

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

I. ΝΑΛΜΠΑΝΤΗΣ & Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ

Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Ηρώων Πολυτεχνείου 5, 157 00 Ζωγράφου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή διερευνώνται με την μέθοδο της στοχαστικής προσομοίωσης διάφορα σενάρια εξέλιξης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας. Τα σενάρια αυτά αφορούν στο υδρολογικό καθεστώς των λεκανών απορροής Μόρνου και Βοιωτικού Κηφισού-Υλίκης, στις ενισχύσεις από γεωτρήσεις και στην κατανάλωση νερού. Σε ότι αφορά τις υδρολογικές συνθήκες γίνονται δύο εναλλακτικές υποθέσεις, ήτοι (1) της επανόδου σε ένα κανονικό υδρολογικό καθεστώς και (2) της συνέχισης της ξηρασίας με χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά που διαπιστώνονται από το ιστορικό δείγμα της τελευταίας πενταετίας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι υπό κανονικό υδρολογικό καθεστώς το σύστημα με κατάλληλες ενισχύσεις υπόγειου νερού δεν θα αντιμετωπίσει σοβαρό πρόβλημα. Στην περίπτωση όμως συνέχισης της ξηρασίας απαιτείται σοβαρή μείωση της κατανάλωσης η οποία θα πρέπει να διαμορφωθεί στα 260 hm³ ετησίως, προκειμένου η αξιοπιστία του συστήματος να παραμείνει σε ικανοποιητικό επίπεδο.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ξηρή χειμερινή περίοδος του 1991-92 και η συνέχιση της ξηρασίας στην περίοδο που διανύουμε δημιουργούν ανησυχίες σχετικά με την κατάσταση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, η οποία ήταν ήδη επιβαρυνμένη από τις μειωμένες εισροές της τελευταίας πενταετίας και ιδιαίτερα από το έντονο φαινόμενο ξηρασίας του 1989-90. Η σύγκριση των δύο φαινομένων, του 1991-92 και εκείνου του 1989-90, που έγινε με βάση τα δεδομένα του Απριλίου 1992 (Κουτσογιάννης κ.ά., 1992) έδειξε ότι η κατάσταση του υδροδοτικού συστήματος από την άποψη των αποθεμάτων και των εισροών ήταν παρόμοια στις δύο περιπτώσεις. Η επανεμφάνιση όμως ενός φαινομένου που με βάση τα προ του 1989 ιστορικά δεδομένα είχε πολύ μικρή πιθανότητα πραγματοποίησης, δημιούργησε σκέψεις για εμμένουσα ξηρασία που συνδέεται πιθανόν με κλιματική αλλαγή. Το φαινόμενο της εναλλαγής ξηρών και υγρών περιόδων βρίσκεται σήμερα στην αιχμή της επιστημονικής έρευνας και αντιμετωπίζεται με τη θεωρία των στοχαστικών-δυναμικών συστημάτων τα οποία έχουν περισσότερες από μία ευσταθείς καταστάσεις (π.χ. υψηλή και χαμηλή βροχοπτώση) (NRC, 1991, σ. 200). Ωστόσο, η σημερινή κατάσταση της επιστημονικής γνώσης δεν επιτρέπει την πρόβλεψη του μελλοντικού κλιματικού

καθεστώς για τον χρονικό ορίζοντα της επόμενης πενταετίας που ενδιαφέρει στην εργασία αυτή.

Πριν προχωρήσουμε στην λεπτομερή εξέταση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας θεωρήσαμε σκόπιμο να κάνουμε μια σύγκριση της κατάστασης του υδροδοτικού συστήματος σήμερα και της κατάστασής του κατά το υδρολογικό έτος 1989-90. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1 τα συνολικά αποθέματα των δύο ταμειυτήρων Μόρνου και Υλίκης την 1η Νοεμβρίου 1992 είναι μεγαλύτερα μόνον κατά 27 hm³ περίπου από τα αντίστοιχα αποθέματα την 1η Νοεμβρίου 1990. Κατά συνέπεια το υδροδοτικό σύστημα αντικειμενικά βρίσκεται σε κατάσταση παρόμοια με αυτή που βρισκόταν πριν από δύο χρόνια. Όμως σήμερα υπάρχει το δεδομένο της εμμένουσας ξηρασίας και η αδυναμία να προβλέψουμε πότε αυτή θα τελειώσει. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο να χαρακτηρίσουμε την σημερινή κατάσταση του συστήματος κρισιμότερη από εκείνη του 1989-90.

Πίνακας 1 Σύγκριση ακαθάριστων αποθεμάτων του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας την 1η Νοεμβρίου 1992 και 1990 (hm³)

Υδρολογικό έτος	1990	1991
Μόρνος	116.7	139.6
Υλίκη	39.5	43.8
Σύνολο	156.2	183.4

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Ο κίνδυνος ανεπάρκειας του υδροδοτικού συστήματος ποσοτικοποιήθηκε με τη μέθοδο της στοχαστικής προσομοίωσης του συστήματος. Ο κίνδυνος αυτός αποδίδεται από την πιθανότητα αστοχίας του συστήματος, δηλαδή την πιθανότητα να υπάρξει αποτυχία πλήρους κάλυψης της ζήτησης κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους. Από τα διάφορα μέτρα αυτής της πιθανότητας (Dyck, 1990, σ. 425) χρησιμοποιήσαμε το αυστηρότερο που δίνεται από την σχέση

$$\alpha' = n_a/n \quad (1)$$

όπου α' είναι η πιθανότητα αστοχίας και n_a ο αριθμός των περιπτώσεων όπου υπάρχει αστοχία έστω και πολύ μικρής διάρκειας μέσα στο υπό εξέταση έτος σε συνολικό αριθμό περιπτώσεων n .

Ειδικά για το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας έχουν προταθεί στο παρελθόν (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1990) δύο κατηγορίες αστοχίας: (α) η αστοχία με την αυστηρή έννοια όταν τα κανονικά ωφέλιμα αποθέματα δεν επαρκούν για την κάλυψη του συνήθους επιπέδου ζήτησης και (β) η αστοχία με την ελαστική έννοια όταν ούτε οι ποσότητες με τις οποίες ενισχύεται το σύστημα επαρκούν ακόμη και για ζήτηση μειωμένη

σε σχέση με τα συνήθη επίπεδα. Ως αποδεκτό επίπεδο πιθανότητας αστοχίας έχει θεωρηθεί (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1990) το 1% για την αστοχία με την αυστηρή έννοια και το 0.2 - 0.5% για την αστοχία με την ελαστική έννοια.

Η εκτίμηση της πιθανότητας αστοχίας του συστήματος με την μέθοδο της στοχαστικής προσομοίωσης ακολουθεί τα παρακάτω στάδια (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1990):

1. Πλήρης καθορισμός του υδροδοτικού συστήματος (επιμέρους έργα)
2. Επιλογή πιθανών σεναρίων για όσες μεταβλητές δεν επιδέχονται στατιστική περιγραφή (π.χ. καταναλώσεις, ενισχύσεις από υπόγεια νερά)
3. Στοχαστική προσομοίωση των μεταβλητών που περιγράφονται στατιστικά (π.χ. απορροές, υπόγειες διαφυγές)
4. Μοντελοποίηση της λειτουργίας του συστήματος
5. Καθορισμός αρχικών συνθηκών (π.χ. αποθέματα ταμιευτήρων στην αρχή της περιόδου προσομοίωσης)
6. Επιλογή μετά από διερεύνηση ή βελτιστοποίηση των κανόνων λειτουργίας του συστήματος
7. Προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος και υπολογισμός της πιθανότητας αστοχίας

Για τις ανάγκες της εργασίας αυτής χρησιμοποιήσαμε το Μοντέλο Προγραμματισμού Λειτουργίας του Υδροδοτικού Συστήματος της Αθήνας (Κουτσογιάννης κ.ά., 1990γ, Nalbantis et al., 1992). Το μοντέλο αυτό κωδικοποιημένο σε πρόγραμμα υπολογιστή περιλαμβάνει, εκτός από ένα κεντρικό πρόγραμμα επικοινωνίας χρήστη-υπολογιστή, δύο κύρια τμήματα: το τμήμα της υδρολογικής προσομοίωσης και το τμήμα της λειτουργικής προσομοίωσης. Το πρώτο τμήμα παράγει μηνιαίες χρονοσειρές της απορροής στις λεκάνες Μόρνου και Βοιωτικού Κηφισού-Υλίκης σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση παράγονται ετήσια μεγέθη με ένα διδιάστατο Μαρκοβιανό μοντέλο (Kottegoda, 1980) και στη δεύτερη φάση αυτά επιμερίζονται σε μηνιαία με ένα μοντέλο επιμερισμού (Κουτσογιάννης κ.ά., 1990β). Το δεύτερο τμήμα του μοντέλου περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία: (α) υπολογισμός υδατικών ισοζυγίων των δύο ταμιευτήρων, (β) διαδικασία υπολογισμού υπόγειων διαφυγών, (γ) υπολογισμός εισροών από βροχόπτωση στην επιφάνεια των ταμιευτήρων και εξάτμιση από αυτούς (βλ. παράγραφο 4), (δ) τήρηση αποθεμάτων ασφαλείας και (ε) καθορισμός των απολήψεων από τους ταμιευτήρες σύμφωνα με τον κανόνα λειτουργίας του συστήματος. Ο κανόνας αυτός προέκυψε από βελτιστοποίηση της απολήψιμης ποσότητας νερού από το σύστημα. Συνίσταται στην απόλυτη προτεραιότητα των απολήψεων από την Υλίκη (έναντι των απολήψεων από τον Μόρνο), γεγονός που αιτιολογείται από τις σοβαρές υπόγειες διαφυγές της Υλίκης. Τα

εξαγόμενα του μοντέλου είναι οι πιθανότητες αστοχίας του συστήματος (για κάθε έτος) καθώς και τα αναλυτικά και συνοπτικά (μέσα) ισοζύγια των ταμιευτήρων.

Στην παρούσα διερεύνηση έγινε παραγωγή 500 συνθετικών χρονοσειρών μηνιαίων τιμών μεγέθους 10 ετών η κάθε μία (για τις μεταβλητές βέβαια που έχουν στοχαστικό χαρακτήρα).

3. ΚΥΡΙΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Εισροές

Για να επιχειρήσουμε οποιαδήποτε πρόγνωση της μελλοντικής συμπεριφοράς του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας είναι απαραίτητο να εκτιμήσουμε τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ιστορικών δειγμάτων απορροής για τις δύο λεκάνες Μόρνου και Βοιωτικού Κηφισού-Υλίκης. Τα δείγματα αυτά παρουσιάζουν αρκετές ιδιαιτερότητες (Κουτσογιάννης κ.ά. 1992) οι οποίες αναλύονται επίσης σε ξεχωριστή εισήγηση στην παρούσα ημερίδα από τους Μαμάσης κ.ά.. Η αντιμετώπιση των ιδιαιτεροτήτων αυτών είναι κατ' ανάγκη υποκειμενική και γίνεται με κατάρτιση σεναρίων που δίνουν τη στατιστική εικόνα της εξέλιξης των υδρολογικών μεγεθών. Οι ιδιαιτερότητες σχετίζονται με: (α) την ύπαρξη περιόδων με διαφορετικούς τρόπους εκτίμησης της απορροής, (β) την αντιμετώπιση της στατιστικά σημαντικής πτωτικής τάσης σε όλες τις υδρολογικές μεταβλητές της λεκάνης Βοιωτικού Κηφισού-Υλίκης, (γ) την ύπαρξη εξωκείμενων τιμών (outliers) που δεν ακολουθούν την στατιστική εικόνα των υπόλοιπων τιμών και (δ) την στατιστικά σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές της απορροής της τελευταίας ξηρής πενταετίας (1987-92) και της περιόδου προ του 1987.

Τα παραπάνω προβλήματα εξετάζονται από τους Κουτσογιάννη κ.ά. (1990β, 1992) και τους Μαμάση κ.ά. (παρούσα ημερίδα). Καταρτίστηκαν δύο σεναρία πιθανής εξέλιξης των υδρολογικών μεγεθών: (α) το κανονικό σενάριο που χρησιμοποιεί τα συνολικά δείγματα (με συμπερίληψη της τελευταίας ξηρής πενταετίας) και (β) το σενάριο ξηρασίας που θεωρεί ότι οι μέσες απορροές θα παραμείνουν στα επίπεδα της τελευταίας πενταετίας. Για το σενάριο ξηρασίας δεν είναι δυνατό να γίνει πλήρης στατιστική ανάλυση λόγω της εξαιρετικά μικρής περιόδου παρατηρήσεων των πέντε ετών. Η λύση που δώσαμε στο πρόβλημα είναι η ακόλουθη: Υπολογίσαμε τον λόγο της μέσης τιμής της ξηρής πενταετίας προς την αντίστοιχη μέση τιμή του συνολικού δείγματος. Ο λόγος αυτός είναι 0.620 για τον Μόρνο και 0.606 για την Υλίκη. Οι δύο τιμές στρογγυλεύθηκαν σε έναν ενιαίο συντελεστή ίσο με 0.60. Για το σενάριο ξηρασίας δεν έγινε ξεχωριστός υπολογισμός των στατιστικών χαρακτηριστικών αλλά λήφθηκαν οι συνθετικές χρονοσειρές απορροής του κανονικού σεναρίου μετά από πολλαπλασιασμό τους με τον παραπάνω συντελεστή. Στατιστικά, αυτό σημαίνει μείωση της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης στο 60% των αντίστοιχων τιμών του κανονικού σεναρίου και διατήρηση των αρχικών τιμών των συντελεστών αυτοσυσχέτισης και ετεροσυσχέτισης.

Οι μέσες ετήσιες εισροές για τα δύο σενάρια φαίνονται στον Πίνακα 2 που ακολουθεί.

Πίνακας 2 Μέσες ετήσιες εισροές στους δύο ταμιευτήρες για τα δύο υδρολογικά σενάρια (hm^3)

Υδρολογικό Σενάριο	Μόρνος	Υλίκη	Σύνολο
Κανονικό	294	282	576
Ξηρασίας	176	169	345

Ενίσχυση από γεωτρήσεις

Τα έργα υδροληψίας υπόγειου νερού που υπάρχουν ή θα μούν άμεσα σε λειτουργία ανήκουν σε δύο ομάδες. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει γεωτρήσεις στο μέσο ρου του Βοιωτικού Κηφισού συνολικής δυναμικότητας $60-70 \text{ hm}^3$ ετησίως. Το νερό που παίρνεται από την ομάδα αυτή οδηγείται προς την Αθήνα μέσω του Υδαταγωγού Μόρνου. Η δεύτερη ομάδα έργων περιλαμβάνει γεωτρήσεις στην περιοχή της Υλίκης συνολικής δυναμικότητας 90 hm^3 ετησίως. Το νερό των γεωτρήσεων αυτών φθάνει στην Αθήνα μέσω του Υδραγωγείου Υλίκης. Η συνολική δυναμικότητα και των δύο ομάδων είναι $150-160 \text{ hm}^3$ ετησίως. Δεν υπάρχουν αναλυτικά στοιχεία για το πως κατανέμεται η ποσότητα αυτή μεταξύ άρδευσης και ύδρευσης της Αθήνας. Σύμφωνα με το ΥΠΕΧΩΔΕ (1992) για την άρδευση διατίθενται 50 hm^3 ενώ κατά την ΕΥΔΑΠ είναι δυνατό σε περίοδο ξηρασίας να μειωθεί η ποσότητα αυτή προς όφελος της ύδρευσης της Αθήνας. Μία δεύτερη και πολύ σημαντική αβεβαιότητα σε ότι αφορά στις απολήψιμες ποσότητες υπόγειου νερού οφείλεται στο γεγονός ότι η επίδραση της ξηρασίας στις ποσότητες αυτές είναι ουσιαστικά άγνωστη. Κάτω από τις συνθήκες αυτές ήταν αδύνατη η ακριβής πρόβλεψη των απολήψεων υπόγειου νερού για ύδρευση της Αθήνας και η κατάρτιση υποθετικών σεναρίων ήταν η μόνη λύση. Τα σενάρια που καταρτίσαμε παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 που ακολουθεί.

Πίνακας 3 Πιθανές ετήσιες απολήψεις υπόγειου νερού για ενίσχυση της Αθήνας (hm^3)

Υδρολογικό σενάριο	Μέσω Υδαταγωγού Μόρνου	Μέσω Υδαταγωγού Υλίκης	Σύνολο
A	60	90	150
B	48	72	120
Γ	28	72	100

Κατανάλωση Αθήνας

Σύμφωνα με εκτιμήσεις της ΕΥΔΑΠ εφέτος (υδρολογικό έτος 1992-93) η ετήσια κατανάλωση της Αθήνας, υπολογισμένη στα διύλιστήρια, αναμένεται να διαμορφωθεί στα 330 hm³. Κατά την ΕΥΔΑΠ η διαφορά του ετήσιου όγκου στα διύλιστήρια από τον ετήσιο όγκο στις εξόδους των ταμιευτήρων ανέρχεται στο 8% του δεύτερου και οφείλεται στις απώλειες στα υδραγωγεία, στις νόμιμες ή παράνομες υδροληψίες και στα σφάλματα μέτρησης. Κατά συνέπεια η εφετινή κατανάλωση υπολογισμένη στις πηγές αναμένεται να φθάσει τα 360 hm³. Η εκτίμηση αυτή αποτελεί και το βασικό σενάριο κατανάλωσης. Εξετάσαμε επίσης και διάφορα σενάρια μειωμένης κατανάλωσης που οδηγούν σε αποδεκτά επίπεδα αξιοπιστίας για τα διάφορα σενάρια εξέλιξης της υδρολογικής δίαιτας και της ενίσχυσης του συστήματος με απολήψεις υπόγειου νερού. Τα σενάρια αυτά της μειωμένης κατανάλωσης προέκυψαν, όπως είναι ευνόητο, από δοκιμαστικές εφαρμογές του μοντέλου προσομοίωσης του υδροδοτικού συστήματος.

Αποδεκτό επίπεδο αστοχίας

Όλες οι προσομοιώσεις που έγιναν στα πλαίσια της εργασίας αυτής αναφέρονται στην αστοχία υπό ελαστική έννοια και κατά συνέπεια η αποδεκτή πιθανότητα αστοχίας, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 2, είναι ίση με 0.2% έως 0.5%. Η πιθανότητα αυτή συνεκτιμά τις αβεβαιότητες του υδροδοτικού συστήματος και κατά κύριο λόγο τις υδρολογικές. Εάν οι επιμέρους πιθανότητες πραγματοποίησης των δύο υδρολογικών σεναρίων (κανονικό και ξηρασίας) ήταν γνωστές, τότε θα ήταν δυνατό για κάθε έτος να υπολογιστεί μία ενιαία πιθανότητα αστοχίας και να συγκριθεί στη συνέχεια με ένα ενιαίο αποδεκτό επίπεδο αστοχίας. Επειδή όμως αυτό δεν συμβαίνει, δεχθήκαμε δύο διαφορετικές τιμές της αποδεκτής πιθανότητας αστοχίας, μία για κάθε σενάριο: Για το κανονικό σενάριο την τιμή 0.5% και για το σενάριο ξηρασίας μία αυξημένη τιμή (1%) καθόσο το σενάριο αυτό φαίνεται να αποτελεί μια αρκετά δυσμενή παραδοχή.

4. ΛΟΙΠΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Υπόγειες διαφυγές ταμιευτήρων

Ο ταμιευτήρας Μόρνου είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης κατάκλυσής του στεγανός. Μόνο στη θέση "Πύρνος" υπάρχει εμφάνιση διαπερατών γεωλογικών σχηματισμών και παρά τα έργα στεγανοποίησης που κατασκευάστηκαν υπάρχουν κάποιες διαφυγές που δεν μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες. Το μεγαλύτερο μέρος των διαφυγών αυτών μετριέται με διατάξεις υπερχειλιστών λεπτής στέψης σε μηνιαία βάση. Σε ότι αφορά στις μη μετρούμενες διαφυγές, αυτές θεωρήθηκαν ίσες με τις μετρούμενες (Κουτσογιάννης κ.ά., 1990α, σ. 28, 80). Βρέθηκε ότι οι συνολικές διαφυγές συσχετίζονται με γραμμικό τρόπο με τη στάθμη του ταμιευτήρα. Η γραμμική αυτή σχέση την οποία χρησιμοποιήσαμε και στην παρούσα εργασία, είναι η ακόλουθη:

$$L = 22.865 \times 10^{-3}(Z - 390.0) + 0.1327 \quad (2)$$

όπου L είναι οι μηνιαίες διαφυγές από τον ταμιευτήρα σε $\text{hm}^3/\mu\eta\eta\alpha$ και Z είναι η απόλυτη στάθμη του ταμιευτήρα σε m .

Οι υπόγειες διαφυγές της Λίμνης Υλίκης υπολογίστηκαν με βάση τα ισοζύγια της λίμνης. Η μεθοδολογία κατάρτισης των ισοζυγίων αυτών δίνεται από τους Κουτσογιάννη κ.ά. (1990α). Στη συνέχεια βρέθηκε μια πολυωνομική σχέση μηνιαίων διαφυγών και στάθμης της λίμνης. Στη σχέση αυτή προστίθεται και μια τυχαία συνιστώσα που ακολουθεί κανονική κατανομή με μηδενική μέση τιμή και τυπική απόκλιση που εκτιμήθηκε από τα ιστορικά δεδομένα. Οι εξισώσεις που ακολουθούν περιγράφουν τη σχέση στάθμης-διαφυγών η οποία είναι διαφορετική για τους χειμερινούς (Οκτώβριος-Μάρτιος) και τους θερινούς μήνες (Απρίλιος-Σεπτέμβριος) όπως εξηγείται από τους Κουτσογιάννη κ.ά. (1990α, σ. 130):

Χειμερινοί μήνες

$$L = 0.012582Z^2 - 1.0584Z - 25.47 + \varepsilon \quad (3)$$

Θερινοί μήνες

$$L = 88.298 \times 10^{-6} Z^3 - 0.61425Z + 20.46 + \varepsilon \quad (4)$$

όπου τα συμβολα L και Z έχουν την ίδια σημασία όπως στην εξίσωση (2) και ε είναι η τυχαία συνιστώσα με μηδενική μέση τιμή και τυπική απόκλιση $\sigma_\varepsilon = 5.31 \text{ hm}^3/\mu\eta\eta\alpha$ για τους χειμερινούς μήνες και $\sigma_\varepsilon = 3.12 \text{ hm}^3/\mu\eta\eta\alpha$ για τους θερινούς μήνες. Η εξίσωση (4) ισχύει για $Z \geq 51.5 \text{ m}$ ενώ για $Z < 51.5 \text{ m}$ γίνεται η παραδοχή ότι οι διαφυγές μεταβάλλονται γραμμικά από $1 \text{ hm}^3/\mu\eta\eta\alpha$ για $Z = 51.5 \text{ m}$ έως 0 για $Z = 40.0 \text{ m}$ (πυθμένας της λίμνης). Οι παραπάνω σχέσεις υπολογίστηκαν από τους Κουτσογιάννη κ.ά. (1992) με δεδομένα μέχρι τον Απρίλιο 1992 και δεν αναθεωρήθηκαν για την παρούσα εργασία, καθώς κρίναμε ότι η πρόσθετη πληροφορία για τους 6 τελευταίους μήνες δεν αναμένονταν να διαφοροποιήσει σημαντικά τα αποτελέσματα. Σημειώνεται ότι στην παλαιότερη αυτή εργασία (Κουτσογιάννης κ.ά., 1992) η επίδραση των τελευταίων ξηρών υδρολογικών συνθηκών στη σχέση στάθμης-διαφυγών διερευνήθηκε διεξοδικά και τελικά χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα μετά το 1981 δεδομένα που έδιναν δυσμενέστερα ως προς τις απώλειες αποτελέσματα κυρίως για τις χαμηλές στάθμες της λίμνης. Θεωρήθηκε δηλαδή ότι η συμπεριφορά του καρστικού συστήματος της λίμνης στο άμεσο μέλλον (προσεχής πενταετία) το οποίο και ενδιαφέρει στην παρούσα εργασία, θα είναι όμοια με εκείνη της πρόσφατης ξηρής περιόδου παρά με τη συμπεριφορά της προ του 1981 περιόδου εντατικής άντλησης της Υλίκης.

Απώλειες στα υδραγωγεία μεταφοράς

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3 οι τιμές του ετήσιου όγκου νερού που μετριέται στα διύλιστήρια υπολείπονται από εκείνες που αντιστοιχούν στις πηγές (έξοδοι ταμιευτήρων) και οι διαφορές αυτές οφείλονται σε απώλειες νερού κατά την διαδρομή προς την Αθήνα. Με βάση παλιότερες εκτιμήσεις αλλά και νεότερα στοιχεία της ΕΥΔΑΠ, καταλήξαμε να δεχθούμε για την παρούσα εργασία ένα ποσοστό απωλειών στα υδραγωγεία μεταφοράς ίσο με 8% της συνολικής απόληψης από τις πηγές.

Απώλειες από εξάτμιση-Εισροές από βροχόπτωση στην επιφάνεια των ταμιευτήρων

Οι εισροές από βροχόπτωση στην επιφάνεια των ταμιευτήρων καθώς και η εξάτμιση από αυτούς δεν επηρεάζουν σημαντικά το ισοζύγιο των ταμιευτήρων Μόρνου και Υλίκης. Για τον λόγο αυτό λήφθηκαν υπόψη με προσεγγιστικό τρόπο (Ναλμπάντης, 1990, Κουτσογιάννης κ.ά., 1990γ). Η βροχόπτωση στην επιφάνεια του κάθε ταμιευτήρα σε mm δίνεται ως γραμμική συνάρτηση της απορροής της λεκάνης που τροφοδοτεί τον ταμιευτήρα. Η προσέγγιση αυτή είναι δυνατή λόγω της αρκετά υψηλής συσχέτισης μεταξύ των μεγεθών βροχής και απορροής. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήσαμε τις εξισώσεις που δίνονται από τους Κουτσογιάννη κ.ά. (1990γ) για την εξαγωγή των οποίων χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μέχρι το 1988. Δεν αναθεωρήσαμε τις εξισώσεις αυτές με βάση τα νεότερα δεδομένα καθώς η επιρροή της βροχής στο ισοζύγιο των ταμιευτήρων είναι μικρή.

Σε ότι αφορά στην εξάτμιση από την επιφάνεια των ταμιευτήρων θεωρήθηκαν μόνον οι 12 μέσες μηνιαίες τιμές για όλα τα έτη της προσομοίωσης χωρίς να παραχθεί πλήρης χρονοσειρά. Αυτό αποτελεί ικανοποιητική προσέγγιση, καθώς η διασπορά των μηνιαίων εξατμίσεων είναι πολύ μικρή. Κατά την προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος και τα δύο μεγέθη, της βροχοπτώσης και της απορροής, μετατρέπονται από mm σε μονάδες όγκου με πολλαπλασιασμό τους με την επιφάνεια του αντίστοιχου ταμιευτήρα στην αρχή του κάθε μήνα.

Αποθέματα ασφαλείας

Κατά την προσομοίωση της λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας έγινε πρόβλεψη για διατήρηση αποθεμάτων ασφαλείας έναντι ενδεχόμενων βλαβών στους αγωγούς μεταφοράς. Η πρόβλεψη αυτή αφορά κύρια στην Λίμνη Υλίκη αφού ο ταμιευτήρας Μόρνου έχει μεγάλα νεκρά αποθέματα που παρέχουν ικανοποιητική ασφάλεια έναντι βλάβης του Υδραγωγείου Υλίκης. Στη Λίμνη Υλίκη θεωρήσαμε ότι δεσμεύεται πάντα απόθεμα για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών της Αθήνας για τρεις μήνες και την εξασφάλιση των ποσοτήτων νερού που διατίθενται για την άρδευση του Κωπαϊδικού Πεδίου. Στα αποθέματα ασφαλείας συμπεριλαμβάνονται και τα αποθέματα του ταμιευτήρα Μαραθώνα ο οποίος θεωρήθηκε ότι εξυπηρετεί μόνον έκτακτες ανάγκες και δεν έχει κανένα ρυθμιστικό ρόλο. Ο τρόπος με τον οποίο λαμβάνεται υπόψη η τήρηση των αποθεμάτων περιγράφεται από τον Ναλμπάντη (1990, σ. 71-73). Σημειώνουμε ότι σε

περίπτωση που επίκειται αστοχία του συστήματος τα αποθέματα ασφαλείας λαμβάνονται και αυτά για ύδρευση της Αθήνας.

Απολήψεις για άρδευση

Για όλα τα σενάρια θεωρήθηκε ότι η απόληψη από την Υλίκη για άρδευση του Κωπαϊδικού πεδίου θα διαμορφώνεται στα ίδια επίπεδα όπως εφέτος, δηλαδή στα 15 hm³ ετησίως.

Κατώτατες στάθμες υδροληψίας

Στον ταμιευτήρα Μόρνου ως ελάχιστη στάθμη θεωρήθηκε η στάθμη +362 m που αντιστοιχεί σε νεκρό όγκο 40 hm³ και ωφέλιμο όγκο 722 hm³. Η στάθμη αυτή θα πρέπει να είναι επιτεύξιμη με κατάλληλο εξοπλισμό πλωτών αντλιοστασίων. Στην Υλίκη θεωρήθηκε ως κατώτατη στάθμη το +43 m που αντιστοιχεί σε νεκρό όγκο 10 hm³ και ωφέλιμο όγκο 587 hm³.

Αρχικές συνθήκες

Οι προσομοιώσεις του συστήματος ξεκινούν την 1η Νοεμβρίου 1992. Τα αρχικά αποθέματα του συστήματος κατά την ημερομηνία αυτή παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Επίσης ως αρχικές συνθήκες για το μοντέλο προσομοίωσης θεωρούνται και οι εισροές του τρέχοντος υδρολογικού έτους μέχρι την ημερομηνία έναρξης της προσομοίωσης (1η Νοεμβρίου 1992). Η απαίτηση αυτή σχετίζεται με το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης το οποίο, ως Μαρκοβιανό, παράγει συνθετικές τιμές της απορροής χρησιμοποιώντας κάθε φορά παλιότερες τιμές της. Οι τιμές της εισροής κατά το εφετινό υδρολογικό έτος φαίνονται στον Πίνακα 4 που ακολουθεί.

Πίνακας 4 Μηνιαίες εισροές (σε hm³) στους ταμιευτήρες στο τρέχον υδρολογικό έτος 1992-93 (Οκτώβριος 1992)

Μόρνος	2.57
Β. Κηφισός στη Σήραγγα Καρδίτσας	7.90

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ-ΤΕΛΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ

Με συνδυασμούς των σεναρίων των παραγράφων 3 και 4 (υδρολογικών και ενίσχυσης του συστήματος από γεωτρήσεις) και με δοκιμαστικές προσομοιώσεις (για τον καθορισμό των σεναρίων μειωμένης κατανάλωσης) καταρτίστηκαν τα τελικά σενάρια λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. Από αυτά τα τρία αναφέρονται σε κανονικές συνθήκες υδρολογικής δίαιτας και τα 6 σε συνθήκες ξηρασίας. Στον Πίνακα 4 για κάθε σενάριο φαίνονται (α) το σύνολο των παραδοχών που χαρακτηρίζουν το σενάριο, (β) τα συνοπτικά μέσα ισοζύγια των ταμιευτήρων σε χρονική βάση μίας δεκαετίας από σήμερα και (γ) οι πιθανότητες αστοχίας του συστήματος, μερικές

και αθροιστικές, για κάθε υδρολογικό έτος της επόμενης πενταετίας. Οι πιθανότητες αστοχίας απεικονίζονται γραφικά στο Σχήμα 1.

Με βάση τον Πίνακα 5 ή το Σχήμα 1 συμπεραίνουμε ότι υπό κανονικές υδρολογικές συνθήκες το υδροδοτικό σύστημα αναμένεται να είναι επαρκές για τα σημερινά επίπεδα κατανάλωσης αν ενισχύεται με 120 hm^3 υπόγειου νερού ετησίως (Σενάριο 2). Αν η ποσότητα ενίσχυσης είναι μικρότερη (Σενάριο 3) θα πρέπει να γίνει μείωση της κατανάλωσης. Τα Σενάρια 4 και 5 δείχνουν ότι, υπό συνθήκες συνέχισης της ξηρασίας, χωρίς δραστική μείωση της κατανάλωσης το σύστημα θα οδηγηθεί σε αστοχία με πολύ μεγάλη πιθανότητα που φτάνει μέχρι 24%. Αν το σύστημα ενισχύεται με 120 hm^3 υπόγειου νερού ετησίως σε συνθήκες ξηρασίας και η κατανάλωση μειωθεί στα 260 hm^3 (κατανάλωση στα διύλιστήρια για το 1992-93 τότε αναμένεται να επανακτήσει την αξιοπιστία του (Σενάριο 6). Η μείωση της κατανάλωσης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη αν δεν επιτευχθεί η ενίσχυση των 120 hm^3 ετησίως (Σενάρια 7, 8 και 9).

Από το Σχήμα 2, στο οποίο, για κάθε σενάριο, επιμερίζεται η ολική εισροή των 345 hm^3 στους ταμιευτήρες προκύπτει μια σημαντική παρατήρηση που αφορά στα αποθέματα των ταμιευτήρων. Όλα τα ασφαλή σενάρια για συνθήκες ξηρασίας δείχνουν ότι πρέπει να εξασφαλίζεται μια μέση ετήσια αύξηση των αποθεμάτων των ταμιευτήρων κατά περίπου 40 hm^3 . Επιπλέον τα ασφαλή σενάρια συμβαδίζουν με σημαντικές απώλειες εξάτμισης και διαφυγών, πράγμα που είναι αναγκαίο τίμημα για την εξασφάλιση ικανοποιητικής αξιοπιστίας του συστήματος.

Πίνακας 6 Πιθανά μέσα υδατικά ισοζύγια και πιθανότητες αστοχίας του υδροδοτικού συστήματος την επόμενη πενταετία

	ΣΕΝΑΡΙΟ 1		ΣΕΝΑΡΙΟ 2		ΣΕΝΑΡΙΟ 3	
A. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ						
Καθεστώς εισροής	Κανονικό		Κανονικό		Κανονικό	
Κατανάλωση 1991-92 (hm ³)						
στα διύλιστήρια	330		330		310	
στις πηγές	360		360		335	
Ετήσια αύξηση κατανάλωσης (%)	3		3		3	
Ετήσια απόληψη Κωπαΐδας (hm ³)	15		15		15	
Αρχικά ωφέλ. αποθέματα Μόρνου (hm ³)	99.6		99.6		99.6	
Αρχικά ωφέλ. αποθέματα Υλίκης (hm ³)	33.8		33.8		33.8	
Νεκρός όγκος Μόρνου (hm ³)	40		40		40	
Νεκρός όγκος Υλίκης (hm ³)	10		10		10	
Ετήσια ενίσχυση από γεωτρήσεις στον υδαταγωγό Μόρνου						
α) Οκτ-Απρ (hm ³)	35		28		28	
β) Μάϊος-Σεπτ (hm ³)	25		20		0	
Ετήσια ενίσχυση από γεωτρήσεις στον υδαταγωγό Υλίκης Οκτ-Σεπτ (hm ³)	90		72		72	
Συνολική ετήσια ενίσχυση (hm ³)	150		120		100	
B. ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ (hm³)						
	Μόρνος	Υλίκη	Μόρνος	Υλίκη	Μόρνος	Υλίκη
Σύνολο εισροών	294	282	294	282	294	287
Απορροή	281	276	281	276	282	276
Βροχόπτωση	13	6	13	6	12	6
Σύνολο εκροών	294	282	294	282	294	282
Υδρευση	158	106	172	122	165	120
Άρδευση	0	15	0	15	0	15
Εξάτμιση	24	25	24	24	24	23
Υπόγεια διαφυγή	12	105	12	94	12	94
Υπερχείλιση	60	6	48	5	55	6
Διαφορά αποθέματος	40	25	38	22	38	24
Ενίσχυση	60	90	48	72	28	72
Γ. ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ %						
	Μερική	Ολική	Μερική	Ολική	Μερική	Ολική
Υδρ. έτος 1992-93	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Υδρ. έτος 1993-94	<0.2	<0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Υδρ. έτος 1994-95	<0.2	<0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Υδρ. έτος 1995-96	<0.2	<0.2	<0.2	0.2	<0.2	0.2
Υδρ. έτος 1996-97	<0.2	<0.2	0.2	0.4	0.2	0.4

* Τα μέσα ισοζύγια αναφέρονται σε χρονική βάση μιας δεκαετίας από σήμερα

Πίνακας 6 (συνέχεια) Πιθανά μέσα υδατικά ισοζύγια και πιθανότητες αστοχίας του υδροδοτικού συστήματος την επόμενη πενταετία

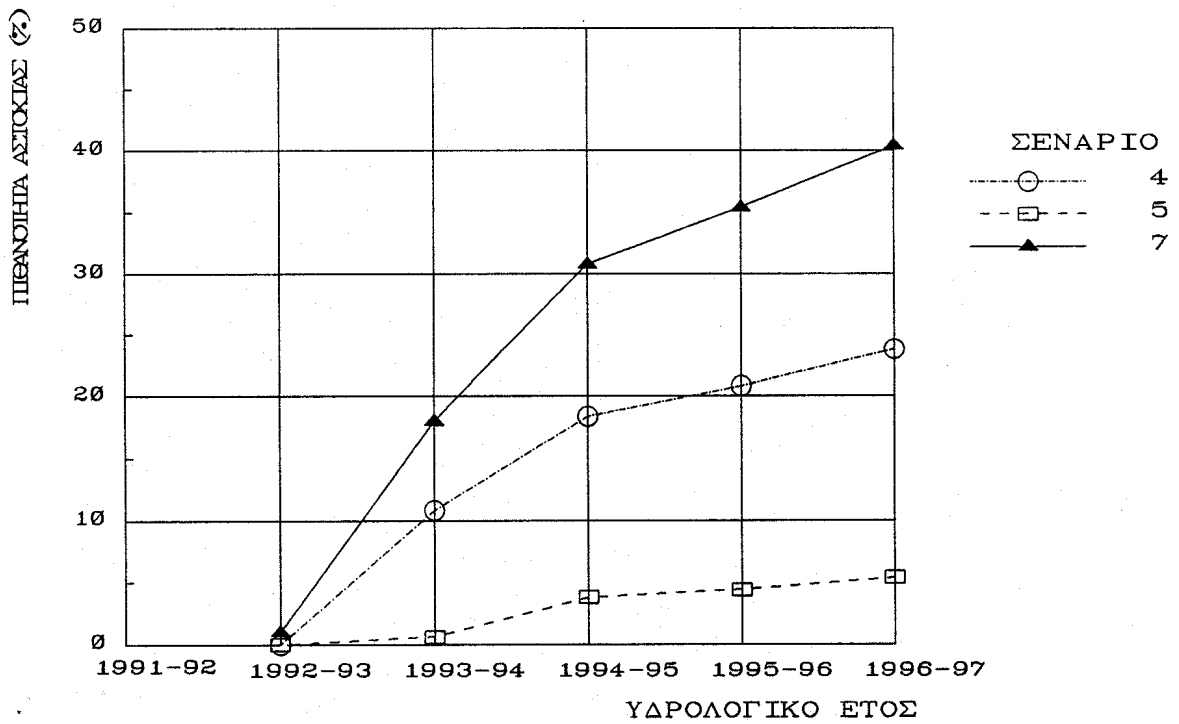
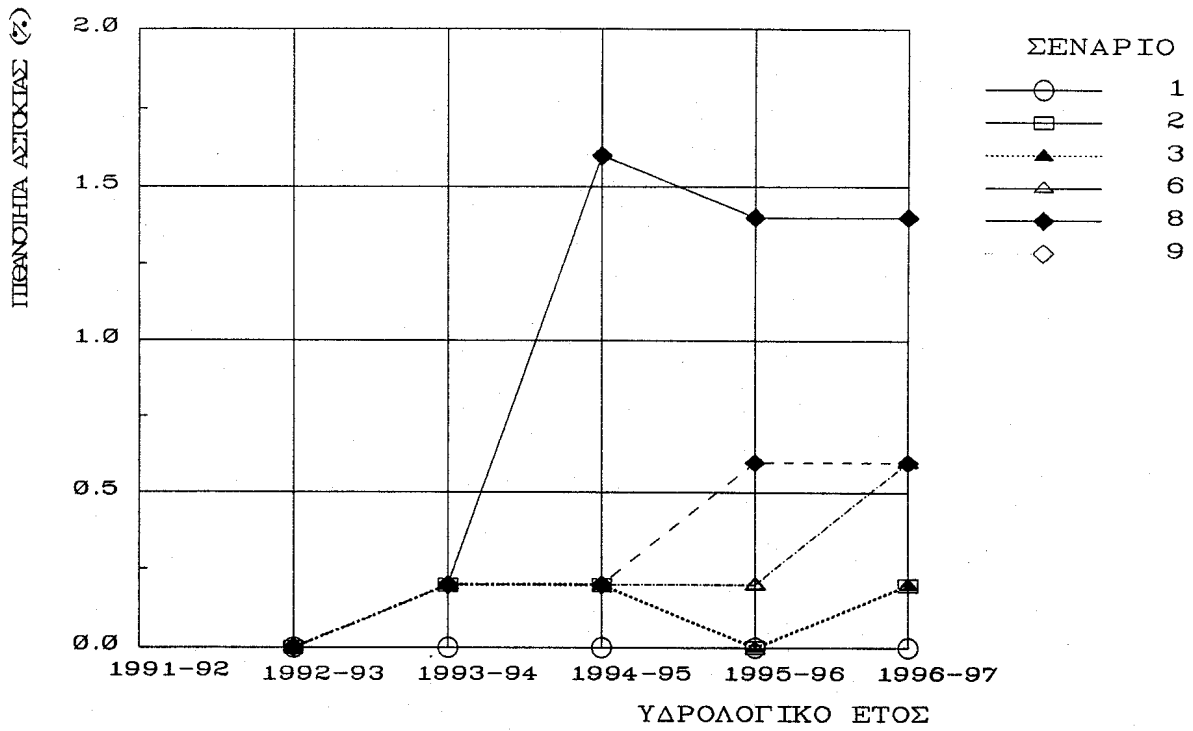
	ΣΕΝΑΡΙΟ 4		ΣΕΝΑΡΙΟ 5		ΣΕΝΑΡΙΟ 6	
A. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ						
Καθεστώς εισροής	Ξηρασία		Ξηρασία		Ξηρασία	
Κατανάλωση 1991-92 (hm ³)						
στα διύλιστήρια	330		290		260	
στις πηγές	360		315		280	
Ετήσια αύξηση κατανάλωσης (%)	3		3		3	
Ετήσια απόληξη Κωπαΐδας (hm ³)	15		15		15	
Αρχικά ωφέλ. αποθέματα Μόρνου (hm ³)	99.6		99.6		99.6	
Αρχικά ωφέλ. αποθέματα Υλίκης (hm ³)	33.8		33.8		33.8	
Νεκρός όγκος Μόρνου (hm ³)	40		40		40	
Νεκρός όγκος Υλίκης (hm ³)	10		10		10	
Ετήσια ενίσχυση από γεωτρήσεις στον υδαταγωγό Μόρνου						
α) Οκτ-Απρ (hm ³)	28		28		28	
β) Μάιος-Σεπτ (hm ³)	20		20		20	
Ετήσια ενίσχυση από γεωτρήσεις στον υδαταγωγό Υλίκης Οκτ-Σεπτ (hm ³)	72		72		72	
Συνολική ετήσια ενίσχυση (hm ³)	120		120		120	
B. ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ * (hm³)						
	Μόρνος	Υλίκη	Μόρνος	Υλίκη	Μόρνος	Υλίκη
Σύνολο εισροών	176	169	176	169	176	169
Απορροή	172	166	171	166	170	166
Βροχόπτωση	4	3	5	3	6	3
Σύνολο εκροών	176	169	176	169	176	169
Υδρευση	166	108	134	105	100	102
Άρδευση	0	9	0	12	0	12
Εξάτμιση	11	15	16	15	20	15
Υπόγεια διαφυγή	3	35	7	34		36
					10	
Υπερχείλιση	0	0	2	0	10	0
Διαφορά αποθέματος	-4	2	17	3	36	4
Ενίσχυση	48	72	48	72	48	72
Γ. ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ %						
	Μερική	Ολική	Μερική	Ολική	Μερική	Ολική
Υδρ. έτος 1992-93	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Υδρ. έτος 1993-94	10.8	10.8	0.6	0.6	0.2	0.2
Υδρ. έτος 1994-95	18.4	18.8	3.8	3.8	0.2	0.2
Υδρ. έτος 1995-96	20.8	26.0	4.4	4.4	0.2	0.4
Υδρ. έτος 1996-97	23.8	32.8	5.4	5.4	0.6	0.8

* Τα μέσα ισοζύγια αναφέρονται σε χρονική βάση μιας δεκαετίας από σήμερα

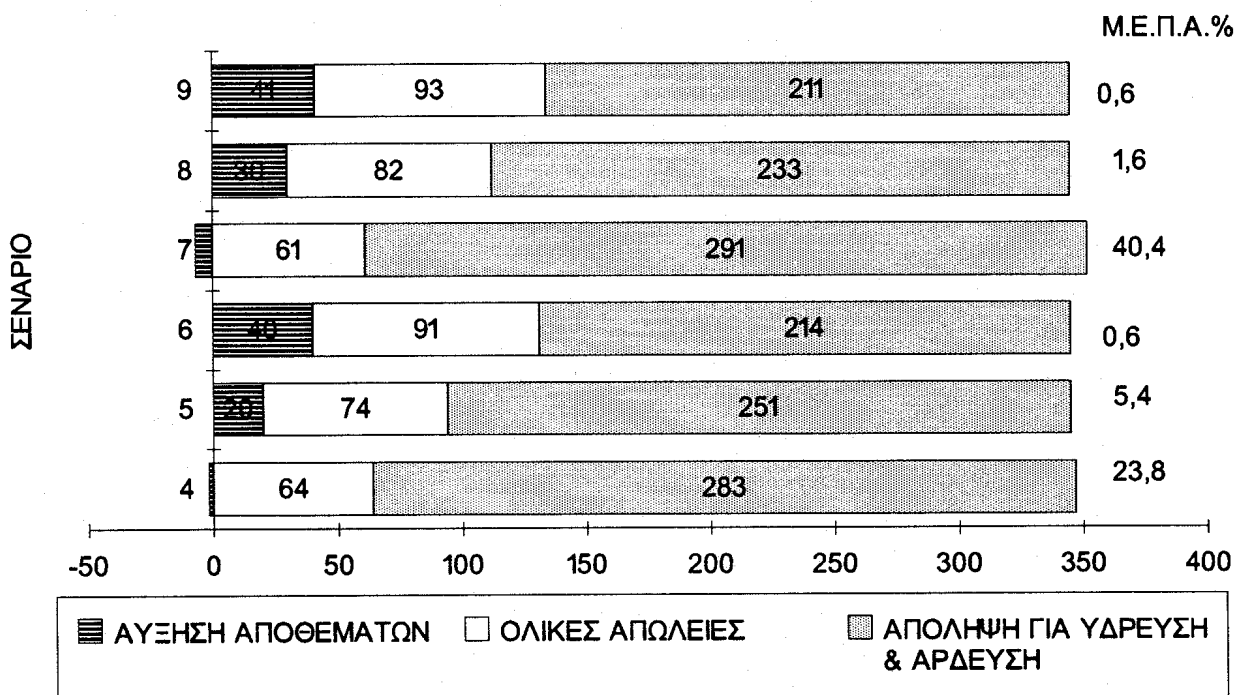
Πίνακας 6 (Συνέχεια) Πιθανά μέσα υδατικά ισοζύγια και πιθανότητες αστοχίας του υδροδοτικού συστήματος την επόμενη πενταετία

	ΣΕΝΑΡΙΟ 7		ΣΕΝΑΡΙΟ 8		ΣΕΝΑΡΙΟ 9	
A. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ						
Καθεστώς εισροής	Ξηρασία		Ξηρασία		Ξηρασία	
Κατανάλωση 1991-92 (hm ³)						
στα διύλιστήρια	330		260		240	
στις πηγές	360		280		260	
Ετήσια αύξηση κατανάλωσης (%)	3		3		3	
Ετήσια απόληψη Κοπαΐδας (hm ³)	0		0		15	
Αρχικά ωφέλ. αποθέματα Μόρνου (hm ³)	99.6		99.6		99.8	
Αρχικά ωφέλ. αποθέματα Υλίκης (hm ³)	33.8		33.8		33.8	
Νεκρός όγκος Μόρνου (hm ³)	40		40		40	
Νεκρός όγκος Υλίκης (hm ³)	10		10		10	
Ετήσια ενίσχυση από γεωτρήσεις στον υδαταγωγό Μόρνου						
α) Οκτ-Απρ (hm ³)	28		28		28	
β) Μάϊος-Σεπτ (hm ³)	0		0		0	
Ετήσια ενίσχυση από γεωτρήσεις στον υδαταγωγό Υλίκης Οκτ-Σεπτ (hm ³)	72		72		72	
Συνολική ετήσια ενίσχυση (hm ³)	100		100		100	
B. ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ* (hm³)						
	Μόρνος	Υλίκη	Μόρνος	Υλίκη	Μόρνος	Υλίκη
Σύνολο εισροών	176	169	176	169	176	169
Απορροή	172	166	169	166	169	166
Βροχόπτωση	4	3	7	3	7	3
Σύνολο εκροών	176	169	176	169	176	169
Υδρευση	172	110	116	105	98	101
Άρδευση	0	9	0	12	0	12
Εξάτμιση	10	14	18	15	20	15
Υπόγεια διαφυγή	2	35	9	35	10	37
Υπερχείλιση	0	0	5	0	11	0
\ Διαφορά αποθέματος	-8	1	28	2	37	4
Ενίσχυση	28	72	28	72	28	72
Γ. ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ %						
	Μερική	Ολική	Μερική	Ολική	Μερική	Ολική
Υδρ. έτος 1992-93	1.0	1.0	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Υδρ. έτος 1993-94	18.0	18.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Υδρ. έτος 1994-95	30.8	31.0	1.6	1.6	0.2	0.2
Υδρ. έτος 1995-96	35.4	32.0	1.4	2.2	0.6	0.8
Υδρ. έτος 1996-97	40.4	50.8	1.4	2.6	0.6	0.8

* Τα μέσα ισοζύγια αναφέρονται σε χρονική βάση μιας δεκαετίας από σήμερα



Σχήμα 1 Ετήσιες πιθανότητες αστοχίας του υδροδοτικού συστήματος για τα διάφορα σενάρια που εξετάστηκαν



Σχήμα 2 Συνοπτικά μέσα ισοζύγια σε χρονική κλίμακα μιας δεκαετίας από σήμερα για τα σενάρια ξηρασίας που εξετάστηκαν. Για κάθε σενάριο δίνεται η μέγιστη ετήσια πιθανότητα αστοχίας (Μ.Ε.Π.Α.)

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Σύμφωνα με την σημερινή κατάσταση της επιστημονικής γνώσης το ενδεχόμενο συνέχισης της ξηρασίας δεν μπορεί να αποκλειστεί. Η πιθανότητα συνέχισης της ξηρασίας δεν μπορεί να εκτιμηθεί ποσοτικά και η μόνη δυνατή αντιμετώπιση του θέματος είναι η κατάρτιση σεναρίων πιθανής μελλοντικής υδρολογικής δίαιτας των λεκανών απορροής Μόρνου και Υλίκης.

2. Αν η υδρολογική δίαιτα των λεκανών απορροής Μόρνου και Βοιωτικού Κηφισού-Υλίκης επανέλθει στα προ του 1987 επίπεδα τότε το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας αναμένεται να είναι επαρκώς αξιόπιστο υπό την προϋπόθεση ότι ενισχύεται κατά 120 hm^3 ετησίως με απολήψεις υπόγειου νερού.

3. Στην περίπτωση συνέχισης της ξηρασίας με τα χαρακτηριστικά της τελευταίας πενταετίας, το σύστημα των ταμιευτήρων Μόρνου και Υλίκης δεν θα αποδώσει με ασφάλεια παρά μόνο $210\text{-}215 \text{ hm}^3$ ετησίως κατά μέσο όρο για ύδρευση και άρδευση. Κάτω από τις συνθήκες αυτές και με ενίσχυση από υπόγεια νερά κατά 120 hm^3 η κατανάλωση της Αθήνας θα πρέπει να μειωθεί στα 260 hm^3 ετησίως (το έτος 1992-93) προκειμένου το σύστημα να διατηρήσει την αξιοπιστία του σε αποδεκτά επίπεδα. Η μείωση

της κατανάλωσης αφορά βέβαια πάντα στη συνολική ποσότητα νερού που φθάνει στην Αθήνα. Ο επιμερισμός της στις διάφορες κατηγορίες χρήσης νερού δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

4. Για τη μείωση του κινδύνου λειψυδρίας σε αποδεκτά επίπεδα, στα πιθανά μελλοντικά ισοζύγια που εκπονούνται για τη διαχείριση του συστήματος θα πρέπει να εξασφαλίζεται μια ποσότητα τουλάχιστον 40 hm^3 ετησίως για αύξηση των αποθεμάτων.

Αναγνωρίσεις

Τα ιστορικά δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας αυτής βασίζονται σε δεδομένα σταθμών του ΥΠΕΧΩΔΕ, της ΕΥΔΑΠ και της ΕΜΥ και προέρχονται από τις εκθέσεις του ερευνητικού έργου *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών* που εκπονήθηκε από ομάδα του Τομέα Υδατικών Πόρων του ΕΜΠ με επιστημονικό υπεύθυνο τον καθηγητή Θ. Ξανθόπουλο. Τα δείγματα αυτά συμπληρώθηκαν με τα πιο πρόσφατα δεδομένα του ΥΠΕΧΩΔΕ, της ΕΥΔΑΠ και της ΕΜΥ. Εκφράζονται ευχαριστίες προς τους φορείς αυτούς για την χορήγηση των δεδομένων καθώς και στις Π. Αναστασοπούλου, Κ. Αλεξοπούλου και Χ. Ανυφαντή για την συμβολή τους στην επεξεργασία των δεδομένων. Επίσης εκφράζονται προσωπικές ευχαριστίες στον Πρόεδρο της ΕΥΔΑΠ καθηγητή Δ. Χριστούλα και στον Διευθυντή Δ6 του ΥΠΕΧΩΔΕ Ι. Λεονταρίτη για την συνεργασία τους στην κατάρτιση των σεναρίων που εξετάστηκαν στην εργασία αυτή

Αναφορές

- Dyck S. (1990), *Angewandte Hydrologie. Teil I*, Verlag von Wilhelm Ernst & Son, Berlin.
- Kottogoda N.T. (1980), *Stochastic water resources technology*, McMillan Press, Hong Kong.
- Nalbantis I, Koutsoyiannis D. and Xanthopoulos Th. (1992) Modeling the Athens water supply system. *Water Resour. Management* 6(1), 57-67 .
- National Research Council (NRC), Commission on Geosciences, Environment and Resources, Water Science and Technology Board, Committee on Opportunities in the Hydrologic Sciences (1991), *Opportunities in the Hydrologic Sciences*, National Academy Press, Washington, USA.
- Κουτσογιάννης Δ. & Ξανθόπουλος Θ. (1990) Αξιοπιστία και ασφάλεια του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, στο *Προοπτικές επίλυσης του υδροδοτικού προβλήματος της Αθήνας*, Πρακτικά της ημερίδας της ΕΕΔΥΠ, εκδόσεις Γ. Φούντας, Αθήνα.
- Κουτσογιάννης Δ., Ξανθόπουλος Θ. & Αφτιάς Ε. (1990α) *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης της μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 18, Τελική Έκθεση, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Κουτσογιάννης Δ., Μαμάσης Ν. & Ναλμπάντης Ι. (1990β) *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης της μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 13, Στοχαστική προσομοίωση υδρολογικών μεταβλητών, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Κουτσογιάννης Δ., Ναλμπάντης Ι. & Τσολακίδης Κ. (1990γ) *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης της μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 16, Προγραμματισμός λειτουργίας του σημερινού υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Κουτσογιάννης Δ., Ναλμπάντης Ι. & Μαμάσης Ν. (1992) Εκτίμηση κινδύνου ανεπάρκειας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας σε συνθήκες έμμονης ξηρασίας, *Πρακτικά της ημερίδας της ΕΥΔΑΠ*, Αθήνα.
- Ναλμπάντης Ι. (1990) *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης της μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 14, Μοντελοποίηση υδροδοτικού συστήματος, ΕΜΠ, Αθήνα.
- ΥΠΕΧΩΔΕ, Διεύθυνση έργων Ύδρευσης & Αποχέτευσης (1992), Υπόμνημα για την κατάσταση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας καθώς και προφορικές συζητήσεις με την Διεύθυνση.