εισροή από υδραγωγεία	1,92 (5,40)	-	248,76 (254,28)	13,80 (32,28)	264,60
Απόληψη για ύδρευση	154,92 (229,08)	248,76 (254,28)	437,88 (249,24)	25,56 (37,68)	867,24
Απόληψη για άρδευση	30,72 (57,02)	-	-	-	30,72
Οικολογική παροχή	-	30,84 (2,64)	-	-	30,84
Υπερχείλιση	9,48 (89,64)	0,0 (0,84)	31,20 (155,04)	-	40,68
Μέσο ολικό απόθεμα	225,25 (174,73)	104,37 (37,92)	638,36 (96,86)	31,39 (5,35)	-

Πηγή: Υδρονομέας



Σχήμα Β1: Βέλτιστοι κανόνες λειτουργίας ταμιευτήρων Μόρνου, Εύηνου, Υλίκης και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος με θεώρηση απεριόριστης παροχρητευτικότητας υδραγωγείων και εντατικής χρήσης γεωτρήσεων (σενάριο Α1).



Σχήμα Β2: Γραφική παράσταση βέλτιστων κανόνων λειτουργίας ταμιευτήρων Μόρνου, Εύηνου, Υλίκης και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος με θεώρηση απεριόριστης παροχρητευτικότητας υδραγωγείων και εντατικής χρήσης γεωτρήσεων (σενάριο Α1).

Πίνακας Β2: Μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο ταμειυτήρων (σε hm^3) για το σενάριο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος, με τη θεώρηση απεριόριστης παροχαρακτητικότητας υδραγωγείων και συντηρητικής χρήσης γεωτρήσεων (σενάριο Α2).

	ΥΛΙΚΗ	ΕΥΗΝΟΣ	ΜΟΡΝΟΣ	ΜΑΡΑΘΩΝΑΣ	ΣΥΝΟΛΟ
Εισροή από υπολεκάνη	307,68 (333,00)	279,96 (285,72)	238,56 (218,76)	13,44 (17,88)	839,64
Βροχόπτωση	8,88 (9,6)	3,48 (3,36)	16,20 (15,48)	1,2 (1,2)	29,76
Εξάτμιση	19,92 (17,04)	3,6 (2,76)	21,96 (14,64)	2,88 (2,16)	48,24
Υπόγειες διαφυγές	92,16 (85,80)	-	12,00 (2,04)	-	104,16
Εισροή από υδραγωγεία	1,56 (4,8)	-	249,00 (252,60)	14,40 (32,76)	264,96
Απόληψη για ύδρευση	169,20 (240,60)	249,0 (252,60)	438,24 (241,32)	26,16 (38,04)	882,60
Απόληψη για άρδευση	27,84 (54,84)	-	-	-	27,84
Οικολογική παροχή	-	30,72 (3,12)	-	-	30,72
Υπερχείλιση	9,00 (86,64)	0,0 (1,08)	31,32 (156,12)	-	40,32
Μέσο ολικό απόθεμα	198,79 (178,71)	97,72 (42,30)	627,34 (102,60)	31,28 (5,39)	-

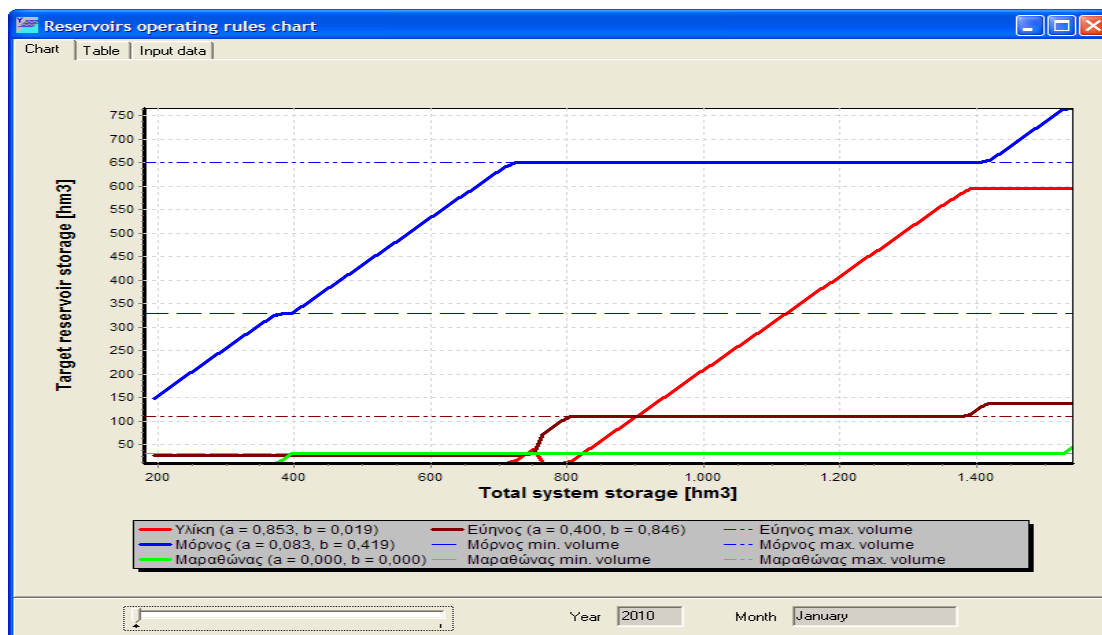
Πηγή: Υδρονομείας

Reservoir data							
Reservoir	a	b	managed	dead Storage	max. Storage	min. Volume targ	max. Volume targ
Υλική	0,853035430393	0,019415764733	true	10,22129423382	594,7843820122	10,22129423382	594,7843820122
Εύηνος	0,399799299426	0,845668753194	true	25,76751123786	137,632	25,76751123786	110
Μόρνος	0,083191027008	0,419278197083	true	134,5540818402	765,5468120362	330	650
Μαραθώνας	0	0	true	9,654890731788	42,849	30	32

Min. Volume priority list		
Nr	Reservoir	Value
1	Μόρνος	330
2	Μαραθώνας	30

Max. Volume priority list		
Nr	Reservoir	Value
1	Μαραθώνας	32
2	Μόρνος	650
3	Εύηνος	110

Σχήμα Β3: Βέλτιστοι κανόνες λειτουργίας ταμειυτήρων Μόρνου, Εύηνου, Υλικής και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος με θεώρηση απεριόριστης παροχαρακτητικότητας υδραγωγείων και συντηρητικής χρήσης γεωτρήσεων (σενάριο Α2).

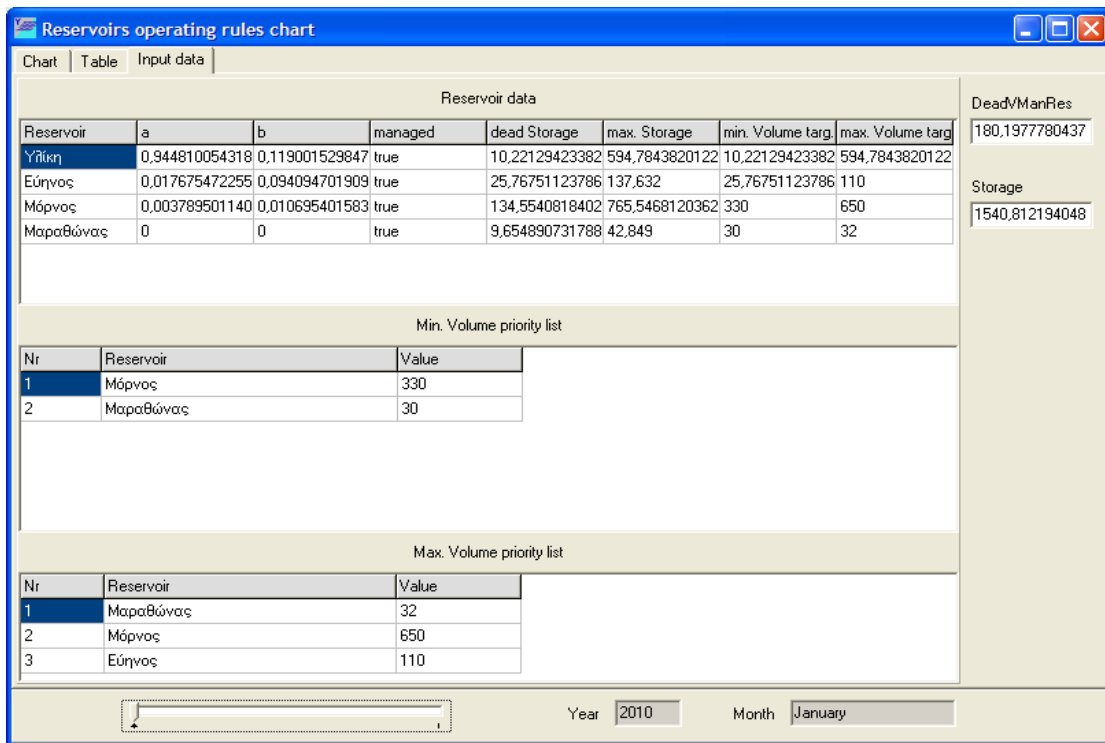


Σχήμα Β4: Γραφική παράσταση βέλτιστων κανόνων λειτουργίας ταμιευτήρων Μόρνου, Εύηνου, Υλίκης και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος με θεώρηση απεριόριστης παρεχόμενης υδραγωγείων και συντηρητικής χρήσης γεωτρήσεων (σενάριο Α2).

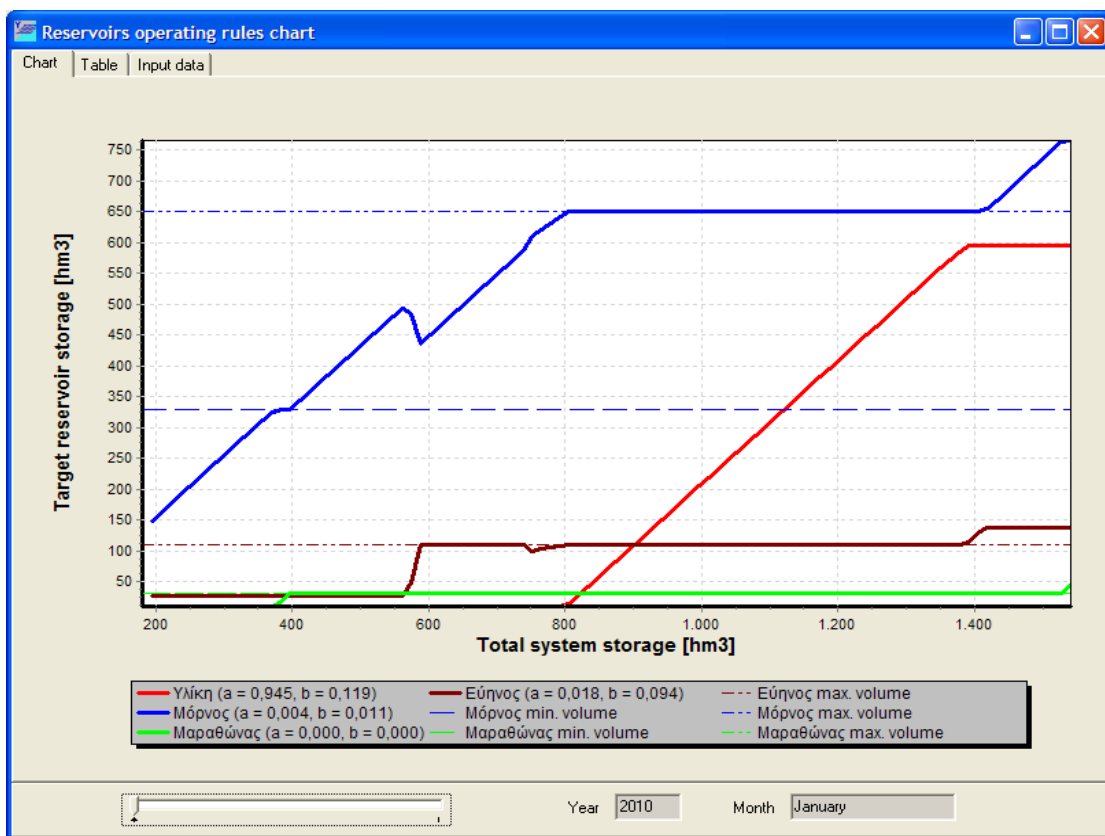
Πίνακας Β3: Μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο ταμιευτήρων (σε hm³) για το σενάριο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος, με τη θεώρηση απεριόριστης παρεχόμενης υδραγωγείων και περιορισμένης χρήσης γεωτρήσεων (σενάριο Α3).

	ΥΛΙΚΗ	ΕΥΗΝΟΣ	ΜΟΡΝΟΣ	ΜΑΡΑΘΩΝΑΣ	ΣΥΝΟΛΟ
Εισροή από υπολεκάνη	307,56 (332,88)	279,84 (285,60)	238,68 (218,88)	13,44 (17,88)	835,80
Βροχόπτωση	9,60 (10,32)	3,84 (3,48)	15,96 (15,24)	1,2 (1,2)	30,60
Εξάτμιση	21,00 (17,64)	3,96 (2,76)	21,84 (14,76)	2,88 (2,16)	49,56
Υπόγειες διαφυγές	104,04 (88,56)	-	11,76 (2,4)	-	115,80
Εισροή από υδραγωγεία	1,56 (4,8)	-	249,00 (252,60)	14,40 (32,76)	264,96
Απώληση για ύδρευση	151,56 (222,72)	248,64 (254,88)	430,56 (226,80)	27,60 (40,32)	858,48
Απώληση για άρδευση	28,68 (55,68)	-	-	-	28,68
Οικολογική παροχή	-	30,96 (2,28)	-	-	30,96
Υπερχείλιση	13,20 (104,52)	0,0 (1,32)	38,76 (173,52)	-	52,08
Μέσο ολικό απόθεμα	231,66 (188,71)	111,19 (30,85)	617,91 (121,55)	31,40 (5,96)	-

Πηγή: Υδρονομέας



Σχήμα Β5: Βέλτιστοι κανόνες λειτουργίας ταμιευτήρων Μόρνου, Εύηνου, Υλίκης και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος με θεώρηση απεριόριστης παρεχόμενης υδραγωγείων και περιορισμένης χρήσης γεωτρήσεων (σενάριο Α3).



Σχήμα Β6: Γραφική παράσταση βέλτιστων κανόνων λειτουργίας ταμιευτήρων Μόρνου, Εύηνου, Υλίκης και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος με θεώρηση απεριόριστης παρεχόμενης υδραγωγείων και περιορισμένης χρήσης γεωτρήσεων (σενάριο Α3).

Πίνακας Β4: Μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο ταμειυτήρων (σε hm^3) για το σενάριο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος, με τη θεώρηση απεριόριστης παροχαρακτηριστικότητας υδραγωγείων και την επικρατούσα πολιτική χρήσης γεωτρήσεων.

	ΥΛΙΚΗ	ΕΥΗΝΟΣ	ΜΟΡΝΟΣ	ΜΑΡΑΘΩΝΑΣ	ΣΥΝΟΛΟ
Εισροή από υπολεκάνη	307,68 (332,88)	279,96 (285,72)	238,68 (218,88)	13,44 (17,88)	836,04
Βροχόπτωση	9,12 (10,08)	3,60 (3,36)	15,96 (15,12)	1,2 (1,2)	29,76
Εξάτμιση	20,16 (17,28)	3,72 (2,64)	21,72 (14,64)	2,88 (2,16)	48,48
Υπόγειες διαφυγές	96,36 (88,44)	-	11,88 (2,04)	-	108,12
Εισροή από υδραγωγεία	1,44 (4,68)	-	248,88 (247,08)	14,16 (31,92)	264,48
Απόληψη για ύδρευση	161,76 (235,44)	248,88 (247,08)	442,44 (243,00)	25,92 (37,20)	878,88
Απόληψη για άρδευση	27,96 (54,96)	-	-	-	27,96
Οικολογική παροχή	-	30,84 (2,88)	-	-	30,84
Υπερχείλιση	12,12 (101,76)	0,0 (0,96)	27,24 (144,72)	-	39,24
Μέσο ολικό απόθεμα	211,14 (190,56)	101,04 (37,32)	615,88 (105,53)	31,36 (5,40)	-

Πηγή: Υδρονομείας

Reservoir data							
Reservoir	a	b	managed	dead Storage	max. Storage	min. Volume targ	max. Volume targ
Υλική	0.857848180906	0	true	10.22129423382	594.7843820122	10.22129423382	594.7843820122
Εύηνος	0.228979129483	0.824734425535	true	25.76751123786	137.632	25.76751123786	110
Μόρνος	0.001890388797	0.003484594646	true	134.5540818402	765.5468120362	330	650
Μαραθώνας	0	0	true	9.654890731788	42.849	30	32

Min. Volume priority list		
Nr	Reservoir	Value
1	Μόρνος	330
2	Μαραθώνας	30

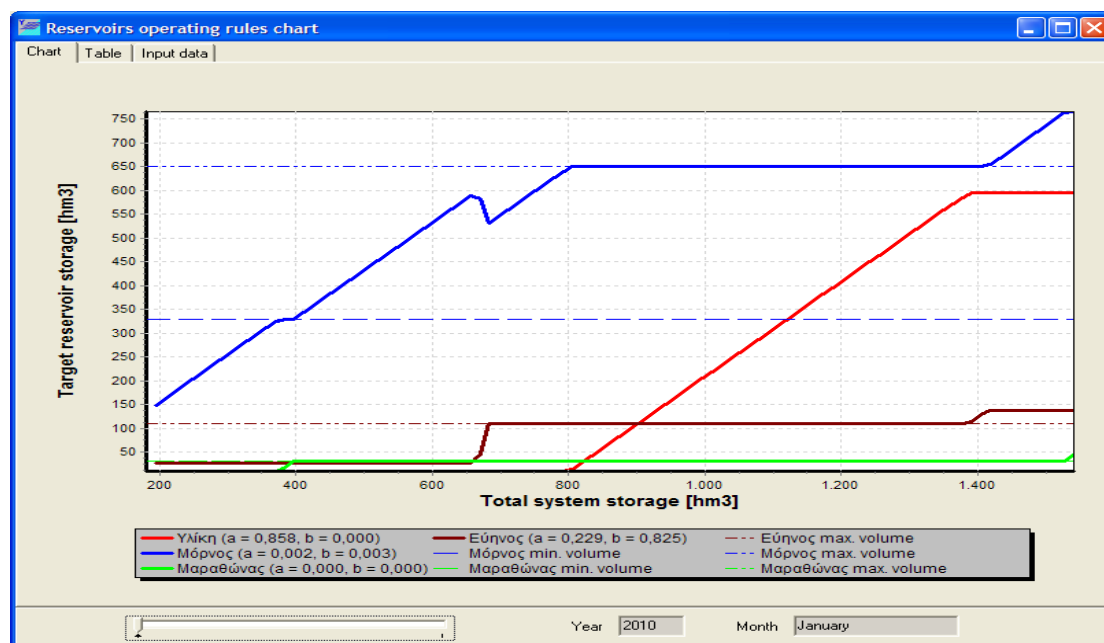
Max. Volume priority list		
Nr	Reservoir	Value
1	Μαραθώνας	32
2	Μόρνος	650
3	Εύηνος	110

Σχήμα Β7: Βέλτιστοι κανόνες λειτουργίας ταμειυτήρων Μόρνου, Εύηνου, Υλικής και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος με τις επίκαιρες τιμές παροχαρακτηριστικότητας των υδραγωγείων και για την επικρατούσα πολιτική χρήσης γεωτρήσεων.

Πίνακας Β5: Μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο ταμιευτήρων (σε hm³) για το σενάριο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος, με τις επίκαιρες τιμές παροχαρακτηριστικότητας των υδραγωγείων και για την επικρατούσα πολιτική χρήσης γεωτρήσεων.

	ΥΛΙΚΗ	ΕΥΗΝΟΣ	ΜΟΡΝΟΣ	ΜΑΡΑΘΩΝΑΣ	ΣΥΝΟΛΟ
Εισροή από υπολεκάνη	307,08 (332,24)	279,84 (285,60)	238,80 (219,00)	13,44 (17,88)	839,04
Βροχόπτωση	12,12 (12,12)	3,84 (3,48)	15,48 (14,76)	1,20 (1,20)	32,52
Εξάτμιση	25,32 (18,72)	3,96 (2,76)	21,36 (14,76)	2,76 (2,16)	53,40
Υπόγειες διαφυγές	143,88 (84,24)	-	11,40 (2,40)	-	155,28
Εισροή από υδραγωγεία	0,24 (2,16)	-	243,36 (233,76)	42,12 (35,04)	285,84
Απόληψη για ύδρευση	89,52 (79,80)	243,36 (233,76)	432,72 (101,64)	53,88 (38,64)	819,60
Απόληψη για άρδευση	33,84 (59,52)	-	-	-	33,84
Οικολογική παροχή	-	30,96 (2,28)	-	-	30,96
Υπερχείλιση	26,76 (143,52)	5,28 (47,52)	31,92 (147,0)	-	63,96
Μέσο ολικό απόθεμα	340,18 (173,09)	110,96 (30,95)	596,01 (127,19)	30,30 (5,71)	-

Πηγή: Υδρονομέας



Σχήμα Β8: Γραφική παράσταση βέλτιστων κανόνων λειτουργίας ταμιευτήρων Μόρνο, Ευήνου, Υλικής και Μαραθώνα για το στόχο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος με τις επίκαιρες τιμές παροχαρακτηριστικότητας των υδραγωγείων και για την επικρατούσα πολιτική χρήσης γεωτρήσεων.

Πίνακας Β6: Μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο ταμιευτήρων (σε hm³) για το σενάριο μεγιστοποίησης της ασφαλούς απόδοσης του συστήματος χωρίς τους λειτουργικούς περιορισμούς μεγίστου αποθέματος των ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου, με θεώρηση απεριόριστης παροχетеυτικότητας υδραγωγείων και απαγόρευσης χρήσης γεωτρήσεων.

	ΥΛΙΚΗ	ΕΥΗΝΟΣ	ΜΟΡΝΟΣ	ΜΑΡΑΘΩΝΑΣ	ΣΥΝΟΛΟ
Εισροή από υπολεκάνη	306,96 (332,28)	280,68 (286,56)	237,96 (218,28)	13,44 (17,88)	839,04
Βροχόπτωση	12,12 (12,48)	2,28 (2,16)	17,88 (16,92)	1,2 (1,32)	33,48
Εξάτμιση	25,44 (19,44)	2,64 (2,40)	24,24 (16,08)	2,88 (2,16)	55,20
Υπόγειες διαφυγές	148,56 (88,92)	-	13,32 (1,68)	-	161,88
Εισροή από υδραγωγεία	-	-	250,08 (232,56)	15,36 (34,68)	265,44
Απόληψη για ύδρευση	77,40 (159,84)	250,08 (232,56)	414,84 (168,36)	27,12 (39,72)	769,44
Απόληψη για άρδευση	32,16 (58,44)	-	-	-	32,16
Οικολογική παροχή	-	30,24 (4,44)	-	-	30,24
Υπερχείλιση	35,52 (164,28)	0,0 (0,60)	53,16 (196,44)	-	88,68
Μέσο ολικό απόθεμα	356,55 (191,60)	56,81 (43,82)	711,78 (89,27)	32,61 (5,74)	-

Πηγή: Υδρονομείας