

**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 1**

**Μεθοδολογία εκτίμησης  
χρηματοοικονομικού κόστους**

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

**Αθήνα, Ιούλιος 2010**

# Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή</b>	<b>4</b>
1.1	Αντικείμενο της μελέτης – Ιστορικό .....	4
1.2	Ομάδα μελέτης .....	4
<b>2</b>	<b>Υδροδοτικό σύστημα Αθήνας</b>	<b>5</b>
2.1	Ορισμός περιοχής μελέτης .....	5
2.2	Υδατικοί πόροι .....	6
2.2.1	Ταμειυτήρες .....	6
2.2.2	Υπόγειοι υδροφορείς - Γεωτρήσεις .....	7
2.3	Έργα μεταφοράς .....	7
2.3.1	Υδραγωγεία .....	7
2.3.2	Αντλιοστάσια .....	8
2.4	Μονάδες επεξεργασίας νερού .....	9
2.5	Μικρά υδροηλεκτρικά έργα .....	9
<b>3</b>	<b>Θεσμικό πλαίσιο λειτουργίας του συστήματος</b>	<b>11</b>
3.1	Νόμος 2744/1999 .....	11
3.2	Η σύμβαση μεταξύ του Ελληνικού Δημοσίου και της ΕΥΔΑΠ .....	13
<b>4</b>	<b>Γενική θεώρηση χρηματοοικονομικού κόστους νερού</b>	<b>15</b>
4.1	Γενικές αρχές κοστολόγησης του νερού .....	15
4.2	Η έννοια του χρηματοοικονομικού κόστους νερού .....	16
4.3	Ανάλυση συνιστωσών χρηματοοικονομικού κόστους .....	18
4.3.1	Κεφαλαιουχικά κόστη .....	18
4.3.2	Κόστη λειτουργίας .....	19
4.4	Περίοδος προγραμματισμού .....	20
4.5	Στοιχεία αβεβαιότητας στον υπολογισμό του κόστους .....	21
4.5.1	Προσφορά νερού .....	21
4.5.2	Τεχνικά έργα .....	21
4.5.3	Ζήτηση νερού .....	21
4.5.4	Οικονομικές αβεβαιότητες .....	22
<b>5</b>	<b>Προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο</b>	<b>24</b>
5.1	Τοποθέτηση του προβλήματος .....	24
5.1.1	Εναλλακτικές πολιτικές διαχείρισης του υδροσυστήματος .....	24
5.1.2	Παράγοντες αβεβαιότητας στη λήψη των αποφάσεων .....	25
5.1.3	Περιορισμοί στη διαχείριση του συστήματος .....	25
5.1.4	Διαχωρισμός συνιστωσών κόστους .....	26

5.2	Κεφαλαιουχικά κόστη .....	26
5.2.1	Αποσβέσεις παγίων .....	26
5.2.2	Επενδύσεις .....	27
5.3	Κόστη λειτουργίας και συντήρησης .....	27
5.4	Διατύπωση διαχειριστικών σεναρίων και εκτίμηση κόστους ενέργειας .....	28
5.4.1	Μεθοδολογικό πλαίσιο εκτίμησης ενεργειακού κόστους .....	28
5.4.2	Βελτιστοποίηση της διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος με το λογισμικό Υδρονομέας .....	28
5.4.3	Γέννηση συνθετικών υδρολογικών σεναρίων με το λογισμικό Κασταλία.....	32
5.4.4	Διατύπωση σεναρίων υδρευτικής ζήτησης .....	33
<b>6</b>	<b>Σύνοψη μεθοδολογίας</b>	<b>35</b>
	<b>Αναφορές</b>	<b>37</b>

# 1 Εισαγωγή

---

## 1.1 Αντικείμενο της μελέτης – Ιστορικό

Η Διεύθυνση Δ6/Γ.Γ.Δ.Ε του Υπουργείου Μεταφορών Υποδομών και Δικτύων 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
- Νίκος Μαμάσης, Λέκτορας ΕΜΠ
- Δημήτρης Δαμίγος, Λέκτορας ΕΜΠ
- Ανδρέας Ευστρατιάδης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ
- Αντώνης Κουκουβίνος, Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ, MSc
- Νικόλαος Χαλκιάς, Περιβαλλοντολόγος Παν/μίου Αιγαίου, MSc

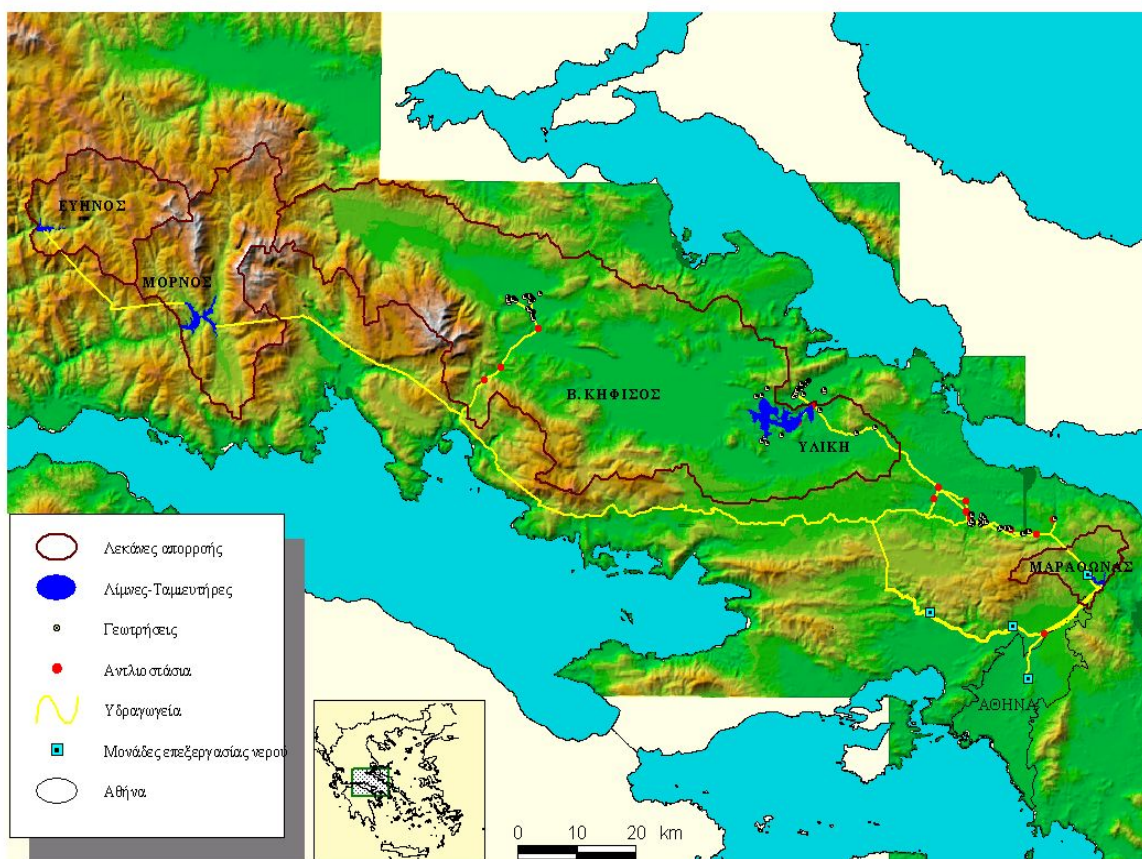
## 2 Υδροδοτικό σύστημα Αθήνας

### 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 Εύηνου 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.

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 <sup>2</sup> )	Μέση ετήσια απορροή (hm <sup>3</sup> )
Μόρνου (ανάντη φράγματος)	588.1	234.1
Εύηνου (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 (hm <sup>3</sup> )	Μέγιστη ετήσια (hm <sup>3</sup> )
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 <sup>2</sup> )	Ολική χωρητικότητα (hm <sup>3</sup> )	Ωφέλιμη χωρητικότητα (hm <sup>3</sup> )	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 <sup>(2)</sup>	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 ονομαστική αντλητική ικανότητα περίπου 390 000 m<sup>3</sup>/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 <sup>3</sup> )
Μέσου ρου Β. Κηφισού	16	25
Υλίκης	33	20
Β.Α. Πάρνηθας	34	43

Πίνακας 2.5: Ομάδες γεωτρήσεων.

Όνομα	Πλήθος γεωτρήσεων	Εγκαταστημένη ισχύς (Hp)	Υφιστάμενη αντλητική ικανότητα (× 1000 m <sup>3</sup> /d)
<b>Β.Α. ΠΑΡΝΗΘΑΣ</b>			
Μαυροσουβάλας	20	6110	120
Βίλιζας (10 <sup>ου</sup> Σίφωνα)	7	1740	23
No 3	4	760	13
<b>ΥΛΙΚΗΣ</b>			
Ούγγρων	11	1800	60
Ν.Δ. Υλίκης	14	2450	70
<b>ΜΕΣΟΥ ΡΟΥ Β. ΚΗΦΙΣΟΥ</b>			
Βασιλικών-Παρορίου	16	4500	100

## 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 συνολικά μήκη 310.7 km, 104.7 km και 80.1 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)
<b>ΚΥΡΙΑ</b>					
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
<b>ΕΝΩΤΙΚΑ</b>					
Κιούρκων-Μενιδίου				21655	21650
Μαραθώνα (Μόρνος- Βίλιζα)	5720	2680		9450	17850
Διστόμου (Κωπαΐδα- Μόρνος)				19000	19000
Δαύλειας-Υλίκης	14000			26800	40800
Κρεμμάδας-Κλειδιού		2500		2850	5350
<b>ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ</b>					
Παράκαμψη Φ900 Βίλιζας				12700	1270
Παράκαμψη Φ 1900				1400	1400
Μαλακάσας					
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
<b>ΣΥΝΟΛΑ</b>	<b>160958</b>	<b>25015</b>	<b>127810</b>	<b>135954</b>	<b>438310</b>

### 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 71.0-78.5 m ενώ για στάθμες από 44.0-71.0 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 του 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 ( $\times 1000 \text{ m}^3/\text{d}$ )
Υλίκης - Κεντρικό	17300	560
Βίλιζας	10000	490
ΑΔ1 - Δαύλειας	7700	210
ΑΔ2	7700	210
ΑΔ3	7700	210
Κρεμμάδας	1800	310
Ασωπού	9840	310
Υλίκης - 7η μονάδα	3600	110
Υλίκης - Πλωτά	4880	700
No3 - Αυλώνα	3440	150
No4 - Σφενδάλης	1000	340
Αγ. Θωμά (ανενεργό)	4940	110
Κιούρκων - Αδιύλιστου	3500	300
Κιούρκων - Διυλισμένου	8480	210
Μαρκόπουλου	2340	42
Χελιδονούς	3440	200

## 2.4 Μονάδες επεξεργασίας νερού

Οι μονάδες επεξεργασίας νερού (MEN) είναι τέσσερις, με χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.8.

Επιπλέον, λειτουργούν έξι μικρές μονάδες επεξεργασίας για την ύδρευση 14 δήμων κατά μήκος του υδραγωγείου Μόρνου. Η ύδρευση γίνεται με δίκτυο κλειστών αγωγών μήκους 50 km.

Πίνακας 2.8: Εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού και χαρακτηριστικά τους μεγέθη.

Όνομα	Υψόμετρο εγκατάστασης (m)	Μέγιστη επεξεργασία 1996-2008 ( $\text{hm}^3/\text{d}$ )	Επεξεργασία αιχμής ( $\text{hm}^3/\text{d}$ )	Αποθηκευτική ικανότητα ( $\text{hm}^3/\text{d}$ )
Γαλατσίου	+159	0.600	0.700	0.215
Μενιδίου	+232	0.678	0.800	0.280
Κιούρκων	+248	0.239	0.310	0.060
Μάνδρας	+232	0.200	0.215	0.050
Σύνολο		1.540	2.025	0.590

## 2.5 Μικρά υδροηλεκτρικά έργα

Πρόκειται για 6 υδροηλεκτρικά έργα που φαίνονται στον Πίνακα 2.11. Τα υδροηλεκτρικά Κίρφης, Ελικώνα, Κιθαιρώνα και Μάνδρας έχουν περατωθεί και λειτουργούν, ενώ έχει ολοκληρωθεί η κατασκευή του ΥΗΣ Κλειδιού, χωρίς να είναι δυνατή η λειτουργία του λόγω των σοβαρών προβλημάτων του ενωτικού υδραγωγείου Δαφνούλας-Κλειδιού. Τέλος, έχει ξεκινήσει η κατασκευή του ΥΗΣ Ευήνου.

Πίνακας 2.11: Μικρά υδροηλεκτρικά έργα.

Όνομα σταθμού	Ισχύς (kW)	Ενέργεια (GWh/έτος)
Κίρφη	800	8.5
Ελικώνας	700	5.6
Κιθαιρώνας	1240	10
Κλειδί	500	2.2
Μάνδρα	450	4.9
Εύηνος	820	6.5

### 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 διυλιστήρια και μίας ανώνυμης εταιρείας, της ΕΥΔΑΠ Α.Ε., που έχει την ευθύνη για την επεξεργασία και τη διανομή του νερού μετά τα διυλιστήρια.

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, αποθηκείσεως, μεταφοράς, επεξεργασίας, διανομής και διαχειρίσεως ύδατος πάσης χρήσεως, και β) της συλλογής, μεταφοράς, επεξεργασίας, αποθηκείσεως, 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) άντλήσεως, συλλογής, αφαλατώσεως, αποθηκείσεως, μεταφοράς, επεξεργασίας, διανομής και διαχειρίσεως ύδατος πάσης*

χρήσεως και β) της συλλογής, μεταφοράς, επεξεργασίας, αποθηκείσεως, 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, συμφιλιώνεται 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 συμφιλιζόμενο 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 συμφιλιζόμενου κόστους συντήρησης.*

*Στο ως άνω συμφιλιζόμενο 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 Γενική θεώρηση χρηματοοικονομικού κόστους νερού

---

### 4.1 Γενικές αρχές κοστολόγησης του νερού

Η κοστολόγηση του νερού αποτελεί ένα οικονομικό εργαλείο για την αποτελεσματική χρήση του. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διαχείριση της ζήτησης μέσω παροχής κινήτρων, τη διασφάλιση της απόσβεσης των επενδύσεων, αλλά και την επισήμανση στους καταναλωτές των επιπτώσεων από την ανάγκη επιπλέον επενδύσεων (GWP, 2000).

Σύμφωνα με τη GWP (2000): «η μεταχείριση του νερού ως οικονομικό αγαθό μπορεί να βοηθήσει να ισορροπήσει η προσφορά και η ζήτηση του νερού [...]. Όταν το νερό λιγοστεύει όλο και περισσότερο, [...] υπάρχει μια σαφής ανάγκη για λειτουργικές οικονομικές έννοιες και όργανα που μπορούν να συμβάλουν στη διαχείριση με τον περιορισμό της ζήτησης του νερού». Στις περισσότερες περιπτώσεις, όμως, οι μηχανισμοί της αγοράς δεν λειτουργούν, καθώς οι πάγιες επενδύσεις που απαιτούνται για τη χρήση των υδατικών πόρων για ύδρευση δημιουργούν συνθήκες μονοπωλίου, με αποτέλεσμα να μην επιτρέπεται ο ανταγωνισμός. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι τιμές χρέωσης του νερού να καθορίζονται διοικητικά από τις αντίστοιχες ρυθμιστικές αρχές. Οι ρυθμιστικές αρχές δηλαδή, βασισμένες στο ίδιο πλαίσιο, θα πρέπει να επιδιώκουν ώστε οι καθοριζόμενες τιμές να αντικατοπτρίζουν τις τιμές που θα καθόριζε η λειτουργία της ανταγωνιστικής αγοράς και θα οδηγούσε στην αποδοτική χρήση του νερού. Η επίτευξη του στόχου αυτού απαιτεί την ύπαρξη ενός αξιόπιστου συστήματος κοστολόγησης και τον καθορισμό της τιμής στο καθαρά οριακό κόστος της παρεχόμενης ποσότητας νερού (Μπίθας, 2006).

Η Οδηγία 2000/60 της ΕΕ διαχωρίζει τις υπηρεσίες από τις χρήσεις νερού προσδιορίζοντας τις υπηρεσίες νερού ως το σύνολο των διεργασιών που παρεμβάλλονται μεταξύ των φυσικών υδατικών πόρων και των χρήσεων. Με βάση τον ορισμό αυτό, υπηρεσίες νερού αποτελούν οποιοσδήποτε ενέργειες που μεταβάλλουν τα βασικά χαρακτηριστικά του φυσικά διαθέσιμου νερού αλλά και του νερού που απορρίπτεται μετά από κάθε χρήση. Συνεπώς, οι χρήσεις νερού περιλαμβάνουν το σύνολο των υπηρεσιών νερού καθώς και οποιοσδήποτε δραστηριότητες που έχουν σημαντική επίπτωση στην κατάσταση του. Το συνολικό κόστος του νερού, όπως αυτό ορίζεται από το άρθρο 9.1 της Οδηγίας, περιλαμβάνει τις ακόλουθες συνιστώσες (Καρπούζος κ.ά., 2005):

#### A. Περιβαλλοντικές εξωτερικότητες (environmental externalities) ή περιβαλλοντικό κόστος

Το περιβαλλοντικό κόστος αντιπροσωπεύει το κόστος των φθορών που δημιουργούν οι διάφορες χρήσεις του νερού στο περιβάλλον και στα οικοσυστήματα, καθώς και σε αυτούς που χρησιμοποιούν το περιβάλλον (π.χ. υποβάθμιση οικολογικής ποιότητας υδατικών οικοσυστημάτων, υφαλμύριση υπόγειων υδροφορέων και υποβάθμιση των παραγωγικών εδαφών).

#### B. Πλήρες χρηματοοικονομικό κόστος

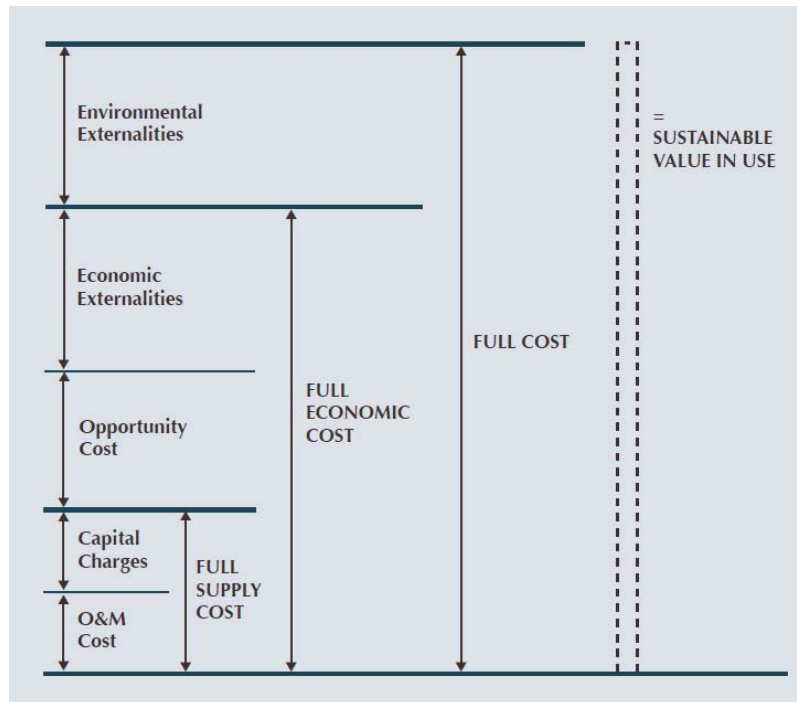
Το πλήρες χρηματοοικονομικό κόστος (full economic cost) αναλύεται σε τρεις συνιστώσες:

- Οικονομικές εξωτερικότητες (economic externalities)
- Κόστος ευκαιρίας (opportunity cost) ή κόστος πόρου
- Πλήρες κόστος προσφοράς νερού (full supply cost)

Ειδικότερα, το *κόστος πόρου* αντιπροσωπεύει το κόστος των απολεσθεισών ευκαιριών (ωφελειών), για άλλες χρήσεις οι οποίες πιθανώς να υφίστανται, λόγω της μείωσης των υδάτινων πόρων πέραν των φυσικών ρυθμών ανανέωσης ή ανάκτησης. Οι χρήστες αυτοί μπορεί να είναι οι σημερινοί ή οι μελλοντικοί οι οποίοι επίσης θα υποστούν τα κόστη των απολεσθεισών ευκαιριών εάν ο υδατικός πόρος εξαντληθεί εις το μέλλον.

Τέλος, το *πλήρες κόστος προσφοράς νερού* περιλαμβάνεται το κόστος της παροχής και διαχείρισης των σχετικών υπηρεσιών. Εδώ εντάσσονται το κόστος κεφαλαίου (απόσβεση επενδύσεων, κτλ.) καθώς και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης των υποδομών.

Η διάκριση των επιμέρους κατηγοριών κόστους φαίνεται στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1: Συνιστώσες κοστολόγησης του νερού (Πηγή: GWP, 1998).

Η παρούσα έκθεση εστιάζει στο χρηματοοικονομικό κόστος το οποίο θα ταυτίζουμε από εδώ και πέρα με το **πλήρες κόστος προσφοράς νερού** (full supply cost). Οι συνιστώσες του χρηματοοικονομικού κόστους όπως μελετάται στην εργασία αυτή αναλύονται στη συνέχεια του Τεύχους. Το **περιβαλλοντικό κόστος** και το **κόστος πόρου** εξετάζονται στο Τεύχος 2. **Οικονομικές εξωτερικότητες** δεν θα μελετηθούν στη παρούσα εργασία.

## 4.2 Η έννοια του χρηματοοικονομικού κόστους νερού

Η χρήση μιας μεθοδολογίας οικονομικής αποτίμησης απαιτεί τον προσδιορισμό των παραγόντων που εισέρχονται στο κόστος της επένδυσης που αναλύεται. Ο υπολογισμός του οικονομικού κόστους προϋποθέτει σειρά παραδοχών κατά το χρόνο ζωής των επενδύσεων σχετικά με την επιλογή του επιτοκίου προεξόφλησης, τη μέθοδο αποσβέσεων, τη μέθοδο κοστολόγησης, κλπ. Επιπλέον χρειάζεται παραδοχές για την προσαρμογή των οικονομικών στοιχείων του κόστους, ως προς τους φόρους, τις επιδοτήσεις και τη χρήση των πόρων, «ώστε να εξασφαλίζεται η βιώσιμη χρήση του νερού» (WFD, 2003). Η ανάλυση του κόστους πρέπει να είναι κατανοητή και συγκρίσιμη. Συνεπώς, όλες οι παραδοχές και οι μέθοδοι κοστολόγησης πρέπει να είναι σαφείς και να περιγράφεται ξεκάθαρα ο τρόπος υπολογισμού των αποτελεσμάτων.



Πίνακας 4.1: Οικονομικά κόστη για την παροχή και διαχείριση των υπηρεσιών υδάτων (Πηγή: Χαλκιάς, 2010 και WFD-CIS, 2003, μετά από προσαρμογή)

Συνιστώσα	Ορισμός	Παρατηρήσεις
A. Λειτουργικά κόστη	Αφορούν στη λειτουργία μιας εγκατάστασης (π.χ. υλικά, ενέργεια και κόστος προσωπικού)	Απαιτείται υπολογισμός των επιπλέον δαπανών που συνδέονται με νέες επενδύσεις κεφαλαίου.
B. Κόστη συντήρησης	Κόστη διατήρησης παλαιού και νέου ενεργητικού σε καλή λειτουργία μέχρι το τέλος της οικονομικής ζωής τους.	Είναι δύσκολη η εκτίμηση του κατάλληλου επιπέδου συντήρησης, ώστε να μην υποβαθμίζεται η λειτουργία του ενεργητικού που έχει μεγάλο χρόνο ζωής και βρίσκεται υπόγεια.
<b>Γ. Κεφαλαιουχικά κόστη</b>		
Γ1. Νέες επενδύσεις	Έξοδα για νέες επενδύσεις και σχετικά κόστη (π.χ. προετοιμασία πεδίου, κόστη εκκίνησης, νομικά έξοδα)	I) Είναι πολύ σημαντικά στον προσδιορισμό του συνολικού κόστους. Αν δεν υπάρχουν δεδομένα, είναι προτιμότερο να γίνει προσπάθεια για την εκτίμησή τους, παρά να αγνοηθούν. II) Για τις προβλέψεις, τα νέα κεφαλαιουχικά κόστη θα πρέπει να εκτείνονται σε κάποια χρόνια. Για αυτό το σκοπό προτείνεται η Μέθοδος του Ετήσιου Ισοδύναμου Κόστους.
Γ2. Αποσβέσεις	Αναπαριστούν ένα ετήσιο κόστος για την αντικατάσταση του υπάρχοντος ενεργητικού στο μέλλον. Η εκτίμηση των αποσβέσεων απαιτεί τον καθορισμό της αξίας του υπάρχοντος ενεργητικού και μία μέθοδο απόσβεσης.	I) Για τον προσδιορισμό της αξίας του υπάρχοντος ενεργητικού υπάρχουν πολλές μέθοδοι (ιστορικής τιμής, τρέχουσας τιμής, αξίας αντικατάστασης). II) Εφαρμόζοντας υπάρχοντες κανόνες για τον υπολογισμό των αποσβέσεων, υπάρχει το ενδεχόμενο να μην προκύψει η «οικονομική» απόσβεση (μπορεί να χρειαστούν αναπροσαρμογή για να αναπαριστούν την οικονομική πραγματικότητα), δηλαδή το γεγονός ότι η αξία του ενεργητικού αποκλίνει γρηγορότερα καθώς πλησιάζει προς το τέλος της ζωής του.
Γ3. Κόστος κεφαλαίου	Αποτελεί το κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου, δηλαδή ένας υπολογισμός του ρυθμού απόδοσης από εναλλακτικές επενδύσεις. Το κόστος κεφαλαίου εφαρμοζόμενο στο βασικό ενεργητικό (νέου και υπάρχοντος) μας δίνει την αναμενόμενη απόδοση από τους επενδυτές.	I) Ο αναμενόμενος ρυθμός απόδοσης ενδέχεται να είναι διαφορετικός για δημόσιους και ιδιωτικούς επενδυτές, όμως το κεφάλαιο δεν είναι ποτέ «ελεύθερο», καθώς πάντα υπάρχουν εναλλακτικές επενδύσεις. II) Ο υπολογισμός συχνά είναι δύσκολος και αμφιλεγόμενος, καθώς βασίζεται στην απόδοση των εναλλακτικών επενδύσεων. III) Οι παρεχόμενες επιδοτήσεις κεφαλαίου σε ιδιωτικούς επενδυτές θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον υπολογισμό του ποσού των αποδόσεων που έχουν τη δυνατότητα να κερδίσουν.
Δ. Διοικητικά κόστη	Σχετίζονται με τη διαχείριση των υδατικών πόρων	π.χ. κόστη διαχείρισης συστήματος χρέωσης ή ελέγχου κόστους.
Ε. Λοιπά άμεσα κόστη	Περιλαμβάνουν, κυρίως, τα κόστη από την απώλεια παραγωγικότητας εξαιτίας περιοριστικών μέτρων.	π.χ. απώλεια αγροτικής παραγωγής οφειλόμενη από τη δημιουργία μίας ζώνης διατήρησης.

Η τυπική μέθοδος χρηματοοικονομικής ανάλυσης βασίζεται στον υπολογισμό των **ταμειακών ροών**, οι οποίες **ορίζονται από τη διαφορά των ταμειακών εισροών και των ταμειακών εκροών** των εταιρειών υποδομών (Κυριαζοπούλου, 2006). Στην περίπτωση που τα κόστη ρυθμίζονται λαμβάνοντας υπόψη τον πληθωρισμό ή αλλαγές στις τιμές κατά τη διάρκεια του χρόνου επένδυσης, θα πρέπει να καταγράφονται και να αναφέρονται τα διάφορα υπομνήματα (WFD, 2003). Ωστόσο, στην πράξη η ένταξη του πληθωρισμού στην ανάλυση δυσχεραίνει τους υπολογισμούς, βοηθά στη «νόθευση» των αποτελεσμάτων με την εφαρμογή διαφορετικών δεικτών ανά κατηγορία εσόδων και εξόδων, ενώ δε βελτιώνει σημαντικά την ακρίβεια δεδομένου των αβεβαιοτήτων. Για αυτό το λόγο, στην πράξη εφαρμόζεται η μέθοδος των σταθερών τιμών, δηλαδή αγνοείται πλήρως ο πληθωρισμός στην ανάλυση με την παραδοχή πως δεν επηρεάζει αισθητά τις αξίες των χρηματοροών, ή πώς επηρεάζει στον ίδιο βαθμό όλες τις χρηματοροές (Καλιαμπάκος και Δαμίγος, 2008). Η προσαρμογή των τιμολογίων στην αγορά ωστόσο, θα πραγματοποιείται ετήσια αντίστοιχα με τον πληθωρισμό.

Στην περίπτωση της ΕΠΕΥΔΑΠ, η αναπροσαρμογή των τιμολογίων πρέπει να εφαρμόζεται ώστε να καλύπτονται οι ονομαστικές αυξήσεις των λειτουργικών και επενδυτικών δαπανών της. Αντίστοιχα, παρόμοιες αναπροσαρμογές εφαρμόζονται και στις επιχειρήσεις της ΔΕΗ και του ΟΤΕ, αλλά και άλλων επιχειρήσεων ύδρευσης διεθνώς, όπως του Ηνωμένου Βασιλείου (ΕΥΔΑΠ, 1996, σ. 41).

Γενικά, τα χρηματοοικονομικά κόστη των επενδύσεων παροχής και διαχείρισης των υπηρεσιών υδάτων διαχωρίζονται στα **αρχικά κόστη κεφαλαίου** και στα **κόστη για την ανανέωση και συντήρηση των εγκαταστάσεων**. Ακόμη, στον υπολογισμό του κόστους υπολογίζονται και τα **ετήσια τρέχοντα έξοδα για τη σωστή λειτουργία των υποδομών**. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζεται, αναλυτικά, κάθε κατηγορία κόστους.

### 4.3 Ανάλυση συνιστωσών χρηματοοικονομικού κόστους

#### 4.3.1 Κεφαλαιουχικά κόστη

Το κόστος επενδύσεων περιλαμβάνει το απαιτούμενο κόστος για την αγορά, ή τη χρηματοδοτική μίσθωση γης, εγκαταστάσεων, εξοπλισμού, μηχανημάτων, οχημάτων και υλικών, ή του κόστους κατασκευής κτιρίων, εγκαταστάσεων, δρόμων, γεφυρών και υποδομών γενικότερα. Ακόμη, περιλαμβάνει το κόστος πρόσληψης εξωτερικού συμβούλου ή εταιρείας συμβούλων, ή το κόστος ανακαίνισης ή έκτακτης συντήρησης ενός περιουσιακού στοιχείου (Γ.Λ.Δ., 2008).

Οι εγκαταστάσεις μπορούν να περιλαμβάνουν τους ταμιευτήρες, τα υδραγωγεία, τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού, τους αντλητικούς σταθμούς, τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό και το δίκτυο ύδρευσης (Tang *et al.*, 2007), ανάλογα με τα καθορισμένα όρια του συστήματος.

Ακόμη μία παράμετρος του κεφαλαιουχικού κόστους αποτελεί η βελτίωση των υποδομών και η επίτευξη ισορροπίας στο ισοζύγιο προσφοράς και ζήτησης. Τέλος, η βελτίωση της παροχής των υπηρεσιών αποτελεί μία ακόμη παράμετρο, η οποία ωστόσο δεν είναι τόσο σημαντική στην εκτίμηση του κόστους, αλλά δεν θα πρέπει και να παραλείπεται εφόσον προβλέπεται (OFWAT, 2008).

Ωστόσο, τόσο το υψηλό κόστος για τις υποδομές, αλλά και κοινωνικά ζητήματα λόγω της μεγάλης σημασίας της παροχής του νερού, οδηγούν πολλές φορές στην επιδότηση των οργανισμών-εταιρειών υποδομών. Αυτές οι επιδοτήσεις προκαλούν μεν στρεβλώσεις γενικά στις αγορές και πρέπει να αποθαρρύνονται, στην περίπτωση της αγοράς του νερού όμως, ίσως είναι ουσιώδης (GWP, 2000).

Στην περίπτωση της ΕΠΕΥΔΑΠ, οι υποδομές της παραχωρήθηκαν από το κράτος άνευ ανταλλάγματος. Στην πραγματικότητα λοιπόν, η ΕΠΕΥΔΑΠ δεν πραγματοποίησε τις δαπάνες για την κατασκευή τους. Παρόλα αυτά, θα πρέπει εξασφαλίζεται η απόδοση στα κεφάλαια αυτά, την οποία θα

μπορεί να χρησιμοποιεί η ΕΠΕΥΔΑΠ για νέες επενδύσεις που ίσως απαιτηθούν στο μέλλον (ΕΥΔΑΠ, 1996, σ. 40).

Τα κόστη απόσβεσης συνδέονται με τη μείωση της αξίας ενός παγίου με την αύξηση της ηλικίας του, λόγω φυσικής φθοράς ή απαξίωσης. Η απόσβεση αποτελεί ένα λογιστικό εργαλείο για την κατανομή της δαπάνης ενός κεφαλαιουχικού παγίου σε ολόκληρη τη διάρκεια της ζωής του (Γ.Λ.Δ., 2008).

Το ποσοστό της απόσβεσης κάθε εγκατάστασης εξαρτάται από το χρόνο ζωής της και την αντικατάσταση αυτής. Σύμφωνα με τους Tang *et al.* (2007) τα ετήσια ποσοστά απόσβεσης υπολογίζονται συνήθως σε 1% για σήραγγες και φράγματα, σε 2% για υδραγωγεία, σε 4% για τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό και σε 10-20% για οχήματα.

Το κόστος απόσβεσης υπολογίζεται ξεχωριστά τόσο για τις υπάρχουσες υποδομές, όσο και για τις προβλεπόμενες νέες (OFWAT, 2008).

Ωστόσο, το αναπόσβεστο τμήμα της επένδυσης (στο τέλος της ζωής της) δεν θα πρέπει να περιληφθεί στην ανάλυση, λόγω του ότι δεν προβλέπεται ρευστοποίηση στο τέλος της περιόδου ανάλυσης (συνεπώς ούτε πραγματική εισροή χρημάτων) (Γ.Λ.Δ., 2008).

### **4.3.2 Κόστη λειτουργίας**

Στα κόστη λειτουργίας περιλαμβάνονται το κόστος από τις αμοιβές του προσωπικού, τη συντήρηση των υποδομών, την ενοικίαση υπηρεσιών και διάφορων άλλων εξόδων, όπως επίσης και το ενεργειακό κόστος (Tang *et al.*, 2007).

Σε πρόσφατη ανάλυση των χρηματοοικονομικών παραγόντων του OFWAT (2008), τα λειτουργικά έξοδα αναλύονται σε: *κόστη εργασίας, ενεργειακό κόστος, κόστη από μισθώματα ή συμβάσεις υπηρεσιών, κόστη υλικών και αναλώσιμων, δαπάνες παροχής υπηρεσιών και λοιπά άμεσα κόστη.*

#### **Ενεργειακό κόστος**

Το ενεργειακό κόστος αποτελείται από την κατανάλωση ενέργειας από τις εγκαταστάσεις διοίκησης, επεξεργασίας και τα αντλιοστάσια (Tang *et al.*, 2007).

Στη συγκεκριμένη μελέτη αφορά **μόνο στο κόστος κατανάλωσης ενέργειας στις γεωτρήσεις και αντλιοστασίων**, καθώς το ενεργειακό κόστος των διοικητικών εγκαταστάσεων περιλαμβάνεται στο κόστος χρήσης δικτύων κοινής ωφέλειας.

#### **Μισθώσεις και ενοίκια**

Αποτελούνται από τις δαπάνες για την ενοικίαση κτιρίων και αυτοκινήτων.

#### **Κόστος συντήρησης**

Το κόστος συντήρησης αποτελείται από τα έξοδα που απαιτούνται για τη συντήρηση των κτιρίων, ταμειυτήρων, υδραγωγείων, δικτύου ύδρευσης, ώστε να βρίσκονται πάνω από μία ορισμένη ποιοτική κατάσταση. Ακόμη, περιλαμβάνονται οι έκτακτες επισκευές, καθώς και η προμήθεια των υλικών και του εξοπλισμού (Tang *et al.*, 2007). Αναλυτικότερα, διαχωρίζεται στα έξοδα για τη διατήρηση των υποδομών σε καλή λειτουργική κατάσταση και στα έξοδα για την αντικατάσταση τμημάτων των υποδομών. Το κόστος αντικατάστασης θα πρέπει να διατηρείται σε γενικές γραμμές σταθερό, για μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες αναλύσεις υπό την προϋπόθεση πως δεν εντάσσονται νέες υποδομές στο δίκτυο (OFWAT 2008). Η αντικατάσταση των περιουσιακών στοιχείων των υποδομών πρέπει να βασίζεται σε ένα οργανωμένο πρόγραμμα προληπτικών έργων και όχι σε μεγάλες δαπάνες μετά το πέρας της διάρκειας ζωής αυτών.

Στο διαχειριστικό σχέδιο της ΕΥΔΑΠ (1996) το κόστος της επένδυσης αυτής υπολογιζόταν με τη μέθοδο του Σημερινού Αντίστοιχου Παγίου (Modern Equivalent Asset), η οποία θα αναλυθεί παρακάτω (ΕΥΔΑΠ, 1996, σ. 20).

#### **Κόστος εργασιών**

Περιλαμβάνει το σύνολο των αμοιβών του μόνιμου διοικητικού και εργατικού προσωπικού, τις αμοιβές για έκτακτες εργασίες συντήρησης και επισκευής, επιδόματα και άλλες παροχές (Γ.Λ.Δ., 2008).

#### **Κόστος ασφάλισης**

Το κόστος ασφάλισης περιλαμβάνει το κόστος για την ασφάλιση των εργαζομένων της εταιρείας, αλλά και πιθανές συνδρομές για την επέκταση των εγγυήσεων λειτουργίας εγκαταστάσεων και εξοπλισμού.

#### **Κόστος χρήσης δικτύων κοινής ωφέλειας**

Περιλαμβάνει το κόστος από την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση, ψύξη ή φωτισμό, όπως επίσης και το κόστος της κατανάλωσης νερού.

#### **Κόστος τηλεπικοινωνιών**

Αναφέρεται στο σύνολο του κόστους από την παροχή και τη χρήση τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, κυρίως στον διοικητικό τομέα της εταιρείας.

#### **Κόστος κατανάλωσης καυσίμων**

Αφορά το σύνολο του κόστους από την κατανάλωση καυσίμων των υπηρεσιακών οχημάτων και μηχανημάτων.

#### **Κόστος αναλωσίμων και αδειών χρήσεων λογισμικού**

Περιλαμβάνει το κόστος από την προμήθεια αναλωσίμων και το κόστος για την προμήθεια ή ανανέωση των αδειών χρήσεων λογισμικού Η/Υ ή αυτοματισμού.

#### **Κόστος φορολογίας**

Το κόστος φορολογίας αποτελείται από το ποσό που καλείται να καταβάλει η εταιρεία στο κράτος, βάσει του φορολογητέου εισοδήματος, που υπολογίζεται από τα ακαθάριστα κέρδη αφαιρώντας τις αποσβέσεις, πολλαπλασιαζόμενου με τον κατάλληλο φορολογικό συντελεστή.

### **4.4 Περίοδος προγραμματισμού**

Ο υπολογισμός του κόστους πρέπει να περιλαμβάνει το σύνολο των ανωτέρων συνιστωσών, με τον συνυπολογισμό των νέων επενδύσεων ενός μακροπρόθεσμου προγραμματισμού. Ενδεικτική περίοδος προγραμματισμού αποτελεί αυτή των δέκα ετών, που αναφέρεται και στα διαχειριστικά σχέδια της ΕΥΔΑΠ (ΕΥΔΑΠ, 1996· Κουτσογιάννης κ.ά., 2001). Η περίοδος για τον υπολογισμό του κόστους μπορεί να είναι και αυτή της **πενταετίας**, η οποία και πραγματοποιείται τόσο διεθνώς (π.χ. Μεγάλη Βρετανία), όσο και στην περίπτωση της ΕΥΔΑΠ (2009).

## 4.5 Στοιχεία αβεβαιότητας στον υπολογισμό του κόστους

Η βιομηχανία νερού θεωρείται πως αποτελεί ιδιαίτερα σταθερό τομέα για την οικονομία. Το γεγονός αυτό παρέχει στους επενδυτές ιδιαίτερη σιγουριά για τις επενδύσεις τους. Ωστόσο, τόσο σε επίπεδο στρατηγικού προγραμματισμού όσο και στη επιχειρησιακή διαχείριση των υδρευτικών συστημάτων, εισέρχονται πολλαπλοί παράγοντες αβεβαιότητας, οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη λήψη ορθολογικών αποφάσεων, ώστε να εξασφαλίζεται η **βιωσιμότητα των υδατικών πόρων**. Μια τέτοια βιώσιμη πολιτική περιλαμβάνει τη λογική χρήση των υδατικών πόρων, έτσι ώστε να αποφεύγονται οι μη αναστρέψιμες επιπτώσεις στα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των υδατικών οικοσυστημάτων (Lim *et al.*, 2010). Για αυτό το λόγο, οι εταιρείες νερού οφείλουν να λαμβάνουν έγκαιρα μέτρα και να καταρτίζουν σχέδια διαχείρισης για εύλογο χρονικό ορίζοντα (5 ως 10 έτη), ώστε να διατηρούν αποδεκτό **επίπεδο αξιοπιστίας** στην παροχή υδρευτικού νερού, **όχι μόνο στο άμεσο μέλλον αλλά και μακροπρόθεσμα**.

### 4.5.1 Προσφορά νερού

Από την πληθώρα των πηγών αβεβαιότητας που διέπει την λειτουργία ενός υδροδοτικού συστήματος, σημαντικότερη ασφαλώς είναι η υδρολογική. Αυτή οφείλεται στην αδυναμία πρόβλεψης της εξέλιξης των υδρομετεωρολογικών διεργασιών, η χαοτική συμπεριφορά των οποίων καθιστά ανέφικτη την πραγματοποίηση ασφαλών προγνώσεων για χρονικό ορίζοντα πέρα των λίγων ημερών. Ωστόσο, η χρονική αυτή κλίμακα είναι απολύτως ανεπαρκής, δεδομένου ότι η ανάγκη υπερετήσιας ρύθμισης ενός υδροσυστήματος προϋποθέτει την προσομοίωση της λειτουργίας του για χρονικό ορίζοντα πολλών ετών.

Η αδυναμία πρόγνωσης των διεργασιών με χρήση προσδιοριστικών υδρομετεωρολογικών και υδρολογικών μοντέλων οδήγησε στην εναλλακτική θεώρησή τους ως τυχαίων μεταβλητών και την αντιμετώπισή τους με τη θεωρία των στοχαστικών ανελιξέων. Στις αρχές της εν λόγω θεωρίας βασίζονται τα λεγόμενα **στοχαστικά υδρολογικά μοντέλα**, που περιγράφουν στατιστικά τις χρονικές και χωρικές συσχετίσεις των υδρολογικών διεργασιών, ποσοτικοποιώντας την αβεβαιότητα γύρω από την εξέλιξή τους. Τα μοντέλα αυτά εφαρμόζονται για την **γέννηση συνθετικών χρονοσειρών**, οι οποίες αναπαράγουν τη στατιστική εξάρτηση και τα στατιστικά χαρακτηριστικά των υδρολογικών διεργασιών. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των συνθετικών δειγμάτων είναι η απουσία περιορισμού ως προς το μήκος τους, που καθιστά δυνατή την χρήση τους για την εκτίμηση οσοδήποτε μεγάλων επιπέδων αξιοπιστίας (Ευστρατιάδης κ.ά., 2004).

### 4.5.2 Τεχνικά έργα

Η προσφερόμενη ποσότητα επηρεάζεται από τη φυσική διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων, σε συνδυασμό με τους περιορισμούς των τεχνικών έργων αποθήκευσης και μεταφοράς τους στα σημεία ζήτησης. Αν και πολλά από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των έργων (κατασκευαστικά μεγέθη) είναι γνωστά, υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός μεγεθών, η ακριβής εκτίμηση των οποίων είναι δύσκολη ή ακόμα και αδύνατη. Σε αυτά περιλαμβάνονται οι υπόγειες διαφυγές των ταμιευτήρων, οι απώλειες των υδραγωγείων, οι παροχετευτικότητες των έργων άντλησης (π.χ. βαθμός απόδοσης) και μεταφοράς (π.χ. συντελεστές τραχύτητας), κλπ. Ακόμη, έργα που δεν συντηρούνται επαρκώς ή είναι ευάλωτα σε βλάβες, ενδέχεται να αποδίδουν πολύ λιγότερο σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή σχεδιασμού τους ή ακόμα και να τίθενται εκτός λειτουργίας για άγνωστο χρονικό διάστημα.

### 4.5.3 Ζήτηση νερού

Η ζήτηση νερού επηρεάζεται από την εξέλιξη του υδρευόμενου πληθυσμού, τις χρήσεις που εξυπηρετούνται (υδρευτική, αρδευτική, βιομηχανική), την αύξηση του βιοτικού επιπέδου, τις

τρέχουσες μετεωρολογικές συνθήκες, την τιμολογιακή πολιτική και την κατάσταση του δικτύου (π.χ. απώλειες λόγω διαρροών).

Κάθε σενάριο ζήτησης περιγράφει πιθανές μελλοντικές χρήσεις νερού (Makropoulos et al., 2008).

Η σωστή πρόβλεψη των σεναρίων ζήτησης είναι πολύ σημαντική, λόγω του ότι επηρεάζει άμεσα τον καθορισμό των διαχειριστικών πολιτικών λειτουργίας του υδροσυστήματος που εξασφαλίζει τη βιώσιμη χρήση του νερού. Η επίτευξη αυτού του στόχου απαιτεί την ύπαρξη ιστορικών δεδομένων ζήτησης. Χρησιμοποιώντας αυτά σαν αρχικά δεδομένα και λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω παραμέτρους (αύξηση πληθυσμού, βιομηχανικής και αρδευτικής ανάπτυξης, βιοτικού επιπέδου, τιμολογιακή πολιτική) μπορούν να προκύψουν εκτιμήσεις για τις μελλοντικές ανάγκες νερού (Karavokiros et al., 2002; ).

Οι πραγματικές εξελίξεις της προσφοράς και ζήτησης νερού είναι συχνά εξαρτημένες μεταξύ τους. Ωστόσο, η παραδοσιακή προσέγγιση που πραγματοποιείται για τον καθορισμό των σεναρίων τους είναι να μελετώνται χωριστά. Έτσι, με τη χρήση αυτής της μεθόδου είναι πιθανό να χάνονται οι δυναμικές αλληλοσυσχετίσεις που πιθανόν υπάρχουν μεταξύ τους. Οι Walton et al. (2009) πρότειναν τη Δυναμική Μέθοδο Μοντελοποίησης (System Dynamics Modeling), ώστε να λαμβάνονται υπόψη όλες οι αλληλεξαρτήσεις, και να προκύπτουν ακριβέστερες προβλέψεις.

Η λειψυδρία που παρατηρείται ως αποτέλεσμα των αυξημένων υδατικών αναγκών συνδυαζόμενη με τη μη ορθολογική χρήση των διαθέσιμων ποσοτήτων του πόρου, καθιστά επιτακτική τη βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων, ώστε να εντοπίζονται οι αντίκτυποι των μακροπρόθεσμων σεναρίων που μπορεί να προκύψουν μελλοντικά. Για παράδειγμα, η αστικοποίηση μίας περιοχής εντός μιας λεκάνης απορροής αλλάζει τη δίαιτα της επιφανειακής απορροής (προσφορά) αλλά και τις απαιτούμενες ποσότητες (ζήτηση). Συνεπώς, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε σε περίπτωση που πραγματοποιούνται αλλαγές στο σύστημα, να επαναπροσδιορίζονται οι διάφοροι παράμετροι και να διατηρείται η φυσική σημασία του μοντέλου (Walton et al., 2009).

Δεδομένου, λοιπόν, των συνθηκών έλλειψης νερού που παρατηρούνται σε πολλές χώρες, και μελετώντας τις παρούσες και μελλοντικές διαθέσιμες ποσότητες εκμετάλλευσης και ανάγκες σε νερό, είναι σημαντικό να εξετάζεται αν υπάρχει ανάγκη για την ανάπτυξη των υποδομών ή για την κατάστροφη νέων πολιτικών διαχείρισης, ώστε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα. Για αυτό το σκοπό, εξετάζονται διάφορα ρεαλιστικά, από οικονομική και κοινωνική σκοπιά, σενάρια μεταβολής της ζήτησης (Seckler et al., 1998; Makropoulos and Butler, 2004).

Ένα βασικό σενάριο που πάντα εξετάζεται αφορά στις τρέχουσες συνθήκες κατανάλωσης και πολιτικές (business as usual). Άλλα σενάρια που εξετάζονται αφορούν στον περιορισμό της ζήτησης. Στο πλαίσιο αυτό, μπορούν να μελετηθούν σενάρια **μείωσης της οικιακής κατανάλωσης**, λόγω της χρήσης νέων τεχνολογιών ή μέσω κατάλληλης τιμολογιακής πολιτικής (Makropoulos et al., 2008).

Η πολιτική της μείωσης της ζήτησης έρχεται να αντικαταστήσει αυτές των παλαιότερων χρόνων, οπότε η αύξηση της ζήτησης οδηγούσε στην εκμετάλλευση νέων υδατικών πόρων, και να συνεισφέρει στην εξασφάλιση της ύπαρξης ποσοτήτων νερού για μελλοντική ανάπτυξη (Tollow, 1995).

Εκτός από τα σενάρια που έχουν να κάνουν με τη μεταβολή της ζήτησης, είναι συνετό να εξεταστεί και η περίπτωση βλάβης ή καταστροφής ενός έργου ή τμήματος του δικτύου παροχής νερού, με επακόλουθο τη μείωση της δυνατής προσφερόμενης ποσότητας νερού (Tollow, 2004).

#### 4.5.4 Οικονομικές αβεβαιότητες

Όσον αφορά τα οικονομικά δεδομένα, υπάρχει ο ενδοιασμός για τη δυνατότητα ανταπόκρισης, τόσο των καταναλωτών σε πιθανή αύξηση των λογαριασμών νερού, όσο και των εταιρειών νερού για τη χρηματοδότηση των απαιτούμενων επενδύσεων. Στην Αγγλία, ο OFWAT επιδιώκει την ισοστάθμιση

ζήτησης με την βιώσιμη παροχή νερού προς τις εταιρείες ύδρευσης, με ταυτόχρονα προσιτές τιμές προς τους καταναλωτές, με δεδομένη την οικονομική ύφεση και το σύνολο των προηγούμενων αβεβαιοτήτων (EFRACOM, 2009, σσ. 7, 8, 17).

Η αβεβαιότητα μπορεί να εκφραστεί ακόμη, με τους παράγοντες εκείνους που έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν αρνητικά το κόστος του κύκλου ζωής της διαχείρισης, λειτουργίας και συντήρησης των υποδομών (Hastak and Baim, 2001). Στην πρόβλεψη των μελλοντικών συνθηκών η αβεβαιότητα στα οικονομικά μεγέθη αφορά κυρίως (Καλιαμπάκος και Δαμίγος, 2008):

- την είσπραξη οφειλών από τρίτους, σε σχέση με τις αντίστοιχες διασφαλίσεις·
- την αγορά των συντελεστών παραγωγής από πλευράς διαθεσιμότητας, τιμών, κλπ·
- την αγορά του παραγόμενου προϊόντος, από την πλευρά της ζήτησης και του ανταγωνισμού, που μπορεί να επηρεάσει τις τιμές·
- το ευρύτερο οικονομικό περιβάλλον (πχ. πληθωρισμός, θεσμικό πλαίσιο, πολιτική σταθερότητα).

Επιπλέον, στο πλαίσιο της οικονομικής βιωσιμότητας από τη χρήση του νερού στις πόλεις, πρέπει να επιδιώκεται η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας για τη μεταφορά του νερού (Lim *et al.*, 2010).

Στα οικονομικά, η παράμετρος της αβεβαιότητας μπορεί να εκφραστεί με το **επιτόκιο αναγωγής**, το οποίο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μελλοντικής αξίας ενός σημερινού ποσού, ή της παρούσας αξίας ενός μελλοντικού ποσού. Στην πρώτη περίπτωση καλείται και **επιτόκιο ανατοκισμού**, ενώ στη δεύτερη **επιτόκιο προεξόφλησης** (Καλιαμπάκος και Δαμίγος, 2008).

Αρχικά, στις αναλύσεις κόστους-οφέλους η αντιμετώπιση της αβεβαιότητας πραγματοποιούνταν με την διόγκωση του επιτοκίου προεξόφλησης. Ωστόσο, η πρακτική αυτή της προσθήκης προσαύξησης δεν συνιστάται (Pearce *et al.*, 1990).

Από την άλλη πλευρά, οι περισσότεροι ειδικοί πιστεύουν πως η αβεβαιότητα εξυπηρετείται καλύτερα «μέσω προσαρμογών των κατανομών κόστους και οφέλους, αφήνοντας το υποκείμενο προεξοφλητικό επιτόκιο χωρίς προσαρμογή για διακινδύνευση».

Στην περίπτωση των υποδομών, η διαχείρισή τους μπορεί να επηρεάσει άμεσα τους παράγοντες της αβεβαιότητας. Για παράδειγμα, η κακή διαχείριση χρημάτων μπορεί να οδηγήσει στη μείωση των κονδυλίων προς συντήρηση των υποδομών, με αποτέλεσμα να υπάρχουν σημαντικές επιπτώσεις για την περαιτέρω διαχείριση, λειτουργία και το κόστος συντήρησης των εγκαταστάσεων υποδομής. Επίσης, ο κακός σχεδιασμός και η εσφαλμένη εκτίμηση των προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν στις υποδομές, μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση του κόστους συντήρησης και αποκατάστασης των αστοχιών (Hastak and Baim, 2001). Παράλληλα, παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα το κόστος είναι οι μη μετρήσιμες ποσότητες νερού, λόγω βλαβών στους μετρητές, ή λόγω παράνομων απολήψεων. Το γεγονός αυτό φανερώνει τη σημασία που έχει η ύπαρξη ακριβούς συστήματος μέτρησης, ώστε να κοστολογείται το σύνολο του εκμεταλλεμένου όγκου νερού. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατός ο εντοπισμός των τμημάτων που παρουσιάζουν πρόβλημα και η ποσοτικοποίηση των εσόδων που χάνονται (Tollow, 1995). Πέραν αυτών, επιπλέον παράγοντες αβεβαιότητας αποτελούν η εκτίμηση των αναμενόμενων εσόδων και η διακύμανση του προβλεπόμενου κόστους λειτουργίας, οι οποίες επιδρούν στη βιωσιμότητα της επιχείρησης, καθώς μεγάλες αποκλίσεις μπορούν να οδηγήσουν μέχρι και σε χρεοκοπία (World Bank Institute, 2000).

Η διαχείριση της διακινδύνευσης πραγματοποιείται με μία πιο πρακτική προσέγγιση, μέσω **ανάλυσης ευαισθησίας των αποτελεσμάτων**, μεταβάλλοντας δηλαδή τις τιμές των βασικών παραμέτρων (Brent, 1990). Επιδιώκοντας μεγαλύτερη ακρίβεια είναι θεμιτό οι χρησιμοποιούμενες τιμές να είναι τόσο αισιόδοξες όσο και απαισιόδοξες, αποκλίνοντας από τις αναμενόμενες τιμές, ανάλογα με το βαθμό αβεβαιότητας (Kula και Πρωτοπαπάς, 2005, σ. 223).

## 5 Προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο

---

### 5.1 Τοποθέτηση του προβλήματος

Σε αντίθεση με τα περισσότερα οικονομικά αγαθά, η διαδικασία παραγωγής των οποίων είναι μονοσήμαντη, το αδιύλιστο νερό της Αθήνας μπορεί να ληφθεί από διαφορετικές πηγές (πολλαπλούς ταμιευτήρες αλλά και γεωτρήσεις) και να μεταφερθεί στις μονάδες επεξεργασίας από εναλλακτικές διαδρομές. Συνεπώς, **το ανά μονάδα κόστος παραγωγής του αδιύλιστου νερού δεν είναι σταθερό** αλλά εξαρτάται από την εκάστοτε πολιτική διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος. Η πολιτική αυτή διαμορφώνεται με βάση την προβλεπόμενη διαθεσιμότητα των επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων, σε συνδυασμό με το κόστος χρήσης των διαφόρων πηγών και διαδρομών, και με τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ένα υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας του συστήματος.

Στη συνέχεια εξηγούνται οι εναλλακτικές πολιτικές διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος και τα σχετικά κόστη, και εξηγείται η έννοια του ρίσκου στη λήψη των αποφάσεων, το οποίο σχετίζεται με διάφορες συνιστώσες αβεβαιότητας.

#### 5.1.1 Εναλλακτικές πολιτικές διαχείρισης του υδροσυστήματος

Για την ύδρευση της Αθήνας διατίθεται ένα εκτεταμένο σύστημα υδατικών πόρων και αγωγών μεταφοράς, το οποίο χαρακτηρίζεται από τη δυνατότητα πολλαπλών εναλλακτικών λύσεων, τόσο ως προς τους υδατικούς πόρους (τέσσερις ταμιευτήρες και γεωτρήσεις, κύριοι, βοηθητικοί και εφεδρικοί υδατικοί πόροι) όσο και ως προς τις διαδρομές μεταφοράς (δύο κύριες διαδρομές με δυνατότητα αλληλοσυνδέσεων). Οι εναλλακτικές λύσεις συμβάλλουν θετικά στην ασφάλεια του συστήματος, τόσο στις συνήθεις συνθήκες αλλά και για την κάλυψη περιπτώσεων έκτακτων αναγκών, είτε αυτές οφείλονται στην υδρολογική δίαιτα (ξηρασία) είτε σε άλλους λόγους (περιστατικά βλαβών).

Είναι προφανές ότι η δυνατότητα εναλλακτικών λύσεων εγείρει την ανάγκη ορθής επιλογής της καλύτερης κάθε φορά λύσης. **Με καθαρά οικονομικά κριτήρια, είναι προτιμητέα η μεγιστοποίηση των απολήψεων από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου**, δεδομένου ότι η μεταφορά του νερού γίνεται με βαρύτητα και, συνακόλουθα, με μηδενικό κόστος ενέργειας. Αντίθετα, η λειτουργία του υδραγωγείου Υλίκης και των γεωτρήσεων προϋποθέτει σημαντικές δαπάνες, εξαιτίας της κατανάλωσης ενέργειας στα αντλιοστάσια.

Από την άλλη πλευρά, η μη αξιοποίηση της Υλίκης (που είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος ταμιευτήρας της Αθήνας) *περιορίζει σημαντικά την ασφάλεια του συστήματος ως προς το ενδεχόμενο μιας μακροχρόνιας ξηρασίας*, καθώς εξαιτίας της έντονης διαπερατότητας της λίμνης ποσοστό έως και 50% των αποθεμάτων της μπορεί να χαθούν σε ένα έτος από υπόγειες διαφυγές. **Από την σκοπιά λοιπόν της ασφαλείας, είναι προτιμητέα η μεγιστοποίηση των απολήψεων από την Υλίκη**, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες νερού. Αυτό βεβαίως συνεπάγεται υψηλό κόστος ενέργειας – σε περιόδους εντατικής χρήσης της Υλίκης, η ΕΠΕΥΔΑΠ αποτελεί τον δεύτερο μεγαλύτερο καταναλωτή ρεύματος στην Ελλάδα.

Το ερώτημα λοιπόν που εγείρεται αφορά, κατά μείζονα λόγο, στο πότε και με ποιο ρυθμό θα πρέπει να ενταχθούν στο σύστημα η Υλίκη και οι εφεδρικοί υδατικοί πόροι (γεωτρήσεις), έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ζητούμενη αξιοπιστία του συστήματος, διατηρώντας τις δαπάνες λόγω κατανάλωσης ενέργειας σε εύλογα πλαίσια.



### 5.1.2 Παράγοντες αβεβαιότητας στη λήψη των αποφάσεων

Όπως εξηγήθηκε παραπάνω, στη λήψη των αποφάσεων που αφορούν στη λειτουργία του υδροδοτικού συστήματος, είναι αναγκαίο να λαμβάνεται υπόψη η πιθανότητα αστοχίας του συστήματος, ήτοι η πιθανότητα εξάντλησης των υδατικών πόρων, με αποτέλεσμα την αδυναμία εξυπηρέτησης της ζήτησης, για ορισμένο χρονικό διάστημα. Είναι προφανές ότι η εν λόγω πιθανότητα θα πρέπει να διατηρείται σε πολύ χαμηλά επίπεδα (π.χ. 1%), ώστε να περιορίζεται στο ελάχιστο ο κίνδυνος λειψυδρίας στην ευρύτερη περιοχή της πρωτεύουσας, κάτι που θα είχε ανυπολόγιστες κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες.

Η αποτίμηση της πιθανότητας αστοχίας (ή, ισοδύναμα, της αξιοπιστίας) είναι ένα εξαιρετικά σύνθετο πρόβλημα, δεδομένου ότι η λειτουργία του υδροσυστήματος διέπεται από πληθώρα αβεβαιοτήτων, με κυριότερη την υδρολογική, που καθιστά αδύνατη την πρόβλεψη των εισροών με τη χρήση προσδιοριστικών εργαλείων. Αυτό έρχεται σε πλήρη αντίθεση με την απαίτηση εξασφάλισης πολύ υψηλής αξιοπιστίας για μεγάλο χρονικό ορίζοντα, της τάξης των πέντε ως δέκα ετών. Η απαίτηση αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι η υφιστάμενη πολιτική λειτουργίας του συστήματος έχει μακροχρόνιες επιπτώσεις, όπως έχει φανεί σε διάφορες περιπτώσεις στο παρελθόν (π.χ. κατά την περίοδο 1988-1994).

Επιπλέον παράγοντα αβεβαιότητας αποτελεί η εξέλιξη της ζήτησης για τις διάφορες χρήσεις νερού. Κατά περιόδους, η αύξηση της υδρευτικής κατανάλωσης υπήρξε ραγδαία. Για παράδειγμα, μετά την παρέλευση της περιόδου λειψυδρίας και μέχρι τις αρχές της τρέχουσας δεκαετίας, ο ετήσιος ρυθμός μεταβολής της τελευταίας κυμαινόταν στα επίπεδα του 6%. Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια έχουν ενταχθεί στο σύστημα νέες χρήσεις νερού, όπως η άρδευση μέσω του υδραγωγείου Διστόμου.

### 5.1.3 Περιορισμοί στη διαχείριση του συστήματος

Η αβεβαιότητα στη διαχείριση του συστήματος, τόσο σε βραχυπρόθεσμο όσο και σε μεσοπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα, εντείνεται περαιτέρω εξαιτίας μιας πληθώρας περιορισμών, που σχετίζονται με τη δομή του συστήματος και τα χαρακτηριστικά των τεχνικών έργων.

Οι κυριότεροι περιορισμοί του συστήματος είναι οι εξής:

- Οι κύριοι υδατικοί πόροι βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από την Αθήνα, το οποίο καθιστά ιδιαίτερα πολύπλοκη την επιχειρησιακή λειτουργία του συστήματος.
- Από τις γεωτρήσεις, οι μόνες ικανής παροχτετευτικότητας κοντά στα διυλιστήρια είναι αυτές της ΒΑ Πάρνηθας και της Μαυροσουβάλας.
- Οι γεωτρήσεις Βασιλικών-Παρορίου μπορούν να προσφέρουν αρκετά μεγάλες ποσότητες στο σύστημα, αλλά με εξαιρετικά υψηλό ενεργειακό κόστος. Μάλιστα, τα τελευταία χρόνια η υδρευτική λειτουργία τους έχει ανασταλεί, προς όφελος της διάθεσης αρδευτικού νερού από το υδραγωγείο Μόρνου, μέσω ανάστροφης λειτουργίας του υδραγωγείου Διστόμου.
- Σημαντικά τμήματα των υδραγωγείων έχουν μειωμένη παροχτετευτικότητα σε σχέση με την επιθυμητή, με συνέπεια το σύστημα κατά τους θερινούς μήνες να λειτουργεί πλέον στα όριά του. Ακόμη, παρατηρούνται σημαντικές απώλειες νερού κατά μήκος ορισμένων υδραγωγείων (χωρίς να μπορούν να προσδιοριστούν χωρικά), που συνολικά ανέρχονται στο 10-15% των απολήψεων.
- Η πλέον σοβαρή αδυναμία αφορά στο ενωτικό υδραγωγείο, το οποίο αποτελεί τον κρίσιμο σύνδεσμο του συστήματος. Εδώ και μια δεκαετία, το υδραγωγείο λειτουργεί με μειωμένη παροχτετευτικότητα προς την ορθή κατεύθυνση (από το υδραγωγείο Μόρνου προς το υδραγωγείο Υλίκης), ενώ είναι εκτός λειτουργίας στην ανάστροφη κατεύθυνση.
- Δεν υπάρχει σημαντικό ρυθμιστικό έργο κοντά στην Αθήνα.

Οι περιορισμοί αυτοί πρέπει να ληφθούν υπόψη στο χειρισμό του διαχειριστικού προβλήματος και, συνακόλουθα, στις εκτιμήσεις του κόστους.

#### **5.1.4 Διαχωρισμός συνιστωσών κόστους**

Από τα παραπάνω καθίσταται σαφές ότι το κόστος παραγωγής του αδιύλιστου νερού (κόστος απολήψεων από τους υδατικούς πόρους και μεταφοράς τους στα υδραγωγεία) **δεν είναι σταθερό**, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με την εφαρμοζόμενη διαχειριστική πολιτική, συναρτήσει της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας στα αντλιοστάσια και τις γεωτρήσεις. Γενικά, σε περιόδους υψηλών αποθεμάτων η κατανάλωση ενέργειας είναι μικρή, ενώ αυξάνεται ραγδαία σε περιόδους χαμηλών αποθεμάτων, οπότε χρησιμοποιούνται εντατικά η Υλίκη και τα υπόγεια νερά.

Η ιδιαιτερότητα αυτή καθιστά αναγκαίο το διαχωρισμό των επιμέρους συνιστωσών κόστους σε σταθερά και μεταβλητά. Τα σταθερά κόστη παραγωγής περιλαμβάνουν τα κεφαλαιουχικά κόστη, όπως αποσβέσεις παγίων, επενδύσεις, κτλ. Τα μεταβλητά κόστη είναι αυτά που σχετίζονται με τη λειτουργία και συντήρηση του συστήματος, ήτοι τα κόστη του μόνιμου προσωπικού, τα έξοδα συντήρησης και οι δαπάνες για την κατανάλωση ενέργειας. Επισημαίνεται ότι στα μεταβλητά κόστη περιλαμβάνονται και αυτά που προκύπτουν εξαιτίας της κινητοποίησης έκτακτου προσωπικού για τη λειτουργία και συντήρηση των αντλιοστασίων.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία εκτίμησης των επιμέρους κατηγοριών κόστους αναλύεται παρακάτω.

## **5.2 Κεφαλαιουχικά κόστη**

Γενικά, τα κεφαλαιουχικά κόστη περιλαμβάνουν το απαιτούμενο κόστος για την αγορά ή τη χρηματοδοτική μίσθωση γης, εγκαταστάσεων, εξοπλισμού, μηχανημάτων, οχημάτων και υλικών, καθώς και του κόστους κατασκευής κτηρίων, εγκαταστάσεων, δρόμων, γεφυρών κλπ.

Οι εγκαταστάσεις της ΕΠΕΥΔΑΠ περιλαμβάνουν τους ταμιευτήρες, τις γεωτρήσεις, τα υδραγωγεία, τα αντλιοστάσια και τις μονάδες επεξεργασίας νερού.

Ακόμη, μια συνιστώσα του κεφαλαιουχικού κόστους είναι η βελτίωση των υποδομών και η βελτίωση της παροχής των υπηρεσιών με την εκτέλεση επενδύσεων. Στην περίπτωση της ΕΠΕΥΔΑΠ, οι υποδομές παραχωρήθηκαν από το κράτος, οπότε στην πραγματικότητα η εταιρεία δεν πραγματοποίησε τις αντίστοιχες επενδύσεις και δαπάνες κατασκευής. Θα πρέπει όμως να υπάρχει σχέδιο που να εξασφαλίζει μία απόδοση στα κεφάλαια αυτά ώστε να χρησιμοποιούνται για τις νέες επενδύσεις, χωρίς (ή με μειωμένες) κρατικές επιχορηγήσεις.

### **5.2.1 Αποσβέσεις παγίων**

Οι αποσβέσεις των παγίων θα υπολογιστούν με τις τιμές του Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: 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 και γεωτρήσεις	10.0%

### 5.2.2 Επενδύσεις

Δεν θα υπολογιστεί κόστος για μελλοντικές επενδύσεις, αφού δεν προβλέπεται καμία μεγάλη επένδυση για τα επόμενα χρόνια.

### 5.3 Κόστη λειτουργίας και συντήρησης

Θα εξεταστούν πραγματικά δεδομένα κόστους που συλλέγονται από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. και αφορούν στα έτη 2001-2009. Τα κόστη αυτά αφορούν στη λειτουργία και συντήρηση των εγκαταστάσεων και χωρίζονται σύμφωνα με τα στοιχεία που συγκεντρώνει η ΕΥΔΑΠ Α.Ε. σε κόστη παραγωγικών δραστηριοτήτων και κόστη κατανομής από τη Διεύθυνση Υδροληψίας και Μεταφοράς Νερού της ΕΥΔΑΠ Α.Ε.

Τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης επιμερίζονται σε τέσσερις κατηγορίες:

- κόστη συλλογής νερού σε ταμιευτήρες·
- κόστη υδροληψίας μέσω γεωτρήσεων·
- κόστη μεταφοράς νερού μέσω υδραγωγείων·
- κόστη άντλησης νερού κατά μήκος υδραγωγείων.

Στον Πίνακα 5.2 φαίνονται, ως παράδειγμα, τα παραπάνω κόστη για το έτος 2008.

Στα κόστη λειτουργίας, σημαντική συνιστώσα αποτελεί το ενεργειακό κόστος, το οποίο εξαρτάται από την πολιτική χρήσης των αντλιοστασίων και γεωτρήσεων. Συνεπώς, η εκτίμησή του προϋποθέτει προσομοίωση της λειτουργίας του υδροσυστήματος, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 5.4.

Πίνακας 5.2: Δεδομένα κόστους λειτουργίας και συντήρησης υδροδοτικού συστήματος (έτος 2008).

Περιγραφή	Κόστος παραγωγικών δραστηριοτήτων (€)
Συλλογή νερού σε ταμιευτήρες	1.562.203,38
Υδροληψία μέσω γεωτρήσεων	1.338.063,59
Μεταφορά νερού μέσω υδραγωγείων	3.946.111,99
Άντληση κατά μήκος υδραγωγείων	9.725.097,96
Κόστος κατανομής διεύθυνσης υδροληψίας	11.335.875,80

## 5.4 Διατύπωση διαχειριστικών σεναρίων και εκτίμηση κόστους ενέργειας

### 5.4.1 Μεθοδολογικό πλαίσιο εκτίμησης ενεργειακού κόστους

Μια από τις σημαντικότερες συνιστώσες κόστους του αδιύλιστου νερού είναι οι ενεργειακές δαπάνες, ειδικά στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται εντατικά η Υλίκη και οι γεωτρήσεις. Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες συνιστώσες, η εκτίμηση του ενεργειακού κόστους δεν μπορεί να γίνει με τυπικές μεθόδους χρηματοοικονομικής ανάλυσης, καθώς το κόστος αυτό δεν είναι σταθερό αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με τη διαχειριστική πολιτική που υιοθετείται.

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. Η βέλτιστη πολιτική εξαρτάται από τις συνθήκες 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.

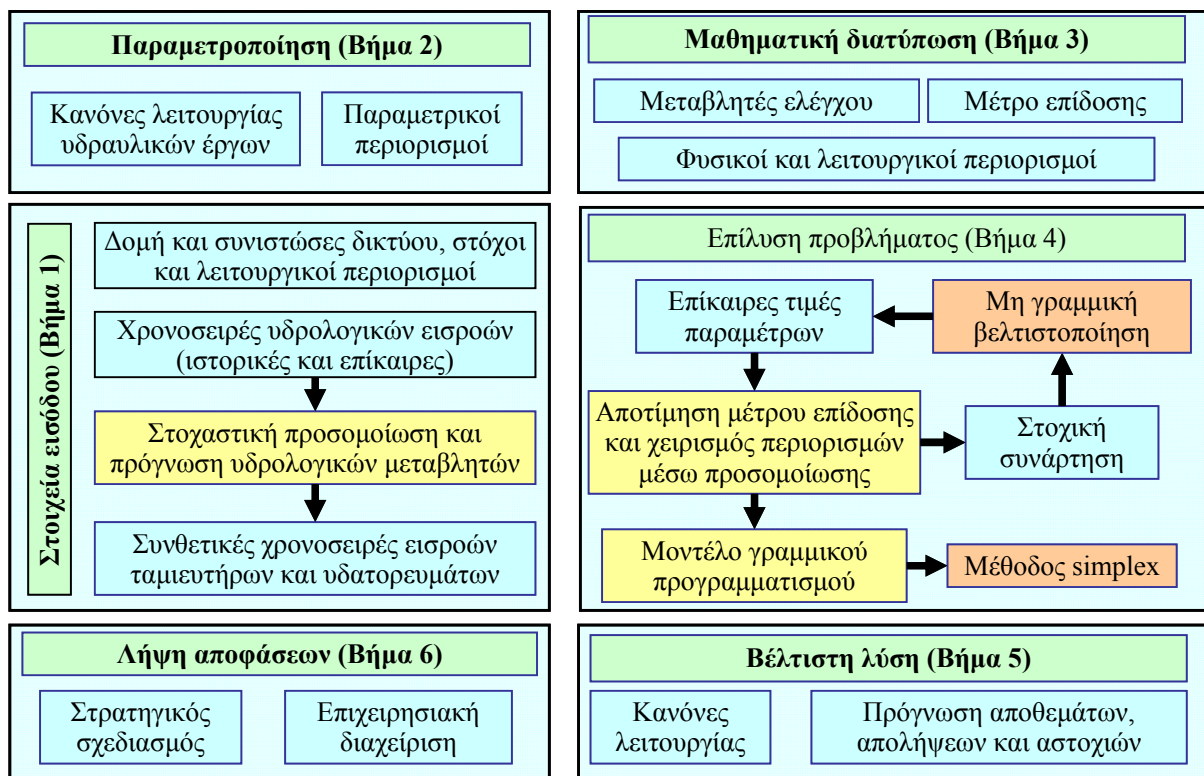
Οι αναλύσεις για τον υπολογισμό του ενεργειακού κόστους θα βασιστούν σε μεθοδολογίες και διαχειριστικά εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί από το ΕΜΠ και έχουν εφαρμοστεί σε ένα εύρος υδροσυστημάτων κάθε πολυπλοκότητας, για τη στρατηγική διαχείριση των υδατικών πόρων της αντίστοιχης περιοχής μελέτης. Μάλιστα, μεγάλο μέρος της ανάπτυξης καθώς και επιχειρησιακής εφαρμογής τους έγινε στα πλαίσια ερευνητικών συνεργασιών του ΕΜΠ με την ΕΥΔΑΠ, 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)*. Στα πλαίσια των έργων εκπονήθηκαν, μεταξύ άλλων, τρία ετήσια διαχειριστικά σχέδια (Κουτσογιάννης κ.ά., 2001, 2002· Ευστρατιάδης κ.ά., 2009).

Στο παρόν έργο θα χρησιμοποιηθούν τα λογισμικά Υδρονομέας και Κασταλία. Το πρώτο είναι ένα εξελιγμένο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για την προσομοίωση και βελτιστοποίηση συστημάτων υδατικών πόρων, ενώ το δεύτερο υλοποιεί ένα μοντέλο στοχαστικής προσομοίωσης και πρόγνωσης για την παραγωγή σεναρίων συνθετικών υδρολογικών εισροών. Τα εν λόγω σεναρία, μαζί με αυτά της ζήτησης, αποτελούν είσοδο του διαχειριστικού μοντέλου.

Στη συνέχεια περιγράφονται, συνοπτικά, το μεθοδολογικό πλαίσιο και οι βασικές λειτουργίες των δύο λογισμικών, καθώς και η μεθοδολογία που θα εφαρμοστεί για την διατύπωση των σεναρίων ζήτησης.

### 5.4.2 Βελτιστοποίηση της διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος με το λογισμικό Υδρονομέας

Η μεθοδολογία διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, όπως έχει υλοποιηθεί στο λογισμικό Υδρονομέας, βασίζεται σε πρωτότυπη ερευνητική εργασία (Nalbantis and Koutsoyiannis, 1997· Koutsoyiannis *et al.*, 2002· Koutsoyiannis and Economou, 2003· Koutsoyiannis *et al.*, 2003· Efstratiadis *et al.*, 2004). Η θεωρητική του βάση είναι το σχήμα παραμετροποίηση-προσομοίωση-βελτιστοποίηση, η οποία αποτελεί μια εύρωστη μεθοδολογία γενικού σκοπού, για την αντιμετώπιση προβλημάτων βέλτιστου ελέγχου υδροσυστημάτων. Λεπτομερής περιγραφή της μεθοδολογίας και του λογισμικού του δίνεται από τους Καραβοκυρό κ.ά. (2004) και Ευστρατιάδη κ.ά. (2007).



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα ροής μεθοδολογικού σχήματος παραμετροποίηση – προσομοίωση – βελτιστοποίηση (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2007).

Η κεντρική ιδέα της μεθόδου συνίσταται στην παραμετρική διατύπωση των πρακτικών διαχειρίσις των κύριων υδραυλικών έργων (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις), ώστε να περιορίζεται δραστικά το πλήθος των βαθμών ελευθερίας του μαθηματικού μοντέλου. Οι πρακτικές αυτές, καθώς και το σύνολο των φυσικών και λειτουργικών περιορισμών του υδροσυστήματος ενσωματώνονται σε μια διαδικασία προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αξιολογούνται ποσοτικά, με σκοπό την αποτίμηση ενός μέτρου επίδοσης. Ο εντοπισμός των βέλτιστων τιμών των παραμέτρων ως προς το συγκεκριμένο μέτρο επίδοσης είναι ένα πρόβλημα μη γραμμικής βελτιστοποίησης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ένας μη γραμμικός εξελικτικός αλγόριθμος που εντοπίζει την πλέον πρόσφορη λύση, εξετάζοντας συστηματικά ένα ικανό πλήθος εναλλακτικών τιμών παραμέτρων. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται σύζευξη των μεθόδων προσομοίωσης και βελτιστοποίησης, συνδυάζοντας την ακριβή αναπαράσταση της λειτουργίας του συστήματος με τον εντοπισμό της πλέον πρόσφορης πολιτικής διαχείρισης, και μάλιστα με εύλογο υπολογιστικό φόρτο, λόγω του μικρού αριθμού των παραμέτρων.

Το γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο απεικονίζεται στο Σχήμα 5.1 και περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

**Βήμα 1ο:** Διαμορφώνεται η σχηματοποίηση του υδροσυστήματος και εισάγονται τα δεδομένα του μαθηματικού μοντέλου, δηλαδή η τοπολογία και τα χαρακτηριστικά μεγέθη των συνιστωσών του υδατικού συστήματος, οι στόχοι και περιορισμοί και οι υδρολογικές χρονοσειρές. Αναλυτικότερα:

Οι *συνιστώσες* του υδροσυστήματος ομαδοποιούνται στις εξής κατηγορίες:

- κόμβοι, που είναι στοιχεία χωρίς αποθηκευτική ικανότητα και αντιστοιχούν σε σημεία ζήτησης νερού ή αλλαγής της γεωμετρίας και των χαρακτηριστικών μεγεθών του δικτύου·
- κόμβοι εισροής, που είναι ειδικοί τύποι κόμβων με δεδομένη προσφορά νερού·
- ταμιευτήρες, που είναι ειδικοί τύποι κόμβων, με δυνατότητα αποθήκευσης νερού·
- γεωτρήσεις, που είναι ειδικοί τύποι κόμβων, με δυνατότητα άντλησης νερού από υδροφορείς·
- υδατορεύματα, που είναι φυσικοί αγωγοί μεταφοράς νερού, χωρίς περιορισμό παροχетеυκότητας·

- υδραγωγεία, που είναι τεχνητοί αγωγοί νερού, πεπερασμένης παροχολογικότητας·
- στρόβιλοι, που είναι ειδικοί τύποι υδραγωγείων, κατά μήκος των οποίων παράγεται ενέργεια·
- αντλιοστάσια, που είναι ειδικοί τύποι υδραγωγείων, με τη χρήση των οποίων καταναλώνεται ενέργεια.

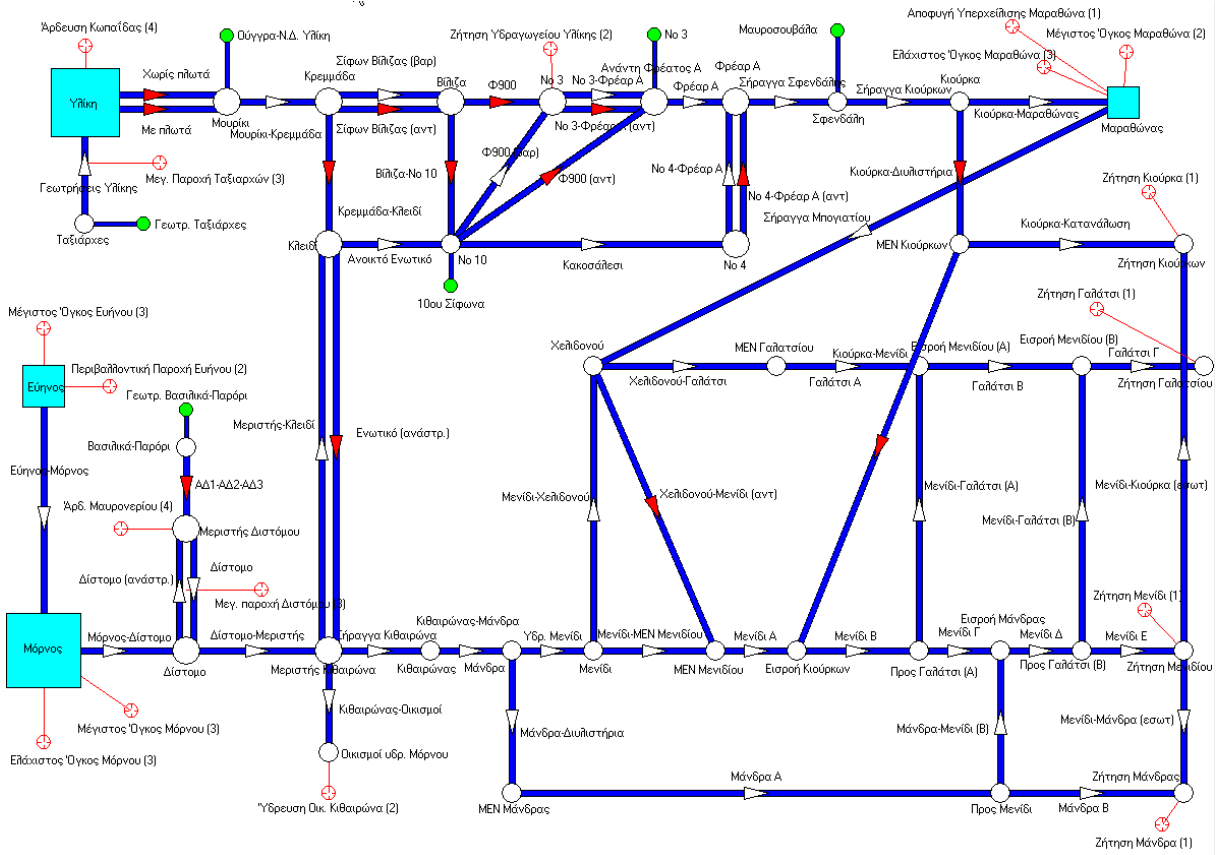
Οι στόχοι και περιορισμοί του συστήματος αναφέρονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- απόληψη νερού για ύδρευση και άρδευση·
- διατήρηση της παροχής υδραγωγείου ή υδατορεύματος μεταξύ ενός κατώτατου κι ενός ανώτατου ορίου ή παροχέτευση σταθερής ποσότητας νερού για ορισμένο χρονικό διάστημα·
- διατήρηση του αποθέματος ταμιευτήρα μεταξύ ενός κατώτατου κι ενός ανώτατου ορίου·
- αποφυγή απωλειών νερού λόγω υπερχειλίσης ταμιευτήρα.

Για κάθε στόχο/περιορισμό ορίζεται συγκεκριμένο επίπεδο προτεραιότητας, ώστε να επιβάλλεται μια συγκεκριμένη σειρά ικανοποίησης της ζήτησης σε περίπτωση ανεπαρκών αποθεμάτων. Επιπλέον, οι τιμές τους επιτρέπεται να μεταβάλλονται εποχιακά (από μήνα σε μήνα) ή και διαχρονικά.

Τέλος, οι *χρονοσειρές* αφορούν στις υδρολογικές εισροές και απώλειες του συστήματος, οι οποίες μπορεί να είναι ιστορικές ή συνθετικές. Στην τελευταία περίπτωση, οι χρονοσειρές παράγονται μέσω του στοχαστικού μοντέλου Κασταλία, όπως εξηγείται στο εδάφιο 5.4.3.

Στο Σχήμα 5.2 απεικονίζεται η σχηματοποίηση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, με βάση το πλέον πρόσφατο ετήσιο διαχειριστικό σχέδιο (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009). Στο σχήμα φαίνονται ακόμη οι στόχοι και περιορισμοί που τέθηκαν στο μοντέλο προσομοίωσης. Οι διαχειριστικές αναλύσεις για την εκτίμηση του ενεργειακού κόστους θα βασιστούν στο εν λόγω σχηματικό διάγραμμα, αφού πρώτα γίνει έλεγχος και επικαιροποίηση των δεδομένων εισόδου.



Σχήμα 5.2: Σχηματοποίηση υδροδοτικού συστήματος Αθήνας (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.ά., 2009).

**Βήμα 2ο:** Ορίζονται κανόνες στρατηγικής διαχείρισης του συστήματος, που περιγράφονται από ένα σύνολο παραμέτρων. Ειδικότερα, οι κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων είναι νόμοι που ορίζουν το απόθεμα-στόχο κάθε ταμιευτήρα με βάση το αναμενόμενο απολήψιμο απόθεμα του συστήματος, τη συνολική ζήτηση νερού και τους περιορισμούς αποθέματος. Οι κανόνες διατυπώνονται συναρτήσει μίας ή δύο παραμέτρων ανά ταμιευτήρα, σύμφωνα με μια μη γραμμική συνάρτηση της μορφής:

$$s_i^* = g(a_i, b_i, k_i, s_i^{\min}, s_i^{\max}, v) \quad (5.1)$$

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 για το σύνολο των αποθεμάτων των ταμιευτήρων, και  $a_i, b_i$  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, ο φόρτος της βελτιστοποίησης αυξάνει ακόμα και εκθετικά με το πλήθος των μεταβλητών ελέγχου). Εφόσον η ζήτηση και τα χαρακτηριστικά του συστήματος διατηρούνται αμετάβλητα, οι κανόνες λειτουργίας των ταμιευτήρων, και συνακόλουθα οι αντίστοιχες παράμετροι, δεν μεταβάλλονται διαχρονικά.

Όσον αφορά στις ομάδες γεωτρήσεων, στην παραμετροποίηση εισάγονται δύο μεταβλητές ελέγχου (τύπου ανωφλίου και κατωφλίου), οι οποίες αντιστοιχούν σε προκαθορισμένα όρια του ποσοστού πλήρωσης των ταμιευτήρων (ήτοι του ολικού απολήψιμου αποθέματος προς την ολική ωφέλιμη χωρητικότητα). Αν το εν λόγω ποσοστό υπερβαίνει το άνω όριο (δηλ. υπάρχει αρκετό απόθεμα νερού στους ταμιευτήρες), τότε απαγορεύεται η χρήση της συγκεκριμένης ομάδας γεωτρήσεων και οι απολήψεις πραγματοποιούνται αποκλειστικά από τους ταμιευτήρες. Αν το ποσοστό είναι μικρότερο από το κάτω όριο (δηλ. υπάρχει πρόβλημα επάρκειας του νερού στους ταμιευτήρες), τότε επιβάλλεται η χρήση της συγκεκριμένης ομάδας γεωτρήσεων, ανεξαρτήτως κόστους. Τέλος, σε ενδιάμεσες τιμές, η ομάδα γεωτρήσεων ενεργοποιείται ή όχι με βάση ενεργειακά κριτήρια.

**Βήμα 3ο:** Διατυπώνεται το πρόβλημα βελτιστοποίησης ως προς το μέτρο επίδοσης του συστήματος, με μεταβλητές ελέγχου επιλεγμένες παραμέτρους ή/και περιορισμούς. Το μέτρο επίδοσης ορίζεται ως το σταθμισμένο άθροισμα επιμέρους αριθμητικών κριτηρίων που αποτιμώνται μέσω προσομοίωσης. Για τη διαμόρφωση του μέτρου επίδοσης, επιλέγονται ένα ή περισσότερα κριτήρια από τα παρακάτω, και οι αντίστοιχοι συντελεστές βάρους:

- μέση ετήσια κατανάλωση νερού σε επιλεγμένους κόμβους και ταμιευτήρες·
- μέση ή μέγιστη ετήσια πιθανότητα αστοχίας επιλεγμένων στόχων και περιορισμών·
- μέσο ή μέγιστο ετήσιο έλλειμμα επιλεγμένων στόχων και περιορισμών·
- μέση ετήσια οικονομική επίδοση υδροσυστήματος (άθροισμα κόστους-οφέλους)·
- μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας·
- ετήσια παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας·
- μέσες ετήσιες απώλειες λόγω υπερχειλίσης.

Ειδικότερα, η μέση ετήσια πιθανότητα αστοχίας εκτιμάται ως ο μέσος όρος των αστοχιών όλων των σεναρίων, για το σύνολο του χρονικού ορίζοντα ελέγχου. Από την άλλη πλευρά, η μέγιστη ετήσια πιθανότητα αναφέρεται στο πλέον δυσμενές έτος, το έτος δηλαδή κατά το οποίο αστοχούν τα περισσότερα σενάρια, και είναι συνεπώς πιο ρεαλιστικός ως δείκτης. Στο μοντέλο θεωρείται ετήσια αστοχία εφόσον παραβιαστεί κάποιος στόχος ή περιορισμός, έστω και για ένα μήνα του έτους.

**Βήμα 4ο:** Για δεδομένη διαχειριστική πολιτική, δηλαδή δεδομένες τιμές παραμέτρων, καλείται το μοντέλο προσομοίωσης το οποίο και επιλύει το μαθηματικό μοντέλο του συστήματος, δηλαδή τις εξισώσεις δυναμικής και τους μαθηματικούς περιορισμούς, για το σύνολο του ορίζοντα ελέγχου. Σε

κάθε χρονικό βήμα, προκύπτει ένα σύνθετο πρόβλημα κατανομής των ροών του υδροσυστήματος, για το οποίο τίθενται οι εξής απαιτήσεις, σε σειρά ιεραρχίας:

- αυστηρή ικανοποίηση των φυσικών περιορισμών των τεχνικών έργων·
- ικανοποίηση των στόχων και διαχειριστικών περιορισμών, σύμφωνα με την σειρά προτεραιότητας που έχει οριστεί·
- ελαχιστοποίηση της απόκλισης μεταξύ των πραγματικών και επιθυμητών απολήψεων, ώστε να τηρείται κατά το δυνατόν πιστότερα η πολιτική διαχείρισης που επιβάλλουν οι κανόνες λειτουργίας·
- ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς των υδατικών πόρων κατά μήκος του δικτύου των υδραγωγείων, γεωτρήσεων και αντλιοστασίων.

Ο χειρισμός του προβλήματος προϋποθέτει το μετασχηματισμό του πραγματικού υδροσυστήματος σε ένα ισοδύναμο μοντέλο διγράφου, στο οποίο ορίζονται εικονικές τιμές παροχτευκτότητας και μοναδιαίου κόστους. Με τον τρόπο αυτό, διαμορφώνεται ένα μοντέλο γραμμικής βελτιστοποίησης, η μαθηματική δομή του οποίου επιτρέπει τη χρήση εξαιρετικά ταχείων επιλυτών, ήτοι μιας ειδικής εκδοχής της γνωστής μεθόδου simplex, κατάλληλης για πολύ μεγάλου μεγέθους αλλά αραιά μητρώα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται σε κάθε χρονικό βήμα.

Μετά το πέρας της προσομοίωσης αποτιμάται η τιμή της στοχικής συνάρτησης, δηλαδή η επίδοση του συστήματος έναντι της συγκεκριμένης διαχειριστικής πολιτικής. Για την μεγιστοποίηση του εν λόγω μέτρου, εισάγεται μια εξωτερική διαδικασία βελτιστοποίησης, σε κάθε δοκιμή της οποίας ορίζονται νέες τιμές παραμέτρων, και επαναλαμβάνεται η προσομοίωση. Η διαδικασία σταματά όταν επέλθει σύγκλιση στην βέλτιστη λύση ή μόλις εξαντληθεί ένα ανώτατο όριο δοκιμών. Επειδή το πρόβλημα είναι έντονα μη γραμμικό, αντιμετωπίζεται με εξειδικευμένες υπολογιστικές μεθόδους, συγκεκριμένα τον εξελικτικό αλγόριθμο ανόπτησης-απλόκου (Efstratiadis and Koutsoyiannis, 2002· Rozos *et al.*, 2004· Ευστρατιάδης, 2008).

**Βήμα 5ο:** Εντοπίζεται η βέλτιστη λύση του προβλήματος, που περιλαμβάνει τους κανόνες λειτουργίας και ένα πλήθος πληροφοριών που αναφέρονται στην εκτίμηση της πιθανότητας αστοχίας των περιορισμών και την στοχαστική πρόγνωση όλων των μεταβλητών του υδροσυστήματος (απολήψεις, παροχές υδραγωγείων, αντλήσεις, κλπ.). Στα παραπάνω περιλαμβάνονται τα υδατικά και ενεργειακά ισοζύγια όλων των συνιστωσών του υδροσυστήματος (ταμιευτήρες, κόμβοι, υδραγωγεία, γεωτρήσεις, στρόβιλοι, αντλιοστάσια), που προκύπτουν με στατιστική επεξεργασία των σεναρίων πρόγνωσης.

**Βήμα 6ο:** Τα αποτελέσματα της βέλτιστης λύσης αξιοποιούνται για την λήψη αποφάσεων, είτε σε επίπεδο στρατηγικού σχεδιασμού είτε σε κλίμακα επιχειρησιακής διαχείρισης. Εφόσον κρίνεται αναγκαίο, η διαδικασία επαναλαμβάνεται τροποποιώντας τόσο τα δεδομένα εισόδου του μοντέλου όσο και τα κριτήρια βελτιστοποίησης.

#### 5.4.3 Γέννηση συνθετικών υδρολογικών σεναρίων με το λογισμικό Κασταλία

Οι υδρολογικές μεταβλητές του υδροσυστήματος δίνονται με τη μορφή χρονοσειρών, που αποτελούν τα δυναμικά δεδομένα εισόδου των ταμιευτήρων (χρονοσειρές απορροής υπολεκάνης, βροχόπτωσης και εξάτμισης) και των κόμβων εισροής (χρονοσειρές παροχής). Οι χρονοσειρές μπορεί να είναι ιστορικές ή συνθετικές. Στη δεύτερη περίπτωση, οι χρονοσειρές παράγονται μέσω του μοντέλου στοχαστικής προσομοίωσης που υλοποιεί το λογισμικό Κασταλία και ομαδοποιούνται σε υδρολογικά σενάρια. Η δομή των σεναρίων διαφοροποιείται ανάλογα με τον τύπο της προσομοίωσης.

Σε μελέτες σχεδιασμού ή στρατηγικής διαχείρισης συστημάτων υδατικών πόρων, όπου ζητούμενο είναι η αποτίμηση της μακροχρόνιας επίδοσης του συστήματος, η εν λόγω επίδοση θεωρείται ότι δεν επηρεάζεται από το αρχικό καθεστώς υδροφορίας και αποθεμάτων. Επιπλέον, όλα τα υπόλοιπα



δεδομένα εισόδου του συστήματος, όπως η διάταξη και τα χαρακτηριστικά των έργων και η ετήσια ζήτηση νερού, θεωρούνται σταθερά και ανεξάρτητα του χρόνου. Ο τύπος αυτός της προσομοίωσης ονομάζεται *μόνιμης κατάστασης* (steady-state). Στη μόνιμη κατάσταση, τα σενάρια εισροών μπορούν να θεωρηθούν ισοδύναμα μιας χρονοσειράς πολύ μεγάλου (θεωρητικά άπειρου) μήκους.

Αντίθετα, στην επιχειρησιακή λειτουργία του συστήματος επιβάλλεται η ενσωμάτωση των αρχικών συνθηκών στο μοντέλο διαχείρισης. Στην περίπτωση αυτή, η βραχυχρόνια και πιθανόν μεσοπρόθεσμη επίδοση του συστήματος ενδέχεται να εξαρτάται καθοριστικά τόσο από το επίκαιρο καθεστώς υδροφορίας όσο και από τα επίκαιρα αποθέματα νερού. Επιπλέον, οι παράμετροι του υδροσυστήματος είναι συνήθως μεταβαλλόμενες στον χρόνο, λόγω της ένταξης νέων έργων στο σύστημα ή και την προσωρινής απενεργοποίησης ορισμένων, λόγω συντήρησης ή βλάβης, της εισαγωγής νέων περιορισμών, της αύξησης της ζήτησης, κλπ. Στην περίπτωση αυτή, η προσέγγιση που ακολουθείται βασίζεται στην παραγωγή ενός μεγάλου πλήθους αλλά μικρού, κατά κανόνα, μήκους σεναρίων εισροών, συσχετισμένων με την πλέον πρόσφατη ακολουθία τιμών. Αυτό προϋποθέτει κατάλληλη προσαρμογή του στοχαστικού μοντέλου ώστε να λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ιστορικών δειγμάτων αλλά και την ακολουθία των ιστορικών τιμών, και ιδιαίτερα των πλέον πρόσφατων. Η λειτουργία αυτή του μοντέλου ονομάζεται *στοχαστική πρόγνωση*. Στην συνέχεια, επαναλαμβάνεται το μοντέλο προσομοίωσης με διαφορετικό κάθε φορά σενάριο εισροών, αλλά με τις ίδιες αρχικές συνθήκες αποθεμάτων, τις ίδιες συνθήκες μεταβολής παραμέτρων (εφόσον το σύστημα χαρακτηρίζεται από μη στασιμότητα), και την ίδια συνθήκη τερματισμού (χρονικός ορίζοντας ελέγχου).

Για τη γέννηση των συνθετικών χρονοσειρών χρησιμοποιείται ένα στοχαστικό μαθηματικό μοντέλο, υλοποιημένο στο λογισμικό Κασταλία που αναπτύχθηκε στο ΕΜΠ. Το μοντέλο περιγράφει τη στατιστική εξάρτηση των υδρολογικών μεταβλητών στο χώρο και το χρόνο, ενώ το σχετικό μεθοδολογικό πλαίσιο βασίζεται, επίσης, σε πρωτότυπη ερευνητική εργασία (Koutsoyiannis and Manetas, 1996· Koutsoyiannis, 1999· Koutsoyiannis, 2000, 2001, 2002). Οι συνθετικές χρονοσειρές διατηρούν όλα τα ουσιώδη στατιστικά χαρακτηριστικά του ιστορικού δείγματος από το οποίο προέρχονται, δηλαδή τις μέσες τιμές, τυπικές αποκλίσεις, ασυμμετρίες, αυτοσυσχετίσεις πρώτης τάξης και ετεροσυσχετίσεις του δείγματος, τόσο σε ετήσια όσο και σε μηνιαία βάση. Επιπλέον, αναπαράγουν το ιδιαίτερα κρίσιμο φαινόμενο της υδρολογικής εμμονής, που αναφέρεται στη βιβλιογραφία και ως φαινόμενο (ή δυναμική) Hurst. Με αυτό σχετίζεται η μεταβλητότητα του κλίματος σε όλες τις χρονικές κλίμακες, και συνακόλουθα η εμφάνιση συνεχόμενων ετών χαμηλής υδροφορίας, όπως και, αντίστροφα, συνεχόμενων ετών υψηλής υδροφορίας (Koutsoyiannis, 2003, 2005). Η αναπαραγωγή της δυναμικής Hurst επιτυγχάνεται με κατάλληλη προσαρμογή της γενικευμένης συνάρτησης αυτοσυνδιασποράς (Koutsoyiannis, 2000):

$$\gamma_j = \gamma_0 [1 + \kappa \beta j]^{-1/\beta} \quad (5.2)$$

όπου  $\gamma_0$  η διασπορά του ιστορικού δείγματος,  $\kappa$  παράμετρος σχήματος και  $\beta$  παράμετρος κλίμακας, η οποία σχετίζεται με την εμμονή της στοχαστικής ανέλιξης. Για  $\beta = 0$ , οι χρονοσειρές που παράγονται δεν έχουν εμμονή, ενώ όσο αυξάνει η τιμή του  $\beta$  τόσο αυξάνει και η μεταβλητότητα των χρονοσειρών που γεννά του στοχαστικό μοντέλο.

#### 5.4.4 Διατύπωση σεναρίων υδρευτικής ζήτησης

Η κύρια χρήση νερού στο υδροδοτικό σύστημα είναι η ύδρευση της μείζονος περιοχής των Αθηνών, που περιλαμβάνει δύο περιοχές:

- την *περιοχή ευθύνης* της ΕΥΔΑΠ, που ταυτίζεται πρακτικά με την Περιφέρεια Πρωτευούσης και της οποίας τα δίκτυα διανομής λειτουργεί και εκμεταλλεύεται η ΕΥΔΑΠ·

- την *περιοχή αρμοδιότητας* της ΕΥΔΑΠ, που περιλαμβάνει δήμους και κοινότητες των οποίων το δίκτυο διανομής είναι δημοτικό, αλλά ενισχύεται από τους κεντρικούς τροφοδοτικούς αγωγούς της ΕΥΔΑΠ.

Η συνολική κατανάλωση υποδιαιρείται σε διάφορες κατηγορίες χρήσεων νερού (κοινή, κατανάλωση για την ενίσχυση των ΟΤΑ, βιομηχανική-επαγγελματική, δημόσια-δημοτική, λοιπές χρήσεις), των οποίων η διαχρονική εξέλιξη παρουσιάζει σημαντικές διαφορές. Για παράδειγμα, η κατανάλωση των ΟΤΑ αυξήθηκε με σημαντικό ρυθμό όλη την τελευταία δεκαετία, και το κυμαίνεται πλέον στα επίπεδα του 22% της συνολικής τιμολογημένης κατανάλωσης (Ευστρατιάδης κ.ά., 2009).

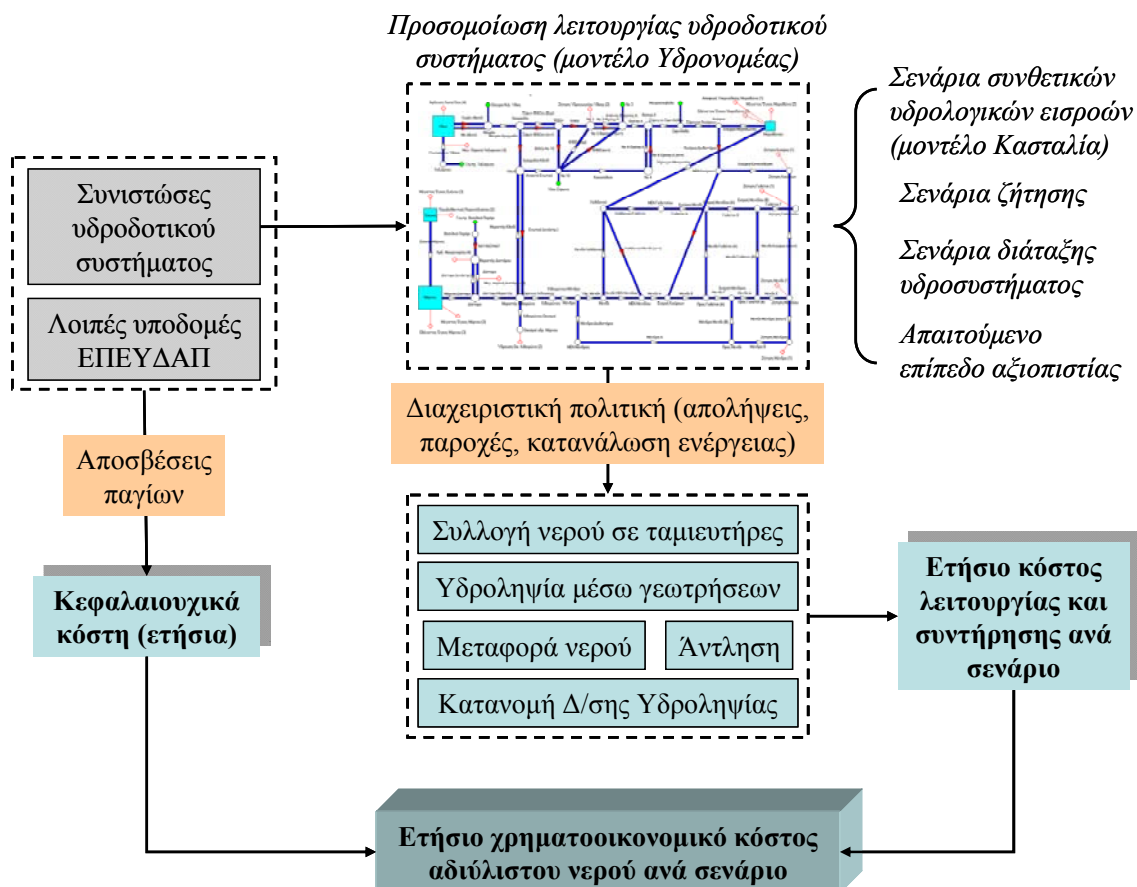
Ο βασικός παράγοντας που επιδρά στη χρονική εξέλιξη της ετήσιας κατανάλωσης νερού στην Αθήνα είναι η διακύμανση του υδρευόμενου πληθυσμού (συμπεριλαμβανομένων των τουριστών και μεταναστών). Άλλοι παράγοντες είναι ο βαθμός ανάπτυξης των άλλων χρήσεων νερού (βιομηχανικές, δημόσιες, δημοτικές, κλπ.), η αύξηση του βιοτικού επιπέδου (επιδρά στην ειδική ή κατά κεφαλή κατανάλωση), η υδροδότηση νέων περιοχών, τα έκτακτα περιστατικά και οι απώλειες του εξωτερικού δικτύου μεταφοράς και του εσωτερικού δικτύου διανομής. Ακόμη, σημαντική επίδραση έχουν η τιμολογιακή πολιτική της εταιρείας αλλά και η ενημέρωση του κοινού για την εξοικονόμηση του νερού.

Στις αναλύσεις κόστους, η αβεβαιότητα ως προς την εξέλιξη της υδρευτικής κατανάλωσης θα αντιμετωπιστεί με τη μορφή σεναρίων. Δεδομένου ότι η χρονική εξέλιξη κάθε επιμέρους συνιστώσας της υδρευτικής ζήτησης εξαρτάται από διαφορετικούς παραμέτρους, στην προτεινόμενη προσέγγιση θα εξεταστεί κάθε χρήση ξεχωριστά, οπότε η συνολική ζήτηση θα προκύψει αθροίζοντας τις εκτιμήσεων όλων των χρήσεων. Στην προσέγγιση αυτή θα διερευνηθούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε χρήσης καθώς και η χρονική της εξέλιξη.

Τα σενάρια που θα διαμορφωθούν θα προκύψουν με βάση **συνδυασμούς προβλέψεων για την εξέλιξη του πληθυσμού και της ειδικής κατανάλωσης.**

## 6 Σύνοψη μεθοδολογίας

Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο για την εκτίμηση του ετήσιου χρηματοοικονομικού κόστους του αδιύλιστου νερού συνοψίζεται στο διάγραμμα ροής του Σχήματος 6.1.



Σχήμα 6.1: Διάγραμμα ροής υπολογισμού χρηματοοικονομικού κόστους αδιύλιστου νερού.

Συγκεκριμένα, η μεθοδολογία που θα υλοποιηθεί έχει ως εξής:

Σε πρώτη φάση, θα υπολογιστούν τα κεφαλαιουχικά κόστη, με βάση τις ετήσιες αποσβέσεις για κάθε κατηγορία έργου. Στα έργα περιλαμβάνονται οι συνιστώσες του υδροδοτικού συστήματος (φράγματα, υδραγωγεία, αντλιοστάσια, κτλ.) και οι λοιπές υποδομές της ΕΠΕΥΔΑΠ (κτίρια, γραφεία, κτλ.). Τα κόστη αυτά δεν εξαρτώνται από τον τρόπο λειτουργίας του υδροσυστήματος.

Στη συνέχεια, θα υπολογιστούν τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης, τα οποία διαφοροποιούνται ανάλογα με τη διαχειριστική πολιτική που εφαρμόζεται. Αυτό συμβαίνει επειδή το κόστος ενέργειας, το οποίο είναι κρίσιμη συνιστώσα του κόστους λειτουργίας, εξαρτάται από την πολιτική χρήσης των αντλιοστασίων και γεωτρήσεων. Εκτός όμως από τις άμεσες δαπάνες λόγω κατανάλωσης ενέργειας, η ενεργοποίηση των αντλιοστασίων και γεωτρήσεων επηρεάζει και άλλες συνιστώσες, όπως το κόστος προσωπικού και το κόστος συντήρησης οι οποίες και θα γίνει προσπάθεια να ληφθούν υπόψη αν υπάρχουν επαρκή στοιχεία.

Η εκτίμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας θα γίνει με τη μορφή σεναρίων, και με εφαρμογή του συστήματος υποστήριξης αποφάσεων Υδρονομίας.

Αρχικά, θα διαμορφωθεί η σχηματοποίηση του υδροδοτικού συστήματος, με αφετηρία το υφιστάμενο διαχειριστικό μοντέλο που έχει αναπτυχθεί από το ΕΜΠ, σε συνεργασία με την ΕΥΔΑΠ. Στο μοντέλο θα γίνουν οι κατάλληλες μετατροπές, ώστε να προσδιοριστούν τα πλέον επίκαιρα μεγέθη των έργων.

Η έμφαση θα δοθεί στα ενεργειακά μεγέθη των αντλιοστασίων και γεωτρήσεων. Για το σκοπό αυτό, από τη Διεύθυνση Ενέργειας της ΕΥΔΑΠ θα αναζητηθούν μηνιαίες τιμές αντλούμενων ποσοτήτων, κατανάλωσης ενέργειας και σχετικής δαπάνης. Με βάση τα ιστορικά αυτά δεδομένα, θα καθοριστούν κατάλληλες σχέσεις μεταβολής της κατανάλωσης ενέργειας συναρτήσει της παροχής ώστε να προσδιοριστούν οι τιμές της ειδικής ενέργειας, που αποτελούν είσοδο του διαχειριστικού μοντέλου. Ακόμη, θα καθοριστούν οι σχέσεις ενέργειας-κόστους για κάθε συνιστώσα (αντλιοστάσιο, γεώτρηση), με βάση τις οποίες θα προκύπτει το ετήσιο ενεργειακό κόστος της εκάστοτε διαχειριστικής πολιτικής.

Όσον αφορά στα υδρολογικά σενάρια, αυτά θα διαμορφωθούν με βάση τα πλέον επίκαιρα δείγματα εισροών. Για κάθε ταμιευτήρα του υδροσυστήματος (Εύηνος, Μόρνος, Υλίκη, Μαραθώνας), θα επικαιροποιηθούν οι ιστορικές χρονοσειρές βροχόπτωσης και απορροής. Οι χρονοσειρές αυτές αποτελούν είσοδο του μοντέλου Κασταλία, για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών μεγάλου μήκους (π.χ. 2000 ετών), οι οποίες αναπαράγουν τα στατιστικά χαρακτηριστικά των παρατηρημένων δειγμάτων. Για λόγους συνέπειας, σε όλες οι διαχειριστικές αναλύσεις θα χρησιμοποιηθούν τα ίδια συνθετικά υδρολογικά σενάρια.

Ως προς τα σενάρια ζήτησης, αυτά θα βασιστούν, όπως προαναφέρθηκε, σε προβλέψεις εξέλιξης του πληθυσμού και της ειδικής κατανάλωσης για κάθε χρήση νερού. Ως αφετηρία θα ληφθεί το τρέχον σενάριο καταναλώσεων, ως προς το οποίο θα γίνει ανάλυση ευαισθησίας. Για το ρυθμό εξέλιξης του πληθυσμού θα ληφθούν υπόψη επίσημα δημογραφικά στοιχεία καθώς και σχετικές αναλύσεις της ΕΣΥΕ. Όσον αφορά στην ειδική κατανάλωση, θα μελετηθεί η διαχρονική τους εξέλιξη ανά χρήση, λαμβάνοντας υπόψη και την εμπειρία άλλων κρατών.

Στα σενάρια που θα διαμορφωθούν περιλαμβάνονται και σενάρια μεταβολών του δικτύου μεταφοράς, με βάση πιθανά έργα ενίσχυσης της παροχευτικότητας των υδραγωγείων, μείωσης των απωλειών, κλπ.

Τελικά, για κάθε συνδυασμό γενικής διάταξη του δικτύου, εισροών και ζήτησης, θα αναζητηθεί η βέλτιστη διαχειριστική πολιτική, που είναι αυτή που εξασφαλίζει την απαιτούμενη αξιοπιστία με το ελάχιστο ενεργειακό κόστος. Η πολιτική αυτή εκφράζεται με τη μορφή κανόνων λειτουργίας, μέσω των οποίων προσδιορίζεται το επιθυμητό απόθεμα των ταμιευτήρων συναρτήσει των συνολικών αποθεμάτων. Ως επιθυμητό όριο αξιοπιστίας θα τεθεί το 99%, που σημαίνει ότι επιτρέπεται μία μόνο ελλειμματική χρονιά ανά εκατό χρόνια, κατά μέσο όρο.

Στις αναλύσεις, θα εξεταστεί **η μεταβολή της παρεχόμενης αξιοπιστίας συναρτήσει της κατανάλωσης ενέργειας και της ζήτησης**. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων θα προκύψουν εναλλακτικές τιμές του ετήσιου ενεργειακού κόστους, ανάλογα με τη διάταξη των έργων, την υδρευτική ζήτηση και την κατανομή των αποθεμάτων στους ταμιευτήρες.

Τελικά, **για κάθε σενάριο** θα αθροιστούν όλες οι επιμέρους συνιστώσες κόστους και θα υπολογιστεί **το ανά μονάδα όγκου χρηματοοικονομικό κόστος του αδιύλιστου νερού**.

## Αναφορές

---

- Γενικό Λογιστήριο της Δημοκρατίας (Γ.Λ.Δ.), *Οδηγός Βέλτιστων Πρακτικών για τη Σύναψη και Εκτέλεση Δημοσίων Συμβάσεων*, Διεύθυνση Δημοσίων Συμβάσεων, Κυπριακή Δημοκρατία, 01/01/2008.
- 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: NAMA 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 Υποστήριξης 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.
- Καλιαμπάκος, Δ., και Δαμίγος, Δ., *Χρηματοοικονομική και κοινωνικοοικονομική αξιολόγηση επενδύσεων*, 38 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2008.
- Καραβοκυρός, Γ., Α. Ευστρατιάδης, και Δ. Κουτσογιάννης, Υδρονομείας (έκδοση 3.2) - Σύστημα υποστήριξης 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.
- Καρπούζος, Δ., Ι. Κυριαζοπούλου, και Ι. Ναλμπάντης, Προδιαγραφές ανάλυσης, κωδικοποίησης και κοστολόγησης των χρήσεων νερού, *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)*, Τεύχος 14, 69 σελίδες, NAMA Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές Α.Ε., Αθήνα, Ιούνιος 2005.

- Κουτσογιάννης, Δ., Α. Ευστρατιάδης, Γ. Καραβοκυρός, Α. Κουκουβίνος, Ν. Μαμάσης, Ι. Ναλμπάντης, Δ. Γκριντζιά, Ν. Δαμιανόγλου, Χ. Καρόπουλος, Σ. Ναλπαντίδου, Α. Νασίκας, Α. Νικολόπουλος, Α. Ξανθάκης, και Κ. Ρίπης, Σχέδιο διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας — Έτος 2001–2002, *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, Τεύχος 13, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Δεκέμβριος 2001.
- 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.
- Κυριαζοπούλου, Ι., Θεωρητική τεκμηρίωση του μοντέλου οικονομικής ανάλυσης σεναρίων διαχείρισης υδροσυστημάτων «Ερμής», *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)*, Ανάδοχος: ΝΑΜΑ Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές Α.Ε., Τεύχος 6, 35 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Δεκέμβριος 2006.
- Μπίθας, Κ. Π., *Βιώσιμη χρήση νερού στις πόλεις και τα συστήματα τιμολόγησης. Η ευρωπαϊκή εμπειρία*, 549-581, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών, 2006.
- ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΔΑΠ, *Σύμβαση μεταξύ του Ελληνικού Δημοσίου και της ΕΥΔΑΠ*, Αθήνα, 1999.
- Χαλκιάς, Ν., *Εκτίμηση κόστους παροχής αδιύλιστου νερού στην Αττική*, Μεταπτυχιακή εργασία, 173 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούνιος 2010.
- Brent, R.J., *Project Appraisal for Developing Countries*, Harvester Wheatsheaf, Hemel Hempstead, 1990.
- Dioikitopoulos, E. V., and S. Kalyvitis, Public capital maintenance and congestion: Long-run growth and fiscal policies, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 32(12), 3760-3779, 2008.
- 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.
- Efstratiadis, A., I. Nalbantis, A. Koukouvinos, E. Rozos, and D. Koutsoyiannis, HYDROGEIOS: A semi-distributed GIS-based hydrological model for modified river basins, *Hydrology and Earth System Sciences*, 12, 989–1006, 2008.
- Environment, Food and Rural Affairs Committee (EFRACOM), *OFWAT price review 2009 – Fifth Report of Session 2008-09*, Vol. I, 52 pages, House of Commons, London: The Stationery Office, 2009.
- Global Water Partnership (GWP) – Technical Advisory Committee (TAC), *Water as a social and economic good: How to put the principle into practice*, 35 pages, Stockholm, Sweden, 1998.

- Global Water Partnership (GWP) – Technical Advisory Committee (TAC), *Integrated Water Resources Management*, 67 pages, Stockholm, Sweden, 2000.
- Hastak, M., and E. J. Baim, Risk factors affecting management and maintenance cost of urban infrastructure, *Journal of Infrastructural Systems*, 7(2), 67-76, 2001.
- Karavokiros, G., A. Efstratiadis, and D. Koutsoyiannis, Determining management scenarios for the water resource system of Athens, *Proceedings, Hydorama 2002, 3rd International Forum on Integrated Water Management*, 175–181, Water Supply and Sewerage Company of Athens, Athens, 2002.
- 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., 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., Climate change, the Hurst phenomenon, and hydrological statistics, *Hydrological Sciences Journal*, 48 (1), 3–24, 2003.
- 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, New York, 2005.
- 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.
- Kula, E., και Α. Πρωτοπαπάς, *Οικονομικά και Πολιτικές για τη Βιώσιμη Διαχείριση του Περιβάλλοντος και των Φυσικών Πόρων*, 494 σελίδες, Εκδόσεις Σακκουλά, Αθήνα-Θεσσαλονίκη, 2005.
- Lim, S.-R., S. Suh, J.-H. Kim, and H. S. Park, Urban water infrastructure optimization to reduce environmental impacts and costs, *Journal of Environmental Management*, 91(3), 630-637, 2010.
- 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. and D. Butler (2004). Planning site-specific Water Demand Management Strategies. *Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management (CIWEM)*, vol. 18, no 1, pg. 29-35.

- Makropoulos, C. K., Natsis, K., Liu, S., Mittas, K., and D. Butler, (2008) Decision Support for Sustainable Option Selection in Integrated Urban Water Management. *Environmental Modelling and Software*, 23 (12): 1448-1460, doi:10.1016/j.envsoft.2008.04.010
- Nalbantis, I., and D. Koutsoyiannis, A parametric rule for planning and management of multiple reservoir systems, *Water Resources Research*, 33(9), 2165-2177, 1997.
- OFWAT, *Setting price limits for 2010-15: Framework and approach review*, 66 pages, March, 2008.
- Pearce, D. W., E. Barbier, and A. Markandya, *Sustainable development: economics and environment in the third world*, Book review, 219 pages, 1990.
- Seckler, D., U. Amarasinghe, D. Molden, R. de Silva, and R. Barker, *World water demand and supply, 1990 to 2025: scenarios and issues*, Colombo, Sri Lanka, International Irrigation Management Institute (IIMI), IWMI. VI, 40 pages, 1998.
- Tang, S. L., P. Derek P. T. Yue, and Damien C. C. Ku, *Engineering and Costs of Dual Water Supply Systems*, 90 pages, IWA Publishing, London, UK, 2007.
- Tollow, A. J., A demand management policy dictated by resource availability (with reference to an existing river system), *Modelling and Management of Sustainable Basin-Scale Water Resource Systems*, Proceedings of a Boulder Symposium, 281-290, Colorado, July 1995.
- Tollow, A. J., An approach to resources management using the Umgeni Water System as an example, *Proceedings of the British Hydrological Society Conference*, 504-508, Imperial College, London, 12-16 July 2004.
- Walton, B., B. Nawarathna, B. A. George, and H. M. Malano, Future water supply and demand assessment in peri-urban catchments using system dynamics approach, *Proceedings of the 18th World IMACS / MODSIM Congress*, 3872-3878, Cairns, Australia, 13-17 July 2009.
- WFD-CIS, *Economics and the Environment – The Implementation Challenge of the Water Framework Directive* (Water Framework Directive – Common Implementation Strategy), Guidance Document No. 1, 270 pages, European Communities, 2003.
- World Bank Institute, A. Estache and G. de Rus, *Privatization and Regulation of Transport Infrastructure – Guidelines for Policymakers and Regulators*, 316 pages, WBI Development Studies, Washington D.C., 2000.
- World Bank, *World Development Report 1994: Infrastructure for Development*, 26 pages, Oxford University Press, New York, 1994.