

**Υπουργείο
Μεταφορών Υποδομών και Δικτύων
Δ/νση Δ6/Γ.Γ.Δ.Ε.**



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος**

**ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΑΔΙΥΛΙΣΤΟΥ
ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΔΡΕΥΣΗ ΤΗΣ
ΑΘΗΝΑΣ**

**Επιστημονικός
υπεύθυνος:
Χ. Μακρόπουλος,
Λέκτορας ΕΜΠ**

Τεύχος 3

**Εκτίμηση του χρηματοοικονομικού
κόστους και προτάσεις ορθολογικής
διαχείρισης του υδροσυστήματος**

**Σύνταξη:
Χ. Μακρόπουλος
Α. Ευστρατιάδης
Α. Κουκουβίνος**

Αθήνα, Οκτώβριος 2010

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

1	Εισαγωγή	5
1.1	Αντικείμενο της μελέτης – Ιστορικό	5
1.2	Ομάδα μελέτης	5
2	Υδροδοτικό σύστημα Αθήνας	6
2.1	Ορισμός περιοχής μελέτης	6
2.2	Υδατικοί πόροι	7
2.2.1	Ταμειυτήρες	7
2.2.2	Υπόγειοι υδροφορείς - Γεωτρήσεις	8
2.3	Έργα μεταφοράς	8
2.3.1	Υδραγωγεία	8
2.3.2	Αντλιοστάσια	9
3	Θεσμικό πλαίσιο λειτουργίας του συστήματος	11
3.1	Νόμος 2744/1999	11
3.2	Η σύμβαση μεταξύ του Ελληνικού Δημοσίου και της ΕΥΔΑΠ.....	13
4	Κεφαλαιουχικό κόστος	15
4.1	Μεθοδολογία και παραδοχές	15
4.2	Αρχική αξία παγίων ΕΠΕΥΔΑΠ	16
4.3	Αποσβέσεις παγίων.....	16
4.4	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος παγίων	16
5	Πάγιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης	19
5.1	Εκτίμηση συνολικού λειτουργικού κόστους	19
5.2	Εκτίμηση λειτουργικού κόστους χωρίς την ενεργειακή συνιστώσα	22
6	Ενεργειακά δεδομένα και σχετικά κόστη	23
6.1	Η συνιστώσα του κόστους άντλησης στη λειτουργία του υδροδοτικού συστήματος	23
6.2	Μεθοδολογία εκτίμησης ενεργειακής κατανάλωσης	23
6.2.1	Θεωρητικό πλαίσιο	23
6.2.2	Ανάλυση δεδομένων ετών 2008-2010 για την εκτίμηση της ειδικής ενέργειας	24
6.3	Μεθοδολογία εκτίμησης κόστους άντλησης	29

7	Μεθοδολογία βελτιστοποίησης της ενεργειακής κατανάλωσης	34
7.1	Τοποθέτηση του διαχειριστικού προβλήματος και υπολογιστικά εργαλεία.....	34
7.2	Σχηματοποίηση δικτύου και παραδοχές.....	35
7.3	Συνιστώσες μοντέλου υδροσυστήματος και δεδομένα εισόδου.....	35
7.3.1	Ταμιευτήρες.....	35
7.3.2	Ομάδες γεωτρήσεων.....	36
7.3.3	Κόμβοι δικτύου.....	36
7.3.4	Υδραγωγεία και αντλιοστάσια.....	37
7.3.5	Ενεργειακά δεδομένα και κόστη άντλησης.....	38
7.3.6	Απώλειες νερού στα εξωτερικά υδραγωγεία.....	38
7.4	Χρήσεις νερού και περιορισμοί.....	39
7.4.1	Γενικά χαρακτηριστικά στόχων υδροδοτικού συστήματος.....	39
7.4.2	Ύδρευση Αθηνών.....	40
7.4.3	Αποφυγή υπερχείλισης ταμιευτήρα Μαραθώνα.....	41
7.4.4	Επιθυμητά όρια διακύμανσης αποθέματος Μαραθώνα.....	41
7.4.5	Περιβαλλοντική παροχή Ευήνου.....	42
7.4.6	Επιθυμητά όρια διακύμανσης αποθέματος Μόρνου και Ευήνου.....	42
7.4.7	Λοιπές υδρευτικές χρήσεις.....	43
7.4.8	Άρδευση Κωπαΐδας από Υλίκη.....	43
7.4.9	Άρδευση Κωπαΐδας από υδραγωγείο Μόρνου.....	43
7.5	Υδρολογικά σενάρια.....	44
7.6	Κανόνες λειτουργίας.....	45
7.6.1	Κανόνες λειτουργίας ταμιευτήρων.....	45
7.6.2	Κανόνες λειτουργίας γεωτρήσεων.....	46
8	Εκτίμηση ενεργειακού κόστους για διάφορα σενάρια δικτύου, ζήτησης και αξιοπιστίας	48
8.1	Διαμόρφωση σεναρίων.....	48
8.1.1	Σενάρια διατάξεων δικτύου.....	48
8.1.2	Σενάρια μεταβολής της υδρευτικής ζήτησης στην Αθήνα.....	50
8.1.3	Σενάρια αξιοπιστίας υδρευτικής κατανάλωσης.....	50
8.2	Διατύπωση και επίλυση προβλήματος βελτιστοποίησης.....	51
8.2.1	Μεταβλητές ελέγχου.....	51
8.2.2	Στοχική συνάρτηση.....	52
8.2.3	Αξιολόγηση της επίδοσης του συστήματος.....	53
8.3	Αποτελέσματα.....	53
8.3.1	Σενάρια υφιστάμενου δικτύου.....	53
8.3.2	Σενάρια υποθετικού αναβαθμισμένου δικτύου.....	59
9	Σύνοψη και συμπεράσματα	66
9.1	Σύνοψη μεγεθών χρηματοοικονομικού κόστους.....	66
9.2	Τελικά χρηματοοικονομικά μεγέθη για διάφορες διατάξεις δικτύου.....	66
9.2.1	Σενάριο υφιστάμενου δικτύου.....	66

9.2.2	Σενάριο μελλοντικής αναβάθμισης δικτύου	68
Αναφορές		72

1 Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της μελέτης – Ιστορικό

Η Διεύθυνση Δ6/Γ.Γ.Δ.Ε του Υπουργείου Μεταφορών Υποδομών και Δικτύων, με Διευθυντή τον Αντώνη Κοτσώνη, ανέθεσε στον Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος του ΕΜΠ ερευνητικό έργο με τίτλο «Κοστολόγηση αδιύλιστου νερού για την ύδρευση της Αθήνας», με επιστημονικό υπεύθυνο τον Λέκτορα Χ. Μακρόπουλο.

Το αντικείμενο του έργου, σύμφωνα με τη σύμβαση, είναι (α) η ανάπτυξη μεθοδολογίας και ο υπολογισμός του χρηματοοικονομικού κόστους του αδιύλιστου νερού· (β) η ανάπτυξη μεθοδολογίας και ο υπολογισμός του περιβαλλοντικού κόστους του αδιύλιστου νερού· (γ) η σύνταξη τελικής έκθεσης για το συνολικό κόστος του αδιύλιστου νερού για την ύδρευση της Αθήνας.

Τα παραδοτέα του έργου είναι τα παρακάτω:

- Παραδοτέο 1: Μεθοδολογία εκτίμησης του χρηματοοικονομικού κόστους.
- Παραδοτέο 2: Μεθοδολογία εκτίμησης του περιβαλλοντικού κόστους.
- Παραδοτέο 3: Εκτίμηση του χρηματοοικονομικού κόστους, προτάσεις κοστολόγησης και ορθολογικής διαχείρισης του υδροσυστήματος.
- Παραδοτέο 4: Εκτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους και προτάσεις κοστολόγησης, μέτρα και δράσεις για μια πολιτική βιώσιμης ανάπτυξης των υδατικών πόρων.
- Παραδοτέο 5: Τελική έκθεση, με σύνθεση των βασικών συμπερασμάτων από τα παραδοτέα 3-4.

1.2 Ομάδα μελέτης

Την ομάδα μελέτης του έργου αποτελούν οι:

- Χρήστος Μακρόπουλος, Λέκτορας ΕΜΠ, Επιστημονικός Υπεύθυνος
- Δημήτρης Κουτσογιάννης, Καθηγητής ΕΜΠ
- Δημήτρης Δαμίγος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ
- Νίκος Μαμάσης, Λέκτορας ΕΜΠ
- Ανδρέας Μπενάρδος, Λέκτορας ΕΜΠ
- Ανδρέας Ευστρατιάδης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ
- Αντώνης Κουκουβίνος, Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ, MSc
- Ευάγγελος Ρόζος, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ
- Σωτηρία Μπακή, Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, MSc
- Νικόλαος Χαλκιάς, Περιβαλλοντολόγος Παν/μίου Αιγαίου, MSc

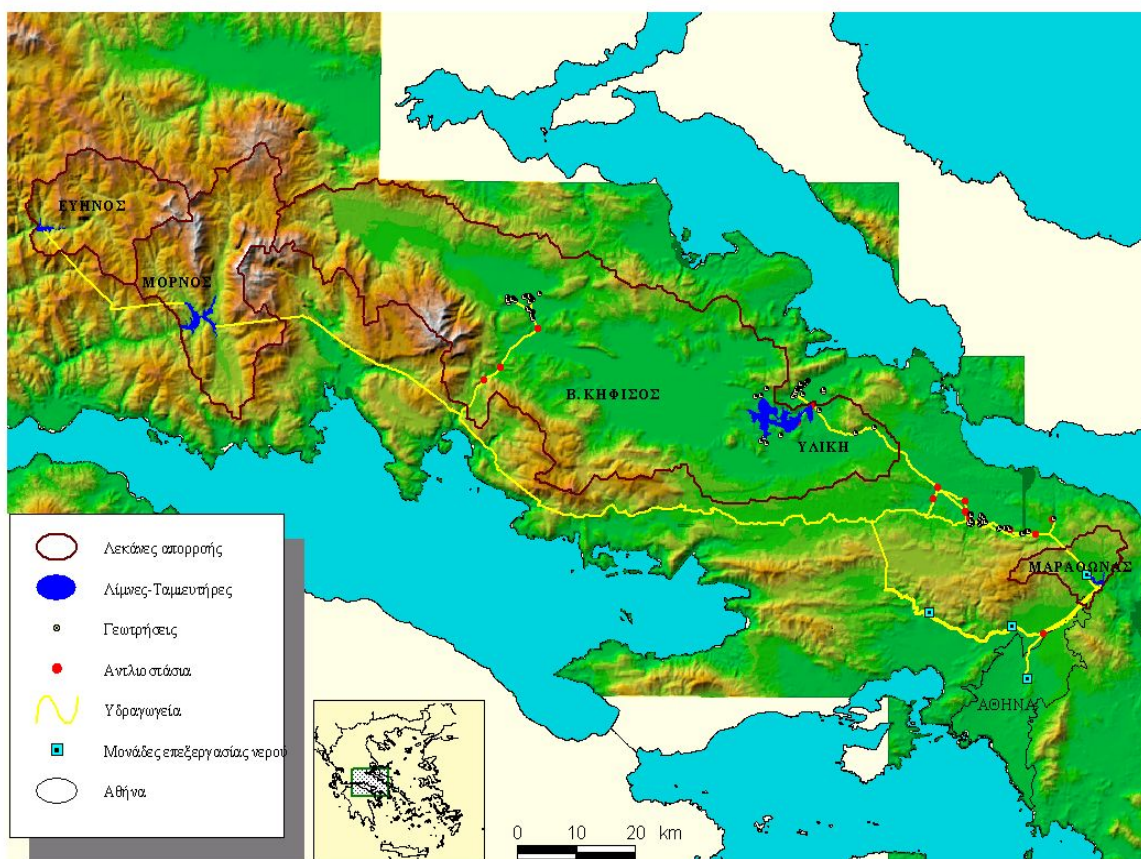
2 Υδροδοτικό σύστημα Αθήνας

2.1 Ορισμός περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας περιλαμβάνει την έκταση των έργων σύλληψης και μεταφοράς του αδιύλιστου νερού, μέχρι τις μονάδες επεξεργασίας και τα έργα διασύνδεσης.

Ως υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας (Σχήμα 2.1), ορίζεται το σύστημα φυσικών πόρων και έργων που περιλαμβάνει τα παρακάτω:

- υδατικούς πόρους, επιφανειακούς και υπόγειους·
- έργα αποθήκευσης επιφανειακού νερού (ταμιευτήρες, φράγματα, δεξαμενές)·
- έργα άντλησης υπόγειου νερού (γεωτρήσεις)·
- εξωτερικά υδραγωγεία, έργα διαχείρισης υδραγωγείων (αντλιοστάσια, ρυθμιστές ροής)·
- μονάδες επεξεργασίας νερού·
- δίκτυο διασύνδεσης μονάδων επεξεργασίας.



Σχήμα 2.1: Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας.

2.2 Υδατικοί πόροι

Οι υδατικοί πόροι που χρησιμοποιούνται στο σύστημα διακρίνονται σε επιφανειακούς (ποταμοί Μόρνος, Εύηνος, Βοιωτικός Κηφισός, Χάραδρος, λίμνη Υλίκη) και υπόγειους (υδροφορείς μέσου ρου Β. Κηφισού, Υλίκης και Β.Α. Πάρνηθας). Στους Πίνακες 2.1 και 2.4 δίνονται τα βασικά τους μεγέθη.

2.2.1 Ταμιευτήρες

Από τους ταμιευτήρες, μόνο αυτός της Υλίκης είναι φυσικός και χρησιμοποιείται σήμερα ως βοηθητικός υδατικός πόρος.

Ο ταμιευτήρας Ευήνου λειτουργεί σε συνδυασμό με τον ταμιευτήρα Μόρνου, ενισχύοντας το υδατικό δυναμικό του τελευταίου, με εκτροπή του μεγαλύτερου μέρους των ανάντη εισροών του.

Ο ταμιευτήρας Μαραθώνα χρησιμοποιείται κυρίως για την αποθήκευση νερού, για λόγους ασφαλείας λόγω της εγγύτητας του στην Αθήνα. Η στάθμη του διατηρείται σε ένα περιορισμένο, σχετικά εύρος, ώστε αφενός να υπάρχει πάντοτε διαθέσιμο ένα απόθεμα ασφαλείας και αφετέρου να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος υπερχειλίσης, που θα έχει καταστροφικές συνέπειες στο κατάντη τμήμα του ποταμού Χάραδρου, το οποίο έχει καταπατηθεί σε μεγάλο του μήκος (βλ. 7.4.4).

Οι μέσες και μέγιστες ετήσιες ιστορικές απολήψεις από την ΕΥΔΑΠ φαίνονται στον Πίνακα 2.3. Τα κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη των ταμιευτήρων φαίνονται στον Πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.1: Επιφανειακοί υδατικοί πόροι.

Λεκάνη απορροής	Έκταση (km ²)	Μέση ετήσια απορροή (hm ³)
Μόρνου (ανάντη φράγματος)	588.1	234.1
Ευήνου (ανάντη φράγματος)	351.9	276.1
Βοιωτικού Κηφισού και Υλίκης	2466.6	294.1
Χάραδρου (ανάντη φράγματος)	118.0	13.4

Πίνακας 2.2: Μέσες και μέγιστες ετήσιες υδρευτικές απολήψεις από τους ταμιευτήρες καθ' όλη την περίοδο λειτουργίας τους.

Ταμιευτήρας	Μέση ετήσια απόληψη (hm ³)	Μέγιστη ετήσια απόληψη (hm ³)
Μόρνος	291.0	490.4 (2006-07)
Εύηνος	202.4	430.1 (2002-03)
Μαραθώνας	68.8	108.1 (2001-02)
Υλίκη	83.3	226.6 (1978-79)

Πίνακας 2.3: Χαρακτηριστικά μεγέθη ταμιευτήρων.

Ονομασία	Μέγιστη επιφάνεια (km ²)	Ολική χωρητικότητα (hm ³)	Ωφέλιμη χωρητικότητα (hm ³)	Στάθμη υπερχειλίσης (m)	Κατώτατη στάθμη υδροληψίας (m)
Μόρνος	19.93	763.71	630.23	435.0	384.0
Εύηνος	3.60	137.63	112.05	505.0	458.3
Υλίκη	27.74	594.75	584.75	79.8	43.5
Μαραθώνας	2.57	42.85	32.20	224.0 ⁽²⁾	204.4

2.2.2 Υπόγειοι υδροφορείς - Γεωτρήσεις

Η ΕΥΔΑΠ σήμερα έχει στην κυριότητα της περίπου 70 εγκαταστημένες γεωτρήσεις, οι οποίες λειτουργούν σε ομάδες και χρησιμοποιούνται σήμερα εφεδρικά. Οι γεωτρήσεις έχουν συνολική ισχύ 17 360 Hp και συνολική αντλητική ικανότητα περίπου 390 000 m³/d. Τα κύρια χαρακτηριστικά των γεωτρήσεων φαίνονται στον Πίνακα 2.5.

Πίνακας 2.4: Υπόγειοι υδατικοί πόροι.

Υδροφορέας	Πλήθος γεωτρήσεων ΕΥΔΑΠ	Ετήσια αντλητική ικανότητα (hm ³)
Μέσου ρου Β. Κηφισού	16	25
Υλίκης	33	20
Β.Α. Πάρνηθας	34	43

Πίνακας 2.5: Ομάδες γεωτρήσεων.

Όνομα	Υδροφορέας	Πλήθος γεωτρήσεων	Εγκαταστημένη ισχύς (Hp)	Αντλητική ικανότητα(m ³ /d)
Μαυροσουβάλας	ΒΑ Πάρνηθας	20	6110	120 000
Βίλιζας (10 ^{ου} σίφωνα)	ΒΑ Πάρνηθας	7	1740	23 000
No 3	ΒΑ Πάρνηθας	4	760	13 000
Ούγγρων	Υλίκης	11	1800	60 000
Ν.Δ. Υλίκης	Υλίκης	14	2450	70 000
Βασιλικών-Παρορίου	Μέσου ρου Β. Κηφισού	16	4500	100 000

2.3 Έργα μεταφοράς

Τα έργα μεταφοράς περιλαμβάνουν ένα εκτενές δίκτυο υδραγωγείων, το οποίο ξεπερνά τα 438 km σε μήκος, και ένα πλήθος αντλιοστασίων.

2.3.1 Υδραγωγεία

Οι αγωγοί μεταφοράς διακρίνονται σε κύρια, ενωτικά και βοηθητικά υδραγωγεία, με συνολικό μήκος 300 km, 105 km και 34 km, αντίστοιχα. Στον Πίνακα 2.6 φαίνονται τα υδραγωγεία και τα χαρακτηριστικά του μεγέθη, κατά κατηγορία (κύρια, ενωτικά, βοηθητικά).

Επισημαίνεται ότι το ενωτικό υδραγωγείο Μαραθώνα, το οποίο επιτρέπει την αμφίδρομη μεταφορά νερού από το υδραγωγείο Μόρνου προς το υδραγωγείο Υλίκης (με βαρύτητα) και ανάστροφα (με άντληση), έχει υποστεί σημαντικές βλάβες, με αποτέλεσμα τα τελευταία χρόνια να λειτουργεί μόνο προς την ορθή κατεύθυνση, και μάλιστα, με περιορισμένη παροχτευτικότητα.

Πίνακας 2.6: Χαρακτηριστικά υδραγωγείων.

Όνομα	Διώρυγες (m)	Σίφωνες (m)	Σήραγγες (m)	Κλειστοί αγωγοί (m)	Σύνολο (m)
ΚΥΡΙΑ					
Μαραθώνα-Γαλατσίου			15785	5764	21550
Κακοσάλεσι	362	1350	9325	12769	23810
Υλίκης	23385	7500	3000	3800	37690
Μόρνου	109900	7000	70700		187600
Εύηνου			29000		29000
ΕΝΩΤΙΚΑ					
Κιούρκων-Μενιδίου				21655	21650
Μαραθώνα (Μόρνος-Βίλιζα)	5720	2680		9450	17850
Διστόμου (Κοπαΐδα-Μόρνος)				19000	19000
Δαύλειας-Υλίκης	14000			26800	40800
Κρεμμιάδας-Κλειδιού		2500		2850	5350
ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ					
Παράκαμψη Φ900 Βίλιζας				12700	1270
Παράκαμψη Φ 1900 Μαλακάσας				1400	1400
Πλωτού Υλίκης				5170	5170
Γεωτρήσεων Βασιλικών- Παρορίου	2402			5381	7780
Γεωτρήσεων ΝΔ Υλίκης	5189	3985		150	9320
Γεωτρήσεων Ούγγρων- Μουρικού				7615	7620
Γεωτρήσεων Βίλιζας				1450	1450
ΣΥΝΟΛΑ	160958	25015	127810	135954	438310

2.3.2 Αντλιοστάσια

Τα αντλιοστάσια, με συνολική ισχύ 97 660 Hp, χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ροής από τις πηγές υδροληψίας με χαμηλό υψόμετρο (Υλίκη, γεωτρήσεις) προς τον ταμιευτήρα Μαραθώνα και το υδραγωγείο Μόρνου. Διακρίνονται σε βασικά και βοηθητικά (Πίνακας 2.7).

Το κεντρικό αντλιοστάσιο Υλίκης (Μουρικού) λειτουργεί για στάθμες της λίμνης 64.0-78.5 m ενώ για στάθμες από 44.0-64.0 m λειτουργεί και το πλωτό αντλιοστάσιο της Υλίκης σε τέσσερις θέσεις (Α', Γ', Ε', Ζ'). Το αντλιοστάσιο χρησιμοποιείται και για τη μεταφορά του νερού των γεωτρήσεων ΝΔ Υλίκης και Ούγγρων προς το υδραγωγείο Υλίκης.

Το αντλιοστάσιο Βίλιζας χρησιμοποιείται για τη μεταφορά νερού προς τον ταμιευτήρα Μαραθώνα, σε συνδυασμό με τα άλλα μικρότερα αντλιοστάσια της περιοχής (Αυλώνα, Σφενδάλης).

Τα αντλιοστάσια Διστόμου (ΑΔ1, ΑΔ2, ΑΔ3) μεταφέρουν το νερό από τις γεωτρήσεις Βασιλικών-Παρορίου και το ρέμα Μαυρονερίου προς το υδραγωγείο Μόρνου.

Τα αντλιοστάσια Κρεμμάδας και Ασωπού χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του νερού από την Υλίκη προς το υδραγωγείο Μόρνου.

Πίνακας 2.7: Χαρακτηριστικά αντλιοστασίων.

Όνομα	Εγκαταστημένη ισχύς (Hp)	Αντλητική ικανότητα (m ³ /d)
Υλίκης - Κεντρικό	17300	560 000
Βίλιζας	10000	490 000
ΑΔ1 - Δαύλειας	7700	210 000
ΑΔ2	7700	210 000
ΑΔ3	7700	210 000
Κρεμμάδας	1800	310 000
Ασωπού	9840	310 000
Υλίκης - 7η μονάδα	3600	110 000
Υλίκης - Πλωτά	4880	700 000
No3 - Αυλώνα	3440	150 000
No4 - Σφενδάλης	1000	340 000
Αγ. Θωμά (ανενεργό)	4940	110 000
Κιούρκων - Αδιύλιστου	3500	300 000
Κιούρκων - Διυλισμένου	8480	210 000
Μαρκόπουλου	2340	42 000
Χελιδονούς	3440	200 000

3 Θεσμικό πλαίσιο λειτουργίας του συστήματος

Η υδροδότηση της Αθήνας πραγματοποιείται σήμερα μέσω της λειτουργίας δύο φορέων. Ενός Νομικού Προσώπου Δημοσίου Δικαίου, με την επωνυμία «Εταιρεία Παγίων ΕΥΔΑΠ» (ΕΠΕΥΔΑΠ) που σήμερα υπάγεται στο Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων και έχει στην ιδιοκτησία της τα πάγια στρατηγικής σημασίας για την παροχή του αδιύλιστου νερού μέχρι τα δυλιστήρια και μίας ανώνυμης εταιρείας, της ΕΥΔΑΠ Α.Ε., που έχει την ευθύνη για την επεξεργασία και τη διανομή του νερού μετά τα δυλιστήρια.

Τα δικαιώματα και οι υποχρεώσεις των δύο πλευρών περιγράφονται στο Νόμο 2744/1999 και στη μεταξύ τους σύμβαση όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

3.1 Νόμος 2744/1999

Με τον Νόμο 2744/1999 αναδιοργανώθηκε η Εταιρεία Υδρεύσεως και Αποχετεύσεως Πρωτεύουσας (ως ΕΥΔΑΠ Α.Ε.).

Στο άρθρο 1 καθορίζεται το νομικό καθεστώς της ΕΥΔΑΠ. Ειδικότερα, στην παράγραφο 4 του άρθρου αυτού καθορίζονται οι σκοποί της εταιρείας:

Στους σκοπούς της Εταιρείας περιλαμβάνονται ιδίως:

α. Η παροχή υπηρεσιών ύδρευσης και αποχέτευσης, η μελέτη, κατασκευή εγκατάσταση, λειτουργία, εκμετάλλευση, διαχείριση, συντήρηση, επέκταση και ανανέωση των συστημάτων ύδρευσης και αποχέτευσης. Στις δραστηριότητες και τα έργα αυτά συμπεριλαμβάνονται η άντληση, αφαλάτωση, επεξεργασία, αποθήκευση, μεταφορά, διανομή και διαχείριση των προς τους σκοπούς αυτούς αποδιδόμενων υδάτων πάσης φύσεως, καθώς και τα έργα και οι δραστηριότητες συλλογής, μεταφοράς, επεξεργασίας, αποθήκευσης και διαχείρισης των πάσης φύσεως λυμάτων (πλην των τοξικών) και η επεξεργασία, διανομή, διάθεση και διαχείριση των προϊόντων των δικτύων αποχετεύσεως.

β. Η πραγματοποίηση επενδύσεων σύμφωνα με τις παραγράφους 6 και 7 του παρόντος άρθρου.

Το άρθρο 2 που αναφέρεται στα δικαιώματα και τις υποχρεώσεις της ΕΥΔΑΠ (παράγραφος 1) ορίζει (μεταξύ άλλων) ότι:

Χορηγείται στην ΕΥΔΑΠ το αποκλειστικό δικαίωμα παροχής υπηρεσιών ύδρευσης και αποχέτευσης στη γεωγραφική περιοχή της παραγράφου 1 του άρθρου 8 και ειδικότερα: α) άντλησεως, συλλογής, αφαλατώσεως, αποθηκεύσεως, μεταφοράς, επεξεργασίας, διανομής και διαχειρίσεως ύδατος πάσης χρήσεως, και β) της συλλογής, μεταφοράς, επεξεργασίας, αποθηκεύσεως, διαθέσεως και διαχειρίσεως αποβλήτων και άλλων λυμάτων, εξαιρουμένων των τοξικών. Το δικαίωμα αυτό είναι ανεκχώρητο και αμεταβίβαστο.

Στο ίδιο άρθρο (παράγραφος 2) προβλέπεται η σύναψη σύμβασης μεταξύ ΕΥΔΑΠ και Ελληνικού Δημοσίου για τον καθορισμό των λεπτομερειών άσκησης του παραπάνω δικαιώματος. Ειδικά αναφέρεται ότι:

Χορηγείται στην Ε.Υ.Δ.Α.Π. το αποκλειστικό δικαίωμα παροχής υπηρεσιών ύδρευσης και αποχέτευσης στη γεωγραφική περιοχή της παραγράφου 1 του άρθρου 8 και ειδικότερα : α) άντλησεως, συλλογής, αφαλατώσεως, αποθηκεύσεως, μεταφοράς, επεξεργασίας, διανομής και

διαχειρίσεως ύδατος πάσης χρήσεως και β) της συλλογής, μεταφοράς, επεξεργασίας, αποθηκεύσεως, διαθέσεως και διαχειρίσεως αποβλήτων και άλλων λυμάτων, εξαιρουμένων των τοξικών. Το δικαίωμα αυτό είναι ανεκχώρητο και αμεταβίβαστο. Η διάρκεια του παραπάνω δικαιώματος ορίζεται σε είκοσι (20) έτη, που αρχίζει από τη δημοσίευση του παρόντος νόμου στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, με δυνατότητα ανανέωσης, υπό τους όρους που θα ορισθούν στη σύμβαση της επόμενης παραγράφου.

Με σύμβαση που συνάπτεται μεταξύ του Δημοσίου, εκπροσωπούμενου από τους Υπουργούς Εθνικής Οικονομίας, Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, και της Ε.ΥΔ.Α.Π., ορίζονται οι όροι και ο τρόπος ανανέωσης του δικαιώματος της παραγράφου 1, το καταβαλλόμενο από την Ε.ΥΔ.Α.Π. τίμημα για τη διάθεση του ακατέργαστου ύδατος, κατά τα οριζόμενα στην παράγραφο 1 του άρθρου 6, τα ειδικότερα δικαιώματα και οι υποχρεώσεις της δικαιούχου, ο τρόπος ελέγχου και μετρήσεων της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών, οι λόγοι ανάκλησης του δικαιώματος, οι κυρώσεις ή άλλες συνέπειες σε βάρος του δικαιούχου σε περίπτωση παράβασης των όρων της συμβάσεως, ο τρόπος επίλυσης των διαφορών μεταξύ των συμβαλλομένων και ρυθμίζεται κάθε άλλο θέμα που τυχόν κριθεί αναγκαίο για την επίτευξη του σκοπού του παρεχόμενου δικαιώματος.

Εξ άλλου, για την έρευνα και τη συλλογή του νερού, το οποίο είναι κοινωνικό αγαθό, την ευθύνη διατηρεί σύμφωνα με το νόμο το Ελληνικό Δημόσιο. Το Ελληνικό Δημόσιο διατηρεί, επίσης, την ευθύνη για τη μελέτη και την κατασκευή των απαραίτητων έργων ώστε να διαθέτει τις αναγκαίες για την ύδρευση ποσότητες νερού στην ΕΥΔΑΠ.

Στην ιδιοκτησία της ΕΠΕΥΔΑΠ περιέρχονται τα πάγια στρατηγικής σημασίας, όπως τα φράγματα Μόρνου, Ευήνου και Μαραθώνα, και τα έργα και οι εγκαταστάσεις της Υλίκης.

Το άρθρο 6 καθορίζει τις υποχρεώσεις του Δημοσίου και αναφέρει (παράγραφος 1, μεταξύ άλλων) ότι

Το Δημόσιο διαθέτει ακατέργαστο ύδωρ στην ΕΥΔΑΠ ώστε να εξασφαλίζεται η εύλογη κατανάλωση ύδατος εκ μέρους των καταναλωτών της και να είναι σε θέση η ΕΥΔΑΠ να ανταποκριθεί στις υποχρεώσεις παροχής υπηρεσιών ύδρευσης. Η ποσότητα, η ποιότητα και η μέθοδος παροχής του ακατέργαστου νερού θα καθορίζεται στη σύμβαση της παραγράφου 2 του άρθρου 2. Με την ίδια σύμβαση ορίζεται το ύψος του τιμήματος που καταβάλλεται από την ΕΥΔΑΠ για τη διάθεση σε αυτή του ακατέργαστου ύδατος, το οποίο αποδίδεται στην «Εταιρεία Παγίων ΕΥΔΑΠ».

Στη συνέχεια, στο ίδιο άρθρο, καθορίζονται και επιμερίζονται οι αρμοδιότητες του Δημοσίου:

Το Υπουργείο Ανάπτυξης μεριμνά για την έρευνα και τη συλλογή του ύδατος αυτού και το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων για τη μελέτη, κατασκευή και λειτουργία νέων έργων και για τη λειτουργία, συντήρηση και επέκταση υφιστάμενων έργων προς το σκοπό εκπλήρωσης της υποχρέωσής του αυτής σύμφωνα με τα οριζόμενα στο ν. 1739/1987. Η «Εταιρεία Παγίων ΕΥΔΑΠ» έχει την ευθύνη για τη λειτουργία και συντήρηση των παγίων που θα μεταβιβασθούν δυνάμει των παραγράφων 1, 2 και 3 του άρθρου 4 του παρόντος. Το σύνολο ή τμήμα των εργασιών λειτουργίας και συντήρησης των παγίων αυτών μπορεί να ανατίθεται στην ΕΥΔΑΠ έναντι εύλογης αμοιβής. Κατ' εξαίρεση για τη λειτουργία και συντήρηση υδραγωγείων ή άλλων εκ των παγίων, τα οποία ενδεχομένως θα μεταβιβασθούν, είναι υπεύθυνη η ΕΥΔΑΠ, εφόσον η τελευταία ζητήσει να αναλάβει τη λειτουργία και συντήρησή τους με δικές της δαπάνες.

Επίσης, το Δημόσιο διατηρεί την αρμοδιότητα καθορισμού τιμολογίων στα πλαίσια της κυβερνητικής πολιτικής. Ειδικότερα, με το άρθρο 3 η αρμοδιότητα αυτή ανατίθεται από κοινού στους Υπουργούς Οικονομικών και Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων μετά από γνώμη του Διοικητικού Συμβουλίου της ΕΥΔΑΠ. Προβλέπεται ότι τα τιμολόγια θα καθορίζονται ανά πενταετία και σε τρόπο

ώστε να διασφαλίζεται η εύλογη απόδοση των επενδύσεων της ΕΥΔΑΠ και η χρηματοδότηση των δραστηριοτήτων της με ορθολογικό τρόπο.

3.2 Η σύμβαση μεταξύ του Ελληνικού Δημοσίου και της ΕΥΔΑΠ

Σε εφαρμογή της σχετικής πρόβλεψης του Νόμου 2744/1999 (άρθρο 2, παράγραφος 2) έχει συναφθεί και υπογραφεί σύμβαση μεταξύ του Ελληνικού Δημοσίου και της ΕΥΔΑΠ που ισχύει από τις 25-10-1999 (ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΔΑΠ, 1999). Τα σχετικά με την προμήθεια ανεπεξέργαστου νερού περιγράφονται στην παράγραφο 1 του άρθρου 15 της σύμβασης, η οποία αναφέρει τα εξής:

(α) Καθορισμός ποσότητας ακατέργαστου ύδατος και του οφειλόμενου τιμήματος.

Το Δημόσιο προμηθεύει την ΕΥΔΑΠ με ακατέργαστο ύδωρ από τις εκάστοτε υπάρχουσες πηγές, ώστε να εξασφαλίζεται η εύλογη κατανάλωση ύδατος εκ μέρους των καταναλωτών της και να είναι σε θέση η ΕΥΔΑΠ να ανταποκριθεί στις υποχρεώσεις παροχής υπηρεσιών ύδρευσης.

Το τίμημα του ακατέργαστου ύδατος για την πρώτη πενταετία από την έναρξη ισχύος της παρούσης, συμψηφίζεται με το κόστος υπηρεσιών που προσφέρει η ΕΥΔΑΠ για τη συντήρηση και λειτουργία των παγίων που ανήκουν κατά κυριότητα στην «Εταιρεία Παγίων ΕΥΔΑΠ».

Το προαναφερθέν συμψηφιζόμενο κόστος λειτουργίας και συντήρησης αναφέρεται στη συνήθη συντήρηση και δεν αφορά μεμονωμένες επεμβάσεις, ανακαινίσεις, αντικαταστάσεις, προμήθειες ή επιμέρους νέα έργα δαπάνης για το καθένα μεγαλύτερης των 50.000.000 δρχ. Τα έργα αυτά δύναται να σχεδιάζονται και να εκτελούνται από την ΕΥΔΑΠ με ιδιαίτερη συμφωνία και χρηματοδότηση από το ΥΠΕΧΩΔΕ πέραν του συμψηφιζόμενου κόστους συντήρησης.

Στο ως άνω συμψηφιζόμενο κόστος συντήρησης δεν περιλαμβάνεται επίσης η συντήρηση και λειτουργία παγίων αντιπλημμυρικής προστασίας ομβρίων υδάτων, το οποίο δύναται να συμφωνείται με χωριστή σύμβαση, σύμφωνα με το άρθρο 6 παράγραφοι 2 και 3 του Νόμου.

Η ΕΥΔΑΠ αναλαμβάνει επί πλέον την υποχρέωση, στο πλαίσιο του τιμήματος να καταβάλλει στην «Εταιρεία Παγίων ΕΥΔΑΠ», το κόστος της ετήσιας λειτουργίας της (αμοιβές προσωπικού και έξοδα λειτουργίας) μέχρι του ύψους των εκατόν πενήντα εκατομμυρίων (150.000.000) δρχ. ετησίως κατ' ανώτατο όριο. Η ΕΥΔΑΠ αναλαμβάνει επίσης την ευθύνη, μετά από υπόδειξη της «Εταιρείας Παγίων ΕΥΔΑΠ», για τη σύνταξη μελετών που αφορούν την ασφαλή κατάσταση των παγίων στοιχείων της «Εταιρείας Παγίων ΕΥΔΑΠ».

Η τιμή του ακατέργαστου ύδατος μετά την πρώτη πενταετία, καθορίζεται με έγγραφη συμφωνία των μερών, ταυτόχρονα με το κόστος συντήρησης και λειτουργίας των παγίων, σε συνάρτηση με την τιμολογιακή πολιτική, και λαμβάνοντας υπόψη οπωσδήποτε την τιμή πώλησης του ακατέργαστου ύδατος προς τρίτους από την ΕΥΔΑΠ.

Η ΕΥΔΑΠ αναλαμβάνει την υποχρέωση να συντάξει Σχέδιο Διαχείρισης των διαθεσίμων συστημάτων παροχής ακατέργαστου ύδατος και να το υποβάλει προς έγκριση στον εποπτεύοντα την ΕΥΔΑΠ Υπουργό εντός ενός έτους από της ισχύος της παρούσης σύμβασης. Σε περίπτωση που με βάση το σχέδιο αυτό απαιτείται η απόληψη νερού και από τα υπάρχοντα συστήματα πέραν των ταμειυτήρων Ευήνου, Μόρνου και Μαραθώνα η ΕΥΔΑΠ δικαιούται πρόσθετη αποζημίωση, ανάλογη με την επιβάρυνση του κόστους λειτουργίας, που θα επιφέρει η τροποποίηση αυτή και που θα ρυθμιστεί με ιδιαίτερη συμφωνία.

(β) Μέθοδος παροχής ακατέργαστου ύδατος

Το ακατέργαστο ύδωρ θα παραδίδεται στο σημείο εισόδου των Μονάδων Επεξεργασίας Νερού (ΜΕΝ).

Η ΕΥΔΑΠ κατά την πρώτη πενταετία που έχει την ευθύνη συντήρησης των εξωτερικών υδραγωγείων, οφείλει να τηρεί στοιχεία παροχής του ύδατος επί μηνιαίας βάσεως, τόσο στο σημείο εισόδου των ΜΕΝ όσο και στις εξόδους των συστημάτων παροχής ακατέργαστου ύδατος (έξοδος Γκιώνας, έξοδος σήραγγας Μπογιατίου, αντλιοστάσιο Μουρικού). Τα στοιχεία των ανωτέρω μετρήσεων θα παραδίδονται στην «Εταιρεία Παγίων ΕΥΔΑΠ».

(γ) Ποιότητα ακατέργαστου ύδατος

Το ακατέργαστο ύδωρ που προμηθεύεται η ΕΥΔΑΠ από το Δημόσιο και προέρχονται από επιφανειακά και υπόγεια νερά κατατάσσεται στην κατηγορία Α2 σύμφωνα με την Οδηγία ΕΚ (75/440/ΕΟΚ) «Περί της ποιότητας που απαιτείται για το επιφανειακό νερό που προορίζεται για την εξαγωγή πόσιμου νερού».

4 Κεφαλαιουχικό κόστος

4.1 Μεθοδολογία και παραδοχές

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται καταγραφή των στοιχείων που αφορούν τα κόστη κατασκευής των έργων στους ταμιευτήρες (Εύηνο, Μόρνο, Υλίκη και Μαραθώνα) και τα υδραγωγεία (Ευήνου, Μόρνου και Υλίκης) και υπολογίζεται το ετήσιο ισοδύναμο κόστος των παγίων της ΕΠΕΥΔΑΠ. Πιο αναλυτικά η μεθοδολογία περιγράφεται στο Τεύχος 1 του έργου.

Το ετήσιο κόστος επένδυσης σχετίζεται με το κεφάλαιο που δαπανάται για την απόκτηση των παγίων της επιχείρησης. Όπως συμβαίνει με οποιαδήποτε άλλη επένδυση, η δαπάνη αυτή συνεπάγεται ένα κόστος ευκαιρίας για το κεφάλαιο που χρησιμοποιείται και αξιολογείται με βάση μια επιζητούμενη απόδοση των χρημάτων που επενδύονται, αντίστοιχη με το κόστος κεφαλαίων της επιχείρησης.

Το ετήσιο κόστος επένδυσης εξαρτάται, πέραν του κεφαλαίου της επένδυσης και του κόστους των κεφαλαίων της επιχείρησης, από τη διάρκεια ζωής των παγίων. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να γίνει ένας διαχωρισμός μεταξύ της «λογιστικής ζωής», της «λειτουργικής ζωής» και της «οικονομικής ζωής» του πάγιου στοιχείου (πλην των οικοπέδων). Η λογιστική ζωή ενός πάγιου στοιχείου καθορίζεται από την εκάστοτε φορολογική νομοθεσία και είναι αυτή που προσδιορίζει και το ύψος των ετήσιων αποσβέσεων. Η λειτουργική ζωή αναφέρεται στη χρονική περίοδο για την οποία αναμένεται ότι το πάγιο θα ικανοποιεί τους παραγωγικούς στόχους, για τους οποίους αγοράστηκε. Η οικονομική ζωή, τέλος, είναι εκείνη κατά την οποία το συγκεκριμένο πάγιο στοιχείο μπορεί να εκτελεί την καθορισμένη εργασία πιο οικονομικά από οποιαδήποτε άλλη εναλλακτική επιλογή. Συχνά η λειτουργική και οικονομική ζωή του πάγιου στοιχείου ταυτίζονται και η χρήση τους προτιμάται έναντι της λογιστικής διάρκειας ζωής κατά τον υπολογισμό του ετήσιου κόστους της επένδυσης.

Για τον υπολογισμό του ετήσιου κόστους επένδυσης χρησιμοποιείται ο ακόλουθος τύπος (Sullivan *et al.*, 2006):

$$A = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] - S \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (4.1)$$

όπου A το ετήσιο ισοδύναμο κόστος, P η αξία της επένδυσης κατά το έτος πραγματοποίησης της επένδυσης (συμβατικά έτος 0), S η υπολειμματική αξία της επένδυσης κατά το έτος n , i το επιτόκιο προεξόφλησης, και n η διάρκεια ζωής της επένδυσης (έτη).

Προκειμένου να υπολογιστεί το ετήσιο ισοδύναμο κόστος των εγκαταστάσεων της ΕΥΔΑΠ Παγίων, ως συμβατική διάρκεια ζωής ελήφθησαν τα 50 έτη, ενώ το (αποπληθωρισμένο) επιτόκιο προεξόφλησης ελήφθη ίσο προς 5%, το οποίο συνηθίζεται σε μεγάλα έργα υποδομής.

Επίσης, εκτιμήθηκε η αναπόσβεστη αξία των παγίων στοιχείων της επιχείρησης κατά το έτος 2010 και ακολούθως η υπολειμματική αξία των παγίων μετά το πέρας των 50 ετών (με έτος 0 το 2010). Για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκαν κατάλληλοι συντελεστές απόσβεσης (Πίνακας 4.2).

4.2 Αρχική αξία παγίων ΕΠΕΥΔΑΠ

Τα πάγια στοιχεία της ΕΠΕΥΔΑΠ υπολογίστηκαν με βάση τις αποσβέσεις του 1999, όταν αυτά μεταβιβάστηκαν από την ΕΥΔΑΠ με το Νόμο 2744/25/10-99. Η αναπόσβεστη αξία των παγίων της ΕΠΕΥΔΑΠ, κατά το έτος 2000, φαίνεται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Αρχική αξία παγίων ΕΠΕΥΔΑΠ (Πηγή: Υπηρεσία Παγίων ΕΥΔΑΠ Α.Ε.)

Πηγή υδροδότησης	Συνολικό κόστος (€)
Εύηνος	213 883 630
Μόρνος	470 905 686
Υλίκη	45 300 896
Μαραθώνας	42 219 890
Σύνολο	772 310 103

4.3 Αποσβέσεις παγίων

Οι αποσβέσεις των παγίων υπολογίστηκαν με τις τιμές του Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Ετήσια ποσοστά αποσβέσεων έργων (Πηγές: Π.Δ. 299/2003 ΦΕΚ 255/Α/4.11.2003 και ΕΥΔΑΠ, 2009).

Κατηγορία	Ποσοστό απόσβεσης (%)
Φράγματα	1.0
Κτήρια (γενικά)	5.0
Κτήρια (Η/Μ)	10.0
Υδραγωγεία	3.0
Η/Μ εξοπλισμός	15.0
Σποραδικά έργα	2.5
Αντλιοστάσια, γεωτρήσεις	10.0

4.4 Ετήσιο ισοδύναμο κόστος παγίων

Στους Πίνακες 4.3 ως 4.6 αναλύεται η αναπόσβεστη αξία των παγίων στοιχείων της ΕΠΕΥΔΑΠ κατά το έτος 2010, ανά πηγή υδροδότησης.

Πίνακας 4.3: Κόστος παγίων (σε ευρώ) για τα έργα Εύηνου.

	Συντ. απόσβεσης (%)	Έργα Εύηνου	Υδραγωγείο Εύηνου	Συνολική αξία (2002)	Αναπόσβεστη αξία (2010)	Υπολειμματική αξία (2060)
Γήπεδα	-	-	-	-	-	-
Τεχνικά έργα-Κτήρια-Οδοποιία	5.0	16 233 903	2 720 596	18 954 499	11 372 699	1 137 270
Φράγματα	1.0	115 870 955	-	115 870 955	106 601 279	44 772 537
Η/Μ εξοπλισμός	15.0	2 077 909	-	2 077 909	-	-
Σποραδικά έργα	2.5	4 955 507	-	4 955 507	3 964 406	1 189 322
Αγωγοί	3.0	-	72 024 760	72 024 760	54 738 818	14 232 093
Αντλιοστάσια	10.0	-	-	-	-	-
Γεωτρήσεις	10.0	-	-	-	-	-
ΣΥΝΟΛΟ		139 138 274	74 745 356	213 883 630	176 677 201	61 331 221

Πίνακας 4.4: Κόστος παγίων (σε ευρώ) για τα έργα Μόρνου.

	Συντ. απόσβεσης (%)	Έργα Μόρνου	Υδραγωγείο Μόρνου	Συνολική αξία (2000)	Αναπόσβεστη αξία (2010)	Υπολειμματική αξία (2060)
Γήπεδα	-	7 677 289	15 314 359	22 991 648	22 991 648	22 991 648
Τεχνικά έργα-Κτήρια-Οδοποιία	5.0	118 734	1 028 638	1 147 372	573 686	-
Φράγματα	1.0	175 320 868	-	175 320 868	157 788 782	63 115 513
Η/Μ εξοπλισμός	15.0	-	638 707	638 707	-	-
Σποραδικά έργα	2.5	241 848	-	241 848	181 386	45 346
Αγωγοί	3.0	-	270 221 632	270 221 632	189 155 142	37 831 028
Αντλιοστάσια	10.0	343 611	-	343 611	-	-
Γεωτρήσεις	10.0	-	-	-	-	-
ΣΥΝΟΛΟ		183 702 350	287 203 336	470 905 686	370 690 644	123 983 536

Πίνακας 4.5: Κόστος παγίων (σε ευρώ) για τα έργα Υλίκης.

	Συντ. απόσβεσης (%)	Έργα Υλίκης	Υδραγωγείο Υλίκης	Συνολική αξία (2000)	Αναπόσβεστη αξία (2010)	Υπολειμματική αξία (2060)
Γήπεδα	-	128 839	831 041	959 880	959 880	959 880
Τεχνικά έργα-Κτήρια-Οδοποιία	5.0	129 424	159 435	288 859	144 430	-
Φράγματα	1.0	-	-	-	-	-
Η/Μ εξοπλισμός	15.0	152 992	315 105	468 097	-	-
Σποραδικά έργα	2.5	2 389 150	-	2 389 150	1 791 863	447 966
Αγωγοί	3.0	1 847 108	30 337 266	32 184 375	22 529 062	4 505 812
Αντλιοστάσια	10.0	1 919 619	2 471 587	4 391 206	-	-
Γεωτρήσεις	10.0	2 493 072	2 126 257	4 619 329	-	-
ΣΥΝΟΛΟ		9 060 205	36 240 691	45 300 896	25 425 235	5 913 658

Πίνακας 4.6: Κόστος παγίων (σε ευρώ) για τα έργα Μαραθώνα.

	Συντ. απόσβεσης (%)	Συνολική αξία (2000)	Αναπόσβεστη αξία (2010)	Υπολειμματική αξία (2060)
Γήπεδα	-	36 818 782	36 818 782	36 818 782
Τεχνικά έργα-Κτήρια-Οδοποιία	5.0	-	-	-
Φράγματα	1.0	5 401 108	4 860 998	1 944 399
Η/Μ εξοπλισμός	15.0	-	-	-
Σποραδικά έργα	2.5	-	-	-
Αγωγοί	3.0	-	-	-
Αντλιοστάσια	10.0	-	-	-
Γεωτρήσεις	10.0	-	-	-
ΣΥΝΟΛΟ		42 219 890	41 679 780	38 763 181

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία και την εφαρμογή της προαναφερθείσας μεθοδολογίας (εξ. 4.1), το **ετήσιο κόστος επένδυσης** εκτιμάται σε 32 560 208 € (τιμές 2010), το οποίο αναλύεται ως ακολούθως:

Έργα Ευήνου:	9 384 837 €/έτος
Έργα Μόρνου:	19 712 987 €/έτος
Έργα Υλίκης:	1 364 463 €/έτος
Φράγμα Μαραθώνα:	2 097 921 €/έτος

5 Πάγιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης

5.1 Εκτίμηση συνολικού λειτουργικού κόστους

Η ύπαρξη δύο φορέων διαχείρισης για την ύδρευση της Αθήνας (Εταιρεία Παγίων ΕΥΔΑΠ – ΕΥΔΑΠ Α.Ε.) δημιουργεί δυσκολίες στον ορθό υπολογισμό του κόστους και το διαχωρισμό των δαπανών λειτουργίας και συντήρησης μεταξύ των δύο φορέων.

Σκοπός της ΕΠΕΥΔΑΠ είναι η παροχή ακατέργαστου νερού προς την ΕΥΔΑΠ, η οποία και θα καταβάλλει τίμημα για την υπηρεσία αυτή. Παρόλα αυτά, η ΕΥΔΑΠ μπορεί να αναλαμβάνει τη λειτουργία και συντήρηση των παγίων των ταμιευτήρων έναντι εύλογης αμοιβής. Όσον αφορά τη λειτουργία και συντήρηση των υδραγωγείων, η ΕΥΔΑΠ μπορεί να είναι υπεύθυνη, μόνο σε περίπτωση που τις αναλάβει με δικές της δαπάνες (Άρθρο 6 – Νόμος 2744/1999). Ωστόσο, με σύμβαση που υπογράφηκε μεταξύ της ΕΥΔΑΠ και του Ελληνικού Δημοσίου, *η ΕΥΔΑΠ συνεχίζει να λειτουργεί τα έργα της ΕΠΕΥΔΑΠ για λογαριασμό της.*

Η δυσκολία που παρουσιάζεται για την εκτίμηση του κόστους παροχής του αδιύλιστου νερού έγκειται στο διαχωρισμό των δαπανών που αφορούν αποκλειστικά τη λειτουργία και συντήρηση των παγίων της ΕΠΕΥΔΑΠ και τα οποία λειτουργεί η Α.Ε. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται και οι δαπάνες του προσωπικού που διαθέτει η Α.Ε., όπως για τη λειτουργία της Διεύθυνσης Υδροληψίας και Μεταφοράς Νερού της ΕΥΔΑΠ Α.Ε, που αποτελείται από την Υπηρεσία Λειτουργίας Εξωτερικών Υδραγωγείων, την Υπηρεσία Υδραγωγείου Μόρνου-Ευήνου, την Υπηρεσία Υλίκης-Βίλιζας και την Υπηρεσία Μαραθώνα-Κιούρκων. Η διάρθρωση αυτή προκύπτει με βάση το Οργανόγραμμα της ΕΥΔΑΠ Α.Ε., που απεικονίζεται στο Σχήμα 5.1.

Για να εκτιμηθούν τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης αναλύθηκαν τα πραγματικά δεδομένα κόστους που συλλέγονται από την Υπηρεσία Κοστολόγησης της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. Τα δεδομένα αυτά αναφέρονται στα έτη 2001 έως 2009 (Πίνακας 5.1).

Τα κόστη για τη λειτουργία και συντήρηση των εγκαταστάσεων χωρίζονται σε επιμέρους κατηγορίες και αφορούν κόστη παραγωγικών δραστηριοτήτων και κόστη κατανομής της Διεύθυνσης Υδροληψίας και Μεταφοράς Νερού της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. Για το έτος 2009 διατίθενται αναλυτικά κόστη λειτουργίας και συντήρησης ανά κατηγορία.

Πίνακας 5.1: Κόστος λειτουργίας και συντήρησης του υδροδοτικού συστήματος (σε ευρώ).

Έτος	Περιγραφή	Κόστος παραγωγικών δραστηριοτήτων	Κόστος κατανομής Διεύθυνσης Υδροληψίας	Σύνολο
2001				17 872 701
2002		17 372 790.41	4 246 015.00	21 618 805
2003		15 840 731.86	5 189 128.69	21 029 860
2004		17 174 145.26	7 090 263.23	24 264 408
2005		15 288 032.84	8 969 711.07	24 257 743
2006	0111 – Συλλογή νερού σε ταμιευτήρες	1 405 928.71	8 527 059.83	23 213 168
	0112 – Υδροληψία μέσω γεωτρήσεων	275 405.51		
	0113 – Μεταφορά νερού μέσω υδραγωγείων	4 016 435.47		
	0114 – Άντληση κατά μήκος υδραγωγείων	8 972 124.81		
	Υδροηλεκτρικοί σταθμοί	16 214.38		
2007	0111 – Συλλογή νερού σε ταμιευτήρες	1 474 617.97	8 987 020.40	23 106 080
	0112 – Υδροληψία μέσω γεωτρήσεων	349 646.80		
	0113 – Μεταφορά νερού μέσω υδραγωγείων	3 814 526.65		
	0114 – Άντληση κατά μήκος υδραγωγείων	8 451 350.22		
	Υδροηλεκτρικοί σταθμοί	28 918.61		
2008	0111 – Συλλογή νερού σε ταμιευτήρες	1 562 203.38	11 335 875.80	27 907 473
	0112 – Υδροληψία μέσω γεωτρήσεων	1 338 063.59		
	0113 – Μεταφορά νερού μέσω υδραγωγείων	3 946 111.99		
	0114 – Άντληση κατά μήκος υδραγωγείων	9 725 097.96		
2009	0111 – Συλλογή νερού σε ταμιευτήρες	2 200 309.23	4 437 325.32	27 370 043
	0112 – Υδροληψία μέσω γεωτρήσεων	765 592.90	507 765.48	
	0113 – Μεταφορά νερού μέσω υδραγωγείων	4 394 396.23	2 830 720.34	
	0114 – Άντληση κατά μήκος υδραγωγείων	4 175 065.28	3 497 556.10	
	0115 – Αμοιβή Παγίων	421 502.24	12 257.43	
	0142 – Υδροδότηση ακατέργαστου νερού	41 089.87	30 691.58	
	0311 – Ποιοτικός έλεγχος ύδρευσης	52 914.78	286 933.65	
	0321 – Τηλεέλεγχος- τηλεχειρισμός ύδρευσης	2 115 799.54	1 600 123.64	

5.2 Εκτίμηση λειτουργικού κόστους χωρίς την ενεργειακή συνιστώσα

Στα πάγια λειτουργικά κόστη που αναφέρονται παραπάνω περιλαμβάνεται και το κόστος ενέργειας (δαπάνες ηλεκτρικού ρεύματος για αντλήσεις), το οποίο μεταβάλλεται σημαντικά από έτος σε έτος, καθώς εξαρτάται από την κατανομή των απολήψεων και τον τρόπο λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος. Αντίθετα, οι υπόλοιπες συνιστώσες κόστους λειτουργίας και συντήρησης, παρόλο που μεταβάλλονται διαχρονικά (π.χ. λόγω αλλαγών στο προσωπικό, στις δαπάνες μισθοδοσίας, κτλ.) δεν εξαρτώνται, γενικά, από την εκάστοτε διαχειριστική πολιτική.

Για το λόγο αυτό, οι ετήσιες δαπάνες ενέργειας, λόγω της χρήσης αντλιοστασίων και γεωτρήσεων, εξετάζονται ξεχωριστά. Συγκεκριμένα, στο Κεφάλαιο 7 εξετάζονται τα δεδομένα άντλησης, ενέργειας και κόστους που χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις, ενώ στο Κεφάλαιο 8 εκτιμάται η συνιστώσα του ενεργειακού κόστους, για διάφορα σενάρια ζήτησης και αξιοπιστίας, που αφορούν στο σημερινό και σε ένα υποθετικό βελτιωμένο δίκτυο μεταφοράς.

Στον Πίνακα 5.2 δίνονται τα συνολικά λειτουργικά κόστη και οι αντίστοιχες δαπάνες ενέργειας, για τα έτη 2008 και 2009. Επισημαίνεται ότι κυρίως το 2008, αλλά και τους πρώτους μήνες του 2009, πραγματοποιήθηκαν συστηματικές αντλήσεις από την Υλίκη και κατά μήκος του υδραγωγείου της, καθώς και τις γεωτρήσεις Μαυροσουβάλας, με συνέπεια να δαπανηθούν σημαντικά ποσά για την κατανάλωση ρεύματος. Συγκεκριμένα, το 2008 δαπανήθηκαν περίπου 8 000 000 € (υψηλό δεκαετίας) ενώ το 2009 το κόστος άντλησης ξεπέρασε τα 3 600 000 €. Στα ποσά αυτά δεν περιλαμβάνονται οι δαπάνες άντλησης αδιύλιστου νερού από το υδραγωγείο Σφενδάλης προς τη ΜΕΝ Κιούρκων και από το υδραγωγείο Χελιδονού προς τη ΜΕΝ Μενιδίου, και διυλισμένου νερού από τη ΜΕΝ Κιούρκων προς τη ΜΕΝ Μενιδίου.

Πίνακας 5.2: Συνολικό, ενεργειακό και καθαρό κόστος λειτουργίας υδροδοτικού συστήματος για τα έτη 2008 και 2009.

Έτος	Συνολικό κόστος (€)	Κόστος ενέργειας (€)	Σταθερό λειτουργικό κόστος (€)
2008	27 927 293	7 981 651	19 945 642
2009	27 370 043	3 621 537	23 748 506
Μέση τιμή			21 847 074

Με αφαίρεση του κόστους ενέργειας από το συνολικό λειτουργικό κόστος προκύπτει ότι το μέσο ετήσιο «σταθερό» κόστος λειτουργίας και συντήρησης της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. για τα έτη 2008 και 2009, χωρίς την άντληση, είναι 21 847 074 €. Το κόστος αυτό θα χρησιμοποιηθεί πιο κάτω στον υπολογισμό του συνολικού κόστους αδιύλιστου νερού.

6 Ενεργειακά δεδομένα και σχετικά κόστη

6.1 Η συνιστώσα του κόστους άντλησης στη λειτουργία του υδροδοτικού συστήματος

Μια καίρια συνιστώσα του πάγιου κόστους του αδιύλιστου νερού είναι οι ενεργειακές δαπάνες (κόστος άντλησης), ειδικά στην περίπτωση που αξιοποιούνται εντατικά οι υδατικοί πόροι της Υλίκης και των γεωτρήσεων. Στην παρουσίαση των οικονομικών στοιχείων, το κόστος αυτό ενσωματώνεται στις ετήσιες δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος.

Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες χρηματοοικονομικές συνιστώσες, η εκτίμηση του ενεργειακού κόστους δεν μπορεί να γίνει με τυπικές μεθόδους χρηματοοικονομικής ανάλυσης, καθώς δεν μπορεί να ληφθεί σταθερό σε ετήσια βάση, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με τις εκάστοτε υδρολογικές συνθήκες και τη διαχειριστική πολιτική που υιοθετείται. Για το λόγο αυτό, το ενεργειακό κόστος αντιμετωπίζεται ως θεωρητικό-στατιστικό μέγεθος, το οποίο ορίζεται ως η αναμενόμενη (μέση) ετήσια δαπάνη άντλησης νερού από τα αντλιοστάσια και τις γεωτρήσεις, σε συνθήκες μόνιμης κατάστασης, ήτοι σταθερών χαρακτηριστικών του υδροδοτικού συστήματος και σταθερής ζήτησης. Η εκτίμηση του κόστους γίνεται μέσω προσομοίωσης, στην οποία αναπαρίσταται η λειτουργία του υδροδοτικού συστήματος για ένα μεγάλο πλήθος (θεωρητικά άπειρο) υδρολογικών καταστάσεων (συνδυασμός εισροών και αποθεμάτων ταμιευτήρων), απ' όπου προκύπτουν αντίστοιχοι συνδυασμοί κατανάλωσης ενέργειας και του αντίστοιχου κόστους. Το σχετικό μεθοδολογικό πλαίσιο και η εφαρμογή του εξετάζονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 7, ενώ στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων του υδροσυστήματος που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας και τα σχετικά κόστη.

6.2 Μεθοδολογία εκτίμησης ενεργειακής κατανάλωσης

6.2.1 Θεωρητικό πλαίσιο

Η κατανάλωση ενέργειας σε ένα αντλιοστάσιο ή γεώτρηση, σε μονάδες Joule, δίνεται από τη σχέση:

$$E = \gamma Q H_{\mu} / \eta \quad (6.1)$$

όπου γ το ειδικό βάρος του νερού ($= 9.81 \text{ kN/m}^3$), Q η διερχόμενη παροχή (m^3/s), H_{μ} το μανομετρικό ύψος (m) και η ο βαθμός απόδοσης του αντλιοστασίου (ή γεώτρησης), που εξαρτάται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τη διάταξη των αντλιών.

Το μανομετρικό ύψος δίνεται από τη σχέση:

$$H_{\mu} = H + h_f + h_t \quad (6.2)$$

όπου H είναι η υψομετρική διαφορά μεταξύ του υψομέτρου άντλησης και του κατάντη ενεργειακού υψομέτρου του καταθλιπτικού αγωγού, και h_f , h_t οι γραμμικές και τοπικές απώλειες ενέργειας, αντίστοιχα, κατά μήκος του καταθλιπτικού αγωγού.

Η παραπάνω σχέση μπορεί να γραφτεί στην ακόλουθη μορφή, με την οποία η κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται σε GWh:

$$E = \psi V H \quad (6.3)$$

όπου V ο διερχόμενος όγκος (σε hm^3) και ψ η ειδική ενέργεια, δηλαδή η καταναλισκόμενη ενέργεια ανά μονάδα όγκου και ανά μονάδα ύψους πτώσης, η οποία εκφράζεται σε GWh/hm^4

Η ειδική ενέργεια ψ έχει θεωρητική ελάχιστη δυνατή τιμή $0.2725 \text{ GWh}/\text{hm}^4$, η οποία αντιστοιχεί σε μοναδιαίο συντελεστή απόδοσης και σε μηδενικές γραμμικές και τοπικές απώλειες. Στην πράξη, η ειδική ενέργεια μεταβάλλεται με την παροχή (καθώς οι ενεργειακές απώλειες αλλά και ο βαθμός απόδοσης αυξάνουν με την παροχή), ενώ σε περίπτωση μεταβλητού ενεργειακού υψομέτρου ανάντη και κατάντη (π.χ. εισροή και εκροή σε ταμιευτήρα), μεταβάλλεται ανάλογα και η υψομετρική διαφορά H , οπότε ισχύει $\psi = \psi(H)$ και $V = V(H)$.

Απλουστευτικά, μπορεί να θεωρηθεί ότι τα μεγέθη ψ και H είναι σταθερά, οπότε η κατανάλωση ενέργειας εξαρτάται μόνο από τον αντλούμενο όγκο V , ήτοι:

$$E = e V \quad (6.4)$$

όπου e η ειδική ενέργεια, εκφρασμένη πλέον σε kWh/m^3 (ή GWh/hm^3), που με τις παραπάνω παραδοχές αποτελεί σταθερό χαρακτηριστικό μέγεθος του αντλιοστασίου ή γεώτρησης.

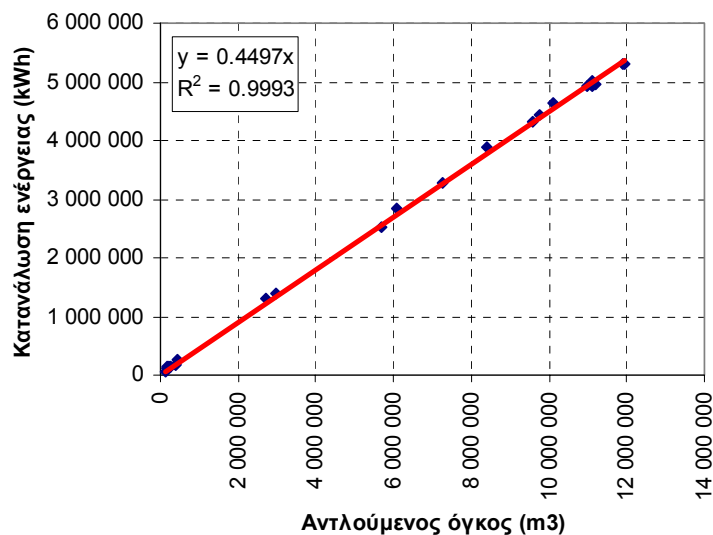
6.2.2 Ανάλυση δεδομένων ετών 2008-2010 για την εκτίμηση της ειδικής ενέργειας

Για την περίοδο Ιανουαρίου 2008 – Ιουλίου 2010, αναζητήθηκαν από την ΕΥΔΑΠ τα μηνιαία δεδομένα αντλήσεων, κατανάλωσης ενέργειας και αντίστοιχης δαπάνης ηλεκτρικού ρεύματος, για τα οποία έγιναν κατάλληλες επεξεργασίες με σκοπό την εκτίμηση της ειδικής ενέργειας. Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται, ενδεικτικά, τα δεδομένα του κεντρικού αντλιοστασίου την Υλίκης.

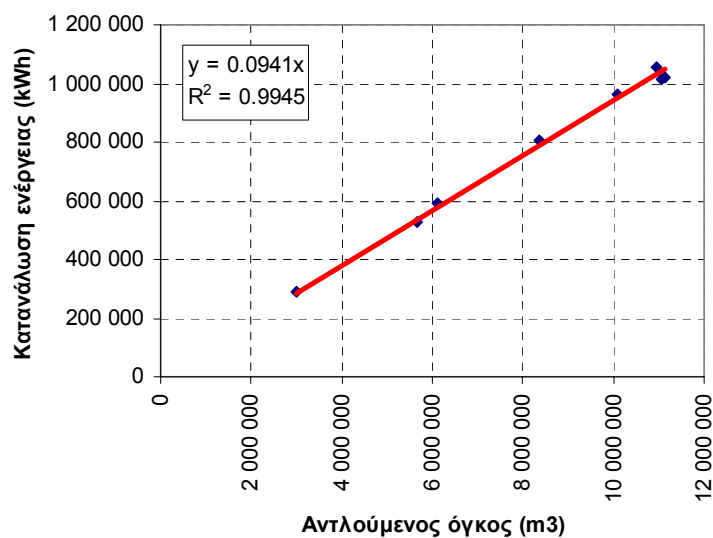
Επισημαίνεται ότι για τις αναλύσεις συλλέχθηκαν τα πρόσφατα μόνο στοιχεία ενέργειας-κόστους-άντλησης, τα οποία θεωρούνται τα πλέον αντιπροσωπευτικά της υφιστάμενης κατάστασης των σχετικών έργων. Μέσω γραμμικής παλινδρόμησης, παρήχθησαν οι σχέσεις κατανάλωσης ενέργειας ως συνάρτηση του αντλούμενου όγκου νερού (σχέση 6.4), για τα αντλιοστάσια της Υλίκης και του υδραγωγείου Υλίκης, καθώς και τις γεωτρήσεις Μαυροσουβάλας. Τα σχετικά διαγράμματα διασποράς παρουσιάζονται στα Σχήματα 6.1 ως 6.7. Παρατηρείται ότι η υπόθεση του ομογενούς γραμμικού μοντέλου επαληθεύεται από τα δεδομένα των αντλήσεων, όπως φαίνεται από τις πολύ υψηλές τιμές των αντίστοιχων συντελεστών προσδιορισμού.

Πίνακας 6.1: Μηνιαία δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας, κόστους (δαπάνη ΔΕΗ) και όγκου άντλησης για το κεντρικό αντλιοστάσιο της Υλίκης.

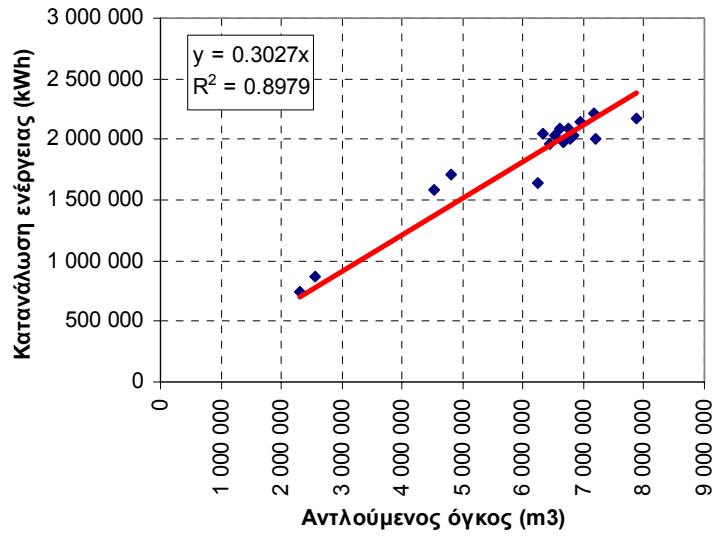
Μήνας	Ενέργεια (kWh)	Δαπάνη (€)	Άντληση (m ³)
Ιαν-08	1 296 000	98 855	2 695 000
Φεβ-08	3 276 000	223 523	7 263 000
Μαρ-08	4 428 000	283 218	9 762 000
Απρ-08	5 004 000	303 923	11 105 000
Μαϊ-08	4 968 000	301 298	11 200 000
Ιουν-08	4 320 000	283 802	9 591 000
Ιουλ-08	5 292 000	349 547	11 888 000
Αυγ-08	5 292 000	349 329	11 927 000
Σεπ-08	4 932 000	334 036	11 118 000
Οκτ-08	4 968 000	359 554	11 150 000
Νοε-08	4 968 000	329 809	11 069 000
Δεκ-08	4 932 000	328 605	10 962 000
Ιαν-09	4 644 000	311 906	10 100 000
Φεβ-09	2 844 000	217 534	6 103 000
Μαρ-09	3 888 000	252 268	8 379 000
Απρ-09	2 520 000	198 691	5 673 000
Μαϊ-09	1 404 000	102 096	2 993 000
Ιουν-09	36 000	12 315	-
Ιουλ-09	36 000	7 211	-
Αυγ-09	-	228	-
Σεπ-09	38 000	3 549	-
Οκτ-09	36 000	2 591	-
Νοε-09	252 090	19 378	427 000
Δεκ-09	105 000	12 065	191 000
Ιαν-10	144 000	13 700	186 000
Φεβ-10	144 000	13 527	203 000
Μαρ-10	108 000	11 307	168 000
Απρ-10	72 000	9 798	153 000
Μαϊ-10	144 000	12 660	257 000
Ιουν-10	180 000	14 869	389 000
Ιουλ-10	180 000	15 399	402 000



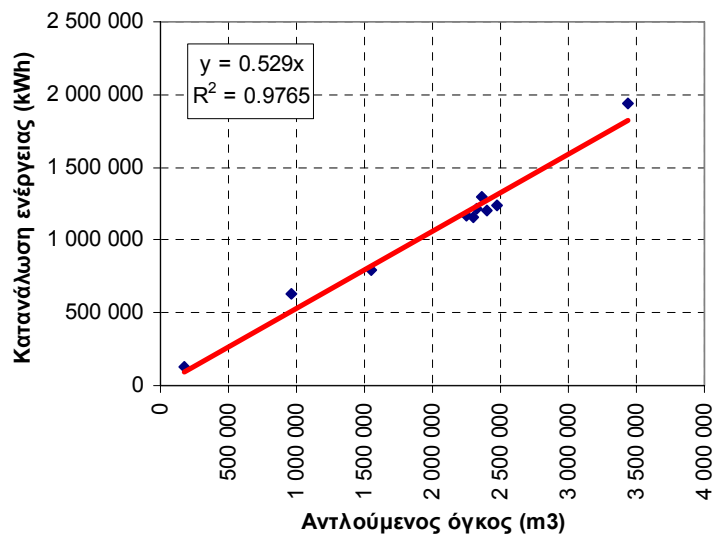
Σχήμα 6.1: Σχέση κατανάλωσης ενέργειας και άντλησης στο κεντρικό αντλιοστάσιο Υλίκης (Ιανουάριος 2008 – Ιούλιος 2010).



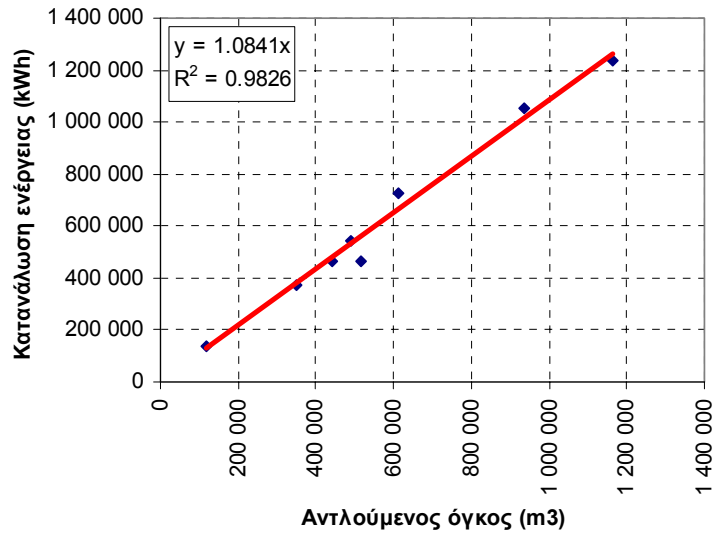
Σχήμα 6.2: Σχέση κατανάλωσης ενέργειας και άντλησης στα πλωτά αντλιοστάσια Υλίκης (Ιανουάριος 2008 – Ιούλιος 2010).



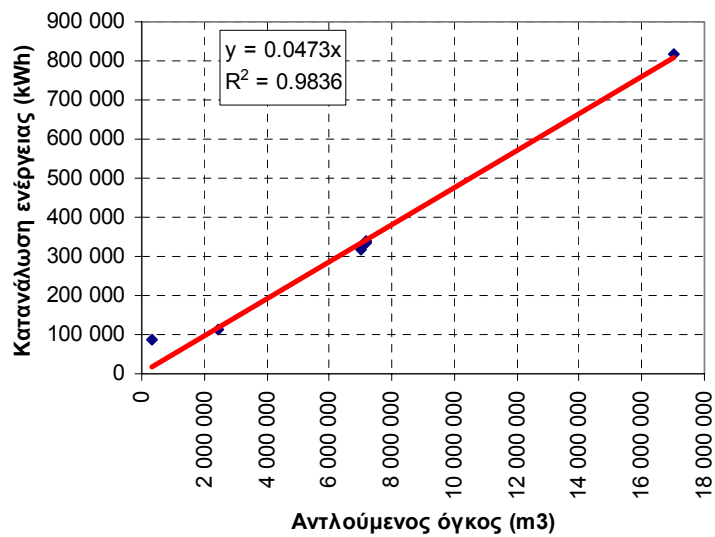
Σχήμα 6.3: Σχέση κατανάλωσης ενέργειας και άντλησης στο αντλιοστάσιο Βίλιζας (Ιανουάριος 2008 – Ιούλιος 2010).



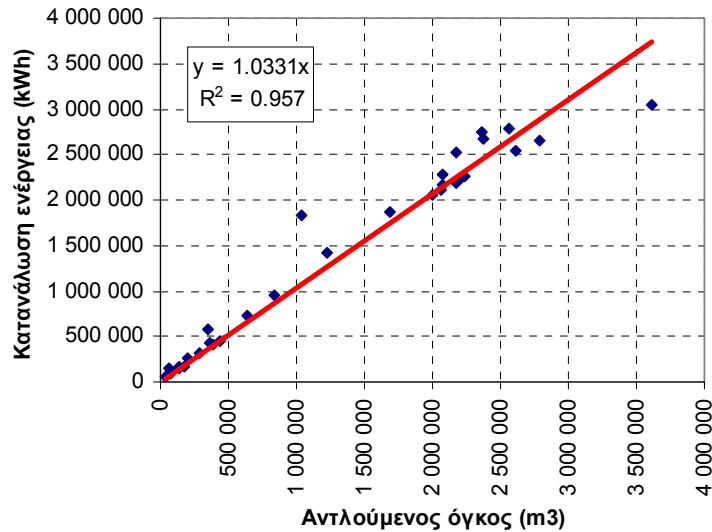
Σχήμα 6.4: Σχέση κατανάλωσης ενέργειας και άντλησης στο αντλιοστάσιο Ασωπού (Ιανουάριος 2008 – Ιούλιος 2010).



Σχήμα 6.5: Σχέση κατανάλωσης ενέργειας και άντλησης στο αντλιοστάσιο Νο 3 (Ιανουάριος 2008 – Ιούλιος 2010).



Σχήμα 6.6: Σχέση κατανάλωσης ενέργειας και άντλησης στο αντλιοστάσιο Νο 4 (Ιανουάριος 2008 – Ιούλιος 2010).



Σχήμα 6.7: Σχέση κατανάλωσης ενέργειας και άντλησης στις γεωτρήσεις Μαυροσουβάλας (Ιανουάριος 2008 – Ιούλιος 2010).

6.3 Μεθοδολογία εκτίμησης κόστους άντλησης

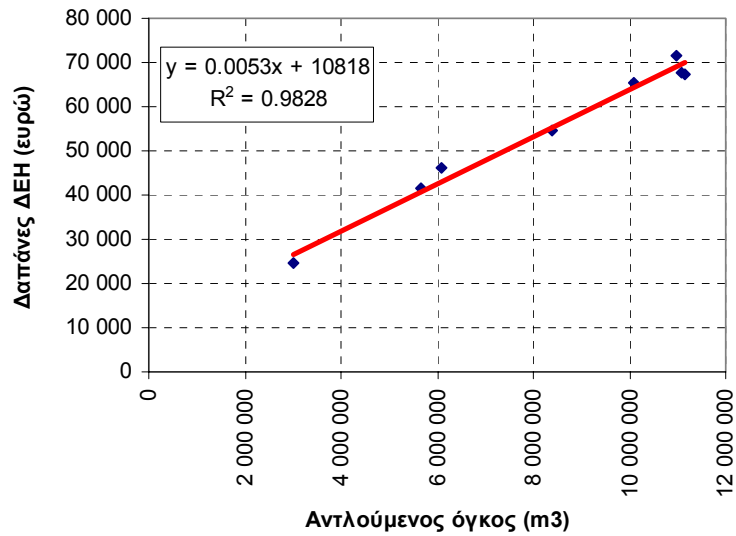
Το κόστος άντλησης διαφοροποιείται σε μηνιαία βάση και εξαρτάται από την κατανάλωση ενέργειας στην αντίστοιχη συνιστώσα του υδросυστήματος (αντλιοστάσιο, γεώτρηση) και την τιμή πώλησης του ρεύματος, η οποία γενικά δεν είναι σταθερή αλλά εξαρτάται από την τιμολογιακή πολιτική της ΔΕΗ (π.χ. κλιμακωτά τιμολόγια). Όπως εξηγήθηκε προηγουμένως, η κατανάλωση ενέργειας, με τη σειρά της, εξαρτάται από τον αντλούμενο όγκο νερού και τα χαρακτηριστικά μεγέθη των σχετικών έργων, ήτοι αντλιοστασίων, γεωτρήσεων και καταθλιπτικών αγωγών.

Με βάση τα στοιχεία των ετών 2008-2010, προκύπτει ότι ακόμα και τους μήνες που δεν πραγματοποιούνται αντλήσεις, υπάρχει ένα συγκριτικά μικρό, αλλά όχι αμελητέο, κόστος ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο αφορά στο φωτισμό και θέρμανση των εγκαταστάσεων, και άλλες συνήθεις καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος. Το κόστος αυτό θεωρήθηκε σταθερό, και εκτιμήθηκε ως ο μέσος όρος των μηνιαίων δαπανών της ΔΕΗ τους μήνες κατά τους οποίους δεν υπάρχει άντληση. Το εν λόγω κόστος αφαιρέθηκε από τις συνολικές δαπάνες ρεύματος, οπότε η διαφορά τους αναφέρεται αποκλειστικά στο κόστος άντλησης.

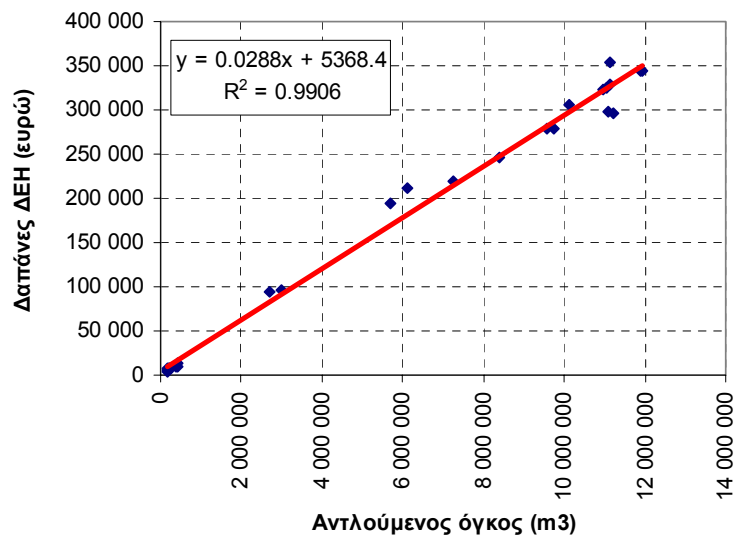
Από την ανάλυση των δεδομένων, προέκυψε ότι σε όλες τις περιπτώσεις προσαρμόζεται καλύτερα ένα γραμμικό μοντέλο της μορφής:

$$K_E = K_0 + \beta V_E \quad (6.5)$$

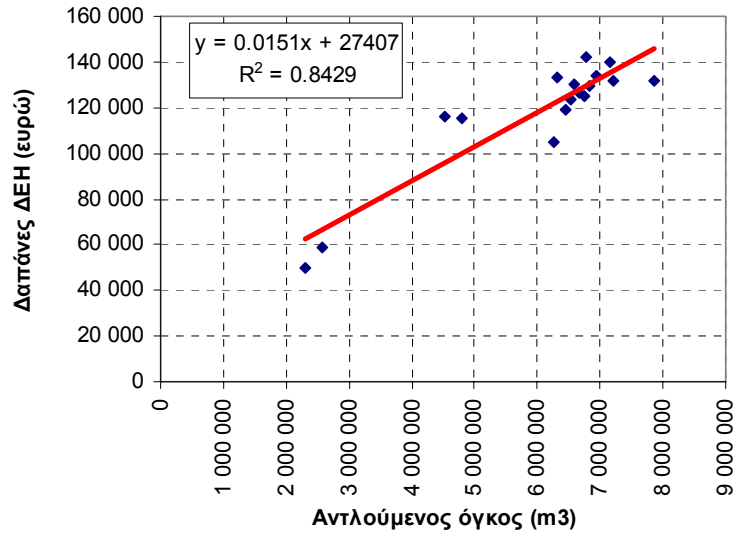
όπου K_0 το κόστος ενεργοποίησης του αντλιοστασίου (€), β το κόστος ανά μονάδα αντλούμενου όγκου (€/m³) και V_E ο όγκος άντλησης (m³). Τα σχετικά διαγράμματα διασποράς παρουσιάζονται στα Σχήματα 6.8 ως 6.14, από τα οποία προκύπτει ικανοποιητική προσαρμογή των δεδομένων στο γραμμικό μοντέλο.



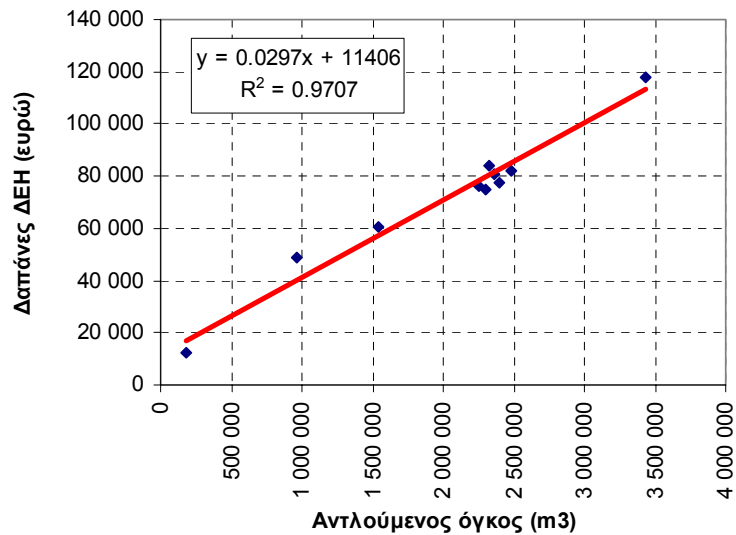
Σχήμα 6.8: Σχέση κόστους και όγκου άντλησης στα πλωτά αντλιοστάσια Υλίκης (Ιανουάριος 2008 – Ιούλιος 2010).



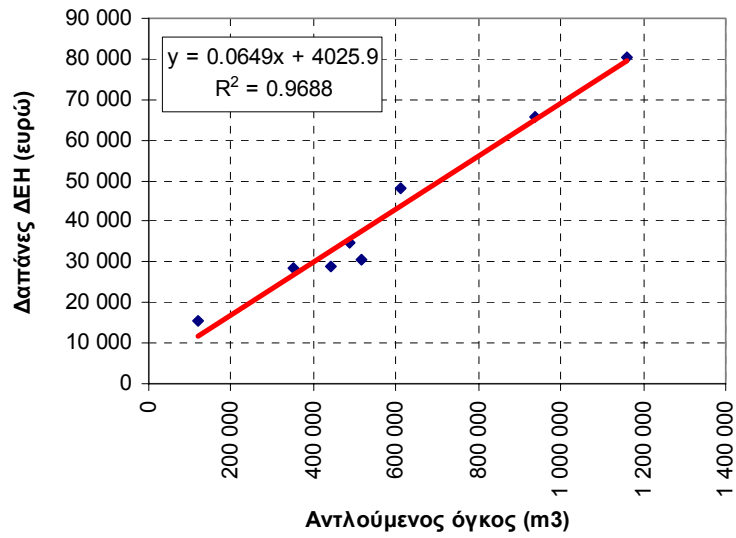
Σχήμα 6.9: Σχέση κόστους και όγκου άντλησης στο κεντρικό αντλιοστάσιο Υλίκης (Ιανουάριος 2008 – Ιούλιος 2010).



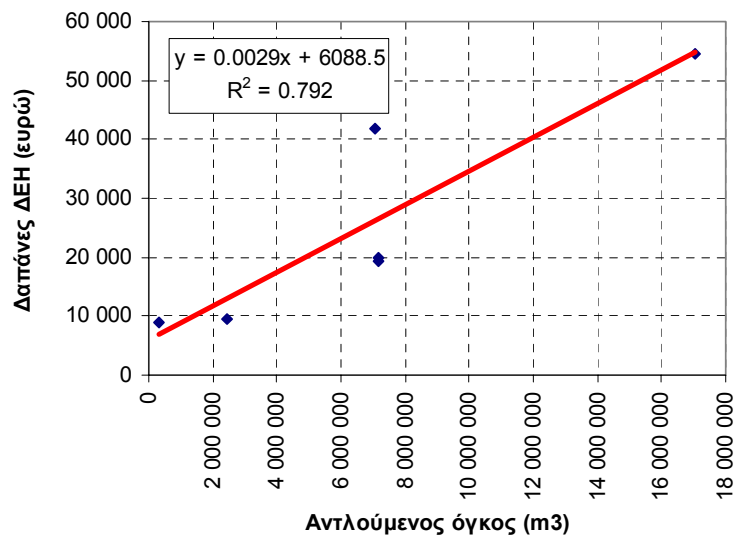
Σχήμα 6.10: Σχέση κόστους και όγκου άντλησης στο αντλιοστάσιο Βίλιζας (Ιανουάριος 2008 – Ιούλιος 2010).



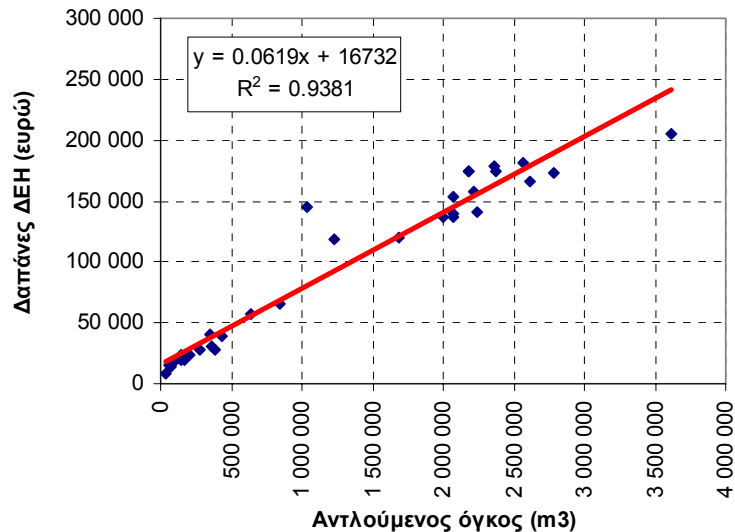
Σχήμα 6.11: Σχέση κόστους και όγκου άντλησης στο αντλιοστάσιο Ασωπού (Ιανουάριος 2008 – Ιούλιος 2010).



Σχήμα 6.12: Σχέση κόστους και όγκου άντλησης στο αντλιοστάσιο Νο 3 (Ιανουάριος 2008 – Ιούλιος 2010).



Σχήμα 6.13: Σχέση κόστους και όγκου άντλησης στο αντλιοστάσιο Νο 4 (Ιανουάριος 2008 – Ιούλιος 2010).



Σχήμα 6.14: Σχέση κόστους και όγκου άντλησης στις γεωτρήσεις Μαυροσουβάλας (Ιανουάριος 2008 – Ιούλιος 2010).

Μια σύνοψη του μοναδιαίου κόστους άντλησης για τα αντλιοστάσια και τις ομάδες γεωτρήσεων του συστήματος, παρουσιάζεται στο Πίνακα 6.2

Πίνακας 6.2: Μοναδιαίο κόστος άντλησης αντλιοστασίων και γεωτρήσεων.

Αντλιοστάσιο ή ομάδα γεωτρήσεων	Μοναδιαίο κόστος άντλησης (€/m ³)
Ασωπού	0.030
Βίλιζας (Φ1300)	0.015
Νο 3-Φρέαρ Α (αντ)	0.065
Νο 4-Φρέαρ Α (αντ)	0.003
Booster Βίλιζας	0.050
Βίλιζας (Φ900)	0.015
Φ900 (αντ)	0.050
Υλίκης κεντρικό	0.029
Υλίκης πλωτά	0.034
ΑΔ1-ΑΔ2-ΑΔ3	0.010
Κιούρκα-Διυλιστήρια	0.010
Κιούρκα-Μενίδι	0.010
Χελιδονού-Μενίδι (αντ)	0.010
Γεωτρήσεις Ούγγρων-ΝΔ Υλίκης	0.050
Γεωτρήσεις Βασιλικών-Παρορίου	0.050
Γεωτρήσεις Αυλώνα	0.050
Γεωτρήσεις Μαυροσουβάλας	0.062
Γεωτρήσεις 10ου σίφωνα	0.050

7 Μεθοδολογία βελτιστοποίησης της ενεργειακής κατανάλωσης

7.1 Τοποθέτηση του διαχειριστικού προβλήματος και υπολογιστικά εργαλεία

Η διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας συνίσταται στον καθορισμό των απολήψιμων ποσοτήτων από τους ταμιευτήρες και τους υδροφορείς καθώς και τον τρόπο διοχέτευσής τους στο δίκτυο των εξωτερικών υδραγωγείων, ώστε να εξασφαλίζεται η μακροπρόθεσμη επάρκεια των πόρων ύδρευσης της Αθήνας, με την απαιτούμενη αξιοπιστία και το ελάχιστο δυνατό κόστος λειτουργίας ή, (σχεδόν) ισοδύναμα, την ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση. Η βέλτιστη πολιτική εξαρτάται από τις συνθήκες των υδρολογικών εισροών, αποθεμάτων και ζήτησης. Τόσο οι εισροές όσο και η ζήτηση είναι μεταβλητές, η εξέλιξη των οποίων δεν είναι γνωστή και ως εκ τούτου αντιμετωπίζεται με τη μορφή σεναρίων.

Στην καθημερινή λειτουργία του υδροδοτικού συστήματος προκύπτουν πολλαπλές επιλογές, λόγω της ύπαρξης διαφορετικών πηγών (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις) καθώς και εναλλακτικών τρόπων μεταφοράς των απολήψεων στο δίκτυο των εξωτερικών υδραγωγείων. Κάθε τέτοια διαχειριστική επιλογή συνδέεται με ένα κόστος ενέργειας, καθώς προϋποθέτει την ενεργοποίηση αντλιοστασίων ή/και γεωτρήσεων. Αλλά και σε στρατηγικό επίπεδο, μια ορισμένη διαχειριστική πολιτική επηρεάζει θετικά ή αρνητικά την βιωσιμότητα (αξιοπιστία) του συστήματος, ήτοι την επάρκεια υδατικών πόρων σε μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα. Στο συγκεκριμένο υδροσύστημα, τα κριτήρια οικονομικότητας και αξιοπιστίας είναι έντονα αντικρουόμενα, γεγονός που, σε συνδυασμό με τη μεγάλη κλίμακα και πολυπλοκότητα του συστήματος, καθώς και την πληθώρα αβεβαιοτήτων που διέπουν τη λειτουργία του, καθιστά το πρόβλημα βελτιστοποίησης της διαχείρισής του εξαιρετικά δυσχερές.

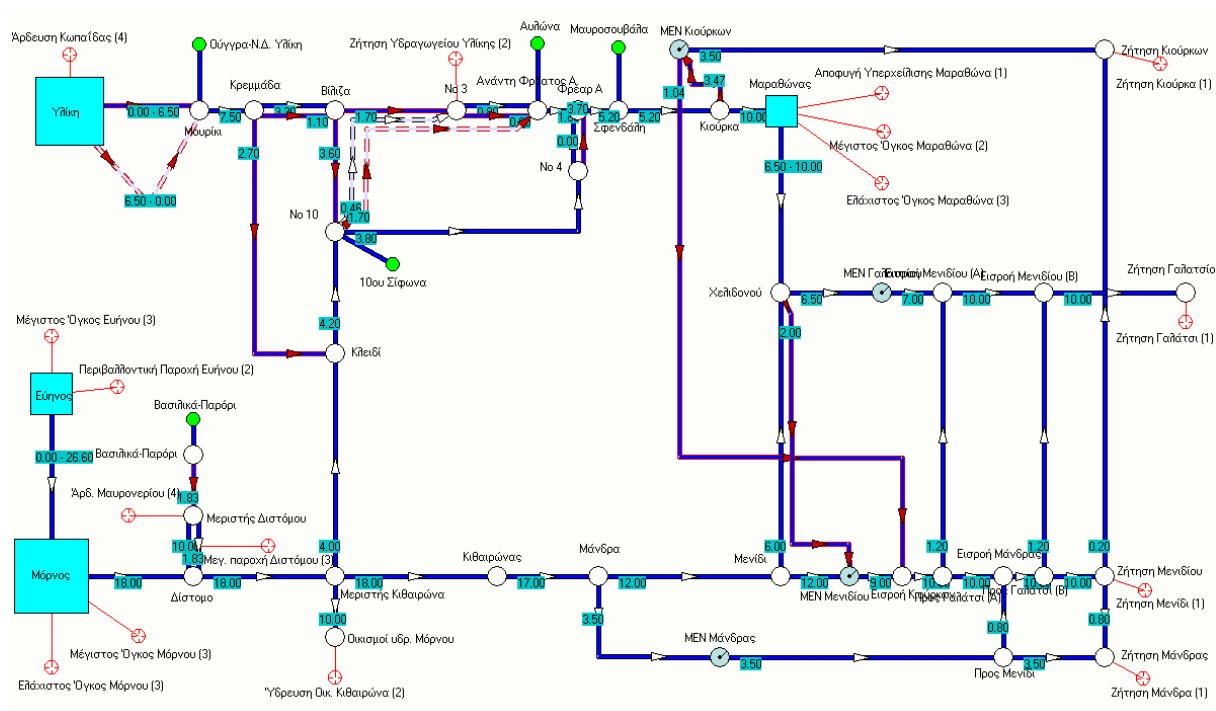
Ο μαθηματικός χειρισμός του προβλήματος βέλτιστης λήψης αποφάσεων βασίζεται σε μεθοδολογίες και υπολογιστικά εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί από το ΕΜΠ, και έχουν μάλιστα εφαρμοστεί επιτυχώς στα πλαίσια ερευνητικών συνεργασιών του ΕΜΠ με την ΕΥΔΑΠ Α.Ε., και ειδικότερα των έργων *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας (1999-2003)* και *Συντήρηση, αναβάθμιση και επέκταση του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων για την διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της ΕΥΔΑΠ (2008-2010)*. Κεντρική συνιστώσα αποτελεί το λογισμικό Υδρονομέας, που είναι ένα εξελιγμένο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για την προσομοίωση και βελτιστοποίηση της διαχείρισης συστημάτων υδατικών πόρων. Το μεθοδολογικό υπόβαθρο του Υδρονομέα βασίζεται σε πρωτότυπη ερευνητική εργασία του ΕΜΠ (Nalbantis and Koutsoyiannis, 1997· Koutsoyiannis *et al.*, 2002· Koutsoyiannis and Economou, 2003· Koutsoyiannis *et al.*, 2003· Efstratiadis *et al.*, 2004). Λεπτομερής περιγραφή της μεθοδολογίας και του λογισμικού του δίνεται από τους Καραβοκυρό κ.ά. (2004) και Ευστρατιάδη κ.ά. (2007).

Στη συνέχεια περιγράφεται η διατύπωση του διαχειριστικού προβλήματος με την υποστήριξη του λογισμικού Υδρονομέας, που περιλαμβάνει τη σχηματική διάταξη του υδροδοτικού συστήματος, τις συνιστώσες του δικτύου και τα δεδομένα εισόδου τους, τους λειτουργικούς στόχους (χρήσεις νερού και περιορισμοί), τα σενάρια υδρολογικών εισροών και τους κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων και γεωτρήσεων.

7.2 Σχηματοποίηση δικτύου και παραδοχές

Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας παρίσταται ως ένα δίκτυο που αποτελείται από κόμβους και κλάδους. Οι κόμβοι του δικτύου αποτελούν σημεία προσφοράς (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις) ή ζήτησης νερού, σημεία διακλάδωσης καθώς και σημεία αλλαγής των υδραυλικών χαρακτηριστικών των αγωγών. Οι κλάδοι ορίζουν τις δυνατές διαδρομές του νερού και ταυτίζονται με τους πραγματικούς αγωγούς του δικτύου, ήτοι τους αγωγούς βαρύτητας (υδραγωγεία) και τους καταθλιπτικούς αγωγούς (αντλιοστάσια).

Στο Σχήμα 7.1 απεικονίζεται η υφιστάμενη σχηματική διάταξη του συστήματος, όπως υλοποιήθηκε στο γραφικό περιβάλλον του λογισμικού Υδρονομέας. Το μαθηματικό μοντέλο περιλαμβάνει τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους, επιφανειακούς (ταμιευτήρες) και υπόγειους (ομάδες γεωτρήσεων), τα έργα αξιοποίησης νερού που χρησιμοποιεί η ΕΥΔΑΠ και τη βασική τοπολογία του δικτύου. Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη και μέρος του εσωτερικού δικτύου κατάντη των διυλιστηρίων, στον βαθμό που αυτό επηρεάζει τη δυνατότητα κάλυψης της ζήτησης των αντίστοιχων περιοχών υδροδότησης.



Σχήμα 7.1: Σχηματική παράσταση του υφιστάμενου μοντέλου του υδροσυστήματος, όπως απεικονίζεται στο γραφικό περιβάλλον του Υδρονομέα.

7.3 Συνιστώσες μοντέλου υδροσυστήματος και δεδομένα εισόδου.

7.3.1 Ταμιευτήρες

Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας περιλαμβάνει επιφανειακούς, κυρίως, υδατικούς πόρους, οι οποίοι συλλέγονται σε τέσσερις ταμιευτήρες, εκ των οποίων οι τρεις τεχνητοί (Μόρνος, Εύηνος, Μαραθώνας), ενώ μόνο η Υλίκη είναι φυσική λίμνη. Τα δεδομένα εισόδου των ταμιευτήρων είναι οι στάθμες υδροληψίας και υπερχειλίσης, οι καμπύλες στάθμης-αποθέματος και στάθμης-επιφάνειας, οι σχέσεις στάθμης-διαφυγών (εφόσον υπάρχουν), οι χρονοσειρές εισροών λόγω απορροής και βροχόπτωσης και απωλειών λόγω εξάτμισης, και οι κανόνες λειτουργίας. Τα βασικά μεγέθη των τεσσάρων ταμιευτήρων του υδροδοτικού συστήματος δίνονται στον Πίνακα 7.1.

Πίνακας 7.1: Χαρακτηριστικά μεγέθη ταμιευτήρων υδροδοτικού συστήματος.

Όνομασία	Μόρνος	Εύηνος	Υλίκη	Μαραθώνας
Έκταση λεκάνης απορροής (km ²)	588.1	351.9	2466.6	118.0
Μέγιστη επιφάνεια (km ²)	19.93	3.60	27.74	2.57
Ολική χωρητικότητα (hm ³)	763.71	137.63	594.75	42.85
Ωφέλιμη χωρητικότητα (hm ³)	630.23	112.05	584.75	32.20
Στάθμη υπερχειλίσης (m)	435.0	505.0	79.8	224.0
Κατώτατη στάθμη υδροληψίας (m)	384.0	458.3	43.5	204.4
Υπόγειες διαφυγές	Μικρές	Αμελητέες	Σημαντικές	Αμελητέες

Ο ταμιευτήρας Μόρνου και κυρίως η λίμνη Υλίκη παρουσιάζουν σημαντικές υπόγειες διαφυγές, που εκτιμώνται μέσω αναλυτικών σχέσεων στάθμης-διαφυγών (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009). Ειδικότερα, για τον ταμιευτήρα Μόρνου εφαρμόζεται η σχέση:

$$L = 0.012 (z - 390) + 0.07 \quad (7.1)$$

όπου L οι μηνιαίες απώλειες νερού σε hm³ και z η μέση μηνιαία στάθμη του ταμιευτήρα () σε m.

Για την Υλίκη χρησιμοποιούνται διαφορετικές σχέσεις για την υγρή και την ξηρή περίοδο, που έχουν προκύψει με στατιστική ανάλυση των μηνιαίων δεδομένων στάθμης και διαφυγών. Για την περίοδο Μαΐου-Νοεμβρίου εφαρμόζεται η σχέση:

$$L = 0.500 z - 23.4 + N(0, 3.7) \quad (7.2)$$

όπου $N(\mu, \sigma)$ τυχαία μεταβλητή με μέση τιμή μ και διασπορά σ . Για την περίοδο Δεκεμβρίου-Απριλίου εφαρμόζεται η σχέση:

$$L = 0.500 z - 17.8 + N(0, 4.5) \quad (7.3)$$

Στο μοντέλο προσομοίωσης, εφαρμόζονται οι παραπάνω σχέσεις για την εκτίμηση των μηνιαίων διαφυγών, συναρτήσει της στάθμης του αντίστοιχου ταμιευτήρα.

Οι εισροές λόγω απορροής από την ανάντη υπολεκάνη και επιφανειακής βροχόπτωσης, καθώς και οι απώλειες λόγω επιφανειακής εξάτμισης, δίνονται με τη μορφή συνθετικών χρονοσειρών μεγάλου μήκους, η διαδικασία κατασκευής των οποίων εξηγείται στο υποκεφάλαιο 7.5.

7.3.2 Ομάδες γεωτρήσεων

Οι ομάδες γεωτρήσεων αντιμετωπίζονται ως εφεδρικοί πόροι, το απολήψιμο δυναμικό των οποίων ταντίζεται με την τρέχουσα αντλητική ικανότητα και θεωρείται, κατά προσέγγιση, σταθερό για όλους τους μήνες του έτους. Στο μοντέλο προσομοίωσης εισάγονται οι ακόλουθες ομάδες:

- Βασιλικών-Παρορίου, με δυναμικότητα 1.16 m³/s·
- Ούγγρων-ΝΔ Υλίκης, με δυναμικότητα 0.50 m³/s·
- Μαυροσουβάλας, με δυναμικότητα 1.20 m³/s·
- Αυλώνα (αντλιοστάσιο Νο 3), με δυναμικότητα 0.30 m³/s·
- 10ου σίφωνα (Βίλιζας), με δυναμικότητα 0.30 m³/s.

7.3.3 Κόμβοι δικτύου

Το δικτυακό μοντέλο του υδροσυστήματος περιλαμβάνει ένα πλήθος κόμβων, που αντιστοιχούν σε θέσεις ζήτησης νερού, αλλαγής της γεωμετρίας του δικτύου (π.χ. συμβολή αγωγών), καθώς και στις τέσσερις μονάδες επεξεργασίας νερού (ΜΕΝ) που βρίσκονται στις παρυφές της Αθήνας (Κιούρκα, Μενίδι, Γαλάτσι, Μάνδρα). Οι κόμβοι δεν έχουν κάποια χαρακτηριστική ιδιότητα.

7.3.4 Υδραγωγεία και αντλιοστάσια

Το χαρακτηριστικό μέγεθος των υδραγωγείων είναι η παροχευτικότητα, δηλαδή η μέγιστη ασφαλής παροχή που μπορεί να διέλθει από τη αντίστοιχη διαδρομή αγωγών με βάση τα γεωμετρικά-υδραυλικά τους χαρακτηριστικά και με βάση τα χαρακτηριστικά των αντλιοστασίων που λειτουργούν κατά μήκος αυτού, εφόσον πρόκειται για καταθλιπτικό αγωγό. Σε περιπτώσεις όπου τμήματα αγωγών προσομοιώνονται ως ενιαίος κλάδος, όπως το κανάλι του Μόρνου, η παροχευτικότητα ορίζεται ως η ελάχιστη των επιμέρους τμημάτων του. Οι περισσότεροι κλάδοι του δικτύου έχουν σταθερή τιμή παροχευτικότητας, με εξαίρεση ορισμένους καταθλιπτικούς αγωγούς καθώς και τις σήραγγες Ευήνου-Μόρνου και Μπογιατίου, η παροχευτικότητα των οποίων είναι συνάρτηση της στάθμης των ανάντη ταμιευτήρων Ευήνου και Μαραθώνα, αντίστοιχα. Οι παροχευτικότητες όλων των κλάδων του υφιστάμενου δικτύου απεικονίζονται στο Σχήμα 7.1.

Η φορά ροής στους κλάδους είναι μοναδική. Εξαιρέση αποτελούν το ενωτικό υδραγωγείο και το υδραγωγείο Διστόμου που διαθέτουν δυνατότητα αμφίδρομης ροής, και αναπαρίστανται με τη μορφή δύο παράλληλων κλάδων αντίθετης φοράς. Τονίζεται ότι στη σημερινή κατάσταση του συστήματος, η ανάστροφη λειτουργία του ενωτικού υδραγωγείου δεν είναι εφικτή.

Εφόσον η παροχευτικότητα ενός αγωγού μπορεί να αυξηθεί με χρήση αντλιοστασίων τύπου booster, τότε αυτό προσομοιώνεται από δύο παράλληλους κλάδους. Ο πρώτος κλάδος προσομοιώνει τη ροή που πραγματοποιείται με βαρύτητα, ενώ ο δεύτερος προσομοιώνει τη ροή που πραγματοποιείται με άντληση. Στο μοντέλο του υδροσυστήματος εμφανίζονται τρεις περιπτώσεις κλάδων αυτού του τύπου και συγκεκριμένα:

- στο τμήμα Κρεμμίδα-Βίλιζα, το οποίο μπορεί να παροχευτεί 3.2 m³/s με βαρύτητα και 4.3 m³/s με τη λειτουργία του ωθητικού αντλιοστασίου·
- στο τμήμα Βίλιζα-Φρέαρ Α μέσω του αγωγού Φ900, ο οποίος μπορεί να παροχευτεί 0.8 m³/s με βαρύτητα το οποίο προσαυξάνεται σε 1.7 m³/s με τη λειτουργία του αντλιοστασίου Νο 3·
- στο τμήμα Κλειδί-Φρέαρ Α (υδραγωγείο Κακοςάλεσι), το οποίο μπορεί να παροχευτεί 3.1 m³/s με βαρύτητα και άλλα 0.6 m³/s με τη λειτουργία του αντλιοστασίου Νο 4.

Σημειώνεται ότι το κόστος μεταφοράς του πρώτου κλάδου είναι μηδενικό (ροή με βαρύτητα), ενώ η τιμή της ειδικής ενέργειας του δεύτερου κλάδου προσαυξάνεται τεχνητά, ώστε να αναφέρεται στο σύνολο της παροχής που διέρχεται από το υδραγωγείο.

Στο μοντέλο θεωρούνται ακόμη δύο εικονικοί κλάδοι κατάντη της Υλίκης, εκ των οποίων ο πρώτος προσομοιώνει τη λειτουργία των πλωτών αντλιοστασίων για στάθμες χαμηλότερες από +64.0 m και ο δεύτερος τη λειτουργία του κύριου αντλιοστασίου της λίμνης (αντλιοστάσιο Μουρικίου). Επίσης, εικονικοί κλάδοι τοποθετούνται και ανάντη των διωλιστηρίων, με παροχευτικότητα ίση με τη μέση ημερήσια ικανότητα επεξεργασίας κάθε μονάδας.

Μια ακόμη ιδιαιτερότητα του δικτύου, η οποία προσομοιώνεται μέσω εικονικών κλάδων, αναφέρεται στη λειτουργία του κόμβου Χελιδονούς. Στον συγκεκριμένο κόμβο φτάνει αδιύλιστο νερό τόσο από τον Μαραθώνα, μέσω της σήραγγας Μπογιατίου, όσο και από τον Μόρνο, μέσω Μενιδίου, το οποίο διοχετεύεται στη μονάδα επεξεργασίας Γαλασίου. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα αμφίδρομης ροής από Χελιδονού προς Μενίδι μέσω νέου αντλιοστασίου, έτσι ώστε η μονάδα επεξεργασίας Μενιδίου να τροφοδοτείται και από τον Μαραθώνα. Οι διαδρομές από και προς τη Χελιδονού, που στην πραγματικότητα πραγματοποιούνται μέσω του ίδιου αγωγού, προσομοιώνονται από δύο κλάδους. Ο πρώτος, ο οποίος αναπαριστά τη μεταφορά αδιύλιστου νερού από τον Μόρνο με παροχευτικότητα 5.9 m³/s, ξεκινά ανάντη της ΜΕΝ Μενιδίου (κόμβος Μενίδι) και καταλήγει στον κόμβο Χελιδονού, ενώ ο δεύτερος, ο οποίος προσομοιώνει τη μεταφορά αδιύλιστου νερού από τον Μαραθώνα και έχει παροχευτικότητα αρχικά 2.0 m³/s και μελλοντικά 6.0 m³/s, ξεκινά από τη Χελιδονού και καταλήγει

στη ΜΕΝ Μενιδίου. Για τους δύο παραπάνω κλάδους ορίστηκε ειδικός μαθηματικός περιορισμός, ώστε να απαγορεύεται η ταυτόχρονη χρήση τους.

7.3.5 Ενεργειακά δεδομένα και κόστη άντλησης

Για τα 13 αντλιοστάσια και τις 6 ομάδες γεωτρήσεων του συστήματος, εφαρμόστηκαν οι τιμές ειδικής ενέργειας και τα οικονομικά δεδομένα (πάγιο κόστος ενεργοποίησης και μοναδιαίο κόστος άντλησης) του Πίνακα 7.3. Όσον αφορά στα αντλιοστάσια Ασωπού, Βίλιζας (αγωγοί Φ1300 και Φ900), Υλίκης (κεντρική μονάδα και πλωτά), Νο 3 και Νο 4, καθώς και τις γεωτρήσεις Μαυροσουβάλας, οι τιμές των παραπάνω μεγεθών εκτιμήθηκαν με βάση τη στατιστική ανάλυση των μηνιαίων δεδομένων των ετών 2008-2010, που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 6.

Για τα υπόλοιπα αντλιοστάσια και γεωτρήσεις, για τα οποία είτε δεν βρέθηκαν στοιχεία είτε δεν πραγματοποιήθηκαν αντλήσεις κατά την περίοδο 2008-2010, υιοθετήθηκαν οι τιμές ειδικής ενέργειας που εφαρμόστηκαν σε πρόσφατα διαχειριστικά σενάρια της ΕΥΔΑΠ (Νασίκας, 2003· Ευστρατιάδης κ.ά., 2009). Ομοίως εκτιμήθηκε το μοναδιαίο κόστος άντλησης, ενώ το πάγιο κόστος ενεργοποίησης ελήφθη μηδενικό. Για τις γεωτρήσεις για τις οποίες δεν βρέθηκαν στοιχεία κόστους άντλησης, τέθηκε μια εύλογη τιμή 0.05 €/m³.

Πίνακας 7.2: Ενεργειακά και οικονομικά δεδομένα αντλιοστασίων και γεωτρήσεων.

Αντλιοστάσιο ή ομάδα γεωτρήσεων	Ειδική ενέργεια (kWh/m ³)	Πάγιο κόστος άντλησης (€)	Μοναδιαίο κόστος άντλησης (€/m ³)
Ασωπού	0.529	11400	0.030
Βίλιζας (Φ1300)	0.303	27410	0.015
Νο 3-Φρέαρ Α (αντ)	1.084	4025	0.065
Νο 4-Φρέαρ Α (αντ)	0.005	6090	0.003
Booster Βίλιζας	0.060	-	0.050
Βίλιζας (Φ900)	0.303	27410	0.015
Φ900 (αντ)	2.100	-	0.050
Υλίκης κεντρικό	0.450	5370	0.029
Υλίκης πλωτά	0.544	16190	0.034
ΑΔ1-ΑΔ2-ΑΔ3	1.400	20000	0.010
Κιούρκα-Διυλιστήρια	0.110	-	0.010
Κιούρκα-Μενίδι	0.570	-	0.010
Χελιδονού-Μενίδι (αντ)	0.350	-	0.010
Γεωτρήσεις Ούγγρων-ΝΔ Υλίκης	0.520	-	0.050
Γεωτρήσεις Βασιλικών-Παρορίου	0.230	-	0.050
Γεωτρήσεις Αυλώνα	1.300	-	0.050
Γεωτρήσεις Μαυροσουβάλας	1.033	16730	0.062
Γεωτρήσεις 10ου σίφωνα	1.050	-	0.050

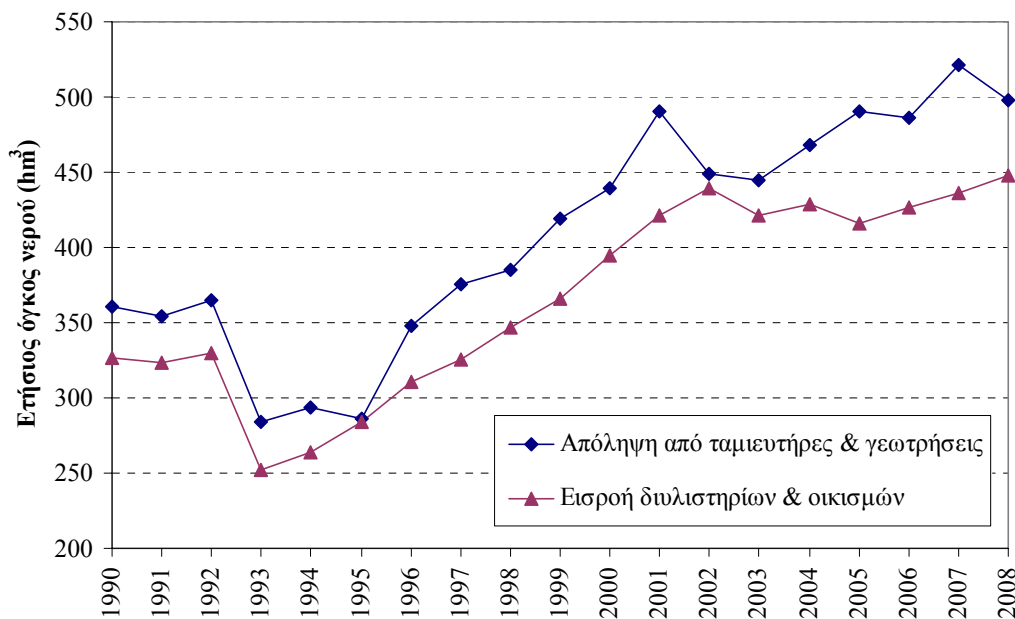
7.3.6 Απώλειες νερού στα εξωτερικά υδραγωγεία

Τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται σημαντικές διαφορές μεταξύ της συνολικής απόληψης νερού από τους υδατικούς πόρους και των καταναλισκόμενων ποσοτήτων νερού (κατά μείζονα λόγο για την ύδρευση της Αθήνας), που ορίζονται ως απώλειες νερού στα εξωτερικά υδραγωγεία (Σχήμα 7.2). Στην πράξη, οι εν λόγω απώλειες περιλαμβάνουν διαρροές, υπερχειλίσσεις, παράνομες απολήψεις και σφάλματα μετρήσεων παροχής στη διαδρομή από τις πηγές μέχρι τα διυλιστήρια. Το έτος 2007, το ύψος των απωλειών ανήλθε στα 84.6 hm³, ενώ το 2008 μειώθηκε στα 50.0 hm³. Γενικά, τα τελευταία 15 χρόνια, το ποσοστό των απωλειών από τις πηγές έως τα διυλιστήρια και τους λοιπούς καταναλωτές κυμαίνεται στα επίπεδα του 10-13%, ενώ το 2005 και το 2007 ξεπέρασε το 15%.

Η προσομοίωση των διαρροών στο μαθηματικό μοντέλο του υδροσυστήματος έγινε με τη θεώρηση σταθερού ποσοστού απωλειών κατά μήκος συγκεκριμένων κλάδων του δικτύου. Ειδικότερα :

- κατά μήκος του υδραγωγείου Μόρνου θεωρείται συντελεστής διαρροών 9.0% στο τμήμα από το Δίστομο μέχρι τον Μεριστή Κιθαιρώνα, το οποίο περιλαμβάνει τη Διώρυγα Θηβών, και 6.0% στη Σήραγγα Κιθαιρώνα.
- κατά μήκος του υδραγωγείου Υλίκης θεωρείται συντελεστής διαρροών 5.0% στο τμήμα Μουρίκι-Κρεμμάδα και 5.0% στη Σήραγγα Κιούρκων.

Η επιλογή των υδραγωγείων που παρουσιάζουν διαρροές έγινε με βάση παλαιότερη μελέτη των Γαβριηλίδη κ.ά. (1995), ενώ οι συντελεστές εκτιμήθηκαν με τρόπο ώστε οι απώλειες που υπολογίζονται στην προσομοίωση, να ανέρχονται σε ποσοστό 13%, ήτοι στα μέσα επίπεδα της περιόδου 2005-2008.



Σχήμα 7.2: Συγκριτικό διάγραμμα ετήσιων απολήψεων από τους υδατικούς πόρους και όγκου νερού που εισέρχεται στα διυλιστήρια και τους οικισμούς.

7.4 Χρήσεις νερού και περιορισμοί

7.4.1 Γενικά χαρακτηριστικά στόχων υδροδοτικού συστήματος

Οι χρήσεις νερού για ύδρευση και άρδευση που εξυπηρετεί το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, σε συνδυασμό με διάφορους περιορισμούς ελέγχου των αποθεμάτων των ταμιευτήρων και των παροχών των υδραγωγείων (με τη μορφή ελάχιστων ή/και μέγιστων επιθυμητών ορίων), αποτελούν τους στόχους του διαχειριστικού προβλήματος. Οι στόχοι αυτοί ορίζονται σε επίπεδα προτεραιότητας, ώστε σε περίπτωση ανεπαρκών αποθεμάτων το μοντέλο να ικανοποιεί μόνο τις χρήσεις νερού ή περιορισμούς υψηλής προτεραιότητας. Οι τιμές των στόχων μπορούν να μεταβάλλονται τόσο εποχιακά (από μήνα σε μήνα) όσο και διαχρονικά (από έτος σε έτος).

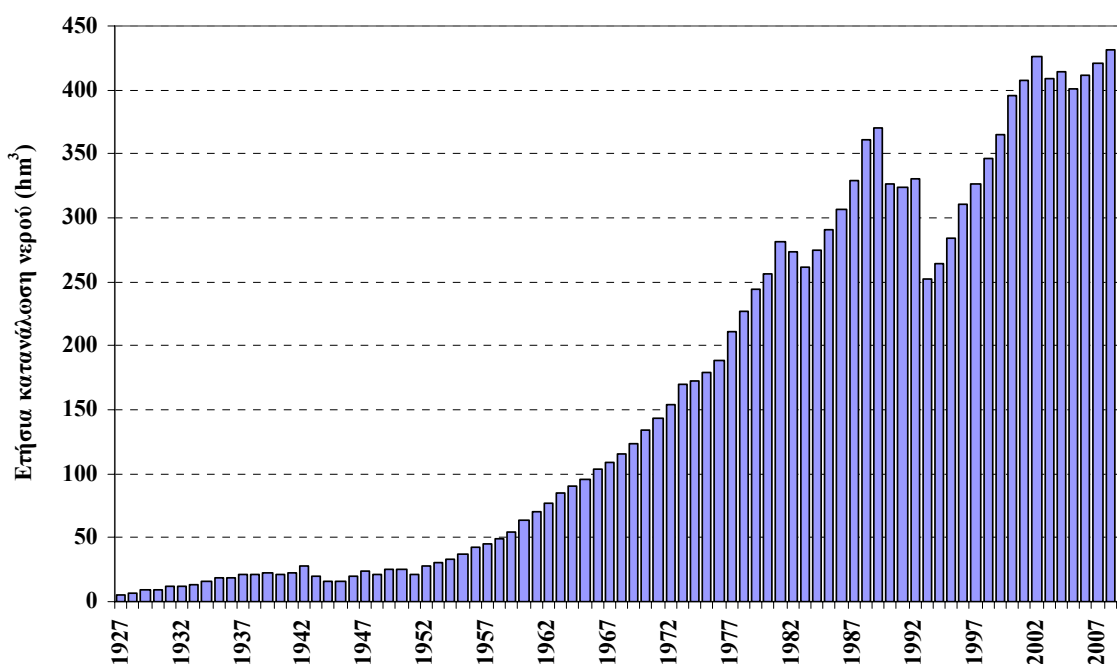
Στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας ορίζονται 16 συνολικά στόχοι, με τα επίπεδα προτεραιότητας που φαίνονται στον Πίνακα 7.4. Οι εν λόγω στόχοι αναλύονται στα εδάφια που ακολουθούν.

Πίνακας 7.3: Χρήσεις νερού και περιορισμοί υδροσυστήματος.

α/α	Τύπος στόχου	Συνιστώσα υδροδοτικού συστήματος	Επίπεδο προτεραιότητας
1	Ύδρευση	Κόμβος υδροδότησης περιοχής ΜΕΝ Μενιδίου	1
2	Ύδρευση	Κόμβος υδροδότησης περιοχής ΜΕΝ Κιούρκων	1
3	Ύδρευση	Κόμβος υδροδότησης περιοχής ΜΕΝ Γαλατσίου	1
4	Ύδρευση	Κόμβος υδροδότησης περιοχής ΜΕΝ Μάνδρας	1
5	Αποφυγή υπερχείλισης	Ταμιευτήρας Μαραθώνα	1
6	Ύδρευση	Οικισμοί υδραγωγείου Υλίκης	2
7	Ύδρευση	Οικισμοί υδρ. Μόρνου	2
8	Μέγιστο απόθεμα	Ταμιευτήρας Μαραθώνα	2
9	Ελάχιστο απόθεμα	Ταμιευτήρας Μαραθώνα	2
10	Περιβαλλοντική παροχή	Ταμιευτήρας Ευήνου	2
11	Μέγιστο απόθεμα	Ταμιευτήρας Μόρνου	3
12	Μέγιστο απόθεμα	Ταμιευτήρας Ευήνου	3
13	Ελάχιστο απόθεμα	Ταμιευτήρας Ευήνου	3
14	Μέγιστη παροχή	Υδραγωγείο Διστόμου	3
15	Άρδευση	Ταμιευτήρας Υλίκης (άντληση για Κωπαίδα)	4
16	Άρδευση	Περιοχή Μαυρονερίου (μέσω Διστόμου)	4

7.4.2 Ύδρευση Αθηνών

Η κύρια χρήση νερού είναι η ύδρευση της μείζονος περιοχής Αθηνών, η οποία τίθεται στο ανώτερο επίπεδο προτεραιότητας. Στο Σχήμα 7.3 παρουσιάζεται η χρονοσειρά της ετήσιας κατανάλωσης νερού στην Αθήνα από το 1927 (λίγο πριν την έναρξη λειτουργίας του φράγματος Μαραθώνα) ως το 2009. Η κατανάλωση νερού αυξήθηκε ραγδαία στο διάστημα 1992-2002, ενώ το έτος 2008 καταγράφηκε η υψηλότερη τιμή διαχρονικά, ήτοι 431.4 hm³. Το 2009 η ετήσια κατανάλωση μειώθηκε στα επίπεδα των 414.9 hm³, ενώ τη φετινή χρονιά (2010) αναμένεται να είναι οριακά πιο υψηλή.



Σχήμα 7.3: Εξέλιξη της ετήσιας κατανάλωσης νερού (είσοδος διυλιστηρίων).

Στο μοντέλο προσομοίωσης, η συνολική υδρευτική ζήτηση επιμερίζεται σε τέσσερις ζώνες (Μενιδίου, Γαλασίου, Κιούρκων, Μάνδρας), οι οποίες αναφέρονται σε περιοχές κατάντη των αντίστοιχων μονάδων επεξεργασίας (ΜΕΝ). Το μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης καλύπτεται από τη γειτονικότερη ΜΕΝ, ενώ γενικά υπάρχει η δυνατότητα εξυπηρέτησης και από πιο απομακρυσμένες ΜΕΝ, μέσω συνδέσεων του εσωτερικού δικτύου. Ωστόσο, η χωροχρονική κατανομή της συνολικής ζήτησης στις επιμέρους περιοχές θεωρείται ότι ταυτίζεται με την αντίστοιχη κατανομή στα διωλιστήρια, αφού δεν υπάρχει αντικειμενικός τρόπος ακριβούς προσδιορισμού της.

Στις αναλύσεις που ακολουθούν, εξετάζονται διάφορα σενάρια λειτουργίας του υδροσυστήματος, για διαφορετικές τιμές συνολικής ετήσιας ζήτησης. Η χωρική και χρονική κατανομή της εν λόγω ζήτησης δίνεται στον Πίνακα 7.4, και προκύπτει με βάση τα δεδομένα μηνιαίων εισροών των διωλιστηρίων του έτους 2008 (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009).

Πίνακας 7.4: Συντελεστές χωρικής κατανομής της κατανάλωσης στην Αθήνα ανά διωλιστήριο (%), με βάση τα στοιχεία του έτους 2008.

Μήνας	Γαλάτσι	Μενίδι	Κιούρκα	Ασπρόπυργος
Ιανουάριος	33.4	46.2	8.4	12.0
Φεβρουάριος	33.4	45.2	9.3	12.0
Μάρτιος	32.5	47.0	8.7	11.8
Απρίλιος	32.1	47.0	9.1	11.8
Μάιος	30.3	47.1	11.2	11.4
Ιούνιος	29.9	45.1	13.2	11.8
Ιούλιος	27.1	46.9	13.5	12.4
Αύγουστος	26.2	45.7	13.7	14.4
Σεπτέμβριος	27.7	46.8	11.3	14.2
Οκτώβριος	28.3	47.5	9.5	14.7
Νοέμβριος	33.2	41.4	10.6	14.8
Δεκέμβριος	34.9	43.8	7.8	13.5

7.4.3 Αποφυγή υπερχειλίσσης ταμιευτήρα Μαραθώνα

Η ελαχιστοποίηση της πιθανότητας υπερχειλίσσης του Μαραθώνα αποτελεί ειδικού τύπου στόχο στο μοντέλο του υδροσυστήματος, ο οποίος τίθεται σε πρώτο επίπεδο προτεραιότητας, δεδομένου ότι σε μια τέτοια περίπτωση αναμένεται να προκληθούν πολύ σημαντικές ζημιές κατάντη του φράγματος.

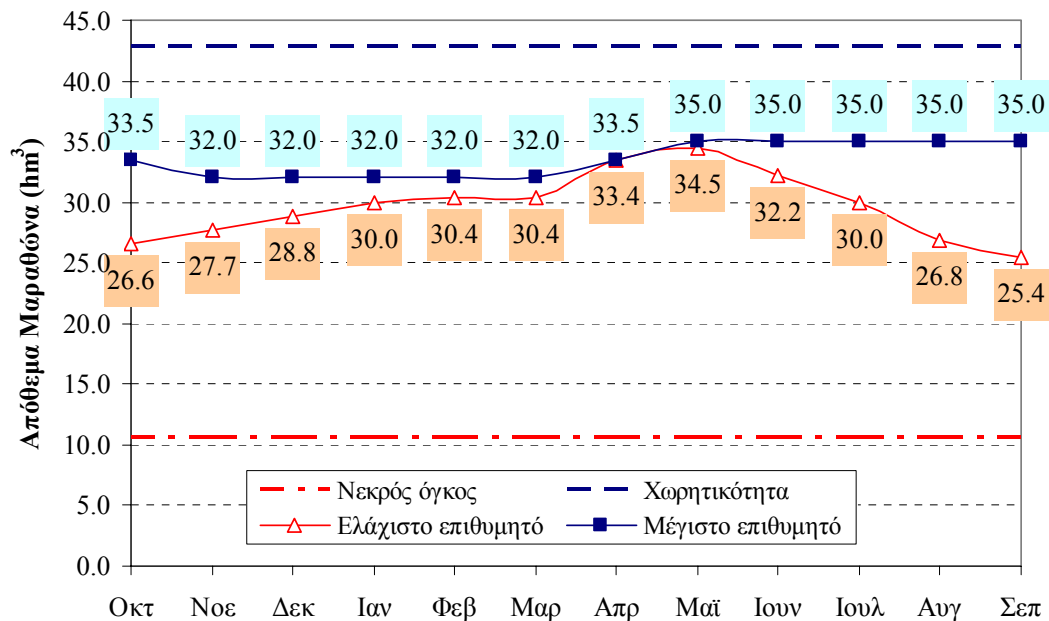
7.4.4 Επιθυμητά όρια διακύμανσης αποθέματος Μαραθώνα

Στον ταμιευτήρα Μαραθώνα, με ολική χωρητικότητα 42.9 hm^3 , διατηρείται ένα ελάχιστο απόθεμα ασφαλείας αφενός για την κάλυψη της αυξημένης θερινής ζήτησης και αφετέρου για την αντιμετώπιση έκτακτων περιστατικών (υπενθυμίζεται ότι ο Μαραθώνας αποτελεί τη μοναδική πηγή νερού κοντά στην Αθήνα). Το ελάχιστο αυτό επιθυμητό απόθεμα ορίζεται ίσο με 34.5 hm^3 κατά το μήνα Μάιο, που αντιστοιχεί στην έναρξη της θερινής περιόδου, και εν συνεχεία μειώνεται μέχρι τα 26.6 hm^3 τον μήνα Οκτώβριο.

Από την άλλη πλευρά, η ανάγκη αποφυγής υπερχειλίσσης του ταμιευτήρα, επιβάλλει τη διατήρηση του αποθέματός του κάτω από ένα ανώτατο όριο, το οποίο ορίζεται ίσο με 32.0 hm^3 κατά τη χειμερινή περίοδο, ενώ ανέρχεται στα 35.0 hm^3 κατά τη θερινή περίοδο. Κατά συνέπεια, διατηρείται ένα

περιθώριο ασφαλείας που κυμαίνεται από 7.9 έως 12.9 hm³ για την αποθήκευση των πλημμυρικών απορροών στον ταμιευτήρα.

Στο Σχήμα 7.3 απεικονίζεται η διακύμανση των επιθυμητών ορίων αποθέματος του Μαραθώνα, όπως έχουν καθοριστεί στα πλαίσια των Διαχειριστικών Σχεδίων της ΕΥΔΑΠ (Κουτσογιάννης κ.ά., 2002). Μέσω των ορίων αυτών καθορίζεται πλήρως η διαχείριση του ταμιευτήρα, και για το λόγο αυτό δεν είναι απαραίτητη η χρήση πιο σύνθετων κανόνων λειτουργίας, αντίστοιχων με αυτούς των άλλων ταμιευτήρων.



Σχήμα 7.3: Μηνιαία διακύμανση επιθυμητού αποθέματος ταμιευτήρα Μαραθώνα. Με διακεκομμένες απεικονίζονται ο νεκρός όγκος και το μέγιστο απόθεμα του ταμιευτήρα.

7.4.5 Περιβαλλοντική παροχή Ευήνου

Για την άμβλυνση των επιπτώσεων από τη λειτουργία του ταμιευτήρα Ευήνου, προβλέπεται η διατήρηση μόνιμης παραμένουσας ροής κατάντη του φράγματος Αγίου Δημητρίου ίσης με 1.0 m³/s. Ο περιορισμός αυτός ορίζεται στο μοντέλο ως στόχος σταθερής μηνιαίας απόληξης από τον ταμιευτήρα. Ο στόχος αυτός τίθεται σε χαμηλότερη προτεραιότητα σε σχέση με την ύδρευση της Αθήνας, ώστε να εξασφαλιστεί ότι, σε περίπτωση μειωμένων αποθεμάτων, να προτιμηθεί η παραβίαση του συγκεκριμένου περιβαλλοντικού περιορισμού παρά να προκύψει έλλειμμα στην υδρευτική ζήτηση.

7.4.6 Επιθυμητά όρια διακύμανσης αποθέματος Μόρνου και Ευήνου

Για τον περιορισμό της πιθανότητας υπερχειλίσης των ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου, τίθενται ανώτατα όρια διακύμανσης του αποθέματός τους, 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.

Ακόμη, στον ταμιευτήρα Μόρνου εισάγεται περιορισμός και ως προς το επιθυμητό ελάχιστο απόθεμα, το οποίο τίθεται ίσο με 290 hm³ (ωφέλιμο 150 hm³) κατά την περίοδο Μαΐου-Σεπτεμβρίου και 330 hm³ (ωφέλιμο 190 hm³) κατά την περίοδο Οκτωβρίου-Απριλίου, ποσότητες οι οποίες επαρκούν για την κάλυψη της ζήτησης για περίοδο έως 5 μηνών και 6.5 μηνών αντίστοιχα, σε περίπτωση εξαιρετικά δυσμενών (μηδενικών απορροών) υδρολογικών συνθηκών.

Τονίζεται ότι στο μαθηματικό μοντέλο του υδροσυστήματος, οι περιορισμοί μεγίστου και ελαχίστου αποθέματος ικανοποιούνται σε συνδυασμό με τους κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων. Συνεπώς, οι κανόνες προσαρμόζονται ώστε να τηρούνται, εφόσον είναι εφικτό, τα επιθυμητά όρια αποθέματος.

7.4.7 Λοιπές υδρευτικές χρήσεις

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. Για το σκοπό αυτό, στο μοντέλο, εισάγεται ένας συγκεντρωτικός κόμβος ζήτησης στο Μεριστή Κιθαιρώνα. Η ετήσια ζήτηση νερού στους οικισμούς ανέρχεται σε 6.26 hm³ και ακολουθεί την κατανομή του Πίνακα 8.3, η οποία βασίζεται στα στοιχεία του έτους 2008.

Υδρευτικές απολήψεις πραγματοποιούνται και κατά μήκος του υδραγωγείου Υλίκης, κυρίως στο τμήμα μεταξύ Κρεμμάδας και Βίλιζας. Το έτος 2008, οι εν λόγω απολήψεις ανήλθαν σε 4.03 hm³, και αφορούν στην ύδρευση παρακείμενων στο υδραγωγείο Υλίκης οικισμών, καθώς και στρατοπέδων και βιομηχανικών μονάδων. Στο μοντέλο ορίζεται ως συγκεντρωτικός κόμβος υδρευτικών απολήψεων το αντλιοστάσιο Νο 3, όπου εφαρμόζονται οι μηνιαίες τιμές ζήτησης του Πίνακα 7.5.

Πίνακας 7.5: Μηνιαία ζήτηση νερού στους οικισμούς που υδρεύονται από τα υδραγωγεία Μόρνου και Υλίκης (hm³).

Μήνας	Υδρ. Μόρνου	Υδρ. Υλίκης	Μήνας	Υδρ. Μόρνου	Υδρ. Υλίκης
Ιανουάριος	0.43	0.24	Ιούλιος	0.71	0.42
Φεβρουάριος	0.40	0.23	Αύγουστος	0.76	0.38
Μάρτιος	0.46	0.25	Σεπτέμβριος	0.63	0.44
Απρίλιος	0.45	0.34	Οκτώβριος	0.45	0.31
Μάιος	0.52	0.35	Νοέμβριος	0.43	0.38
Ιούνιος	0.57	0.39	Δεκέμβριος	0.45	0.31

7.4.8 Άρδευση Κωπαΐδας από Υλίκη

Στο μοντέλο εισάγεται, ως στόχος χαμηλής προτεραιότητας, η αρδευτική απόληψη από την Υλίκη, η οποία πλέον πραγματοποιείται σχεδόν αποκλειστικά κατά την περίοδο Ιουνίου-Αυγούστου. Με βάση τα πλέον πρόσφατα ιστορικά δεδομένα, η εν λόγω ζήτηση κυμαίνεται στα επίπεδα των 23.0 hm³, είναι δηλαδή αρκετά χαμηλότερη σε σχέση με το θεσμοθετημένο, εδώ και αρκετές δεκαετίες, όριο των 50 hm³/έτος. Η κατανομή που εισάγεται στο μοντέλο είναι 7.0 hm³ το μήνα Ιούνιο και 8.0 hm³ τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο.

7.4.9 Άρδευση Κωπαΐδας από υδραγωγείο Μόρνου

Στο μοντέλο λαμβάνεται υπόψη και η απόληψη από το υδραγωγείο Μόρνου για αρδευτική χρήση στη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού, που επίσης τίθεται ως στόχος χαμηλής προτεραιότητας. Η παραπάνω απόληψη, η οποία επιτυγχάνεται με αντίστροφη λειτουργία του υδραγωγείου Διστόμου, γίνεται κατά τη διάρκεια των μηνών Ιουνίου, Ιουλίου και Αυγούστου, με απόληψη 1.0 hm³ το μήνα Ιούνιο και 3.0 hm³ τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Επισημαίνεται ότι το κόστος λειτουργίας των αντλιοστασίων κατά μήκος του υδραγωγείου Διστόμου (Δ1, Δ2, Δ3), το οποίο είναι πολύ υψηλό, δεν λαμβάνεται υπόψη στην οικονομική αποτίμηση του συστήματος, δεδομένου ότι το επιβαρύνεται ο Οργανισμός Κωπαΐδας.

7.5 Υδρολογικά σενάρια

Η εγγενής αβεβαιότητα που αφορά στην εξέλιξη των υδρολογικών εισροών αντιμετωπίζεται με διατύπωση του διαχειριστικού μοντέλου ως πρόβλημα στοχαστικής προσομοίωσης, στο οποίο όλες οι δυναμικές συνιστώσες του υδροσυστήματος (εισροές, αποθέματα, εκροές, παροχές, αντλήσεις, κτλ.) θεωρούνται τυχαίες μεταβλητές. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την ερμηνεία των αποτελεσμάτων του μοντέλου με πιθανοτικούς όρους, και συνακόλουθα την εκτίμηση του ρίσκου (πιθανότητα αστοχίας) ή, ισοδύναμα, της αξιοπιστίας μιας συγκεκριμένης διαχειριστικής πολιτικής.

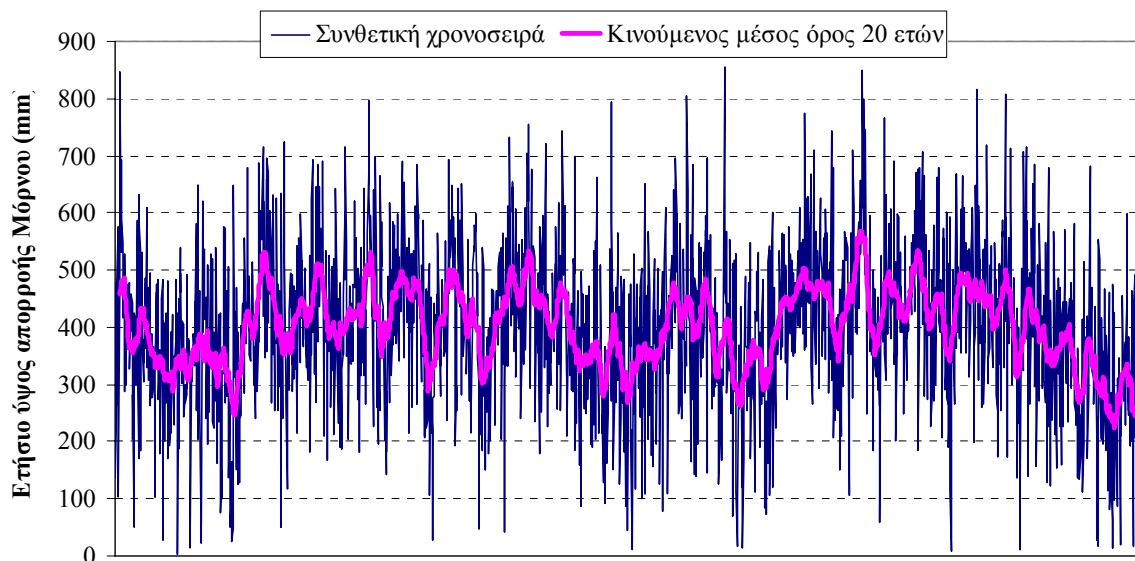
Για την υλοποίηση της στοχαστικής προσομοίωσης απαιτείται ο έλεγχος της απόκρισης του συστήματος για ένα πολύ μεγάλο πλήθος φορτίσεων, που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι οι υδρολογικές εισροές και απώλειες των ταμιευτήρων. Όλες οι υπόλοιπες εισοδοί του συστήματος, μεταξύ των οποίων η ετήσια ζήτηση, θεωρούνται σταθερές διαχρονικά, ενώ όσον αφορά τους υπόγειους υδατικούς πόρους, γίνεται η απλοποιητική υπόθεση ότι το δυναμικό των υδροφορέων που υδρομαστεύουν οι γεωτρήσεις επαρκεί, ακόμα και σε συνθήκες εντατικής άντλησης, και συνεπώς η αντλητική ικανότητα των γεωτρήσεων είναι πλήρως εγγυημένη.

Επειδή το ιστορικό δείγμα των υδρολογικών εισροών είναι ανεπαρκές για την εκτίμηση ακραίων πιθανοτικών μεγεθών της τάξης του 1-5%, χρησιμοποιούνται στατιστικά ισοδύναμες συνθετικές χρονοσειρές μήκους 2000 ετών. Οι χρονοσειρές παρήχθησαν με το λογισμικό Κασταλία, που αποτελεί συνιστώσα του ΣΥΑ που αναπτύχθηκε από το ΕΜΠ (Ευστρατιάδης και Κουτσογιάννης, 2004). Το πρόγραμμα δέχεται ως είσοδο μηνιαίες ιστορικές χρονοσειρές και γεννά αντίστοιχες συνθετικές, που αναπαράγουν τα στατιστικά χαρακτηριστικά των παρατηρήσεων καθώς και τη στατιστική εξάρτηση των μεταβλητών στο χώρο και το χρόνο. Το σχετικό μεθοδολογικό πλαίσιο βασίζεται σε πρωτότυπη ερευνητική εργασία του ΕΜΠ (Koutsoyiannis and Manetas, 1996· Koutsoyiannis, 1999· Koutsoyiannis, 2000, 2001, 2002).

Για τη συγκεκριμένη μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν τα ιστορικά δείγματα απορροής, βροχόπτωσης και εξάτμισης των τεσσάρων ταμιευτήρων, τα οποία επικαιροποιήθηκαν μέχρι και το υδρολογικό έτος 2007-08. Τα εν λόγω δείγματα εκτιμήθηκαν ως εξής:

- η απορροή της υπολεκάνης του Ευήνου, μέχρι το 2000, εκτιμήθηκε με αναγωγή του δείγματος απορροών στη θέση Πόρος Ρηγανίου και, έκτοτε, με βάση το υδατικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα·
- η απορροή της υπολεκάνης του Μόρνου εκτιμήθηκε με βάση το υδατικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα·
- η απορροή της Υλίκης υπολογίστηκε με χρονική ολοκλήρωση της παρατηρημένης ημερήσιας χρονοσειράς παροχής στη Διώρυγα Καρδίτσας (όπου συγκεντρώνεται η απορροή της λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού), προσαυξημένης κατά 6% ώστε να λαμβάνεται υπόψη η συνεισφορά της τοπικής λεκάνης της λίμνης·
- η απορροή της υπολεκάνης του Μαραθώνα εκτιμήθηκε με βάση το υδατικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα για την περίοδο 1933-1957, και έκτοτε υπολογίστηκε με βάση ένα εννοιολογικό υδρολογικό μοντέλο, συναρτήσει της βροχόπτωσης και της δυναμικής εξατμοδιαπνοής·
- η βροχόπτωση στους ταμιευτήρες Μόρνου, Ευήνου, Υλίκης και Μαραθώνα εκτιμήθηκε με βάση τα δείγματα παρακείμενων βροχομετρικών σταθμών·
- η εξάτμιση από την επιφάνεια των ταμιευτήρων εκτιμήθηκε με τη μέθοδο Penman, συναρτήσει διαφόρων μετεωρολογικών δεδομένων (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ηλιοφάνεια, ταχύτητα ανέμου) που συλλέχθηκαν από τους εγγύτερους μετεωρολογικούς σταθμούς.

Στο Σχήμα 7.4 απεικονίζεται η συνθετική χρονοσειρά της ετήσιας απορροής της υπολεκάνης Μόρνου και οι κινούμενοι μέσοι όροι 20 ετών. Στο διάγραμμα είναι εμφανής η αναπαραγωγή του φαινομένου της εμμονής ή δυναμικής Hurst-Kolmogorov (Koutsoyiannis, 2003, 2005, 2010), που χαρακτηρίζει όλες τις υδροκλιματικές διεργασίες και συνεπάγεται έντονη μεταβλητότητα σε πολλαπλές χρονικές κλίμακες, με ομαδοποίηση των περιόδων υψηλής και χαμηλής υδροφορίας (έμμονες ξηρασίες).



Σχήμα 7.4: Συνθετική χρονοσειρά ετήσιας απορροής υπολεκάνης ανάντη φράγματος Μόρνου, μήκους 2000 ετών, και κινούμενοι μέσοι όροι 20 ετών.

7.6 Κανόνες λειτουργίας

Στο μοντέλο προσομοίωσης, οι κανόνες λειτουργίας ορίζουν μια συστηματική πολιτική διαχείρισης των υδατικών πόρων, επιφανειακών και υπόγειων. Οι κανόνες αυτοί εκφράζονται μαθηματικά μέσω δύο παραμέτρων ανά ταμιευτήρα ή ομάδα γεωτρήσεων, οι οποίες αποτελούν τις μεταβλητές ελέγχου του συστήματος.

7.6.1 Κανόνες λειτουργίας ταμιευτήρων

Οι κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων καθορίζουν την επιθυμητή κατανομή των αποθεμάτων (και συνακόλουθα των απολήψεων), συναρτήσει του συνολικού διαθέσιμου αποθέματος του συστήματος (Nalbantis and Koutsoyiannis, 1997· Koutsoyiannis and Economou, 2000). Οι κανόνες διατυπώνονται συναρτήσει μίας ή δύο παραμέτρων ανά ταμιευτήρα, σύμφωνα με μια μη γραμμική συνάρτηση της μορφής:

$$s_i^* = g(a_i, b_i, k_i, s_i^{\min}, s_i^{\max}, v) \quad (7.1)$$

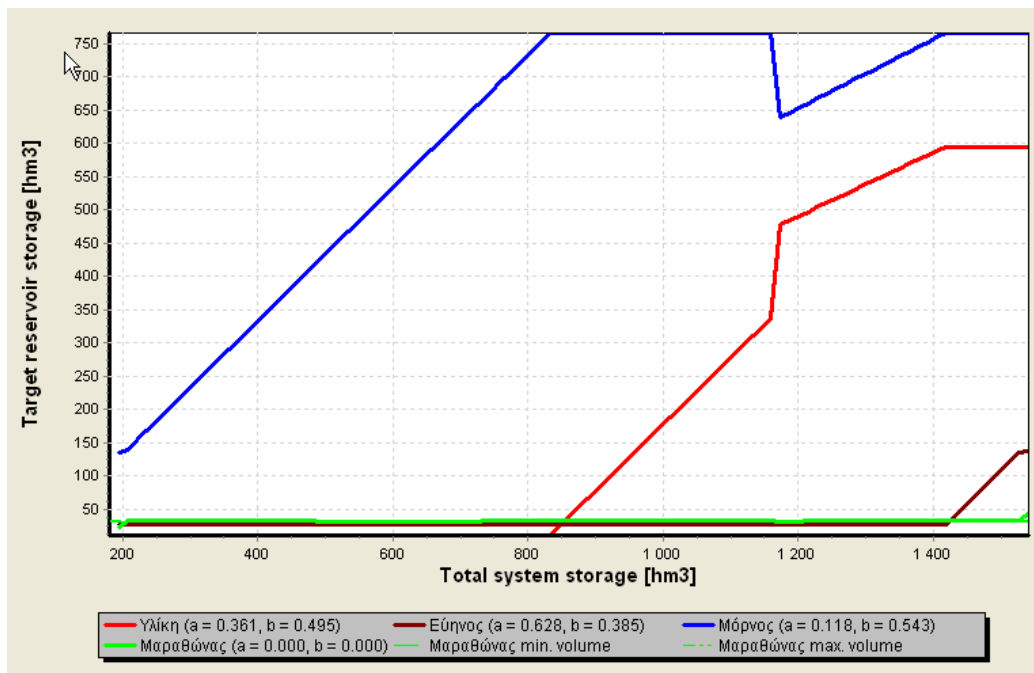
όπου s_i^* το επιθυμητό απόθεμα του ταμιευτήρα i , k_i η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα, s_i^{\min} και s_i^{\max} οι περιορισμοί ελάχιστου και μέγιστου επιθυμητού αποθέματος (εφόσον έχουν οριστεί τέτοιοι), v η πρόγνωση του συνολικού αποθέματος, και a_i, b_i αδιάστατες παράμετροι.

Η παραπάνω παραμετροποίηση είναι φειδωλή, με αποτέλεσμα το πλήθος των βαθμών ελευθερίας του προβλήματος να διατηρείται όσο το δυνατό πιο μικρό, ώστε να μην επιβαρύνεται η διαδικασία βελτιστοποίησης (στα μη γραμμικά προβλήματα βελτιστοποίησης, ο υπολογιστικός φόρτος αυξάνει εκθετικά με το πλήθος των μεταβλητών ελέγχου). Στο συγκεκριμένο σύστημα, επειδή ο ρυθμιστικός όγκος του ταμιευτήρα Μαραθώνα είναι περιορισμένος, ορίζονται κανόνες λειτουργίας μόνο για τους ταμιευτήρες Ευήνου, Μόρνου και Υλίκης. Συνεπώς, το πλήθος των παραμέτρων είναι $3 \times 2 = 6$.

Επισημαίνεται ότι οι κανόνες ορίζουν επιθυμητά μεγέθη (αποθέματα, απολήψεις) τα οποία μπορεί να αποκλίνουν από τα πραγματικά, εξαιτίας φυσικών και λειτουργικών περιορισμών του συστήματος (π.χ. ελλιπής παροχτευτικότητα κατάντη δικτύου, ιεραρχία χρήσεων νερού, κτλ.). Για το χειρισμό του προβλήματος κατανομής των ροών του υδροσυστήματος σε κάθε χρονικό βήμα, εφαρμόζεται ένα

σχήμα γραμμικής βελτιστοποίησης, που εξασφαλίζει αυστηρή τήρηση των φυσικών περιορισμών του συστήματος, τήρηση των στόχων με βάση τη ζητούμενη σειρά προτεραιότητας, κατά το δυνατό μικρότερη απόκλιση από τα επιθυμητά μεγέθη που ορίζουν οι κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων και γεωτρήσεων, και ελαχιστοποίηση των αντλήσεων κατά μήκος των αγωγών μεταφοράς (Efstratiadis *et al.*, 2004).

Εφόσον οι χρήσεις νερού και τα λοιπά χαρακτηριστικά του υδροδοτικού συστήματος διατηρούνται αμετάβλητα (μεταξύ των οποίων και τα στατιστικά μεγέθη των εισροών), οι βελτιστοποιημένοι κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων εφαρμόζονται σε στρατηγικό (μακροπρόθεσμο) επίπεδο για την υλοποίηση της ζητούμενης πολιτικής διαχείρισης, και δεν απαιτούν αναθεώρηση. Στο υδροσύστημα της Αθήνας, κύριο ερώτημα στη διαχείριση των υδατικών πόρων αποτελεί η ενεργοποίηση ή όχι της Υλίκης. Αν η έμφαση δίνεται στη μεγιστοποίηση της αξιοπιστίας του συστήματος, επιβάλλεται η αξιοποίηση της Υλίκης κατά προτεραιότητα, ώστε να περιορίζονται οι απώλειες λόγω διαφυγών. Από την άλλη πλευρά, εφόσον η έμφαση δοθεί στην οικονομικότητα, μεγιστοποιούνται οι εκροές από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου, ενώ η Υλίκη διατηρείται όσο το δυνατό πιο γεμάτη, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι αντλήσεις του συστήματος. Οι αντίρροπες αυτές πολιτικές αποτυπώνονται στους κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων κανόνων φαίνεται στο γράφημα του Σχήματος 7.5.



Σχήμα 7.5: Παράδειγμα κανόνων λειτουργίας ταμιευτήρων Αθήνας, στο οποίο ευνοείται η χρήση της Υλίκης προς όφελος της μεγιστοποίησης της αξιοπιστίας

7.6.2 Κανόνες λειτουργίας γεωτρήσεων

Οι πέντε ομάδες γεωτρήσεων του συστήματος (Βασιλικών-Παρορίου, Ούγγρων-ΝΔ Υλίκης, 10ου σίφωνα, Αυλώνα, Μαυροσουβάλας) δεν χρησιμοποιούνται καθόλου όταν το απολήψιμο δυναμικό των ταμιευτήρων ξεπερνά ένα άνω όριο, ενώ χρησιμοποιούνται κατά απόλυτη προτεραιότητα (χωρίς οικονομικούς όρους) όταν βρεθεί κάτω από ένα κάτω όριο. Τα όρια αυτά, τα οποία αντικατοπτρίζουν την πολιτική χρήσης των υπόγειων υδάτων μόνο ως εφεδρικών πόρων, και ορίζονται ως ποσοστά επί του συνολικού ωφέλιμου όγκου του υδροσυστήματος.

Γενικά, για τις γεωτρήσεις Βασιλικών-Παρορίου εφαρμόζονται χαμηλότερα όρια σε σχέση με τις υπόλοιπες, ώστε η χρήση τους να γίνεται μόνο σε περιπτώσεις απόλυτης ανάγκης, αφενός γιατί η

διοχέτευση του νερού στο δίκτυο πραγματοποιείται μέσω τριών διαδοχικών αντλήσεων καθιστώντας τη λήψη του ιδιαίτερος δαπανηρή, και αφετέρου λόγω πιέσεων που ασκούνται από αγρότες και τοπικούς παράγοντες για περιορισμό της λειτουργίας τους από την ΕΥΔΑΠ.

Ομοίως, χαμηλότερα όρια εφαρμόζονται και για τις γεωτρήσεις Ούγγρων-ΝΔ Υλίκης, η λειτουργία των οποίων φαίνεται ότι επηρεάζει αρνητικά (αυξάνει) τις υπόγειες διαφυγές της Υλίκης, εξαιτίας της υδραυλικής επικοινωνίας των αντίστοιχων υδροφόρων στρωμάτων.

8 Εκτίμηση ενεργειακού κόστους για διάφορα σενάρια δικτύου, ζήτησης και αξιοπιστίας

8.1 Διαμόρφωση σεναρίων

Στο Κεφάλαιο αυτό εξετάζονται διάφορα σενάρια βελτιστοποίησης της λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, που αντιστοιχούν σε διαφορετικά επίπεδα ετήσια ζήτησης υδρευτικού νερού στην Αθήνα και αξιοπιστίας. Αντίστοιχα σενάρια εξετάζονται και για μια υποθετική μελλοντική κατάσταση του συστήματος, που προϋποθέτει την αναβάθμιση κρίσιμων συνιστωσών των έργων μεταφοράς. Για κάθε σενάριο του υφιστάμενου ή μελλοντικού συστήματος, αναζητείται μια βέλτιστη διαχειριστική πολιτική, για την οποία εκτιμώνται, σε μέση ετήσια κλίμακα, η κατανάλωση ενέργειας και το αντίστοιχο κόστος άντλησης, καθώς και μεγέθη που σχετίζονται με το περιβαλλοντικό κόστος, η ανάλυση του οποίου εξηγείται στην Τελική Έκθεση. Με βάση τα δεδομένα αυτά, υπολογίζονται το ανά μονάδα ζήτησης ενεργειακό και αντίστοιχο χρηματοοικονομικό κόστος του συστήματος.

8.1.1 Σενάρια διατάξεων δικτύου

Οι αναλύσεις αναφέρονται σε δύο σενάρια υποδομών:

1. στο **υφιστάμενο δίκτυο** (Σχήμα 7.1), τα στοιχεία του οποίου περιγράφονται στο Κεφάλαιο 7, και
2. σε ένα **υποθετικό αναβαθμισμένο δίκτυο** υδραγωγείων (Σχήμα 8.1), στο οποίο έχουν υλοποιηθεί τα ακόλουθα έργα και δράσεις:
 - Αναβάθμιση του αντλιοστασίου Ασωπού για αύξηση της παροχетеυτικότητας του υδραγωγείου Κρεμμάδα-Κλειδί από 2.7 σε 6.5 m³/s.
 - Έργα ενίσχυσης στο τμήμα Κρεμμάδα-Δαφνούλα με σκοπό την αύξηση της παροχетеυτικότητας του ενωτικού υδραγωγείου από 4.0 σε 6.7 m³/s κατά την ορθή φορά και αποκατάσταση της αμφίδρομης λειτουργίας του, με παροχетеυτικότητα 4.0 m³/s (στο μοντέλο, για την ανάστροφη λειτουργία, ήτοι από Κλειδί προς Μεριστή Κιθαιρώνα, λαμβάνονται ειδική ενέργεια 1.0 kWh/m³ και μοναδιαίο κόστος άντλησης 0.03 €/m³).
 - Αναβάθμιση υδραγωγείου Μόρνου κατάντη σήραγγας Κιθαιρώνα, με ολοκλήρωση της κατασκευής του αγωγού Φ2000, ώστε να εξασφαλίζεται παροχетеυτικότητα 17.0 από 12.0 m³/s.
 - Μείωση απωλειών εξωτερικών υδραγωγείων από τα επίπεδα του 10% στο ήμισυ, με ενίσχυση επιλεγμένων τμημάτων αγωγών και περιορισμό των παράνομων απολήψεων.

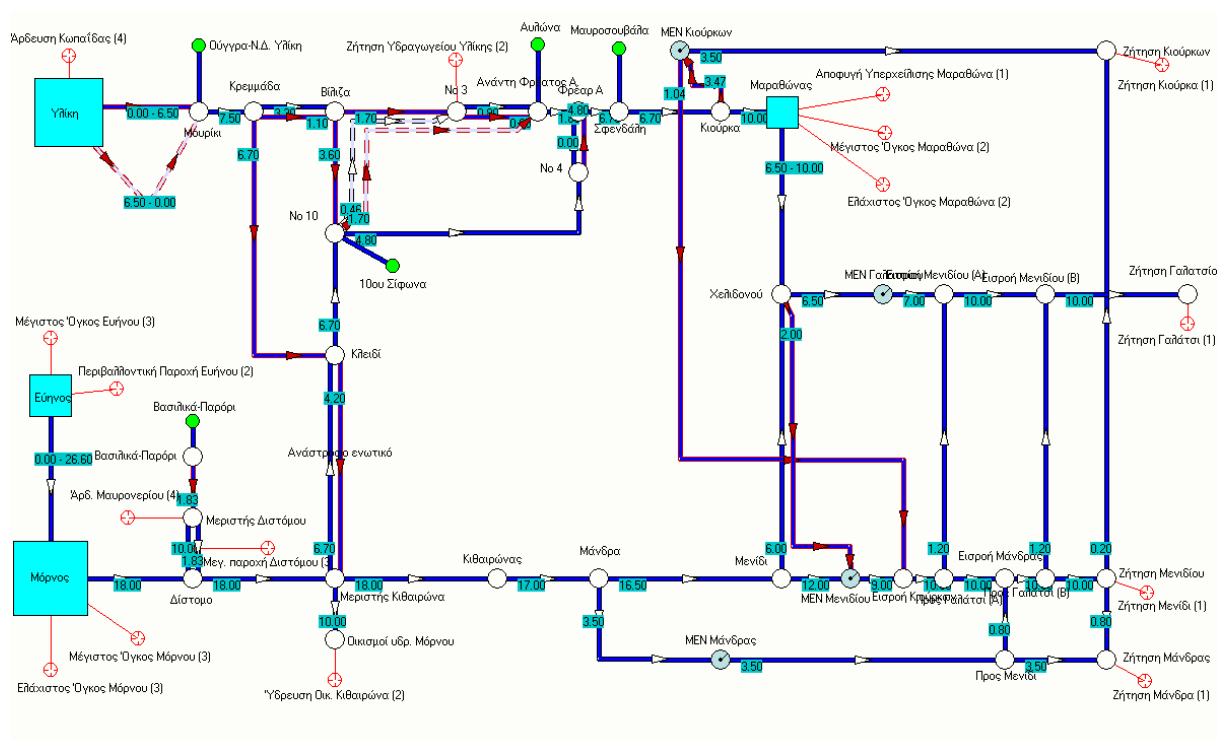
Τα παραπάνω αποτελούν έργα που είτε βρίσκονται σε στάδιο κατασκευής είτε έχουν μελετηθεί κατά το παρελθόν από την ΕΥΔΑΠ και το Υπουργείο Υποδομών και Δικτύων. Στον Πίνακα 8.1 δίνονται ορισμένα οικονομικά στοιχεία για τα παραπάνω έργα, καθώς και πληροφορίες σχετικά με την εξέλιξή τους (Κοτσώνης, 2010, προσωπική επικοινωνία· Νασίκας, 2010, προσωπική επικοινωνία). Το συνολικό εκτιμώμενο κόστος κυμαίνεται από 96 000 000 ως 118 000 000 € (ανάλογα με τη λύση που θα επιλεγεί για τον αγωγό Κιθαιρώνα), από τα οποία ένα ποσό την τάξης των 25 000 000 € έχει ήδη δαπανηθεί. Συνεπώς, το κόστος των έργων εκτιμάται σε περίπου 80 000 000 €.

Το παραπάνω σχήμα έργων κρίνεται ρεαλιστικό, και μπορεί να υλοποιηθεί σε ένα εύλογο χρονικό ορίζοντα (π.χ. 10 ετών), συμβάλλοντας στην αύξηση της αξιοπιστίας του δικτύου αλλά και τη

βελτίωση της μεταφορικής του ικανότητας, ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί σε συνθήκες αυξημένης κατανάλωσης νερού. Τονίζεται ότι, κατά τη θερινή περίοδο, το υφιστάμενο δίκτυο αγωγών μεταφοράς λειτουργεί κοντά στα όρια της παροχρητευτικότητας του.

Πίνακας 8.1: Στοιχεία σχετικά με τα προβλεπόμενα έργα αναβάθμισης.

Περιγραφή	Στάδιο εξέλιξης	Εκτιμώμενο κόστος (€)
Αναβάθμιση αντλιοστασίου Ασωπού	Έχει ήδη κατασκευαστεί από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε., με κόστος 13 000 000 €	40 000 000
Έργα ενίσχυσης ενωτικού υδραγωγείου στο τμήμα Κρεμμάδα-Δαφνούλα και αποκατάσταση αμφίδρομης λειτουργίας	Συνδέεται με το προηγούμενο έργο	
Αναβάθμιση υδραγωγείου Μόρνου κατάντη σήραγγας Κιθαιρώνα (ολοκλήρωση Φ2000)	Έχουν ολοκληρωθεί τα 17 από τα 29 km, με κόστος 7 000 000 €	25 000 000 ή 49 000 000 (εφόσον απαιτηθεί παράλληλη σήραγγα)
Αύξηση παροχρητευτικότητας κατάντη Κιθαιρώνα από 12.0 σε 17.0 m ³ /s.	Απαιτείται η κατασκευή των σιφώνων Σ163, Σ168, Χασιάς, Σ183, Σ188	1 000 000
Μείωση απωλειών εξωτερικών υδραγωγείων	Έχουν ήδη επενδυθεί 14 km της διώρυγας Θηβών, με κόστος 4 500 000 €	28 000 000



Σχήμα 8.1: Σχηματική παράσταση του υποθετικού μελλοντικού δικτύου, όπως απεικονίζεται στο γραφικό περιβάλλον του Υδρονομέα.

8.1.2 Σενάρια μεταβολής της υδρευτικής ζήτησης στην Αθήνα

Η κύρια συνιστώσα της κατανάλωσης νερού στην Αθήνα, και αυτή που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μεταβλητότητα διαχρονικά, είναι η κοινή κατανάλωση, που αναφέρεται στην οικιακή χρήση νερού. Οι λοιπές χρήσεις (βιομηχανικές, δημόσιες, δημοτικές, κλπ.) αποτελούν σχετικά μικρό ποσοστό και παρουσιάζουν μικρές μόνο μεταβολές, τα τελευταία χρόνια. Επιπλέον, οι απώλειες του εσωτερικού δικτύου διανομής έχουν σταθεροποιηθεί στα επίπεδα του 20%. Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την οικιακή χρήση είναι ο υδρευόμενος πληθυσμός ανά κατηγορία (μόνιμοι κάτοικοι, τουρίστες, παραθεριστές) και περιοχή (κεντρικοί δήμοι, ευρύτερη Περιφέρεια Πρωτεύουσας) και η ειδική (κατά κεφαλή) κατανάλωση. Η ειδική κατανάλωση, με τη σειρά της, εξαρτάται από πληθώρα παραγόντων, όπως το βιοτικό επίπεδο, η τιμολογιακή πολιτική της ΕΥΔΑΠ, η ενημέρωση του κοινού για την εξοικονόμηση του νερού, κτλ (Makropoulos et al., 2008).

Εξαιτίας των παραπάνω, η εξέλιξη της υδρευτικής ζήτησης διέπεται από έντονη αβεβαιότητα, η οποία αντιμετωπίζεται, σε αντιστοιχία με τις υδρολογικές εισροές, με τη μορφή σεναρίων. Στις αναλύσεις που ακολουθούν, για το υφιστάμενο δίκτυο εξετάζονται σενάρια ζήτησης από 300 έως 480 hm³, ενώ για το υποθετικό αναβαθμισμένο δίκτυο εξετάζονται σενάρια από 400 ως 550 hm³. Υπενθυμίζεται ότι την τελευταία πενταετία, που είναι και η πλέον αντιπροσωπευτική, η κατανάλωση νερού στην Αθήνα (είσοδος διυλιστηρίων) κυμαίνεται από 415 ως 430 hm³. Το χαμηλότερο σενάριο, ήτοι 300 hm³, είναι ιδιαίτερα συντηρητικό, καθώς προϋποθέτει μείωση του πληθυσμού της Αθήνας, μεσοπρόθεσμα, ή/και, κυρίως δραστική μείωση της ειδικής κατανάλωσης. Ωστόσο, το σενάριο των 350 hm³ είναι αρκετά ρεαλιστικό, καθώς αντιστοιχεί στην κατανάλωση του έτους 1998 και προϋποθέτει μια εύλογη μείωση της τρέχουσας ζήτησης κατά 15% η οποία είναι εφικτή ακόμα και μόνο με τεχνολογικές παρεμβάσεις (Makropoulos and Butler, 2010). Από την άλλη πλευρά, το σενάρια υψηλής ζήτησης, έως τα 550 hm³, αναφέρονται σε ένα υποθετικό μελλοντικό δίκτυο, το οποίο ενδεχομένως θα έχει επεκταθεί ώστε να υδροδοτεί ευρύτερες περιοχές (Θήβα, Μέγαρο, Αίγινα, Νησιά Αιγαίου), όπως έχει διατυπωθεί σε παλαιότερες αναπτυξιακές μελέτες της ΕΥΔΑΠ (ΕΥΔΑΠ, 1996).

Σε όλα τα σενάρια η συνολική ετήσια ζήτηση νερού στην Αθήνα (D), κατανέμεται για κάθε μήνα και κάθε περιοχή υδροδότησης κατάντη των τεσσάρων ΜΕΝ, αναλογικά με τις καταναλώσεις του έτους 2008 (βλ. 7.4.2).

8.1.3 Σενάρια αξιοπιστίας υδρευτικής κατανάλωσης

Ως αξιοπιστία (reliability) ενός υδροσυστήματος ορίζεται η πιθανότητα επίτευξης μιας συγκεκριμένης επίδοσης, για καθορισμένο χρονικό διάστημα και καθορισμένες συνθήκες (Chow *et al.*, 1988, σ. 434). Συμπληρωματική έννοια της αξιοπιστίας είναι η πιθανότητα αστοχίας, η οποία ορίζεται ως:

$$\alpha = P(X < x^*) \quad (8.1)$$

όπου X τυχαία μεταβλητή που εκφράζει ένα ποσοτικό μέτρο επίδοσης του συστήματος (π.χ. απώληση) και x^* η επιθυμητή τιμή (τιμή-στόχος) της εν λόγω επίδοσης. Τονίζεται ότι η επίδοση του συστήματος θεωρείται τυχαία μεταβλητή, καθώς είναι συνάρτηση των υδρολογικών εισροών, που είναι επίσης τυχαίες μεταβλητές (Koutsoyiannis, 2004).

Σε ορισμένες απλές περιπτώσεις, η εκτίμηση της αξιοπιστίας ενός υδροσυστήματος είναι δυνατή με άμεσες μεθόδους, π.χ. με στατιστική ανάλυση των ιστορικών χρονοσειρών απόκρισης. Ωστόσο, σε ένα σύνθετο σύστημα, όπως αυτό της Αθήνας, κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατό, καθώς τα διάφορα έργα που παρεμβάλλονται μεταξύ των υδατικών πόρων και της κατανάλωσης αναρρυθμίζουν χωρικά και χρονικά τις υδρολογικές εισροές. Συνεπώς, η αξιοπιστία εκτιμάται εμπειρικά, υπολογίζοντας την συχνότητα ικανοποίησης της ζήτησης, από ένα επαρκώς μεγάλο δείγμα εκροών. Το τελευταίο προκύπτει μέσω στοχαστικής προσομοίωσης, με βάση το δείγμα συνθετικών εισροών. Από το δείγμα

εισροών, και για τη δεδομένη ζήτηση, παράγονται προσομοιωμένες χρονοσειρές απολήψεων που χρησιμοποιούνται για την εμπειρική εκτίμηση της αξιοπιστίας του συστήματος, με βάση τη σχέση:

$$r = 1 - (n' / n) \quad (8.2)$$

όπου n' το πλήθος των ετών κατά τα οποία ικανοποιείται η επιθυμητή τιμή (π.χ. ζήτηση) x^* και n το σύνολο των προσομοιωμένων ετών (μήκος προσομοίωσης).

Για την εκτίμηση της αξιοπιστίας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας λοιπόν, μετά το πέρας κάθε προσομοίωσης, απαριθμείται, για κάθε έναν από τους τέσσερις κόμβους υδρευτικής κατανάλωσης (ήτοι κατάντη των ΜΕΝ Κιούρκων, Μενιδίου, Γαλατσίου και Μάνδρας) το πλήθος των ετών κατά τα οποία παρατηρήθηκε έλλειμμα ζήτησης, και εντοπίζεται ο κόμβος με τη μέγιστη συχνότητα αστοχιών. Η αξιοπιστία του συστήματος δίνεται από τη σχέση (8.2), όπου n' τα άστοχα έτη του δυσμενέστερου κόμβου ζήτησης και $n = 2000$ τα έτη προσομοίωσης. Στην παρούσα μελέτη, λόγω της ιδιαίτερης κοινωνικής, οικονομικής και πολιτικής σημασίας μιας αστοχίας για το υδροσύστημα της Αθήνας, έχει υιοθετηθεί ένας συντηρητικός ορισμός της αστοχίας, σύμφωνα με τον οποίο για να χαρακτηριστεί ένα έτος ως άστοχο, αρκεί να παρατηρηθεί έστω και οριακό έλλειμμα ζήτησης σε ένα έστω μήνας του υδρολογικού έτους.

Στα σενάρια βελτιστοποίησης που μελετήθηκαν, η αξιοπιστία τίθεται ως περιορισμός ισότητας, δηλαδή ζητούνται οι κανόνες λειτουργίας που εξασφαλίζουν ένα δεδομένο επίπεδο αξιοπιστίας. Για κάθε σενάριο διάταξης δικτύου και ζήτησης, εξετάζεται η λειτουργία του συστήματος για τρία επίπεδα αξιοπιστίας:

- **Επιθυμητό επίπεδο (99%):** το επίπεδο αυτό θεωρείται ως το πλέον επιθυμητό για την εγγυημένη λειτουργία ενός υδροσυστήματος τέτοιας σημασίας, καθώς υποδηλώνει συχνότητα εμφάνισης ελλείμματος μόλις μία φορά στα εκατό χρόνια, κατά μέσο όρο.
- **Αποδεκτό επίπεδο (97%):** το επίπεδο αυτό αντιπροσωπεύει μια ρεαλιστική τιμή αξιοπιστίας, που χαρακτηρίζεται αποδεκτή με βάση τον, σχετικά συντηρητικό, ορισμό της αστοχίας που υιοθετήθηκε.
- **Ελάχιστο αποδεκτό επίπεδο (95%):** το επίπεδο αυτό πρέπει να θεωρείται ως κάτω όριο για την ασφαλή λειτουργία του υδροσυστήματος.

8.2 Διατύπωση και επίλυση προβλήματος βελτιστοποίησης

Για κάθε σενάριο δικτύου-ζήτησης-αξιοπιστίας, αναζητείται η διαχειριστική πολιτική που εξασφαλίζει την επιδιωκόμενη αξιοπιστία, με την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας, για τον χρονικό ορίζοντα των 2000 ετών. Η διαχειριστική πολιτική καθορίζεται από ένα πλήθος παραμέτρων, που σχετίζονται με τους κανόνες λειτουργίας του συστήματος και αποτελούν τις μεταβλητές ελέγχου ενός προβλήματος μη γραμμικής βελτιστοποίησης. Η στοχική συνάρτηση του προβλήματος περιλαμβάνει δύο όρους, ήτοι την αξιοπιστία και την κατανάλωση ενέργειας, οι οποίοι είναι αντικρουόμενοι. Για την βελτιστοποιημένη διαχειριστική πολιτική, συλλέγεται ένα πλήθος αποτελεσμάτων, βάσει των οποίων αξιολογείται η επίδοση του συστήματος. Σε αυτά περιλαμβάνονται τα κόστη άντλησης καθώς και μεγέθη που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους.

8.2.1 Μεταβλητές ελέγχου

Οι μεταβλητές ελέγχου, που καθορίζουν τη διαχειριστική πολιτική είναι:

- οι παράμετροι a_i και b_i των κανόνων λειτουργίας των ταμειυτήρων Μόρνου, Ευήνου και Υλίκης (6 παράμετροι συνολικά).
- τα όρια τύπου κατωφλίου των πέντε ομάδων γεωτρήσεων (10 παράμετροι συνολικά)

- το όριο μέγιστων απολήψεων από την Υλίκη.

Οι παράμετροι των κανόνων λειτουργίας εκτιμώνται αυτόματα, μέσω ενός αλγορίθμου ολικής βελτιστοποίησης, ενώ οι υπόλοιπες μεταβλητές ελέγχου του συστήματος ορίζονται εμπειρικά, με βάση εύλογες παραδοχές, διευκολύνοντας έτσι δραστικά την υπολογιστική διαδικασία.

Υπενθυμίζεται ότι για τον ταμιευτήρα Μαραθώνα δεν εφαρμόζονται κανόνες λειτουργίας, καθώς η διαχείρισή του καθορίζεται αποκλειστικά από τους περιορισμούς διακύμανσης του αποθέματος, με τους οποίους δημιουργείται μια ελάχιστη ρυθμιστική ικανότητα, καθώς τα όρια αυτά είναι πολύ στενά.

Όσον αφορά στα κατώφλια των ομάδων γεωτρήσεων (όριο ενεργοποίησης και όριο χρήσης τους με απόλυτη προτεραιότητα), εξετάστηκαν διαφορετικές τιμές για κάθε ομάδα, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς αλλά και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης τους. Γενικά, τα υψηλότερα όρια εφαρμόζονται για τις γεωτρήσεις Μαυροσουβάλας, Αυλώνα και Βίλιζας (10^{00} σίφωνα), τις οποίες η ΕΥΔΑΠ χρησιμοποιεί σε πρώτη εφεδρεία (μεταξύ άλλων, για να αναμίξει το υποβαθμισμένο ποιοτικά νερό της Υλίκης με καθαρό νερό από τους υδροφορείς), ακολουθούν οι γεωτρήσεις Ούγγρων-ΝΔ Υλίκης και σε έσχατη περίπτωση οι γεωτρήσεις Βασιλικών-Παρορίου, οι οποίες προκαλούν τις δυσμενέστερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, και επιπλέον η χρήση τους για ύδρευση είναι ανταγωνιστική της αρδευτικής αξιοποίησης.

Οι παράμετροι λειτουργίας των γεωτρήσεων κωδικοποιήθηκαν σύμφωνα με τον Πίνακα 8.2, ώστε να εκφράζουν μια συγκεκριμένη πολιτική λειτουργίας (πολύ υψηλή, υψηλή, συχνή, κανονική, χαμηλή, πολύ χαμηλή, μηδενική). Για παράδειγμα, με την κανονική πολιτική λειτουργίας, δεν είναι δυνατή η χρήση της συγκεκριμένης ομάδας γεωτρήσεων, εφόσον το ποσοστό πλήρωσης των ταμιευτήρων (ήτοι το ωφέλιμο απόθεμα προς τη συνολική ωφέλιμη χωρητικότητα, ήτοι 1360 hm^3) υπερβαίνει το 40% (δηλαδή οι ταμιευτήρες διαθέτουν περισσότερα από 545 hm^3), ενώ όταν το ποσοστό αυτό πέσει κάτω από το 25% (που σημαίνει ότι τα επιφανειακά αποθέματα νερού είναι λιγότερα από 340 hm^3), τότε οι εν λόγω γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται κατά προτεραιότητα, ανεξαρτήτως κόστους άντλησης.

Πίνακας 8.2: Πολιτικές λειτουργίας και αντίστοιχες τιμές ανωφλίων και κατωφλίων που εφαρμόστηκαν για τις ομάδες γεωτρήσεων στα εξεταζόμενα σενάρια.

Πολιτική λειτουργίας	Ανώφλι (%)	Κατώφλι (%)
Πολύ υψηλή (ΠΥ)	80	50
Υψηλή (Υ)	80	40
Συχνή (Σ)	60	30
Κανονική (Κ)	40	25
Χαμηλή (Χ)	20	10
Πολύ χαμηλή (ΠΧ)	10	5
Μηδενική (Μ)	0	0

Τέλος, το όριο απολήψεων από την Υλίκη υλοποιείται με τεχνητή μείωση της παροχρετευτικότητας του τμήματος Μουρίκι-Κρεμμάδα ($6.5 \text{ m}^3/\text{s}$), και έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση των αντλήσεων από τη λίμνη. Ο περιορισμός αυτός εφαρμόζεται μόνο σε ορισμένα σενάρια χαμηλής ζήτησης, για τα οποία δεν έχει νόημα η εντατική χρήση της Υλίκης.

8.2.2 Στοχική συνάρτηση

Η στοχική συνάρτηση του προβλήματος διατυπώνεται ως το σταθμισμένο άθροισμα δύο κριτηρίων:

- της μέσης ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας του συστήματος, που εκτιμάται ως ο ετήσιος μέσος όρος, σε σύνολο 2000 προσομοιωμένων ετών, από τα αντλιοστάσια και τις ομάδες γεωτρήσεων·
- της μέγιστης απόκλισης μεταξύ της πραγματικής (όπως εκτιμάται από την προσομοίωση) και επιθυμητής (95, 97 ή 99%) αξιοπιστίας των στόχων ζήτησης κατάντη των τεσσάρων ΜΕΝ.

Στα δύο παραπάνω κριτήρια εφαρμόζονται κατάλληλοι συντελεστές βάρους, ώστε η επίτευξη του επιθυμητού επιπέδου αξιοπιστίας να τηρείται κατά προτεραιότητα σε σχέση με την ελαχιστοποίηση της ενέργειας. Αν για κάποια διαχειριστική πολιτική επιτευχθεί υψηλότερη αξιοπιστία σε σχέση με την επιδιωκόμενη, τότε ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης αναζητά μια λιγότερο ενεργοβόρα πολιτική, περιορίζοντας την αξιοπιστία στο επιθυμητό επίπεδο, προς όφελος της ενέργειας. Αντίθετα, αν η αξιοπιστία που επιτυγχάνεται με μια συγκεκριμένη διαχειριστική πολιτική είναι χαμηλότερη από τη ζητούμενη, τότε αναζητείται μια πιο συντηρητική πολιτική, με κανόνες λειτουργίας που επιβάλλουν αυξημένες αντλήσεις από την Υλίκη, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή αξιοπιστία.

Το παραπάνω πρόβλημα βελτιστοποίησης είναι έντονα μη γραμμικό και περιλαμβάνει, όπως εξηγείται στο εδάφιο 8.2.1, έξι μεταβλητές ελέγχου (παράμετροι κανόνων λειτουργίας ταμειυτήρων), με πεδίο ορισμού το διάστημα $[0, 1]$. Στον Υδρονομέα έχει ενσωματωθεί ειδική μεθοδολογία (εξελκτικός αλγόριθμος ανόπτησης-απλόκου) για τον χειρισμό του συγκεκριμένου προβλήματος (Efstratiadis and Koutsoyiannis, 2002· Ευστρατιάδης, 2008).

8.2.3 Αξιολόγηση της επίδοσης του συστήματος

Εκτός από τα κριτήρια κατανάλωσης ενέργειας και αξιοπιστίας, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό των βέλτιστων κανόνων λειτουργίας των ταμειυτήρων, για την αξιολόγηση της επίδοσης του συστήματος χρησιμοποιούνται ακόμη οι εξής μεταβλητές:

- το μέσο ετήσιο κόστος ενέργειας από τα αντλιοστάσια και τις ομάδες γεωτρήσεων, που προκύπτει ως άθροισμα του πάγιου κόστους ενεργοποίησης της αντίστοιχης συνιστώσας και του μεταβλητού κόστους άντλησης (μοναδιαίο κόστος επί αντλούμενος όγκος νερού)·
- το μέσο ετήσιο έλλειμμα όσον αφορά στην κάλυψη της περιβαλλοντικής παροχής του Εύηνου·
- το μέσο ετήσιο αρδευτικό έλλειμμα όσον αφορά στη κάλυψη της αρδευτικής ζήτησης από την Υλίκη και το Δίστομο·
- τη μέση ετήσια υδρευτική απόληψη από τις γεωτρήσεις Βασιλικών-Παρορίου.

Το πρώτο από τα παραπάνω μεγέθη αποτελεί συνιστώσα του λειτουργικού κόστους του συστήματος και χρησιμοποιείται στα πλαίσια των χρηματοοικονομικών αναλύσεων, ενώ τα άλλα τρία μεγέθη σχετίζονται με τις επιπτώσεις από τη λειτουργία του υδροδοτικού συστήματος στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, και χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους και του κόστους πόρου.

8.3 Αποτελέσματα

8.3.1 Σενάρια υφιστάμενου δικτύου

Για το υφιστάμενο δίκτυο εξετάστηκαν σενάρια ετήσιας υδρευτικής ζήτησης από 300 ως 480 hm³, για τα τρία εξεταζόμενα επίπεδα αξιοπιστίας (99, 97 και 95%). Στους Πίνακες 8.3 ως 8.5 συνοψίζονται οι διαχειριστικές παραδοχές και τα βασικά αποτελέσματα των αντίστοιχων σεναρίων. Οι παραδοχές αφορούν στην πολιτική χρήσης των ομάδων γεωτρήσεων, σύμφωνα με τον Πίνακα 8.2, και το όριο απολήψεων από την Υλίκη. Εφόσον δεν τίθεται περιορισμός απολήψεων, ισχύει το φυσικό όριο παροχευτικότητας, ήτοι 6.5 m³/s. Όσον αφορά στα αποτελέσματα, δίνονται οι μέσες ετήσιες τιμές των απολήψεων από τους υδατικούς πόρους (Εύηνος-Μόρνος, Υλίκη, γεωτρήσεις), της κατανάλωσης

ενέργειας από τα αντλιοστάσια και τις γεωτρήσεις και του κόστους αντλήσεων. Ακόμα, δίνονται τα μέσα ετήσια μεγέθη που σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εκάστοτε διαχειριστικής πολιτικής, και αφορούν στο έλλειμμα ικανοποίησης των στόχων περιβαλλοντικής παροχής από τον Εύηνο και άρδευσης από την Υλίκη και το Δίστομο, καθώς και στην απόληψη από τις γεωτρήσεις του μέσου ρου του Βοιωτικού Κηφισού (Βασιλικά-Παρόρι).

Από τις αναλύσεις προκύπτει ότι η μέγιστη ζήτηση (ασφαλής απόληψη) που μπορεί να ικανοποιηθεί με το επιθυμητό επίπεδο αξιοπιστίας, ήτοι 99%, είναι 415 hm³, ενώ για το αποδεκτό επίπεδο 97% η ασφαλής υδρευτική απόληψη αυξάνει στα 450 hm³. Τέλος, η ζήτηση των 480 hm³ είναι η μέγιστη που μπορεί να επιτευχθεί με επίπεδο αξιοπιστίας 95%. Συνεπώς, η τρέχουσα κατανάλωση, που κυμαίνεται από 415 ως 430 hm³ την τελευταία πενταετία, καλύπτεται οριακά, από πλευράς αξιοπιστίας, από το υφιστάμενο σύστημα έργων.

Πίνακας 8.3: Κύριες παραδοχές και αποτελέσματα (μέσα ετήσια μεγέθη) σεναρίων ελαχιστοποίησης της κατανάλωσης ενέργειας για διάφορες τιμές ζήτησης, για επίπεδο αξιοπιστίας 99%.

Ετήσια υδρευτική ζήτηση	300	350	375	400	415
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ					
Λειτουργία Μαυροσουβάλας	X	K	K	Y	Y
Λειτουργία Αυλώνα και 10 ^{ου} σίφωνα	ΠX	X	K	Σ	Y
Λειτουργία Ούγγρων-ΝΔ Υλίκης	M	ΠX	K	K	Y
Λειτουργία Βασιλικών-Παρορίου	M	M	X	K	Y
Όριο εκροών από Υλίκη (m ³ /s)	1.50	6.50	6.50	6.50	6.50
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ					
Εκροή από Μόρνο (hm ³)	346.13	384.78	400.63	400.82	401.42
Εκροή από Υλίκη (hm ³)	5.42	23.75	33.46	57.74	70.60
Απόληψη από γεωτρήσεις (hm ³)	1.51	1.84	4.79	7.18	10.62
Ενέργεια αντλιοστασίων (GWh)	9.40	29.62	41.52	65.62	82.08
Ενέργεια γεωτρήσεων (GWh)	1.66	1.85	3.72	6.06	7.82
Συνολική ενέργεια (GWh)	11.05	31.46	45.24	71.68	89.90
Συνολικό κόστος άντλησης (Μ€)	0.87	2.16	3.13	4.88	6.15
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ					
Έλλειμμα οικ. παροχής Εύηνου (hm ³)	0.63	0.89	1.02	0.46	0.49
Έλλειμμα αρδ. ζήτησης Υλίκης (hm ³)	0.05	0.63	0.51	0.86	0.93
Έλλειμμα αρδ. ζήτησης Διστόμου (hm ³)	0.18	0.16	0.05	0.05	0.06
Υδρ. απόληψη από Βασιλικά-Παρόρι (hm ³)	0.00	0.00	1.19	1.46	3.23

Πίνακας 8.4: Κύριες παραδοχές και αποτελέσματα (μέσα ετήσια μεγέθη) σεναρίων ελαχιστοποίησης της κατανάλωσης ενέργειας για διάφορες τιμές ζήτησης, για επίπεδο αξιοπιστίας 97%.

Ετήσια υδρευτική ζήτηση	300	350	375	400	415	430	450
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ							
Λειτουργία Μαυροσουβάλας	M	X	K	K	K	K	ΠΥ
Λειτουργία Αυλώνα και 10 ^{ου} σίφωνα	M	ΠΧ	X	X	X	K	Υ
Λειτουργία Ούγγρων-ΝΔ Υλίκης	M	M	M	X	X	X	Υ
Λειτουργία Βασιλικών-Παρορίου	M	M	M	M	ΠΧ	ΠΧ	Σ
Όριο εκροών από Υλίκη (m ³ /s)	0.50	2.00	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ							
Εκροή από Μόρνο (hm ³)	349.18	392.57	404.96	415.44	421.55	420.76	415.63
Εκροή από Υλίκη (hm ³)	1.64	9.97	27.88	44.87	53.86	70.22	86.02
Απόληψη από γεωτρήσεις (hm ³)	0.00	5.76	3.80	4.00	6.72	7.39	17.86
Ενέργεια αντλιοστασίων (GWh)	6.58	15.12	34.18	51.31	63.97	80.92	94.70
Ενέργεια γεωτρήσεων (GWh)	0.00	6.23	4.01	3.96	4.88	5.81	14.96
Συνολική ενέργεια (GWh)	6.58	21.35	38.18	55.27	68.86	86.72	109.67
Συνολικό κόστος άντλησης (Μ€)	0.57	1.50	2.58	3.73	4.84	5.89	7.52
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ							
Έλλειμμα οικ. παροχής Ευήνου (hm ³)	0.68	1.17	1.24	1.34	1.38	1.31	0.80
Έλλειμμα αρδ. ζήτησης Υλίκης (hm ³)	0.01	0.14	0.46	0.95	0.98	1.28	0.85
Έλλειμμα αρδ. ζήτησης Διστόμου (hm ³)	0.38	0.60	0.64	0.40	0.12	0.12	0.12
Υδρ. απόληψη από Βασιλικά-Παρόρι (hm ³)	0.00	0.00	0.00	0.00	2.34	2.21	3.24

Πίνακας 8.5: Κύριες παραδοχές και αποτελέσματα (μέσα ετήσια μεγέθη) σεναρίων ελαχιστοποίησης της κατανάλωσης ενέργειας για διάφορες τιμές ζήτησης, για επίπεδο αξιοπιστίας 95%.

Ετήσια υδρευτική ζήτηση	300	350	375	400	415	430	450	480
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ								
Λειτουργία Μαυροσουβάλας	M	ΠΧ	X	X	X	K	K	ΠΥ
Λειτουργία Αυλώνα και 10 ^{ου} σίφωνα	M	M	M	ΠΧ	ΠΧ	X	X	ΠΥ
Λειτουργία Ούγγρων-ΝΔ Υλίκης	M	M	M	M	M	ΠΧ	ΠΧ	Σ
Λειτουργία Βασιλικών-Παρορίου	M	M	M	M	M	ΠΧ	ΠΧ	K
Όριο εκροών από Υλίκη (m ³ /s)	0.00	1.00	2.50	3.10	3.40	6.50	6.50	6.50
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ								
Εκροή από Μόρνο (hm ³)	349.86	394.58	409.85	422.62	428.29	427.13	432.62	425.34
Εκροή από Υλίκη (hm ³)	0.00	6.18	18.50	28.31	40.14	61.72	76.34	99.50
Απόληψη από γεωτρήσεις (hm ³)	0.00	4.93	5.82	10.51	9.88	6.28	9.44	25.10
Ενέργεια αντλιοστασίων (GWh)	4.30	12.19	22.96	31.70	40.93	66.79	87.60	107.63
Ενέργεια γεωτρήσεων (GWh)	0.00	5.09	6.01	11.35	10.67	6.34	6.92	22.19
Συνολική ενέργεια (GWh)	4.30	17.28	28.97	43.06	51.60	73.13	94.52	129.82
Συνολικό κόστος άντλησης (Μ€)	0.40	1.32	2.06	2.87	3.51	4.93	6.53	8.84
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ								
Έλλειμμα οικ. παροχής Ευήνου (hm ³)	0.12	1.16	1.08	1.63	1.57	1.66	1.70	1.18
Έλλειμμα αρδ. ζήτησης Υλίκης (hm ³)	0.00	0.04	0.23	0.38	0.58	0.90	1.44	0.97
Έλλειμμα αρδ. ζήτησης Διστόμου (hm ³)	0.00	0.79	0.90	1.08	0.95	0.79	0.24	0.23
Υδρ. απόληψη από Βασιλικά-Παρόρι (hm ³)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.30	4.42

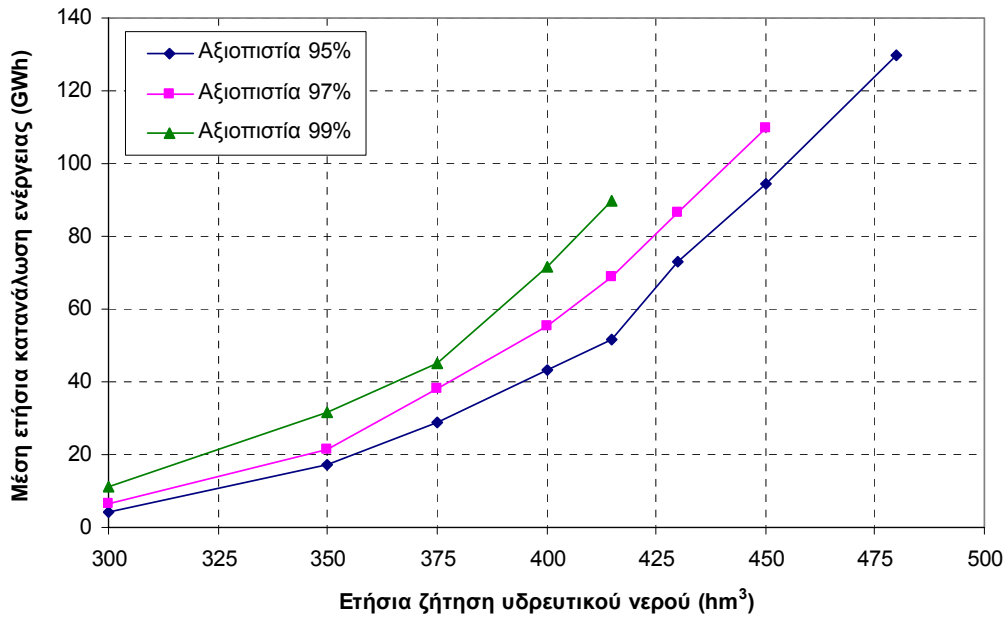
Στον Πίνακα 8.6 δίνονται η μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας και το αντίστοιχο κόστος, συναρτήσει της ετήσιας ζήτησης και της αξιοπιστίας. Για συγκεκριμένη ζήτηση, η ποσότητα των αντλήσεων και συνακόλουθα το κόστος μεταβάλλονται αρκετά, ανάλογα με το επίπεδο αξιοπιστίας που επιλέγεται. Στον Πίνακα 8.7, οι δαπάνες άντλησης έχουν διαιρεθεί με τη ζήτηση νερού στην Αθήνα, ώστε να υπολογιστεί το κόστος ανά m^3 ζήτησης, το οποίο αφορά στη λειτουργία του συστήματος και μόνο (το κόστος αυτό μειώνεται ελάχιστα, αν θεωρηθεί η συνολική ζήτηση του συστήματος, που αντιστοιχεί σε επιπλέον 16.6 hm^3 για μικρές υδρευτικές χρήσεις και την άρδευση μέσω Διστόμου). Παρατηρείται ότι το μέγιστο μοναδιαίο κόστος, το οποίο αντιστοιχεί στην ασφαλή απόληψη των 480 hm^3 για την οριακή αξιοπιστία 95%, είναι κάτω από 0.02 €/m^3 , ενώ για τα σημερινά επίπεδα ζήτησης, το εν λόγω κόστος κυμαίνεται στα επίπεδα από 0.008 ως 0.015 €/m^3 , ανάλογα με την επιδιωκόμενη αξιοπιστία. Τα παραπάνω απεικονίζονται και στα διαγράμματα των Σχημάτων 8.2 ως 8.4.

Πίνακας 8.6: Σχέση ετήσιας υδρευτικής ζήτησης, αξιοπιστίας, μέσης ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας και μέσου ετήσιου κόστους άντλησης.

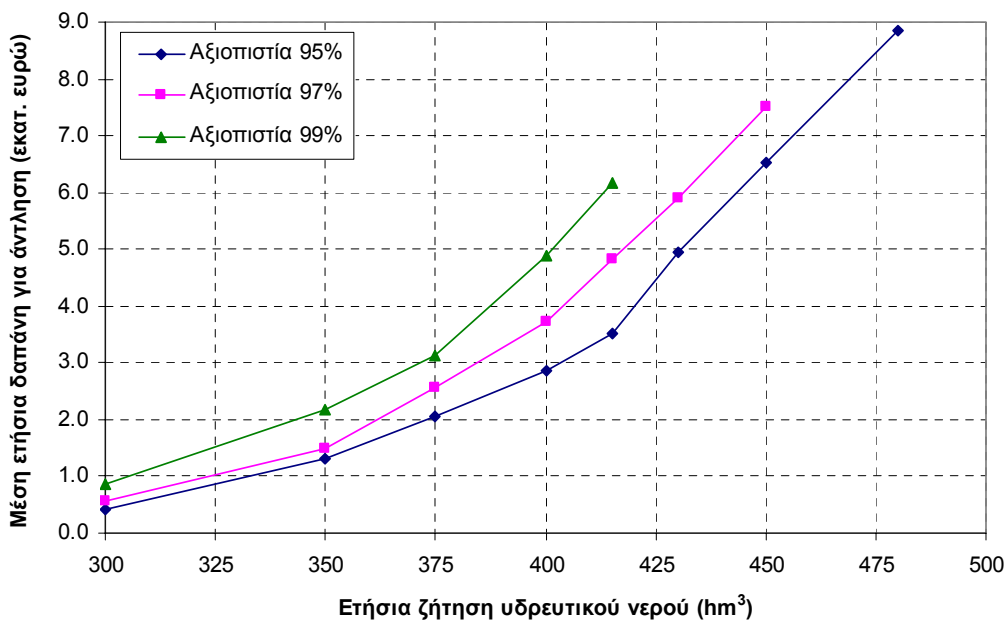
Ζήτηση (hm^3)	Αξιοπιστία 99%		Αξιοπιστία 97%		Αξιοπιστία 95%	
	Ενέργεια (GWh)	Κόστος (Μ€)	Ενέργεια (GWh)	Κόστος (Μ€)	Ενέργεια (GWh)	Κόστος (Μ€)
300	11.052	0.875	6.576	0.569	4.296	0.405
350	31.464	2.164	21.348	1.498	17.280	1.322
375	45.240	3.129	38.184	2.575	28.968	2.057
400	71.676	4.880	55.272	3.733	43.056	2.874
415	89.904	6.155	68.856	4.839	51.600	3.508
430			86.724	5.889	73.128	4.934
450			109.668	7.519	94.524	6.528
480					129.816	8.841

Πίνακας 8.7: Σχέση ζήτησης, αξιοπιστίας και μοναδιαίου κόστους άντλησης (σε 0.01 €/m^3), με βάση την ετήσια υδρευτική ζήτηση της Αθήνας και τη συνολική ζήτηση από το σύστημα.

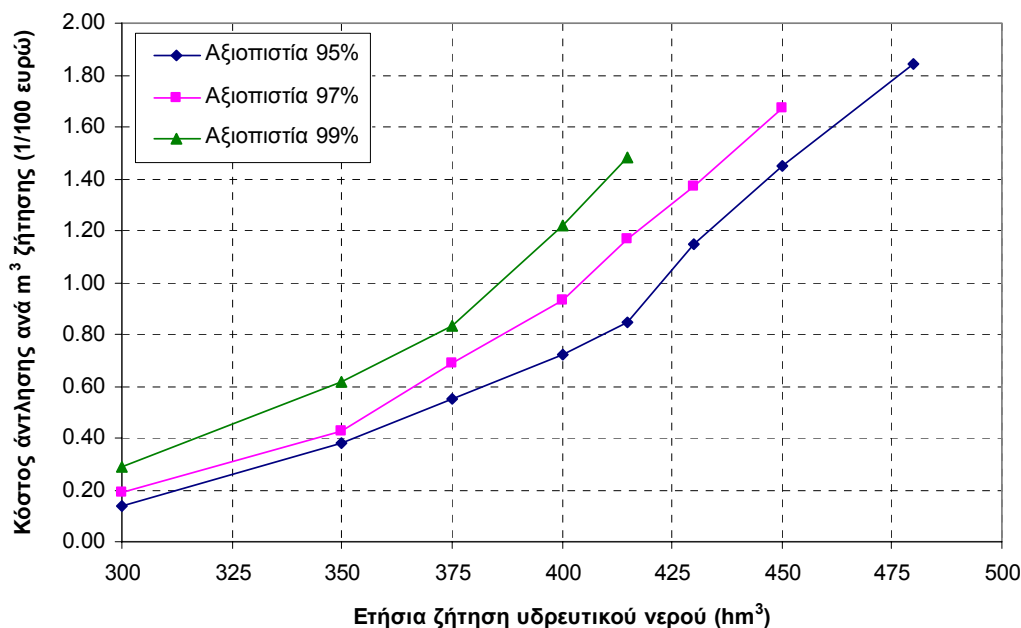
Ζήτηση (hm^3)	Αξιοπιστία 99%		Αξιοπιστία 97%		Αξιοπιστία 95%	
	Κόστος Αθήνας	Συνολικό κόστος	Κόστος Αθήνας	Συνολικό κόστος	Κόστος Αθήνας	Συνολικό κόστος
300	0.29	0.28	0.19	0.18	0.13	0.13
350	0.62	0.59	0.43	0.41	0.38	0.36
375	0.83	0.80	0.69	0.66	0.55	0.53
400	1.22	1.17	0.93	0.90	0.72	0.69
415	1.48	1.43	1.17	1.12	0.85	0.81
430			1.37	1.32	1.15	1.10
450			1.67	1.61	1.45	1.40
480					1.84	1.78



Σχήμα 8.2: Σχέση μέσης ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας και ετήσιας υδρευτικής ζήτησης στην Αθήνα, για διάφορα επίπεδα αξιοπιστίας (υφιστάμενο δίκτυο).



Σχήμα 8.3: Σχέση μέσης ετήσιας ενεργειακής δαπάνης και ετήσιας υδρευτικής ζήτησης στην Αθήνα, για διάφορα επίπεδα αξιοπιστίας (υφιστάμενο δίκτυο).



Σχήμα 8.4: Σχέση μοναδιαίου ενεργειακού κόστους και ετήσιας υδρευτικής ζήτησης στην Αθήνα, για διάφορα επίπεδα αξιοπιστίας (υφιστάμενο δίκτυο).

Από τα παραπάνω συνάγεται ότι το σύστημα μπορεί να συνεχίζει να δίνει νερό στην Αθήνα με υψηλή αξιοπιστία (99%) μόνο αν η ζήτηση της Αθήνας διατηρηθεί στα σημερινά επίπεδα (414.8 hm³ το έτος 2009). Οποιαδήποτε αύξηση της ζήτησης πέρα από τα επίπεδα αυτά συνεπάγεται μείωση της αξιοπιστίας του συστήματος. Εκτιμάται ότι το σύστημα θα μπορεί να παρέχει μέχρι 450 hm³ με αξιοπιστία 97%, με την προϋπόθεση εντατικής χρήσης της Υλίκης και των γεωτρήσεων, το οποίο συνεπάγεται αυξημένες απαιτήσεις σε ενέργεια και αυξημένο κόστος άντλησης. Τέλος το σύστημα μπορεί να παρέχει μέχρι και 480 hm³, αλλά με σημαντικά μειωμένη αξιοπιστία (95%), που αντιστοιχεί σε συχνότητα ελλειμμάτων στην Αθήνα μία φορά στα 20 χρόνια, κατά μέσο όρο, το οποίο θεωρείται εξαιρετικά επισφαλές για τη λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος

8.3.2 Σενάρια υποθετικού αναβαθμισμένου δικτύου

Το υποθετικό αναβαθμισμένο δίκτυο, εκτός από αυξημένη παροχαρακτηριστική τόσο του υδραγωγείου Μόρνου (από τη συμβολή Κιθαιρώνα και κατάντη) όσο και του υδραγωγείου Υλίκης, εξασφαλίζει περισσότερες εναλλακτικές διαδρομές μεταφοράς, χάρη στην αμφίδρομη λειτουργία του ενωτικού υδραγωγείου. Αυτό επιτρέπει, για παράδειγμα, καλύτερη αξιοποίηση της Υλίκης και των κοντινών γεωτρήσεων, σε περίπτωση μειωμένων αποθεμάτων στο σύστημα Μόρνου-Ευήνου. Άμεση συνέπεια των παραπάνω βελτιώσεων είναι η δραστική μείωση των αναμενόμενων αντλήσεων και συνακόλουθα του κόστους, σε σύγκριση με το υφιστάμενο δίκτυο, αλλά και η σημαντική αύξηση του ασφαλούς απολήψιμου δυναμικού του συστήματος για την ύδρευση της Αθήνας, που φτάνει πλέον στα επίπεδα των 475 hm³, για αξιοπιστία 99%, 525 hm³, για αξιοπιστία 97%, και 550 hm³, για αξιοπιστία 95%.

Όμοια με το εδάφιο 8.3.1 που αφορά στο υφιστάμενο δίκτυο, παρουσιάζονται οι παραδοχές και τα αποτελέσματα των σεναρίων του μελλοντικού δικτύου για τα τρία επίπεδα αξιοπιστίας (Πίνακες 8.8 ως 8.10), τα συγκεντρωτικά μεγέθη ετήσιας υδρευτικής ζήτησης – κατανάλωσης ενέργειας – κόστους αντλήσεων (Πίνακας 8.11) και τα μοναδιαία κόστη συναρτήσει της ζήτησης (Πίνακας 8.12). Τα βασικά μεγέθη απεικονίζονται στα διαγράμματα των Σχημάτων ως .

Πίνακας 8.8: Κύριες παραδοχές και αποτελέσματα (μέσα ετήσια μεγέθη) σεναρίων ελαχιστοποίησης της κατανάλωσης ενέργειας για διάφορες τιμές ζήτησης, για επίπεδο αξιοπιστίας 99%.

Ετήσια υδρευτική ζήτηση	400	425	450	475
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ				
Λειτουργία Μαυροσουβάλας	ΠΧ	Κ	Σ	ΠΥ
Λειτουργία Αυλώνα και 10 ^ο σίφωνα	ΠΧ	Κ	Σ	ΠΥ
Λειτουργία Ούγγρων-ΝΔ Υλίκης	Μ	Χ	Κ	ΠΥ
Λειτουργία Βασιλικών-Παρορίου	Μ	ΠΧ	Κ	ΠΥ
Όριο εκροών από Υλίκη (m ³ /s)	6.00	6.50	6.50	6.50
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ				
Εκροή από Μόρνο (hm ³)	394.21	406.88	413.70	405.94
Εκροή από Υλίκη (hm ³)	37.63	49.55	65.47	88.42
Απόληψη από γεωτρήσεις (hm ³)	1.57	4.36	7.15	18.68
Ενέργεια αντλιοστασίων (GWh)	48.66	63.12	80.76	112.00
Ενέργεια γεωτρήσεων (GWh)	1.69	3.59	5.63	13.81
Συνολική ενέργεια (GWh)	50.35	66.71	86.39	125.81
Συνολικό κόστος άντλησης (Μ€)	3.15	4.21	5.49	8.10
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ				
Έλλειμμα οικ. παροχής Ευήνου (hm ³)	0.94	1.06	1.13	0.40
Έλλειμμα αρδ. ζήτησης Υλίκης (hm ³)	1.16	1.41	1.66	1.65
Έλλειμμα αρδ. ζήτησης Διστόμου (hm ³)	0.16	0.05	0.07	0.06
Υδρ. απόληψη από Βασιλικά-Παρόρι (hm ³)	0.00	1.01	1.87	5.58

Πίνακας 8.9: Κύριες παραδοχές και αποτελέσματα (μέσα ετήσια μεγέθη) σεναρίων ελαχιστοποίησης της κατανάλωσης ενέργειας για διάφορες τιμές ζήτησης, για επίπεδο αξιοπιστίας 97%.

Ετήσια υδρευτική ζήτηση	400	425	450	475	500	525
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ						
Λειτουργία Μαυροσουβάλας	ΠΧ	ΠΧ	Χ	Κ	Υ	ΠΥ
Λειτουργία Αυλώνα και 10 ^ο σίφωνα	Μ	ΠΧ	Χ	Κ	Υ	ΠΥ
Λειτουργία Ούγγρων-ΝΔ Υλίκης	Μ	Μ	Μ	Χ	Υ	ΠΥ
Λειτουργία Βασιλικών-Παρορίου	Μ	Μ	Μ	Χ	Κ	ΠΥ
Όριο εκροών από Υλίκη (m ³ /s)	3.50	4.50	6.50	6.50	6.50	6.50
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ						
Εκροή από Μόρνο (hm ³)	401.76	414.52	420.62	425.93	432.01	420.18
Εκροή από Υλίκη (hm ³)	26.34	39.52	59.76	77.54	84.28	114.11
Απόληψη από γεωτρήσεις (hm ³)	3.17	4.44	3.66	8.35	21.26	28.84
Ενέργεια αντλιοστασίων (GWh)	31.58	44.74	71.98	94.09	109.99	144.98
Ενέργεια γεωτρήσεων (GWh)	3.28	4.80	3.95	6.67	15.60	21.23
Συνολική ενέργεια (GWh)	34.86	49.54	75.92	100.76	125.59	166.21
Συνολικό κόστος άντλησης (Μ€)	2.39	3.29	4.72	6.42	8.16	10.75
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ						
Έλλειμμα οικ. παροχής Ευήνου (hm ³)	1.23	1.32	1.39	1.40	1.47	0.84
Έλλειμμα αρδ. ζήτησης Υλίκης (hm ³)	0.39	0.78	1.70	2.02	1.93	2.25
Έλλειμμα αρδ. ζήτησης Διστόμου (hm ³)	0.51	0.43	0.37	0.13	0.14	0.15
Υδρ. απόληψη από Βασιλικά-Παρόρι (hm ³)	0.00	0.00	0.00	2.11	6.38	8.60

Πίνακας 8.10: Κύριες παραδοχές και αποτελέσματα (μέσα ετήσια μεγέθη) σεναρίων ελαχιστοποίησης της κατανάλωσης ενέργειας για διάφορες τιμές ζήτησης, για επίπεδο αξιοπιστίας 95%.

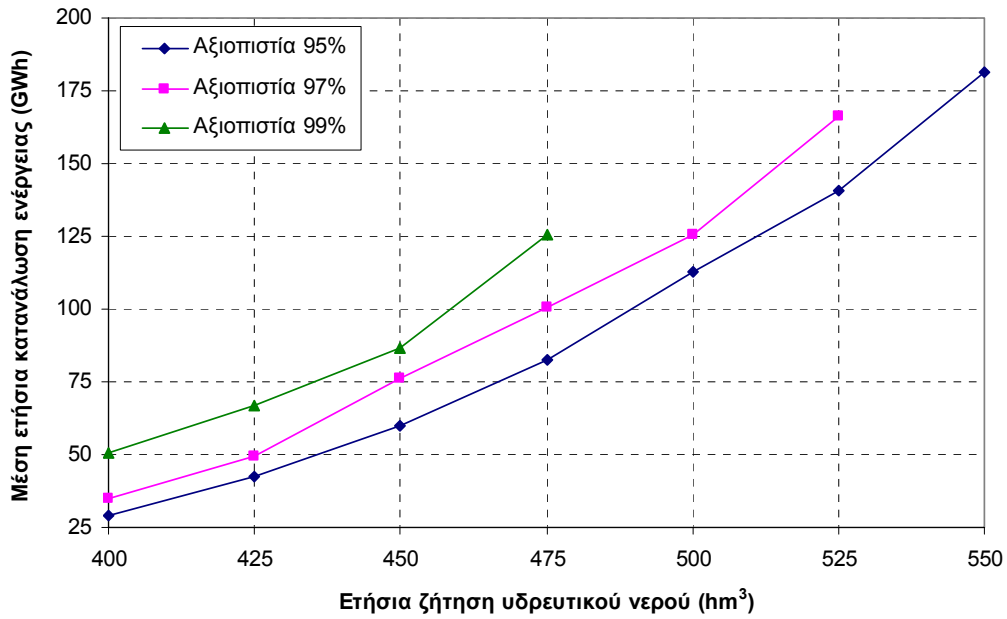
Ετήσια υδρευτική ζήτηση	400	425	450	475	500	525	550
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ							
Λειτουργία Μαυροσουβάλας	ΠΧ	ΠΧ	ΠΧ	Χ	Κ	Σ	ΠΥ
Λειτουργία Αυλώνα και 10 ^{ου} σίφωνα	Μ	Μ	ΠΧ	Χ	Κ	Σ	ΠΥ
Λειτουργία Ούγγρων-ΝΔ Υλίκης	Μ	Μ	Μ	Χ	Χ	Σ	Σ
Λειτουργία Βασιλικών-Παρορίου	Μ	Μ	Μ	Μ	Μ	Κ	Σ
Όριο εκροών από Υλίκη (m ³ /s)	1.80	3.00	4.50	6.50	6.50	6.50	6.50
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ							
Εκροή από Μόρνο (hm ³)	405.06	416.93	429.67	427.33	434.77	440.08	427.32
Εκροή από Υλίκη (hm ³)	19.75	33.46	39.23	74.32	89.44	95.72	130.10
Απόληψη από γεωτρήσεις (hm ³)	3.85	5.20	12.16	6.37	9.71	25.15	28.74
Ενέργεια αντλιοστασίων (GWh)	24.85	37.28	46.55	75.73	103.03	119.09	156.20
Ενέργεια γεωτρήσεων (GWh)	3.97	5.38	13.13	6.88	9.54	21.46	25.24
Συνολική ενέργεια (GWh)	28.82	42.66	59.68	82.61	112.57	140.54	181.44
Συνολικό κόστος άντλησης (Μ€)	2.12	2.93	3.83	5.52	7.07	8.98	11.43
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ							
Έλλειμμα οικ. παροχής Ευήνου (hm ³)	1.53	1.62	1.70	1.65	1.71	1.78	1.14
Έλλειμμα αρδ. ζήτησης Υλίκης (hm ³)	0.17	0.38	0.80	1.34	2.31	1.90	2.96
Έλλειμμα αρδ. ζήτησης Διστόμου (hm ³)	0.71	0.80	1.27	0.64	0.62	0.24	0.23
Υδρ. απόληψη από Βασιλικά-Παρόρι (hm ³)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.14	5.14

Πίνακας 8.11: Σχέση ετήσιας υδρευτικής ζήτησης, αξιοπιστίας, μέσης ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας και μέσου ετήσιου κόστους άντλησης.

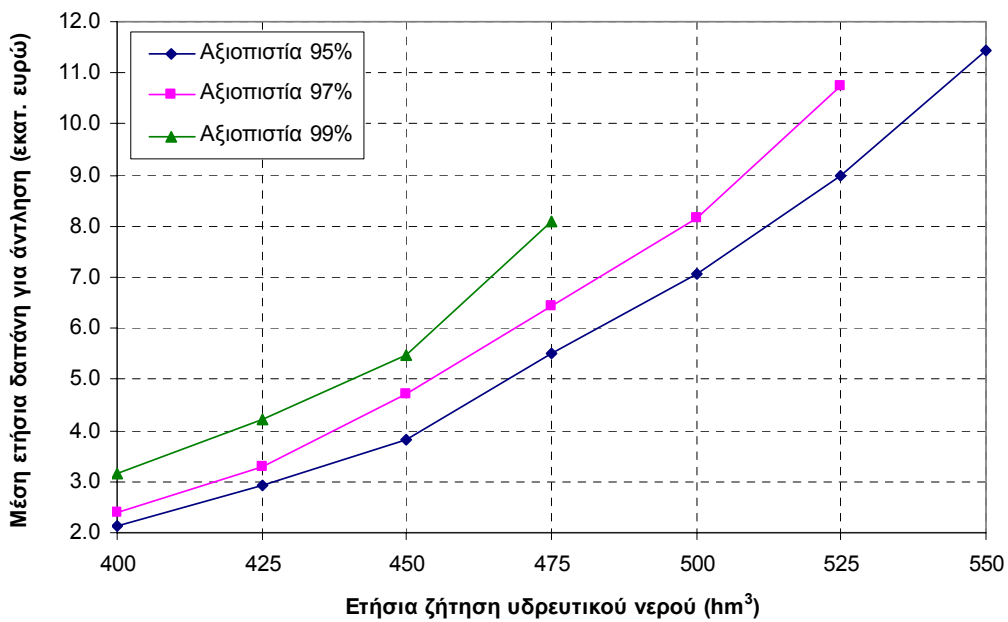
Ζήτηση (hm ³)	Αξιοπιστία 99%		Αξιοπιστία 97%		Αξιοπιστία 95%	
	Ενέργεια (GWh)	Κόστος (Μ€)	Ενέργεια (GWh)	Κόστος (Μ€)	Ενέργεια (GWh)	Κόστος (Μ€)
400	50.352	3.146	34.860	2.388	28.824	2.117
425	66.708	4.212	49.536	3.287	42.660	2.925
450	86.388	5.486	75.924	4.725	59.676	3.833
475	125.808	8.098	100.764	6.422	82.608	5.517
500			125.592	8.160	112.572	7.067
525			166.212	10.749	140.544	8.982
550					181.440	11.425

Πίνακας 8.12: Σχέση ζήτησης, αξιοπιστίας και μοναδιαίου κόστους άντλησης (σε 0.01 €/m³), με βάση την ετήσια υδρευτική ζήτηση της Αθήνας και τη συνολική ζήτηση από το σύστημα.

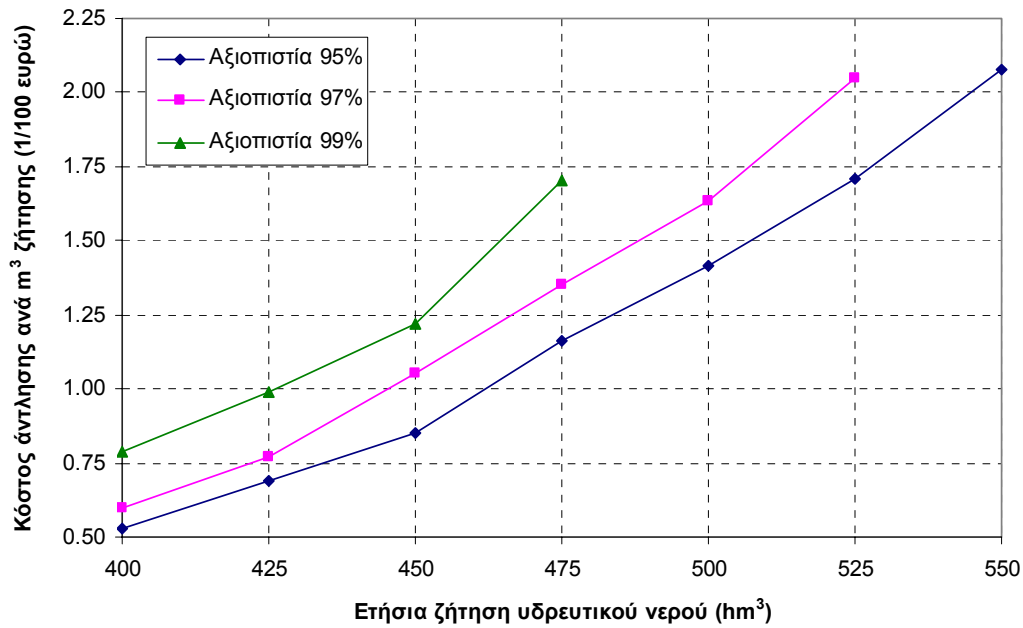
Ζήτηση (hm ³)	Αξιοπιστία 99%		Αξιοπιστία 97%		Αξιοπιστία 95%	
	Κόστος Αθήνας	Συνολικό κόστος	Κόστος Αθήνας	Συνολικό κόστος	Κόστος Αθήνας	Συνολικό κόστος
400	0.79	0.76	0.60	0.57	0.53	0.51
425	0.99	0.95	0.77	0.74	0.69	0.66
450	1.22	1.18	1.05	1.01	0.85	0.82
475	1.70	1.65	1.35	1.31	1.16	1.12
500			1.63	1.58	1.41	1.37
525			2.05	1.98	1.71	1.66
550					2.08	2.02



Σχήμα 8.5: Σχέση μέσης ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας και ετήσιας υδρευτικής ζήτησης στην Αθήνα, για διάφορα επίπεδα αξιοπιστίας (μελλοντικό δίκτυο).



Σχήμα 8.6: Σχέση μέσης ετήσιας ενεργειακής δαπάνης και ετήσιας υδρευτικής ζήτησης στην Αθήνα, για διάφορα επίπεδα αξιοπιστίας (μελλοντικό δίκτυο).



Σχήμα 8.7: Σχέση μοναδιαίου ενεργειακού κόστους και ετήσιας υδρευτικής ζήτησης στην Αθήνα, για διάφορα επίπεδα αξιοπιστίας (μελλοντικό δίκτυο).

Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι, για ετήσια υδρευτική ζήτηση 400 hm³ και επίπεδο αξιοπιστίας 99%, ενώ στο υφιστάμενο δίκτυο απαιτείται μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας 71.7 GWh, που συνεπάγεται ετήσιος κόστος αντλήσεων 6.06 εκατ. €, για το μελλοντικό δίκτυο θα απαιτούνται 50.3 GWh, γεγονός που συνεπάγεται μείωση του ετήσιου κόστους ενέργειας στα 3.15 εκατ. €, ήτοι περικοπή των σχετικών εξόδων κατά 50%. Η μεγαλύτερη μείωση του ετήσιου κόστους άντλησης σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας εξηγείται από τη δυνατότητα χρήσης λιγότερο δαπανηρών έργων, αλλά και τη μείωση της συχνότητας χρήσης των ενεργοβόρων διαδρομών, που συμβάλλει ουσιαστικά στον περιορισμό του πάγιου κόστους ενεργοποίησης των αντλιοστασίων.

Το σημαντικό αυτό πλεονέκτημα αποτυπώνεται και στα μοναδιαία κόστη (σύγκριση Πινάκων 8.7 και 8.12), απ' όπου προκύπτει ότι, με την ίδια τιμή κόστους ενέργειας, θα μπορούν να δοθούν 50-60 hm³ παραπάνω στο αναβαθμισμένο δίκτυο, σε σχέση με το υφιστάμενο δίκτυο.

9 Σύνοψη και συμπεράσματα

9.1 Σύνοψη μεγεθών χρηματοοικονομικού κόστους

Για το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, το ετήσιο ισοδύναμο κόστος των παγίων υπολογίστηκε σε 32 560 208 €, με βάση τις αποσβέσεις του 1999 οπότε μεταβιβάστηκαν τα πάγια από την ΕΥΔΑΠ, με το Νόμο 2744/25/10-99. Το σταθερό (χωρίς το κόστος ενέργειας) ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος, που περιλαμβάνει τις αντίστοιχες υπηρεσίες της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. (δαπάνες προσωπικού, ενοίκια, συντήρηση έργων, κτλ.), υπολογίστηκε σε 21 847 074 €, με βάση τον μέσο όρο των ετών 2008 και 2009.

Στα λειτουργικά έξοδα προστίθεται το κόστος ενέργειας, λόγω των αντλήσεων, το οποίο ωστόσο δεν είναι σταθερό αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με τις υδρολογικές συνθήκες, τα αποθέματα νερού, τη ζήτηση και τη διαχειριστική πολιτική που εφαρμόζεται. Για τον λόγο αυτό, το κόστος ενέργειας εκτιμήθηκε με χρήση του μοντέλου Υδρονομίας, και εκτιμήθηκε, σε μέση ετήσια κλίμακα, το κόστος άντλησης για διάφορα σενάρια διατάξεων δικτύου, ζήτησης και αξιοπιστίας. Το κόστος αυτό προέκυψε μέσω στοχαστικής προσομοίωσης, ήτοι αναπαράστασης της λειτουργίας του συστήματος για συνθετικές χρονοσειρές εισροών μήκους 2000 ετών. Η διαχειριστική πολιτική κάθε σεναρίου διατυπώθηκε με τη μορφή κανόνων λειτουργίας ταμιευτήρων και γεωτρήσεων, που προέκυψαν μέσω βελτιστοποίησης. Συγκεκριμένα, για κάθε σενάριο δικτύου και ζήτησης αναζητήθηκαν οι κανόνες λειτουργίας που εξασφαλίζουν το επιδιωκόμενο επίπεδο αξιοπιστίας (99, 97 και 95%), με την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας.

Τα συνολικά αποτελέσματα του χρηματοοικονομικού σκέλους της μελέτης παρουσιάζονται στη συνέχεια υπό το πρίσμα των δύο βασικών σεναρίων διατάξεων δικτύου που μελετήθηκαν, ήτοι: (α) το υφιστάμενο δίκτυο, και (β) ένα υποθετικό (αλλά ρεαλιστικό) αναβαθμισμένο δίκτυο.

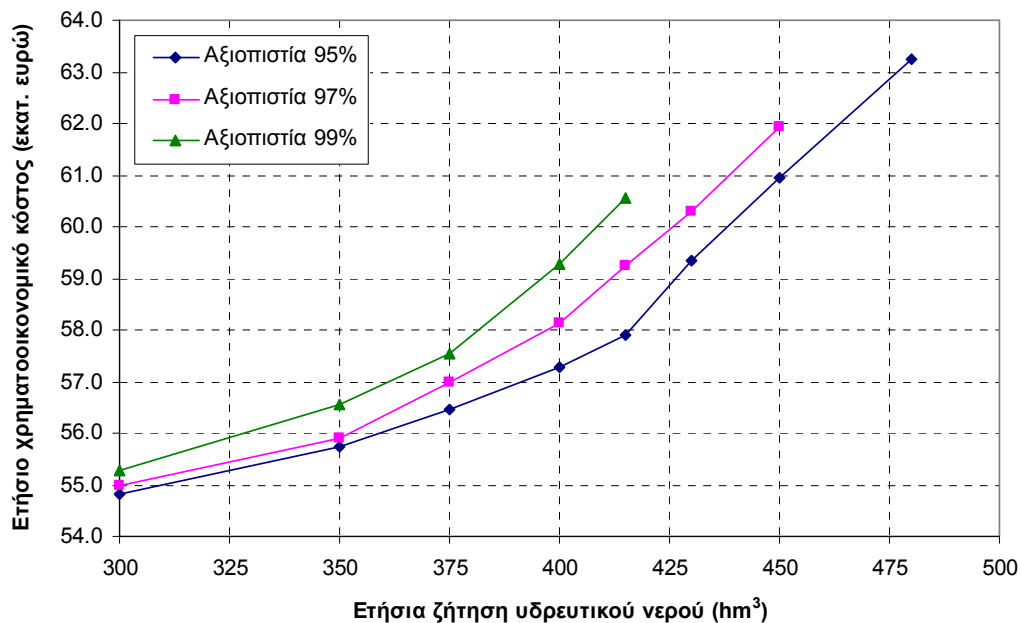
9.2 Τελικά χρηματοοικονομικά μεγέθη για διάφορες διατάξεις δικτύου

9.2.1 Σενάριο υφιστάμενου δικτύου

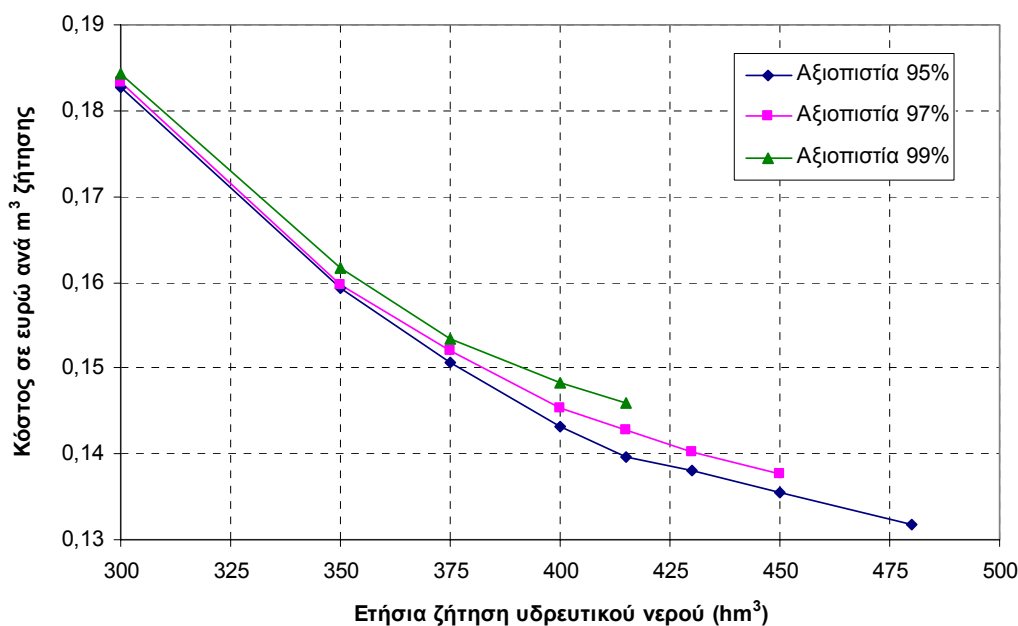
Το συνολικό χρηματοοικονομικό κόστος του αδιύλιστου νερού, σε απόλυτες τιμές αλλά και σε μορφή κόστους ανά m^3 ζήτησης, το οποίο περιλαμβάνει τις αποσβέσεις των παγίων, τα πάγια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης και τις δαπάνες λόγω άντλησης, για τα σενάρια ζήτησης και αξιοπιστίας που εξετάστηκαν, δίνεται στον Πίνακα 9.1. Τα εν λόγω μεγέθη απεικονίζονται γραφικά, συναρτήσει της ζήτησης νερού στην Αθήνα, στα Σχήματα 8.1 και 8.2.

Πίνακας 9.1: Συνολικό χρηματοοικονομικό κόστος αδιύλιστου νερού, σε απόλυτες τιμές και σε τιμές κόστους ανά m³ ζήτησης για διάφορες τιμές αξιοπιστίας και ζήτησης: υφιστάμενο δίκτυο.

Ζήτηση (hm ³)	Αξιοπιστία 99%		Αξιοπιστία 97%		Αξιοπιστία 95%	
	Συνολικό κόστος (Μ€)	Μοναδιαίο κόστος (€/m ³)	Συνολικό κόστος (Μ€)	Μοναδιαίο κόστος (€/m ³)	Συνολικό κόστος (Μ€)	Μοναδιαίο κόστος (€/m ³)
300	55.282	0.184	54.977	0.183	54.812	0.183
350	56.571	0.162	55.906	0.160	55.730	0.159
375	57.536	0.153	56.982	0.152	56.464	0.151
400	59.287	0.148	58.140	0.145	57.281	0.143
415	60.562	0.146	59.246	0.143	57.916	0.140
430			60.297	0.140	59.342	0.138
450			61.926	0.138	60.935	0.135
480					63.248	0.132



Σχήμα 9.1: Μέσο ετήσιο χρηματοοικονομικό κόστος σε σχέση με την ετήσια υδρευτική ζήτηση στην Αθήνα, για διάφορα επίπεδα αξιοπιστίας (υφιστάμενο δίκτυο).



Σχήμα 9.2: Συνολικό χρηματοοικονομικό κόστος αδιύλιστου νερού Αθήνας σε ευρώ ανά m³ υδρευτικής ζήτησης (υφιστάμενο δίκτυο).

Από τις αναλύσεις προκύπτει ότι η διακύμανση του ετήσιου χρηματοοικονομικού κόστους είναι σχετικά μικρή σε σύγκριση με τη διακύμανση της ζήτησης. Συγκεκριμένα, το κόστος αυξάνει από περίπου 55 σε 63 εκατ. €, για αύξηση της ζήτησης από 350 στα 450 hm³. Αυτό συμβαίνει επειδή το μεγαλύτερο μέρος του προέρχεται από τις αποσβέσεις των παγίων και τα σταθερά έξοδα λειτουργίας και συντήρησης, τα οποία μάλιστα είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους (32 560 208 και 21 847 074 €, αντίστοιχα). Συνεπώς, η εφαρμογή μιας κατά το δυνατό πιο συντηρητικής πολιτικής διαχείρισης του συστήματος, με διατήρηση του επιπέδου αξιοπιστίας στο 99%, αν και προϋποθέτει αυξημένη χρήση της Υλίκης και των γεωτρήσεων και, συνακόλουθα, μεγαλύτερο κόστος άντλησης, τελικά δεν επιβαρύνει παρά ελάχιστα το τελικό κόστος του αδιύλιστου νερού, ανηγμένο ανά m³ ζήτησης. Η παρατήρηση αυτή έχει ουσιαστική σημασία, δεδομένου ότι η παρούσα ζήτηση των 415 hm³ αποτελεί άνω όριο ασφαλούς απόληψης, για το συγκεκριμένο επίπεδο αξιοπιστίας.

Συμπερασματικά, το ετήσιο χρηματοοικονομικό κόστος του αδιύλιστου νερού της Αθήνας, για το υφιστάμενο δίκτυο, εκτιμάται σε 0.15 €/m³, με την υπόθεση σταθερής ετήσιας ζήτησης 415 hm³ και αξιοπιστίας 99%. Τα βασικά μεγέθη της διαχειριστικής πολιτικής που εξασφαλίζουν την παραπάνω αξιοπιστία (λειτουργία γεωτρήσεων, ετήσια εκροή από Μόρνο, Υλίκη και γεωτρήσεις, ενεργειακή κατανάλωση και κόστος άντλησης) δίνονται στον Πίνακα 8.3.

9.2.2 Σενάριο μελλοντικής αναβάθμισης δικτύου

Για τον υπολογισμό του χρηματοοικονομικού κόστους του αδιύλιστου νερού που αντιστοιχεί στο αναβαθμισμένο δίκτυο, γίνονται οι εξής δύο παραδοχές:

- το πάγιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης για την ΕΥΔΑΠ δεν μεταβάλλεται
- το κόστος των επενδύσεων των έργων/επεμβάσεων που λαμβάνονται υπόψη (Πίνακας 8.1) είναι της τάξης των 80 000 000 €, με αντίστοιχο ισοδύναμο ετήσιο κόστος 4 300 000 €.

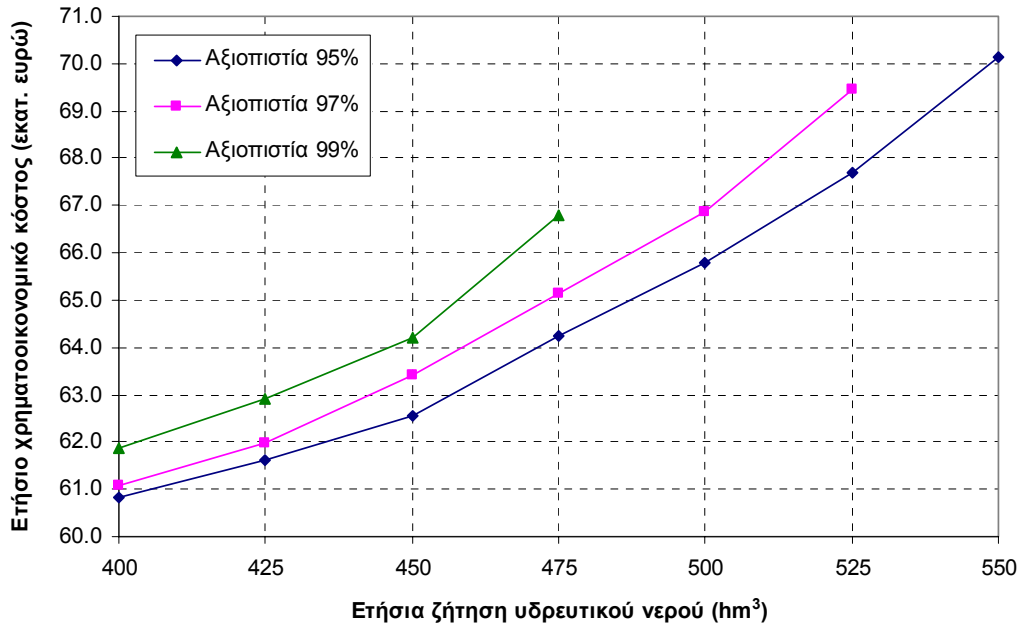
Υπενθυμίζεται ότι στο αναβαθμισμένο δίκτυο προβλέπονται οι εξής επεμβάσεις: (α) αύξηση της παροχαρακτηριστικότητας του του υδραγωγείου Μόρνου, στο τμήμα του κατόντη του Μεριστή Κιθαιρώνα, (β) αύξηση της παροχαρακτηριστικότητας τμημάτων του υδραγωγείου Υλίκης, (γ) αποκατάσταση της

αμφίδρομης λειτουργίας του ενωτικού υδραγωγείου, και (δ) περιορισμός των απωλειών νερού στα εξωτερικά υδραγωγεία στα επίπεδα του 5%, έναντι 10% σήμερα. Οι αναβαθμίσεις αυτές επιλέχθηκαν ως οι πιο προφανείς για την αναβάθμιση του δικτύου, και αποτελούν μέρος έργων τα οποία έχουν ήδη μελετηθεί και εξεταστεί κατά το παρελθόν από την ΕΥΔΑΠ και το Υπουργείο Υποδομών και Δικτύων. Στο σενάριο αυτό, το ετήσιο ισοδύναμο κόστος παγίων προσαυξάνεται κατά 4 300 000 €, φτάνοντας στα 36 860 208 €/έτος. Το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης λαμβάνεται, όπως και για το υφιστάμενο δίκτυο, ίσο με 21 847 074 €, ενώ το ενεργειακό κόστος, το οποίο μεταβάλλεται χρονικά, εκτιμάται σε μέση ετήσια βάση, για διάφορα σενάρια ζήτησης και αξιοπιστίας.

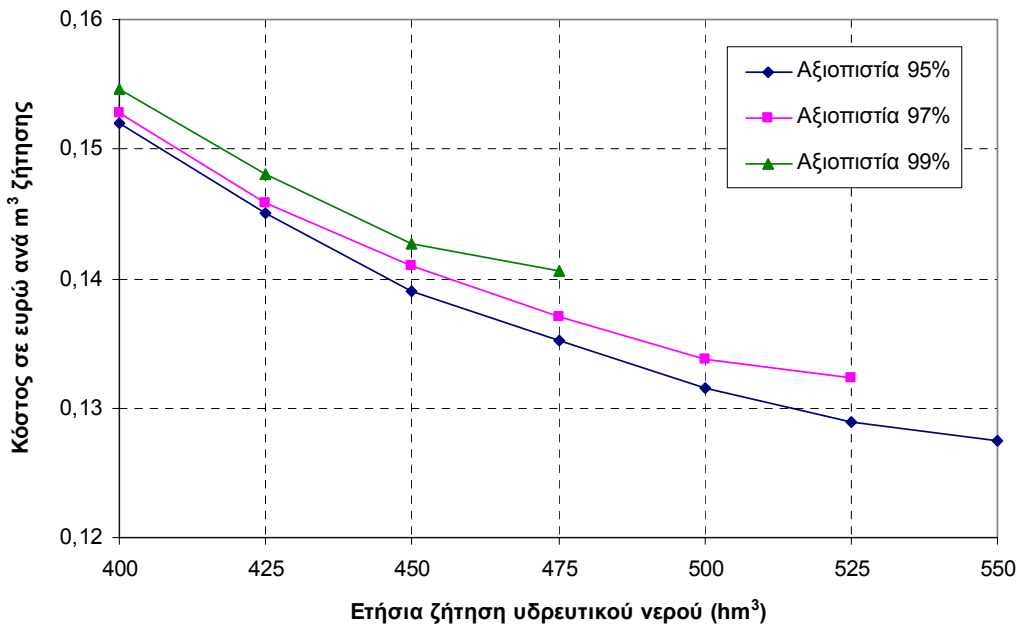
Το συνολικό χρηματοοικονομικό κόστος του αδιύλιστου νερού, σε απόλυτες τιμές αλλά και σε μορφή κόστους ανά m^3 ζήτησης, για τα σενάρια ζήτησης και αξιοπιστίας που εξετάστηκαν και αφορούν στο αναβαθμισμένο δίκτυο, δίνεται στον Πίνακα 9.2. Τα μεγέθη απεικονίζονται γραφικά, συναρτήσει της ζήτησης νερού στην Αθήνα, στα Σχήματα 8.3 και 8.4.

Πίνακας 9.2: Συνολικό χρηματοοικονομικό κόστος αδιύλιστου νερού, σε απόλυτες τιμές και σε τιμές κόστους ανά m^3 ζήτησης για διάφορες τιμές αξιοπιστίας και ζήτησης: μελλοντικό αναβαθμισμένο δίκτυο.

Ζήτηση (hm^3)	Αξιοπιστία 99%		Αξιοπιστία 97%		Αξιοπιστία 95%	
	Συνολικό κόστος (Μ€)	Μοναδιαίο κόστος (€/m ³)	Συνολικό κόστος (Μ€)	Μοναδιαίο κόστος (€/m ³)	Συνολικό κόστος (Μ€)	Μοναδιαίο κόστος (€/m ³)
400	61.853	0.155	61.096	0.153	60.825	0.152
425	62.919	0.148	61.994	0.146	61.633	0.145
450	64.193	0.143	63.432	0.141	62.540	0.139
475	66.805	0.141	65.129	0.137	64.224	0.135
500			66.867	0.134	65.775	0.132
525			69.457	0.132	67.690	0.129
550					70.133	0.128



Σχήμα 9.3: Μέσο ετήσιο χρηματοοικονομικό κόστος σε σχέση με την ετήσια υδρευτική ζήτηση στην Αθήνα, για διάφορα επίπεδα αξιοπιστίας (μελλοντικό δίκτυο).



Σχήμα 9.4: Συνολικό χρηματοοικονομικό κόστος αδιύλιστου νερού Αθήνας σε ευρώ ανά m³ υδρευτικής ζήτησης (μελλοντικό δίκτυο).

Παρατηρείται ότι η επιβάρυνση ανά m³ λόγω των νέων επενδύσεων είναι της τάξης του 0.03 €/m³, που οφείλεται στο αυξημένο κόστος αποσβέσεων. Ωστόσο, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι με το προτεινόμενο σχήμα έργων επιτυγχάνονται πολλαπλά οφέλη, καθώς τα σημερινά επίπεδα ζήτησης (415 hm³) θα μπορούν να καλυφθούν με σημαντικά μειωμένο κόστος αντλήσεων, διατηρώντας την αξιοπιστία στα επιθυμητά επίπεδα του 99%. Ακόμη, με τα νέα έργα θα δοθεί περιθώριο στο ασφυκτικό σήμερα ανώτατο όριο του συστήματος, που δεν επιτρέπει αύξηση της κατανάλωσης χωρίς περιορισμό της αξιοπιστίας, ενώ θα ήταν εφικτή η υλοποίηση πιθανών αναπτυξιακών σχεδίων της

ΕΥΔΑΠ για επέκταση των υδροδοτούμενων περιοχών, δεδομένου ότι η ασφαλής απόληψη του συστήματος για αξιοπιστία 99% αυξάνει από τα σημερινά επίπεδα των 415 hm³ στα 475 hm³.

Τέλος, δεν πρέπει να παραβλεφθεί το γεγονός ότι τα νέα έργα, και ειδικότερα η αποκατάσταση της αμφίδρομης λειτουργίας του ενωτικού υδραγωγείου, θωρακίζουν το σύστημα έναντι έκτακτων περιστατικών, επιτρέποντας την απρόσκοπτη λειτουργία του ακόμα και σε περίπτωση πολύμηνης βλάβης του υδραγωγείου Μόρνου, στο τμήμα ανάντη του Μεριστή Κιθαιρώνα.

Αναφορές

- ΕΥΔΑΠ, *Διαχειριστικό Σχέδιο Ύδρευσης* (μετάφραση από το αγγλικό πρωτότυπο), Τεχνική υποστήριξη: Knight Piésold, Αθήνα, 1996.
- ΕΥΔΑΠ, *Ετήσιος Απολογισμός & Ετήσιο Δελτίο 2009*, 150 σελίδες, Γαλάτσι, Μάιος 2009.
- Ευστρατιάδης, Α., Γ. Καραβοκυρός, και Δ. Κουτσογιάννης, Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης της διαχείρισης υδατικών συστημάτων «ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ», *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)*, Ανάδοχος: ΝΑΜΑ Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές Α.Ε., Τεύχος 9, 91 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιανουάριος 2007.
- Ευστρατιάδης, Α., Γ. Καραβοκυρός, και Ν. Μαμάσης, *Σχέδιο διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας – Έτος 2009, Συντήρηση, αναβάθμιση και επέκταση του Συστήματος Υποστηρίξης Αποφάσεων για την διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της ΕΥΔΑΠ*, Τεύχος 1, 116 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Απρίλιος 2009.
- Ευστρατιάδης, Α., και Δ. Κουτσογιάννης, *Κασταλία (έκδοση 2.0) - Σύστημα στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών μεταβλητών, Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, Τεύχος 23, 103 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιανουάριος 2004.
- Ευστρατιάδης, Α., *Μη γραμμικές μέθοδοι σε πολυκριτηριακά προβλήματα βελτιστοποίησης υδατικών πόρων, με έμφαση στη βαθμονόμηση υδρολογικών μοντέλων*, Διδακτορική διατριβή, 391 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Φεβρουάριος 2008.
- Καραβοκυρός, Γ., Α. Ευστρατιάδης, και Δ. Κουτσογιάννης, *Υδρονομείας (έκδοση 3.2) - Σύστημα υποστηρίξης της διαχείρισης των υδατικών πόρων, Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, Τεύχος 24, 142 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιανουάριος 2004.
- Κουτσογιάννης, Δ., Α. Ευστρατιάδης, Γ. Καραβοκυρός, Α. Κουκουβίνος, Ν. Μαμάσης, Ι. Ναλμπάντης, Ε. Ρόζος, Χ. Καρόπουλος, Α. Νασίκας, Ε. Νεστορίδου, και Α. Νικολόπουλος, *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, 215 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Δεκέμβριος 2002.
- Νασίκας, Α., *Σενάρια λειτουργίας θέρους 2004 κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών Αγώνων*, Εσωτερικό έγγραφο ΕΥΔΑΠ, Σεπτέμβριος 2003.
- ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΔΑΠ, *Σύμβαση μεταξύ του Ελληνικού Δημοσίου και της ΕΥΔΑΠ*, Αθήνα, 1999.

- Chow, V. T., Maidment, D. R., and Mays, L. W., *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York, 1988.
- Efstratiadis, A., and D. Koutsoyiannis, An evolutionary annealing-simplex algorithm for global optimisation of water resource systems, *Proceedings of the 5th International Conference on Hydroinformatics*, Cardiff, UK, July 2002, International Association of Hydraulic Research, International Water Association, International Association of Hydrological Sciences, 2002.
- Efstratiadis, A., D. Koutsoyiannis, and D. Xenos, Minimising water cost in the water resource management of Athens, *Urban Water Journal*, 1 (1), 3–15, 2004.
- Koutsoyiannis, D., A. Efstratiadis, and G. Karavokiros, A decision support tool for the management of multi-reservoir systems, *Journal of the American Water Resources Association*, 38(4), 945-958, 2002.
- Koutsoyiannis, D., and A. Economou, Evaluation of the parameterization-simulation-optimization approach for the control of reservoir systems, *Water Resources Research*, 39 (6), 1170, 2003.
- Koutsoyiannis, D., and A. Manetas, Simple disaggregation by accurate adjusting procedures, *Water Resources Research*, 32(7), 2105-2117, 1996.
- Koutsoyiannis, D., A generalized mathematical framework for stochastic simulation and forecast of hydrologic time series, *Water Resources Research*, 36(6), 1519-1533, 2000.
- Koutsoyiannis, D., Climate change, the Hurst phenomenon, and hydrological statistics, *Hydrological Sciences Journal*, 48 (1), 3–24, 2003.
- Koutsoyiannis, D., Reliability concepts in reservoir design, *The Encyclopedia of Water*, edited by J. H. Lehr, New York, 2004a.
- Koutsoyiannis, D., Coupling stochastic models of different time scales, *Water Resources Research*, 37(2), 379-392, 2001.
- Koutsoyiannis, D., G. Karavokiros, A. Efstratiadis, N. Mamassis, A. Koukouvinos, and A. Christofides, A decision support system for the management of the water resource system of Athens, *Physics and Chemistry of the Earth*, 28 (14-15), 599–609, 2003.
- Koutsoyiannis, D., Hydrologic persistence and the Hurst phenomenon, *Water Encyclopedia*, Vol. 4, Surface and Agricultural Water, edited by J. H. Lehr and J. Keeley, 210–221, Wiley, NY, 2005.
- Koutsoyiannis, D., Hurst-Kolmogorov dynamics and uncertainty, *Journal of the American Water Resources Association*, 2010, (in press).
- Koutsoyiannis, D., Optimal decomposition of covariance matrices for multivariate stochastic models in hydrology, *Water Resources Research*, 35(4), 1219-1229, 1999.
- Koutsoyiannis, D., The Hurst phenomenon and fractional Gaussian noise made easy, *Hydrological Sciences Journal*, 47(4), 573-595, 2002.
- Makropoulos, C., Memon, F.A., Shirley-Smith, C., and Butler D. 2008. Futures: an exploration of scenarios for sustainable urban water management. *Water Policy* 10(4), 345–373
- Makropoulos, C. K. and D. Butler (2010). Distributed Water Infrastructure for Sustainable Communities, *Water Resources Management* 24(11), 2795-2816
- Nalbantis, I., and D. Koutsoyiannis, A parametric rule for planning and management of multiple reservoir systems, *Water Resources Research*, 33(9), 2165-2177, 1997.
- Sullivan, W., E. Wicks, and J. Luxhoj, *Engineering Economy*, 13th edition, 214 p., Pearson Education, Upper Saddle River, New Jersey, 2006.