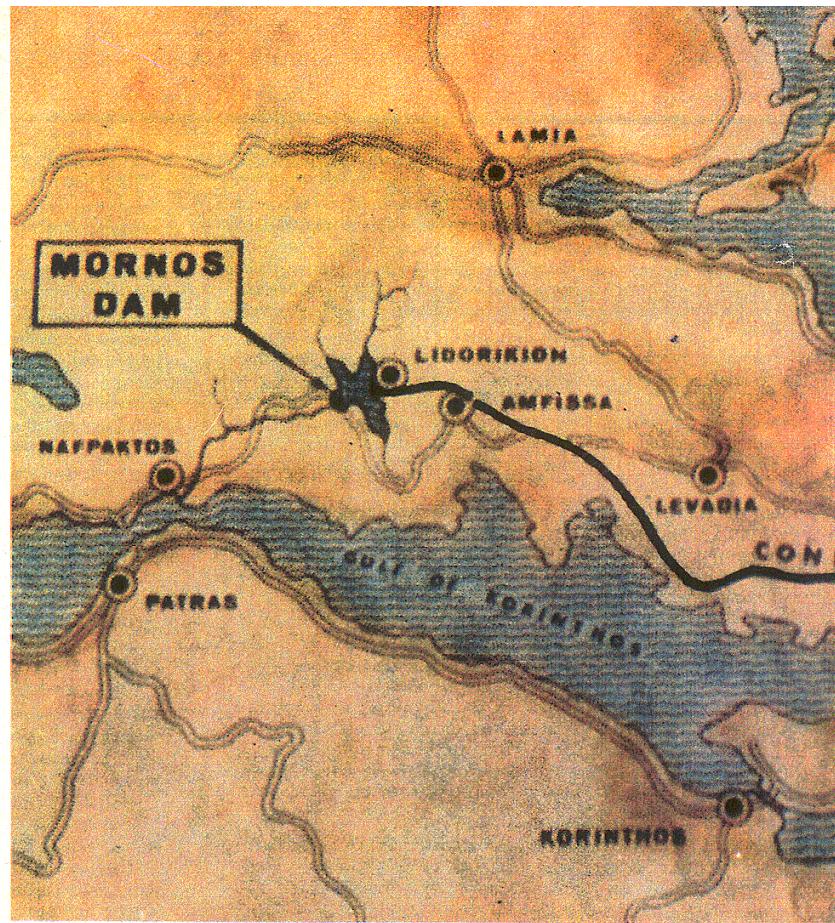


*Η εξασφάλιση ενός
υδροδοτικού συστήματος της
Αθήνας, που θα ικανοποιούσε
τις ανάγκες με πλήρη
βεβαιότητα είναι αδύνατη. Το
υδατικό δυναμικό της περιοχής
είναι σχετικά φτωχό και δεν
επιτρέπει γενναιόδωρες
παραδοχές και βεβαίως δεν
μπορεί η Αθήνα να είναι ο
αποκλειστικός χρήστης του
υδατικού δυναμικού της
Ανατολικής και τημάτως της
Δυτικής Στερεάς Ελλάδας*



Η αξιοπιστία και ασφάλεια του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας

Των ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΗ ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΥ* και ΔΗΜ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗ**

Η ΠΡΟΣΦΑΤΗ 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 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 αθεβαιοτήτων και την κατάρτιση κατάλληλου μοντέλου προσμοίωσης του συστήματος.

Τα συμπεράσματα αυτής της εργασίας έχουν προκύψει στα πλαίσια του ερευνητικού έργου «Διερεύνηση προσφερόμενων δυνατότήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών». Το έργο αυτό ανατέθηκε από το ΥΠΕΧΩΔΕ σε ερευνητική μοάδα του Τομέα Υδατικών Πόρων - Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.) με επιστημονικό υπεύθυνο τον καθηγητή Θ. Ξανθόπουλο.

Εδώποτε στην εργασία αυτή τίθενται τα 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 ποσούτητες 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 ασφαλείας του συστήματος έναντι περιστάτικών θλάθησης των υδραγωγειών, και διατυπώνονται σχετικές προτάσεις για την αντιμετώπιση των κινδύνων από αυτές.

1. Η ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ, ΟΥΣΙΑΣΤΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

Η τεχνολογική πρόσδοση των τελευταίων δεκαετιών και η παραλλήλη απομάκρυνσή μας από τη φύση, αποτέλεσμα και αυτή της ρύθμισης των συνθηκών ζωής μέσα της τεχνολογίας, τείνει να μας δημιουργήσει την ψευδάσθιση 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 δύων φυσικών πόρων έχουμε συνθίσει να μας είναι απαραίτητοι. Σε περίπτωση που κάπι διαταράξει αυτή τη συνεχή

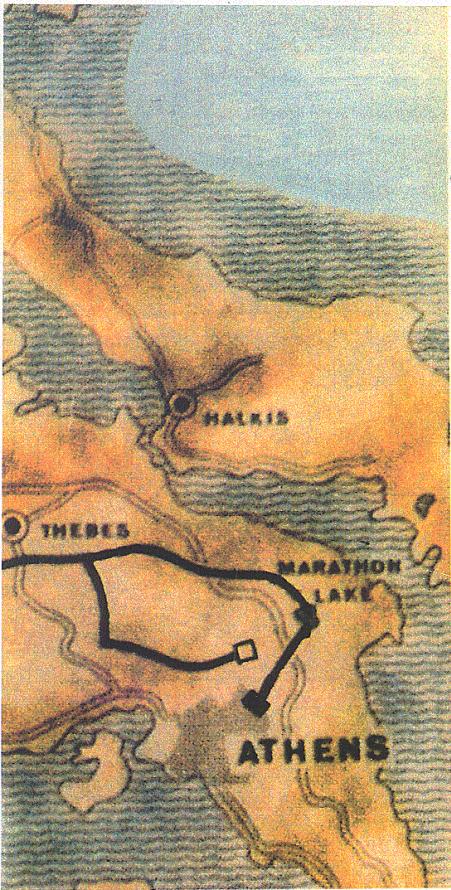
και απρόσκοπη παροχή πόρων, έχουμε την τάση να αναζητούμε ως αποκλειστικά υπεύθυνο κάποιο αρμόδιο κοινωνικό ή πολιτικό φορέα που δεν ενέργησε σωστά.

Ξεπερνώντας τις αυταπάτες του κοινού νου, οι επιστήμονες μπορούν να συμφωνήσουν ότι η τεχνολογική ανάπτυξη δεν έχει καταργήσει ούτε φάνεται να μπορεί να καταργήσει την αθεβαιότητα. Την έχει όμως περιορίσει; Από πρώτη άποψη η απάντηση στο ερώτημα αυτό είναι θετική, αν απομονώσουμε ένα συγκεκριμένο φαινόμενο. Για παράδειγμα η κατασκευή ταμευτήρων υπερεπήσιας εξισώσης μειώνει τις δυσμενείς συνέπειες των ξηρασιών, η κατασκευή αντιπλημμυρικών έργων περιορίζει τους κινδύνους των πλημμυρών. Ωστόσο δεν πρέπει να παραγωρίζουμε ότι τα αποτελέσματα της αστοχίας ενός μείζονος έργου είναι πολύ οδύνηρα απ' ότι θα ήταν πριν την κατασκευή του έργου, και ακόμη ότι τα ίδια τα έργα προσθέτουν νέες μορφές αθεβαιότητας. Ας οκετούμε τις συνέπειες της κατάρρευσης ενός μεγάλου φράγματος ή ενός πολυώρφου 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 γιας αυξανόμενη αθεβαιότητα:

«Οι προοδευτικά αυξανόμενες κοινωνικές απώ-

*Καθηγητής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και Γενικός Διευθυντής της Δημόσιας Επεξιρρόησης Ηλεκτρισμού.

**Δεκτόρας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.



λεις από τους φυσικούς κινδύνους πλημμυρών, έρασμών ή άλλων καταστροφών γεωφυσικής προέλευσης, στην πραγματικότητα έχουν ενθάρρυνθει από την κατασκευή τεχνικών έργων εξειδικευμένου χαρακτήρα. Μαζί με αυτό το γεγονός θα πρέπει να το ποποθετήσουμε και ένα δεύτερο, το οποίο φάνεται παράδοξο με την πρώτη ματιά. Αυτό ένιαν ότι όσο περισσότερο λεπτομερής γίνεται η επιστημονική μας γνώση για τη φύση του κόσμου, τόσο πιο αθέτιο είναι το μέλλον. Κάθε τεχνική ανάπτυξη, κάθε μικρή άλμηση στα όρια της γνώσης, αυξάνει την αθεβαιότητά μας για το τι θα συμβεί στην αυγή. 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, γνώμαστε λιγότερο θέβαιοι για το τι θα φέρει το μέλλον. Πρέπει να αναγνωρίσουμε ότι μια αναπόφευκτη πιεστική για όλη την έρευνα στην οποία έχουμε δεσμευτεί, είναι η αύξηση της αθεβαιότητας».

2. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΕΣ

Αλλά ας εντοπίσουμε το ενδιαφέρον μας στις υδρολογικές αθεβαιότητες, και κυρίως αυτές που αναφέρονται στα φαινόμενα πλημμυρών και έρασμίσιες: Είναι πρόδηλος ο τυχαίος χαρακτήρας των φαινομένων αυτών και η αθεβαιότητα που απορρέει από αυτόν. Μήπως όμως η αθεβαιότητα 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 εξαλειψης της αθεβαιότητας.

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 προσδιορισμένο. Έτσι αν τα έργα μας ήταν επαρκή γι' αυτό το μέγεθος πλημμύρας, τότε δε θα διατρέχαμε κανένα κίνδυνο, θα είχαμε δηλαδή εξασφαλίσει τη βεβαιότητα. Ουστόσο αυτή η αντιμετώπιση του ζητήματος έχει γίνει αντικείμενο έντονης και ουσιαστικής αμφισβήτησης. Όπως παραπέρει ο M.A. Benson (1973) «

ΔΙΕΥΚΡΙΝΙΣΙΣ ΓΙΑ ΤΟ Μόρνο

Σε επιστολή των συγγραφέων που συνόδευε το άρθρο τους, αναφέρονται και τα εξής:

«Σε δημοσίευμά σας της 30.8.1990 ανακριθώς αφίνεται να εννοεῖται ότι σε έκθεση του Θ. Ξανθόπουλου γίνεται εσφαλμένη εκτίμηση των δυνατοτήτων καθαρής απολήψεως του ταμετήρα Μόρνου. Αντίθετα στη σχετική έκθεση προβλέψθηκε έγκαρα και με ακρίβεια ότι από κακή διαχείριση κατά την τριετία 1985 - 1988 (συνεχής υπερεκπετάλευση Μόρνου και εγκατάλεψη των αποθεμάτων της Υλίκης) προέκυψε η σημερινή κρίση κατάσταση σε συνδυασμό θέβαια με τη γεγονότη της σπάνιας έρησασίας του προηγούμενου υδρολογικού έτους. Επομένως τελος ότι δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα η εκόνα που δίνεται για τις εισροές στο Μόρνο δεδομένου ότι οι μετρητέρες εισροές του υδρολογικού έτους 1980 - 1981 ήταν 438 εκ. κ.μ. και του 1985 - 1986 323 εκ. κ.μ.».

φύση δεν υπόκειται σε όρια» και έτοις «σε ορισμένες περιπτώσεις πραγματιστοί ήταν υπέρβαση της τιμής της μέγιστης πιθανής κατακρήμνισης ή πλημμύρας, λίγο χρόνο μετά ή και πριν τη δημοσίευση της. Ο ίδιος παραπέρει ότι η μεθόδος της μέγιστης πιθανής πλημμύρας έχει επικρατήσει «όχι για την πραγματική της αξία, αλλά γιατί δινει μια λύση, η οποία απομακρύνει την υπευθυνότητα στη λήψη σπουδαίων αποφάσεων, όπως είναι ο θαύμος του κινδύνου ή της προστασίας». Η θεωρητική θάση της μεθόδου θα μπορούσε να χαρακτηρίστει υποκριτική, με την έννοια ότι διαθεβαίνει το κοινωνικό σύνολο ότι τίποτα το κακό δεν πρόκειται ποτέ να συμβεί, ενώ αυτό δεν είναι αληθεύει. Σήμερα η μεθόδος της πιθανής μέγιστης πλημμύρας παραμένει να ισχύει, αλλά η τιμή που υπολογίζει δε θεωρείται πλέον ως η «μέγιστη δυνατή», αλλά σπλας 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 έρησασίας τα πράγματα είναι κάπως απλούστερα, αφού κανένας δεν έχει προσπαθήσει να θεσει κάτω όριο (διαφορετικό από το μηδέν, το οποίο ούτως ή άλλως δε θοιβάθει) στις πιθανές έρησασίες. Έτσι η αθεβαιότητα στην έρησασία είναι δεδομένη και αναμφισθήτητη.

Αλλά ποια είναι η αιτία των υδρολογικών αθεβαιότητων; Αναμφίθιδα είναι η μεγάλη πολυτυλοκότητα 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 έχουν καθαρά πιθανοτικό χαρακτήρα. Σε ένα

πρώτο επίπεδο το μέτρο της αθεβαιότητας 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 παραμέτροι της προσδιορίζονται από ένα περιορισμένο δείγμα παρατηρήσεων. Εδώ υπεισέρχεται ένα δεύτερο επίπεδο αθεβαιότητας 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 αθεβαιότητας μπορούν να ποσοτικοποιηθούν σε επαρκή βαθμό με βάση τις μεθόδους της θεωρίας πιθανοτήτων και της στατιστικής. Όμως προκειμένου για τα ακραία γεγονότα πλημμυρών και έρασμών, 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 επίσημα είναι να εκτιμηθεί ποσοτικά ένα τρίτο επίπεδο αθεβαιότητας που έχει σύγεση με τις μετρήσεις βάσει των οποίων σχηματίζεται το στατιστικό δείγμα. Στα συνήθη και συστηματικά σφάλματα μετρήσεων πρέπει να προστεθούν και τα σφάλματα που εισήγανται από τη γεγονότη ή το μετρήσεις είναι σημειώσεις, ενώ τα υδρομετεωρολογικά φαινόμενα είναι επιφανειακά. Υπάρχει τέλος ένα τέταρτο επίπεδο αθεβαιότητας που με τα σημερινά επίπεδα της υδρολογικής επιπτήμης είναι σχεδόν αδύνατο να ποσοτικοποιηθεί και συνήθως αντιμετωπίζεται με την υιοθέτηση εναλλακτικών, αυθαίρετων σε μεγάλο βαθμό, σεναρίων. Αυτό το επίπεδο αθεβαιότητας προκύπτει επειδή τα συμπεράσματα για το μέλλον εξάγονται από την εμπειρία του παρελθόντος, ενώ τίποτα δε μας διαθεβαίνει ότι τα πράγματα θα συνεχίσουν να εξελίσσονται με τον ίδιο τρόπο. Αντίθετα, οι βαθμαίες ή απότομες κλίματικές μεταβολές συμβάλλουν και ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως το φαινόμενο θερμοκηπίου, καθιστώντας την αθεβαιότητα αυτού του επιπέδου ακόμη μεγαλύτερη.

3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ.

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

Εκτός όμως από την υδρολογική αθεβαιότητα, και άλλοι παράγοντες που σχετίζονται με την υδροδότηση χαρακτηρίζονται από αθεβαιότητα. Η εξέλιξη της κατανάλωσης νερού υπόκειται σε μη προβλέψιμες διακυμάνσεις, ενώ μια πρόδηση τηγανίζεται αποτελεί το ενδεχόμενο οισθαρών θαλάσσης του υδροδοτικού συστήματος. Το σύνολο των αθεβαιότητων του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας επιχειρείται να ταξινομηθεί στον πίνακα 1, όπου πέρα από τις παραπάνω αιτίες αθεβαιότητας έχει συμπεριληφθεί και μια κατηγορία άνωστης προέλευσης, επειδή δε μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι εξαντλήσαμε όλες τις πιθανές πηγές.

Το μόνο αντικείμενο μέτρο της κάθε μορφής αθεβαιότητας είναι η έκφρασή της μέσω μιας >>>

>>>

συνάρτησης πιθανότητας. Τέτοια έκφραση όμως μπορεί να γίνει μόνο για την αθεβαιότητα των υδατικών πόρων και των απωλειών νερού. Πιο συγκεκριμένα προσδιορίσιμη είναι κατ' αρχήν η αθεβαιότητα των υδατικών πόρων στα επίπεδα 1 και 2. Στην πράξη, για ένα τόσο πολύπλοκο σύστημα όπως της Αθήνας, περιορίζουμεται στην αναγκαστική στο επίπεδο 1, γιατί οι πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις των μεταβλητών του συστήματος καθιστούν εξαιρετικά δύσκολο τον υπολογισμό ορίων εμπιστούντων του συνόλου των μεταβλητών. Σε ό,τι αφορά στην κατανάλωση, μπορούν να εκτιμηθούν διάφορα σενάρια εξελίξεις της, αλλά είναι δύσκολο να δοθούν αντικειμενικά μέτρα πιθανότητας για το κάθε σενάριο. Απροσδιόριστη πιθανότητα έχουν και τα ενδεχόμενα σοβαρών θλισών του συστήματος. Μπορούμε πάντως να θεωρήσουμε ότι οι βλάσεις στους αγωγούς μεταφοράς (υδραγωγεία Μόρου και Υλίκης) έχουν μικρή αλλά συνήθους τάξης μεγέθους πιθανότητα (π.χ. 1:10 έως 1:100), ενώ οι μείζονες βλάσεις (π.χ. υποχώρηση φραγμάτων Μόρου) έχουν εξαιρετικά μικρή πιθανότητα να συμβουν.

4. ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

Από τα παραπάνω γίνεται εμφανές ότι είναι αδύνατο να έχουμε ένα υδροδοτικό σύστημα που να επαρκεί με πλήρη βεβαίότητα για κάθε περίπτωση. Απόφευκες που έχουν ακουστεί πρόσφατα, με αφορμή την εφετινή έκρηση, ότι σε καμιά περίπτωση δεν επιτρέπεται να λείψει το νερό από την Αθήνα, ή ότι θα τρέπεται να είναι εξασφαλισμένα τα αποθέματα για μια τριετή περίοδο, δεν είναι ρεαλιστικές για τα δεδομένα σχετικώς ανάμερα 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 λείψει η συνεχής τροφοδότηση με νερό, ως κάτι που είναι πιθανό να συμβεί. Γενικέυοντας ένα σύνθημα που στις αρχές της δεκαετίας είχε γίνει δημοφιλές, ότι «τρέπεται να μάθουμε να ζούμε με τους σεισμούς», μπορούμε να πούμε ότι «τρέπεται να [ξαν]αμάθουμε να ζούμε με την αθεβαιότητα», ή όπως πιο αισιόδοξη θέτει ο G. F. White (1973) «να ευημερούμε με την αθεβαιότητα».

Οσόσο μπορούμε να ελέγχουμε σε σημαντικό βαθμό την αθεβαιότητα 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 αθεβαιότητας, 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 οφελεται είτε σε ταυτόχρονα δάεισμα του συνόλου των ταμευτήρων του υδροδοτικού συστήματος, είτε σε αδυναμία μεταφοράς των διαθέσιμων ποσοτήτων νερού λόγω εξαντλήσης της παροχετευτικότητας των αγωγών μεταφοράς, είτε τέλος σε συνδυασμό των δύο παραπάνω λόγων.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να παρατηρήσουμε

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΩΝ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

ΠΗΓΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ	ΑΠΟΛΕΙΣ ΝΕΡΟΥ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	ΒΛΑΒΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΑΓΝΩΣΤΗ
1) Συνήθης τυχαία διακύμανση υδρολογικών μεταβλητών	1) Υπόγειες διαφυγές ταμευ- τήρων	1) Εξάλειψη πλήθησμού	1) Σοθαρές βλάσεις στους αγωγούς μεταφοράς	Μη προδέχθηκες αθεβαιότητας
2) Σφάλματα στα ποτιστικά εκπι- μήσεων	2) Απώλειες κατό μή- κος των υδρογεωγένων	2) Εξάλειψη επιδέου διαδίωσης	2) Μεζόνες βλάσεις έργων, π.χ. διαρροές ή υποχωρήσεις φραγμάτων	
3) Σφάλματα υδρο- λογικών μετρήσεων		3) Μεζόνες κοινωνικο- πολιτικές μεταβολές		
4) Κλιματικές μεταβολές				

ότι το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας διαθέτει σημαντική ελαστικότητα ή ευλυγίσια 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 οκοπίμο να κάνουμε διάκριση των αστοχιών σε δύο κατηγορίες.

Έτσι αστοχία με την αυστηρή έννοια έχουμε όταν τα ωφέλιμα αποθέματα των ταμευτήρων 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 συνήθεις ζήτησης μειωμένες, σε βαθμό που μπορεί να επιτευχθεί χωρίς διακοπές υδροδότηση. 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 αξιοποίησης του συστήματος, α, εννοούμε την πιθανότητα κάλυψης, χωρίς αστοχία, είτε με την αυστηρή είτε με την ελαστική έννοια της ζήτησης. Το επίπεδο αξιοποίησης 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, μη η μέση απόληψη και D η ζήτηση. Προφανώς ισχύει $\alpha_1 \leq \alpha_2 \leq \alpha_3$, 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 αξιοποίησης, α, και η πιθανότητα αστοχίας $\alpha' = 1 - \alpha$, αποτελούν μέτρα ορισμένων συνιστωσών της αθεβαιότητας του συστήματος,

και συγκεκριμένα εκείνων των συνιστωσών που μπορούν να μοντελοποιήσουν στοχαστικά. Ο υπολογισμός των μεγεθών αυτών μπορεί να γίνει είτε ξεχωριστά για κάθε μεμονωμένο υδρολογικό έτος, είτε συνολικά για μια δεδομένη περίοδο.

Τα στόιμα του υπολογισμού του επιπέδου αξιοποίησης 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 θελτιστοποίηση, κανόνων λειτουργίας του συστήματος, και
7. ο υπολογισμός, π.χ. με τη μέθοδο της προσομοίωσης, του επιπέδου αξιοποίησης και η συγκρίση του με την αντίστοιχη αποδεκτή τιμή.

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

Το ουσιαστικό ερώτημα που θα πρέπει να απαντηθεί σχετίζεται με την αποδεκτή τιμή του επιπέδου αξιοποίησης. Συνήθως απαντήσεις σε παρόμοια προβλήματα δινονται με μια οικονομική θελτιστοποίηση, 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 εκτιμήσουν οι οικονομικές συνέπειες των αποτελεσμάτων της λειψυδρίας, σε μια πόλη όπως η Αθήνα, αλλά, το κυριότερο, ο πολιτικο-κοινωνικές και υγειονομικές συνέπειες είναι σαφώς μεγαλύτερης ορμασίας, και δεν μπορούν να εκφραστούν με οικονομικούς δρους. Κατά συνέπεια το ζήτημα του καθορισμού του αποδεκτού επιπέδου αξιοποίησης

>>>

>>>

στις 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 παραλληλα μελλοντικές αναθεωρήσεις, ανάλογα με την εμπειρία που θα αποκτήσει.

Οι συγγραφείς θεωρούν ότι για την Αθήνα είναι λογικό να υιοθετθεί μια τιμή του επιπέδου αξιοποστίας, έναντι αστοχίας με την αυστηρή έννοια, ίση με 99%, που ορίζεται από το δυσμενέστερο συντελεστή αι, και αντιστοιχεί σε πιθανότητα αστοχίας μια φορά κάθε 100 χρόνια. Όπως εδειχναν τα αποτελέσματα των πολλαπλών προσομοιώσεων, η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε $a_2 = 99.8\%$ που σημαίνει ότι κατά μέσον όρο η αστοχία διαρκεί 2,4 μήνες σε διάστημα 100 ετών, και σε $a_3 = 99.9\%$ που σημαίνει ότι από τις 1000 μονάδες ζήτησης ικανοποιούνται κατά μέσον όρο οι 999 (βλ. Δ. Κουτσογιάννης, Θ. Ξανθόπουλος και Ε. Αρτιάς, 1990).

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

Αλλά ούτε ως πολύ ριψοκινδυνες μπορεί να χαρακτηριστούν οι παραπάνω τιμές των συντελεστών αξιοποστίας, γιατί (1) το υδατικό δυναμικό της περιοχής είναι σχετικά φτωχό και δεν επιπρέπει πο γενναιόδωρες παραδοχές, και θεβαίως δεν μπορεί η Αθήνα να είναι ο αποκλειστικός χρήστης του υδατικού δυναμικού της Ανατολικής και τημπάτος της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, (2) η πιθανότητα αστοχίας μια φορά στα 100 χρόνια αποτελεί ουσιαστική πρόσοδο για την Αθήνα, που πάντα στην ιστορία της αντιμετώπιζε πρόδηλα λειψυδρίας, και τον τελευταίο αιώνα, το πρόδηλα εμφανίστηκε αρκετές φορές, και το κυριότερο, (3) είναι φανερό ότι σε περίπτωση επερχόμενης αστοχίας θα λαμβάνονται πρόσθια μέτρα που, αξιοποιώντας την ελαστικότητα του συστήματος, θα αμβλύνουν τον κίνδυνο λειψυδρίας και τις συνέπειες της.

Για τη επίπεδη αξιοποστίας έναντι αστοχίας με την ελαστική έννοια είναι εύλογο να υιοθετθούν συχνότερες 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, που πάντα στην ιστορία 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 εφετινή εμπειρία λειψυδρίας, αποτέλεσμα ανορθολογικής δισχείρισης του υδροδοτικού συστήματος από το 1985 μέχρι και το 1987, και θεβαίως του εφετινού εξαιρετικού φαινομένου ξηρασίας, περιόδου επαναφοράς ιώνας 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 συνθή-

κες κάλυψης των ουσιαστικών αναγκών ύδρευσης αλλά με περιστολή της σπατάλης. Εφέτος εκπιμάτα 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 πιμολογιακή πολιτική. Η μείωση των απωλειών των εξωτερικών και εσωτερικών δικτύων είναι εφικτή σε ένα βαθμό. Σε περίπτωση μεγαλύτερης ένδειξης, 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 διστοθετηση του για μέρη σφράσης φαίνεται επίσης αιτιολογημένη. Η χρησιμοποίηση των νεκρών αποθεμάτων και των αποθεμάτων ασφαλείας των ταμιευτήρων, η ενεργοποίηση εφεδρικών πηγών και η σαντζήτηση νέων πηγών (π.χ. νέων γεωτρήσεων) θα πρέπει επίσης να εξετάζονται. Στην ίδια κατεύθυνση θρίασκεται 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 επιπρέπει 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 αξιοποστίας σε επίπεδα ανεκτά, όπως προιστηκαν στην προηγούμενη παραγραφή.

7. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΒΛΑΒΗΣ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Το ενδεχόμενο οσαρής βλάβης των σγωνών μεταφοράς και ιδιαίτερα του υδαταγωγού Μόρουν, 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 αξιοποστίας του συστήματος δεν επερχότασται από της βλάβης 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 παρανοίται 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 $40 \times 10^6 \text{ m}^3$, με τις σημερινές συνθήκες κατανάλωσης επαρκούν μόνο για ένα μήνα, δηλαδή δεν αντιμετωπίζουν το ενδεχόμενο βλάβης. Εν πάσῃ περιπτώσει ο ταμιευτήρας Μαραθώνα θα πρέπει να διατίθεται αποκλειστικά για το σκοπό αυτό, και να διατηρείται συνεχώς γεμάτος. Στον ταμιευτήρα Μόρουν, σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας (όχι τις σημερινές) ο αυξημένος νεκρός όγκος ($118 \times 10^6 \text{ m}^3$) μπορεί να θεωρηθεί ως επαρκές απόθεμα ασφαλείας με την προϋπόθεση ότι σε περιόδους χαμηλής στάθμης θα υπάρχει

εποιμότητα εγκατάστασης πλωτών αντλιοστασίων. Ανάλογη πρόθλεψη πρέπει να γίνεται και για την Υλική.

Πέρα όμως από την πρόθλεψη των αποθεμάτων ασφαλείας, αυτά θα πρέπει να είναι δυνατό να διοχετεύθουν 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 παροχετευτικότητας του υδραγωγείου από $7.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ που είναι σήμερα σε $15 \text{ m}^3/\text{sec}$ που που είναι σήμερα σε $15 \text{ m}^3/\text{sec}$ περίπου. Εναλλακτικά μπορεί να εξεταστεί η κατασκευή ενός ταμιευτήρα αναρρόμισης κοντά στην Αθήνα, στον οποίο θα προβλεφτεί και ένα απόθεμα ασφαλείας. Τα πλεονεκτήματα ενός τέτοιου ταμιευτήρα είναι πολλά (βλ. Δ. Κουτσογιάννης & Θ. Ξανθόπουλος, 1990).

Κλείνοντας το θέμα αυτό θεωρούμε παραπάτητο 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 πις ανάγκες με πλήρη θεβαίοτητα είναι αδύνατη. Η πιθανοτική περιγραφή της αθεβαιότητας του συστήματος αποτελεί τη βάση της ορθολογικής αντιμετώπισης όχι όμως της εξαλειψης της αθεβαιότητας. Ωστόσο δεν μπορούν να περιγραφούν σε όρους πιθανότητας όλες οι συνιστώσες της αθεβαιότητας, 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 επιδιώξη της επαναφοράς της πιθανότητας αστοχίας σε αποδεκτά επίπεδα.

Οι περιπτώσεις σημαντικής βλάβης των υδραγωγών μπορούν να αντιμετωπιστούν με τηρηση ικανοποιητικών αποθεμάτων ασφαλείας στους ταμιευτήρες. Άλλοι ασφαλείας έναντι τέτοιων ενδεχόμενων επιβάλλουν να παραμείνει η Υλίκη οριστικά ενταγμένη στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, και μάλιστα με υδραγωγείο αυξημένης παροχετευτικότητας, ενώ πρέπει να εξεταστεί και η δυνατότητα κατασκευής ενός νέου ταμιευτήρα αναρρόμισης κοντά στην Αθήνα.

- 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, Verlang von Wilhelm Ernst & Son, Berlin.
 - 3) Δ. Κουτσογιάννης, & Θ. Ξανθόπουλος (1990): Διερύνηση προσφερόμενων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της υδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών, Τεύχος 19, Συνωττική Έκθεση, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
 - 4) Δ. Κουτσογιάννης, Θ. Ξανθόπουλος & E. Αρτιάς (1990): Διερύνηση προσφερόμενων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της υδρευσης 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.