

---

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 SECR. 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 15:

**ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΕΥΗΝΟΥ**

VOLUME 15:

**HYDROLOGICAL DESIGN OF THE EVINOS RESERVOIRS**

---

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: ΘΕΜ. ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΣ

SCIENTIFIC DIRECTOR: THEM. XANTHOPOULOS

ΣΥΝΤΑΞΗ: Ι. ΝΑΛΜΠΑΝΤΗΣ

AUTHOR: I. NALBANTIS

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΝΙΟΣ 1990 - ATHENS JUNE 1990

---

## Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

	<u>Σελ.</u>	
1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	Ιστορικό	1
1.2	Αντικείμενο του τεύχους	1
1.3	Διάρθρωση του τεύχους	2
2.	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	4
2.1	Τοποθέτηση του προβλήματος	4
2.2	Κύρια χαρακτηριστικά στοχαστικής δομής εισροής	7
2.3	Γενικές αρχές μοντελοποίησης υδρολογικών μεταβλητών συστήματος ταμιευτήρων ύδρευσης Αθηνών	10
2.3.1	Βασικές παρατηρήσεις και παραδοχές	10
2.3.2	Γενικό σχήμα προσομοίωσης της απορροής-βροχής	13
3.	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	16
3.1	Εισαγωγή	16
3.2	Περιγραφή του μοντέλου - Εξισώσεις ισοζυγίου για κάθε ταμιευτήρα	17
3.2.1	Ταμιευτήρας Ευήνου	17
3.2.2	Ταμιευτήρας Μόρνου	19
3.2.3	Λίμνη Υλίκη	21
3.2.4	Ταμιευτήρας αναρρύθμισης	24
3.3	Κανόνες λειτουργίας	25
3.3.1	Σημερινό υδροδοτικό σύστημα	25
3.3.1.α	Μεμονωμένος ταμιευτήρας Μόρνου	25
3.3.1.β	Μεμονωμένη εκμετάλλευση λίμνης Υλίκης	25
3.3.1.γ	Συνδυασμένοι ταμιευτήρες Μόρνου - Υλίκης	26
3.3.2	Μελλοντικό υδροδοτικό σύστημα	28
3.3.2.α	Συνδυασμένοι ταμιευτήρες Μόρνου - Ευήνου	28
3.3.2.β	Συνδυασμένοι ταμιευτήρες Μόρνου - Ευήνου - ταμιευτήρα αναρρύθμισης	30
3.3.2.γ	Συνδυασμένοι ταμιευτήρες Μόρνου - Ευήνου - Υλίκης	30
3.3.2.δ	Συνδυασμένοι ταμιευτήρες Μόρνου - Ευήνου - Υλίκης - ταμιευτήρα αναρρύθμισης	32

4.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΝΕΚΡΟΥ ΟΓΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΕΥΗΝΟΥ	35
4.1	Εκτιμήσεις στερεοαπορροής από παλιότερες μελέτες	35
4.2	Μετρήσεις στερεοπαροχής αιωρούμενων φερτών	36
4.3	Υπολογισμός της καμπύλης μεταφοράς φερτών	37
4.4	Υπολογισμός μέσης ετήσιας στερεοαπορροής σε αιώρηση από μετρήσεις	38
4.5	Υπολογισμός μέσης ετήσιας στερεοαπορροής σε αιώρηση με βάση εμπειρική σχέση για ελληνικά ποτάμια	39
4.6	Ολική στερεοαπορροή - όγκος αποτιθέμενων φερτών στις θέσεις φραγμάτων	40
5.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΕΥΗΝΟΥ	43
5.1	Επίπεδο αξιοπιστίας	43
5.2	Χαρακτηριστικές στάθμες ταμιευτήρων	46
5.3	Παροχετευτικότητες αγωγών	48
5.4	Εισροές	49
5.5	Κατανάλωση νερού	50
5.6	Υδραυλικές απώλειες στη σήραγγα Ευήνου - Μόρνου	51
5.7	Κανόνες λειτουργίας	52
6.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	53
6.1	Διαστασιολόγηση ταμιευτήρα Δενδροχωρίου	53
6.2	Διαστασιολόγηση ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου	54
6.3	Διαστασιολόγηση ταμιευτήρα Περίστας	56
6.4	Διερεύνηση εναλλακτικών κανόνων λειτουργίας	57
6.5	Επίδραση της παροχετευτικότητας του υδαταγωγού Μόρνου	58
6.6	Σύγκριση εναλλακτικών λύσεων - Συμπεράσματα	59
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	75
	ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑ Α - ΣΧΗΜΑΤΑ	
Σχ. 1	Μοντέλο υδροδοτικού συστήματος Αθήνας (χωρίς ταμιευτήρα αναρρύθμισης)	A-1
Σχ. 2	Μοντέλο υδροδοτικού συστήματος Αθήνας (με ταμιευτήρα αναρρύθμισης)	A-1
Σχ. 3	Καμπύλη $Q-Q_s$ με δύο παραμέτρους	A-2
Σχ. 4	Τελική καμπύλη $Q-Q_s$ με 3 παραμέτρους	A-2
Σχ. 5	Σύγκριση τελικής καμπύλης $Q-Q_s$ και δεδομένων	

	γέφυρας Μπανιά	A-3
Σχ. 6	Σύγκριση τελικής καμπύλης Q-Q <sub>s</sub> και δεδομένων Πόρου Ρηγανίου	A-3
Σχ. 7	Σύγκριση τελικής καμπύλης Q-Q <sub>s</sub> και δεδομένων Γέφυρας Αχλαδοκάστρου	A-4
Σχ. 8	Σύγκριση τελικής καμπύλης Q-Q <sub>s</sub> και δεδομένων Γέφυρας Νεοχωρίου	A-4
Σχ. 9	Καμπύλες στάθμης-όγκου και στάθμης-επιφάνειας ταμιευτήρα Δενδροχωρίου	A-5
Σχ. 10	Καμπύλες στάθμης-όγκου και στάθμης-επιφάνειας ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου	A-6
Σχ. 11	Καμπύλες στάθμης-όγκου και στάθμης-επιφάνειας ταμιευτήρα Περίστας	A-7

#### ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑ Β - ΠΙΝΑΚΕΣ

Πιν.Β-1	Δεδομένα στερεοπαροχής σταθμού γέφυρας Μπανιά	B-1
Πιν.Β-2	" " " Πόρου Ρηγανίου	B-3
Πιν.Β-3	" " " Γέφυρας Αχλαδοκάστρου	B-5
Πιν.Β-4	" " " " Νεοχωρίου	B-6

## **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **1.1. Ιστορικό**

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων με την από 25-2-1988 απόφασή του, ανάθεσε στον Τομέα Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων του Ε.Μ.Π., το ερευνητικό έργο με τίτλο "Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης της μείζονος περιοχής Αθηνών". Επιστημονικός υπεύθυνος του έργου είναι ο καθηγητής Θεμ. Ξανθόπουλος.

Το ερευνητικό έργο περιλαμβάνει δύο μέρη. Το Α' Μέρος αφορά κυρίως στη συγκέντρωση και αξιολόγηση παλιότερων μελετών για τις λεκάνες Μόρνου και Ευήνου, και στη συλλογή, συστηματοποίηση, αρχειοθέτηση σε Η/Υ και αξιολόγηση των υδρομετεωρολογικών δεδομένων των λεκανών αυτών. Το μέρος αυτό παραδόθηκε στις αρχές του 1989.

Το Β' Μέρος είχε αντικείμενο την τελική εκτίμηση του υδατικού δυναμικού των δύο λεκανών και των εναλλακτικών δυνατοτήτων αξιοποίησής τους για την ύδρευση της Αθήνας. Μετά από πρόταση της ερευνητικής ομάδας, το αντικείμενο αυτό διευρύνθηκε με την προσθήκη της διερεύνησης του υδατικού δυναμικού της λίμνης Υλίκης. Η ανάθεση του διευρυμένου αντικειμένου του Β' Μέρους έγινε με την από 31-5-1989 απόφαση του Υπουργού ΠΕΧΩΔΕ.

### **1.2. Αντικείμενο του τεύχους**

Αντικείμενο του τεύχους αυτού είναι η τελική εκτίμηση των δυνατοτήτων του συστήματος ύδρευσης της Αθήνας με την κατασκευή ενός από τους εναλλακτικούς ταμιευτήρες στη λεκάνη του Ευήνου σε συνδυασμό πάντα με τον υπάρχοντα ταμιευτήρα Μόρνου. Η εκτίμηση αυτή αποσκοπεί στη διαστασιολόγηση των έργων στον Ευήνο και εξετάζεται σε διάφορους εναλλακτικούς συνδυασμούς της χωρητικότητας του ταμιευτήρα που θα κατασκευαστεί και της παροχетеυτικότητας της σήραγγας μεταφοράς του νερού από τον Ευήνο στον ταμιευτήρα Μόρνου. Πιο συγκεκριμένα στο τεύχος αυτό καλύπτεται το ακόλουθο συμβατικό αντικείμενο, όπως αυτό

περιγράφεται στο Παράρτημα της απόφασης ανάθεσης του ερευνητικού έργου:

2.1.1. Στοχαστική προσομοίωση λειτουργίας των διαφόρων εναλλακτικών λύσεων συνδυασμένων ταμιευτήρων - Τελικά συμπεράσματα για τις δυνατότητες κάθε εναλλακτικής λύσης.

### 1.3. Διάρθρωση του τεύχους

Το τεύχος περιλαμβάνει 6 κεφάλαια, το πρώτο από τα οποία είναι η παρούσα εισαγωγή.

Στο κεφάλαιο 2 τοποθετείται το γενικό πρόβλημα του υδρολογικού σχεδιασμού ταμιευτήρων με έμφαση στη γενική μέθοδο της προσομοίωσης η οποία και εφαρμόζεται εδώ. Επίσης θίγεται συνοπτικά το πρόβλημα της μοντελοποίησης των υδρολογικών μεταβλητών. Εκτενής παρουσίαση του σχήματος μοντελοποίησης των μεταβλητών αυτών γίνεται στο τεύχος 13 και δεν κρίθηκε σκόπιμο να επαναληφθεί εδώ.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται το μοντέλο λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας. Για τις ανάγκες του τεύχους ενδιαφέρει κυρίως το μελλοντικό υδροδοτικό σχήμα της Αθήνας με συνδυασμένη εκμετάλλευση ενός ταμιευτήρα στον Εύηνο και του ταμιευτήρα Μόρνου. Κρίθηκε όμως σκόπιμο, για λόγους πληρότητας της μελέτης, να παρουσιαστεί το πλήρες μοντέλο λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας που περιλαμβάνει τους υπάρχοντες ταμιευτήρες Μόρνου και Υλίκης, έναν από τους εναλλακτικούς ταμιευτήρες στον Εύηνο καθώς και ένα ταμιευτήρα αναρρύθμισης κοντά στην Αθήνα (πιθανόν στη λεκάνη του Ασωπού).

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις του νεκρού όγκου για τον κάθε ένα από τους εναλλακτικούς ταμιευτήρες Ευήνου, όπως αυτές έγιναν στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού έργου με βάση τα πρωτογενή δεδομένα στερεοπαροχής.

Στο κεφάλαιο 5 εξετάζονται οι παραδοχές του υδρολογικού σχεδιασμού των εναλλακτικών ταμιευτήρων Ευήνου, οι οποίες

αφορούν τόσο στις εισόδους των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν όσο και στα κριτήρια επιλογής των τελικών μεγεθών σχεδιασμού των ταμιευτήρων.

Τέλος στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης λειτουργίας των συνδυασμένων ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου καθώς και οι τελικές εκτιμήσεις για τα μεγέθη σχεδιασμού των εναλλακτικών έργων Ευήνου.

Στο τεύχος επίσης προσαρτώνται πίνακες και διαγράμματα που αφορούν κυρίως στα αποτελέσματα προσομοίωσης του υδροδοτικού συστήματος, σε βιβλιογραφικές αναφορές καθώς και στα δεδομένα και αποτελέσματα της μελέτης πρόσχωσης των ταμιευτήρων Ευήνου.

## 2. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

### 2.1. Τοποθέτηση του προβλήματος

Το γενικό πρόβλημα του σχεδιασμού μεμονωμένου ταμιευτήρα ή συστήματος ταμιευτήρων είναι εξαιρετικά πολύπλοκο λόγω του μεγάλου αριθμού παραμέτρων που υπεισέρχονται σ' αυτό. Οι παράμετροι αυτές σχετίζονται με την υδρολογία, τη γεωλογία της περιοχής, την τεχνολογία (κατασκευή φράγματος), ή ακόμη την οικονομία (κόστος κατασκευής, χρηματοδότηση). Αυτός είναι ο λόγος που το πρόβλημα του σχεδιασμού υποδιαιρείται σε πολλά επί μέρους προβλήματα όπου εξετάζεται η επιρροή μιας μόνο κατηγορίας παραμέτρων. Ένα από τα ξεχωριστά αυτά μέρη του προβλήματος είναι και ο υδρολογικός σχεδιασμός.

Για τη μαθηματική διατύπωση του προβλήματος του υδρολογικού σχεδιασμού συστήματος ταμιευτήρων είναι απαραίτητο να καθοριστούν οι παρακάτω ομάδες μεταβλητών:

#### (α) Υδρολογικές μεταβλητές<sup>1</sup>

- (α1) εισροή,  $I_1$  (inflow)
- (α2) κατακρημνίσματα,  $P_1$  (precipitation)
- (α3) εξάτμιση,  $E_1$  (evaporation)
- (α4) υπόγεια διαφυγή,  $L_1$  (leakage)
- (α5) καθαρή εισροή,  $N_1 (= I_1 + P_1 - E_1 - L_1)$  (net inflow)

#### (β) Ζήτηση ή επιθυμητή απόληψη $D_j$ (demand, desired draft)<sup>2</sup>

1. Γενικά, ο δείκτης  $i$  χαρακτηρίζει ένα συγκεκριμένο ταμιευτήρα ( $i=1, \dots, k$ ), ενώ ο δείκτης  $j$  αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη θέση κατανάλωσης νερού.

2. Σε μεμονωμένους ταμιευτήρες συχνά η ολική ζήτηση  $D_i$  εκφράζεται ως ποσοστό της μέσης ετήσιας καθαρής εισροής  $\mu_i$ . Το μέγεθος αυτό περιγράφεται με τους όρους επίπεδο ανάπτυξης (level of development) ή βαθμός ρύθμισης (degree of regulation) και είναι προφανώς μικρότερο από 100%.



(γ) Χαρακτηριστικά συστήματος

- (γ1) χωρητικότητα ταμιευτήρα,  $K_1$  (storage capacity)  
 (γ2) παροχευευστικότητα κάθε αγωγού,  $C_1$  (discharge capacity)

(δ) Λειτουργικές μεταβλητές

- (δ1) αποθήκευση (ή απόθεμα),  $S_1$  (storage)  
 (δ2) στάθμη,  $Z_1$  (water level)  
 (δ3) επιφάνεια ταμιευτήρα,  $A_1$  (reservoir area)  
 (δ4) απόληψη,  $R_1$  (draft, release)  
 (δ5) έλλειμμα,  $DF_1$  (deficit), που είναι η διαφορά της ζήτησης μείον την απόληψη  
 (δ6) υπερχείλιση,  $SP_1$  (spill), που πραγματοποιείται μόνον όταν ο ταμιευτήρας είναι πλήρης και ταυτόχρονα η εισροή είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση.

(ε) Μεταβλητές αξιοπιστίας συστήματος

- (ε1) αξιοπιστία  $a$  (reliability), η οποία εκφράζεται με έναν από τους ακόλουθους τρόπους

$$a_1 = n' / n$$

$$a_2 = t' / t$$

$$a_3 = R / D$$

όπου  $n'$ : αριθμός των ετών στα οποία ικανοποιείται η ζήτηση

$n$ : συνολικός αριθμός ετών

$t'$ : χρονική περίοδος στην οποία ικανοποιείται η ζήτηση

$t$ : συνολική χρονική περίοδος

$R$ : μέση απόληψη

$D$ : ζήτηση

Προφανώς ισχύει  $a_1 \leq a_2 \leq a_3$  δεδομένου ότι η μη ικανοποίηση της ζήτησης σε ένα έτος, δε σημαίνει ότι εκτείνεται σε όλη τη διάρκεια του έτους, και ακόμα κατά την περίοδο που δεν

3. Η χωρητικότητα εκφράζεται συχνά ως ποσοστό της μέσης εισροής  $\mu_1$  ή της τυπικής απόκλισης  $\sigma_1$ . Τα μεγέθη αυτά περιγράφονται με τους όρους συντελεστής χωρητικότητας (storage capacity coefficient) ή λόγος χωρητικότητας (storage ratio).

ικανοποιείται η ζήτηση η απόληψη δεν είναι μηδενική αλλά  
 $0 \leq R \leq D$ .

(ε2) πιθανότητα αστοχίας  $a' = 1 - a$  (probability of failure)

(ε3) χρόνος επαναφοράς εκκένωσης  $T = 1/(1 - a_1)$  (recurrence time of emptiness), χρησιμοποιείται συνήθως σε μεμονωμένους ταμιευτήρες.

Στην περίπτωση μεμονωμένου ταμιευτήρα απλής σκοπιμότητας, το πρόβλημα του υδρολογικού σχεδιασμού ανάγεται στην εύρεση της μαθηματικής σχέσης:

$$\underline{u} = f(N, D, R) \quad (2.1)$$

όπου,  $\underline{u} = (K, C)$  διάνυσμα των αγνώστων του προβλήματος

Οι λειτουργικές μεταβλητές είναι ενδιάμεσα μεγέθη και δεν υπεισέρχονται στην εξίσωση αυτή.

Στην περίπτωση συστήματος ταμιευτήρων απλής ή πολλαπλής σκοπιμότητας δεν είναι γνωστή η ζήτηση  $D_i$  από κάθε ταμιευτήρα. Είναι όμως συνήθως γνωστή η ολική ζήτηση  $D = \sum D_i$  από το σύστημα. Σε αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητη η κατάστρωση ενός κανόνα λειτουργίας (operation rule) που στη γενικότερη μορφή του, είναι ένα σύνολο από σχέσεις της μορφής

$$h_i(D_i, N_i, K_i, C_i, S_i, Z_i, A_i, R_i, DF_i, SP_i) = 0 \quad (2.2)$$

Η τελική μαθηματική σχέση που ενδιαφέρει είναι παρόμοια με την (2.1), με τη διαφορά ότι οι μεταβλητές ικανοποιούν και τις δεσμεύσεις (2.2).

Έχουμε δηλαδή:

$$\underline{u}_i = f(N_i, D_i, R_i) \quad (2.3)$$

όπου  $\underline{u}_i = (K_i, C_i)$

Το πρόβλημα της διαστασιολόγησης μεμονωμένου ταμιευτήρα έχει αντιμετωπιστεί στο παρελθόν με διάφορες μεθόδους, από εμπειρικές

(διάγραμμα Rippl) μέχρι αναλυτικές (θεωρία της ουράς), αλλά μόνο για απλές συνθήκες υδρολογικών εισόδων (π.χ. ανεξάρτητες χρονοσειρές διακριτών εισροών χωρίς να παίρνονται υπόψη οι άλλες υδρολογικές μεταβλητές). Ιδιαίτερα τις δύο τελευταίες δεκαετίες έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα μαθηματικής βελτιστοποίησης (optimization models) που όμως έχουν αρκετά μειωμένες δυνατότητες για πρακτική εφαρμογή. Τα μειονεκτήματα των μοντέλων αυτών οφείλονται στον εξαιρετικά μεγάλο χρόνο υπολογισμών και χώρου μνήμης H/Y που απαιτούν. Για το λόγο αυτό ο αριθμός των ταμιευτήρων του συστήματος πρέπει να παραμένει αρκετά μικρός και η διακριτοποίηση των μεταβλητών να είναι αρκετά χονδροειδής. Επίσης είναι απαραίτητο να γίνουν σημαντικές απλουστεύσεις τόσο στη λειτουργία του συστήματος όσο και στη στοχαστική δομή των εισροών σε κάθε ταμιευτήρα.

Σε αντίθεση με τις παραπάνω μεθόδους, η μέθοδος της προσομοίωσης είναι η μόνη γενικευμένη, ορθολογική και μαθηματικά συνεπής. Επί πλέον, η μέθοδος αυτή μπορεί πολύ εύκολα να επεκταθεί και στην περίπτωση συστήματος ταμιευτήρων (εξισώσεις (2.2) και (2.3)).

Το πρώτο βήμα για την προσομοίωση του συστήματος ταμιευτήρων είναι η προσομοίωση των υδρολογικών μεταβλητών. Πρόκειται για την παραγωγή παράλληλων συνθετικών χρονοσειρών μεγάλου μήκους, η οποία γίνεται με τη χρήση τυχαίων αριθμών (μέθοδος Monte Carlo). Βασική απαίτηση για την παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών είναι η διατήρηση ορισμένων βασικών χαρακτηριστικών της στοχαστικής δομής των μεταβλητών (περιθώριες κατανομές, συσχετίσεις), όπως αυτή προκύπτει από τα υπάρχοντα δεδομένα.

## 2.2. Κύρια χαρακτηριστικά στοχαστικής δομής εισροής

Προκειμένου να εξετάσουμε τα κύρια χαρακτηριστικά της εισροής που επηρεάζουν την αξιοπιστία ενός ταμιευτήρα, θα θεωρήσουμε μια απλουστευμένη περίπτωση ταμιευτήρα υπερετήσιας εξίσωσης, κάνοντας τις ακόλουθες υποθέσεις

- α) Οι απώλειες εξάτμισης και οι υπόγειες διαφυγές θεωρούνται αμελητέες

β) θεωρείται ότι η εισροή και η απόληψη γίνονται στιγμιαία και άπαξ του έτους, σε τρόπο ώστε η απόληψη να προηγείται της αποθήκευσης.

Με την παραδοχή (β) ουσιαστικά αγνοούμε τη διακύμανση, κατά τη διάρκεια ενός έτους, της εισροής και της απόληψης. Στην πραγματικότητα η διακύμανση αυτή υπάρχει πάντοτε και οδηγεί σε επαύξηση της χωρητικότητας του ταμειυτήρα. Απλουστευτικά μπορεί να θεωρηθεί ότι η ολική χωρητικότητα ενός ταμειυτήρα υποδιαιρείται στη χωρητικότητα που διατίθεται για υπερετήσια εξίσωση και στη χωρητικότητα για την κάλυψη των διακυμάνσεων μέσα στο έτος. Εδώ, λοιπόν, η παραδοχή (β) ουσιαστικά σημαίνει ότι παίρνουμε υπόψη μόνο τη χωρητικότητα υπερετήσιας εξίσωσης. Σημειώνεται ότι σε ταμειυτήρες υψηλού βαθμού ρύθμισης, όπως ο ταμειυτήρας Μόρνου η χωρητικότητα υπερετήσιας εξίσωσης αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής χωρητικότητας (στο Μόρνο το ποσοστό αυτό είναι περίπου 80%).

Στην απλουστευμένη περίπτωση που εξετάζουμε ενδιαφέρουν μόνο τα χαρακτηριστικά της χρονοσειράς των ετήσιων εισροών και μόνο. Πιο συγκεκριμένα μπορούμε να απομονώσουμε τα ακόλουθα χαρακτηριστικά της χρονοσειράς της εισροής:

- (1) Τη μέση τιμή  $\mu$  και την τυπική απόκλιση  $\sigma$
- (2) Τον τύπο της περιθώριας συνάρτησης κατανομής
- (3) Τη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης της χρονοσειράς.

Για δεδομένη χωρητικότητα ταμειυτήρα  $K$ , και ζήτηση  $D$ , η αξιοπιστία  $a$  αυξάνει προφανώς με την αύξηση της μέσης τιμής  $\mu$ . Η αξιοπιστία  $a$  θα είναι περίπου σταθερή, αν τα μεγέθη  $D$  και  $\mu$  μεταβάλλονται με τρόπο ώστε ο βαθμός ρύθμισης  $D/\mu$  να παραμένει σταθερός.

Για δεδομένη χωρητικότητα ταμειυτήρα  $K$  και ζήτηση  $D$  η αξιοπιστία  $a$  προφανώς μειώνεται με την αύξηση της τυπικής απόκλισης  $\sigma$ . Η αξιοπιστία  $a$  θα είναι περίπου σταθερή αν τα μεγέθη  $K$  και  $\sigma$  μεταβάλλονται με τρόπο ώστε η ανηγμένη χωρητικότητα  $K/\sigma$  να παραμένει σταθερή.

Για δεδομένα  $K$  και  $D$  φαίνεται κατ' αρχήν, χωρίς αυτό να αποτελεί γενικό κανόνα, ότι συναρτήσεις κατανομής με θετική ασυμμετρία δίνουν μικρότερη αξιοπιστία, σε σχέση με την κανονική κατανομή (μηδενική ασυμμετρία).

Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης των εισροών επηρεάζει καθοριστικά την αξιοπιστία του ταμειευτήρα. Η μελέτη της επίδρασης αυτής είναι αρκετά πολύπλοκη. Κατ' αρχήν υπάρχει το θέμα της επιλογής ορισμένων χαρακτηριστικών παραμέτρων που αντιπροσωπεύουν τη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης. Η πλέον χαρακτηριστική παράμετρος είναι ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης για βήμα 1,  $\rho_1$ , ενώ ενδεχόμενα ενδιαφέρει και ένας πεπερασμένος αριθμός συντελεστών αυτοσυσχέτισης για μεγαλύτερα βήματα  $\rho_i$ ,  $1 \leq i \leq k$ . Ένα μοντέλο τύπου ARMA, κατάλληλου βαθμού, μπορεί να αναπαραστήσει τη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης στην περιοχή  $1 \leq i \leq k$ . Το υπόλοιπο τμήμα της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης, για  $i > k$ , περιγράφεται από μια φθίνουσα εκθετική συνάρτηση, και αυτό ανεξάρτητα από την τάξη και τις παραμέτρους του μοντέλου ARMA. Κατά συνέπεια στα μοντέλα ARMA, το ολοκλήρωμα της συνάρτησης, από βήμα 0 μέχρι άπειρο, είναι πεπερασμένο. Το ολοκλήρωμα αυτό εκφράζει μαθηματικά την εμμονή (persistence) της στοχαστικής ανέλιξης. Το φυσικό νόημα της εμμονής είναι η παρατηρούμενη ιδιότητα των φυσικών χρονοσειρών, σύμφωνα με την οποία υψηλές τιμές ενός μεγέθους τείνουν να συσσωρεύονται και παράλληλα το ίδιο συμβαίνει και με τις χαμηλές τιμές, (φαινόμενο Ιωσήφ).

Στο θέμα της εμμονής, αξίζει να σημειωθεί η ανακάλυψη του Hurst, ότι τα μεγάλα μεγέθους δείγματα γεωφυσικών μεγεθών εμφανίζουν ορισμένα χαρακτηριστικά που δε μπορούν να περιγραφούν από τα μοντέλα ARMA (φαινόμενο Hurst). Τα χαρακτηριστικά αυτά αποδίδονται με μια παράμετρο, που ο ορισμός της είναι αρκετά πολύπλοκος και η εκτίμηση της αρκετά δύσκολη: Πρόκειται για την παράμετρο Hurst,  $h$ , που παίρνει τιμές στο διάστημα  $0 \leq h \leq 1$ . Ο Hurst εξέτασε περίπου 800 ιστορικές χρονοσειρές υδρολογικών και γεωφυσικών μεταβλητών, από διάφορα μέρη της γής, με μεγέθη από 40 μέχρι 2000 έτη, και βρήκε ότι η παράμετρος  $h$  γι' αυτές κυμαίνεται από 0.46 μέχρι 0.96 με μέση τιμή 0.73 και τυπική απόκλιση 0.09. Αντίθετα, όπως θεωρητικά αποδεικνύεται, τα μοντέλα ARMA δίνουν

συντελεστές  $h$  που ασυμπτωτικά τείνουν στην τιμή  $h = 0.5$  για μεγάλο μέγεθος δείγματος. Ο Hurst απέδωσε την αναντιστοιχία αυτή στο γεγονός ότι οι ιστορικές χρονοσειρές εμφανίζουν πολύ μεγάλη μνήμη. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην εισαγωγή και χρήση μιας άλλης κατηγορίας μοντέλων, που λέγονται μοντέλα κλασματικού γκαουσιανού θορύβου (fractional gaussian noise - FGN), με τα οποία αντί της διατήρησης (τμήματος) της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης, επιδιώκεται η διατήρηση του συντελεστή  $h$ . Οι συναρτήσεις αυτοσυσχέτισης που προκύπτουν από τα μοντέλα FGN οδηγούν σε άπειρη εμμονή, ενώ δεν είναι δυνατή η παραγωγή χρονοσειράς με καθορισμένη εκ των προτέρων συνάρτηση αυτοσυσχέτισης (πέρα από τη διατήρηση του συντελεστή  $\rho_1$ , που είναι κατ' αρχήν δυνατή). Σημειώνεται ότι η προσομοίωση των εισροών με μοντέλα FGN είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα, (οι υπολογιστικοί χρόνοι συγκρινόμενοι με τους αντίστοιχους χρόνους των μοντέλων ARMA μπορεί να είναι μεγαλύτεροι κατά  $10^3$  φορές ή και περισσότερο).

Δύο ακόμη κατηγορίες μοντέλων έχουν αποδειχτεί ότι μπορούν να διατηρήσουν το συντελεστή Hurst, εισάγοντας τα χαρακτηριστικά μεγάλης μνήμης στις παραγόμενες χρονοσειρές. Πρόκειται για τα μοντέλα ανεπίξεων τεθλασμένης γραμμής (broken-line processes) και τα μοντέλα ARIMA, κάτω από ειδικές συνθήκες.

Επισημαίνεται τέλος ότι το βασικό συμπέρασμα του Hurst για την πολύ μεγάλη μνήμη των ιστορικών χρονοσειρών έχει αμφισβητηθεί (WMO, 1983) με το επιχείρημα ότι οι ανακαλύψεις του Hurst είναι δυνατό να αποδοθούν π.χ. σε μη μονιμότητα της μέσης τιμής της χρονοσειράς, η οποία μπορεί να είναι το αποτέλεσμα κλιματικών αλλαγών, ανθρωπίνων δραστηριοτήτων ή απλώς της ανομογένειας των δεδομένων.

### 2.3. Γενικές αρχές μοντελοποίησης υδρολογικών μεταβλητών συστήματος ταμιευτήρων ύδρευσης Αθηνών

#### 2.3.1. Βασικές παρατηρήσεις και παραδοχές

1. Το τελικό σύστημα περιλαμβάνει τρεις θέσεις κύριων ταμιευτήρων (τους υφιστάμενους ταμιευτήρες Μόρνου και Υλίκης, και

το μελλοντικό ταμιευτήρα Ευήνου) και υπάρχει έντονη στοχαστική εξάρτηση κάθε υδρολογικής μεταβλητής στις διάφορες θέσεις. Κατά συνέπεια είναι επιβεβλημένη η χρήση πολυδιάστατων μοντέλων υδρολογικής προσομοίωσης.

2. Το κύριο μέγεθος που ενδιαφέρει είναι προφανώς η απορροή της κάθε λεκάνης, δηλαδή η εισροή σε κάθε ταμιευτήρα.
3. Οι όγκοι της βροχόπτωσης και της εξάτμισης εξαρτώνται από την επιφάνεια του ταμιευτήρα, και σε τελική ανάλυση από τη στάθμη του. Κατά συνέπεια οι όγκοι αυτοί μπορούν να προσδιοριστούν μόνο στη φάση της προσομοίωσης του συστήματος ταμιευτήρων. Στη φάση της προσομοίωσης των υδρολογικών μεταβλητών παράγονται χρονοσειρές ύψους βροχής και ύψους εξάτμισης.
4. Οι απώλειες υπόγειων διαφυγών είναι σημαντικές για τον ταμιευτήρα Μόρνου και ακόμα πιο σημαντικές για τον ταμιευτήρα Υλίκης. Για τους εναλλακτικούς ταμιευτήρες Ευήνου δε μπορεί να γίνει από τώρα εκτίμηση των απωλειών, αλλά πάντως αναμένεται ότι θα είναι μικρές (μικρότερες από την αβεβαιότητα των υδρολογικών υπολογισμών) και γι' αυτό θα αγνοηθούν. Σύμφωνα με τα συμπεράσματα των αναλύσεων του Α' μέρους του ερευνητικού έργου, οι απώλειες του Μόρνου μπορούν να περιγραφούν ικανοποιητικά, χωρίς σημαντικό σφάλμα, με μια σχέση στάθμης-όγκου απωλειών. Αντίστοιχη σχέση έχει προκύψει και για την Υλίκη, με τη διαφορά ότι υπάρχει σημαντική διασπορά των σημείων γύρω από τη σχέση αυτή. Η διασπορά αυτή λαμβάνεται υπόψη για την προσομοίωση, και η απώλεια της Υλίκης θα θεωρηθεί ως τυχαία μεταβλητή, με μέση τιμή εξαρτώμενη από τη στάθμη και διασπορά σταθερή. Λόγω της εξάρτησης των απωλειών από τη στάθμη των ταμιευτήρων, η προσομοίωση τους έχει υπαχθεί στην επόμενη φάση της προσομοίωσης του συστήματος ταμιευτήρων.
5. Η απορροή και η βροχόπτωση εμφανίζουν (προφανώς) έντονη στοχαστική εξάρτηση μεταξύ τους, και γι' αυτό η προσομοίωσή τους δε μπορεί να γίνει ανεξάρτητα, αλλά συνδυασμένα.

6. Η εξάτμιση δεν είναι στοχαστικά εξαρτημένη με τη βροχόπτωση και την απορροή, και γι' αυτό η προσομοίωσή της μπορεί να γίνει ανεξάρτητα από την προσομοίωση των άλλων δύο.
7. Η προσομοίωση γίνεται σε μηνιαία βάση. Η χρονική αυτή βάση είναι υπερεπαρκής για την παρακολούθηση και της ετήσιας και της υπερετήσιας ρύθμισης των ταμιευτήρων. Λόγω της σαφούς υπεροχής των χωρητικοτήτων για υπερετήσια ρύθμιση, σε σχέση με αυτές για ετήσια ρύθμιση, οι κρίσιμες χρονοσειρές είναι οι ετήσιες, ενώ οι μηνιαίες είναι δευτερεύουσες.
8. Οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης των υπερετήσιων χρονοσειρών που εξετάστηκαν δε διαφέρουν σημαντικά από το μηδέν. Ειδικότερα οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης των απορροών είναι πολύ μικροί, ( $0 \pm 0.10$ ). Αυτό σημαίνει ότι οι απορροές δε χαρακτηρίζονται από σημαντική εμμονή. Εν πάση περιπτώσει, κατά την προσομοίωση των εισροών επιδιώκεται η διατήρηση των συντελεστών αυτοσυσχέτισης των απορροών. Αντίθετα οι αντίστοιχοι συντελεστές των βροχών θεωρούνται ίσοι με μηδέν, πράγμα που δικαιολογείται θεωρητικά. Οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης  $\rho_1$  των εξατμίσεων έχουν τιμές από  $-0.06$  μέχρι  $0.36$ , και οι τιμές αυτές επιδιώκεται να διατηρηθούν.
9. Οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης των μηνιαίων εισροών είναι εν γένει σημαντικοί (τους θερινούς μήνες φθάνουν την τιμή  $0.80$ ) και επιδιώκεται η διατήρησή τους. Αντίθετα, οι αντίστοιχοι συντελεστές για τις βροχές είναι ασήμαντοι (όπως άλλωστε αναμενόταν) και γι' αυτό θεωρούνται ίσοι με μηδέν. Τέλος οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης των εξατμίσεων είναι σε μερικές περιπτώσεις αρκετά υψηλοί (μέχρι  $0.85$ ).
10. Η κατανομή γάμα δύο παραμέτρων, με παραμέτρους που υπολογίζονται με τη μέθοδο των ροπών (από τη μέση τιμή και διασπορά) προσαρμόζεται ικανοποιητικά στα δείγματα ετήσιων και μηνιαίων βροχών και απορροών. Επειδή τα μεγέθη των δειγμάτων είναι πολύ μικρά για ασφαλείς εκτιμήσεις της τρίτης ροπής, θεωρείται ότι ο συντελεστής ασυμμετρίας κάθε μεταβλητής είναι αυτός που προκύπτει θεωρητικά για την κατανομή γάμα 2 παραμέτρων. Αντίθετα για τις εξατμίσεις



είναι γενικά δεκτή η κανονική κατανομή.

### 2.3.2. Γενικό σχήμα προσομοίωσης της απορροής-βροχής

Το γενικό σχήμα που υιοθετήθηκε για τη συνδυασμένη προσομοίωση απορροής-βροχής συνίσταται από

- Ένα Μαρκοβιανό μοντέλο ετήσιων απορροών 6 διαστάσεων (2 μεγέθη \* 3 θέσεις) το οποίο διατηρεί τους συντελεστές ετήσιας αυτοσυσχέτισης  $\rho_1$ , τους συντελεστές ετεροσυσχέτισης (βροχής-βροχής, απορροής-απορροής, απορροής-βροχής σε όλους τους συνδυασμούς θέσεων) καθώς και τις τρεις πρώτες ροπές των περιθώριων κατανομών κάθε μεταβλητής (μέση τιμή - διασπορά - ασυμμετρία).
- Ένα Μαρκοβιανό μοντέλο επιμερισμού ετήσιων σε μηνιαίες απορροές, 6 διαστάσεων και 12 τμηματικών μεταβλητών, ήτοι συνολικά 72 μεταβλητών. Το μοντέλο αυτό διατηρεί τις ίδιες ομάδες στατιστικών χαρακτηριστικών για κάθε μήνα, και επί πλέον διατηρεί τη λεγόμενη προσθετική ιδιότητα (το άθροισμα των μηνιαίων τιμών σε ένα έτος είναι ίσο με την ετήσια τιμή).

Η δομή αυτή του μοντέλου δύο φάσεων αν και είναι πολλαπλώς πολυπλοκότερη, προτιμήθηκε από την απευθείας παραγωγή μηνιαίων τιμών και στη συνέχεια την άθροισή τους για παραγωγή ετήσιων τιμών, γιατί η άμεση, σε πρώτη φάση, παραγωγή των ετήσιων χρονοσειρών υπερτερεί στα εξής:

- α) Αποφεύγονται τα σφάλματα που υπάρχουν στις εκτιμήσεις των μηνιαίων στατιστικών χαρακτηριστικών. Οι συνδυασμοί σφαλμάτων και αποκλίσεων θα μπορούσε να δώσουν πολλαπλασιαστικές αποκλίσεις για τις ετήσιες χρονοσειρές.
- β) Με τη χρησιμοποίηση πολυδιάστατου μοντέλου σε μηνιαία βάση και στη συνέχεια άθροιση των μηνιαίων τιμών για την εξαγωγή ετήσιων, είναι σχεδόν αδύνατο να διατηρηθούν οι πολύ σημαντικές ιδιότητες της εμμονής. Αυτή η μέθοδος θα οδηγούσε σε

πρακτικά μηδενικούς συντελεστές αυτοσυσχέτισης των ετήσιων τιμών.

γ) Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι ετήσιες χρονοσειρές, και όχι οι μηνιαίες, είναι κρίσιμες για τη μελέτη μας.

Το μαρκοβιανό μοντέλο ετήσιων εισροών θεωρείται επαρκές λόγω των χαμηλών συντελεστών αυτοσυσχέτισης που παρατηρήθηκαν (μικρή εμμονή). Η χρήση μοντέλων FGN κλπ. για τη διατήρηση συντελεστών Hurst (που άλλωστε δε θα ήταν εύκολο να εκτιμηθούν) δε θα είχε νόημα στην περίπτωση των μικρών συντελεστών αυτοσυσχέτισης. Εξ άλλου δεν είναι βέβαιο αν με τέτοια μοντέλα μακράς μνήμης είναι δυνατό να παράγουμε χρονοσειρές με τόσο μικρούς συντελεστές αυτοσυσχέτισης.

Οι όροι διατήρησης των χαρακτηριστικών των μηνιαίων χρονοσειρών που τέθηκαν είναι απόλυτα ικανοποιητικοί, δεδομένου μάλιστα ότι οι χρονοσειρές αυτές είναι δευτερεύουσας σημασίας (π.χ. δε θα επηρέαζε σε τίποτα ένας όρος για τη διατήρηση συντελεστών αυτοσυσχέτισης μεγαλύτερου βήματος).

Σε σχέση με τους λόγους που μας οδήγησαν στην υιοθέτηση ενός μοντέλου συνδυασμένης προσομοίωσης της απορροής και της βροχόπτωσης αντί ενός τυπικού μοντέλου βροχής-απορροής στο οποίο η βροχή θα ήταν η είσοδος και η απορροή η έξοδος, έχουμε να παρατηρήσουμε τα ακόλουθα:

- Όπως προέκυψε από την επεξεργασία των δεδομένων κατά το Α' μέρος του ερευνητικού έργου, τα βροχομετρικά δεδομένα είναι γενικά μειωμένης αξιοπιστίας, ενώ υπάρχουν και αναντιστοιχίες μεταξύ των δεδομένων βροχής και παροχής.
- Τα μεγέθη των δειγμάτων της βροχής δεν ήταν σημαντικά μεγαλύτερα αυτών της απορροής (26 έναντι 20 έτη για τις Λεκάνες Μόρνου και Ευήνου). Εξ άλλου η τυχόν στατιστική επέκταση των δειγμάτων απορροής με βάση τα μεγαλύτερα δείγματα βροχής θα οδηγούσε σε υποεκτιμήσεις των διασπορών των δειγμάτων απορροής, οι οποίες είναι απαραίτητο να εκτιμηθούν με τη μεγαλύτερη δυνατή αμεροληψία προκειμένου να

χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση.

- Η χρήση ενός στοχαστικού μοντέλου βροχής-απορροής τύπου μαύρου κουτιού (black box) δε θα έδινε μεγαλύτερη αξιοπιστία στην προσομοίωση της απορροής. Ουσιαστικά το μοντέλο που υιοθετήθηκε υπερτερεί από ένα τέτοιο μοντέλο, γιατί αφ' ενός λαμβάνει υπόψη τις αλληλοσυσχετίσεις μεταξύ βροχής και απορροής και τις αυτοσυσχετίσεις της κάθε χρονοσειράς, ενώ παράλληλα θεωρεί τις χρονοσειρές της απορροής ως πρωτεύουσα πληροφορία και όχι ως παράγωγη της βροχομετρικής πληροφορίας
- Η χρήση ενός εννοιολογικού (conceptual) μοντέλου βροχής-απορροής, είναι πιθανό ότι θα έδινε ικανοποιητικές χρονοσειρές απορροής, υπό τις προϋποθέσεις ότι (α) θα εφαρμόζονταν σε ημερήσια χρονική κλίμακα και (β) τα βροχομετρικά δεδομένα θα ήταν επαρκώς αξιόπιστα και σε πλήρη αντιστοιχία με τα δεδομένα απορροής, ώστε να μπορεί να γίνει σωστή ρύθμιση του μοντέλου. Ο δεύτερος όρος όμως δεν εκπληρώνεται, ενώ η ημερήσια χρονική κλίμακα δεν είναι απαραίτητη για την προσομοίωση του συστήματος ταμιευτήρων. Επίσης το όφελος από μια τέτοια αρκετά επίπονη προσπάθεια δεν θα ήταν σημαντικό, λόγω της μικρής διαφοράς των χρονικών μεγεθών των δειγμάτων βροχής και απορροής που προαναφέρθηκε. Για τους λόγους αυτούς εγκαταλείφθηκε και αυτή η προσέγγιση του θέματος.
- Ένας τελευταίος λόγος που συνηγορεί υπέρ της απόρριψης της προσέγγισης του τυπικού μοντέλου βροχής-απορροής, είναι το γεγονός ότι μια τέτοια προσπάθεια είχε γίνει παλιότερα για τον ταμιευτήρα Μόρνου από την Lahmeyer, με αποτελέσματα που δεν ανταποκρίνονταν στην πραγματικότητα.
- Το ίδιο σχήμα προσομοίωσης που υιοθετήθηκε, εφαρμόζεται επίσης και για τις εξατμίσεις, και αυτό είναι ένα επιπλέον πλεονέκτημα του σχήματος. Στην περίπτωση αυτή το μοντέλο είναι τριών διαστάσεων (3 θέσεις ταμιευτήρων).

### 3. ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

#### 3.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται το γενικό μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας. Πρόκειται για ένα μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας συστήματος ταμιευτήρων απλής σκοπιμότητας, το οποίο περιλαμβάνει το σύνολο των μαθηματικών σχέσεων που συνδέουν μεταξύ τους τις υδρολογικές μεταβλητές, τα χαρακτηριστικά του συστήματος και τις λειτουργικές μεταβλητές, με την αξιοπιστία του συστήματος. Επίσης, το μοντέλο περιλαμβάνει περιοριστικές συνθήκες για μερικές από τις μεταβλητές, οι οποίες απορρέουν από φυσικούς ή λειτουργικούς λόγους.

Το σημερινό υδροδοτικό σχήμα της Αθήνας περιλαμβάνει τους ταμιευτήρες Μόρνου και Υλίκης. Μελλοντικά προβλέπεται η ένταξη στο σύστημα ενός ταμιευτήρα στη λεκάνη του Ευήνου, ενώ παραμένει πάντα η δυνατότητα κατασκευής ενός ταμιευτήρα αναρρύθμισης κοντά στην Αθήνα (πιθανότατα στη λεκάνη του ποταμού Ασωπού).

Οι εξισώσεις του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας, που αναλύονται στις επόμενες παραγράφους, αναφέρονται στο τελικό υδροδοτικό σχήμα, που περιλαμβάνει το σύνολο των ταμιευτήρων (Σχ. 2). Οι εξισώσεις αυτές κωδικοποιήθηκαν σε πρόγραμμα H/Y σε γλώσσα προγραμματισμού Pascal, που τρέχει σε λειτουργικό σύστημα DOS.

Για τις ανάγκες της διαστασιολόγησης των εναλλακτικών ταμιευτήρων Ευήνου θεωρήθηκε ότι το σύστημα περιλαμβάνει μόνον δύο ταμιευτήρες τον υπάρχοντα ταμιευτήρα Μόρνου και ένα ταμιευτήρα στον Ευήνο, που θα αποτελέσουν και το βασικό υδροδοτικό σχήμα της πρωτεύουσας μετά την κατασκευή του ταμιευτήρα Ευήνου. Αυτό είχε ως συνέπεια να χρησιμοποιηθεί στο τεύχος αυτό ουσιαστικά μόνο το τμήμα του μοντέλου που αφορά στο συνδυασμό ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου. Παρ' όλα αυτά, κρίθηκε σκόπιμο να περιγραφεί το μοντέλο στο σύνολό του για λόγους πληρότητας της παρουσίασης.

Η θεωρητική τοποθέτηση του προβλήματος της διαστασιολόγησης ταμιευτήρων έγινε στην παρ. 2.1, όπου και επεξηγούνται και τα

σύμβολα που υπεισέρχονται στις εξισώσεις του μοντέλου. Πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι οι ταμιευτήρες θεωρήθηκαν αποκλειστικά ως απλής σκοπιμότητας (ύδρευση) και η απαιτούμενη χωρητικότητα για ανάσχεση πλημμυρών δεν πάρθηκε υπόψη στις εξισώσεις του μοντέλου.

Οι κωδικοί αριθμοί για κάθε ταμιευτήρα (που είναι και δείκτες των μεταβλητών του προβλήματος) είναι οι εξής:

1 = Εύηνος, 2 = Μόρνος, 3 = Υλίκη, 4 = ταμιευτήρας αναρρύθμισης.

### 3.2. Περιγραφή του μοντέλου - Εξισώσεις ισοζυγίου για κάθε ταμιευτήρα

Στην παράγραφο αυτή παρατίθενται οι εξισώσεις του μοντέλου που απορρέουν από την αρχή διατήρησης της μάζας του νερού σε κάθε ταμιευτήρα. Μία άλλη κατηγορία εξισώσεων είναι εκείνες που περιγράφουν τον κανόνα λειτουργίας του θεωρούμενου συστήματος ταμιευτήρων. Οι τελευταίες εξισώσεις είναι πεπλεγμένης μορφής, αφού περιλαμβάνουν μεγέθη από περισσότερους του ενός ταμιευτήρες και εξαρτώνται άμεσα από το ποιοί ταμιευτήρες υπεισέρχονται στο σύστημα. Οι εξισώσεις της πρώτης κατηγορίας ισχύουν ανεξάρτητα από το θεωρούμενο σύστημα ταμιευτήρων και παρουσιάζονται μία μόνο φορά, στη συνέχεια αυτής της παραγράφου. Οι εξισώσεις του κανόνα λειτουργίας του συστήματος παρουσιάζονται στην παράγραφο 3.3 για κάθε περίπτωση συνδυασμού ταμιευτήρων.

#### 3.2.1. Ταμιευτήρας Ευήνου

Για το μοντέλο λειτουργίας έχει θεωρηθεί ένας μόνο ταμιευτήρας στον Εύηνο ο οποίος, μπορεί εναλλακτικά να είναι ο ταμιευτήρας Περίστας, Αγ. Δημητρίου ή Δενδροχωρίου. Η τροποποίηση των χαρακτηριστικών των ταμιευτήρων από τη μια θέση φράγματος στην άλλη καθώς και των υδρολογικών μεταβλητών που συνδέονται μ' αυτούς, γίνεται με απλούς συντελεστές αναγωγής (βλ. παρ.5.4).

Υποθέτουμε ότι η διαδικασία της προσομοίωσης έχει ολοκληρωθεί

μέχρι το τέλος του μήνα  $(j-1)$  και επομένως είναι γνωστή η τιμή του αποθηκευμένου ωφέλιμου όγκου νερού  $S_1(j-1)$ .

Διευκρινίζεται ότι με  $S_1(j-1)$  συμβολίζεται ο ωφέλιμος όγκος ταμιευτήρα ενώ η καμπύλη στάθμης-όγκου δίνει τη σχέση ολικού όγκου-στάθμης. Γι' αυτό κάθε φορά που χρησιμοποιείται αυτή η καμπύλη πρέπει να υπολογίζεται ο ολικός όγκος (ωφέλιμος όγκος + νεκρός όγκος).

Από την καμπύλη στάθμης-όγκου υπολογίζεται η αντίστοιχη στάθμη  $Z_1(j-1)$  και στη συνέχεια από την καμπύλη στάθμης-επιφάνειας λίμνης η αντίστοιχη επιφάνεια της λίμνης  $A_1(j-1)$ . Οι καμπύλες αυτές φαίνονται στα σχήματα 9, 10 και 11 του τεύχους αυτού για τους τρεις εναλλακτικούς ταμιευτήρες Ευήνου.

Οι υδρολογικές μεταβλητές του προβλήματος είναι:

- 1) Οι εισροές στον ταμιευτήρα. Το κύριο μέρος των εισροών αποτελείται από την απορροή του ποταμού Ευήνου στη θέση του φράγματος καθώς και των τυχόν μικρών υδατορευμάτων που εκβάλλουν απ' ευθείας στον ταμιευτήρα.

Η συνολική μηνιαία απορροή του μήνα  $j$   $I_1(j)$  δίνεται ως έξοδος (output) του μοντέλου των εισροών (βλ. Κεφ. 2) σε ισοδύναμο ύψος στη λεκάνη του Ευήνου επιφάνειας  $s_1$ . Επειδή όμως ζητείται η απορροή στην είσοδο του ταμιευτήρα η απορροή στη θέση του φράγματος πολλαπλασιάζεται επί  $[s_1 - A_1(j-1)]$ .

Ένα άλλο πολύ μικρότερο τμήμα των εισροών είναι η βροχόπτωση  $P_1(j)$ , απ' ευθείας πάνω στην επιφάνεια της λίμνης του ταμιευτήρα, η οποία, για να αναχθεί σε όγκο, πολλαπλασιάζονται επί  $A_1(j-1)$ .

- 2) Οι απώλειες νερού από τον ταμιευτήρα λόγω εξάτμισης  $E_1(j)$ , που πολλαπλασιάζονται επί  $A_1(j-1)$ . Σημειώνεται ότι απώλειες λόγω διαφυγών δε λαμβάνονται υπόψη.

Η καθαρή εισροή  $N_1(j)$  του μήνα  $j$  στον ταμιευτήρα είναι ίση με

$$N_1(j) = I_1(j) * [s_1 - A_1(j-1)] + [P_1(j) - E_1(j)] * A_1(j-1) \quad (3.1)$$

Η απόληψη νερού  $R_1(j)$  προκύπτει από τον κανόνα λειτουργίας του συστήματος (βλ. παρ. 3.3).

Ο όγκος νερού προς αποθήκευση,  $S_{a1}(j)$ , στο τέλος του μήνα  $j$  προκύπτει από το ισοζύγιο του ταμιευτήρα:

$$S_{a1}(j) = S_1(j-1) + N_1(j) - R_1(j) \quad (3.2)$$

Αν  $S_{a1}(j) > K_1$ , τότε υπάρχει υπερχείλιση:

$$SP_1(j) = S_{a1}(j) - K_1 \quad (3.3)$$

οπότε ο όγκος νερού στον ταμιευτήρα στο τέλος του μήνα  $j$  είναι

$$S_1(j) = K_1$$

Αλλιώς,

$$S_1(j) = S_{a1}(j), \quad SP_1(j) = 0$$

Οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται κατά τον ίδιο τρόπο για τους επόμενους μήνες  $j+1, j+2, \dots$

### 3.2.2. Ταμιευτήρας Μόρνου

Οι εισροές στον ταμιευτήρα Μόρνου αποτελούνται κατά το μεγαλύτερο μέρος τους από την απορροή του ποταμού Μόρνου και εκείνη των υδατορευμάτων που εισρέουν άμεσα στον ταμιευτήρα Μόρνου, και εκφράζονται σε ισοδύναμο ύψος απορροής στην επιφάνεια της λεκάνης απορροής που αντιστοιχεί στη θέση του φράγματος  $I_2(j)$ . Βεβαίως στις περιπτώσεις εκτροπής του Ευήνου, οι εκτρεπόμενες ποσότητες αποτελούν εισροή για τον ταμιευτήρα Μόρνου.

Ένα δεύτερο μέρος της συνολικής εισροής οφείλεται στη βροχή απευθείας στον ταμιευτήρα  $P_2(j)$ .

Οι απώλειες από τον ταμιευτήρα οφείλονται αφ' ενός μεν στην εξάτμιση  $E_2(j)$ , αφ' ετέρου δε στις υπόγειες διαφυγές  $L_2(j)$ .

Για τη μετατροπή της εισροής  $I_2(j)$  σε όγκο νερού στην είσοδο του ταμιευτήρα πολλαπλασιάζουμε επί την επιφάνεια της λεκάνης  $s_2$  μείον την επιφάνεια της λίμνης  $A_2(j-1)$ . Αντίστοιχα για τα μεγέθη  $P_2(j)$ ,  $E_2(j)$  πολλαπλασιάζουμε με  $A_2(j-1)$ .

Η επιφάνεια της λίμνης  $A_2(j-1)$  στο τέλος του μήνα  $(j-1)$  καθώς και η στάθμη  $Z_2(j-1)$  λαμβάνονται από τις καμπύλες στάθμης-όγκου επιφάνειας (Σχ. 9, τεύχος 3, Α' μέρος Ερευν. Εργου), με βάση το γνωστό μέγεθος του διαθέσιμου ωφέλιμου όγκου  $S_2(j-1)$ . Υπενθυμίζεται πάλι ότι η καμπύλη στάθμης-όγκου απαιτεί τον υπολογισμό του ολικού όγκου (= ωφελ. όγκος + νεκρός όγκος).

Οι υπόγειες διαφυγές από τον ταμιευτήρα εκτιμώνται στο 2-πλάσιο των διαρροών Πύρνου (Σχ. 11, Τεύχος 3, Α' μέρος Ερευν. Εργου) και εκφράζονται συναρτήσει μόνο της στάθμης του ταμιευτήρα που λαμβάνεται ίση με εκείνη του τέλους του προηγούμενου μήνα  $Z_2(j-1)$ .

Η σχέση αυτή δίνεται από την εξίσωση

$$L_2(j) = [0.022865 [Z_2(j-1) - 390.0] + 0.132710]$$

όπου  $L_2(j)$  σε εκ.  $m^3$  και  $Z_2(j-1)$  σε  $m$

Η καθαρή εισροή  $N_2(j)$  του μήνα  $j$  είναι:

$$\begin{aligned} N_2(j) = & I_2(j) [s_2 - A_2(j-1)] + \\ & + [P_2(j) - E_2(j)] A_2(j-1) \\ & - L_2(j) \end{aligned} \quad (3.4)$$

Με γνωστή την απόληψη  $R_2(j)$ , που προκύπτει από τον κανόνα λειτουργίας του συστήματος (παρ. 3.3) ο όγκος νερού προς αποθήκευση στο τέλος του μήνα  $j$  είναι:



$$S_{a2}(j) = S_2(j-1) + N_2(j) - R_2(j) \quad (3.5)$$

Αν  $S_{a2}(j) > K_2$  τότε υπάρχει υπερχειλίση ίση με

$$SP_2(j) = S_{a2}(j) - K_2 \quad (3.6)$$

οπότε ο τελικός ωφέλιμος όγκος  $S_2(j)$  στο τέλος του μήνα  $j$  είναι

$$S_2(j) = K_2$$

Αλλιώς,

$$S_2(j) = S_{a2}(j), \quad SP_2(j) = 0$$

### 3.2.3. Λίμνη Υλίκη

Οι εισροές στη λίμνη από τη σήραγγα Καρδίτσας καθώς και η απορροή της ίδιας της λεκάνης Υλίκης αποτελούν την ολική απορροή  $I_3(j)$  του μήνα  $j$  εκφρασμένη σε ισοδύναμο ύψος απορροής στη λεκάνη του Β. Κηφισού επιφάνειας  $2010 \text{ km}^2$  αυξημένης κατά 6% για να ληφθεί υπόψη η επαύξηση λόγω της απορροής της λεκάνης της ίδιας της λίμνης (συνολική επιφάνεια  $s_3$ ).

Ένα άλλο μικρό μέρος των εισροών προέρχεται από τη βροχή  $P_3(j)$  απ' ευθείας στη λίμνη ενώ οι απώλειες οφείλονται, κατά ένα μέρος, στην εξάτμιση  $E_3(j)$  από την επιφάνεια της λίμνης, κατά δε ένα άλλο μέρος στις υπόγειες διαφυγές  $L_3(j)$ .

Όπως φαίνεται και στα Σχήματα 5.1 και 5.2 του τεύχους 11 οι διαφυγές δίνονται από δευτεροβάθμιες πολυωνυμικές σχέσεις της στάθμης, ενώ λαμβάνεται υπόψη και μια τυχαία συνιστώσα που θεωρείται ότι ακολουθεί κανονική κατανομή.

Η σχέση στάθμης-απωλειών για τους καλοκαιρινούς μήνες είναι

$$L_3(j) = 12422 [Z_3(j-1)]^2 - 999061 Z_3(j-1) + \\ + 17461050 + \eta(j) \quad (\text{σε } m^3) \quad (3.7)$$

όπου,  $Z_3(j-1)$  η απόλυτη στάθμη της λίμνης σε m, και  
 $\eta(j)$ : τυχαίος αριθμός κανονικής κατανομής με μέση τιμή  
 μηδέν και τυπική απόκλιση 2636048 m<sup>3</sup>.

Για τους χειμερινούς μήνες η σχέση αυτή γίνεται

$$L_3(j) = 12422 [Z_3(j-1)]^2 - 999061 Z_3(j-1) + 22161050 + \eta(j) \quad (\text{σε m}^3) \quad (3.8)$$

όπου η  $\eta(j)$  έχει τυπική απόκλιση 5959663 m<sup>3</sup>.

Η καθαρή εισροή του μήνα j είναι

$$N_3(j) = I_3(j) * [s_3 - A_3(j-1)] + [P_3(j) - E_3(j)] * A_3(j-1) - L_3(j) \quad (3.9)$$

Τα μεγέθη  $A_3(j-1)$ ,  $Z_3(j-1)$  υπολογίζονται από τις καμπύλες στάθμης-όγκου-επιφανείας που φαίνονται στο σχήμα 4.1 του τεύχους 11. Στις περιπτώσεις συνδυασμένων ταμιευτήρων Μόρνου-Υλίκης και Μόρνου-Ευήνου-Υλίκης λήφθηκε υπόψη και η ασφάλεια των απολήψεων με τον ακόλουθο τρόπο.

Ανάλογα με την τιμή του  $S_3(j)$  διακρίνομε τις εξής 4 περιπτώσεις:

I.  $-Sd_3 \leq S_3(j) \leq 0$

Νεκρός όγκος όπου δε γίνεται καμία απόληψη.

II.  $0 < S_3(j) \leq SF_3(j)$

Δε γίνεται καμία απόληψη και παραμένει στη λίμνη ο όγκος ασφαλείας  $SF_3(j)$  έναντι βλάβης του υδαταγωγού Μόρνου.

III.  $SF_3(j) < S_3(j) \leq SR_3(j) + SF_3(j)$

Γίνεται απόληψη μόνο για αρδευτικούς σκοπούς  $IR_3(j)$ .

IV.  $SF_3(j) + SR_3(j) < S_3(j) \leq K_3$  όπου γίνεται απόληψη και για ύδρευση της Αθήνας  $R_3(j)$  καθώς και για άρδευση  $IR_3(j)$ .

Τα όρια ασφαλείας  $SF_3$  και  $SR_3$  θεωρήθηκαν ως εξής:

$$\begin{aligned}
 \text{a. } SF_3(j) = \min & \left[ \sum_{\kappa=j}^{j+M} a(\kappa) (Dy/12) \quad (\text{ζήτηση από Αθήνα των επόμενων } M \text{ μηνών}) \\
 & - K_{\text{μαρ}} \quad (\text{χωρητικότητα Μαραθώνα}) \\
 & - \sum_{\kappa=j}^{j+M} Q_{\text{min}}(\kappa) \quad (\text{ελάχιστη εισροή των επόμενων } M \text{ μηνών}) \\
 & - M \cdot C_3 \quad ] \quad (3.10)
 \end{aligned}$$

όπου,

$a(\kappa)$  : συντελεστής ανισοκατανομής της ζήτησης του μήνα  $\kappa$

$Dy$  : ετήσια ζήτηση

$Q_{\text{min}}(\kappa)$  : ελάχιστη παροχή του  $\kappa$  μήνα

$M$  : αριθμός μηνών ασφαλείας για ύδρευση Αθήνας (=3)

$K_{\text{μαρ}}$ : ωφέλιμη χωρητικότητα ταμιευτήρα Μαραθώνα

$$\text{b. } SR_3(j) = \sum_{\kappa=j}^{j+M'} ar(\kappa) (DRy/12) \quad (\text{ζήτηση των επόμενων } M' \text{ μηνών για άρδευση}) \quad (3.11)$$

όπου:

$ar(\kappa)$  : συντελεστής ανισοκατανομής για άρδευση

$DRy$  : ετήσια ζήτηση για άρδευση

$M'$  : αριθμός μηνών ασφαλείας για άρδευση (=6)

Πάντως στην περίπτωση αστοχίας του συστήματος (άδειασμα των άλλων ταμιευτήρων) γίνεται απόληψη από την Υλίκη και της ποσότητας  $SF_3 + SR_3$  που κανονικά διατηρείται για λόγους ασφαλείας.

Σημειώνεται επίσης ότι για την περίπτωση των συνδυασμένων ταμιευτήρων Μόρνου-Ευήνου-Υλίκης-ταμιευτήρα αναρρύθμισης ο όγκος ασφαλείας έναντι βλάβης του υδαταγωγού Μόρνου δεν υπεισέρχεται στους υπολογισμούς, καθόσον η ασφάλεια έναντι μιας τέτοιας βλάβης καλύπτεται από τον ταμιευτήρα αναρρύθμισης.

Αφού καθοριστούν οι απολήψεις  $R_3(j)$  και  $IR_3(j)$  βάσει των παραπάνω ορίων και του κανόνα λειτουργίας (παρ. 3.3) το ισοζύγιο της λίμνης δίνει διαθέσιμο ωφέλιμο όγκο:

$$S_{a3}(j) = S_3(j-1) + N_3(j) - R_3(j) - IR_3(j) \quad (3.12)$$

Αν  $S_{a3}(j) > K_3$  τότε υπάρχει υπερχειλίση ίση με

$$SP_3(j) = Sa_3(j) - K_3 \quad \text{και} \quad S_3(j) = K_3$$

Αλλιώς,

$$S_3(j) = Sa_3(j) \quad \text{και} \quad SP_3(j) = 0$$

### 3.2.4. Ταμιευτήρας αναρρύθμισης

Η υδρολογία της λεκάνης του ταμιευτήρα αυτού δε λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς, ούτε και θεωρούνται υπόγειες διαφυγές από αυτόν. Οι μόνες εισροές στον ταμιευτήρα είναι οι απολήψεις  $R_2(j)$  από το Μόρνο και  $R_5(j)$  από την Υλίκη (Σχήμα 2).

Επομένως η καθαρή εισροή είναι

$$N_4(j) = R_3(j) + R_5(j) \quad (3.13)$$

Η απόληψη  $R_4(j)$  προκύπτει από τον κανόνα λειτουργίας (βλ. παρ. 3.3).

Το ισοζύγιο του ταμιευτήρα δίνει διαθέσιμο όγκο στο τέλος του μήνα  $j$ :

$$Sa_4(j) = S_4(j-1) + N_4(j) - R_4(j)$$

Αν  $Sa_4(j) > K_4$  υπάρχει υπερχειλίση

$$SP_4(j) = Sa_4(j) - K_4 \quad \text{και} \quad S_4(j) = K_4 \quad (3.14)$$

Αλλιώς

$$S_4(j) = Sa_4(j) \quad \text{και} \quad SP_4(j) = 0$$

### 3.3. Κανόνες λειτουργίας

Όπως αναφέρθηκε ήδη στην παρ. 3.2 οι σχέσεις που περιγράφουν τον κανόνα λειτουργίας συστήματος ταμιευτήρων εξαρτώνται από το ποιοί ταμιευτήρες υπεισέρχονται στο σύστημα καθώς και από ορισμένες αποφάσεις που αφορούν τις απολήψεις από τον κάθε ταμιευτήρα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι σχέσεις αυτές για κάθε περίπτωση μεμονωμένων και συνδυασμένων ταμιευτήρων.

#### 3.3.1. Σημερινό υδροδοτικό σύστημα

##### 3.3.1.α. Μεμονωμένος ταμιευτήρας Μόρνου

Η μηνιαία ζήτηση είναι ίση με

$$D(j) = a(j) * (Dy/12) \quad (3.15)$$

Η απόληψη  $R_2(j)$  είναι ίση με τη ζήτηση εφόσον η παροχετευτικότητα του υδαταγωγού Μόρνου  $C_2$  και η διαθέσιμη για απόληψη ποσότητα νερού  $S_2(j-1) + N_2(j)$  το επιτρέπουν. Η μέγιστη απολήψιμη ποσότητα νερού  $\max R_2(j)$  καθορίζεται από την παροχετευτικότητα  $C_2$  εφόσον υπάρχει διαθέσιμη ποσότητα νερού.

Σε μαθηματική μορφή

$$\max R_2(j) = \max[0, \min(S_2(j-1) + N_2(j), C_2)] \quad (3.16\alpha)$$

$$R_2(j) = \min[\max R_2(j) D(j)] \quad (3.16\beta)$$

Σημειώνεται ότι απόληψη γίνεται μόνον όταν  $S_2(j-1) + N_2(j) > 0$  δηλαδή για ολικό όγκο μεγαλύτερο του νεκρού όγκου.

##### 3.3.1.β. Μεμονωμένη εκμετάλλευση Λίμνης Υλίκης

Πραγματοποιείται καταρχήν απόληψη για άρδευση της Κωπαΐδας  $IR_3(j)$  με επιδίωξη να ικανοποιηθεί η ζήτηση για άρδευση

$$IR_3(j) = \max[0, \min(S_3(j-1) + N_3(j), DR(j))] \quad (3.17a)$$

$$\text{όπου } DR(j) = ar(j) (DRy/12) \quad (3.17\beta)$$

είναι η μηνιαία ζήτηση για άρδευση με  $ar(j)$  το συντελεστή ανισοκατανομής της ζήτησης για άρδευση εντός του έτους, (Παρ. 5.3 τεύχους 14),

και  $DRy =$  ετήσια ζήτηση για άρδευση.

Η μέγιστη απολήπιμη ποσότητα νερού για ύδρευση της Αθήνας είναι εκείνη που επιτρέπει η παροχτευτικότητα  $C_3$  του υδραγωγείου Υλίκης και τα αποθέματα στη λίμνη.

$$\max R_3(j) = \max[0, \min(S_3(j-1) + N_3(j) - IR_3(j), C_3)] \quad (3.18a)$$

Η πραγματική απόληψη  $R_3(j)$  θα είναι ίση με τη ζήτηση  $D(j)$  του μήνα  $j$  εφόσον αυτή δεν υπερβαίνει την παραπάνω τιμή  $\max R_3(j)$  δηλαδή

$$R_3(j) = \min[D(j), \max R_3(j)] \quad (3.18\beta)$$

### 3.3.1.γ. Συνδυασμένοι ταμιευτήρες Μόρνου-Υλίκης

Εφ'όσον ο διαθέσιμος όγκος νερού στο Μόρνο ( $S_2(j-1) + N_2(j)$ ) υπερβαίνει κάποιο κατώφλι  $V_k$  τότε γίνεται απόληψη  $R_2(j)$  από τον ταμιευτήρα Μόρνου του περισσεύματος πάνω από τον όγκο  $V_k$  (παρ. 5.9 τεύχους 14). Στην αντίθετη περίπτωση η ικανοποίηση της μηνιαίας ζήτησης  $D(j)$  γίνεται κατά σειρά προτεραιότητας από τις εξής διαθέσιμες ποσότητες νερού:

- α. Σε πρώτη προτεραιότητα παίρνεται από την Υλίκη ποσότητα νερού που να μην εξαντλεί πάνω από ένα ποσοστό  $\beta$  ( $0 \leq \beta \leq 1$ ) τις δυνατότητες της Υλίκης. Η παράμετρος αυτή  $\beta$  ορίζεται από τη σχέση

$$\beta = \frac{\text{μέγιστη επιτρεπτή απόληψη}}{\text{μέγιστη δυνατή απόληψη (maxR}_3(j))}$$

Η ποσότητα  $\text{maxR}_3(j)$  προκύπτει ως εξής: Υπολογίζεται κατ' αρχήν η απόληψη από την Υλίκη για άρδευση της Κωπαΐδας  $\text{IR}_3(j)$  με διατήρηση του αποθέματος  $\text{SF}_3$  έναντι βλάβης του υδαταγωγού Μόρνου.

$$\text{IR}_3(j) = \max[0, \min(\text{S}_3(j-1) + \text{N}_3(j) - \text{SF}_3(j), \text{DR}(j))] \quad (3.19)$$

όπου  $\text{DR}(j)$  δίνεται από την εξίσωση 3.17β

Η μέγιστη απολήψιμη ποσότητα για ύδρευση της Αθήνας με διατήρηση των αποθεμάτων ασφαλείας  $\text{SF}_3$  και  $\text{SR}_3$  (παρ. 3.2.3) δίνεται από τη σχέση

$$\text{maxR}_3(j) = \max[0, \min(\text{S}_3(j) + \text{N}_3(j) - \text{IR}_3(j) - \text{SF}_3(j) - \text{SR}_3(j), \text{C}_3)] \quad (3.20)$$

Η πραγματική απόληψη από την Υλίκη είναι

$$\text{R}_3(j) = \min(\beta \text{maxR}_3(j), \text{D}(j)) \quad (3.21)$$

- β. Στη συνέχεια επιδιώκεται η ικανοποίηση από το Μόρνο της ζήτησης που δεν ικανοποιήθηκε ως τώρα:  $\text{D}(j) - \text{R}_3(j)$

Η συμπληρωματική απόληψη από το Μόρνο θα είναι

$$\text{R}_2(j)^* = \max [0, \min(\text{D}(j) - \text{R}_3(j), \text{maxR}_2(j))] \quad (3.22)$$

όπου  $\text{maxR}_2(j)$  δίνεται από την εξίσωση 3.16.α

- γ. Αν πάλι δεν ικανοποιηθεί η ζήτηση γίνεται πρόσθετη απόληψη και από τα αποθέματα ασφαλείας  $\text{SF}_3$  και  $\text{SR}_3$  στην Υλίκη εφόσον το επιτρέπει η παροχетеυτικότητα του υδραγωγείου Υλίκης.

Η νέα μέγιστη απολήψιμη ποσότητα είναι

$$\max R_3(j)^* = \max[0, \min(S_3(j-1) + N_3(j) - IR_3(j) - R_3(j), C_3 - R_3(j))] \quad (3.23)$$

και η συμπληρωματική απόληψη

$$R_3(j)^* = \min(\max R_3(j)^*, D(j) - R_3(j) - R_2(j)^*) \quad (3.24)$$

Στην περίπτωση όπου το κατώφλι  $V_k$  για το Μόρνο θεωρηθεί στη μέγιστη στάθμη του τότε προκύπτει ο κανόνας απόλυτης προτεραιότητας Υλίκης. Αλλιώς πρόκειται για τον κανόνα εναλλακτικής προτεραιότητας Μόρνου-Υλίκης (παρ. 5.9 τεύχους 14). Σημειώνεται επίσης ότι κατά τις δοκιμές προσομοίωσης η παράμετρος  $\beta$  στην εξίσωση 3.21 είχε πάντα τιμή ίση με τη μονάδα που αντιστοιχεί με εξάντληση των δυνατοτήτων της Υλίκης.

### 3.3.2. Μελλοντικό υδροδοτικό σύστημα

#### 3.3.2.α. Συνδυασμένοι ταμιευτήρες Μόρνου-Ευήνου (Σχ. 1)

Η μέγιστη δυνατή παροχέτευση νερού  $\max R_1(j)$  από τον ταμιευτήρα Ευήνου στον ταμιευτήρα Μόρνου είναι ίση με την παροχетеυτικότητα  $C_1$  της σήραγγας Ευήνου-Μόρνου εφόσον υπάρχει διαθέσιμος όγκος νερού στον ταμιευτήρα Ευήνου.

$$\max R_1(j) = \max[0, \min(S_1(j-1) + N_1(j), C_1)] \quad (3.25)$$

Ελέγχεται αν η πρόσθετη αυτή εισροή στο Μόρνο προκαλεί υπερχείλιση του ταμιευτήρα Μόρνου η οποία βέβαια δεν είναι επιθυμητή.

Η εισροή στο Μόρνο είναι

$$N_2(j)^* = N_2(j) + \max R_1(j) \quad (3.26)$$

όπου η εισροή  $N_2(j)$  δίνεται από την εξ. (3.4), η μέγιστη απόληψη από τον Ευήνο  $\max R_1(j)$  από μια εξίσωση εντελώς ανάλογη της (3.16α) και η απόληψη από το Μόρνο από την εξ. (3.16β) για εισροή  $N_2(j)^*$ .



Αν από την κατάρτιση του ισοζυγίου του ταμειυτήρα Μόρνου (εξ. 3.5, 3.6) προκύψει υπερχείλιση  $SP_2(j) > 0$  τότε γίνεται μείωση της απόληψης από τον Εύηνο τέτοια ώστε τελικά

$$R_1(j)^* = \max [0, \max R_1(j) - SP_2(j)] \quad (3.27)$$

Με τη νέα τιμή της εισροής στο Μόρνο

$$N_2(j)^{**} = N_2(j) + R_1^*(j) \quad (3.28)$$

καταρτίζεται νέο τελικό ισοζύγιο του ταμειυτήρα Μόρνου.

Στην αντίθετη περίπτωση που ο έλεγχος δίνει  $SP_2(j) = 0$  η απόληψη από τον Εύηνο παραμένει ίση με  $R_1(j) = \max R_1(j)$ .

Στην περίπτωση που το ισοζύγιο δίνει τελικό απόθεμα στο Μόρνο  $S_2(j) > Su_2$  όπου  $Su_2$  είναι ένα αυθαίρετο κατώφλι τότε γίνεται νέα μείωση της απόληψης από τον Εύηνο ώστε τελικά

$$R_1(j) = \max[0, R_1^*(j) - (S_2(j) - Su_2)] \quad (3.29)$$

Το ισοζύγιο του ταμειυτήρα Μόρνου καταρτίζεται με τη νέα τιμή της εισροής στο Μόρνο

$$N_2(j)^{***} = N_2(j) + R_1(j) \quad (3.30)$$

Στην περίπτωση που το κατώφλι  $Su_2$  θεωρηθεί ίσο με τη χωρητικότητα  $K_2$  του ταμειυτήρα Μόρνου γίνεται ουσιαστικά έλεγχος μόνο της υπερχείλισης του Μόρνου και τότε πρόκειται για τον κανόνα λειτουργίας χωρίς έλεγχο της στάθμης στο Μόρνο. Στην αντίθετη περίπτωση όπου  $Su_2 < K_2$ , τότε πρόκειται για τον κανόνα λειτουργίας με έλεγχο της στάθμης στο Μόρνο.

Τέλος γίνεται έλεγχος αν η στάθμη στον Εύηνο  $Z_1(j)$  στο τέλος του μήνα είναι μικρότερη εκείνης του Μόρνου  $Z_2(j)$  προσαυξημένη κατά τις υδραυλικές απώλειες  $h_{ap}$  στη σήραγγα Ευήνου-Μόρνου. Αν συμβαίνει κάτι τέτοιο τότε γίνεται μείωση της απόληψης από τον Εύηνο ώστε η στάθμη  $Z_1(j)$  να είναι ίση με  $Z_2(j) + h_{ap}$  (βλ. και παρ. 5.7).

### 3.3.2.β. Συνδυασμένοι ταμειευτήρες Μόρνου - Ευήνου - Ταμειευτήρα αναρρύθμισης (Σχ. 2)

Θεωρείται κατ' αρχήν ότι γίνεται η μέγιστη δυνατή απόληψη από τον Ευήνο (εξ. 3.25). Με εισροή στο Μόρνο που δίνεται από την εξ. (3.26) θεωρείται ότι γίνεται η μέγιστη δυνατή απόληψη από το Μόρνο (εξ. 3.16α) οπότε η εισροή στον ταμειευτήρα αναρρύθμισης είναι

$$N_4(j)^* = \max R_2(j) \quad (3.31)$$

Η απόληψη από τον ταμειευτήρα αναρρύθμισης είναι:

$$R_4(j) = \max\{0, \min[S_4(j-1) + N_4(j)^*, C_4, D(j)]\} \quad (3.32)$$

Καταρτίζεται το ισοζύγιο του ταμειευτήρα αναρρύθμισης και αν προκύπτει υπερχείλιση  $SP_4(j) > 0$  τότε μειώνεται η απόληψη από το Μόρνο

$$R_2(j) = \max[0, \max R_2(j) - SP_4(j)] \quad (3.33)$$

Καταρτίζεται στη συνέχεια το ισοζύγιο Μόρνου με απόληψη  $R_2(j)$  και αν προκύψει  $SP_2(j) > 0$  τότε μειώνεται η απόληψη από τον Ευήνο όπως στην προηγούμενη παράγραφο (εξ. 3.27). Υπάρχει βέβαια πάντα η δυνατότητα ελέγχου της στάθμης στο Μόρνο όπως στην προηγούμενη παράγραφο αλλά δεν εφαρμόστηκε στην περίπτωση που εξετάζεται εδώ καθώς τα αποτελέσματα προσομοίωσης του συστήματος Μόρνου-Ευήνου έδειξαν ότι ο έλεγχος της στάθμης στο Μόρνο δεν δίνει μεγαλύτερη συνολική απόληψη για το σύστημα.

### 3.3.2.γ. Συνδυασμένοι ταμειευτήρες Μόρνου-Ευήνου-Υλίκης (Σχ. 1)

Γίνεται απόληψη από τον Ευήνο  $R_1(j)$  ίση με τη μέγιστη ποσότητα  $\max R_1(j)$  που επιτρέπει η παροχетеυτικότητα της σήραγγας Ευήνου-Μόρνου  $C_1$  και τα αποθέματα στον ταμειευτήρα Ευήνου  $\max R_1(j)$  (εξίσωση 3.25).

Με εισροή  $N_2(j) + \max R_1(j)$  ο ταμειευτήρας Μόρνου διαθέτει απόθεμα

ίσο με  $N_2(j) + \max R_1(j) + S_2(j-1)$ . Εφόσον το απόθεμα αυτό υπερβαίνει ένα κατώφλι  $V_K$  τότε το περίσσευμα  $N_2(j) + \max R_1(j) + S_2(j-1) - V_K$  θεωρείται ότι μπορεί να διατεθεί για ύδρευση της Αθήνας. Έτσι η μέγιστη απολήψιμη ποσότητα από το Μόρνο είναι

$$\max R_2(j) = \max[0, \min(S_2(j-1) + N_2(j) + \max R_1(j) - V_K, C_2)] \quad (3.34)$$

και η πραγματική απόληψη

$$R_2(j) = \min(\max R_2(j), D(j))$$

Όσον αφορά τη λίμνη Υλίκη γίνεται καταρχήν απόληψη  $IR_3(j)$  για άρδευση της Κωπαΐδας (εξίσωση 3.19) με διατήρηση του αποθέματος ασφαλείας έναντι βλάβης του υδαταγωγού Μόρνου  $SF_3$ .

Η μέγιστη απολήψιμη ποσότητα από την Υλίκη για ύδρευση της Αθήνας δίνεται από την εξίσωση 3.20 με διατήρηση αποθεμάτων ασφαλείας έναντι βλάβης του υδαταγωγού Μόρνου  $SF_3$  και για άρδευση της Κωπαΐδας  $SR_3$ .

Επιδιώκεται η ικανοποίηση του υπόλοιπου της ζήτησης της Αθήνας από την Υλίκη

$$R_3(j) = \min(D(j) - R_2(j), \max R_3(j)) \quad (3.35)$$

Το υπόλοιπο της ζήτησης λαμβάνεται από τον ταμειευτήρα Μόρνου:

$$R_2(j)^* = \min(\max R_2(j) - R_2(j), D(j) - R_3(j) - R_2(j)) \quad (3.36)$$

Αν πάλι υπάρξει έλλειμμα στην ικανοποίηση της ζήτησης τότε λαμβάνονται και τα αποθέματα ασφαλείας στην Υλίκη. Στην περίπτωση αυτή η μέγιστη απολήψιμη ποσότητα από την Υλίκη είναι:

$$\max R_3(j)^* = \max[0, \min(S_3(j-1) + N_3(j) - IR_3(j) - R_3(j), C_3 - R_3(j))] \quad (3.37)$$

και η πραγματική συμπληρωματική απόληψη

$$R_3(j)^* = \min(\max R_3(j)^*, D(j) - R_3(j) - R_2(j) - R_2(j)^*) \quad (3.38)$$

Τέλος γίνεται έλεγχος της υπερχειλίσης του Μόρνου καθώς και της διαφοράς στάθμης των ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου όπως στην παράγραφο 3.3.2.α.

Αν το κατώφλι  $V_K$  θεωρηθεί ίσο με την χωρητικότητα του ταμιευτήρα Μόρνου  $K_2$  τότε προκύπτει ο κανόνας απόλυτης προτεραιότητας Υλίκης. Αλλιώς πρόκειται για κανόνα εναλλακτικής προτεραιότητας Μόρνου-Υλίκης.

### 3.3.2.δ. Συνδυασμένοι ταμιευτήρες Μόρνου-Ευήνου-Υλίκης-Ταμιευτήρα αναρρύθμισης (Σχ. 2)

Λαμβάνεται καταρχήν από τον ταμιευτήρα Ευήνου η μέγιστη δυνατή ποσότητα  $\max R_1(j)$  που επιτρέπει η παροχετευτικότητα της σήραγγας Ευήνου-Μόρνου  $C_1$  και τα αποθέματα στον ταμιευτήρα (εξίσωση 3.25).

Εφόσον το απόθεμα στο Μόρνο υπερβαίνει ένα κατώφλι  $V_K$ , το περίσσευμα παροχετεύεται προς τον ταμιευτήρα αναρρύθμισης  $R_2(j) = \max R_2(j)$  ( $\max R_2(j)$  από εξίσωση 3.34).

Όσον αφορά τη λίμνη Υλίκη, ικανοποιείται καταρχήν η ζήτηση για άρδευση της Κωπαΐδας  $IR_3(j)$  (εξίσωση 3.17.α), χωρίς διατήρηση αποθεμάτων ασφαλείας.

Με διατήρηση στην Υλίκη αποθέματος ασφαλείας  $SR_3$  για άρδευση της Κωπαΐδας (εξίσωση 3.11) ο μέγιστος απολήψιμος όγκος από την Υλίκη είναι

$$\max R_3(j) = \max[0, \min(S_3(j-1) + N_3(j) - SR_3(j) - IR_3(j), C_3)] \quad (3.39)$$

Η ζήτηση της Αθήνας καλύπτεται κατά πρώτη προτεραιότητα από την Υλίκη:

$$R_3(j) = \min(\max R_3(j), D(j)) \quad (3.40)$$

ενώ το περίσσευμα παροχετεύεται προς τον ταμιευτήρα αναρρύθμισης με μέγιστο απολήψιμο όγκο

$$\begin{aligned} \max R_5(j) = \max[0, \min(S_3(j-1) + N_3(j) - SR_3(j) \\ - IR_3(j) - R_3(j), C_5)] \end{aligned} \quad (3.41)$$

Στη συνέχεια γίνεται νέα παροχέτευση από τον ταμιευτήρα Μόρνου στον ταμιευτήρα αναρρύθμισης με επιδίωξη να γεμίσει ο τελευταίος, χωρίς αυτή τη φορά να τίθεται κατώφλι περιορισμού της απόληψης.

$$\begin{aligned} \max R_2(j)^* = \max[0, \min(S_2(j-1) + N_2(j) + R_1(j) \\ - R_2(j), C_2 - R_2(j))] \end{aligned} \quad (3.42)$$

Το υπόλοιπο της ζήτησης της Αθήνας καλύπτεται από τον ταμιευτήρα αναρρύθμισης του οποίου η εισροή είναι

$$N_K(j) = \max R_2(j) + \max R_5(j) + \max R_2(j)^* \quad (3.43)$$

η μέγιστη απολήψιμη ποσότητα νερού

$$\max R_4(j) = \max[0, \min(S_4(j-1) + N_4(j), C_4)] \quad (3.44)$$

και η πραγματική απόληψη

$$R_4(j) = \min(\max R_4(j), D(j) - R_3(j)) \quad (3.45)$$

Αν στον ταμιευτήρα αναρρύθμισης προκύψει υπερχείλιση ( $SR_4 > 0$ ) τότε γίνεται σταδιακά μείωση της απόληψης από το Μόρνο ( $\max R_2(j)^*$ ) κάτω από το κατώφλι  $V_K$ , από την Υλίκη ( $\max R_5(j)$ ) και τέλος από το Μόρνο πάνω από το κατώφλι ( $\max R_2(j)$ ).

Αν τελικά υπάρχει πάλι υπόλοιπο ζήτησης τότε λαμβάνονται και το απόθεμα ασφαλείας στην Υλίκη  $SR_3$  εφόσον το επιτρέπει η παροχευετικότητα του υδραγωγείου Υλίκης  $C_3$  ( $R_3(j)^*$  από εξισώσεις 3.37, 3.38).

Η συνολική απόληψη από το σύστημα είναι

$$R(j) = R_4(j) + R_3(j) + R_3^*(j) \quad (3.46)$$

Τέλος γίνεται έλεγχος της υπερχείλισης του Μόρνου και της διαφοράς στάθμης στους ταμιευτήρες Μόρνου και Ευήνου όπως στην παράγραφο 3.3.2.α.

Στην περίπτωση που το κατώφλι  $V_K$  στον ταμιευτήρα Μόρνου θεωρηθεί ίσο με τη χωρητικότητα του ταμιευτήρα  $K_2$  τότε προκύπτει ο κανόνας απόλυτης προτεραιότητας Υλίκης. Αλλιώς πρόκειται για κανόνα εναλλακτικής προτεραιότητας Μόρνου-Υλίκης.

#### 4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΝΕΚΡΟΥ ΟΓΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΕΥΗΝΟΥ

##### 4.1. Εκτιμήσεις στερεοαπορροής από παλιότερες μελέτες

Από τις διαθέσιμες μελέτες που αφορούν τη λεκάνη του ποταμού Ευήνου δε βρέθηκαν στοιχεία για την επιχωμάτωση των προτεινομένων έργων παρά μόνο στη μελέτη Masterplan Evinos της Verbund Plan (1972, Vol. III, Hydrology). Επισκόπηση της μελέτης αυτής έγινε σε άλλο τεύχος του παρόντος ερευνητικού έργου (Τεύχος 2, Α' φάση) και εδώ θα αναφέρουμε απλώς μερικά στοιχεία σχετικά με εκτιμήσεις όγκου φερτών.

Ο μελετητής, που είχε στη διάθεσή του μόνον 6 μετρήσεις στερεοπαροχής σε αιώρηση, επισημαίνει καταρχήν την ανεπάρκεια των μετρήσεων αυτών για οποιουσδήποτε υπολογισμούς. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε συνίσταται στα εξής:

1. Απεικόνιση των μετρήσεων παροχής-στερεοπαροχής σε διπλό λογαριθμικό χαρτί τόσο για τον Εύηνο όσο και για γειτονικές λεκάνες με ικανοποιητικό αριθμό μετρήσεων και εξαγωγή της καμπύλης μεταφοράς φερτών.
2. Εκτίμηση της μέσης ετήσιας στερεοαπορροής σε αιώρηση από την καμπύλη διάρκειας των παροχών στη θέση Γεφ. Μπανιά της λεκάνης του Ευήνου (906 km<sup>2</sup>), και την παραπάνω καμπύλη μεταφοράς φερτών. Η εκτίμηση αυτή ήταν 330 τον/έτος/km<sup>2</sup>.

Στη συνέχεια ο μελετητής θεωρεί ότι το ποσοστό της στερεοαπορροής σε σύρση είναι πολύ μικρό σε σχέση με εκείνο της στερεοαπορροής σε αιώρηση. Έτσι με την παραπάνω τιμή των 330 τον/έτος/km<sup>2</sup> της ολικής πια στερεοαπορροής υπολογίστηκαν οι ετήσιοι όγκοι των φερτών για τα προτεινόμενα φράγματα Φαμίλας και Δενδροχωρίου καθώς και ο αναμενόμενος χρόνος επίχωσης των αντίστοιχων ταμιευτήρων μέχρι την κατώτερη στάθμη λειτουργίας. Η στάθμη αυτή προέκυψε από προσομοίωση της λειτουργίας των ταμιευτήρων. Για το φράγμα Δενδροχωρίου, το οποίο και μόνο ενδιαφέρει εδώ, βρέθηκαν:

- Μέση ετήσια στερεοαπορροή:  $86.5 * 10^3$  τόνοι/έτος

- Κατακρατούμενος όγκος φερτών:  $56.2 * 10^3 \text{ m}^3/\text{έτος}$  (για κατακράτηση 50% και ειδικό βάρος  $1.3 \text{ τον}/\text{m}^3$ . Στην πραγματικότητα στον υπολογισμό της τιμής του όγκου φερτών υπάρχει ένα λογιστικό λάθος, που ισοδυναμεί με παραδοχή κατακράτησης 85%).
- Χρόνος επιχωμάτωσης: 1000 χρόνια, για νεκρό όγκο  $56 * 10^6 \text{ m}^3$  στη στάθμη +637 m.

#### 4.2. Μετρήσεις στερεοπαροχής αιωρουμένων φερτών

Στο σύνολο της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευήνου υπάρχουν μετρήσεις στερεοπαροχής που έγιναν από τη ΔΕΗ στις παρακάτω τέσσερις θέσεις:

- Γέφυρα Μπανιά
- Πόρος Ρηγανίου
- Αχλαδόκαστρο
- Γέφυρα Νεοχωρίου

Ο επιφάνειες των λεκανών απορροής ανάντη της καθεμιάς θέσης είναι αντίστοιχα 906, 884, 641 και 262  $\text{km}^2$ . Συνολικά μας χορηγήθηκαν από τη ΔΕΗ 77 σποραδικές ταυτόχρονες μετρήσεις παροχής και στερεοπαροχής σε αιώρηση για την περίοδο 1970-1983. Από αυτές μόνο 4 έγιναν κατά την ξηρή περίοδο Ιουνίου-Νοεμβρίου.

Για τον υπολογισμό της μέσης ετήσιας στερεοαπορροής σε αιώρηση απαιτείται επίσης η χρονοσειρά των ημερήσιων παροχών του ποταμού για όσο το δυνατόν μεγαλύτερη χρονική περίοδο. Κατά την Α' φάση του παρόντος ερευνητικού έργου βρέθηκε ότι η πιο πλήρης και αξιόπιστη σειρά ημερήσιων παροχών είναι εκείνη της θέσης Πόρος Ρηγανίου. Για το λόγο αυτό η ανάλυση των δεδομένων περιορίστηκε στη θέση αυτή και έγινε αναγωγή των μετρήσεων στερεοπαροχής από τις άλλες θέσεις. Για την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων στις εναλλακτικές θέσεις των προτεινομένων φραγμάτων Περίστας, Αγ. Δημητρίου και Δενδροχωρίου ακολουθήθηκε η αντίστροφη διαδικασία. Τελικά, οι ημερήσιες παροχές στον Πόρο Ρηγανίου που χρησιμοποιήθηκαν περιέλαβαν εκείνα τα υδρολογικά έτη όπου δεν



υπάρχει καμιά έλλειψη δεδομένων (1961-62, 1970-71 έως 1986-87).

Οι μετρήσεις παροχής-στερεοπαροχής στις 4 θέσεις του ποταμού Ευήνου αρχειοθετήθηκαν με τη βοήθεια προγράμματος τύπου spreadsheet (Πίνακες B-1, B-2, B-3, B-4 συμπλήρωμα Β). Η πλήρης χρονοσειρά των παροχών στον Πόρο Ρηγανίου λήφθηκε από τη βάση δεδομένων του παρόντος ερευνητικού έργου με αυτόματο εντοπισμό και εκτύπωση των δεδομένων για τη χρονική διάρκεια που μας ενδιέφερε.

#### 4.3. Υπολογισμός της καμπύλης μεταφοράς φερτών

Όπως είναι γνωστό, το υψηλό κόστος των μετρήσεων στερεοπαροχής αποκλείει την πραγματοποίηση τέτοιων μετρήσεων σε ημερήσια βάση. Σχεδόν πάντα οι ταυτόχρονες μετρήσεις παροχής-στερεοπαροχής γίνονται οποραδικά και γι' αυτό δεν επιτρέπουν παρά μόνο την εγκαθίδρυση μιας αμφιμονοσήμαντης σχέσης μεταξύ της παροχής  $Q$  (water discharge) και της στερεοπαροχής  $Q_s$  (sediment discharge) γνωστής ως καμπύλης μεταφοράς φερτών (sediment yield curve). Η καμπύλη αυτή, σε συνδυασμό με τις ημερήσιες τιμές της παροχής  $Q$  για μεγάλη χρονική περίοδο, δίνει μία εκτίμηση του μέσου αναμενόμενου όγκου φερτών σε ετήσια βάση ή αλλιώς της μέσης ετήσιας στερεοαπορροής  $G$  (sediment yield). Το μέγεθος αυτό μετριέται σε τόννους/έτος ή με αναγωγή στη μονάδα επιφάνειας της αντίστοιχης λεκάνης απορροής σε τόννους/έτος/ $\text{km}^2$ .

Ο σχετικά μικρός αριθμός μετρήσεων παροχής-στερεοπαροχής σε κάθε σταθμό μας ώθησε να ομαδοποιήσουμε τις μετρήσεις των σταθμών μετά από αναγωγή στη μονάδα επιφάνειας της αντίστοιχης λεκάνης απορροής τόσο της παροχής όσο και της στερεοπαροχής. Το ενοποιημένο δείγμα παροχής  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ ) - στερεοπαροχής  $Q_s$  ( $\text{kg}/\text{sec}/\text{km}^2$ ) φαίνεται στο Σχήμα 3. Με βάση το δείγμα αυτό υπολογίστηκε η καμπύλη μεταφοράς φερτών. Εξαιρέθηκαν όμως στη συνέχεια 3 σημεία, τα οποία και σημειώνονται με αστερίσκο στο Σχήμα 3. Η τελική καμπύλη δίνεται από την εξίσωση

$$Q_s = 67.6 Q^{1.682}$$

(4.1)

ενώ ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης είναι:

$$r = 0.836$$

Το γεγονός ότι η προσαρμογή της καμπύλης αυτής (Σχ.3) δε φαίνεται ικανοποιητική στις ψηλές τιμές της στερεοπαροχής μας οδήγησε στην προσαρμογή νέας καμπύλης εισάγοντας μία τρίτη παράμετρο ως εξής:

$$Q_s = a (Q + c)^b \quad (4.2)$$

Η τιμή της  $c$  βρίσκεται με δοκιμές. Επιλέγεται τελικά εκείνη η τιμή που μεγιστοποιεί ένα αριθμητικό κριτήριο καλής προσαρμογής της καμπύλης στις ψηλές τιμές της στερεοπαροχής. Ως τέτοιο κριτήριο χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης  $r'$  μεταξύ μετρημένης και εκτιμημένης στερεοπαροχής για τιμές μεγαλύτερες από ένα κατώφλι (εδώ  $0.1 \text{ kg/sec/km}^2$ ).

Με βάση το κριτήριο αυτό η καλύτερη καμπύλη της μορφής 4.2 είναι:

$$Q_s = 31.6 (Q + 0.035)^{3.678} \quad (4.3)$$

με συντελεστή συσχέτισης  $r'$  για τις υψηλές τιμές ίσο με 0.228 και συντελεστή συσχέτισης για όλο το δείγμα 0.888.

Στα Σχήματα 2, 3, 4, 5 φαίνεται για κάθε σταθμό η καλή συμφωνία της καμπύλης με τα δεδομένα του κάθε σταθμού ξεχωριστά. Επικυρώνεται έτσι η μέθοδος της ενοποίησης των δειγμάτων των 4 σταθμών την οποία εφαρμόσαμε.

Τέλος επισημαίνουμε ότι ο εξαιρετικά μικρός αριθμός μετρήσεων κατά την ξηρή περίοδο (3) δε μας επέτρεψε να υπολογίσουμε ξεχωριστή καμπύλη μεταφοράς φερτών για την περίοδο αυτή.

#### 4.4. Υπολογισμός μέσης ετήσιας στερεοαπορροής σε αιώρηση από μετρήσεις

Η μέση ετήσια στερεοαπορροή σε αιώρηση  $G$  στη θέση Πόρος Ρηγανίου προέκυψε από τις 6574 τιμές στερεοπαροχής που υπολογίστηκαν με

βάση το δείγμα ημερησίων παροχών και την εξίσωση 4.3. Βρέθηκε η τιμή  $G = 734$  τόννοι/ $\text{km}^2$ /έτος.

Ενας δεύτερος τρόπος, ο οποίος εφαρμόστηκε σχεδόν αποκλειστικά στο παρελθόν, κυρίως λόγω του μικρού όγκου υπολογισμών, είναι η αριθμητική ολοκλήρωση της σχέσης:

$$G = T \int_0^1 g(Q) f(Q) dQ \quad \text{ή} \quad T \int_0^1 g(Q) dF(Q) \quad (4.4)$$

όπου:

$g(Q)$  = καμπύλη μεταφοράς φερτών

$f, F$  = καμπύλες συχνότητας και διάρκειας των παροχών  
αντίστοιχα

$T$  = περίοδος υπολογισμού

Η εφαρμογή της δεύτερης αυτής μεθόδου στο παρόν ερευνητικό έργο έδωσε για διάφορες τιμές του βήματος διακριτοποίησης των παροχών  $\Delta Q$ , τιμές της μέσης ετήσιας στερεοαπορροής μεγαλύτερες από εκείνη της πρώτης μεθόδου. Μόνο για μεγάλο αριθμό  $\Delta Q$  (γύρω στο 100) η τιμή του  $G$  βρέθηκε να συμπίπτει πρακτικά με εκείνη της πρώτης μεθόδου.

#### 4.5. Υπολογισμός μέσης ετήσιας στερεοαπορροής σε αιώρηση με βάση εμπειρική σχέση για ελληνικά ποτάμια

Επειτα από έρευνες στο σύνολο σχεδόν των διαθέσιμων δεδομένων στερεοπαροχής σε ελληνικά ποτάμια (Κουτσογιάννης, Ταρλά 1987) βρέθηκε η ακόλουθη εμπειρική σχέση:

$$G = 15\gamma e^{3P} \quad (4.5)$$

όπου:

$G$  = ετήσια στερεοαπορροή σε αιώρηση σε τόννους/έτος/ $\text{km}^2$

$P$  = ετήσιο ύψος βροχής σε m

$\gamma$  = γεωλογικός συντελεστής που δίνεται από τη σχέση

$$\gamma = K_1 p_1 + K_2 p_2 + K_3 p_3$$

με,  $p_1, p_2, p_3$  τα ποσοστά εμφάνισης στη λεκάνη απορροής των παρακάτω ομάδων πετρωμάτων με τα αντίστοιχα μέτρα διαβρωσιμότητάς τους  $K_1, K_2, K_3$

- |  |             |
|--|-------------|
| 1. Ομάδα υψηλής διαβρωσιμότητας<br>Αλλούβια, φλύσχης                                       | $K_1 = 1$   |
| 2. Ομάδα μέτριας διαβρωσιμότητας<br>Μάργες, Ψαμμίτες, σχιστόλιθοι                          | $K_2 = 0.5$ |
| 3. Ομάδα χαμηλής διαβρωσιμότητας<br>Ασβεστόλιθοι, δολομίτες, μεταμορ-<br>φωμένα εκρηξιγενή | $K_3 = 0.1$ |

Για τη λεκάνη ανάντη της θέσης Πόρος Ρηγανίου βρέθηκε από γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (Κλ. 1:250.000) ότι στη λεκάνη αυτή εμφανίζονται:

Ασβεστόλιθος: 51.4%, Φλύσχης: 48.6%

Με βάση τα δεδομένα αυτά ο γεωλογικός συντελεστής  $\gamma$  υπολογίστηκε ίσος με 0.537. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στη λεκάνη, όπως αυτή υπολογίστηκε στο παρόν ερευνητικό έργο, είναι ίση με 1484.6 mm. Με τις τιμές αυτές των  $\gamma$  και  $P$  η εμπειρική σχέση (4.5) έδωσε μέση ετήσια στερεοαπορροή σε αιώρηση ίση με 692 τόννους/έτος/km<sup>2</sup>, τιμή η οποία βρίσκεται σε πολύ καλή συμφωνία με εκείνη που προέκυψε από μετρήσεις (734 τόννους/έτος/km<sup>2</sup>).

#### 4.6. Ολική στερεοαπορροή - Ογκος αποτιθεμένων φερτών στις θέσεις φραγμάτων

Από τις εκτιμήσεις της μέσης ετήσιας στερεοαπορροής σε αιώρηση που υπολογίστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους δεχόμαστε τελικά την τιμή  $G = 734$  τόννοι/έτος/km<sup>2</sup> για τη θέση πάντα του σταθμού Πόρου Ρηγανίου. Πρασαυξάνοντας την τιμή αυτή κατά 15% ώστε να ληφθεί υπόψη και η στερεοαπορροή σε σύρση, παίρνουμε τελικά μια εκτίμηση της μέσης ετήσιας ολικής στερεοαπορροής

$$G_{ολ} = 1.15 * 734 = 844 \text{ τόννοι/έτος/km}^2$$

Μετά από πολλές έρευνες στις Ην. Πολιτείες (Vanoni, 1977) βρέθηκε ότι η στερεοαπορροή ανά μονάδα επιφάνειας εξαρτάται από την επιφάνεια  $A$  και μάλιστα είναι αντίστροφα ανάλογη του  $A^{0.2}$ . Αυτή η εμπειρική σχέση λήφθηκε υπόψη στον υπολογισμό της ολικής

## 5. ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΕΥΗΝΟΥ

### 5.1 Επίπεδο αξιοπιστίας

Η πιθανοτική προσέγγιση στο θέμα της αξιοπιστίας ενός υδροδοτικού συστήματος είναι η μόνη επιστημονικά θεμελιωμένη. Η προσέγγιση αυτή επιβάλλει την αποδοχή ενός δεδομένου επιπέδου αξιοπιστίας,  $\alpha$ , και μιας δεδομένης πιθανότητας αστοχίας  $1-\alpha$ , του συστήματος. Η πιθανότητα αστοχίας δε μπορεί ποτέ να είναι μηδενική, αλλά μπορεί να γίνει οσοδήποτε μικρή, με την κατασκευή των κατάλληλων έργων και την εξασφάλιση του κατάλληλου τρόπου λειτουργίας τους.

Θεωρούμε ότι είναι επιβεβλημένη η αποδοχή ενός αυξημένου επιπέδου αξιοπιστίας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, για τον κύριο λόγο ότι πρόκειται για ένα πολύ σοβαρό έργο, που καλύπτει βασικότερες ανάγκες των κατοίκων μιας μεγαλούπολης όπως η Αθήνα. Η αστοχία του έργου αυτού θα είχε μείζονες συνέπειες, που δεν είναι εύκολο να εκτιμηθούν. Δύο πρόσθετοι λόγοι που αφορούν κυρίως μεθοδολογικές αδυναμίες, συνηγορούν στην αποδοχή αυξημένου επιπέδου αξιοπιστίας. Οι λόγοι αυτοί είναι

- (α) η ύπαρξη ανακρίβειών στα δεδομένα εισροών στους ταμειευτήρες και διαφυγών από αυτούς και
- (β) το γεγονός ότι, λόγω των πολλών μεταβλητών που περιγράφουν το σύστημα, και των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων τους, δεν είναι δυνατό να υπολογιστούν όρια εμπιστοσύνης, παρά μόνο μέσες αναμενόμενες εκτιμήσεις των μεταβλητών απόφασης.

Στο ερευνητικό αυτό έργο επιλέξαμε ως αποδεκτό για την κανονική (συνήθη) πολιτική απολήψεων το επίπεδο αξιοπιστίας 99%, που ορίζεται από το δυσμενέστερο συντελεστή  $\alpha$  (βλ. παρ. 2.1) και αντιστοιχεί στις κύριες πηγές τροφοδοσίας (Μόρνος-Υλίκη-Εύηνος). Αυτό σημαίνει ότι δεχόμαστε γινικά πιθανότητα αστοχίας 1% κάθε χρόνο. Διευκρινίζεται ότι η αστοχία του συστήματος δε σημαίνει παντελή έλλειψη υδροδότησης κατά το έτος που πραγματοποιείται, ούτε δηλώνει ένα φαινόμενο που επεκτείνεται σε όλη τη διάρκεια ενός (υδρολογικού) έτους. Αντίθετα, σημαίνει μερική ή ολική αστοχία στην ικανοποίηση της ζήτησης, σε ένα περιορισμένο χρονικό

διάστημα μέσα στο έτος (π.χ. 2 μήνες) και πλήρη ικανοποίηση για το υπόλοιπο διάστημα. Η αποτυχία της πλήρους κάλυψης της ζήτησης 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 παροχетеυτικότητας των αγωγών μεταφοράς
- είτε σε συνδυασμό των δύο παραπάνω λόγων (π.χ. εξάντληση της παροχетеυτικότητας του αγωγού μεταφοράς ενός ταμιευτήρα, με ταυτόχρονο άδειασμα των άλλων ταμιευτήρων).

Σημειώνεται ότι το παραπάνω επίπεδο αξιοπιστίας  $a_1=99\%$  αντιστοιχεί πρακτικά (όπως έδειξαν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης) σε  $a_2=99.8\%$ , που σημαίνει ότι κατά μέσο όρο σε 2 από τους 1000 μήνες εμφανίζεται πρόβλημα, και σε  $a_3=99.9\%$  που σημαίνει ότι κατά μέσο όρο από 1000 μονάδες ζήτησης ικανοποιούνται οι 999.

Οι παραπάνω τιμές των συντελεστών αξιοπιστίας αναφέρονται στην κανονική (συνήθη) πολιτική απολήψεων από το σύστημα και αφορούν στις κύριες πηγές τροφοδοσίας, χωρίς να συμπεριλαμβάνονται οι εφεδρικές πηγές. Είναι φανερό ότι σε περίπτωση επερχόμενης αστοχίας θα λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα για την αντιμετώπιση της κατάστασης, που θα αυξάνουν τους συντελεστές αξιοπιστίας και θα μειώνουν τους κινδύνους λειψυδρίας. Τέτοια μέτρα μπορεί να είναι (ανάλογα με τη σοβαρότητα της κατάστασης)

- Περιορισμός ή διακοπή των αρδευτικών χρήσεων (π.χ. άρδευση Κωπαΐδας)
- Χρησιμοποίηση των αποθεμάτων ασφαλείας των ταμιευτήρων
- Ενεργοποίηση εφεδρικών πηγών με ταυτόχρονη αναζήτηση νέων εφεδρικών πηγών (π.χ. εκτέλεση νέων γεωτρήσεων)
- Μεταφορά νερού από άλλες λεκάνες απορροής με δεξαμενόπλοια

- Περιορισμός της κατανάλωσης

Παρά την πρόσφατη αρνητική εμπειρία από τη λειψυδρία που έχει επιβάλει την εφαρμογή σχεδίων έκτακτης ανάγκης, θεωρούμε ότι το επίπεδο αξιοπιστίας  $\alpha_1=99\%$  είναι ικανοποιητικό. Κατά συνέπεια αποδεχόμαστε ότι κατά μέσο όρο μια φορά στα 100 χρόνια θα υπάρχει ανάγκη να μελετηθεί και να εφαρμοστεί ένα σχέδιο έκτακτης ανάγκης με κίνδυνο να μην καλυφθεί πλήρως η ζήτηση. Ας σημειωθεί ότι στην έρευνα αυτή τα επίπεδα αξιοπιστίας και οι αντίστοιχες πιθανότητες αστοχίας, ορίζονται με την προϋπόθεση ότι στα επόμενα χρόνια δε θα συμβεί κάποια μείζων κλιματική αλλαγή, παρόλο που και το ενδεχόμενο αυτό δε μπορεί να αποκλειστεί. Δυστυχώς από τα μέχρι τώρα δεδομένα δε μπορεί να γίνει καμιά αξιόπιστη πρόβλεψη σχετικά με το θέμα αυτό και εκ των πραγμάτων δεχόμαστε ότι η στατιστική εικόνα των υδρολογικών δειγμάτων που είναι διαθέσιμα (μέχρι και το υδρολογικό έτος 1987-88) δε θα μεταβληθεί κατά τα επόμενα υδρολογικά έτη. Με αυτή τη λογική αποδίδουμε στα φαινόμενα ξηρασίας που έχουν συμβεί τα τελευταία χρόνια ένα συγκυριακό ή τυχαίο χαρακτήρα, θεωρώντας ότι δεν υποδηλώνουν μόνιμη κλιματική αλλαγή. Προφανώς αν η πραγματικότητα είναι διαφορετική, και η υδρολογική διαίτα των τελευταίων ετών συνεχιστεί και στο μέλλον, τότε τα επίπεδα αξιοπιστίας που δίνουμε δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

Ανακεφαλαιώνοντας τα παραπάνω, αποδεχόμαστε τα ακόλουθα:

- α. Το επίπεδο αξιοπιστίας για το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας ορίζεται ίσο με  $\alpha_1=99\%$  για την κανονική (συνήθη) πολιτική απολήψεων, και για τις κύριες πηγές τροφοδοσίας (Μόρνος - Υλίκη - Εύηνος). Το επίπεδο αξιοπιστίας αυτό χρησιμοποιείται σε όλες τις προσομοιώσεις καθορισμού δυνατοτήτων του συστήματος.
- β. Για έκτακτες περιπτώσεις, όπως η σημερινή συγκυρία, και για τις προσομοιώσεις καθορισμού πιθανοτήτων αστοχίας χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση αυξημένες τιμές της αξιοπιστίας ( $\alpha_1 > 99\%$ ), ενώ παίρνονται υπόψη και οι εφεδρικές πηγές ύδρευσης, και συνυπολογίζονται και τυχόν άλλα μέτρα

που περιλαμβάνονται στο σχέδιο αντιμετώπισης της κατάστασης.

- γ. Οι τιμές των επιπέδων αξιοπιστίας, και οι αντίστοιχες τιμές των απολήψεων βασίζονται στην υπόθεση στατιστικά σταθερής υδρολογικής διάιτας για τα επόμενα υδρολογικά έτη, χωρίς να αντιμετωπίζεται το ενδεχόμενο μόνιμων κλιματικών αλλαγών.

## 5.2. Χαρακτηριστικές στάθμες ταμιευτήρων

Κατά την επισκόπηση παλιότερων μελετών για τις εναλλακτικές θέσεις φράγματος στον Εύηνο (Τετρακτύς - Κόμης, 1977 και Verbund Plan, 1972) δε βρέθηκαν στοιχεία σχετικά με τις καμπύλες στάθμης-όγκου και στάθμης-επιφάνειας παρά μόνο στη μελέτη της Verbund Plan. Η μελέτη αυτή, που διερεύνησε διάφορα εναλλακτικά σχήματα για την αξιοποίηση του υδροδυναμικού του συνόλου σχεδόν της λεκάνης του Εύηνου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, περιλάμβανε μεταξύ άλλων έργων και τους ταμιευτήρες Περίστας και Δενδροχωρίου όχι όμως τον ταμιευτήρα Αγίου Δημητρίου. Μετά από εμβαδομέτρηση στους χάρτες της μελέτης και σύγκριση με εμβαδομετρήσεις σε χάρτες της ΓΥΣ βρέθηκαν σημαντικές αποκλίσεις των μετρήσεων αυτών. Επίσης βρέθηκαν αποκλίσεις μεταξύ των εμβαδομετρήσεων σε χάρτες της μελέτης και των αντίστοιχων καμπύλων της μελέτης. Για τους λόγους αυτούς, εκτός από την εκτίμηση των καμπυλών στάθμης-όγκου και στάθμης-επιφάνειας για τον ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου, κρίθηκε σκόπιμο να επαναληφθεί ο υπολογισμός των καμπυλών αυτών και για τους ταμιευτήρες Δενδροχωρίου και Περίστας.

Οι νέες αυτές καμπύλες όπως αυτές υπολογίστηκαν στο παρόν ερευνητικό έργο, φαίνονται στα σχήματα 9 έως 11. Ο πυθμένας του ταμιευτήρα Εύηνου βρίσκεται στα +560 m για το Δενδροχώρι, στα +420 m για τον Αγιο Δημήτριο και στα +380 m για την Περίστα. Ο νεκρός όγκος και για τους τρεις ταμιευτήρες εκτιμήθηκε σε  $17 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  (βλ. κεφ. 4) και οι αντίστοιχες στάθμες φαίνονται στον Πίνακα 2.

Για τον ωφέλιμο όγκο του κάθε ταμιευτήρα θεωρήθηκαν διάφορες εναλλακτικές τιμές που φαίνονται στον Πίνακα 2 μαζί με τις



αντίστοιχες στάθμες που αντιστοιχούν σε διάφορα εναλλακτικά ύψη φράγματος.

Η μέγιστη στάθμη για τις ανάγκες της διαστασιολόγησης των ταμιευτήρων πάρθηκε κατά προσέγγιση ίση με τη μέγιστη στάθμη που είχε χρησιμοποιήσει η Verbund Plan (1972) για τη βέλτιστη αξιοποίηση του υδροδυναμικού του Εύηνου. Σημειώνεται ότι στην παλιότερη αυτή μελέτη υπήρχε κάποια τεκμηρίωση της επιλογής της μέγιστης δυνατής στάθμης για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με βάση γεωλογικά και άλλα στοιχεία.

### ΠΙΝΑΚΑΣ 2

#### ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΩΦΕΛΙΜΟΥ ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΟΓΚΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΕΥΗΝΟΥ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ ΚΑΙ ΥΨΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Ωφέλιμος όγκος * 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Ολικός όγκος * 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Μέγιστη στάθμη λειτουργίας (m) (και ύψος φράγματος σε m)		
		Δενδροχώρι Πυθμ.+560 m Υδρολ.+619.0 m	Αγ. Δημήτριος Πυθμ.+420 m Υδρολ.+458.1 m	Περίστα Πυθμ. +380 m Υδρολ. +436.7 m
10	27	628.8 (74)	466.1 (52)	445.9 (71)
50	67	653.1 (98)	490.2 (76)	468.0 (93)
100	117	672.6 (118)	509.2 (95)	485.6 (111)
150	167	687.3 (133)		494.8 (120)
199	216			509.9 (135)
252	269	709.9 (155)		

Τα παράπανω μεγέθη ταμιευτήρων στον Εύηνο χρησιμοποιήθηκαν εναλλακτικά στο μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας του συστήματος Μόρνου-Εύηνου και οι διάφορες σειρές αποτελεσμάτων παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 6.

Σε ότι αφορά τον ταμιευτήρα Μόρνου η ελάχιστη στάθμη καθορίζεται από τη στάθμη υδροληψίας. Το κατώφλι υδροληψίας είναι στα +377 m και η διάμετρος της σήραγγας Γκιώνας είναι 3.20 m. Για να εξασφαλίζεται πάντοτε η παροχή στη σήραγγα των 23.0 m<sup>3</sup>/sec

θεωρήθηκε ότι η στάθμη νερού στον ταμιευτήρα πρέπει να υπερβαίνει τα +382 m. Στη στάθμη αυτή αντιστοιχεί νεκρός όγκος ταμιευτήρα ίσος με  $118.6 * 10^6 \text{ m}^3$ . Η μέγιστη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα είναι στα +435 m με αντίστοιχο συνολικό όγκο ταμιευτήρα  $762 * 10^6 \text{ m}^3$  και ωφέλιμο όγκο  $643.4 * 10^6 \text{ m}^3$ .

### 5.3. Παροχετευτικότητες αγωγών

Η παροχετευτικότητα σχεδιασμού της σήραγγας Ευήνου-Μόρνου αποτελεί έναν από τους αγνώστους του προβλήματος και κατά συνέπεια θα προσδιοριστεί μετά από δοκιμές προσομοίωσης λειτουργίας του συστήματος. Θεωρήθηκε ότι η τελική τιμή της παροχετευτικότητας που θα επιλεγεί δε θα πρέπει να προκαλεί μείωση των επιθυμητών απολήψεων από το σύστημα. Επειδή όμως ένα τέτοιο αυστηρό κριτήριο οδηγεί σε πολύ μεγάλες τιμές της παροχετευτικότητας, δεχόμαστε κάποια μείωση των απολήψεων από το σύστημα όχι μεγαλύτερη ενός μικρού ποσοστού των εισροών στον ταμιευτήρα Ευήνου. Το ποσοστό μείωσης πάρθηκε ίσο με 2% που αντιστοιχεί σε  $7.0 * 10^6 \text{ m}^3$  για τον ταμιευτήρα Περίστας,  $6 * 10^6 \text{ m}^3$  για τον Αγ. Δημήτριο και  $4.5 * 10^6 \text{ m}^3$  για το Δενδροχώρι. Οι τιμές αυτές, σε απόλυτα μεγέθη, θεωρήθηκαν ως οι μέγιστες αποδεκτές για ένα τόσο σοβαρό έργο που είναι η ενίσχυση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας.

Όπως ήδη αναφέρθηκε στα προηγούμενα (κεφ. 3.1), για τη διαστασιολόγηση των εναλλακτικών ταμιευτήρων του Ευήνου δε θεωρείται ο καθένας από αυτούς τους ταμιευτήρες ως μεμονωμένος αλλά παίρνεται πάντα σε συνδυασμό με τον ταμιευτήρα Μόρνου. Συνέπεια αυτού είναι να υπεισέρχεται στο πρόβλημα η παροχετευτικότητα του υδαταγωγού Μόρνου. Το θέμα της παροχετευτικότητας του αγωγού αυτού έχει θιγεί στο Α' μέρος του ερευνητικού έργου και μετά από πρόταση προς την ΕΥΔΑΠ έχει ήδη ανατεθεί στο ΕΜΠ ανεξάρτητη διερεύνηση του θέματος. Για τις ανάγκες του υδρολογικού σχεδιασμού των ταμιευτήρων Ευήνου κρίθηκε σκόπιμο να επιλεγεί κάποια σχετικά μεγάλη τιμή της παροχετευτικότητας του υδαταγωγού Μόρνου ώστε να μὴν υποεκτιμηθούν οι δυνατότητες του Ευήνου για ενίσχυση του υδροδοτικού σχήματος. Τελικά επιλέχθηκε η τιμή της

παροχτευτικότητας σχεδιασμού του υδαταγωγού Μόρνου που είναι  $23.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

Η ευαισθησία των αποτελεσμάτων στην τιμή αυτή της παροχτευτικότητας ελέγχθηκε εκ των υστέρων με μικρό αριθμό δοκιμών και με μια μειωμένη τιμή κατά 20% ( $18.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ ).

#### 5.4. Εισροές

Το δείγμα των εισροών τόσο στον ταμιευτήρα Μόρνου όσο και στον κάθε εναλλακτικό ταμιευτήρα Ευήνου, έχει αναλυθεί πλήρως κατά το Α' μέρος του ερευνητικού έργου. Τα δεδομένα αυτά έχουν υποστεί επεξεργασία κατά την παρούσα φάση του ερευνητικού έργου και η εκτενής παρουσίαση της εργασίας αυτής γίνεται στο τεύχος 13. Η συνθετική παροχή εισόδου σε κάθε ταμιευτήρα δίνεται σε mm και κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης πολλαπλασιάζεται επί την επιφάνεια της λεκάνης από την οποία έχει όμως αφαιρεθεί η επιφάνεια του ταμιευτήρα, ώστε τελικά να ληφθεί ο όγκος του νερού που εισρέει στον ταμιευτήρα. Όσο για τη βροχή και την εξάτμιση σε mm, αυτές πολλαπλασιάζονται απλώς με την επιφάνεια της λίμνης.

Για τους εναλλακτικούς ταμιευτήρες του Ευήνου η παροχή εισόδου σε mm θεωρείται η ίδια και για τις τρεις θέσεις. Για την εξάτμιση δίνεται μία μόνο τιμή που αντιστοιχεί στον ταμιευτήρα Περίστας ενώ για τη βροχή επίσης μία τιμή, η τιμή εκείνη της επιφανειακής βροχής της λεκάνης του Ευήνου ανάντη του φράγματος Περίστας. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης γίνεται αναγωγή των μεγεθών αυτών σε εκείνα που ενδιαφέρουν, δηλαδή στην εξάτμιση από την επιφάνεια του κάθε εναλλακτικού ταμιευτήρα και στη βροχή πάνω στην επιφάνεια αυτή. Οι συντελεστές αναγωγής φαίνονται στον Πίνακα 3 που ακολουθεί.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3**  
**ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ ΒΡΟΧΗΣ ΚΑΙ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ**  
**ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΕΥΗΝΟΥ**

Ταμιευτήρες	Βροχή	Εξάτμιση
Περίστα	0.793	1.00
Αγ. Δημήτριος	0.794	1.00
Δενδροχώρι	0.920	0.917

Αντίστοιχα για τον ταμιευτήρα Μόρνου, γίνεται αναγωγή της βροχής που αντιστοιχεί στο σύνολο της λεκάνης ανάντη του φράγματος, στη βροχή πάνω στην επιφάνεια του ταμιευτήρα με τον συντελεστή 0.489. Αντίθετα για την εξάτμιση από την επιφάνεια του ταμιευτήρα Μόρνου δεν απαιτείται αναγωγή.

#### 5.5. Κατανάλωση νερού

Το θέμα της εκτίμησης της κατανάλωσης της Αθήνας και κυρίως της χρονικής εξέλιξής της είναι αρκετά πολύπλοκο αλλά δεν περιλαμβάνεται στο αντικείμενο του ερευνητικού έργου. Μια πρώτη προσπάθεια διερεύνησης των δεδομένων κατανάλωσης έγινε στην αρχή της Β' φάσης του ερευνητικού προγράμματος και τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν ήδη στο τεύχος 8, ενώ πληρέστερα στοιχεία παρουσιάζονται στο τεύχος 12. Επίσης η ΕΥΔΑΠ έχει αναθέσει ξεχωριστή λεπτομερή μελέτη των καταναλώσεων της Αθήνας, της οποίας όμως τα αποτελέσματα δεν ήταν στη διάθεση της ερευνητικής ομάδας του ΕΜΠ στη φάση της εκπόνησης του παρόντος τεύχους.

Για τις ανάγκες του υδρολογικού σχεδιασμού των ταμιευτήρων Ευήνου δεν ήταν ουσιαστικά απαραίτητη η ακριβής γνώση της πραγματικής εξέλιξης των καταναλώσεων της Αθήνας, καθόσον αναζητήθηκαν οι οριακές δυνατότητες του συστήματος Μόρνου-Ευήνου και όχι η δυνατότητά του να ανταποκριθεί σε κάποια σενάρια εξέλιξης των σημερινών καταναλώσεων. Σε όλες τις δοκιμές που θα παρουσιαστούν

στη συνέχεια (κεφ. 6) η ετήσια ζήτηση νερού στην Αθήνα, πάρθηκε ίση με μια σταθερή τιμή. Σημειώνεται εδώ ότι στο μοντέλο προσομοίωσης υπεισέρχεται η ολική κατανάλωση, η ζήτηση δηλαδή στις εξόδους των ταμιευτήρων.

Τέλος κατά την προσομοίωση λήφθηκε υπόψη η μηνιαία διακύμανση της κατανάλωσης, όπως αυτή προέκυψε από τα διαθέσιμα στοιχεία της ΕΥΔΑΠ και φαίνεται στον πίνακα 4 που ακολουθεί:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4**  
**ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΑΘΗΝΑΣ**  
(Συντελεστής ανισοκατανομής της ζήτησης)

ΟΚΤ	1.05	ΦΕΒ	0.79	ΙΟΥΝ	1.12
ΝΟΕ	0.93	ΜΑΡ	0.89	ΙΟΥΛ	1.21
ΔΕΚ	0.93	ΑΠΡ	0.91	ΑΥΓ	1.17
ΙΑΝ	0.86	ΜΑΙ	1.04	ΣΕΠΤ	1.10

#### 5.6. Υδραυλικές απώλειες στη σήραγγα Ευήνου-Μόρνου

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2 η στάθμη υδροληψίας του ταμιευτήρα Περίστας βρίσκεται στα +436.7 m, δηλαδή μόνο 1.7 m πάνω από την ανώτατη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα Μόρνου (+435 m). Είναι επομένως ενδεχόμενο να παρουσιαστεί η περίπτωση όπου η διαφορά στάθμης των δύο ταμιευτήρων να μην επαρκεί ώστε να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη ροή από τον ένα ταμιευτήρα στον άλλο. Σε κάθε περίπτωση λοιπόν πρέπει η διαφορά στάθμης των δύο ταμιευτήρων να είναι τουλάχιστον ίση με τις ελάχιστες υδραυλικές απώλειες στη σήραγγα Ευήνου-Μόρνου. Οι απώλειες αυτές εκτιμήθηκαν κατά προσέγγιση ίσες με 0.5 m/km για παροχετευτικότητα 10 m<sup>3</sup>/sec, διάμετρο σήραγγας ίση με 3.5 m και επένδυση από σκυρόδεμα. Έτσι για τη σήραγγα Περίστας-Μόρνου μήκους περίπου 30 km προκύπτουν απώλειες ίσες με  $h_{aπ} = 15$  m (βλ. και παρ. 3.3.2.α).

### 5.7. Κανόνες Λειτουργίας

Σε ότι αφορά τη συνολική απόληψη από το σύστημα των δύο ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου ο κανόνας λειτουργίας είναι απλός. Επιδιώκεται πάντα η ικανοποίηση της ζήτησης με απόληψη νερού από τον πλέον κατάντη ταμιευτήρα που εδώ είναι ο ταμιευτήρας Μόρνου και αυτό ανεξάρτητα από τα διαθέσιμα αποθέματα στους ταμιευτήρες ή από άλλες λειτουργικές μεταβλητές. Χρειάζεται όμως επί πλέον να καθορισθεί πως θα γίνεται η μεταφορά του νερού από τον ταμιευτήρα Ευήνου στον ταμιευτήρα Μόρνου. Οι κανόνες λειτουργίας που εξετάσαμε βασίστηκαν στην παραδοχή ότι είναι γενικά επιθυμητό να μεταφέρεται το νερό του Ευήνου όσο πιο κοντά γίνεται στην Αθήνα δηλαδή να μεγιστοποιείται η ποσότητα νερού που εκτρέπεται προς το Μόρνο. Επίσης είναι λογικό οι μεγάλες σχετικά εισροές του Ευήνου σε σχέση με τη χωρητικότητα των προτεινόμενων εναλλακτικών ταμιευτήρων, να αποθηκεύονται στον μεγαλύτερο ταμιευτήρα του συστήματος που είναι αυτός του Μόρνου. Με βάση πάντα τις αρχές αυτές εξετάσαμε δύο εναλλακτικούς κανόνες λειτουργίας.

- Κανόνας εκτροπής των νερών του Ευήνου χωρίς έλεγχο στις στάθμες του Μόρνου  
Γίνεται απόληψη της μέγιστης ποσότητας από τον ταμιευτήρα Ευήνου ανεξάρτητα από τη στάθμη του ταμιευτήρα Μόρνου, εφόσον βέβαια αυτό δεν προκαλεί υπερχειλίση στο Μόρνο.
  
- Κανόνας εκτροπής των νερών του Ευήνου με έλεγχο της στάθμης του Μόρνου  
Γίνεται απόληψη της μέγιστης δυνατής ποσότητας από τον Ευήνο εφόσον όμως η στάθμη στο Μόρνο δεν ξεπερνά κάποιο κατώφλι. Δίνεται έτσι η δυνατότητα στον ταμιευτήρα Μόρνου να διαθέτει μέρος της χωρητικότητάς του μόνο για τις ενδεχόμενες μεγάλες εισροές της δικής του λεκάνης απορροής και να αποφεύγονται έτσι μεγάλες υπερχειλίσεις.

## 6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

### 6.1. Διαστασιολόγηση ταμιευτήρα Δενδροχωρίου

Το μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας των συνδυασμένων ταμιευτήρων Μόρνου-Ευήνου, έτρεξε με τις παραδοχές του κεφαλαίου 5 και με εισόδους χρονοσειρές μηνιαίων εισροών, βροχών και εξατμίσεων μήκους 2000 ετών. Για διάφορους συνδυασμούς ωφέλιμης χωρητικότητας του ταμιευτήρα και παροχетеυτικότητας της σήραγγας Ευήνου-Μόρνου και τον κανόνα λειτουργίας χωρίς έλεγχο στάθμης στο Μόρνο λήφθηκαν τα αποτελέσματα που φαίνονται στον Πίνακα 5. Οι τιμές της παροχетеυτικότητας που επιλέγονται τελικά σύμφωνα με το κριτήριο της παρ. 5.3 φαίνονται στον πίνακα με υπογράμμιση. Οι τελικοί αυτοί συνδυασμοί χωρητικότητας και παροχетеυτικότητας παρουσιάζονται επίσης συνοπτικά στον Πίνακα 8 (στήλη Α) όπου σημειώνεται και η αύξηση της απόληψης από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου σε σχέση με την απόληψη από το μεμονωμένο ταμιευτήρα Μόρνου που εκτιμήθηκε σε  $280 * 10^6 \text{ m}^3$  το χρόνο (βλ. παρ. 6.1, τεύχος 14). Για τους ίδιους αυτούς τελικούς συνδυασμούς παρουσιάζονται αναλυτικά τα μέσα ετήσια ισοζύγια των ταμιευτήρων στον Πίνακα 11 (στήλη Α).

Η μελέτη των πινάκων των αποτελεσμάτων επιτρέπει τις ακόλουθες παρατηρήσεις:

1. Η κατασκευή ενός ταμιευτήρα μικρής χωρητικότητας ( $10 * 10^6 \text{ m}^3$ ) στη θέση Δενδροχώρι επιτρέπει την αύξηση του απολήψιμου όγκου νερού από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου, σε σχέση πάντα με τη μεμονωμένη εκμετάλλευση του Μόρνου, κατά  $161 * 10^6 \text{ m}^3$  ή αλλιώς συνολική απόληψη από το σύστημα  $441 * 10^6 \text{ m}^3$ .

Η μέγιστη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα στην περίπτωση αυτή είναι στα +628.8 m και αντιστοιχεί σε αρκετά μεγάλο ύψος φράγματος (74 m περίπου), λόγω του εξαιρετικά έντονου ανάγλυφου της περιοχής. Ένα τέτοιο φράγμα εξυπηρετεί ουσιαστικά μόνο την εκτροπή των νερών του Ευήνου προς το Μόρνο και η ρύθμιση που εισάγει είναι από ημερήσια έως μηνιαία.

Η απαιτούμενη παροχетеυτικότητα της σήραγγας Ευήνου- Μόρνου προκύπτει αρκετά μεγάλη ( $16 \text{ m}^3/\text{sec}$ ) ώστε να διασφαλίζεται η απρόσκοπτη εκτροπή των μεγάλων παροχών προς το Μόρνο.

2. Η κατασκευή ενός ψηλού φράγματος με μέγιστη στάθμη λειτουργίας στα  $+710 \text{ m}$ , ύψος φράγματος  $155 \text{ m}$  και αντίστοιχη χωρητικότητα ταμιευτήρα  $252 * 10^6 \text{ m}^3$  αυξάνει τον απολήψιμο όγκο από το σύστημα μόνο κατά  $20 * 10^6 \text{ m}^3$  σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση του σχετικά μικρού ταμιευτήρα, φθάνοντας τελικά σε απόληψη  $461 * 10^6 \text{ m}^3$  που είναι ίση με την απόληψη από το υπάρχον υδροδοτικό σύστημα Μόρνου-Υλίκης. Η απαιτούμενη παροχетеυτικότητα του αγωγού Ευήνου-Μόρνου είναι  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή πολύ μικρότερη εκείνης που αντιστοιχεί στον μικρότερο ταμιευτήρα.
3. Η απαιτούμενη παροχетеυτικότητα του αγωγού Ευήνου-Μόρνου μειώνεται πολύ γρήγορα με την αύξηση της χωρητικότητας του ταμιευτήρα. Ειδικότερα με αύξηση της χωρητικότητας από  $10 * 10^6 \text{ m}^3$  σε  $50 * 10^6 \text{ m}^3$  η παροχетеυτικότητα μειώνεται από  $16 \text{ m}^3/\text{sec}$  σε  $10 \text{ m}^3/\text{sec}$  και στη συνέχεια σε  $8 \text{ m}^3/\text{sec}$  για χωρητικότητα  $100 * 10^6 \text{ m}^3$ . Τελικά σταθεροποιείται στην τιμή των  $6 \text{ m}^3/\text{sec}$  για χωρητικότητα  $150 * 10^6 \text{ m}^3$ .
4. Το ποσοστό ρύθμισης του Ευήνου παραμένει, ακόμη και για τις μεγαλύτερες τιμές της χωρητικότητας που εξετάστηκαν, σαφώς μικρότερο από εκείνο του Μόρνου. Ειδικότερα για χωρητικότητα ταμιευτήρα  $150 * 10^6 \text{ m}^3$  το ποσοστό ρύθμισης του Ευήνου είναι  $172/235 = 73\%$  ενώ το ποσοστό ρύθμισης του Μόρνου είναι  $281/322 = 87\%$  όπως οι τιμές αυτές προκύπτουν από τα μέσα ετήσια ισοζύγια των ταμιευτήρων (Πίν. 11).

## 6.2. Διαστασιολόγηση ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου

Οι δοκιμές προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου με τις παραδοχές του κεφαλαίου 5 και τον κανόνα λειτουργίας χωρίς έλεγχο στάθμης στο Μόρνο έδωσαν για κάθε τιμή της ωφέλιμης χωρητικότητας του ταμιευτήρα τόσο την απαιτούμενη παροχетеυτικότητα του αγωγού Ευήνου-Μόρνου όσο και την τελική



απόληψη από το σύστημα των δύο ταμιευτήρων.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών για διάφορους συνδυασμούς παροχετευτικότητας αγωγού Ευήνου-Μόρνου και χωρητικότητας ταμιευτήρα, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6 και οι τελικές τιμές που επιλέγονται παρουσιάζονται επίσης συγκεντρωτικά στον Πίνακα 9 (στήλη Α) όπου φαίνεται και η αύξηση της απόληψης από το σύστημα σε σχέση πάντα με την απόληψη από το μεμονωμένο ταμιευτήρα Μόρνου. Τέλος στον Πίνακα 12 παρουσιάζονται αναλυτικά τα μέσα ετήσια ισοζύγια των ταμιευτήρων Αγ. Δημητρίου και Μόρνου για τις τελικές τιμές της χωρητικότητας και παροχετευτικότητας του αγωγού Ευήνου-Μόρνου.

Μετά από μελέτη των πινάκων μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

1. Η κατασκευή ενός ταμιευτήρα στον Αγ. Δημήτριο μικρής χωρητικότητας ( $10 * 10^6 \text{ m}^3$ ) επιτρέπει την πρόσθετη απόληψη  $210 * 10^6 \text{ m}^3$  επί πλέον των  $280 * 10^6 \text{ m}^3$  που αντιστοιχούν στη μεμονωμένη εκμετάλλευση του ταμιευτήρα Μόρνου, δηλαδή συνολική απόληψη  $490 * 10^6 \text{ m}^3$ . Η απαιτούμενη όμως παροχετευτικότητα του αγωγού Ευήνου-Μόρνου είναι εξαιρετικά μεγάλη ( $22 \text{ m}^3/\text{sec}$ ). Η μέγιστη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα είναι στα  $+466 \text{ m}$  και το ύψος φράγματος περίπου  $52 \text{ m}$ .
2. Η αύξηση της χωρητικότητας του ταμιευτήρα σε  $100 * 10^6 \text{ m}^3$  με μέγιστη στάθμη στα  $+509.3 \text{ m}$  και ύψος φράγματος περίπου  $95 \text{ m}$  δεν αυξάνει τον απολήψιμο όγκο νερού παρά μόνο κατά  $13 * 10^6 \text{ m}^3$  σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση του ταμιευτήρα μικρής χωρητικότητας. Έτσι η πρόσθετη απόληψη από τον Εύηνο είναι  $223 * 10^6 \text{ m}^3$  και η συνολική απόληψη από το σύστημα  $503 * 10^6 \text{ m}^3$ . Η απαιτούμενη παροχετευτικότητα αγωγού Ευήνου-Μόρνου μειώνεται αρκετά και φθάνει τα  $12 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

Η ενδιάμεση τιμή της χωρητικότητας ( $50 * 10^6 \text{ m}^3$ ) απαιτεί μια αρκετά μεγάλη παροχετευτικότητα αγωγού ( $16 \text{ m}^3/\text{sec}$ ) ενώ τα οφέλη σε απολήψιμο όγκο νερού δεν είναι σημαντικά ( $7 * 10^6 \text{ m}^3$  σε σχέση με την πρώτη περίπτωση).

3. Το μέγιστο ποσοστό ρύθμισης του υδατικού δυναμικού του Ευήνου στη θέση Αγ. Δημήτριος, που αντιστοιχεί προφανώς στη μεγαλύτερη τιμή της χωρητικότητας ( $100 * 10^6 \text{ m}^3$ ) είναι περίπου ίδιο με εκείνο του Δενδροχωρίου ( $234/321 = 72\%$ ), (βλ. Πίνακα 12).

### 6.3. Διαστασιολόγηση ταμιευτήρα Περίστας

Τα αποτελέσματα των δοκιμών προσομοίωσης λειτουργίας των συνδυασμένων ταμιευτήρων Μόρνου και Περίστας με τον κανόνα λειτουργίας χωρίς έλεγχο στάθμης στο Μόρνο παρουσιάζονται στον Πίνακα 7 για διάφορους συνδυασμούς ωφέλιμης χωρητικότητας ταμιευτήρα και παροχетеυτικότητας αγωγού Ευήνου-Μόρνου. Οι τελικές τιμές της παροχетеυτικότητας που επιλέγονται φαίνονται από τις αντίστοιχες τιμές της μέσης ετήσιας απόληψης που υπογραμμίζονται. Τα τελικά αποτελέσματα παρουσιάζονται επίσης στον Πίνακα 10 (στήλη Α) όπου φαίνεται και η πρόσθετη απόληψη λόγω ένταξης στο σύστημα του ταμιευτήρα Ευήνου. Τέλος για τον καθένα από τους τελικούς συνδυασμούς παρουσιάζεται στον Πίνακα 13 το μέσο ετήσιο ισοζύγιο του κάθε ταμιευτήρα. Η μελέτη των πινάκων των αποτελεσμάτων επιτρέπει τις ακόλουθες παρατηρήσεις:

1. Για ωφέλιμο όγκο ταμιευτήρα  $10 * 10^6 \text{ m}^3$  που αντιστοιχεί σε μέγιστη στάθμη λειτουργίας στα + 446.8 m και ύψος φράγματος 71 m περίπου, η πρόσθετη απόληψη από το σύστημα επί πλέον των  $280 * 10^6 \text{ m}^3$  που αντιστοιχούν στη μεμονωμένη εκμετάλλευση του Μόρνου, είναι  $224 * 10^6 \text{ m}^3$  δηλαδή η συνολική απόληψη από το σύστημα προκύπτει ίση με  $504 * 10^6 \text{ m}^3$ . Η απαιτούμενη παροχетеυτικότητα του αγωγού Ευήνου-Μόρνου είναι μεγάλη ( $20 \text{ m}^3/\text{sec}$ ).
2. Οι απολήψιμοι όγκοι νερού ετησίως για ωφέλιμη χωρητικότητα 50, 100, 150 και  $199 * 10^6 \text{ m}^3$  είναι αντίστοιχα 515, 529, 535 και  $541 * 10^6 \text{ m}^3$ . Το πιο ψηλό φράγμα με μέγιστη στάθμη λειτουργίας στα +509.9 m, ύψος 135 m και ωφέλιμο όγκο ταμιευτήρα  $199 * 10^6 \text{ m}^3$  οδηγεί σε αύξηση της απόληψης σε σχέση με το χαμηλότερο φράγμα, ίση με  $37 * 10^6 \text{ m}^3$ .

3. Η απαιτούμενη παροχετευτικότητα του αγωγού Ευήνου-Μόρνου ξεκινά από τη μεγάλη τιμή των  $20 \text{ m}^3/\text{sec}$  για χωρητικότητα  $10 * 10^6 \text{ m}^3$ . Μειώνεται σημαντικά σε  $12 \text{ m}^3/\text{sec}$  για χωρητικότητα  $100 * 10^6 \text{ m}^3$  ενώ στη συνέχεια η μείωσή της είναι μικρή για μεγαλύτερες τιμές της χωρητικότητας ( $10 \text{ m}^3/\text{sec}$  για χωρητικότητα  $199 * 10^6 \text{ m}^3$ ).
4. Το ποσοστό ρύθμισης του Ευήνου στη θέση Περίστας για τον μεγαλύτερο ταμιευτήρα των  $199 * 10^6 \text{ m}^3$  είναι πρακτικά ίσο με εκείνο των μεγαλύτερων ταμιευτήρων στις άλλες θέσεις, του Αγίου Δημητρίου και του Δενδροχωρίου ( $263/362 = 73\%$ , βλ. Πίνακα 13).

#### 6.4. Διερεύνηση εναλλακτικών κανόνων λειτουργίας

Όπως αναφέρθηκε ήδη στο κεφάλαιο 5, η διαστασιολόγηση των έργων του Ευήνου έγινε με βάση τον κανόνα λειτουργίας χωρίς έλεγχο στάθμης στο Μόρνο σύμφωνα με τον οποίο η απόληψη από τον Εύηνο διακόπτεται μόνο όταν η στάθμη στο Μόρνο φθάσει στη μέγιστη στάθμη λειτουργίας. Ένας δεύτερος κανόνας λειτουργίας που μελετήθηκε είναι ο κανόνας με έλεγχο της στάθμης του Μόρνου. Σύμφωνα με το δεύτερο αυτό κανόνα, παροχέτευση από τον Εύηνο γίνεται μόνο εφόσον η στάθμη στο Μόρνο δεν ξεπερνά μια προκαθορισμένη τιμή ή αλλιώς ο όγκος νερού στον ταμιευτήρα Μόρνου είναι μικρότερος από ένα κατώφλι (βλ. παρ. 5.7). Δοκιμάστηκαν διάφορες τιμές του κατωφλίου αυτού και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 8, 9 και 10 αντίστοιχα για τους εναλλακτικούς ταμιευτήρες Δενδροχωρίου, Αγ. Δημητρίου και Περίστας. Οι πίνακες αυτοί περιλαμβάνουν δύο μόνο χαρακτηριστικές τιμές του κατωφλίου: μία πρώτη τιμή ίση με  $543 * 10^6 \text{ m}^3$  ή  $100 * 10^6 \text{ m}^3$  μικρότερη από την χωρητικότητα του ταμιευτήρα Μόρνου (Κανόνας Β) και μία δεύτερη τιμή ίση με  $593 * 10^6 \text{ m}^3$  ή  $50 * 10^6 \text{ m}^3$  μικρότερη από την χωρητικότητα Μόρνου (Κανόνας Γ). Πρέπει να σημειωθεί ότι οι συνδυασμοί τιμών παροχετευτικότητας αγωγού και χωρητικότητας ταμιευτήρα σε όλη τη διερεύνηση των εναλλακτικών κανόνων λειτουργίας ήταν εκείνοι που προέκυψαν από τη διαστασιολόγηση. Τέλος για τον καθένα από αυτούς τους συνδυασμούς και για κάθε εναλλακτικό ταμιευτήρα παρουσιάζονται τα μέσα ετήσια

ισοζύγια στους Πίνακες 11, 12 και 13. Μετά από μελέτη των αποτελεσμάτων έγιναν οι εξής διαπιστώσεις:

1. Ο κανόνας λειτουργίας με έλεγχο στάθμης στο Μόρνο δε δίνει μεγαλύτερες απολήψεις από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου για κανένα από τους εναλλακτικούς συνδυασμούς έργων που μελετήθηκαν. Αντίθετα μειώνει τον απολήψιμο όγκο τόσο περισσότερο όσο μικρότερο είναι το κατώφλι όγκου στο Μόρνο ή αλλιώς όσο χαμηλότερα είναι η στάθμη ελέγχου.
2. Η μείωση της απόληψης που προκαλεί ο νέος κανόνας είναι τόσο μεγαλύτερη όσο πιο κατάντη είναι η θέση του φράγματος στον Εύηνο ή αλλιώς όσο πιο μεγάλες είναι οι εισροές στον ταμιευτήρα Ευήνου.
3. Η εφαρμογή του νέου κανόνα με έλεγχο στάθμης στο Μόρνο μειώνει σχεδόν μέχρι μηδενισμού τις υπερχειλίσεις στο Μόρνο αλλά αυξάνει αρκετά τις υπερχειλίσεις στον Εύηνο, όπως ήταν άλλωστε αναμενόμενο.

Συμπερασματικά, μπορεί να ειπωθεί ότι ο νέος κανόνας λειτουργίας που δοκιμάστηκε δεν απέφερε τα αναμενόμενα οφέλη και για το λόγο αυτό προτείνεται η εφαρμογή του κανόνα λειτουργίας χωρίς έλεγχο στάθμης στο Μόρνο με τον οποίο έγινε και η διαστασιολόγηση όλων των έργων του Ευήνου.

#### **6.5. Επίδραση της παροχетеυτικότητας του υδαταγωγού Μόρνου**

Όπως επισημάνθηκε ήδη στην παρ. 5.3, μία από τις παραμέτρους σχεδιασμού των έργων του Ευήνου είναι και η παροχетеυτικότητα του υδαταγωγού Μόρνου. Επειδή όμως η πραγματική τιμή της παροχетеυτικότητας αυτής παραμένει ουσιαστικά άγνωστη μέχρι σήμερα, λήφθηκε η παροχетеυτικότητα σχεδιασμού των  $23 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Για την εξάντληση της παροχетеυτικότητας αυτής το μήνα της μέγιστης ζήτησης η απόληψη από το σύστημα πρέπει να φθάνει την τιμή  $(1/1.21) * 23 * 30 * 12 * 86400 = 591.2 * 10^6 \text{ m}^3$ . Μια τέτοια όμως απόληψη δεν επιτυγχάνεται για κανένα από τα εναλλακτικά έργα που μελετήθηκαν. Κατά συνέπεια, η παροχетеυτικότητα των  $23 \text{ m}^3/\text{sec}$

εξασφαλίζει πλήρως την απρόσκοπτη παροχέτευση του νερού προς την Αθήνα από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου για όλους τους εναλλακτικούς συνδυασμούς ταμιευτήρων και αγωγών Ευήνου-Μόρνου.

Για λόγους πληρότητας της διερεύνησης των διάφορων εναλλακτικών λύσεων για το σύστημα Μόρνου-Ευήνου έγιναν και μερικές δοκιμές προσομοίωσης λειτουργίας του συστήματος για παροχетеυτικότητα του υδαταγωγού Μόρνου μειωμένη κατά 20%, ίση δηλαδή με  $18.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Η τιμή αυτή της παροχетеυτικότητας είναι προφανώς περιοριστική για όλες τις λύσεις όπου η απόληψη από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου είναι μεγαλύτερη από την τιμή  $(1/1.21) * 18.5 * 30 * 12 * 86400 = 475.5 * 10^6 \text{ m}^3$ . Αυτό σημαίνει ότι για όλες τις λύσεις με ταμιευτήρα στη θέση Δενδροχώρι η παροχетеυτικότητα των  $18.5 \text{ m}^3/\text{sec}$  είναι επαρκής. Αντίθετα για τους εναλλακτικούς ταμιευτήρες Περίστας και Αγ. Δημητρίου θα υπάρχει περιορισμός στην απόληψη (αστοχία λόγω παροχетеυτικότητας). Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι για τον ταμιευτήρα Περίστας με χωρητικότητα  $199 * 10^6 \text{ m}^3$  και για ζήτηση  $474 * 10^6 \text{ m}^3$  η ικανοποίηση της ζήτησης είναι πλήρης ( $a_1 = a_2 = a_3 = 100\%$ ), για ζήτηση όμως  $476 * 10^6 \text{ m}^3$  υπάρχει αστοχία του συστήματος κάθε χρόνο ( $a_1 = 0\%$ ) ενώ οι άλλοι δείκτες αξιοπιστίας είναι  $a_2 = 91.67\%$  και  $a_3 = 99.99\%$ .

#### 6.6. Σύγκριση εναλλακτικών λύσεων - Συμπεράσματα

1. Η δυνατότητα απόληξης από το σύστημα ταμιευτήρων Μόρνου και Δενδροχωρίου για αξιοπιστία 99% και κανόνα λειτουργίας χωρίς έλεγχο στάθμης στο Μόρνο κυμαίνεται από  $441 * 10^6 \text{ m}^3$  για μικρό ταμιευτήρα ωφέλιμης χωρητικότητας  $10 * 10^6 \text{ m}^3$ , μέχρι  $461 * 10^6 \text{ m}^3$  για ταμιευτήρα χωρητικότητας  $252 * 10^6 \text{ m}^3$ . Η απαιτούμενη παροχетеυτικότητα του αγωγού Ευήνου-Μόρνου είναι ίση με  $16 \text{ m}^3/\text{sec}$  για ταμιευτήρα χωρητικότητας  $10 * 10^6 \text{ m}^3$  και μειώνεται σε  $6 \text{ m}^3/\text{sec}$  για χωρητικότητα μεγαλύτερη των  $150 * 10^6 \text{ m}^3$ .
2. Η αντίστοιχη δυνατότητα απόληξης από το σύστημα ταμιευτήρων Μόρνου και Αγ. Δημητρίου είναι  $490 * 10^6 \text{ m}^3$  το χρόνο για χωρητικότητα του ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου  $10 * 10^6 \text{ m}^3$  και φθάνει τα  $503 * 10^6 \text{ m}^3$  για χωρητικότητα  $100 * 10^6 \text{ m}^3$ . Η

απαιτούμενη παροχетеυτικότητα αγωγού Ευήνου-Μόρνου είναι μεγάλη για χωρητικότητα  $10 * 10^6 \text{ m}^3$  ( $22 \text{ m}^3/\text{sec}$ ) και μειώνεται σε  $12 \text{ m}^3/\text{sec}$  για χωρητικότητα  $100 * 10^6 \text{ m}^3$ .

3. Για ταμιευτήρα με φράγμα στη θέση Περίστα και χωρητικότητα  $10 * 10^6 \text{ m}^3$  ο απολήψιμος όγκος είναι  $504 * 10^6 \text{ m}^3$  και αυξάνεται σε  $541 * 10^6 \text{ m}^3$  για χωρητικότητα  $199 * 10^6 \text{ m}^3$ . Για την ίδια αύξηση της χωρητικότητας του ταμιευτήρα η απαιτούμενη παροχетеυτικότητα του αγωγού Ευήνου-Μόρνου μειώνεται από  $20 \text{ m}^3/\text{sec}$  σε  $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ .
4. Δυό εναλλακτικές λύσεις έργων φαίνονται πιο ενδιαφέρουσες. Η πρώτη με την οποία επιτυγχάνεται η μέγιστη απόληψη ( $541 * 10^6 \text{ m}^3$ ) από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου, κατά  $80 * 10^6 \text{ m}^3$  μεγαλύτερη εκείνης του υπάρχοντος υδροδοτικού συστήματος Μόρνου-Υλίκης ( $461 * 10^6 \text{ m}^3$ ), είναι εκείνη που αντιστοιχεί στο ψηλότερο φράγμα (135 m) στη θέση Περίστα. Η απόληψη αυτή απαιτεί παροχетеυτικότητα αγωγού Ευήνου-Μόρνου σχετικά μικρή ( $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ ) έχει όμως το μειονέκτημα του σχετικά μεγάλου μήκους σήραγγας (περίπου 30 km).

Μια δεύτερη ικανοποιητική λύση, από την άποψη του χρόνου κατασκευής των έργων είναι εκείνη ενός ψηλού φράγματος (155 m) στο Δενδροχώρι με απολήψιμο όγκο  $461 * 10^6 \text{ m}^3$  ίσο με τον απολήψιμο όγκο από το υπάρχον υδροδοτικό σύστημα Μόρνου-Υλίκης. Η λύση αυτή έχει το πλεονέκτημα της μικρής παροχетеυτικότητας σήραγγας ( $6 \text{ m}^3/\text{sec}$ ). Το κύριο όμως πλεονέκτημα της είναι το μικρότερο μήκος σήραγγας (14 km) σε σχέση με τις λύσεις των ταμιευτήρων Περίστας και Αγ. Δημητρίου.

Τέλος σημειώνεται ότι οι δυνατότητες του μελλοντικού υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας στο σύνολό του που θα περιλαμβάνει τους συνδυασμένους ταμιευτήρες Μόρνου, Ευήνου, Υλίκης με δυνατότητα επίσης ένταξης ενός ταμιευτήρα αναρρύθμισης κοντά στην Αθήνα, αποτελούν αντικείμενο του τεύχους 14 όπου και παρουσιάζονται αναλυτικά.

## ΠΙΝΑΚΑΣ 5

ΕΤΗΣΙΕΣ ΑΠΟΛΗΨΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΡΝΟΥ-ΕΥΗΝΟΥ σε  $m^3 * 10^6$ ΓΙΑ ΑΕΙΟΠΙΣΤΙΑ  $\alpha_1 = 99\%$ 

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΔΕΝΔΡΟΧΩΡΙΟΥ

ΚΑΝΟΝΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ: ΧΩΡΙΣ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ

ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ * $10^6 m^3$ ———>	10	50	100	150	252
ΠΑΡΟΧΕΤΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ $m^3/sec$					
Πολύ μεγάλη	443	449	453	456	461
18	442				
16	<u>441</u> <sup>1</sup>				
14	438				
12		447			
10		<u>445</u>	451		
8		442	<u>449</u>	456	
6			445	<u>453</u>	<u>461</u>
4				404	404

1. Τελική τιμή που επιλέγεται

ΠΙΝΑΚΑΣ 6ΕΤΗΣΙΕΣ ΑΠΟΛΗΨΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΡΝΟΥ-ΕΥΗΝΟΥ σε  $m^3 * 10^6$ ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ  $\alpha_1 = 99\%$ 

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

ΚΑΝΟΝΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ: ΧΩΡΙΣ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ

ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ * $10^6 m^3 \longrightarrow$	0	5	10	20	50	100
ΠΑΡΟΧΕΤΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ $m^3/sec$						
Πολύ μεγάλη	491	492	493	495	502	508
50			493			
22			<u>490</u> <sup>1</sup>	492		
20			486	<u>490</u>		
18			483	488	500	
16				485	<u>497</u>	
14					493	503
12					489	<u>503</u>
10						501
8						494

1. Τελική τιμή που επιλέγεται



ΠΙΝΑΚΑΣ 9ΕΤΗΣΙΕΣ ΑΠΟΛΗΨΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΡΝΟΥ-ΕΥΗΝΟΥ σε  $10^6 \text{ m}^3$ 

- ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΝΟΝΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ  $\alpha_1 = 99\%$ 

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

ΚΑΝΟΝΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

(Α) - ΧΩΡΙΣ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ

(Β) - ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΩΦΛΙ  $543 * 10^6 \text{ m}^3$ (Γ) - ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΩΦΛΙ  $593 * 10^6 \text{ m}^3$ 

ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ * $10^6 \text{ m}^3$	ΠΑΡΟΧΕΤ $\text{m}^3/\text{sec}$	ΚΑΝΟΝΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		
		Α	Β	Γ
10	22	490 (+210) <sup>1</sup>	474 (-16) <sup>2</sup>	479 (-11) <sup>2</sup>
50	16	497 (+217)	480 (-17)	489 (-9)
100	12	503 (+223)	492 (-11)	499 (-4)

1. Πρόσθετη απόληψη λόγω ένταξης του ταμιευτήρα Ευήνου
2. Μείωση απόλησης σε σχέση με τον κανόνα Α

ΠΙΝΑΚΑΣ 10ΕΤΗΣΙΕΣ ΑΠΟΛΗΨΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΡΝΟΥ-ΕΥΗΝΟΥ σε  $10^6 \text{ m}^3$ 

- ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΝΟΝΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ  $\alpha_1 = 99\%$ 

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΠΕΡΙΣΤΑΣ

ΚΑΝΟΝΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ:

(Α) - ΧΩΡΙΣ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ

(Β) - ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΩΦΛΙ  $543 * 10^6 \text{ m}^3$ (Γ) - ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΩΦΛΙ  $593 * 10^6 \text{ m}^3$ 

ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ * $10^6 \text{ m}^3$	ΠΑΡΟΧΕΤ $\text{m}^3/\text{sec}$	ΚΑΝΟΝΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		
		Α	Β	Γ
10	20	504 (+224) <sup>1</sup>	490 (-14) <sup>2</sup>	498 (-6) <sup>2</sup>
50	16	515 (+235)	500 (-15)	507 (-8)
100	12	529 (+249)	508 (-19)	518 (-11)
150	12	535 (+255)	522 (-14)	530 (-5)
199	10	541 (+261)	532 (-9)	536 (-5)

1. Πρόσθετη απόληψη λόγω ένταξης του ταμιευτήρα Ευήνου
2. Μείωση απόληψης σε σχέση με τον κανόνα Α

## ΠΙΝΑΚΑΣ 11

ΜΕΣΑ ΕΤΗΡΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΜΟΡΝΟΥ-ΕΥΗΝΟΥ (σε  $m^3 \cdot 10^6$ )ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ  $\alpha_1 = 99\%$ 

## ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΔΕΝΔΡΟΧΩΡΙΟΥ

ΚΑΝΟΝΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ: Α: ΧΩΡΙΣ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ  
 Β: ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΩΦΛΙ  $543 \cdot 10^6 m^3$   
 Γ: ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΩΦΛΙ  $593 \cdot 10^6 m^3$

ΚΑΝ. ΛΕΙΤ.	Α			Β			Γ					
ΧΩΡΗΤ/ΤΑ ΤΑΜ.ΕΥΗΝ. σε $10^6 m^3$	ΖΗΤΗΣΗ = 441 $\alpha_2=99.84\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 428 $\alpha_2=99.89\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 437 $\alpha_2=99.87\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ					
10	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	234	544	ΑΠΟΡΡΟΗ	311	234	545	ΑΠΟΡΡΟΗ	311	233	544
	ΒΡΟΧΟΠ.	12	1	13	ΒΡΟΧΟΠ.	11	1	12	ΒΡΟΧΟΠ.	12	1	13
	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	235	557	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	235	557	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	234	557
	ΥΔΡΕΥΣΗ	278	163	441	ΥΔΡΕΥΣΗ	288	140	428	ΥΔΡΕΥΣΗ	282	155	437
	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0
	ΕΞΑΤΜ.	22	1	23	ΕΞΑΤΜ.	21	1	22	ΕΞΑΤΜ.	23	2	25
	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	0	11	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	0	11	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12
	ΥΠΕΡΧ.	11	71	82	ΥΠΕΡΧ.	2	94	96	ΥΠΕΡΧ.	6	77	83
	ΕΚΡΟΕΣ	322	235	557	ΕΚΡΟΕΣ	322	235	557	ΕΚΡΟΕΣ	323	234	557
	50	ΖΗΤΗΣΗ = 445 $\alpha_2=99.88\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 437 $\alpha_2=99.83\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 440 $\alpha_2=99.87\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ				
ΑΠΟΡΡΟΗ		310	233	543	ΑΠΟΡΡΟΗ	311	233	544	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	233	543
ΒΡΟΧΟΠ.		12	2	14	ΒΡΟΧΟΠ.	12	2	14	ΒΡΟΧΟΠ.	12	2	14
ΕΙΣΡΟΕΣ		322	235	557	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	235	558	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	235	557
ΥΔΡΕΥΣΗ		274	171	445	ΥΔΡΕΥΣΗ	287	150	437	ΥΔΡΕΥΣΗ	282	158	440
ΑΡΔΕΥΣΗ		0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0
ΕΞΑΤΜ.		23	1	24	ΕΞΑΤΜ.	22	2	24	ΕΞΑΤΜ.	23	2	25
ΔΙΑΦΥΓΗ		12	0	12	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	0	11	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12
ΥΠΕΡΧ.		13	63	76	ΥΠΕΡΧ.	3	83	86	ΥΠΕΡΧ.	5	75	80
ΕΚΡΟΕΣ		322	235	557	ΕΚΡΟΕΣ	323	235	558	ΕΚΡΟΕΣ	322	235	557

## ΠΙΝΑΚΑΣ 11 (Συνέχεια)

ΜΕΣΑ ΕΤΗΘΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΜΟΡΝΟΥ-ΕΥΗΝΟΥ (σε  $m^3 \cdot 10^6$ )ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ  $\alpha_1 = 99\%$ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΔΕΝΔΡΟΧΩΡΙΟΥ

ΚΑΝΟΝΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ: Α: ΧΩΡΙΣ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ  
 Β: ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΩΦΛΙ  $543 \cdot 10^6 m^3$   
 Γ: ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΩΦΛΙ  $593 \cdot 10^6 m^3$

ΚΑΝ. ΛΕΙΤ.	Α			Β			Γ					
ΧΩΡΗΤ/ΤΑ ΤΑΜ.ΕΥΗΝ. σε $10^6 m^3$	ΖΗΤΗΣΗ = 449 $\alpha_2=99.88\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 444 $\alpha_2=99.87\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 449 $\alpha_2=99.85\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ					
100	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	233	543	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	233	543	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	233	543
	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2	15	ΒΡΟΧΟΠ.	12	2	14	ΒΡΟΧΟΠ.	12	2	14
	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	235	558	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	235	557	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	235	557
	ΥΔΡΕΥΣΗ	268	181	449	ΥΔΡΕΥΣΗ	286	158	444	ΥΔΡΕΥΣΗ	280	169	449
	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0
	ΕΞΑΤΜ.	23	2	25	ΕΞΑΤΜ.	22	3	25	ΕΞΑΤΜ.	23	2	25
	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	0	11	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12
	ΥΠΕΡΧ.	20	52	72	ΥΠΕΡΧ.	3	74	78	ΥΠΕΡΧ.	7	64	71
	ΕΚΡΟΕΣ	323	235	558	ΕΚΡΟΕΣ	322	235	557	ΕΚΡΟΕΣ	322	235	557
	ΖΗΤΗΣΗ = 453 $\alpha_2=99.82\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ	ΖΗΤΗΣΗ = 447 $\alpha_2=99.85\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 451 $\alpha_2=99.83\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ							
150	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	232	542	ΑΠΟΡΡΟΗ	311	232	543	ΑΠΟΡΡΟΗ	311	232	543
	ΒΡΟΧΟΠ.	12	3	15	ΒΡΟΧΟΠ.	11	3	14	ΒΡΟΧΟΠ.	12	4	16
	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	235	557	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	235	557	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	236	559
	ΥΔΡΕΥΣΗ	281	172	453	ΥΔΡΕΥΣΗ	288	159	447	ΥΔΡΕΥΣΗ	286	165	451
	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0
	ΕΞΑΤΜ.	22	4	26	ΕΞΑΤΜ.	21	4	25	ΕΞΑΤΜ.	22	4	26
	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	0	11	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	0	11	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	0	11
	ΥΠΕΡΧ.	8	59	67	ΥΠΕΡΧ.	2	72	74	ΥΠΕΡΧ.	4	67	71
	ΕΚΡΟΕΣ	322	235	557	ΕΚΡΟΕΣ	322	235	557	ΕΚΡΟΕΣ	323	236	559

## ΠΙΝΑΚΑΣ 11 (Συνέχεια)

ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΕΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΜΟΡΝΟΥ-ΕΥΗΝΟΥ (σε  $m^3 \cdot 10^6$ )ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ  $\alpha_1 = 99\%$ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΔΕΝΔΡΟΧΩΡΙΟΥ

ΚΑΝΟΝΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ: A: ΧΩΡΙΣ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ  
 B: ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΩΦΛΙ 543\*10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>  
 Γ: ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΩΦΛΙ 593\*10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>

ΚΑΝ. ΛΕΙΤ.	Α			Β			Γ		
ΧΩΡΗΤ/ΤΑ ΤΑΜ. ΕΥΗΝ. σε 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	ΖΗΤΗΣΗ = 461 $\alpha_2=99.88\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 458 $\alpha_2=99.79\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 461 $\alpha_2=99.83\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ		
	ΑΠΟΡΡΟΗ	230	540	ΑΠΟΡΡΟΗ	230	541	ΑΠΟΡΡΟΗ	230	541
	ΒΡΟΧΟΠ.	12	17	ΒΡΟΧΟΠ.	11	17	ΒΡΟΧΟΠ.	11	17
	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	557	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	558	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	558
252	ΥΔΡΕΥΣΗ	283	461	ΥΔΡΕΥΣΗ	289	458	ΥΔΡΕΥΣΗ	288	461
	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0
	ΕΞΑΤΜ.	22	27	ΕΞΑΤΜ.	21	26	ΕΞΑΤΜ.	21	26
	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	11	ΔΙΑΦΥΓΗ	10	10	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	11
	ΥΠΕΡΧ.	6	58	ΥΠΕΡΧ.	2	64	ΥΠΕΡΧ.	2	60
	ΕΚΡΟΕΣ	322	557	ΕΚΡΟΕΣ	322	558	ΕΚΡΟΕΣ	322	558

## ΠΙΝΑΚΑΣ 12

ΜΕΣΑ ΕΤΗΡΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΕΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΜΟΡΝΟΥ-ΕΥΗΝΟΥ (σε  $m^3 * 10^6$ )ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ  $\alpha_1 = 99\%$ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

ΚΑΝΟΝΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ: Α: ΧΩΡΙΣ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ  
 Β: ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΩΦΛΙ 543\*10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>  
 Γ: ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΩΦΛΙ 593\*10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>

ΚΑΝ. ΛΕΙΤ.	Α			Β			Γ					
ΧΩΡΗΤ/ΤΑ ΤΑΜ. ΕΥΗΝ. σε 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	ΖΗΤΗΣΗ = 490 $\alpha_2=99.84\%$ $\alpha_3=99.90\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 474 $\alpha_2=99.87\%$ $\alpha_3=99.92\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 479 $\alpha_2=99.84\%$ $\alpha_3=99.90\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ					
10	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	320	630	ΑΠΟΡΡΟΗ	311	320	631	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	320	630
	ΒΡΟΧΟΠ.	12	1	13	ΒΡΟΧΟΠ.	11	1	12	ΒΡΟΧΟΠ.	12	1	13
	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	321	643	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	321	643	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	321	643
	ΥΔΡΕΥΣΗ	272	218	490	ΥΔΡΕΥΣΗ	288	186	474	ΥΔΡΕΥΣΗ	289	190	479
	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0
	ΕΞΑΤΜ.	23	1	24	ΕΞΑΤΜ.	21	1	22	ΕΞΑΤΜ.	21	1	22
	ΔΙΑΦΥΓΗ	13	0	13	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	0	11	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	0	11
	ΥΠΕΡΧ.	14	102	116	ΥΠΕΡΧ.	2	134	136	ΥΠΕΡΧ.	1	130	131
	ΕΚΡΟΕΣ	322	321	643	ΕΚΡΟΕΣ	322	321	643	ΕΚΡΟΕΣ	322	321	643
	50	ΖΗΤΗΣΗ = 497 $\alpha_2=99.84\%$ $\alpha_3=99.89\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 480 $\alpha_2=99.85\%$ $\alpha_3=99.91\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 489 $\alpha_2=99.88\%$ $\alpha_3=99.93\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ				
ΑΠΟΡΡΟΗ		310	319	629	ΑΠΟΡΡΟΗ	311	319	630	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	319	629
ΒΡΟΧΟΠ.		12	2	14	ΒΡΟΧΟΠ.	12	2	14	ΒΡΟΧΟΠ.	12	2	14
ΕΙΣΡΟΕΣ		322	321	643	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	321	644	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	321	643
ΥΔΡΕΥΣΗ		276	221	497	ΥΔΡΕΥΣΗ	288	192	480	ΥΔΡΕΥΣΗ	284	205	489
ΑΡΔΕΥΣΗ		0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0
ΕΞΑΤΜ.		23	2	25	ΕΞΑΤΜ.	22	2	24	ΕΞΑΤΜ.	23	2	25
ΔΙΑΦΥΓΗ		12	0	12	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	0	11	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	0	11
ΥΠΕΡΧ.		11	98	109	ΥΠΕΡΧ.	2	127	123	ΥΠΕΡΧ.	4	114	118
ΕΚΡΟΕΣ		322	321	643	ΕΚΡΟΕΣ	323	321	638	ΕΚΡΟΕΣ	322	321	643

## ΠΙΝΑΚΑΣ 12 (Συνέχεια)

ΜΕΣΑ ΕΤΗΡΙΑ ΓΕΩΖΥΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΜΟΡΝΟΥ-ΕΥΗΝΟΥ (σε  $m^3 * 10^6$ )ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ  $\alpha_1 = 99\%$ 

## ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

ΚΑΝΟΝΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ: Α: ΧΩΡΙΣ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ  
 Β: ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΩΦΛΙ  $543 * 10^6 m^3$   
 Γ: ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΩΦΛΙ  $593 * 10^6 m^3$

ΚΑΝ. ΛΕΙΤ.	Α			Β			Γ					
ΧΩΡΗΤ/ΤΑ ΤΑΜ.ΕΥΗΝ. σε $10^6 m^3$	ΖΗΤΗΣΗ = 503 $\alpha_2=99.85\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 492 $\alpha_2=99.85\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 499 $\alpha_2=99.87\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ					
100	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	319	629	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	319	629	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	319	629
	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2	15	ΒΡΟΧΟΠ.	12	2	14	ΒΡΟΧΟΠ.	12	2	14
	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	321	644	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	321	643	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	321	643
	ΥΔΡΕΥΣΗ	269	234	503	ΥΔΡΕΥΣΗ	286	206	492	ΥΔΡΕΥΣΗ	282	217	499
	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0
	ΕΞΑΤΜ.	24	3	27	ΕΞΑΤΜ.	22	3	25	ΕΞΑΤΜ.	23	3	26
	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	0	11	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12
ΥΠΕΡΧ.	18	84	102	ΥΠΕΡΧ.	3	112	115	ΥΠΕΡΧ.	5	101	106	
ΕΚΡΟΕΣ	323	321	644	ΕΚΡΟΕΣ	322	321	643	ΕΚΡΟΕΣ	322	321	643	

## ΠΙΝΑΚΑΣ 13

ΜΕΣΑ ΕΤΗΡΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΜΟΡΝΟΥ-ΕΥΗΝΟΥ (σε  $m^3 \cdot 10^6$ )ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ  $\alpha_1 = 99\%$ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΠΕΡΙΣΤΑΣ

ΚΑΝΟΝΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ: Α: ΧΩΡΙΣ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ  
 Β: ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΩΦΛΙ  $543 \cdot 10^6 m^3$   
 Γ: ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΩΦΛΙ  $593 \cdot 10^6 m^3$

ΚΑΝ. ΛΕΙΤ.	Α			Β			Γ					
ΧΩΡΗΤ/ΤΑ ΤΑΜ.ΕΥΗΝ. σε $10^6 m^3$	ΖΗΤΗΣΗ = 504 $\alpha_2=99.87\%$ $\alpha_3=99.92\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 490 $\alpha_2=99.85\%$ $\alpha_3=99.91\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 498 $\alpha_2=99.85\%$ $\alpha_3=99.91\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ					
10	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	360	670	ΑΠΟΡΡΟΗ	311	360	671	ΑΠΟΡΡΟΗ	311	360	671
	ΒΡΟΧΟΠ.	12	1	13	ΒΡΟΧΟΠ.	11	1	12	ΒΡΟΧΟΠ.	12	1	13
	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	361	683	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	361	683	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	361	684
	ΥΔΡΕΥΣΗ	283	221	504	ΥΔΡΕΥΣΗ	289	201	490	ΥΔΡΕΥΣΗ	286	212	498
	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0
	ΕΞΑΤΜ.	23	2	25	ΕΞΑΤΜ.	21	1	22	ΕΞΑΤΜ.	23	1	24
ΔΙΑΦΥΓΗ	8	0	8	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	0	11	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	0	11	
ΥΠΕΡΧ.	8	138	146	ΥΠΕΡΧ.	1	159	160	ΥΠΕΡΧ.	3	148	151	
ΕΚΡΟΕΣ	322	361	683	ΕΚΡΟΕΣ	322	361	683	ΕΚΡΟΕΣ	323	361	684	
50	ΖΗΤΗΣΗ = 515 $\alpha_2=99.87\%$ $\alpha_3=99.92\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 500 $\alpha_2=99.85\%$ $\alpha_3=99.91\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 507 $\alpha_2=99.88\%$ $\alpha_3=99.91\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ					
	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	360	670	ΑΠΟΡΡΟΗ	311	360	671	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	359	669
	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2	15	ΒΡΟΧΟΠ.	12	2	14	ΒΡΟΧΟΠ.	12	2	14
	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	362	685	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	362	685	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	361	683
	ΥΔΡΕΥΣΗ	275	240	515	ΥΔΡΕΥΣΗ	288	212	500	ΥΔΡΕΥΣΗ	285	222	507
	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0
ΕΞΑΤΜ.	24	2	26	ΕΞΑΤΜ.	22	2	24	ΕΞΑΤΜ.	23	2	25	
ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	0	11	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12	
ΥΠΕΡΧ.	12	120	132	ΥΠΕΡΧ.	2	148	150	ΥΠΕΡΧ.	2	137	139	
ΕΚΡΟΕΣ	323	362	685	ΕΚΡΟΕΣ	323	362	685	ΕΚΡΟΕΣ	322	361	683	



## ΠΙΝΑΚΑΣ 13 (Συνέχεια)

ΜΕΣΑ ΕΤΗΡΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΜΟΡΝΟΥ-ΕΥΗΝΟΥ (σε  $m^3 \cdot 10^6$ )ΓΙΑ ΛΕΙΟΠΙΣΤΙΑ  $\alpha_1 = 99\%$ ΕΝΔΕΛΚΤΙΚΟΙ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΠΕΡΙΣΤΑΣ

ΚΑΝΟΝΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ: Α: ΧΩΡΙΣ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ  
 Β: ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΟΦΛΙ  $543 \cdot 10^6 m^3$   
 Γ: ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΟΦΛΙ  $593 \cdot 10^6 m^3$

ΚΑΝ. ΛΕΙΤ.	Α			Β			Γ					
ΧΩΡΗΤ/ΤΑ ΤΑΜ. ΕΥΗΝ. σε $10^6 m^3$	ΖΗΤΗΣΗ = 529 $\alpha_2=99.82\%$ $\alpha_3=99.89\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 508 $\alpha_2=99.86\%$ $\alpha_3=99.93\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 518 $\alpha_2=99.86\%$ $\alpha_3=99.91\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ					
100	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	359	669	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	359	669	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	359	669
	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2	15	ΒΡΟΧΟΠ.	12	2	14	ΒΡΟΧΟΠ.	12	2	14
	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	361	684	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	361	683	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	361	683
	ΥΔΡΕΥΣΗ	275	254	529	ΥΔΡΕΥΣΗ	287	221	508	ΥΔΡΕΥΣΗ	283	235	518
	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0
	ΕΞΑΤΜ.	24	3	27	ΕΞΑΤΜ.	22	3	25	ΕΞΑΤΜ.	22	3	25
	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	0	11	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12
	ΥΠΕΡΧ.	12	104	116	ΥΠΕΡΧ.	2	137	139	ΥΠΕΡΧ.	5	123	128
	ΕΚΡΟΕΣ	323	361	684	ΕΚΡΟΕΣ	322	361	683	ΕΚΡΟΕΣ	322	361	683
	150	ΖΗΤΗΣΗ = 535 $\alpha_2=99.87\%$ $\alpha_3=99.91\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 522 * $\alpha_2=99.87\%$ $\alpha_3=99.93\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 530 $\alpha_2=99.86\%$ $\alpha_3=99.92\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ				
ΑΠΟΡΡΟΗ		310	359	669	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	359	669	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	359	669
ΒΡΟΧΟΠ.		13	3	16	ΒΡΟΧΟΠ.	12	3	15	ΒΡΟΧΟΠ.	13	3	16
ΕΙΣΡΟΕΣ		323	362	685	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	362	684	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	362	685
ΥΔΡΕΥΣΗ		268	267	535	ΥΔΡΕΥΣΗ	287	235	522	ΥΔΡΕΥΣΗ	281	249	530
ΑΡΔΕΥΣΗ		0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0
ΕΞΑΤΜ.		24	4	28	ΕΞΑΤΜ.	22	4	26	ΕΞΑΤΜ.	23	4	27
ΔΙΑΦΥΓΗ		12	0	12	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	0	11	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12
ΥΠΕΡΧ.		19	91	110	ΥΠΕΡΧ.	2	123	125	ΥΠΕΡΧ.	7	109	116
ΕΚΡΟΕΣ		323	362	685	ΕΚΡΟΕΣ	322	362	684	ΕΚΡΟΕΣ	323	362	685

ΠΙΝΑΚΑΣ 13 (Συνέχεια)ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΕΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΜΟΡΝΟΥ-ΕΥΗΝΟΥ (σε  $m^3 \cdot 10^6$ )ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ  $\alpha_1 = 99\%$ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΠΕΡΙΣΤΑΣ

ΚΑΝΟΝΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ: Α: ΧΩΡΙΣ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ  
 Β: ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΩΦΛΙ 543\*10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>  
 Γ: ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΩΦΛΙ 593\*10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>

ΚΑΝ. ΛΕΙΤ.	Α			Β			Γ					
ΧΩΡΗΤ/ΤΑ ΤΑΜ.ΕΥΗΝ. σε 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	ΖΗΤΗΣΗ = 541 $\alpha_2=99.90\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 532 $\alpha_2=99.87\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 536 $\alpha_2=99.88\%$ ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ					
199	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	358	668	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	358	668	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	358	668
	ΒΡΟΧΟΠ.	13	4	17	ΒΡΟΧΟΠ.	12	4	16	ΒΡΟΧΟΠ.	12	4	16
	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	362	685	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	362	684	ΕΙΣΡΟΕΣ	322	362	684
	ΥΔΡΕΥΣΗ	276	265	541	ΥΔΡΕΥΣΗ	288	244	532	ΥΔΡΕΥΣΗ	283	253	536
	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0
	ΕΞΑΤΜ.	24	5	29	ΕΞΑΤΜ.	22	5	27	ΕΞΑΤΜ.	23	5	28
	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12	ΔΙΑΦΥΓΗ	11	0	11	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12
	ΥΠΕΡΧ.	11	92	103	ΥΠΕΡΧ.	1	113	114	ΥΠΕΡΧ.	4	104	108
	ΕΚΡΟΕΣ	323	362	685	ΕΚΡΟΕΣ	322	362	684	ΕΚΡΟΕΣ	322	362	684

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 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 multiplereservoir systems", Water Resour. Res. 10(6), 1107-1112.
- Biswas A.K. (editors) (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.
- 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.
- Houck 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.
- Hurst H.E. (1951). "Long term Storage Capacity of Reservoirs". Trans ASCE, 116, paper 2447, 770-808.

- Hurst H.E., Black R.P. and Simaika Y.M. (1965). "Long-term Storage. An Experimental Study". Constable, London.
- Kottegoda N.T. (1980). "Stochastic Water Resources Technology", Mc Milan, London.
- Κουτσογιάννης Δ. - Κ. Ταρλά (1987). "Εκτιμήσεις Στερεοαπορροής στην Ελλάδα", Τεχνικά Χρονικά, Α' Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ, Τόμος 7, Τεύχος 3.
- Κουτσογιάννης Δ. (1988). "Μοντέλο Επιμερισμού Σημειακής Βροχόπτωσης", Διδακτορική διατριβή ΕΜΠ, Αθήνα.
- Loucks D.P. (1970). "Some Comments on Linear Decision Rules and Chance Constraints", Water Resour. Res. 6(2), 668-671.
- 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 and Simulation", IASTED, Vol. 7 no 29.
- Ναλμπάντης Ι. (1988). "Η εμμόνη και η επίδρασή της στο σχεδιασμό ταμιευτήρα", Τεχνικά Χρονικά - Επιστημονικά έκδοση ΤΕΕ, Α-1988, τομ.8, τευχ. 2.
- Ξανθόπουλος Θεμ. (1987). "Εισαγωγή στην Τεχνική Υδρολογία", ΕΜΠ Αθήνα.
- 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.
- Sohultz G.A. (1976). "Determination of Deficiencies of the Rippl-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.
- Turgeon A. (1981b). "A Decomposition method for the Long-term Scheduling of Reservoir in Series", Water Resour. Res. 17(6), 1565-1570.
- Vanoni V.A. editor (1977), "Sedimentation Engineering" ASCE, New York.
- W.M.O. (1983). "Guide to Hydrological Practices", Vol. II Chapter 7 - Applications to Water Management.

# Σ Υ Μ Π Λ Η Ρ Ω Μ Α Α

## Σ Χ Η Μ Α Τ Α

Σελ.

Σχ. 1	Μοντέλο υδροδοτικού συστήματος Αθήνας (χωρίς ταμιευτήρα αναρρύθμισης)	A-1
Σχ. 2	Μοντέλο υδροδοτικού συστήματος Αθήνας (με ταμιευτήρα αναρρύθμισης)	A-1
Σχ. 3	Καμπύλη $Q-Q_s$ με δύο παραμέτρους	A-2
Σχ. 4	Τελική καμπύλη $Q-Q_s$ με 3 παραμέτρους	A-2
Σχ. 5	Σύγκριση τελικής καμπύλης $Q-Q_s$ και δεδομένων γέφυρας Μπανιά	A-3
Σχ. 6	Σύγκριση τελικής καμπύλης $Q-Q_s$ και δεδομένων Πόρου Ρηγανίου	A-3
Σχ. 7	Σύγκριση τελικής καμπύλης $Q-Q_s$ και δεδομένων Γέφυρας Αχλαδοκάστρου	A-4
Σχ. 8	Σύγκριση τελικής καμπύλης $Q-Q_s$ και δεδομένων Γέφυρας Νεοχωρίου	A-4
Σχ. 9	Καμπύλες στάθμης-όγκου και στάθμης-επιφάνειας ταμιευτήρα Δενδροχωρίου	A-5
Σχ. 10	Καμπύλες στάθμης-όγκου και στάθμης-επιφάνειας ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου	A-6
Σχ. 11	Καμπύλες στάθμης-όγκου και στάθμης-επιφάνειας ταμιευτήρα Περίστας	A-7

Σ Υ Μ Π Λ Η Ρ Ω Μ Α Β

Π Ι Ν Α Κ Ε Σ

	Σελ.
Πιν.Β-1 Δεδομένα στερεοπαροχής σταθμού γέφυρας Μπανιά	Β-1
Πιν.Β-2 " " " Πόρου Ρηγανίου	Β-3
Πιν.Β-3 " " " Γέφυρας Αχλαδόκαστρου	Β-5
Πιν.Β-4 " " " " Νεοχωρίου	Β-6

Πιν. Β-2. Δεδομένα στερεοπαροχής σταθμού Πόρου Ρηγανίου

A/A	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΑΡΟΧΗ Q (m <sup>3</sup> /sec)	ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΗ Q <sub>s</sub> (Kg/sec)
1	10/12/70	5.00	0.25
2	18/12/70	4.36	0.17
3	20/1/71	16.28	0.64
4	30/1/71	27.98	2.00
5	4/2/71	29.85	1.86
6	8/2/71	22.44	1.98
7	25/2/71	57.18	8.94
8	31/3/71	100.75	43.84
9	18/5/71	13.80	0.63
10	2/6/71	9.39	0.30
11	22/4/72	48.84	2.86
12	4/5/72	77.28	138.70
13	22/11/72	14.60	13.33
14	14/12/72	8.44	0.39
15	8/3/74	49.41	5.00
16	20/3/74	40.95	2.04
17	5/4/74	20.38	0.75
18	30/11/74	36.96	2.23
19	8/4/75	22.53	0.69
20	12/2/76	19.09	0.39



## Συνέχεια Πιν. Β-2.

A/A	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΑΡΟΧΗ Q (m <sup>3</sup> /sec)	ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΗ Q <sub>s</sub> (Kg/sec)
21	18/3/76	19.04	0.42
22	1/4/76	23.91	0.91
23	12/4/76	43.56	1.58
24	1/12/76	26.71	2.67
25	27/1/77	33.41	1.27
26	1/2/77	26.60	1.26
27	14/3/77	21.22	1.12
28	18/2/78	83.78	18.73
30	18/1/82	25.00	0.29
31	25/1/82	18.71	0.26
33	3/3/82	41.53	0.14
34	9/3/82	41.79	0.48
35	1/4/82	75.64	13.37
36	4/5/82	49.62	1.04
37	29/12/82	48.98	1.21

**Πιν. Β-3. Δεδομένα στερεοπαροχής σταθμού Γέφ. Αχλαδοκάστρου**

A/A	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΑΡΟΧΗ Q (m <sup>3</sup> /sec)	ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΗ Q <sub>s</sub> (Kg/sec)
1	15/12/70	3.00	0.24
2	21/1/71	15.28	0.46
3	5/2/71	21.82	2.93
4	19/2/71	52.23	15.84
5	13/3/71	41.40	9.49
6	19/3/76	14.66	0.41
7	13/4/76	40.19	1.53

**Πιν. Β-4. Δεδομένα στερεοπαροχής σταθμού Γέφ. Νεοχωρίου**

A/A	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΑΡΟΧΗ Q (m <sup>3</sup> /sec)	ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΗ Q <sub>s</sub> (Kg/sec)
1	2/2/71	19.68	2.96
2	12/5/71	5.39	0.25
3	13/5/71	5.30	0.44
4	28/4/82	11.63	0.27