

ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ
ΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ Ε.Ε.Δ.Υ.Π - ΑΘΗΝΑ 17 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 1990

ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

Δημήτρης Κουτσογιάννης & Θεμιστοκλής Ξανθόπουλος

Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων,
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Ηρώων Πολυτεχνείου 5,
157 73 Ζωγράφου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πρόσφατη κρίσιμη κατάσταση ξηρασίας και λειψυδρίας έχει προκαλέσει πολλές συζητήσεις για το επίπεδο αξιοπιστίας ή ασφάλειας που θα πρέπει να έχει το υδροδοτικό σύστημα μιας μεγάλης πόλης όπως η Αθήνα. Η μόνη ορθολογική προσέγγιση στο ζήτημα αυτό φαίνεται να είναι η πιθανοτική, βάση της οποίας αποτελεί η υιοθέτηση μιας αποδεκτής πιθανότητας αστοχίας του συστήματος. Αυτή η προσέγγιση προϋποθέτει τη στοχαστική μοντελοποίηση των υδρολογικών και άλλων αβεβαιοτήτων και την κατάρτιση κατάλληλου μοντέλου προσομοίωσης του συστήματος. Στην εργασία αυτή συζητούνται ορισμένα κριτήρια για την αποδεκτή αξιοπιστία του συστήματος με βάση τα οποία μπορεί να μελετηθεί η λειτουργία του σημερινού συστήματος, να εκτιμηθούν οι σημερινοί κίνδυνοι και οι απαιτούμενες ποσότητες ενίσχυσης, και να σχεδιαστούν τα μελλοντικά έργα ενίσχυσης. Στα κριτήρια αυτά περιλαμβάνεται και η κατάρτιση σχεδίων έκτακτης ανάγκης για την περίπτωση επερχόμενης αστοχίας του συστήματος. Επίσης εξετάζεται και το ζήτημα της ασφάλειας του συστήματος έναντι περιστατικών βλάβης των υδραγωγείων, και διατυπώνονται σχετικές προτάσεις για την αντιμετώπιση των κινδύνων από αυτές.

1. Η ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ, ΟΥΣΙΑΣΤΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

Η τεχνολογική πρόοδος των τελευταίων δεκαετιών και η παράλληλη απομάκρυνση μας από τη φύση, αποτέλεσμα και αυτή της ρύθμισης των συνθηκών ζωής μέσω της τεχνολογίας, τείνει να μας δημιουργήσει την ψευδαίσθηση της παντοδυναμίας της τεχνολογίας απέναντι στη φύση και της ανεξαρτητοποίησης των κοινωνικών και οικονομικών συνθηκών από τις φυσικές διεργασίες. Έτσι θεωρούμε αυτονόητη και βέβαιη την παροχή όσων φυσικών πόρων έχουμε συνηθίσει να μας είναι απαραίτητοι. Σε περίπτωση που κάτι διαταράζει αυτή τη συνεχή και απρόσκοπτη παροχή πόρων, έχουμε την τάση να αναζητούμε ως αποκλειστικά υπεύθυνο κάποιο αρμόδιο κοινωνικό ή πολιτικό φορέα που δεν ενέργησε σωστά.

Ξεπερνώντας τις αυταπάτες του κοινού νού, οι επιστήμονες μπορούν να συμφωνήσουν ότι η τεχνολογική ανάπτυξη δεν έχει καταργήσει ούτε φαίνεται να μπορεί να καταργήσει την αβεβαιότητα. Την έχει όμως περιορίσει; Από πρώτη άποψη η απάντηση στο ερώτημα αυτό είναι θετική, αν απομονώσουμε ένα συγκεκριμένο φαινόμενο.

Για παράδειγμα η κατασκευή ταμιευτήρων υπερετήσιας εξίσωσης μειώνει τις δυσμενείς συνέπειες των ξηρασιών, η κατασκευή αντιπλημμυρικών έργων περιορίζει τους κινδύνους των πλημμυρών. Ωστόσο δεν πρέπει να παραγνωρίζουμε ότι τα αποτελέσματα της αστοχίας ενός μεζονος έργου είναι πολύ πιο οδυνηρά απ' ό,τι θα ήταν πριν την κατασκευή του έργου, και ακόμη ότι τα ίδια τα έργα προσθέτουν νέες μορφές αβεβαιότητας. Ας σκεφτούμε τις συνέπειες της κατάρρευσης ενός μεγάλου φράγματος ή ενός πολυώροφου κτιρίου και ακόμα τις συνέπειες του ανθρωπογενούς προέλευσης φαινομένου θερμοκηπίου. Στο σημείο αυτό αξίζει να δούμε την "άλλη" άποψη του καθηγητή G. F. White (1973), ο οποίος ομιλεί για αυξανόμενη αβεβαιότητα:

"Οι προοδευτικά αυξανόμενες κοινωνικές απώλειες από τους φυσικούς κινδύνους πλημμυρών, ξηρασιών ή άλλων καταστροφών γεωφυσικής προέλευσης, στην πραγματικότητα έχουν ενθαρρυνθεί από την κατασκευή τεχνικών έργων εξειδικευμένου χαρακτήρα. Μαζί με αυτό το γεγονός θα πρέπει να τοποθετήσουμε και ένα δεύτερο, το οποίο φαίνεται παράδοξο με την πρώτη ματιά. Αυτό είναι ότι όσο περισσότερο λεπτομερής γίνεται η επιστημονική μας γνώση για τη φύση του κόσμου, τόσο πιο αβέβαιο είναι το μέλλον. Κάθε τεχνική ανάπτυξη, κάθε μικρή ώθηση στα όρια της γνώσης, αυξάνει την αβεβαιότητα μας για το τί θα συμβεί στη συνέχεια. Με το να ανοίγουμε νέους εναλλακτικούς δρόμους, με το να αυξάνουμε τον αριθμό των περιπτώσεων όπου η ανθρώπινη κρίση μπορεί να εξασκηθεί, με το να κάνουμε πιθανό κάτι να μην πάει καλά, γινόμαστε λιγότερο βέβαιοι για το τί θα φέρει το μέλλον. Πρέπει να αναγνωρίσουμε ότι μια αναπόφευκτη τιμωρία για όλη την έρευνα στην οποία έχουμε δεσμευτεί, είναι η αύξηση της αβεβαιότητας."

2. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΕΣ

Αλλά ας εντοπίσουμε το ενδιαφέρον μας στις υδρολογικές αβεβαιότητες, και κυρίως αυτές που αναφέρονται στα φαινόμενα πλημμυρών και ξηρασίας: Είναι πρόδηλος ο τυχαίος χαρακτήρας των φαινομένων αυτών και η αβεβαιότητα που απορρέει από αυτόν. Μήπως όμως η αβεβαιότητα αυτή μπορεί κάτω από ορισμένες συνθήκες να εξαλειφθεί; Στο παρελθόν η απάντηση σε αυτό το ερώτημα μπορεί να ήταν θετική. Ειδικότερα στο

θέμα των πλημμυρών η έννοια της "πιθανής μέγιστης πλημμύρας" υπονοούσε μια θετική απάντηση στο θέμα της εξάλειψης της αβεβαιότητας. Αυτή η αντιμετώπιση, στηρίζεται στην υπόθεση ότι υπάρχει κάποιο ανώτατο όριο στο μέγεθος της πλημμύρας που μπορεί να συμβεί σε κάποια περιοχή, το οποίο είναι προσδιορίσιμο. Έτσι αν τα έργα μας ήταν επαρκή γι' αυτό το μέγεθος πλημμύρας, τότε δε θα διατρέχαμε κανένα κίνδυνο, θα είχαμε δηλαδή εξασφαλίσει τη βεβαιότητα. Ωστόσο αυτή η αντιμετώπιση του ζητήματος έχει γίνει αντικείμενο έντονης και ουσιαστικής αμφισβήτησης. Όπως παρατηρεί ο M.A.Benson (1973) "η φύση δεν υπόκειται σε όρια" και έτσι "σε ορισμένες περιπτώσεις πραγματοποιήθηκε υπέρβαση της τιμής της μέγιστης πιθανής κατακρήμνισης ή πλημμύρας, λίγο χρόνο μετά ή και πριν τη δημοσίευση της." Ο ίδιος παρατηρεί ότι η μέθοδος της μέγιστης πιθανής πλημμύρας έχει επικρατήσει "όχι για την πραγματική της αξία, αλλά γιατί δίνει μια λύση, η οποία απομακρύνει την υπευθυνότητα στη λήψη σπουδαιών αποφάσεων, όπως είναι ο βαθμός του κινδύνου ή της προστασίας". Η θεωρητική βάση της μεθόδου θα μπορούσε να χαρακτηριστεί υποκριτική, με την έννοια ότι διαβεβαιώνει το κοινωνικό σύνολο ότι τίποτα το κακό δεν πρόκειται ποτέ να συμβεί, ενώ αυτό δεν είναι αλήθεια. Σήμερα η μέθοδος της πιθανής μέγιστης πλημμύρας παραμένει εν ισχύει, αλλά η τιμή που υπολογίζει δε θεωρείται πλέον ως η "μέγιστη δυνατή", αλλά απλώς ως μια πολύ μεγάλη τιμή, για την οποία πάντως υπάρχει μια συγκεκριμένη πιθανότητα να συμβεί ή να ξεπεραστεί. (όπως και για κάθε άλλη τιμή, μικρότερη ή μεγαλύτερη). Η πιθανότητα αυτή θεωρείται ότι είναι της τάξης του 1:10.000.

Στο θέμα της ξηρασίας τα πράγματα είναι κάπως απλούστερα, αφού κανένας δεν έχει προσπαθήσει να θέσει κάτω όριο (διαφορετικό από το μηδέν, το οποίο ούτως ή άλλως δε βοηθάει) στις πιθανές ξηρασίες. Έτσι η αβεβαιότητα στην ξηρασία είναι δεδομένη και αναμφισβήτητη.

Αλλά ποιά είναι η αιτία των υδρολογικών αβεβαιοτήτων; Αναμφίβολα είναι η μεγάλη πολυπλοκότητα και ευαισθησία των υδροκλιματικών φαινομένων, που καθιστούν αδύνατη την μακροπρόθεσμη πρόβλεψη της εξέλιξης τους. Έτσι η υδρολογία είναι υποχρεωμένη να χρησιμοποιεί στατιστικές μεθόδους, και οι μακροπρόθεσμες προγνώσεις της να έχουν καθαρά πιθανοτικό χαρακτήρα. Σε ένα πρώτο επίπεδο το μέτρο της αβεβαιότητας μπορεί να αποδοθεί με μαθηματικούς όρους, με τη θεώρηση ότι ένα υδρολογικό μέγεθος περιγράφεται με μια τυχαία μεταβλητή, που ακολουθεί μια συγκεκριμένη συνάρτηση κατανομής. Ο τύπος της συνάρτησης κατανομής και οι παράμετροι της προσδιορίζονται από ένα περιορισμένο δείγμα παρατηρήσεων. Εδώ υπεισέρχεται ένα δεύτερο επίπεδο αβεβαιότητας που σχετίζεται με τα πιθανά στατιστικά σφάλματα για την αποδοχή ή όχι της συγκεκριμένης συνάρτησης κατανομής και την εκτίμηση των παραμέτρων της. Τα δύο αυτά επίπεδα αβεβαιότητας μπορούν να ποσοτικοποιηθούν σε επαρκή βαθμό με βάση τις μεθόδους της θεωρίας πιθανοτήτων και της στατιστικής. Όμως προκειμένου για τα ακραία γεγονότα πλημμυρών και ξηρασιών η ποσοτική εκτίμηση είναι αρκετά δύσκολη και μειωμένης αξιοπιστίας επειδή αυτά τα γεγονότα είναι σπάνια και η υδρολογική και μετεωρολογική εμπειρία είναι σχετικά σύντομη. Δύσκολο επίσης είναι να εκτιμηθεί ποσοτικά ένα τρίτο επίπεδο αβεβαιότητας που έχει σχέση με τις μετρήσεις βάσει των οποίων σχηματίζεται το στατιστικό δείγμα. Στα συνήθη και συστηματικά σφάλματα μετρήσεων πρέπει να προστεθούν και τα σφάλματα που εισάγονται από το γεγονός ότι οι μετρήσεις είναι σημειακές, ενώ τα υδρομετεωρολογικά φαινόμενα είναι επιφανειακά. Υπάρχει τέλος ένα τέταρτο επίπεδο αβεβαιότητας που με τα σημερινά επίπεδα της υδρολογικής επιστήμης είναι σχεδόν αδύνατο να ποσοτικοποιηθεί και συνήθως αντιμετωπίζεται με την υιοθέτηση

εναλλακτικών, αυθαίρετων σε μεγάλο βαθμό, σεναρίων. Αυτό το επίπεδο αβεβαιότητας προκύπτει επειδή τα συμπεράσματα για το μέλλον εξάγονται από την εμπειρία του παρελθόντος, ενώ τίποτα δε μας διαβεβαιώνει ότι τα πράγματα θα συνεχίσουν να εξελίσσονται με τον ίδιο τρόπο. Αντίθετα, οι βαθμιαίες ή απότομες κλιματικές μεταβολές, αποτελούν μάλλον τον κανόνα παρά την εξαίρεση στη φυσική πορεία. Σήμερα στις κλιματικές μεταβολές συμβάλλουν και ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως το φαινόμενο θερμοκηπίου, καθιστώντας την αβεβαιότητα αυτού του επιπέδου ακόμη μεγαλύτερη.

3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

Είναι γνωστό ότι η υδροδότηση της Αθήνας γίνεται από ένα σύστημα ταμειυτήρων υπερετήσιας εξίσωσης, με τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση, δηλαδή με ελαχιστοποίηση των υπερχειλίσεων. Το γεγονός αυτό καθιστά την υδρολογική αβεβαιότητα κρίσιμη για το υδροδοτικό σύστημα. Ας σημειωθεί ότι σε άλλα υδροδοτικά συστήματα, με μερική εκμετάλλευση του υδατικού δυναμικού, η επίδραση της υδρολογικής αβεβαιότητας είναι μικρότερη. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το σύστημα του Παρισιού, όπου η υδροδότηση πραγματοποιείται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό από τα επιφανειακά νερά του Μάρνη και του Σηκουάνα, των οποίων το δυναμικό είναι πολλαπλάσιο των απολήψεων για ύδρευση.

Εκτός όμως από την υδρολογική αβεβαιότητα, και άλλοι παράγοντες που σχετίζονται με την υδροδότηση χαρακτηρίζονται από αβεβαιότητα. Η εξέλιξη της κατανάλωσης νερού υπόκειται σε μη προβλέψιμες διακυμάνσεις ενώ μια πρόσθετη πηγή αβεβαιότητας αποτελεί το ενδεχόμενο σοβαρών βλαβών του υδροδοτικού συστήματος. Το σύνολο των αβεβαιότητων του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας επιχειρείται να ταξινομηθεί στον πίνακα 1, όπου πέρα από τις παραπάνω αιτίες αβεβαιότητας έχει συμπεριληφθεί και μια κατηγορία άγνωστης προέλευσης, επειδή δε μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι εξαντλήσαμε όλες τις πιθανές πηγές.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1
ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΩΝ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Π Η Γ Η Α Β Ε Β Α Ι Ο Τ Η Τ Α Σ				
ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΝΕΡΟΥ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	ΒΛΑΒΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΑΓΝΩΣΤΗ
1) Συνήθης τυχαία διακύμανση υδρολογικών μεταβλητών 2) Σφάλματα στατιστικών εκτιμήσεων 3) Σφάλματα υδρολογικών μετρήσεων 4) Κλιματικές μεταβολές	1) Υπόγειες διαφυγές ταμειυτήρων 2) Απώλειες κατά μήκος των υδραγωγείων	1) Εξέλιξη πληθυσμού 2) Εξέλιξη επιπέδου διαβίωσης 3) Μείζονες κοινωνικοπολιτικές μεταβολές	1) Σοβαρές βλάβες στους αγωγούς μεταφοράς 2) Μείζονες βλάβες έργων, π.χ. διαρροές ή υποχωρήσεις φραγμάτων	Μη προβλέψιμες αιτίες αβεβαιότητας

Το μόνο αντικειμενικό μέτρο της κάθε μορφής αβεβαιότητας είναι η έκφραση της μέσω μια συνάρτησης πιθανότητας. Τέτοια έκφραση όμως μπορεί να γίνει μόνο για την αβεβαιότητα των υδατικών πόρων και των απωλειών νερού. Πιο συγκεκριμένα προσδιορισμη είναι κατ' αρχήν η αβεβαιότητα των υδατικών πόρων στα επίπεδα 1 και 2. Στην πράξη, για ένα τόσο πολύπλοκο σύστημα όπως της Αθήνας, περιοριζόμαστε αναγκαστικά στο επίπεδο 1, γιατί οι πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις των μεταβλητών του συστήματος καθιστούν εξαιρετικά δύσκολο τον υπολογισμό ορίων εμπιστοσύνης του συνόλου των μεταβλητών. Σε ότι αφορά στην κατανάλωση, μπορούν να εκτιμηθούν διάφορα σενάρια εξέλιξης της, αλλά είναι δύσκολο να δοθούν αντικειμενικά μέτρα πιθανότητας για το κάθε σενάριο. Απροσδιόριστη πιθανότητα έχουν και τα ενδεχόμενα σοβαρών βλαβών του συστήματος. Μπορούμε πάντως να θεωρήσουμε ότι οι βλάβες στους αγωγούς μεταφοράς (υδραγωγεία Μόρνου και Υλίκης) έχουν μικρή αλλά συνήθους τάξης μεγέθους πιθανότητα (π.χ. 1:10 έως 1:100), ενώ οι μείζονες βλάβες (π.χ. υποχώρηση φράγματος Μόρνου) έχουν εξαιρετικά μικρή πιθανότητα να συμβούν.

4. ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

Από τα παραπάνω γίνεται εμφανές ότι είναι αδύνατο να έχουμε ένα υδροδοτικό σύστημα που να επαρκεί με πλήρη βεβαιότητα για κάθε περίπτωση. Απόψεις που έχουν ακουστεί πρόσφατα, με αφορμή την εφετεινή ξηρασία, ότι σε καμιά περίπτωση δεν επιτρέπεται να λείπει το νερό από την Αθήνα, ή ότι θα πρέπει να είναι εξασφαλισμένα τα αποθέματα για μια τριετή περίοδο, δεν είναι ρεαλιστικές για τα δεδομένα σχετικώς άνυδρων περιοχών. Ας σημειωθεί ότι οι υδατικοί πόροι είναι ανανεώσιμοι, και δεν είναι τα αποθέματα που εξασφαλίζουν τη διαθεσιμότητά τους, αλλά η συνεχής ανανέωση τους μέσω των φυσικών διεργασιών του υδρολογικού κύκλου.

Είμαστε λοιπόν υποχρεωμένοι να αποδεχτούμε το ενδεχόμενο να μας λείπει η συνεχής τροφοδότηση με νερό, ως κάτι που είναι πιθανό να συμβεί. Γενικεύοντας ένα σύνθημα που στις αρχές της δεκαετίας είχε γίνει δημοφιλές, ότι "πρέπει να μάθουμε να ζούμε με τους σεισμούς", μπορούμε να πούμε ότι "πρέπει να (ξανα)μάθουμε να ζούμε με την αβεβαιότητα", ή όπως πιο αισιόδοξα το θέτει ο G.F.White (1973) "να ευημερούμε με την αβεβαιότητα".

Ωστόσο μπορούμε να ελέγξουμε σε σημαντικό βαθμό την αβεβαιότητα του υδροδοτικού συστήματος με δύο μεθόδους:

1. Με την κατασκευή και την ορθολογική διαχείριση έργων ρύθμισης της ροής, έτσι ώστε η πιθανότητα αστοχίας να περιορίζεται σε ένα αποδεκτό όριο. Προϋπόθεση γι' αυτό είναι η όσο το δυνατόν πιο ακριβής ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας, μέσω κατάλληλου μαθηματικού μοντέλου.
2. Με την κατάρτιση σχεδίων έκτακτης ανάγκης, τα οποία, αξιοποιώντας την ελαστικότητα που διαθέτει το σύστημα, θα περιορίζουν τις επιπτώσεις μιας επερχόμενης πιθανής αστοχίας του.

5. ΑΣΤΟΧΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Με τον όρο *αστοχία του συστήματος* εννοούμε κατ' αρχήν την αποτυχία της κάλυψης της ζήτησης κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους, που μπορεί να οφείλεται είτε σε ταυτόχρονο άδειασμα του συνόλου των ταμιευτήρων του υδροδοτικού συστήματος, είτε

σε αδυναμία μεταφοράς των διαθέσιμων ποσοτήτων νερού λόγω εξάντλησης της παροχτευτικότητας των αγωγών μεταφοράς, είτε τέλος σε συνδυασμό των δύο παραπάνω λόγων.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να παρατηρήσουμε ότι το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας διαθέτει σημαντική ελαστικότητα ή ευλυγισία ως προς την αστοχία. Πράγματι η κατανάλωση είναι δυνατό να μειωθεί σημαντικά, ενώ το σύστημα διαθέτει και εφεδρικές πηγές νερού και αποθέματα ασφαλείας. Για το λόγο αυτό είναι σκόπιμο να κάνουμε διάκριση των αστοχιών σε δύο κατηγορίες.

Έτσι *αστοχία με την αυστηρή έννοια* έχουμε όταν τα ωφέλιμα αποθέματα των ταμειυτήρων δεν επαρκούν για την κάλυψη των συνήθων συνθηκών ζήτησης. Αντίστοιχα *αστοχία με την ελαστική έννοια* έχουμε όταν ούτε και τα αποθέματα ασφαλείας, ούτε οι εφεδρικές πηγές επαρκούν για συνθήκες ζήτησης μειωμένες, σε βαθμό που μπορεί να επιτευχθεί χωρίς διακοπές υδροδότησης. Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι κατά το υδρολογικό έτος 1989-90 το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας εμφάνισε αστοχία με την αυστηρή έννοια, όχι όμως και με την ελαστική έννοια.

Με τον όρο *επίπεδο αξιοπιστίας του συστήματος*, α , εννοούμε την πιθανότητα κάλυψης, χωρίς αστοχία, (είτε με την αυστηρή είτε με την ελαστική έννοια) της ζήτησης σε όλη τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους. Το επίπεδο αξιοπιστίας εκφράζεται με έναν από τους ακόλουθους τρόπους (Dyck, 1980, σ. 425)

$$\alpha_1 = n' / n \quad (1)$$

$$\alpha_2 = t' / t \quad (2)$$

$$\alpha_3 = \mu_R / D \quad (3)$$

όπου n' ο αριθμός των ετών στα οποία ικανοποιείται η ζήτηση, σε συνολικό αριθμό n ετών, t' η πραγματική χρονική περίοδος στην οποία ικανοποιείται η ζήτηση σε μια συνολική περίοδο t , μ_R η μέση απόληψη και D η ζήτηση. Προφανώς ισχύει $\alpha_1 \leq \alpha_2 < \alpha_3$, δεδομένου ότι η μη ικανοποίηση της ζήτησης σε ένα έτος δεν επεκτείνεται σε όλη τη διάρκεια του έτους, και ακόμα κατά την περίοδο που δεν ικανοποιείται η ζήτηση, η απόληψη είναι μικρότερη από τη ζήτηση, χωρίς όμως να είναι αναγκαστικά μηδενική.

Το επίπεδο αξιοπιστίας, α , και η πιθανότητα αστοχίας $\alpha' = 1 - \alpha$, αποτελούν μέτρα ορισμένων συνιστωσών της αβεβαιότητας του συστήματος, και συγκεκριμένα εκείνων των συνιστωσών που μπορούν να μοντελοποιηθούν στοχαστικά. Ο υπολογισμός των μεγεθών αυτών μπορεί να γίνει είτε ξεχωριστά για κάθε μεμονωμένο υδρολογικό έτος, είτε συνολικά για μια δεδομένη περίοδο.

Τα στάδια του υπολογισμού του επιπέδου αξιοπιστίας του συστήματος είναι

1. ο πλήρης καθορισμός του υδροδοτικού συστήματος, δηλ. των επιμέρους έργων και των μεταβλητών που υπεισέρχονται σε αυτό,
2. η στοχαστική προσομοίωση των μεταβλητών για τις οποίες υπάρχει τέτοια δυνατότητα (υδρολογία, απώλειες),
3. η επιλογή πιθανών σεναρίων για τις υπόλοιπες μεταβλητές, (π.χ. κατανάλωση),
4. η μαθηματική μοντελοποίηση της λειτουργίας συστήματος,
5. ο καθορισμός των αρχικών συνθηκών,
6. η επιλογή, μετά από διερεύνηση ή βελτιστοποίηση, κανόνων λειτουργίας του συστήματος, και

7. ο υπολογισμός, π.χ. με τη μέθοδο της προσομοίωσης, του επιπέδου αξιοπιστίας και η σύγκριση του με την αντίστοιχη αποδεκτή τιμή.

Οι σημερινές δυνατότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών και η ανάπτυξη των μεθόδων στοχαστικής προσομοίωσης, καθιστούν το παραπάνω υπολογιστικό σχήμα υλοποιήσιμο χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες.

Το ουσιαστικό ερώτημα που θα πρέπει να απαντηθεί σχετίζεται με την αποδεκτή τιμή του επιπέδου αξιοπιστίας. Συνήθως απαντήσεις σε παρόμοια προβλήματα δίνονται με μια οικονομική βελτιστοποίηση, στην οποία συγκρίνεται το κόστος των απαιτούμενων έργων, για την επίτευξη ενός συγκεκριμένου επιπέδου, και των οικονομικών συνεπειών που προκαλούνται σε περίπτωση αστοχίας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν είναι εύκολο να εκτιμηθούν οι οικονομικές συνέπειες των αποτελεσμάτων της λειψυδρίας, σε μια πόλη όπως η Αθήνα, αλλά, το κυριότερο, οι πολιτικο-κοινωνικές και υγειονομικές συνέπειες είναι σαφώς μεγαλύτερης σημασίας, και δεν μπορούν να εκφραστούν με οικονομικούς όρους. Κατά συνέπεια το ζήτημα του καθορισμού του αποδεκτού επιπέδου αξιοπιστίας είναι σε μεγάλο βαθμό πολιτικό. Αναφορικά με το τεχνικό σκέλος του ζητήματος θα πρέπει να παρατηρήσουμε ότι δεν υπάρχουν καθιερωμένες τιμές εφαρμογής, όπως για παράδειγμα υπάρχουν για την αντιμετώπιση των πλημμυρών. Έτσι είμαστε υποχρεωμένοι να αντιμετωπίσουμε το θέμα εμπειρικά και σε μεγάλο βαθμό αυθαίρετα, επιτρέποντας παράλληλα μελλοντικές αναθεωρήσεις, ανάλογα με την εμπειρία που θα αποκτηθεί.

Οι συγγραφείς θεωρούν ότι για την Αθήνα είναι λογικό να υιοθετηθεί μια τιμή του επιπέδου αξιοπιστίας, έναντι *αστοχίας με την αυστηρή έννοια*, ίση με 99%, που ορίζεται από το δυσμενέστερο συντελεστή α_1 , και αντιστοιχεί σε πιθανότητα αστοχίας μια φορά κάθε 100 χρόνια. Όπως έδειξαν τα αποτελέσματα πολλαπλών προσομοιώσεων, η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε $\alpha_2 = 99.8\%$ που σημαίνει ότι κατά μέσο όρο η αστοχία διαρκεί 2.4 μήνες σε διάστημα 100 ετών, και σε $\alpha_3 = 99.9\%$ που σημαίνει ότι από τις 1000 μονάδες ζήτησης ικανοποιούνται κατά μέσο όρο οι 999 (βλ. Δ. Κουτσογιάννης, Θ. Ξανθόπουλος και Ε. Αφτιάς, 1990).

Οι παραπάνω τιμές δεν θα πρέπει να θεωρηθούν ως πολύ αυστηρές, γιατί (1) οι συνέπειες της αστοχίας του συστήματος είναι πολύ σοβαρές, αν και όχι τόσο άμεσες όπως για παράδειγμα οι συνέπειες μιας μεγάλης πλημμύρας και (2) η υδρολογική προσομοίωση ουσιαστικά αντιμετωπίζει το πρώτο επίπεδο αβεβαιότητας, ενώ στα ιστορικά υδρολογικά δεδομένα υπάρχουν σοβαρές αναξιπιστίες, (επίπεδο αβεβαιότητας 3) και παράλληλα, όπως προαναφέρθηκε, δεν είναι εύκολος ο υπολογισμός ορίων εμπιστοσύνης (επίπεδο αβεβαιότητας 2).

Αλλά ούτε ως πολύ ριψοκίνδυνες μπορεί να χαρακτηριστούν οι παραπάνω τιμές των συντελεστών αξιοπιστίας, γιατί (1) το υδατικό δυναμικό της περιοχής είναι σχετικά φτωχό και δεν επιτρέπει πιο γενναιοδωρες παραδοχές, και βεβαίως δεν μπορεί η Αθήνα να είναι ο αποκλειστικός χρήστης του υδατικού δυναμικού της Ανατολικής και τμήματος της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, (2) η πιθανότητα αστοχίας μια φορά στα 100 χρόνια αποτελεί ουσιαστική πρόοδο για την Αθήνα, που πάντα στην ιστορία της αντιμετώπιζε πρόβλημα λειψυδρίας, και τον τελευταίο αιώνα, το πρόβλημα εμφανίστηκε αρκετές φορές, και το κυριότερο, (3) είναι φανερό ότι σε περίπτωση επερχόμενης αστοχίας θα λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα που, αξιοποιώντας την ελαστικότητα του συστήματος, θα αμβλύνουν τον κίνδυνο λειψυδρίας και της συνέπειες της.

Για το επίπεδο αξιοπιστίας έναντι *αστοχίας με την ελαστική έννοια* είναι εύλογο να υιοθετηθούν αυξημένες τιμές, της τάξης του 99.5% έως 99.8% (πιθανότητα αστοχίας 1:200 έως 1:500), ανάλογα και με το βαθμό χρησιμοποίησης των αποθεμάτων ασφαλείας των ταμιευτήρων. Τέτοια επαύξηση των τιμών επιβάλλεται από το γεγονός, ότι σε περίπτωση εξάντλησης των αποθεμάτων ασφαλείας, δεν είναι εφικτή η αντιμετώπιση των κινδύνων από μια ενδεχόμενη βλάβη στο σύστημα.

6. ΣΧΕΔΙΑ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ

Η εφεινή εμπειρία λειψυδρίας, αποτέλεσμα ανορθολογικής διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος από το 1985 μέχρι και το 1987, και βεβαίως του εφεινού εξαιρετικού φαινομένου ξηρασίας, περιόδου επαναφοράς ίσως και χιλιετίας, έδειξε τη σημαντική ελαστικότητα του υδροδοτικού συστήματος. Συγκεκριμένα έδειξε ότι υπάρχουν πολλά περιθώρια παρέμβασης για την αποφυγή επικείμενης πλήρους αστοχίας του συστήματος.

Κατ' αρχήν έδειξε ότι είναι εφικτός ο σημαντικός περιορισμός της κατανάλωσης, κάτω από συνθήκες κάλυψης των ουσιαστικών αναγκών ύδρευσης αλλά με περιστολή της σπατάλης. Εφέτος εκτιμάται ότι η μείωση της κατανάλωσης μπορεί να φτάνει και το 30%. Τα μέτρα για την επίτευξη της μείωσης αυτής ήταν και είναι η ενημέρωση και η ευαισθητοποίηση των καταναλωτών, αλλά και η ανάλογη τιμολογιακή πολιτική. Η μείωση των απωλειών των εξωτερικών και εσωτερικών δικτύων είναι εφικτή σε ένα βαθμό. Σε περίπτωση μεγαλύτερης ένδειας, στα σχέδια έκτακτης ανάγκης θα πρέπει να περιλαμβάνονται και περιοδικές διακοπές της υδροδότησης, μέτρο που έχει εφαρμοστεί σε άλλες πόλεις.

Η εξοικονόμηση νερού από αρδευτικές χρήσεις και η διάθεση του για ύδρευση φαίνεται επίσης αιτιολογημένη. Η χρησιμοποίηση των νεκρών αποθεμάτων και των αποθεμάτων ασφαλείας των ταμιευτήρων, η ενεργοποίηση εφεδρικών πηγών και η αναζήτηση νέων πηγών (π.χ. νέων γεωτρήσεων) θα πρέπει επίσης να εξετάζονται. Στην ίδια κατεύθυνση βρίσκεται και η προσπάθεια της τεχνητής επαύξησης των βροχοπτώσεων. Τέλος σε ένα σχέδιο έκτακτης ανάγκης δεν πρέπει να αποκλειστεί και η δυνατότητα μεταφοράς νερού με δεξαμενόπλοια από άλλες λεκάνες απορροής. Η γεωγραφική θέση της Αθήνας επιτρέπει μια τέτοια λύση, η οποία αν και έχει προφανή οικονομικά και λειτουργικά μειονεκτήματα είναι σχετικά ασφαλής, αποτελεσματική και γρήγορη.

Ο έλεγχος της αναμενόμενης απόδοσης των μέτρων έκτακτης ανάγκης μπορεί να γίνεται και πάλι με την ίδια μέθοδο προσομοίωσης του συστήματος. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να περιγραφούν ανάλογα από το μοντέλο προσομοίωσης όλα τα ενισχυτικά μέτρα. Ο στόχος είναι η επαναφορά του επιπέδου αξιοπιστίας σε επίπεδα ανεκτά, όπως αυτά ορίστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

7. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΒΛΑΒΗΣ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Το ενδεχόμενο σοβαρής βλάβης των αγωγών μεταφοράς και ιδιαίτερα του υδαταγωγού Μόρνου, είναι αρκετά πιθανό - άλλωστε ήδη έχει συμβεί ένα ανάλογο περιστατικό. Η ακριβής πιθανότητα της βλάβης, ο χρονικός εντοπισμός της καθώς και η έκταση της, δεν είναι εύκολο να προσδιοριστούν. Κατά συνέπεια δεν είναι εύκολο να

περιγραφεί το ενδεχόμενο αυτό από ένα μοντέλο προσομοίωσης του συστήματος. Παρόλα αυτά με την προϋπόθεση ότι στις κανονικές συνθήκες λειτουργίας γίνονται οι κατάλληλες προβλέψεις για την αντιμετώπιση πιθανής βλάβης, το επίπεδο αξιοπιστίας του συστήματος δεν επηρεάζεται από τις βλάβες των υδαταγωγών. Αυτό γιατί κατά τη διάρκεια της βλάβης εξακολουθούν να γίνονται οι εισροές στους ταμιευτήρες, οι οποίες θα αξιοποιηθούν μετά την αποκατάσταση της βλάβης.

Η αντιμετώπιση του κινδύνου μιας πιθανής βλάβης μπορεί να γίνει με την τήρηση επαρκών αποθεμάτων ασφαλείας στους ταμιευτήρες, τα οποία θα πρέπει να παίρνονται υπόψη και στο μοντέλο λειτουργικής προσομοίωσης. Για την εκτίμηση των αποθεμάτων αυτών θεωρούμε εύλογη μια τρίμηνη διάρκεια για την αποκατάσταση της βλάβης. Τα αποθέματα του ταμιευτήρα Μαραθώνα, χωρητικότητας περίπου $40 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, με τις σημερινές συνθήκες κατανάλωσης επαρκούν μόνο για ένα μήνα, δηλαδή δεν αντιμετωπίζουν το ενδεχόμενο βλάβης. Εν πάση περιπτώσει ο ταμιευτήρας Μαραθώνα θα πρέπει να διατίθεται αποκλειστικά για το σκοπό αυτό, και να διατηρείται συνεχώς γεμάτος. Στον ταμιευτήρα Μόρνου, σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας (όχι τις σημερινές) ο αυξημένος νεκρός όγκος ($118 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) μπορεί να θεωρηθεί ως επαρκές απόθεμα ασφαλείας με την προϋπόθεση ότι σε περιόδους χαμηλής στάθμης θα υπάρχει ετοιμότητα εγκατάστασης πλωτών αντλιοστασίων. Ανάλογη πρόβλεψη πρέπει να γίνεται και για την Υλίκη.

Πέρα όμως από την πρόβλεψη των αποθεμάτων ασφαλείας, αυτά θα πρέπει να είναι δυνατό να διοχετευτούν προς Αθήνα. Μια σειρά απλών υπολογισμών μπορεί να δείξει ότι η επάρκεια του υδραγωγείου Υλίκης για το σκοπό αυτό είναι οριακή, ενώ στο άμεσο μέλλον το υδραγωγείο θα είναι ανεπαρκές. Θα απαιτηθεί λοιπόν επαύξηση της παροχρητευτικότητας του υδραγωγείου από $7.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ που είναι σήμερα σε $15 \text{ m}^3/\text{sec}$ περίπου. Εναλλακτικά μπορεί να εξεταστεί η κατασκευή ενός ταμιευτήρα αναρρύθμισης κοντά στην Αθήνα, στον οποίο θα προβλεφτεί και ένα απόθεμα ασφαλείας. Τα πλεονεκτήματα ενός τέτοιου ταμιευτήρα είναι πολλαπλά (βλ. Δ. Κουτσογιάννης & Θ. Ξανθόπουλος, 1990).

Κλείνοντας το θέμα αυτό θεωρούμε απαραίτητο να τονίσουμε, ότι και μετά την κατασκευή ενισχυτικών έργων όπως αυτά του Ευήνου, η Υλίκη θα πρέπει να παραμείνει ενταγμένη στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, ακόμη και στην περίπτωση που δεν θα αυξηθεί η κατανάλωση. Το σημαντικό πλεονέκτημα που προσφέρει η Υλίκη είναι ο εναλλακτικός δρόμος του νερού προς Αθήνα, πράγμα που μειώνει την αβεβαιότητα του υδροδοτικού συστήματος αντιμετωπίζοντας πολλαπλούς κινδύνους αστοχίας του.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εξασφάλιση ενός υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας που θα ικανοποιούσε τις ανάγκες με πλήρη βεβαιότητα είναι αδύνατη. Η πιθανοτική περιγραφή της αβεβαιότητας του συστήματος αποτελεί τη βάση της ορθολογικής αντιμετώπισης όχι όμως της εξάλειψης της αβεβαιότητας. Ωστόσο δεν μπορούν να περιγραφούν σε όρους πιθανότητας όλες οι συνιστώσες της αβεβαιότητας, παρά μόνο αυτές που αφορούν τον τυχαίο χαρακτήρα των υδρολογικών μεγεθών και των απωλειών.

Η πιθανότητα αστοχίας 1:100 προτείνεται ως ανεκτή για το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Σε περίπτωση επερχόμενης αστοχίας θα πρέπει να εφαρμόζονται κατάλληλα σχέδια έκτακτης ανάγκης, με επιδίωξη την επαναφορά της πιθανότητας αστοχίας σε αποδεκτά επίπεδα.

Οι περιπτώσεις σημαντικής βλάβης των υδραγωγείων μπορούν να αντιμετωπιστούν με τήρηση ικανοποιητικών αποθεμάτων ασφαλείας στους ταμιευτήρες. Λόγοι ασφαλείας έναντι τέτοιων ενδεχομένων επιβάλλουν να παραμείνει η Υλίκη οριστικά ενταγμένη στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, και μάλιστα με υδραγωγείο αυξημένης παροχетеυτικότητας, ενώ πρέπει να εξεταστεί και η δυνατότητα κατασκευής ενός νέου ταμιευτήρα αναρρύθμισης κοντά στην Αθήνα.

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΕΙΣ

Οι προτάσεις αυτής της εισήγησης έχουν διερευνηθεί στα πλαίσια του ερευνητικού έργου "Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών". Το έργο αυτό εκπονήθηκε από ερευνητική ομάδα του Τομέα Υδατικών Πόρων - Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων του Ε.Μ.Π με επιστημονικό υπεύθυνο τον καθ. Θ. Ξανθόπουλο, και ανατέθηκε και χρηματοδοτήθηκε από το ΥΠΕΧΩΔΕ, Διεύθυνση Έργων Ύδρευσης & Αποχέτευσης.

Οι προβληματισμοί που οδήγησαν στην εργασία αυτή έγιναν μετά από συζητήσεις με τον Πρόεδρο του Δ.Σ της ΕΥΔΑΠ καθ. Δ. Χριστούλα, προς τον οποίο εκφράζονται ευχαριστίες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- 1) M.A. Benson (1973): Thoughts on the design of design floods, *in Floods and draughts, Proc. 2nd Intern. Symp. in Hydrology*, Hydrology Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, U.S.A
- 2) S. Dyck (1990): *Angewandte Hydrologie*, Teil 1, Verlag von Wilhelm Ernst & Son, Berlin.
- 3) Δ. Κουτσογιάννης, & Θ. Ξανθόπουλος (1990): *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 19, Συνοπτική Έκθεση, Ε.Μ.Π, Αθήνα.
- 4) Δ. Κουτσογιάννης, Θ. Ξανθόπουλος & Ε. Αφτιάς (1990): *Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 18, Τελική Έκθεση, Ε.Μ.Π, Αθήνα.
- 5) G.F. White (1973): Prospering with Uncertainty, *in Floods and draughts, Proc. 2nd Intern. Symp. in Hydrology*, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, U.S.A.