

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ-Δ/ΝΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ-ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ, ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

MINISTRY OF ENVIRONMENT, PLANNING AND PUBLIC WORKS
GENERAL SEC.R. OF PUBLIC WORKS - DEPART. OF WATER SUPPLY & SEWAGE
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
DIVISION OF WATER RESOURCES, HYDRAULIC AND MARITIME ENGINEERING

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΓΟ:
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΡΟΣΦΕΡΟΜΕΝΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΗΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΜΕΙΖΟΝΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΘΗΝΩΝ
RESEARCH PROJECT:
**APPRAISAL OF EXISTING POTENTIAL
FOR IMPROVING THE WATER SUPPLY OF GREATER ATHENS**

ΤΕΥΧΟΣ 19:
ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ
VOLUME 19:
CONCLUSIONS SUMMARY

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: ΘΕΜ. ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΣ
SCIENTIFIC DIRECTOR: THEM. XANTHOPoulos
ΣΥΝΤΑΞΗ: Δ. ΚΟΥΤΣΟΥΙΑΝΝΗΣ - Θ. ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΣ
AUTHOR: D. KOUTSOYANNIS - T. XANTHOPoulos

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΝΙΟΣ 1990 - ATHENS JUNE 1990

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ

Επιστημονικός υπεύθυνος και συντονιστής του Ερευνητικού Έργου ήταν ο καθηγητής Θ. Ξανθόπουλος. Τη διεύθυνση των εργασιών της ερευνητικής ομάδας είχε ο Δ. Κουτσογιάννης, δρ. Πολιτικός Μηχανικός, που ανέπτυξε επίσης και το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης και τμήμα του μοντέλου διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος.

Στο επιστημονικό προσωπικό της ερευνητικής ομάδας (Β' μέρος του ερευνητικού έργου) συμμετείχαν ακόμη:

- **Η Χ. Ανυφαντή,** Πολιτικός Μηχανικός στη συλλογή και αρχειοθέτηση των υδρομετεωρολογικών δεδομένων.
- **Ο Ε. Αρτιάς,** δρ Πολιτικός Μηχανικός στην εκτίμηση των υδατικών καταναλώσεων και σε διάφορα τεχνολογικά θέματα.
- **Ο Ν. Μαράσης,** Αγρ. Τοπογράφος Μηχανικός, στην αρχειοθέτηση και επεξεργασία υδρομετρικών δεδομένων και στη στατιστική ανάλυση των υδρολογικών μεταβλητών.
- **Ο Ι. Ναλμπάντης,** δρ Πολιτικός Μηχανικός στην ανάπτυξη των μοντέλων προσομοίωσης και διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος, τη μελέτη των δυνατοτήτων του σημερινού και μελλοντικού υδροδοτικού σχήματος της Αθήνας και τη διαστασιολόγηση των εναλλακτικών ταμιευτήρων Ευήνου.
- **Η Σ. Ρώτη,** Πολιτικός Μηχανικός M.Sc., στην επεξεργασία των βροχομετρικών και μετεωρολογικών δεδομένων, στην επιμέλεια των χαρτών και στη μελέτη βελτίωσης του υδρομετεωρολογικού δικτύου στις λεκάνες Μόρνου και Ευήνου.
- **Ο Ν. Σταυρίδης,** Πολιτικός Μηχανικός M.Sc., στη μελέτη βελτίωσης του υδρομετεωρολογικού δικτύου στις λεκάνες Μόρνου και Ευήνου.
- **Ο Ι. Τζεράνης,** Πολιτικός Μηχανικός, στην κριτική επισκόπηση παλιότερων μελετών σχετικών με το υδατικό δυναμικό της Υλίκης.
- **Ο Κ. Τσολακίδης,** Πολιτικός Μηχανικός M.S.E., στην κριτική επισκόπηση παλιότερων μελετών σχετικών με το υδατικό δυναμικό της Υλίκης, στην ανάλυση των υπόγειων διαφυγών της Υλίκης και τμήματος του μοντέλου διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος.

Στην εκπόνηση της έρευνας συνέβαλαν και οι τελειόφοιτοι σπουδαστές **Κ. Κουριδάκης** (μελέτη βελτίωσης του υδρομετεωρολογικού δικτύου στις λεκάνες Μόρνου και Ευήνου) και **Δ. Μπώκου** (μελέτη των καταναλώσεων της περιοχής ευθύνης ΕΥΔΑΠ).

Τη γραμματειακή επιμέλεια του Ερευνητικού Έργου είχαν οι **Θ. Στρατάκου** και **Ν. Γαρίνη**, ενώ τις σχεδιαστικές εργασίες έκανε η **Ζ. Σωτηρίου**.

Δραστηριότητες Τ.Ε.Ε.

Το παρόν δελτίο παρουσιάζει τις δραστηριότητες της Τ.Ε.Ε. για το έτος 1991. Η συγκέντρωση αποτελείται από την παρακάτω σειρά θεμάτων:

- 1. Ιστορικό - αντικείμενο
- 2. Συστατικά στοιχεία του ερευνητικού έργου
- 3. Υδρολογικά δεδομένα
- 4. Μεθοδολογίες και παραδοχές
- 5. Υδατικές καταναλώσεις και προοπτικές εξέλιξης τους
- 6. Σημερινή κατάσταση του συστήματος - Προβλήματα και αντιμετώπιση τους
- 7. Υδρολογικός σχεδιασμός έργων Ευήνου
- 8. Δυνατότητες μελλοντικού υδροδοτικού συστήματος
- 9. Τελικά συμπεράσματα
- Βιβλιογραφία

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	σελ.
1. Ιστορικό - αντικείμενο	1
2. Συστατικά στοιχεία του ερευνητικού έργου	5
3. Υδρολογικά δεδομένα	8
4. Μεθοδολογίες και παραδοχές	15
5. Υδατικές καταναλώσεις και προοπτικές εξέλιξης τους	18
6. Σημερινή κατάσταση του συστήματος - Προβλήματα και αντιμετώπιση τους	22
7. Υδρολογικός σχεδιασμός έργων Ευήνου	26
8. Δυνατότητες μελλοντικού υδροδοτικού συστήματος	28
9. Τελικά συμπεράσματα	30
Βιβλιογραφία	33

1. ΙΣΤΟΡΙΚΟ - ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Το Ερευνητικό 'Έργο ανατέθηκε και χρηματοδοτήθηκε από το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ), Διεύθυνση 'Έργων 'Υδρευσης και Αποχέτευσης, και εκπονήθηκε από ερευνητική ομάδα του Τομέα Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΤΥΠΥΘΕ/ΕΜΠ) με επιστημονικό υπεύθυνο τον καθηγητή Θ. Ξανθόπουλο και διευθυντή ερευνητικής ομάδας τον δρ Δ. Κουτσογιάννη.

Ο Επιστημονικός υπεύθυνος του έργου, με την βοήθεια στελεχών της ερευνητικής ομάδας και τη συνεργασία με τις υπηρεσίες του ΥΠΕΧΩΔΕ και της ΕΥΔΑΠ, διέγνωσε από τις αρχές του 1987 την ανησυχητική μείωση των αποθεμάτων του ταμιευτήρα Μόρνου και την άμεση ανάγκη ορθολογικής δισχείρισης των νερών Μόρνου - Υλίκης, με παράλληλη διερεύνηση των προσφερομένων άλλων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης της μειζονος περιοχής Αθηνών. Αποτέλεσμα της πάραπάνω διαπίστωσης υπήρξε η υποβολή της από 24-7-1987 σχετικής πρότασης προς το ΥΠΕΧΩΔΕ, με την οποία ζητήθηκε η άμεση ανάθεση του παρόντος ερευνητικού έργου.

Το Ερευνητικό 'Έργο περιλαμβάνει δύο μέρη. Το πρώτο μέρος ανατέθηκε, με απόφαση του υπουργού ΠΕΧΩΔΕ στις 25-2-1988 και ολοκληρώθηκε και παραδόθηκε το Φεβρουάριο 1989. Το αντικείμενό του ήταν η συγκέντρωση και αξιολόγηση προγενέστερων υδρολογικών μελετών των λεκανών Μόρνου και Ευήνου, και η συλλογή, συστήματοποίηση, αξιολόγηση, αρχειοθέτηση και επεξεργασία των υδρολογικών δεδομένων των λεκανών αυτών.

Το δεύτερο μέρος ανατέθηκε με άλλη απόφαση του υπουργού ΠΕΧΩΔΕ στις 31-5-1989 και η εκπόνησή του ολοκληρώθηκε τον Ιούλιο 1990. Ο στόχος του κατ' αρχήν ήταν η τελική εκτίμηση του υδατικού δυναμικού των λεκανών Μόρνου και Ευήνου, και των εναλλακτικών δυνατοτήτων αξιοποίησής του για την ύδρευση της Αθήνας. Μετά από πρόταση της ερευνητικής ομάδας, το αντικείμενο αυτό διευρύνθηκε με την προσθήκη και της διερεύνησης του υδατικού δυναμικού της Υλίκης.

Σημειώνουμε ότι το τελικό συμβατικό αντικείμενο περιορίζεται στην εκτίμηση του υδατικού δυναμικού των λεκανών Μόρνου, Ευήνου και Υλίκης, και των μεθόδων αξιοποίησής του. Ετσι δεν περιλαμβάνονται στο αντικείμενο τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά των έργων που θα απαιτηθούν, τα οποία αποτελούν αντικείμενο σχετικών τεχνικοοικονομικών μελετών. Επίσης δεν περιλαμβάνεται στο αντικείμενο η εξέταση άλλων λεκανών απορροής, που τελευταία έχουν συζητηθεί (π.χ. Τριχωνίδα, Αχελώος κ.ά.).

Σχετικά με το σχήμα Μόρνος-Εύηνος-Υλίκη που εξετάζεται στη μελέτη, έχουμε να παρατηρήσουμε τα ακόλουθα: Την εποχή που έγιναν οι πρώτες ανταλλαγές απόψεων για σκοπιμότητα εκπόνησης του ερευνητικού προγράμματος, η ύδρευση της Αθήνας γίνονταν σχεδόν αποκλειστικά από τον ταμιευτήρα Μόρνου. Επειδή η στάθμη του ταμιευτήρα κατέβαινε συνεχώς, ενώ μέχρι τότε δεν είχε γίνει καμιά αξιολόγηση των δεδομένων από τη λειτουργία του ταμιευτήρα, προέκυπτε η ανάγκη να γίνει αυτή η αξιολόγηση, με στόχο την εκτίμηση των δυνατοτήτων του, και των ορίων εκμετάλλευσής του, και παράλληλα την εξέταση των δυνατοτήτων ενίσχυσής του. Η λύση της ενίσχυσης από τον Εύηνο ήταν και παραμένει η επικρατέστερη για δύο λόγους: Γιατί το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης Ευήνου είναι πολύ πιο αξιόλογο από κάθε άλλη λεκάνη πλησιέστερη στην Αθήνα, και γιατί ο υδαταγωγός Μόρνου έχει σχεδιαστεί στο μεγαλύτερο τμήμα του με παροχετευτικότητα που να επαρκεί και για τη

μεταφορά νερού από τον Εύηνο. Στην πορεία εκπόνησης του ερευνητικού έργου φάνηκε σαφώς ότι το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας δε μπορεί να νοηθεί χωρίς την πλήρη ένταξη της Υλίκης σε αυτό, ούτε στις σημερινές συνθήκες ούτε και στις μελλοντικές, παρόλο που η μεταφορά νερού από την Υλίκη φαίνεται αντιοικονομική λόγω των αντλήσεων. Στις σημερινές συνθήκες είναι προφανώς απαραίτητη η μεγιστή δυνατή αξιοποίηση της Υλίκης, ενώ και στο μέλλον, μετά την κατασκευή των έργων του Ευήνου, ακόμα και αν η αύξηση της κατανάλωσης δεν είναι τόσο σημαντική, η Υλίκη θα πρέπει να παραμείνει στο σύστημα έστω και για λόγους ασφαλείας, γιατί προσφέρει εναλλακτικό δρόμο προσαγωγής νερού στην πρωτεύουσα. Για τους λόγους αυτούς στο τέλος του πρώτου μέρους του ερευνητικού έργου η ερευνητική ομάδα πρότεινε στο ΥΠΕΧΩΔΕ και την ένταξη της Υλίκης στο συμβατικό αντικείμενο της ερευνας, και η πρόταση αυτή έγινε δεκτή.

Η ερευνητική ομάδα αμέσως μετά την πρώτη ανάθεση του έργου, τον Απρίλιο 1988, υπέβαλε μία αναγνωριστική έκθεση με τίτλο "Προσεγγιστικό υδρολογικό ισοζύγιο λεκάνης Μόρνου", που περιείχε μια πρώτη εκτίμηση των δυνατών απολήψεων από το Μόρνο. Από την εκτίμηση αυτή προέκυπτε ότι η μέχρι τότε πολιτική απολήψεων από το Μόρνο υπερέβαινε μέχρι και 30% τις δυνατότητες του ταμιευτήρα. Η πολιτική απολήψεων άλλαξε στη συνέχεια, και ξαναλειτούργησε εντατικά το υδραγωγείο Υλίκης, αλλά δυστυχώς στο διάστημα που ακολούθησε οι εξαιρετικά κακές υδρολογικές συνθήκες είχαν ως αποτέλεσμα να μη γίνει ανάκαμψη της δυσμενούς εκείνης κατάστασης και να οδηγηθούμε στη σημερινή κρίσιμη κατάσταση του συστήματος.

Το Φεβρουάριο 1989 ολοκληρώθηκε και παραδόθηκε το πρώτο μέρος του ερευνητικού έργου. Παρόλο που το πρώτο μέρος περιελάμβανε την ταξινόμηση του πληροφοριακού υλικού, χωρίς να καταλήγει σε ποσοτικά συμπεράσματα, θεωρήσαμε αναγκαίο από το πρώτο αυτό στάδιο να κάνουμε ορισμένες διαπιστώσεις και να διατυπώσουμε συγκεκριμένες προτάσεις άμεσης εφαρμογής. Η βασική διαπίστωση αφορούσε στην κρίσιμητη της κατάστασης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας από άποψη επάρκειας. Συγκεκριμένα, ενώ μέχρι τότε υπήρχε η εντύπωση ότι, "ακόμα και αν δεν επαρκεί ο Μόρνος, υπάρχει και η Υλίκη", η ερευνητική ομάδα τόνιζε χαρακτηριστικά (σελίδα 12 τελικής έκθεσης Α' μέρους - τεύχος 7) ότι:

- "φθάνουμε ήδη στην οριακή εκμετάλλευση του σημερινού συστήματος ύδρευσης της Αθήνας (Μόρνος + Υλίκη)",
- "η κατάσταση επάρκειας των υδατικών πόρων της Αθήνας είναι ανησυχητική για το άμεσο μέλλον",
- "είναι πιθανόν να υπάρξουν προβλήματα της υδροδότησης κατά το τρέχον έτος 1989 και το επόμενο 1990",
- "η κρίσιμη αυτή κατάσταση έχει προκληθεί από τη συνεχή υπερεκμετάλλευση του Μόρνου μέχρι και το 1987".

Μεταξύ των προτάσεων άμεσης εφαρμογής, που περιλαμβάνονταν στο τεύχος 7, ήταν:

- Είναι επιτακτική ανάγκη να λειτουργήσει άμεσα το υδραγωγείο της Υλίκης στο όριο των

δυνατοτήτων του, μέχρι την επίτευξη ικανοποιητικής στάθμης στο Μόρφω. Πιο συγκεκριμένα εφόσον υπάρχουν αποθέματα στην Υλίκη, αυτά θα πρέπει να αντλούνται με ρυθμό ίσο με την παροχετευτικότητα του υδραγωγείου. Οι εφεδρικές πηγές (π.χ. Ασωπός, κλπ.) θα πρέπει επίσης να αξιοποιούνται παράλληλα. Το υπόλοιπο τμήμα της κατανάλωσης, που δεν καλύπτεται από την Υλίκη και τις εφεδρικές πηγές, θα καλύπτεται αναγκαστικά από το Μόρφω.

- Θα πρέπει να μειωθούν στο έπακρο ή και να σταματήσουν τελείως οι παροχετεύσεις νερού από την Υλίκη και το Μόρφω για αρδευτικές χρήσεις, τουλάχιστον για το τρέχον έτος, και μέχρι να επιτευχθεί μια ασφαλής στάθμη στο Μόρφω.
- Θα πρέπει να υπάρξει πνεύμα οικονομίας στις παροχετεύσεις νερού από την ΕΥΔΑΠ, και να διερευνηθούν οι τυχόν δυνατότητες μείωσης ειδικών χρήσεων.
- Καθίσταται κατεπείγουσα η ανάθεση και εκπόνηση γενικής τεχνικοοικονομικής μελέτης με αντικείμενο "Τεχνικοοικονομική διερεύνηση και συγκριτική αξιολόγηση των δυνατών λύσεων ύδρευσης του λεκανοπεδίου Αττικής". Στα πλαίσια της μελέτης αυτής θεωρούμε ότι θα πρέπει να ξεκινήσει άμεσα η διαδικασία ανάθεσης γεωτεχνικών εργασιών (φάσεως προμελέτης) στις τρεις πιθανές θέσεις φραγμάτων της λεκάνης Ευήνου με αντίστοιχες εκτιμήσεις κόστους κατασκευής των φραγμάτων.

Ας σημειωθεί ότι η ερευνητική ομάδα ήταν η πρώτη που έθεσε το ζήτημα της κρισιμότητας της κατάστασης, και ότι οι πιο πάνω διαπιστώσεις και προτάσεις αποδείχτηκαν στην πράξη σωστές, αλλά δυστυχώς υπήρξε κάποια καθυστέρηση μέχρι να ληφθούν τα οριστικά μέτρα για την υλοποίηση των προτάσεων.

Στο σημείο αυτό επισημαίνεται η γενικότερη σημασία της συνεργασίας μας με το ΥΠΕΧΩΔΕ, και η συμβολή του στην εκπόνηση του ερευνητικού αυτού έργου, με την παροχή όλων των διαθέσιμων στοιχείων, μελετών και υδρολογικών δεδομένων, και κυρίως με τη χρηματοδότηση του έργου αυτού. Θεωρούμε ότι η πολιτική του αυτή είναι πολλαπλώς επωφελής, εξυπηρετώντας όχι μόνο την αντιμετώπιση του υδρευτικού προβλήματος της Αθήνας, αλλά και γενικότερους στόχους, όπως την ανάπτυξη ελληνικής τεχνογνωσίας σε θέματα υδατικών πόρων, την ενδυνάμωση των ελληνικών ερευνητικών πυρήνων και τη σύνδεση του πανεπιστημιακού δυναμικού με τα συγκεκριμένα προβλήματα της ελληνικής πραγματικότητας. Το ερευνητικό αυτό έργο πιστεύουμε ότι αποδεικνύει τη δυνατότητα του εγχώριου ερευνητικού δυναμικού να αντιμετωπίσει επιτυχώς και με τις πιο σύγχρονες επιστημονικές μεθόδους τα προβλήματα εκτιμήσης, διαχείρισης και ανάπτυξης των υδατικών πόρων της χώρας, εφόσον του δοθεί η κατάλληλη υποστήριξη από την πολιτεία.

Πολύ στενή και γόνιμη συνεργασία είχαμε επίσης και με την ΕΥΔΑΠ, σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης του ερευνητικού έργου. Η συνεργασία αυτή εντάθηκε από το τέλος Αυγούστου 1989, οπότε και ζητήθηκε από τον πρόεδρο της ΕΥΔΑΠ η γνωμοδότηση της ερευνητικής ομάδας στο ζήτημα των δυνατοτήτων του σημερινού υδροδοτικού συστήματος Μόρφου-Υλίκης, και των κινδύνων ανεπάρκειας του την προσεχή δεκαετία καθώς και στο ζήτημα της σκοπιμότητας κατασκευής συμπληρωματικού υδραγωγείου Υλίκης. Για την απάντηση στα ζητήματα αυτά συντάχτηκε από την ερευνητική ομάδα ειδικό τεύχος, (το Τεύχος 8) που παραδόθηκε τον Οκτώβριο 1989, στο οποίο διατυπώνονταν τα εξής συμπεράσματα:

- Η δυνατότητα απολήψεων από το σημερινό υδροδοτικό σύστημα, με ορθολογική εκμετάλλευση, φτάνει τα 461 εκατομμύρια m^3 , για αξιοποιησία 99% (πιθανότητα αστοχίας 1% κάθε χρόνο).
- Η κατασκευή συμπληρωματικού υδραγωγείου Υλίκης είναι μεν σκόπιμη για λόγους ασφαλείας του συστήματος, αλλά δεν αναμένεται να αυξήσει σημαντικά τις δυνατότητες απολήψεων (παρά μόνο κατά 11-18 εκατομμύρια m^3 ετησίως).
- Το σημερινό υδροδοτικό σχήμα μπορεί να καλύψει ικανοποιητικά, με πιθανότητα αστοχίας της τάξης του 1% για κάθε χρόνο, τις υδρευτικές ανάγκες της Αθήνας για τα προσεχή 5-6 χρόνια.

Το τελευταίο από τα παραπάνω συμπεράσματα, ενώ με τα διαθέσιμα δεδομένα, μέχρι το Σεπτέμβριο 1989 ήταν σωστό, έχει πλέον ανατραπεί από τη φετεινή ξηρασία, που όπως θα φανεί πιο κάτω ήταν πολύ κρίσιμη, αφού αντιστοιχεί σε πιθανότητα πολύ κάτω του 1%. Ετσι στην πορεία έγινε ορατός ο κίνδυνος αστοχίας για το αμέσως επόμενο υδρολογικό έτος 1990-91. Για την αντιμετώπιση του κινδύνου αυτού η ερευνητική ομάδα μελέτησε σε άμεση συνέργασία με την ΕΥΔΑΠ μια σειρά από έκτακτα σενάρια ενίσχυσης της υδροδότησης και περιορισμού της κατανάλωσης, πάνω στα οποία στηρίχτηκαν τα γνωστά μέτρα της ΕΥΔΑΠ.

2. ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ

Οι επιμέρους δραστηριότητες που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια του ερευνητικού έργου, για την επίτευξη των στόχων και των συμβατικών υποχρεώσεων του είναι συνοπτικά οι εξής:

A. Βασική έρευνα

- A1** Μαθηματική ανάλυση και σύνθεση μοντέλου για την προσομοίωση των υδρολογικών μεταβλητών που συναρτώνται με το υδροδοτικό σύστημα.
- A2** Μαθηματική ανάλυση και σύνθεση μοντέλου για την προσομοίωση της λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος.

B. Εφαρμογές πληροφορικής

- B1** Ανάπτυξη προγραμμάτων βάσης δεδομένων για την αρχειοθέτηση, διαχείριση και επεξεργασία των υδρολογικών δεδομένων.
- B2** Ανάπτυξη προγράμματος προσομοίωσης των υδρολογικών μεταβλητών του συστήματος.
- B3** Ανάπτυξη προγράμματος προσομοίωσης της λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος.
- B4** Ανάπτυξη προγράμματος για την υποστήριξη της διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος από την ΕΥΔΑΠ.

Γ. Εργασίες υποδομής

- Γ1** Συλλογή και αξιολόγηση μελετών σχετικών με τους υδατικούς πόρους των υδρολογικών λεκανών που εξυπηρετούν την ύδρευση της Αθήνας (Μόρνου - Ευήνου - Υλίκης - Παραλίμνης - Βοιωτικού Κηφισού - Μαραθώνα - Ασωπού).
- Γ2** Συλλογή, αξιολόγηση, αρχειοθέτηση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, ομογενοποίηση, μεγιστοποίηση και επεξεργασία της πρωτογενούς υδρολογικής πληροφορίας των υδρολογικών λεκανών που εξυπηρετούν την ύδρευση της Αθήνας (υδρομετρικά, βροχομετρικά και μετεωρολογικά δεδομένα).

Δ. Εφαρμοσμένη έρευνα

- Δ1** Μελέτη των ισοζυγίων των ταμιευτήρων Μόρνου και Υλίκης.
- Δ2** Εκτίμηση του υδατικού δυναμικού των λεκανών Μόρνου, Ευήνου και Υλίκης/Β. Κηφισού.
- Δ3** Εκτίμηση και μοντελοποίηση των υδρολογικών απωλειών (υπόγειων διαφυγών και εξάτμισης) των ταμιευτήρων Μόρνου, Υλίκης και Ευήνου.

- Δ4 Τεχνικοοικονομική μελέτη βελτίωσης του υδρομετεωρολογικού μετρητικού δικτύου στις λεκάνες Μόρνου και Ευήνου.
- Δ5 Κατάρτιση πιθανών σεναρίων υδρευτικών αναγκών της Αθήνας και της κατανομής τους στο χρόνο.
- Δ6 Μελέτη υδρολογικού σχεδιασμού για τη διαστασιολόγηση των τριών εναλλακτικών ταμιευτήρων στον Εύηνο (Περίστας - Αγ. Δημητρίου - Δενδροχωρίου) σε συνδυασμό με τις σηραγγες εκτροπής προς τον ταμιευτήρα Μόρνου.
- Δ7 Εκτίμηση των δυνατοτήτων απολήψεων από τους ταμιευτήρες Μόρνου, Υλίκης και Ευήνου, μεμονωμένα και σε συνδυασμό.
- Δ8 Εκτίμηση των κινδύνων ανεπάρκειας του σημερινού υδροδοτικού συστήματος και μελέτη εναλλακτικών σεναρίων για την αντιμετώπιση τους.

Τα αποτελέσματα όλων των παραπάνω δραστηριοτήτων έχουν αποτυπωθεί στα τεύχη, παραρτήματα, σχέδια, χάρτες και δισκέτες H/Y που παραδόθηκαν σταδιακά στο ΥΠΕΧΩΔΕ. Συγκεκριμένα παραδόθηκαν:

- 2 αναγνωριστικές εκθέσεις
- 19 κύρια τεύχη τεχνικών εκθέσεων, που περιλαμβάνουν την περιγραφή όλων των εργασιών που εκτελέστηκαν, των μεθοδολογιών που αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν, και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν (συμπεριλαμβάνεται και η παρούσα συνοπτική έκθεση).
- 10 τεύχη παραρτημάτων που περιλαμβάνουν τα μδρομετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν.
- 13 χάρτες και σχέδια
- 30 δισκέτες ηλεκτρονικού υπολογιστή, στις οποίες περιέχονται (α) τα προγράμματα αρχειοθέτησης, διαχείρισης και επεξεργασίας υδρομετεωρολογικών δεδομένων (β) τα αρχεία των βάσεων δεδομένων και (γ) τα προγράμματα για την υποστήριξη της διαχείρισης του σημερινού υδροδοτικού συστήματος.

Σημειώνεται ότι οι μεθοδολογίες και τα μοντέλα προσομοίωσης που αναπτύχθηκαν έχουν σημαντικό βαθμό πρωτοτυπίας, συγκρινόμενα με τα διεθνή δεδομένα. Τα προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστή έχουν αναπτυχθεί εξ ολοκλήρου από την ερευνητική ομάδα, σε γλώσσα Pascal, και έχουν πολλά πλεονεκτήματα (φιλικότητα προς το χρήστη, επικοινωνία αποκλειστικά με την ελληνική γλώσσα, αξιοσημείωτη ταχύτητα). Ειδικότερα τα προγράμματα διαχείρισης βάσης δεδομένων, αποτελούν μια σοβαρή προσπάθεια στο μείζον και επείγον θέμα της δημιουργίας μιας πανεθνικής τράπεζας υδρολογικών δεδομένων. Πάνω στο θέμα αυτό η ερευνητική ομάδα σκοπεύει να συνεχίσει και να εντείνει τις προσπάθειες της. Επίσης το πρόγραμμα διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος είναι το πρώτο ολοκληρωμένο

πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή που συντάχτηκε και λειτούργησε στην Ελλάδα πάνω στο θέμα της ορθολογικής διαχείρισης υδατικών πόρων.

Με την παράδοση των παραπάνω στοιχείων καλύπτονται πλήρως οι στόχοι και το συμβατικό αντικείμενο του ερευνητικού έργου, όπως αυτά αναλυτικά περιγράφονται στα παραρτήματα των αποφάσεων ανάθεσής του. Απομένει να γίνει η εκπαίδευση του προσωπικού του ΥΠΕΧΩΔΕ και της ΕΥΔΑΠ, στη χρήση των προγραμμάτων ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η ερευνητική ομάδα προτίθεται να συνεχίσει τις εργασίες της, προκειμένου να ολοκληρώσει μία σειρά επιστημονικών δημοσιεύσεων και ανακοινώσεων σχετικών με τις μεθοδολογίες και τα απότελέσματα του ερευνητικού έργου, που δεν είχε το χρόνο να παρουσιάσει μέχρι τώρα, λόγω του επειγόντος ρυθμού των εργασιών που επέβαλε η κρισιμότητα των προβλημάτων.

3. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Ενα πολύ μεγάλο μέρος του ερευνητικού έργου αφιερώθηκε στις εργασίες υποδομής που αφορούν στη συγκρότηση της υδρολογικής πληροφορίας των λεκανών Μόρνου, Ευήνου και Υλίκης. Οι συνιστώσες της υδρολογικής πληροφορίας είναι τρεις:

- Υδρομετρική (πρωτεύουσα) πληροφορία (μετρήσεις παροχής και στάθμης υδατορευμάτων).
- Βροχομετρική (δευτερεύουσα) πληροφορία (μετρήσεις ύψους βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων).
- Μετεωρολογική (τριτεύουσα) πληροφορία (μετρήσεις θερμοκρασίας, υγρασίας, ταχύτητας ανέμου, ηλιοφάνειας και εξάτμισης).

Στο ερευνητικό έργο εξετάστηκαν αναλυτικά και οι τρεις συνιστώσες της υδρολογικής πληροφορίας, τη βάση όμως για τη συναγώγη συμπερασμάτων αποτέλεσε η πρωτογενής υδρομετρική πληροφορία.

Οι εργασίες συγκρότησης της πληροφορίας είναι:

- Συγκέντρωση των πρωτογενών υδρομετεωρολογικών δεδομένων
- Προκαταρκτική αξιολόγηση των δεδομένων
- Ένταξη των δεδομένων στις βάσεις δεδομένων
- Πρωτογενής επεξεργασία της πρωτεύουσας πληροφορίας (κατάρτιση καμπυλών στάθμης-παροχής, αναγνώριση των μετρήσεων στάθμης σε παροχή)
- Επεξεργασία της δευτερεύουσας πληροφορίας (ομογενοποίηση και μεγιστοποίηση δειγμάτων - επιφανειακή ολοκλήρωση)
- Επεξεργασία της τριτεύουσας πληροφορίας (εκτίμηση της εξάτμισης και εξατμισοδιαπνοής και ημιεμπειρικές μεθόδους)
- Δευτερογενής επεξεργασία της πρωτεύουσας πληροφορίας (ομογενοποίηση και μεγιστοποίηση των δειγμάτων παροχής με βάση και τη δευτερεύουσα πληροφορία)
- Ελεγχος, διαπίστωση και αφαίρεση υπερετήσιων τάσεων και περιοδικοτήτων στις τρεις βασικές υδρολογικές μεταβλητές (απορροή - βροχόπτωση - εξάτμιση)
- Κατάρτιση τελικών δειγμάτων απορροής, βροχόπτωσης και εξάτμισης
- Στατιστική/στοχαστική επεξεργασία των δειγμάτων, εκτίμηση στατιστικών παραμέτρων και προσαρμογή θεωρητικών συναρτήσεων κατανομής

Τελικές εκτιμήσεις του επιφανειακού υδατικού δυναμικού και της αξιοπιστίας του

Συγκεκριμένα στα πλαίσια των ερευνών εξετάστηκαν τα δεδομένα 8 υδρομετρικών, 22 βροχομετρικών και 11 μετεωρολογικών σταθμών, που βρίσκονται στις υδρολογικές λεκάνες Μόρνου, Ευήνου και Υλίκης ή κοντά σε αυτές. Επίσης εξετάστηκαν και τα δεδομένα από τη λειτουργία των ταμιευτήρων Μόρνου και Υλίκης.

Αναλυτικά τα υδρομετεωρολογικά δεδομένα, η επεξεργασία τους και οι τελικές υδρολογικές εκτιμήσεις παρουσιάζονται στα τεύχη και τα παραρτήματα του ερευνητικού έργου. Στον ακόλουθο πίνακα 3.1 συνοψίζονται τα τελικά στατιστικά χαρακτηριστικά των βασικών υδρολογικών μεταβλητών (απορροή - βροχόπτωση - εξάτμιση) στις τρεις λεκάνες απορροής. Τα χαρακτηριστικά αυτά δίνονται σε ετήσια βάση, και σε μονάδες ίσοδύναμου ύψους (mm), ενώ για την αναγωγή των μεγεθών αυτών σε όγκους μπορεί να χρησιμοποιούντα τα εμβαδά των λεκανών απορροής του πίνακα 3.2. Τέλος στον πίνακα 3.3 δίνονται οι μέσοι ετήσιοι όγκοι εισροής στους διάφορους σημερινούς ή μελλοντικούς ταμιευτήρες, και τα όρια αξιοπιστίας τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1
ΤΕΛΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΣΕ ΕΤΗΣΙΑ ΒΑΣΗ (mm)

Λεκάνη απορροής	Εύνος (Περίστα)			Μόρνος			Υλίκη		
	Απορροή	Βροχή	Εξάτμιση	Απορροή	Βροχή	Εξάτμιση	Απορροή	Βροχή	Εξάτμιση
Υδρολογική μεταβλητή									
Μέγεθος δείγματος	20	26	18	19	26	18	23	34	32
Μέση τιμή	920.9	1463.3	1285.7	573.0	1504.3	1309.0	165.8	466.4	1363.8
Τυπική απόκλιση	318.2	262.3	103.3	139.8	236.2	54.1	57.6	91.3	58.9
Ανώ όριο εκτιμήσης μέσως τιμής για $\alpha = 95\%$	1070.3	1569.3	1337.1	640.4	1599.7	1335.9	190.8	498.2	1385.0
Κάτω όριο εκτιμήσης μέσως τιμής για $\alpha = 95\%$	771.5	1357.3	1234.3	505.6	1408.9	1282.1	140.8	434.4	1342.6
Συντελεστής αυτοσυσχέτισης 1ης τάξης	0.17	0.00	0.26	0.03	0.00	- 0.06	0.00	0.00	0.01

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- Τα εμβαδά των λεκανών απορροής, που χρειάζονται για την αναγωγή των υψών του πίνακα σε όγκους, δίνονται στον πίνακα 3.2.
- Η απορροή που αναφέρεται στη στήλη "Υλίκη" είναι ουσιαστικά η απορροή του Β. Κηφισού. Για την αναγωγή σε όγκο εισαρών στην Υλίκη οι τιμές θα πρέπει να πολλαπλασιαστούν με επιφάνεια $2130.6 \text{ km}^2 (=1.06 * 2010)$. Θεωρείται ότι η άμεση απορροή της λεκάνης Υλίκης είναι ισημερινή με το 6% της απορροής του Β. Κηφισού.
- Οι εξατμίσεις του πίνακα αντιστοιχούν στις λεκάνες κατάκλυσης των ταμιευτήρων, ενώ οι βροχοπτώσεις αντιστοιχούν στις συνολικές επιφάνειες των λεκανών απορροής.
- Το δείγμα της απορροής του Β. Κηφισού είχε κατ' αρχήν πολύ μεγαλύτερο μέγεθος (ξεκινά από το 1907) αλλά χορηγήματα ήτθικαν μόνο τα πιο πρόσφατα δεδομένα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2
ΕΜΒΑΔΑ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΕ km²

ΛΕΚΑΝΗ	ΕΜΒΑΔΟ
Μαραθώνα, ανάντη Φράγματος	119.7
Υλίκης μαζί με τη λεκάνη Βάγιας	421.9
Βάγιας	82.9
Παραλίμνης	74.5
Βοιωτικού Κηφισού	2010.0(*)
Μόρνου, ανάντη Φράγματος	557.5
Ευήνου, ανάντη Υ.Σ. Πόρου Ρηγανίου	884.0
Ευήνου, ανάντη Θ. Φρ. Περιστας	393.0
Ευήνου, ανάντη Θ. Φρ. Αγ. Δημητρίου	349.0
Ευήνου, ανάντη Θ. Φρ. Δενδροχωρίου	255.2

(*) Βλέπε και παρατήρηση 2 πίνακα 3.1

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3
ΕΤΗΣΙΟΙ ΟΓΚΟΙ ΕΙΣΡΟΩΝ ΣΤΟΥΣ ΣΗΜΕΡΙΝΟΥΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΥΣ
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ (σε m³ * 10⁶)

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ/ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΟΡΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ για α=95%	
		ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ
Εύηνος - Περιστα	361.9	303.2	420.6
Εύηνος - Αγ. Δημήτριος	321.4	269.3	373.5
Εύηνος - Δενδροχώρι	235.0	196.9	273.1
Μόρνος - Φράγμα	319.4	281.9	357.0
Υλίκη	353.3	300.0	406.5

Οι παραπάνω εκτιμήσεις είναι οι καλύτερες δυνατές που επέτρεψαν τα διαθέσιμα υδρολογικά δεδομένα και οι μεθοδολογίες της υδρολογικής επιστήμης. Τονίζουμε, ωστόσο, ότι υπάρχουν σοβαρές αβεβαιότητες στην πρόγνωση του υδατικού δυναμικού, που οφείλονται στους εξής τρεις λόγους:

1. Μειωμένη αξιοπιστία υδρομετεωρολογικών δεδομένων

Η ποιότητα των υδρομετεωρολογικών δεδομένων όλων των κατηγοριών και σε όλες τις λεκάνες είναι δυστυχώς από κακή έως μέτρια, εκτός από λίγες εξαιρέσεις. Αυτό οφείλεται είτε σε εσφαλμένη επιλογή θέσης των σταθμών μέτρησης, είτε σε πλημμελή συντήρηση των οργάνων, είτε σε ελλιπή εκπαίδευση ή και ασυνειδησία παρατηρητών, είτε τέλος σε παραμέληση των επιθεωρήσεων των σταθμών. Αναφέρονται ενδεικτικά μερικά προβλήματα που διαπιστώθηκαν

- Πλήρης αναντιστοιχία μετρήσεων γειτονικών σταθμημέτρων
- Αναντιστοιχία μετρήσεων βροχής σε γειτονικούς σταθμούς, που διαπιστώνεται με εμφάνιση μηδενικών ή και αρνητικών συντελεστών συσχέτισης
- Συχνές ελλείψεις δεδομένων
- Μεγάλες χρονικές περίοδοι με παντελή έλλειψη υδρομετρήσεων
- Παραδοξότητες στο συσχετισμό βροχής και απορροής (π.χ. απορροή μεγαλύτερη από τη βροχή) κ.ά.

Επισημαίνεται ότι η σημασία της ποιότητας των μετρήσεων είναι καθοριστική για την υδρολογία και καμιά μαθηματική μεθοδολογία δεν είναι σε θέση να υποκαταστήσει τις άμεσες μετρήσεις.

2. Διαπιστωμένη βαθμιαία κλιματική μεταβολή

Από τη μελέτη των δειγμάτων της απορροής του Βοιωτικού Κηφισού και της βροχόπτωσης στην Αλίαρτο, όπου οι μετρήσεις ξεκινούν από το 1907, διαπιστώθηκε μια συνεχής στατιστικά σημαντική πτωτική τάση του μεγέθους της απορροής και της βροχής.

Η πτωτική αυτή τάση ξεκινά από το 1920 και συνεχίζεται με σταθερό ρυθμό μέχρι σήμερα. Ετσι ενώ το 1920-21 η απορροή του Β. Κηφισού έφτανε με μέσο ετήσιο ρυθμό $527.2 * 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως,, το 1987-88 φτάνει με ρυθμό $323.2 * 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως, δηλαδή είναι μικρότερη κατά 39%. Αντίστοιχα η βροχόπτωση το 1920-21 έφτανε με μέσο ρυθμό 773.3 mm ετησίως, ενώ το 1987-88 φτάνει με ρυθμό 558.9 mm ετησίως, δηλαδή είναι μειωμένη κατά 28%. Ομόρροπη πτωτική τάση έχει διαπιστωθεί και στην εξάτμιση που στα τελευταία τριάντα χρόνια μειώθηκε κατά 9%.

Στις λεκάνες Μόρνου και Ευήνου, οι σχετικά μικρές περίοδοι μετρήσεων δεν επέτρεψαν να γίνουν παρόμοιες διερευνήσεις. Ωστόσο η ερευνητική ομάδα είναι σε θέση να γνωρίζει ότι παρόμοιες κλιματικές τάσεις έχουν παρατηρηθεί και σε άλλες περιοχές της Ελλάδας.

Οι εργασίες του ερευνητικού έργου βασίστηκαν στην παραδοχή της διατήρησης των μέσων υδροκλιματικών παραμέτρων στα επίπεδα του 1987-88 (μέσο σενάριο), και έτσι έγινε αναγωγή των ιστορικών δειγμάτων σε αυτά τα επίπεδα. Δεν μπορεί όμως να αποκλειστεί ούτε η συνέχιση της πτωτικής τάσης και στο μέλλον (απαισιόδοξο σενάριο), ούτε η ανάκαμψη της πτωτικής τάσης (αισιόδοξο σενάριο).

3. Πιθανολογούμενη απότομη κλιματική αλλαγή της τελευταίας περιόδου Ειρασίας

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί ένα έντονο φαινόμενο ξηρασίας. Γενικά ξηρασία θεωρείται μια περιόδος στην οποία η ποσότητα της βροχής είναι πολύ χαμηλότερη από τις συνήθεις τιμές, σε τρόπο ώστε να μην αναπτύσσεται η φυσική φυτοκάλυψη και να υπάρχουν επιπτώσεις στην κάλυψη των άλλων αναγκών σε νερό, υδρευτικών, αρδευτικών, βιομηχανικών κλπ. Η ξηρασία είναι ένα φαινόμενο όχι σπάνιο στη φύση, στο οποίο αποδίδεται τυχαίος χαρακτήρας. Ωστόσο, η μεγάλη διάρκεια, έκταση και ένταση του πρόσφατου φαινομένου, καθώς και η εμφάνιση του και σε άλλες

μεσογειακές λεκάνες δημιουργούν φόβους για ενδεχόμενο μονιμότερο χαρακτήρα του, με πιθανολογούμενο συσχετισμό του και με το "φαινόμενο θερμοκηπίου". Δυστυχώς το σημερινό επίπεδο ανάπτυξης της υδρολογικής επιστήμης σε συνδυασμό με την πολυπλοκότητα και υψηλή ευαισθησία των κλιματικών φαινομένων δεν επιτρέπει προς το παρόν καμιά ασφαλή εξήγηση του φαινομένου, και κατά συνέπεια δεν είναι δυνατή η πρόγνωση της εξέλιξης του. Η παραδοχή που έγινε στο ερευνητικό έργο αποδίδει το φαινόμενο της ξηρασίας σε τυχαίους παράγοντες, χωρίς να δέχεται κανένα μόνιμο χαρακτήρα του, σημειώνεται όμως ότι η παραδοχή αυτή μπορεί να αποδειχτεί εσφαλμένη.

Λόγω των καθοριστικών συνεπειών της τελευταίας ξηρασίας στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, το οποίο οδηγήθηκε σε πολύ κρίσιμη κατάσταση, με ορατό τον κίνδυνο της αστοχίας του, θεωρήσαμε σκόπιμο να δώσουμε παρακάτω αναλυτικά στοιχεία για το φαινόμενο αυτό.

Στον πίνακα 3.4 δίνονται τα ετήσια ισοδύναμα ύψη απορροής των λεκανών Μόρνου και Β. Κηφισού της τελευταίας πενταετίας, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες μέσες τιμές. Επίσης δίνονται τα αντίστοιχα ύψη βροχής στους σταθμούς Λιδορίκι (λεκάνη Μόρνου) και Μουρίκι (λεκάνη Υλίκης). Τα αντίστοιχα μεγέθη της τελευταίας διετίας δίνονται και σε μηνιαία βάση στον πίνακα 3.5 για το εξάμηνο της μεγιστηριανής υδροφορίας (Νοέμβριος έως Απρίλιος).

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4
ΕΤΗΣΙΑ ΥΨΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΚΑΙ ΒΡΟΧΗΣ ΤΗΣ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑΣ ΠΕΝΤΑΕΤΙΑΣ (σε mm)

	ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΥΨΟΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΟΡΝΟΥ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΥΨΟΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ Β. ΚΗΦΙΣΟΥ	ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΥΨΟΣ ΑΠΟ- ΡΡΟΗΣ ΜΟΡΝΟΥ & Β. ΚΗΦΙΣΟΥ	ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΣΤΟ ΛΙΔΟΡΙΚΙ (Λ.ΜΟΡΝΟΥ)	ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΣΤΟ ΜΟΥΡΙΚΙ (Λ.ΥΛΙΚΗΣ)
Μέση τιμή Τυπική απόκλιση	573.0 139.8	165.8 57.6	254.2 71.0	875.7 156.2	419.0 113.3
Υδρολ. έτος 1985-86	578.9	108.9	211.0	980.7	319.9
Υδρολ. έτος 1986-87	462.1	172.0	235.0	884.1	460.1
Υδρολ. έτος 1987-88	384.4	111.3	170.6	821.3	438.6
Υδρολ. έτος 1988-89	390.5	97.0	160.7	830.5	358.9
Οκτ. 1989 - Μάιος 1990	(121.1)	29.2	49.2	396.0 ^(*)	-
Υδρολ. έτος 1989-90 (εκτίμηση)	133.6	29.2	51.9	522.6	-

(*) μέχρι τον Απρίλιο 1990

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5
ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΨΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΚΑΙ ΒΡΟΧΗΣ ΤΗΣ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑΣ ΔΙΕΤΙΑΣ,
ΓΙΑ ΤΟ ΕΞΑΜΗΝΟ ΜΕ ΤΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑ (σε mm)

ΜΕΓΕΘΟΣ		N	Δ	I	Φ	M	A
Ισοδύναμο ύψος απορροής Μόρου	Μέση τιμή Υδρολ. έτος 1988-89 Υδρολ. έτος 1989-90	55.6 84.6 19.2	87.6 70.4 34.3	93.1 18.6 15.3	86.2 38.2 1.9	71.7 72.7 12.3	59.9 45.9 18.3
Ισοδύναμο ύψος απορροής Β.Κηφισιού	Μέση τιμή Υδρολ. έτος 1988-89 Υδρολ. έτος 1989-90	12.6 10.4 5.3	22.0 21.8 6.5	26.1 13.4 7.4	26.4 8.9 4.6	31.5 26.0 1.1	20.1 11.3 0.0
Υψος βρο- χής στο Λιδορίκι	Μέση τιμή Υδρολ. έτος 1988-89 Υδρολ. έτος 1989-90	142.2 319.3 98.0	159.3 127.0 87.3	136.0 2.2 0.2	105.6 108.8 47.8	71.8 87.6 23.0	56.0 55.1 62.3
Υψος βρο- χής στο Μουρικί	Μέση τιμή Υδρολ. έτος 1988-89 Υδρολ. έτος 1989-90	50.8 119.4 33.2	70.3 103.1 59.2	58.6 0.5 2.8	46.9 21.7 21.2	45.3 51.1 -	26.9 4.8 -

Από τα δεδομένα των πινάκων αυτών παρατηρούμε τα ακόλουθα:

- a. Ο ετήσιος ρυθμός απορροής και στις δύο λεκάνες που τροφοδοτούν την Αθήνα είναι αισθητά μικρότερος του μέσου ρυθμού επί μια τριετία (από το 1987-88 μέχρι εφέτος).
- b. Ειδικότερα στη διετία 1987-89 οι μειωμένοι ρυθμοί ετήσιας απορροής αντιστοιχούν σε πιθανότητες της τάξης του 1:10 (ή διαστήματα επαναφοράς 10 ετών). Οι μειωμένοι ρυθμοί της απορροής δε συνοδεύονται από μειωμένους ρυθμούς στην ετήσια βροχόπτωση η οποία παραμένει στα μέσα επίπεδα. Ετσι η μείωση της απορροής θα πρέπει να αποδοθεί στην ασυνήθιστη χρονική κατανομή της βροχόπτωσης (π.χ. σχεδόν μηδενική βροχόπτωση τον Ιανουάριο 1989).
- c. Το εφετεινό υδρολογικό έτος (1989-90) έχει πραγματοποιηθεί ένα εξαιρετικά κρίσιμο υδρολογικό γεγονός. Οι πολύ μειωμένοι ρυθμοί απορροής οφείλονται και στη μειωμένη ετήσια βροχόπτωση, αλλά και στη δυσμενή χρονική κατανομή της (σχεδόν μηδενική βροχόπτωση τον Ιανουάριο 1990). Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι η απορροή του Βοιωτικού Κηφισού μόλις φτάνει τα 29.2 mm. Η τιμή αυτή είναι το απόλυτο ελάχιστο που έχει παρατηρηθεί από το 1907, που υπάρχουν μετρήσεις. Το προηγούμενο "ρεκόρ", που είχε παρατηρηθεί το έτος 1916-17, ήταν υπερδιπλάσιο (64.0 mm).
- d. Η πιθανότητα που θεωρητικά μπορεί να αποδοθεί στο εφετεινό κρίσιμο υδρολογικό γεγονός είναι τόσο μικρή ώστε να μη μπορεί να εκτιμηθεί με αξιόπιστο τρόπο με στατιστικές μεθόδους από τα διαθέσιμα ιστορικά δείγματα. Ενδεικτικά και μόνο αναφέρονται οι ακόλουθες θεωρητικές πιθανότητες όπως προκύπτουν από τις στατιστικές κατανομές Γκάους και Γάμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.6
**ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΕΦΕΤΙΝΟΥ ΚΡΙΣΙΜΟΥ
 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΓΕΓΟΝΟΤΟΣ**

ΜΕΓΕΘΟΣ	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑ- ΝΟΜΗ ΓΚΑΟΥΣ	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑ- ΝΟΜΗ ΓΑΜΑ
Βροχόπτωση στο Λιδορίκι	1 : 90	1 : 220
Απορροή στο Μόρνο	1 : 1200	1 : 830.000
Απορροή στο Β. Κηφισό	1 : 110	1 : 12.000
Συνολική απορροή Μόρνου & Β.Κηφισού	1 : 460	1 : 190.000

Για λόγους σύγκρισης αναφέρεται ότι η απορροή του Β. Κηφισού το έτος 1916-17 αντιστοιχεί σε πιθανότητα 1:25 με την κατανομή Γκάους ή 1:100 με την κατανομή Γάμα.

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων για τις δυνατότητες του σημερινού και μελλοντικού υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της προσομοίωσης. Η μέθοδος αυτή συνίσταται στη μαθηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του συστήματος σε ιδεατό χρόνο, με την οποία δοκιμάζεται μία συγκεκριμένη τεχνική λύση σε συνδυασμό με μια συγκεκριμένη πολιτική διαχείρισης και εξάγονται συμπεράσματα για τις δυνατότητες, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της λύσης. Η προσομοίωση περιλαμβάνει δύο στάδια:

- το στάδιο της **υδρολογικής προσομοίωσης** στο οποίο καταρτίζονται συνθετικές χρονοσειρές υδρολογικών μεταβλητών (απορροής, βροχής, εξάτμισης), και
- το στάδιο της **λειτουργικής προσομοίωσης** στο οποίο γίνεται η αναπαράσταση της λειτουργίας του συστήματος ταμιευτήρων και αγωγών μεταφοράς.

Το γενικό σχήμα που χρησιμοποιείται για την υδρολογική προσομοίωση περιλαμβάνει ένα συνδυασμό δύο μοντέλων:

- ένα Μαρκοβιανό μοντέλο παραγωγής ετήσιων χρονοσειρών, και
- ένα Μαρκοβιανό μοντέλο επιμερισμού των ετήσιων τιμών σε μηνιαίες τιμές.

Και τα δύο μοντέλα διατηρούν τη στοχαστική δομή και τα στατιστικά χαρακτηριστικά των υδρολογικών μεταβλητών, όπως αυτά εκτιμήθηκαν από τα ιστορικά δείγματα. Το σχήμα αυτό της παραγωγής των χρονοσειρών σε δύο φάσεις είναι σαφώς προτιμότερο, αν και πολλαπλώς πολυπλοκότερο, από ένα μοντέλο απευθείας παραγωγής μηνιαίων τιμών, γιατί διατηρεί και τη στοχαστική δομή και των ετήσιων χρονοσειρών, οι οποίες, για περιπτώσεις ταμιευτήρων υπερετήσιας εξίσωσης, είναι πιο καθοριστικές από τις μηνιαίες.

Το παραπάνω σχήμα, σε κάθε προσομοίωση εφαρμόζεται ανεξάρτητα δύο φορές. Την πρώτη φορά παράγει ταυτόχρονα χρονοσειρές απορροής και βροχής στις τρεις θέσεις ταμιευτήρων, διατηρώντας και τις μεταξύ των χρονοσειρών αλληλεξαρτήσεις. Τη δεύτερη φορά παράγει χρονοσειρές εξατμίσεων από τις επιφάνειες των ταμιευτήρων.

Στο στάδιο της λειτουργικής προσομοίωσης διακρίνουμε τις εξής δύο περιπτώσεις που καθε μια δίνει απάντηση στο αντίστοιχο ερώτημα.

1. Προσομοίωση καθορισμού δυνατοτήτων

Για δεδομένο υδροδοτικό σύστημα και για δεδομένο επίπεδο αξιοπιστίας, ποια είναι η δυνατότητα του συστήματος, δηλαδή ποιός είναι ο σταθερός ετήσιος όγκος που μπορεί να αποδίδει το σύστημα;

2. Προσομοίωση καθορισμού πιθανοτήτων αστοχίας

Για δεδομένο υδροδοτικό σύστημα και για δεδομένη εξέλιξη κατανάλωσης ποιές είναι οι πιθανότητες αστοχίας του συστήματος και πως αυτές εξελίσσονται στο χρόνο.

Με τον όρο **αστοχία του συστήματος** εννοούμε την αποτυχία της πλήρους κάλυψης της

κατανάλωσης 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 παροχητευτικότητας των αγωγών μεταφοράς,
- είτε, τέλος, σε συνδυασμό των δύο παραπάνω λόγων.

Με τον όρο **επίπεδο αξιοπιστίας του συστήματος** εννοούμε την πιθανότητα πλήρους κάλυψης (χωρίς αστοχία) της κατανάλωσης σε όλη τη διάρκεια ενός (υδρολογικού) έτους. Σχετικά με αυτό έγιναν οι εξής παραδοχές:

- a. Το επίπεδο αξιοπιστίας για το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, ορίζεται ίσο με 99% για την κανονική (συνήθη) πολιτική απολήψεων, και για τις κύριες πηγές τροφοδοσίας (Μόρνος-Υλίκη-Εύηνος). Αυτό το επίπεδο αξιοπιστίας χρησιμοποιείται σε όλες τις προσομοιώσεις καθορισμού δυνατοτήτων του συστήματος.
- b. Για έκτακτες περιπτώσεις, όπως η σημερινή συγκυρία, και για προσομοιώσεις καθορισμού πιθανοτήτων αστοχίας, χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση αυξημένες τιμές της αξιοπιστίας (>99%), ενώ παίρνονται υπόψη και οι εφεδρικές πηγές ύδρευσης, και συνεκτιμώνται και τυχόν άλλα μέτρα που περιλαμβάνονται στο σχέδιο αντιμετώπισης της κατάστασης.
- c. Οι τιμές των επιπέδων αξιοπιστίας και οι αντίστοιχες τιμές των απολήψεων βασίζονται στην υπόθεση στατιστικά σταθερής υδρολογικής διαίτας για τα επόμενα υδρολογικά έτη, χωρίς να αντιμετωπίζεται το ενδεχόμενο μόνιμων κλιματικών αλλαγών.

Στη λειτουργική προσομοίωση λαμβάνονται υπόψη όλοι οι φυσικοί περιορισμοί που επιβάλλονται από τις πεπερασμένες διαστάσεις των ταμιευτήρων και τις πεπερασμένες παροχητευτικότητες των αγωγών. Επίσης λαμβάνονται υπόψη λειτουργικοί περιορισμοί που αφορούν στην τήρηση αποθεμάτων για άλλες χρήσεις (αποθέματα ασφαλείας και αποθέματα για αρδευτική χρήση). Τέλος κάθε μεμονωμένη προσομοίωση βασίζεται σε ένα κανόνα λειτουργίας που ουσιαστικά καθορίζει τις προτεραιότητες απόληψης από κάθε μεμονωμένο ταμιευτήρα.

Στα πλαίσια της έρευνας δοκιμάστηκε ένας μεγάλος συνδυασμός τεχνικών λύσεων. Τα κύρια έργα, σημερινά και μελλοντικά, που εξετάστηκαν στους συνδυασμούς αυτούς είναι:

- Οι σημερινοί ταμιευτήρες Μόρνου και Υλίκης
- Ένας υπό μελέτη ταμιευτήρας στον Εύηνο, που εναλλακτικά μπορεί να τοποθετείται σε τρεις θέσεις (Περίστας - Αγ. Δημήτριος - Δενδροχώρι)
- Ένας ενδεχόμενος ταμιευτήρας αναρρύθμισης κοντά στην Αθήνα (πιθανότατα στη λεκάνη του ποταμού Ασωπού)

- Ο υφιστάμενος υδαταγωγός Μόρνου - Αθήνας μέχρι τον κόμβο Κιθαιρώνα
- Το υφιστάμενο υδραγωγείο Υλίκης μέχρι το Κακοσάλεσι
- Ένας υπό μελέτη αγωγός (σήραγγα) Ευήνου-Μόρνου, και
- Ένα δεύτερο ενισχυτικό υδραγωγείο που ξεκινά από την Υλίκη και συμβάλλει είτε στον υδαταγωγό Μόρνου, στον κόμβο Κιθαιρώνα, είτε στον ταμιευτήρα αναρρύθμισης.

Δεν εντάχτηκαν στο μοντέλο του συστήματος

- Ο ταμιευτήρας Μαραθώνα, που θεωρήθηκε ότι καλύπτει μόνο ανάγκες ασφάλειας έναντι έκτακτων περιστατικών και κατά συνέπεια δεν έχει ρυθμιστικό ρόλο, και
- Το σύστημα ενωτικών αγωγών μεταφοράς κατάντη των κόμβων Κιθαιρώνα και Κακοσάλεσι. Είναι γνωστό ότι το σύστημα αυτό είναι επαρκές για τις σημερινές συνθήκες υδροδότησης, αλλά δε θα επαρκέσει για την κάλυψη μελλοντικών ανάγκων και κατά συνέπεια θα πρέπει να ενισχυθεί κατάλληλα. Τα έργα ενισχυσης του δεν αποτελούν μέρος αυτής της έρευνας.

5. ΥΔΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΟΥΣ

Η μελέτη των καταναλώσεων της ευρύτερης περιοχής ευθύνης της ΕΥΔΑΠ δεν αντιμετωπίστηκε σε λεπτομέρεια στα πλαίσια αυτού του ερευνητικού έργου, αφού δεν υπήρχε σχετική πρόβλεψη στο συμβατικό αντικείμενο. Τα απαραίτητα για τη σύνταξη σεναρίων εξέλιξης της κατανάλωσης στοιχεία και παραδοχές βασίστηκαν, αφενός στους πίνακες δεδομένων κατανάλωσης της ΕΥΔΑΠ και αφετέρου σε συνθετική επισκόπηση άλλων μελετών, όπως των Haiste, Watson, Γκόφα, Υδρομηχανικής και ίδιαίτερα σε πρόσφατη μελέτη που συντάχθηκε από τον κ. Γ. Γερμανόπουλο, Δρ Πολ. Μηχανικό, στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος που η ΕΥΔΑΠ ανέθεσε στο τομέα ΥΠΥΘΕ του ΕΜΠ (το ερευνητικό πρόγραμμα αυτό δεν έχει ακόμα ολοκληρωθεί).

Το ιστορικό των υδατικών καταναλώσεων της Αθήνας, φαίνεται χαρακτηριστικά στον πίνακα 5.1. Γενικά εμφανίζονται έντονοι ρυθμοί αύξησης, με διπλασιασμό περίπου των καταναλώσεων κάθε 10 χρόνια, με εξαίρεση τη δεκαετία του '40 που παρατηρήθηκε στασιμότητα. Κατά τη δεκαετία του '80 έχουμε σχετικά μικρότερους ρυθμούς αύξησης, ενώ τη διετία 1982-84 είχαμε και πτώση της κατανάλωσης που αποδίδεται στην επιδραση των τιμολογιακών αυξήσεων του 1982.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1
ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ

ΥΔΡΟΛ. ΕΤΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (10^6 m^3)	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
1927 - 28	5.5	Υδρευση από το Αδριανείο υδραγωγείο και μικροπηγές Πληθυσμός Αθήνας 395,891 και ευρύτερης περιφέρειας 802,000
1931 - 32	12.2	Εναρξη λειτουργίας υδραγωγείου Μαραθώνα
1940 - 41	22.3	Πληθυσμός Αθήνας 481,225 και ευρύτερης περιφέρειας 1.124,109
1950 - 51	22.8	Στασιμότητα της κατανάλωσης μετά την απελευθέρωση και τον εμφύλιο Πληθυσμός ευρύτερης περιφέρειας Αθήνας 1,378,600
1960 - 61	69.6	Συστηματική λειτουργία υδραγωγείου Υλίκης, που ολοκληρώθηκε το 1958. Πληθυσμός Αθήνας 627,564 και ευρύτερης περιφέρειας 1,852,709
1970 - 71	140.7	Πληθυσμός ευρύτερης περιφέρειας Αθήνας 2,540,241
1980 - 81	275.1	Εναρξη λειτουργίας υδραγωγείου Μόρνου Πληθυσμός ευρύτερης περιοχής 3,027,331
1988 - 89	366.8 (438.6) [*]	Συνδυασμός λειτουργίας υδραγωγείου Μόρνου και Υλίκης

* Η τιμή περιλαμβάνει και τις απώλειες των συγγόνων μεταφοράς.

Το 1988-89 η κατανάλωση μετρημένη στα διύλιστηρια, φτάνει τα $366.8 * 10^6 \text{ m}^3$. Το άθροισμα όμως των απολήψεων Μόρνου και Υλίκης το ίδιο έτος, μετρημένων στη σήραγγα Γκιώνας και

το αντλιοστάσιο Μουρικίου, αντίστοιχα, φτάνει τα $438.6 * 10^6 \text{ m}^3$. Η διαφορά των $71.8 * 10^6 \text{ m}^3$, που αντιστοιχεί σε ποσοστό 16% των ολικών απολήψεων οφείλεται είτε σε απώλειες και παράνομες υδροληψίες από τους αγωγούς, είτε σε ανακρίβειες στους υπολογισμούς των παροχών, είτε το πιθανότερο σε συνδυασμό και των δύο αυτών αιτιών. Αντίστοιχες διαφορές εμφανίζονται στα προηγούμενα χρόνια της δεκαετίας του '80 με μέση ποσοστιαία τιμή 14%.

Η κατανάλωση το εφετινό υδρολογικό έτος αναμένεται ότι θα διαμορφωθεί σε χαμηλότερα επίπεδα από το 1988-89, λόγω των πρόσφατων τιμολογιακών μέτρων και της ευαισθητοποίησης του κοινού. Μια καθαρή μείωση της τάξης του 15% φαίνεται πολύ πιθανή με τα τελευταία στοιχεία κατανάλωσης της ΕΥΔΑΠ.

Με βάση τα παραπάνω για το αμέσως επόμενο υδρολογικό έτος 1990-91, η κατανάλωση μετρημένη στις θέσεις υδροληψίας, αναμένεται να είναι 370 έως $385 * 10^6 \text{ m}^3$. Πράγματι θεωρώντας 3% γενική αυξητική τάση και 15% καθαρή μείωση για διάρκεια ενός έτους, προκύπτουν οι εξής τιμές ανάλογα με το ποιά τιμή θα αποτελέσει την αφετηρία.

$$(366.8 / 0.86) * 1.03 * 0.85 = 373.4 * 10^6 \text{ m}^3 / \text{έτος}$$

$$438.6 * 1.03 * 0.85 = 384.0 * 10^6 \text{ m}^3 / \text{έτος}$$

Ας έρθουμε τώρα στις εκτιμήσεις για το πιο μακρινό μέλλον, παίρνοντας σαν οριζόντα το 2010. Η μελέτη Γερμανόπουλου, μετά από λεπτομερείς αναλύσεις, καταλήγει στις ακόλουθες εκτιμήσεις:

Συνολικός πληθυσμός Αττικής: 4.55 εκατομμύρια κάτοικοι
 Συνολική κατανάλωση (μετρημένη στα διύλιστρα): $579.2 * 10^6 \text{ m}^3 / \text{έτος}$

Οι εκτιμήσεις αυτές κρίνονται γενικά ως ρεαλιστικές, αλλά στο παρόν ερευνητικό έργο θεωρήθηκε αναγκαίο να μελετηθούν και εναλλακτικές παραδοχές, προκειμένου να συνταχθούν τρία πιθανά σενάρια (ανώτερο - μέσο - κατώτερο) εξέλιξης της κατανάλωσης. Οι παραδοχές αυτές, με οριζόντα το 2010 συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Η εξέλιξη του πληθυσμού και οι προοπτικές επέκτασης του δικτύου της ΕΥΔΑΠ σε όλη την Αττική οδηγούν εναλλακτικά σε δύο εκτιμήσεις εξυπηρετούμενου συνολικού πληθυσμού 4.1 και 4.5 εκατομμυρίων κατοίκων το 2010. Η χαμηλότερη τιμή αποτελεί ρεαλιστική πιθανή πρόβλεψη και η ψηλότερη ανώτερο όριο με αυξημένη αξιοπιστία.
- Σχετικά με το επίπεδο της οικιακής κατανάλωσης εξετάζονται τρεις εναλλακτικές τιμές που περιλαμβάνουν καθαρή οικιακή κατανάλωση, μικροεπαγγελματικές χρήσεις και αρδεύσεις ιδιωτικών κήπων, 200, 220 και $250 \text{ lt}/\text{κατ}/\text{ημ}$. Η χαμηλότερη αποτελεί κατώτερο όριο συγκράτησης της κατανάλωσης, μετά από άσκηση ανάλογης αυστηρής πολιτικής, τόσο σε τιμολογιακό όσο και επίπεδο ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης των καταναλωτών. Η μέση εκτιμήση μπορεί να θεωρηθεί ως η πιο ρεαλιστική, ενώ η ανώτερη τιμή μπορεί να θεωρηθεί ως ανώτατο όριο που θα φτάσουμε μετά από ενδεχόμενη ανατροπή του σημερινού κλίματος αντιμετώπισης της κατανάλωσης νερού.
- Για τις βιομηχανικές χρήσεις θεωρείται ότι σε κάθε περίπτωση είναι εύλογο το πάγωμά τους στα σημερινά επίπεδα των $32 * 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως.

Οι δημόσιες και δημοτικές χρήσεις κρίνεται ότι είναι άμεσα συνυφασμένες με την προοπτική βελτίωσης της ποιότητας ζωής στην πρωτεύουσα και γιαυτό εκτιμάται ότι πιθανότατα θα φτάσουν τα 50 lt/κατ/ημ.

Οι διαρροές του δικτύου διανομής αντιμετωπίζονται με δύο εναλλακτικά ποσοστά 10% και 20% επί της συνολικής κατανάλωσης. Το χαμηλότερο ποσοστό αποτελεί αισιόδοξο στόχο που θα επιτευχθεί με ανάπτυξη σύγχρονων συστημάτων διαχείρισης ενώ το ψηλότερο ευθυγραμμίζεται με διεθνείς εμπειρίες προηγμένων χωρών.

Οι απώλειες στο σύστημα των αγωγών μεταφοράς, που με τα σημερινά δεδομένα εκτιμώνται στο 14%, θεωρείται εύλογο ότι θα περιοριστούν στο μισό (7%).

Με βάση όλα τα παραπάνω προκύπτουν τα σενάρια κατανάλωσης του 2010, που φαίνονται στον πίνακα 5.2.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2
ΣΕΝΑΡΙΑ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΤΟ 2010**

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΚΑΤΩΤΕΡΟ	ΜΕΣΟ	ΑΝΩΤΕΡΟ
Πληθυσμός (κάτοικοι): Οικιακή κατανάλωση (1t/κατ/ημ) " " (* 10^6 m ³ /έτος) Βιομηχ. κατανάλωση (* 10^6 m ³ /έτος) Δημόσια και δημοτική (* 10^6 m ³ /έτος) Λοιπά	4,100,000 200 300 32 75 10	4,100,000 220 329 32 75 10	4,500,000 250 410 32 83 10
ΣΥΝΟΛΟ (* 10^6 m ³ /έτος) Απώλειες δικτύου διανομής	417 10%	446 20%	535 20%
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΤΑ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΑ (* 10^6 m ³ /έτος) Απώλειες εξωτερικού δικτύου	463 7%	557 7%	669 7%
ΑΠΟΛΗΨΗ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (* 10^6 m ³ /έτος)	500	600	720

Με την επί πλέον παραδοχή γραμμικής αύξησης της κατανάλωσης από το 1990-91, προκύπτουν τα ακόλουθα σενάρια εξέλιξης της κατανάλωσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3
ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΚΑΤΩΤΕΡΟ	ΜΕΣΟ	ΑΝΩΤΕΡΟ
Κατανάλωση έτους 1990-91 (* 10^6 m ³ /έτος)	385	385	385
Κατανάλωση έτους 2010-11 (* 10^6 m ³ /έτος)	500	600	720
ΕΤΗΣΙΑ αύξηση κατανάλωσης (* 10^6 m ³ /έτος)	5.8	10.8	16.8
ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ αύξηση επί της τιμής του 1990-91	1.5%	2.8%	4.4%

6. ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ-ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥΣ

Η μόνη επιστημονικά τεκμηριωμένη προσέγγιση στο θέμα της αξιοπιστίας του σημερινού υδροδοτικού συστήματος είναι η πιθανοτική. Η κρισιμότητα ή όχι της κατάστασης του αποδίδεται με την πιθανότητα αστοχίας του, η οποία σε καμιά περίπτωση δεν είναι μηδενική. Το σημερινό πρόβλημα εντοπίζεται στις σχετικά αυξημένες πιθανότητες αστοχίας, αν δεν ληφθούν μέτρα αντιμετώπισης της κρίσιμης κατάστασης.

Η εκτίμηση των πιθανοτήτων αστοχίας γίνεται με την κατάλληλη προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος όπως αναπτύχθηκε στην παράγραφο 4. Για το θέμα αυτό έχει συνταχθεί ολοκληρωμένο πακέτο προγραμμάτων ηλεκτρονικού υπολογιστή, με βάση το οποίο εξετάστηκαν τα διάφορα σενάρια που περιγράφονται παρακάτω. Το πακέτο περιλαμβάνει

- φιλικό πρόγραμμα επικοινωνίας με το χρήστη, για εισαγωγή δεδομένων και σύνδεση με τα άλλα προγράμματα,
- πρόγραμμα υδρολογικής προσομοίωσης των απορροών,
- πρόγραμμα λειτουργικής προσομοίωσης των ταμιευτήρων Υλίκης και Μόρνου και των αντίστοιχων υδραγωγείων,
- αρχεία στατιστικών χαρακτηριστικών υδρολογικών δεδομένων,
- αρχεία δεδομένων ταμιευτήρων.

Το πακέτο αυτό παραδίδεται στο ΥΠΕΧΩΔΕ και την ΕΥΔΑΠ, και θα μπορεί να χρησιμοποιείται για τη μελέτη άλλων σεναρίων και για τη μελλοντική αναπροσαρμογή των εκτιμήσεων με τα δεδομένα που κάθε φορά θα προκύπτουν.

Τα σενάρια που εξετάστηκαν στα πλαίσια του ερευνητικού έργου με τη βοήθεια του προγράμματος αυτού είναι τα ακόλουθα εππά.

- Τρία σενάρια (Α,Β,Γ,) λειτουργίας του συστήματος υπό συνθήκες έκτακτης ανάγκης. Στα σενάρια η κατανάλωση του 1990-91 εκτιμάται στα $370 * 10^6 \text{ m}^3$ και προβλέπεται μειωμένη απόληψη για άρδευση της Κωπαΐδας (μόνο $15 * 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως). Προβλέπεται επίσης ενίσχυση του υδροδοτικού συστήματος από άλλες πηγές (δεξαμενόπλοια, γεωτρήσεις).
- Τρία σενάρια (Δ,Ε,Ζ,) κανονικών συνθηκών λειτουργίας του συστήματος, με κανονική υδροδότηση της Κωπαΐδας με $50 * 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως και χωρίς ενίσχυση. Στα σενάρια αυτά η κατανάλωση του 1990-91 εκτιμάται στα $385 * 10^6 \text{ m}^3$ και η μελλοντική κατανάλωση με ορίζοντα το 2010-11 εκτιμάται εναλλακτικά στα 500, 600 και $720 * 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως.
- Ένα σενάριο (Η) με αυξημένη κατανάλωση του 1990-91, στα επίπεδα που θα ήταν αν δεν παίρνονταν τα πρόσφατα μέτρα περιορισμού της κατανάλωσης ($457 * 10^6 \text{ m}^3$).

Οι αναλυτικές παραδοχές των σεναρίων και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων φαίνονται στους πίνακες 6.1 και 6.2. Από τη μελέτη των πινάκων αυτών προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Τα μέτρα περιορισμού της κατανάλωσης δικαιώνονται απόλυτα, γιατί από το σενάριο H είναι σαφές ότι οι πιθανότητες αστοχίας θα ήταν απαράδεκτα υψηλές, αν δεν περιορίζονταν η κατανάλωση.
2. Τα σενάρια λειτουργίας υπό κανονικές συνθήκες δίνουν υπερβολικά υψηλές πιθανότητες αστοχίας για την περίοδο που διανύουμε (περίπου 10% ετησίως) αλλά δείχνουν ότι θα συμβεί κάποια ανάκαμψη γύρω στο 1995. Τα σενάρια E και Z δείχνουν εκ νέου αύξηση των πιθανοτήτων αστοχίας μετά το 2000, αλλά μέχρι τότε αναμένεται να έχουν ολοκληρωθεί τα οριστικά έργα ενίσχυσης της υδροδότησης.
3. Στη σημερινή περίοδο, το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά μόνο με το σενάριο έκτακτης ανάγκης A, δηλαδή με περιορισμό απόληψης της Κωπαΐδας στα $15 * 10^6 \text{ m}^3$ και ενίσχυση του δικτύου με 215.000 m^3 νερού την ημέρα. Τυχόν δυνατότητες περαιτέρω περιορισμού της κατανάλωσης θα είναι επίσης ευνοϊκές.

Η ενίσχυση της ύδρευσης μπορεί να γίνει κατ' αρχήν με νέες γεωτρήσεις, αλλά θεωρούμε ότι η λύση της μεταφοράς με δεξαμονόπλοιο είναι πιό ενδεδειγμένη, ασφαλής και γρήγορη. Τα έργα που θα απαιτηθούν για αυτήν θα μπορέσουν ίσως και στο μέλλον να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις εκτάκτων αναγκών. Άλλες λύσεις συζητήθηκαν, όπως η κατασκευή προσωρινών υδραγωγείων από Τριχωνίδα κ.λ.π. Θα ήταν αντιοικονομικές, αλλά και δεν θα αντιμετώπιζαν την σημερινή συγκυριακή κρίση, αφού θα απαιτούσαν ένα χρόνο κατασκευής μεγαλύτερο των δύο ετών, ενώ η ενίσχυση της υδροδότησης θα απαιτηθεί να ξεκινήσει τον Ιανουάριο 1991.

Δραστηριότητες ΤΕΕ

24

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1
ΣΕΝΑΡΙΑ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗΣ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ
(ΜΕΙΟΜΕΝΗ ΑΠΟΛΗΓΗ ΚΩΠΑΙΔΑΣ - ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΔΕΞΑΜΕΝΟΠΛΟΙΟ)

	ΣΕΝΑΡΙΟ Α	ΣΕΝΑΡΙΟ Β	ΣΕΝΑΡΙΟ Γ			
A. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ						
Κατανάλωση 1990-91 ($m^3 * 10^6$)	370	370	370			
Επήσια αύξηση κατανάλωσης $m^3 * 10^6$	11	11	11			
Απόληγη Κωπαΐδας ($m^3 * 10^6$)	15	15	15			
Ολικά ωφέλιμα Αποθέματα στις 1 Οκτ. 1990 ($m^3 * 10^6$)	80	80	80			
Νεκρός όγκος Μόρνου ($m^3 * 10^6$)	40	40	40			
Νεκρός όγκος Υλίκης ($m^3 * 10^6$)	10	10	10			
Ημερήσια Ενίσχυση ($m^3/\text{ημ.}$)	215.000	100.000	0			
B. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ						
Πιθανότητες αστοχίας συστήματος	Μερική %	Ολική %	Μερική %	Ολική %	Μερική %	Ολική %
Υδρ. έτος 1990-91	0.4	0.4	1.6	1.6	3.2	3.2
" " 1991-92	0.6	0.6	1.2	1.6	2.4	3.4
" " 1992-93	<0.2	0.6	0.2	1.8	0.2	3.4
" " 1993-94	<0.2	0.6	<0.2	1.8	0.2	3.4
" " 1994-95	<0.2	0.6	<0.2	1.8	0.2	3.4
" " 1995-96	<0.2	0.6	<0.2	1.8	0.2	3.6
" " 1996-97	<0.2	0.6	<0.2	1.8	<0.2	3.6
" " 1997-98	<0.2	0.6	<0.2	1.8	<0.2	3.6
" " 1998-99	<0.2	0.6	<0.2	1.8	<0.2	3.6
" " 1999-00	<0.2	0.6	<0.2	1.8	<0.2	3.6

Παρατηρήσεις

- Οι καταναλώσεις περιλαμβάνουν και τις απώλειες των υδραγωγείων μεταφοράς (αναγνγή στις θέσεις εξόδου των ταμιευτήρων).
- Η ενίσχυση ξεκινάει από τον Ιανουάριο 1991.
- Σε περίπτωση ταυτόχρονου αδειόσματος των ταμιευτήρων Μόρνου και Υλίκης δεν θα εξασφαλίζεται η ζιγκτηση της Κωπαΐδας.
- Οι υδρολογικές συνθήκες θεωρείται ότι θα επανέλθουν στα επίπεδα πριν το 1988-89, όπως αυτές διαπιστώνονται από τα ιστορικά δειγματα. (Υποτίθεται ότι η τελευταία ξηρασία αποτελεί συγκυριακό - τυχαίο φαινόμενο χωρίς μόνιμο χαρακτήρα).

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2
ΣΕΝΑΡΙΑ ΚΑΝΟΝΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗΣ
(ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΑΠΟΛΗΝΗ ΚΩΠΑΙΔΑΣ - ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗ)

	ΣΕΝΑΡΙΟ Δ	ΣΕΝΑΡΙΟ Ε	ΣΕΝΑΡΙΟ Ζ	ΣΕΝΑΡΙΟ Η
Α. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ				
Κατανάλωση 1990-91 ($m^3 * 10^6$)	385	385	385	457
Κατανάλωση 2010-11 ($m^3 * 10^6$)	500	600	720	600
Επήσια αύξηση κατανάλωσης ($m^3 * 10^6$)	5.8	10.8	16.8	7.1
Απόληψη Κυπαΐδας ($m^3 * 10^6$)	50	50	50	50
Ωφέλιμα Αποθέματα Μόρνου στις 1 Ιουλ. 1990 ($m^3 * 10^6$)	134.3	134.3	134.3	134.3
Ωφέλιμα Αποθέματα Υλίκης στις 1 Ιουλ. 1990 ($m^3 * 10^6$)	74.3	74.3	74.3	74.3
Νεκρός όγκος Μόρνου ($m^3 * 10^6$)	40	40	40	40
Νεκρός όγκος Υλίκης ($m^3 * 10^6$)	10	10	10	10
Β. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ				
Πιθανότητες αστοχίας συστήματος	Μερική %	Ολική %	Μερική %	Ολική %
Υδρ. έτος 1989-90	0	0	0	0
" " 1990-91	10.0	10.0	10.0	10.0
" " 1991-92	10.5	13.0	10.5	13.0
" " 1992-93	6.5	14.5	7.0	14.5
" " 1993-94	2.5	14.5	4.0	15.5
" " 1994-95	1.5	14.5	2.5	16.0
" " 1995-96	0	14.5	0.5	16.0
" " 1996-97	0	14.5	0.5	16.5
" " 1997-98	0	14.5	1.0	17.0
" " 1998-99	0	14.5	0.0	17.0
" " 1999-00	0	14.5	0.0	17.0
" " 2000-01	0	14.5	1.5	18.5
" " 2001-02	0	14.5	2.0	19.0
" " 2002-03	0	14.5	1.5	19.0
" " 2003-04	0	14.5	1.0	19.0
" " 2004-05	0	14.5	1.0	19.0
" " 2005-06	0	14.5	5.5	23.0
" " 2006-07	0	14.5	11.0	27.0
" " 2007-08	0	14.5	16.0	31.0
" " 2008-09	0	14.5	20.5	36.5
" " 2009-10	0.5	15.0	26.0	42.0

Παρατηρήσεις

- Οι καταναλώσεις περιλαμβάνουν και τις απώλειες των υδραγωγείων μεταφοράς (αναγνωρή στις θέσεις εξόδου των ταμιευτήρων).
- Σε περιπτώση ταυτόχρονου αδειάσματος των ταμιευτήρων Μόρνου και Υλίκης δεν θα εξασφαλίζεται η ζήτηση της Κυπαΐδας.
- Οι υδρολογικές συνθήκες θεωρείται ότι θα επανέλθουν στα επίπεδα πριν το 1988-89, όπως αυτές διαπιστώνονται από τα ιστορικά δείγματα. (Υποτίθεται ότι η τελευταία ξηρασία σποτελεί συγκυριακό - τυχαίο φαινόμενο χωρίς μόνιμο χαρακτήρα).

7. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΡΓΩΝ ΕΥΗΝΟΥ

Στα πλαίσια του ερευνητικού έργου μελετήθηκαν 70 περίπου εναλλακτικοί συνδυασμοί διαστάσεων φραγμάτων και σηράγγων εκτροπής. Οι συνδυασμοί αυτοί περιλαμβάνουν τρεις θέσεις φραγμάτων και δύο χαράξεις σηράγγων υδροληψίας (εκτροπής) του Ευήνου προς το Μόρνο. Οι παράμετροι διαστασιολόγησης που εξετάστηκαν είναι τρεις, ήτοι ο νεκρός όγκος του κάθε ταμιευτήρα, η αφέλιμη χωρητικότητά του και η παροχετευτικότητα της σήραγγας υδροληψίας. Δεν εξετάστηκε η χωρητικότητα που θα διατεθεί για ανάσχεση πλημμυρών, η οποία θα καθοριστεί αφού επιλεγεί η τελική λύση, και οριστεί ο τύπος του υπερχειλιστή (κατά την οριστική μελέτη του έργου).

Η εκτίμηση του νεκρού όγκου στηρίχτηκε στα λίγα και ανεπαρκή δεδομένα στερεοπαροχών σε τέσσερις θέσεις του Ευήνου ενώ οι εκτιμήσεις επαληθεύτηκαν και με μια εμπειρική σχέση που προέκυψε από δεδομένα πολλών υδρολογικών λεκανών του ελληνικού χώρου (Κουτσογιάννης & Ταρλά, 1987). Η τελική επήσια στερεοοπορροή για τις τρεις θέσεις φραγμάτων εκτιμήθηκε σε 993 έως 1082 τόν/έτος/km², και ο αντίστοιχος όγκος αποθήκευσης φερτών στους ταμιευτήρες για εκατονταετή περίοδο επιχωμάτωσης εκτιμήθηκε σε 11.0 έως 16.8 * 10⁶ m³. Τελικά ο νεκρός όγκος θεωρήθηκε ίσος με 17 * 10⁶ m³ και για τις τρεις θέσεις φραγμάτων. Το θέμα του νεκρού όγκου θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω στο στάδιο της οριστικής μελέτης, και μέχρι τότε είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν νέες μετρήσεις στερεοπαροχής στον Εύηνο.

Οι άλλες δύο παράμετροι σχεδιασμού, δηλαδή η αφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα και η παροχετευτικότητα της σήραγγας υδροληψίας μελετήθηκαν συνδυασμένα, με τη μέθοδο της προσομοίωσης. Οι τοπογραφικές συνθήκες της λεκάνης του Ευήνου δεν ευνοούν τη δημιουργία μεγάλων όγκων ταμιευτήρων, αντίστοιχων με τον όγκο του ταμιευτήρα Μόρνου. Ετοι οι αφέλιμες χωρητικότητες που εξετάσθηκαν ξεκινούν από 10 εκατομ. m³ και μόλις ξεπερνούν τα 250 εκατομ. m³. Τα μεγέθη αυτά είναι πολύ μικρότερα από το αντίστοιχο του Μόρνου (643 εκατομ. m³). Τα απαιτούμενα ύψη φράγματος είναι αντίθετα αρκετά μεγάλα, και ξεπερνούν σε ορισμένες περιπτώσεις το ύψος φράγματος Μόρνου (126 m). Ακόμα και στις περιπτώσεις φραγμάτων εκτροπής, με διατιθέμενη αφέλιμη χωρητικότητα 10 εκατομ. m³, τα απαιτούμενα ύψη φράγματος είναι σημαντικά (52 έως 74 m). Το μειονέκτημα των σχετικά μικρών χωρητικοτήτων των εναλλακτικών ταμιευτήρων Ευήνου, καλύπτεται με τη συνδυασμένη λειτουργία του συστήματος ταμιευτήρων Ευήνου - Μόρνου, οπότε η αθροιστική αφέλιμη χωρητικότητα γίνεται σημαντική. Για το σκοπό αυτό όλες οι προσομοιώσεις που εκτελέστηκαν προκειμένου να διαστασιολογηθούν τα έργα Ευήνου, βασίστηκαν στο σύστημα Ευήνου - Μόρνου, και όχι στον μεμονωμένο ταμιευτήρα Ευήνου.

Οι επικρατέστεροι από τους συνδυασμούς που εξετάσθηκαν περιέχονται στον πίνακα 7.1. Στους συνδυασμούς αυτούς η παροχετευτικότητα της σήραγγας καθορίστηκε σε τρόπο ώστε να μην προκαλείται μεγάλη μείωση των απολήψεων από τον Εύηνο, με αποδοχή ενός μέγιστου ποσοστού μείωσης 2%. Με το κριτήριο αυτό προέκυψαν οι παροχές σχεδιασμού των σηράγγων στο διάστημα από 6 μέχρι 22 m³/sec. Σημειώνεται ότι η παροχή σχεδιασμού σε μια θέση αυξάνει με τη μείωση των διαστάσεων του ταμιευτήρα.

Οπως φαίνεται από τον πίνακα 7.1 το σύστημα Μόρνου-Ευήνου (χωρίς την Υλίκη) μπορεί να δώσει ετήσιες απολήψεις από 441 μέχρι 541 * 10⁶ m³, ανάλογα με τη λύση που θα επιλεγεί. Η

συμβολή του Ευήνου στις απολήψεις αυτές είναι $161 \text{ έως } 261 * 10^6 \text{ m}^3$. Τα επίπεδα ανάπτυξης (ή ποσοστά ρύθμισης) που επιτυγχάνονται για το σύστημα Μόρνου - Ευήνου κυμαίνονται από 74% μέχρι 83%. Τα ποσοστά αυτά είναι χαμηλότερα από το αντίστοιχο επίπεδο του Μόρνου (88%) λόγω των μικρότερων διαστάσεων των ταμιευτήρων Ευήνου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΡΝΟΥ-ΕΥΗΝΟΥ
ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ ΣΤΟΝ ΕΥΗΝΟ

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΕΥΗΝΟΥ	ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΟΦΕΛΙΜΗ ΧΩΡΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ $(* 10^6 \text{ m}^3)$	ΚΑΤΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΥΨΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	ΠΑΡΟΧ/ΤΗΤΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ ΕΥΗΝΟΥ-ΜΟΡΝΟΥ	ΚΑΤΑ ΠΡΟ-ΣΕΓΓΙΣΗ ΜΗΚΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΛΗΨΗ $(* 10^6 \text{ m}^3)$	ΚΑΒΑΡΟ ΟΦΕΛΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΜΟΡΝΟΥ $(* 10^6 \text{ m}^3)$	ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ (ΠΟΣΟΣΤΟ ΡΥΘΜΙΣΗΣ) ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ %
ΔΕΝΔΡΟΧΟΡΙ	10	74	16	14	441	161	79.5
(εισιτρός)	50	98	10	14	445	165	80.3
235.0+319.4	100	118	8	14	449	169	81.0
= 554.4	150	133	6	14	453	173	81.7
εκατομ. m^3)	252	155	6	14	461	181	83.2
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	10	52	22	30	490	210	76.5
(εισιτρός)	50	76	16	30	497	217	77.6
321.4+319.4	100	95	12	30	503	223	78.5
= 640.8							
εκατομ. m^3)							
ΠΕΡΙΣΤΑ	10	71	20	30	505	225	74.1
(εισιτρός)	50	93	16	30	515	235	75.6
361.9+319.4	100	111	12	30	529	249	77.6
= 681.3	150	120	12	30	535	255	78.5
εκατομ. m^3)	199	135	10	30	541	261	79.4

8. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Με τη μέθοδο της προσομοίωσης εκτιμήθηκαν οι ετήσιες απολήψεις για τα κυριότερα εναλλακτικά σχήματα έργων. Εξετάστηκαν όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί ταμιευτήρων Μόρνου, Εύηνου και Υλίκης, καθώς και η συμβολή ενός ταμιευτήρα αναρρύθμισης κοντά στην Αθήνα. Επίσης εξετάστηκε η επιδραση μειωμένης παροχετευτικότητας του υδραγωγείου Μόρνου και η συμβολή ενός νέου υδραγωγείου Υλίκης.

Τα τελικά αποτελέσματα, που αφορούν την ετήσια απόληψη, για τους συνδυασμούς που εξετάστηκαν, φαίνονται στον πίνακα 8.2. Από τον πίνακα αυτόν προκύπτει ότι η μέγιστη ετήσια απόληψη από το σύστημα των τριών ταμιευτήρων, αν επιλεγεί η θέση φράγματος Περίστας στον Εύηνο, είναι $715 * 10^6 \text{ m}^3$, που με κατασκευή και του ταμιευτήρα αναρρύθμισης αυξάνει σε $750 * 10^6 \text{ m}^3$. Σε περίπτωση που η παροχετευτικότητα του υδραγωγείου Μόρνου είναι κατά 20% μικρότερη από την τιμή σχεδιασμού ($18.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ αντί $23.0 \text{ m}^3/\text{sec}$) οι παραπάνω τιμές μειώνονται σε 668 και $687 * 10^6 \text{ m}^3$ αντίστοιχα.

Μετά από προσεκτική μελέτη του πίνακα 8.2 μπορούν να διατυπωθούν και πολλά άλλα ενδιαφέροντα συμπεράσματα όπως

- Ένας ταμιευτήρας στον Εύηνο γενικά μπορεί αντικαταστήσει πλήρως την Υλίκη (εκτός από την περίπτωση φράγματος εκτροπής στο Δενδροχώρι, που έχει δυνατότητες λιγότερες από αυτές της Υλίκης), προσφέροντας μάλιστα ευνοϊκότερες συνθήκες εκμετάλλευσης χωρίς αντλήσεις.
- Η κατασκευή ενισχυτικού υδραγωγείου Υλίκης - Αθήνας οδηγεί σε αύξηση των απολήψεων από το σύστημα κατά $14 \text{ εως } 15 * 10^6 \text{ m}^3$ (μόνο), ενισχύοντας παράλληλα σημαντικά των ασφάλεια του συστήματος.
- Η ενδεχόμενα μειωμένη παροχετευτικότητα του υδραγωγείου Μόρνου μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες στην δυνατότητα απόληψης από το σύστημα (μείωση της απόληψης κατά $47 * 10^6 \text{ m}^3$ για μείωση της παροχετευτικότητας κατά 20%).
- Η κατασκευή ενός ταμιευτήρα αναρρύθμισης αναιρεί σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα της ενδεχόμενα μειωμένης παροχετευτικότητας του υδραγωγείου Μόρνου, παρέχοντας και το πλεονέκτημα της μεγαλύτερης ασφάλειας του συστήματος. Ακόμη σε περίπτωση που η παροχετευτικότητα του υδραγωγείου Μόρνου δεν είναι μειωμένη, η επιδραση του ταμιευτήρα αναρρύθμισης είναι πάλι ευεργετική, αφού οδηγεί σε μεγιστοποίηση της εκμετάλλευσης της Υλίκης.

Η επιλογή της τελικής λύσης για το μελλοντικό υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας προϋποθέτει και την ολοκλήρωση των τεχνικοοικονομικών μελετών και γεωτεχνικών εργασιών. Επικρατέστερη λύση, αν δεν υπάρχουν απαγορευτικοί γεωτεχνικοί παράγοντες, φαίνεται να είναι αυτή του φράγματος Περίστας, με αυξημένη ωφέλιμη χωρητικότητα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.1
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ 99%

Α/Α	ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟ ΣΧΗΜΑ	ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ					ΑΠΟΛΗΨΕΙΣ		
		ΩΦΕΛΙΜΗ ΧΟΡΗΓΗ/ΤΑ ΤΑΜ/ΘΡΑ ΕΥΗΝΟΥ (* 10 ⁶ m ³)	ΠΑΡΟΧ/ΤΗΤΕΣ ΥΔΡΑΓΟΓΕΙΩΝ (m ³ /sec)				ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΛΗΓΗ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (* 10 ⁶ m ³)	ΚΑΒΑΡΟ ΟΦΕΛΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΤΑΜ/ΘΡΑ ΜΟΡΝΟΥ (* 10 ⁶ m ³)	ΚΑΒΑΡΟ ΟΦΕΛΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΗΜΕΡΙΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΡΝΟΥ-ΥΛΙΚΗΣ (* 10 ⁶ m ³)
		ΜΟΡΝΟΥ-ΑΘΗΝΑΣ	ΕΥΗΝΟΥ-ΜΟΡΝΟΥ	ΥΦΙΣΤ. ΥΛΙΚΗΣ	ΝΕΟ ΥΛΙΚΗΣ				
1	Μόρνος (μεμονωμένη εκμετάλλευση)	-	18.5 ή 23.0	-	-	280	0	-	-
2	Υλίκη (" ")	-	-	-	7.5 ή 3.5 ή 7.5	151	-	-	-
3.1	Μόρνος + Υλίκη	-	18.5 ή 23.0	-	7.5 ή 0	461	181	0	-
3.2	" "	-	"	-	7.5 ή 3.5	475	195	14	-
3.3	" "	-	"	-	7.5 ή 7.5	476	196	15	-
4.1	Μόρνος + Δενδροχώρι	10	23.0	16.0	-	441	161	-	-
4.2	" "	252	18.5 ή 23.0	6.0	-	461	181	0	-
5.1	Μόρνος + Άγ. Δημήτριος	10	23.0	22.0	-	490	210	29	-
5.2	" "	100	23.0	12.0	-	503	223	42	-
6.1	Μόρνος + Περιστα	10	23.0	20.0	-	505	225	44	-
6.2	" "	199	23.0	10.0	-	541	261	80	-
6.3	" "	199	18.5	10.0	-	475	195	14	-
7	Μόρνος + Δενδροχώρι + Αναρρύθμιση	252	18.5 ή 23.0	6.0	-	469	189	8	-
8.1	Μόρνος + Περιστα + Αναρρύθμιση	199	23.0	10.0	-	557	277	96	-
8.2	" "	199	18.5	10.0	-	555	275	94	-
9	Μόρνος + Δενδροχώρι + Υλίκη	252	18.5 ή 23.0	6.0	7.5	-	631	(351)	170
10.1	Μόρνος + Περιστα + Υλίκη	199	23.0	10.0	7.5	-	715	(435)	254
10.2	" "	199	18.5	10.0	7.5	-	668	(388)	207
11.1	Μόρνος+Δενδροχώρι+Υλίκη+Αναρρύθμιση	252	23.0	6.0	7.5	7.5	667	(387)	206
11.2	" "	252	18.5	6.0	7.5	7.5	658	(378)	197
12	Μόρνος +Περιστα +Υλίκη +Αναρρύθμιση	199	23.0	10.0	7.5	7.5	750	(470)	289
12.2	" "	199	18.5	10.0	7.5	7.5	687	(407)	226

Γενικές παραδοχές

1. Ελάχιστη στάθμη Μόρνου +382.0 m (Απόλυτη με φυσική ροή)
2. Ελάχιστη στάθμη αντλησης Υλίκης +43.0 m
3. Νεκρός όγκος ταμιευτήρα Ευήνου 17.0 * 10⁶ m³
4. Ωφέλιμη χωρητικότητα ταμιευτήρα αναρρύθμισης 100 * 10⁶ m³
5. Υδρολογικές συνθήκες όπως στα ιστορικά δείγματα, χωρίς υπόθεση κλιματικής αλλαγής

9. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

A. ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

- A1. Το σημερινό υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, με συνδυασμένη εκμετάλλευση των ταμιευτήρων Μόρνου και Υλίκης μπορεί να δίνει $461 * 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως, με αξιοπιστία 99%, υπό την προϋπόθεση ότι οι μέσες κλιματικές συνθήκες θα παραμείνουν στα επίπεδα που διαπιστώνονται από τα προ του 1988-89 υδρολογικά δεδομένα.
- A2. Κατά το τρέχον υδρολογικό έτος το σύστημα έχει φτάσει σε ιδιαίτερα κρίσιμη κατάσταση, εξαιτίας της μη ορθολογικής εκμετάλλευσης του συστήματος Μόρνου - Υλίκης μέχρι και το 1987 (συνεχής υπερεκμετάλλευση Μόρνου) και, βεβαίως, του εφετινού φαινομένου ξηρασίας που είναι εξαιρετικά ασυνήθιστο (πιθανότητα της τάξης του 1:1000 ή και μικρότερη).
- A3. Εφόσον τα φαινόμενα ξηρασίας δεν συνεχιστούν και παράλληλα ακολουθηθεί ορθολογική εκμετάλλευση του συστήματος Μόρνου - Υλίκης και διατηρηθούν τα χαμηλά επίπεδα κατανάλωσης που επιτεύχτηκαν με τα πρόσφατα μέτρα της ΕΥΔΑΠ, αναμένεται ότι το σύστημα θα ανακάμψει σε 2-3 χρόνια. Διαφορετικά το πρόβλημα θα είναι μόνιμο μέχρι την κατασκευή των νέων ενισχυτικών έργων του συστήματος τα οποία απαιτούν αρκετό χρόνο.
- A4. Μέχρι την ανάκαμψη του συστήματος θα πρέπει να εξετάζεται κάθε προσωρινό ή μόνιμο ενισχυτικό έργο, καθώς και κάθε δυνατότητα μείωσης της κατανάλωσης. Με τα σημερινά δεδομένα, μια ποσότητα ενίσχυσης $200.000 - 250.000 \text{ m}^3$ ημερησίως αναμένεται να είναι επαρκής.

B. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

- B1. Η κατασκευή των έργων του Ευήνου θα δώσει μια αποφασιστική συμβολή στην υδροδότηση της Αθήνας, αυξάνοντας τη δυνατότητα του υδροδοτικού συστήματος κατά $161 \text{ έως } 261 * 10^6 \text{ m}^3$ ανάλογα με την τελική λύση που θα επιλεγεί. Η συμβολή αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι θα πραγματοποιείται με φυσική ροή, χωρίς αντλήσεις.
- B2. Θεωρούμε ότι από τις τρεις πιθανές θέσεις φραγμάτων του Ευήνου θα πρέπει να επιλεγεί η πιο κατάντη θέση της Περίστας, υπό τον όρο ότι δε θα υπάρξουν απαγορευτικοί γεωτεχνικοί παράγοντες. Ο ταμιευτήρας θα πρέπει να έχει αυξημένη ωφέλιμη χωρητικότητα, ώστε να γίνει η μέγιστη δυνατή αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού στη θέση αυτή.
- B3. Με την παραπάνω λύση το υδροδοτικό σύστημα Μόρνου-Ευήνου-Υλίκης θα μπορεί να δίνει μια ποσότητα $715 * 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως, που ακόμα και με το δυσμενέστερο σενάριο αύξησης της κατανάλωσης, καλύπτει τη ζήτηση μέχρι το 2010. Η ποσότητα αυτή μπορεί να αυξηθεί σε $750 * 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως με κατασκευή ταμιευτήρα αναρρύθμισης, χωρητικότητας $100 * 10^6 \text{ m}^3$, κοντά στην Αθήνα.

- B4.** Εφόσον η εξέλιξη της κατανάλωσης γίνει με βραδύτερους ρυθμούς ή αναστραφεί η αυξητική πορεία της, τότε, μετά την ένταξη των έργων Ευήνου, είναι σκόπιμο να περιοριστεί η εκμετάλλευση της Υλίκης, που είναι η πλέον δαπανηρή, λόγω των αντλήσεων.
- B5.** Σε κάθε περίπτωση η Υλίκη θα πρέπει να παραμείνει ενταγμένη στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, γιατί προσφέρει εναλλακτικό δρόμο προσαγωγής νερού, σε περίπτωση βλάβης του υδραγωγείου Μόρνου. Μάλιστα, λόγοι ασφάλειας επιβάλλουν την ενίσχυση του υδραγωγείου Υλίκης, με την κατασκευή του δεύτερου υδραγωγείου από την Υλίκη προς την Αθήνα, περίου ίσης παροχετευτικότητας με το σημερινό.
- B6.** Το ενγείρομα της στεγανοποίησης της Υλίκης, με σκοπό τη μείωση των υπόγειων διαφυγών, θεωρούμε ότι δε θα πρέπει να συγκαταλέγεται στα άμεσης προτεραιότητας έργα, πολύ περισσότερο που είναι αμφισβητίσιμης αποτελεσματικότητας. Η μείωση των υπόγειων διαφυγών επιτυγχάνεται απλούστερα με εντατική εκμετάλλευση της Υλίκης σε τρόπο ώστε η στάθμη νερού να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα.
- B7.** Είναι σκόπιμο να μελετηθεί περαιτέρω η δυνατότητα κατασκευής ενός ταμιευτήρα αναρρύθμισης, όσο γίνεται πιο κοντά στην Αθήνα. Τα πλεονεκτήματα ενός τέτοιου έργου είναι πολλαπλά, όπως
- η μεγιστοποίηση των συνολικών απολήψεων από το σύστημα των ταμιευτήρων,
 - η ελαχιστοποίηση των υπόγειων διαφυγών της Υλίκης (π.χ. για το σχήμα Μόρνου-Υλίκης-Περίστας οι μέσες ετήσιες διαφυγές από $105 * 10^6 \text{ m}^3$ μειώνονται σε $32 * 10^6 \text{ m}^3$),
 - η αναίρεση των προβλημάτων που θα δημιουργηθούν από ενδεχομένως μειωμένη παροχετευτικότητα του υδραγωγείου Μόρνου-Αθήνας, και τέλος
 - η μεγαλύτερη ασφάλεια του συστήματος, για κάλυψη περιστατικών βλαβών.
- B8.** Το θέμα της παροχετευτικότητας και των διαφυγών του υδραγωγείου Μόρνου-Αθήνας έχει ακόμη αρκετά ερωτηματικά, που εντάσσονται σε δύο σκέλη, το υδραυλικό και το στατικό. Το υδραυλικό σκέλος, μετά από σχετική ανάθεση ανεξάρτητου ερευνητικού προγράμματος από την ΕΥΔΑΠ, θα μελετηθεί στο άμεσο μέλλον από διευρυμένη ερευνητική ομάδα του Τομέα Υδατικών Πόρων - Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων του ΕΜΠ. Επίσης θα πρέπει να ξεκινήσουν εκτεταμένες έρευνες για τη διαπίστωση και τον έλεγχο των διαρροών του εσωτερικού δικτύου διανομής, με παράλληλη ανάπτυξη σύγχρονων συστημάτων διαχείρισης του δικτύου.
- B9.** Η τελική επιλογή της λύσης για το μελλοντικό υδροδοτικό σχήμα της Αθήνας, προϋποθέτει και την ταχεία ολοκλήρωση των τεχνικοοικονομικών μελετών και γεωτεχνικών ερευνών.

B10. Σκόπιμη θεωρείται και η παράλληλη εκπόνηση ερευνών σχετικά με

- τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των έργων του Ευήνου,
- τη γενικότερη πολιτική ανάπτυξης και διαχείρισης υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας, και τέλος
- τη μελέτη ευαισθησίας του υδροδοτικού συστήματος σε ενδεχόμενες κλιματικές αλλαγές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Askew A.J. (1974a). "Optimum reservoir operating policies and the imposition of a reliability constraint", Water Resour. Res. 10(1), 51-56.
- Becker L. and W.W-G. Yeh (1974). "Optimization of real-time operation of multiplexer reservoir systems", Water Resour. Res. 10(6), 1107-1112.
- Biswas A.K. (editor) (1976). "Systems Approach to Water Management" Mc. Graw Hill.
- Box G.E.P. and Jenkins G.M. (1970), "Time Series Analysis, Forecasting and Control", Holden Day, San Francisco, Fiering M.B. (1967) "Streamflow Synthesis", McMillan, London.
- Brune G.B. (1953), "Collection of Basin Data on Sedimentation" USDA, SCS, Milwaukee Wisc.
- Churchill M.A. discussion of "Analysis and Use of Reservoir Sedimentation Data" by L.C. Gottschalk, Proceedings of the Federal Interagency Conference Denver, Col. pp 139-140 (Published by USBR, Denver, Colorado).
- Dagli C.H. and J.F. Miles (1980). "Determining operating policies for a water resource system", J. Hydrol. 47(34) 297-306.
- Fiering M.B. (1967). "Streamflow Synthesis", Mc Milan London.
- Gomide, F.L.S. (1978), "Markovian inputs and the Hurst phenomenon", J. HYdrol. 37, 23-45.
- Honck M.H. and J.L. Cohon (1978). "Sequential Explicitly Stochastic Linear Programming Models. A Proposed Method for Design and Management of multi-purpose reservoir system", Water Resour. Res. 14(2), 161-168.
- Hoshi, K. and Burges (1979), "Disaggregation of Streamflow Volumes", Journal of the Hydraulics Division, Proceedings ASCE, vol. 105, no. HY1, pp. 27-41.
- Hurst H.E. (1951), "Long term storage capacity of reservoirs", Trans ASCE, 116, paper 2447, 707-80.
- Hurst H.E., Black R.P. and Simaika Y.M. (1965). "Long-term Storage. An Experimental Study". Constable, London.
- Kendall, M.G. and Stuart, A. (1963), "The advanced theory of Statistics", vol. 1, Distribution theory, 2nd edition, C. Griffin & Co, London.

- Kirby W. (1972), "Computer-Oriented Wilson-Hfecty Transformation that preserves the first three Moments nad the lower bound of the Pearson type 3 distribution", Water Rerour. Res. 8 (5), pp 1251-54.
- Kottekoda N.T. (1980), "Stochastic Water Resources Technology", Mc Millan, London.
- Κουτσογιάννης, Δ. (1988), Μοντέλο επιμερισμού σημειακής βροχόπτωσης, Διδακτορική διατριβή, Τόμος Β, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Κουτσογιάννης Δ. - K. Ταρλά (1987). "Εκτιμήσεις Στερεοαπορροής στην Ελλάδα", Τεχνικά Χρονικά, Α' Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ, Τόμος 7, Τεύχος 3.
- Koutsoyiannis, D. and Xanthopoulos, Th. (1990), "A dynamic model for short-scale rainfall disaggregation", Hydrol. Sci. J., Vol. 43 (6).
- Loucks D.P. (1970). "Some Comments on Linear Decision Rules and Chance Constraints", Water Resour. Res. 6(2), 668-671.
- Mandelbrot B.B. (1971), "A fast fractional a gaussian noise generator", Water Resour. Res. 7, 543-53.
- Mandelbrot B.B. and Wallis J.R. (1968), "Noah, Joseph and operational hydrology", Water Resour. Res. 4, 909-20.
(1969a), "Computer experiments with fractional gaussian noises, parts 1, 2 and 3, Water Resour. Res. 5, 228-67.
- (1969b), "Some long-run properties at geophysical records", Water Resour. Res. 5, 321-4a.
- Matalas, N.C. and Wallis (1976), J.R., "Generation of synthetic flow sequences, in Systems approach to water management", A.K. Biswas editor, McGraw Hill.
- Mejia, J. M. and Rousselle (1976), "Disaggregation Models in Hydrology Revisited", Water Resources Research, vol. 12, no. 2, pp. 185-186.
- Mimikou M. (1982), "An investigation of suspended sediment curves in Western and Northern Greece", Hydrol. Sci. Jour. 27, 3, 369-383.
- Mimikou M. and I. Nalbantis (1987), "Influence of reservoir inflows persistence on Storage capacity", International Journal of Modeling at Simulation, IASTED, Vol. 7, No 29.
- Μπώκου Δ. (1990), "Εναλλακτικά μοντέλα εισροής και αξιοποίηση ταμιευτήρα", Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.

- Ναλμπάντης Ι. (1988), "Η εμμονή και η Επίδρασή της στο σχεδιασμό ταμιευτήρα", Τεχνικά Χρονικά - Επιστημονική έκδοση ΤΕΕ (Α - 1988), τομ. 8, τεύχος 2.
- Ξανθόπουλος Θεμ. (1987), "Εισαγωγή στην Τεχνική Υδρολογία", ΕΜΠ, Αθήνα.
- Pegram, G.G.S. (1980). "On Reservoir Reliability". Journal of Hydrology, 47, 269-296.
- Revelle C., E. Joeres and W. Kirby (1969). "The Linear Decision Rule in Reservoir Management and Design. 2. Performance Optimization". Water Resour. Res. 6(4), 1033-1044.
- Revelle C. and J. Gundelach (1975). "Linear Decision Rule in Reservoir Management and Design. 4. A Rule that Minimizes output Variance", Water Resour. Res. 11(2), 197-203.
- Rippl W. (1883). "The Capacity of Storage reservoirs for Water Supply", Proc. Inst. Civ. Eng. , 71, 270-8.
- Schultz G.A. (1976). "Determination of Deficiencies of the Ripple-diagram", XII congres for Large Dams, Q46, R.1, Mexico.
- Simonovic S.P. and M.A. Marino (1980). "Reliability Programming in Reservoir Management. 1. Single Multipurpose Reservoir", Water Resour. Res. 16(5), 844-848.
- Stedinger, J. R. and Vogel (1984), "Disaggregation Procedures for Generating Serially Correlated Flow Vectors", Water Resources Research, vol. 20, no. 1, pp. 47-56.
- Tao, P. C. and Delleur (1976), "Multistation, Multiyear Synthesis of Hydrologic Time Series by Disaggregation", Water Resources Research, vol. 12, no. 6, pp. 1303-1312.
- Thomas, H.A. and Fiering, M.B. (1962), "Mathematical synthesis of streamflow sequences for the analysis of river basins by simulation", Water Resource Systems (eds A. Maass et al.), Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, chapter 12, pp 454-93.
- Todini, E. (1980), "The preservation of skewness in linear disaggregation schemes", J. Hydrol, 47, 199-214.
- Turgeon A. (1981b). "A Decomposition method for the Long-term Scheduling of Reservoir in Series", Water Resour. Res. 17(6), 1565-1570.
- Valencia, D. and Schaake (1972), J.C., "A disaggregation model for time series analysis and synthesis", Report no. 149, Ralph M. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.

- Valencia D. and Schaake (1973), "Disaggregation Processes in Stochastic Hydrology", Water Resources Research, vol. 9, no. 3, pp. 211-219.
- Vanoni V.A. editor (1977), "Sedimentation Engineering" ASCE, New York.
- W.M.O. (1983), "Guide to Hydrological Practices", Volume II, Chapter 7 - Applications to Water Management.