

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΑΘΗΝΩΝ ΠΡΟΣ ΚΑΛΥΨΗ ΑΝΑΓΚΩΝ ΜΕΧΡΙ ΤΟ 2030  
ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ  
ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΜΟΡΝΟΥ  
ΑΠΟ ΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΕΥΗΝΟΥ  
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 8976701

ΕΙΣ Α Γ Ω Γ Ι Κ Ο Μ Ε Ρ Ο Σ

**ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ**  
**ΕΚΘΕΣΗ**

ΣΥΜΠΡΑΤΤΟΝΤΑ ΜΕΛΕΤΗΤΙΚΑ ΓΡΑΦΕΙΑ

ΟΤΜΕ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΕΠΕ

Δ.ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗΣ ΚΑΙ ΣΙΑ ΕΕ

ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΠΕ

Γ. ΚΑΡΑΒΟΚΥΡΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ ΕΕ

ΥΔΡΟΤΕΚ ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΠΕ

Θ.ΓΚΟΦΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ ΕΠΕ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	<u>Σελίδα</u>
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Αντικείμενο της Υδρολογικής διερεύνησης	1
1.2. Διάρθρωση τευχών της Υδρολογικής διερεύνησης	1
2. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗ ΑΘΗΝΑΣ	5
2.1. Γενική μεθοδολογία αντιμετώπισης του προβλήματος του υδρολογικού σχεδιασμού του ταμιευτήρα Ευήνου	5
2.2. Σημερινό υδροδοτικό σύστημα	10
2.2.1. Υδατικοί πόροι	10
2.2.2. Ταμιευτήρας Μόρνου	10
2.2.3. Υδαταγωγός Μόρνου	14
2.2.4. Λίμνη Υλίκη	16
2.2.5. Το υδραγωγείο Υλίκης	17
2.2.6. Η λίμνη του Μαραθώνα	18
2.2.7. Εγκαταστάσεις διύλισης	19
2.2.8. Υπόλοιποι κλάδοι του εξωτερικού δικτύου μεταφοράς	19
2.3. Μελλοντικό υδροδοτικό σύστημα	19
3. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΚΑΝΩΝ	27
3.1. Λεκάνη Μόρνου	27
3.2. Λεκάνη Ευήνου	27
4. ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ	29
4.1. Γενικά - μεθοδολογία	29
4.2. Λεκάνη Μόρνου	30
4.3. Λεκάνη Ευήνου	37
5. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ - ΕΞΑΤΜΙΣΕΙΣ	43
5.1. Γενικά - Μεθοδολογία	43
5.2. Ταμιευτήρας Μόρνου	45
5.2.1. Θερμοκρασία	46
5.2.2. Σχετική υγρασία	47
5.2.3. Ηλιοφάνεια	47
5.2.4. Ταχύτητα ανέμου	47
5.2.5. Υπολογισμός εξάτμισης κατά Penman	48
5.2.6. Μετρήσεις εξάτμισης - Συγκρίσεις	48
5.2.7. Επέκταση του δείγματος εξατμίσεων	49

	<u>Σελίδα</u>
5.3. Ταμιευτήρας Ευήνου	50
5.3.1. Θερμοκρασία	50
5.3.2. Σχετική υγρασία	51
5.3.3. Ηλιοφάνεια	52
5.3.4. Ταχύτητα ανέμου	52
5.3.5. Υπολογισμός εξάτμισης κατά Penman - Επεκτάσεις και αναγωγές δειγμάτων	53
5.3.6. Μετρήσεις εξάτμισης - συγκρίσεις	54
6. ΑΠΟΡΡΟΕΣ	56
6.1. Γενικά	56
6.2. Λεκάνη Μόρνου	57
6.2.1. Υδρομετρικοί σταθμοί	57
6.2.2. Καμπύλες στάθμης - παροχής	58
6.2.3. Τελικές παροχές υδρομετρικών σταθμών	59
6.2.4. Παροχές στη θέση φράγματος Μόρνου	60
6.3. Λεκάνη Ευήνου	65
6.3.1. Υδρομετρικοί σταθμοί	65
6.3.2. Καμπύλες στάθμης - παροχής	66
6.3.3. Τελικές παροχές υδρομετρικών σταθμών	67
6.3.4. Έλεγχος αξιοπιστίας των παροχών του Ευήνου	68
6.3.5. Τελικές παροχές στις θέσεις φραγμάτων	69
6.4. Ενίσχυση του ταμιευτήρα Ευήνου από τον Ανατολικό Αχελώο	72
7. ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΕΣ ΛΕΚΑΝΗ ΕΥΗΝΟΥ	76
7.1. Εκτίμηση μέσης ετήσιας στερεοαπορροής αιωρούμενων φερτών	76
7.2. Εκτίμηση του νεκρού όγκου του ταμιευτήρα Αγίου Δημητρίου	78
8. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	80
8.1. Τοποθέτηση του προβλήματος	80
8.2. Προσομοίωση υδρολογικών μεταβλητών	83
8.2.1. Βασικές παρατηρήσεις και παραδοχές	83
8.2.2. Γενικό σχήμα προσομοίωσης της απορροής-βροχής	85
8.2.3. Το Μαρκοβιανό μοντέλο παραγωγής ετήσιων χρονοσειρών	87
8.2.4. Γενική περιγραφή του μοντέλου επιμερισμού	88
8.2.5. Τελικές στατιστικές εκτιμήσεις υδρολ. μεταβλητών	89

8.3. Προσομοίωση λειτουργίας υδροδοτικού συστήματος	92
8.3.1. Διάρθρωση του συστήματος	92
8.3.2. Ταμιευτήρας Μόρνου	93
8.3.3. Ταμιευτήρας Αγ. Δημητρίου	93
8.3.4. Κύριοι αγωγοί μεταφοράς νερού	95
8.3.5. Επίπεδο αξιοπιστίας	96
8.3.6. Κατανάλωση νερού	97
8.3.7. Κανόνας λειτουργίας συστήματος Μόρνου-Ευήνου	98
8.3.8. Εξισώσεις προσομοίωσης	101
8.4. Αποτελέσματα προσομοίωσης	104
8.4.1. Απόληψη από τον ταμιευτήρα Μόρνου	104
8.4.2. Απόληψη από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου	105
8.4.3. Απόληψη από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου-Ν.Α. Αχελώου	109
8.4.4. Εκτίμηση απολήψεων από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου-Υλίκης	110
8.4.5. Λειτουργία υδροδοτικού συστήματος Μόρνου-Ευήνου-Υλίκης μετά την κατασκευή ταμιευτήρα στον Εύηνο	112
9. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΙΓΙΔΩΝ - ΟΜΒΡΙΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ	125
9.1. Σταθμοί και δεδομένα	125
9.2. Σχηματισμός στατιστικών δειγμάτων	126
9.3. Στατιστική επεξεργασία δειγμάτων	127
9.4. Όμβριες καμπύλες βροχογράφων	129
9.5. Όμβριες καμπύλες βροχομέτρων	131
9.6. Επιλογή τελικής όμβριας καμπύλης	134
9.7. Συγκρίσεις - Συμπεράσματα	138
10. ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ	141
10.1. Εισαγωγή	141
10.1.1. Γενικά	141
10.1.2. Προϋποθέσεις Εφαρμογής του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος	141
10.1.3. Προϋποθέσεις για την κατάρτιση του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος	143
10.1.4. Ορισμοί και Βασικές Σχέσεις	144
10.1.5. Συνήθης γραμμική κατάρτιση μοναδιαίου Υδρογραφήματος	146
10.1.6. Παραμετρική μέθοδος κατάρτισης μοναδιαίου Υδρογραφήματος	147

10.2. Μεθοδολογία κατάρτισης μοναδιαίου υδρογραφήματος στη θέση φράγματος Αγίου Δημητρίου	150
10.3. Το μοναδιαίο υδρογράφημα στη θέση Πόρος Ρηγανίου	151
10.4. Μοναδιαίο υδρογράφημα στη θέση φράγματος Αγίου Δημητρίου	153
10.5. Συγκρίσεις - Συμπεράσματα	157
11. ΣΥΝΘΕΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	165
11.1. Γενικά	165
11.2. Όμβριες καμπύλες	165
11.3. Μοναδιαίο υδρογράφημα	166
11.4. Περίοδοι επαναφοράς σχεδιασμού	166
11.5. Διάρκειες καταγίδων σχεδιασμού	167
11.6. Χρονική κατανομή της βροχής	167
11.7. Απώλειες - Ωφέλιμη βροχή	169
11.8. Βασική ροή	170
11.9. Τελικά πλημμυρογραφήματα	170
11.10. Συγκρίσεις - Συμπεράσματα	171
12. ΔΙΟΔΕΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ	177
12.1. Γενικά	177
12.2. Μέθοδος διόδευσης	177
12.3. Καμπύλες στάθμης-όγκου και στάθμης-επιφάνειας ταμιευτήρα	179
12.4. Καμπύλες στάθμης-παροχής υπερχειλιστή	179
12.5. Καμπύλη στάθμης-παροχής σήραγγας εκτροπής	180
12.6. Αποτελέσματα διοδεύσεων	181
13. ΛΗΨΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΟΜΕΝΗ ΦΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	186

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Αντικείμενο της Υδρολογικής διερεύνησης

Η παρούσα υδρολογική διερεύνηση έγινε στα πλαίσια της "Προμελέτης Ενίσχυσης του Υδατικού Δυναμικού του ταμειυτήρα Μόρνου από τη λεκάνη του ποταμού Ευήνου" (αριθμός μελέτης 8976701, ΣΑΜ 076).

Πιο συγκεκριμένα η εκπόνηση της υδρολογικής διερεύνησης περιλαμβάνεται στα συμβατικά αντικείμενα και σύμφωνα με την Ειδική Συγγραφή Υποχρεώσεων (Ε.Σ.Υ.) προβλέπεται να εκπονηθεί στα πλαίσια του Εισαγωγικού Μέρους της Προμελέτης. Όπως αναφέρεται και στην Ε.Σ.Υ., για την εκπόνηση της μελέτης αυτής ελήφθη υπόψη η υδρολογική και λοιπή έρευνα και σχετική βελτιστοποίηση των έργων που έγινε από το ΕΜΠ. Η έρευνα του ΕΜΠ συμπληρώθηκε κατάλληλα και προσαρμόστηκε με τα πραγματικά οικονομικά και τεχνικά στοιχεία των μελετώμενων έργων (Ε.Σ.Υ. άρθρο 3 παρ. 1.1). Επί πλέον, εξετάστηκε και η δυνατότητα μελλοντικής ενίσχυσης του ταμειυτήρα Ευήνου από τη λεκάνη του Ν.Α. Αχελώου (Ε.Σ.Υ. άρθρο 3 παρ. 1).

### 1.2. Διάρθρωση τευχών της Υδρολογικής διερεύνησης

Η υδρολογική διερεύνηση που έγινε στα πλαίσια της Προμελέτης ενίσχυσης του Υδατικού Δυναμικού του ταμειυτήρα Μόρνου, παρουσιάζεται σε δύο τεύχη: Το πρώτο τεύχος είναι η Έκθεση και το δεύτερο τα Παραρτήματα Πινάκων και Σχεδίων.

Το τεύχος της Έκθεσης περιλαμβάνει 13 κεφάλαια, το πρώτο από τα οποία είναι η παρούσα εισαγωγή.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται γενική περιγραφή και τεκμηρίωση της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε στον υδρολογικό σχεδιασμό των έργων του Ευήνου. Στη συνέχεια περιγράφεται συνοπτικά το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας και οι τεχνικές λύσεις ενίσχυσής του από τη λεκάνη του ποταμού Ευήνου όπως αυτές είχαν προταθεί στη μελέτη των ΤΕΤΡΑΚΤΥΣ-Κόμη (1977) και κυρίως στη μελέτη του ΕΜΠ (1990). Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται συνοπτικά η γεωγραφία και η γεωλογία

των λεκανών απορροής Μόρνου και Ευήνου.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα βροχομετρικά δεδομένα των λεκανών Μόρνου και Ευήνου που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας. Γίνεται αναφορά στη μεθοδολογία επεξεργασίας των δεδομένων αυτών και εμφανίζονται τα τελικά δείγματα υψών βροχής σε μηνιαία βάση όπως αυτά είχαν καταρτιστεί στη μελέτη του ΕΜΠ και συμπληρώθηκαν στην παρούσα μελέτη.

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται παρουσίαση των μετεωρολογικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην εκτίμηση της εξάτμισης από τους ταμιευτήρες Μόρνου και Ευήνου.

Το κεφάλαιο 6 περιλαμβάνει μια επισκόπηση των υδρομετρικών δεδομένων των λεκανών Μόρνου και Ευήνου. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν μετρήσεις στάθμης σε ημερήσια και ωριαία στάθμη καθώς και υδρομετρήσεις που επιτρέπουν τον υπολογισμό καμπυλών στάθμης-παροχής. Τέλος παρουσιάζονται τα τελικά δείγματα της απορροής στις θέσεις των φραγμάτων Μόρνου και Ευήνου σε μηνιαία χρονική βάση όπως αυτά προέκυψαν από τη συμπλήρωση των αντίστοιχων δειγμάτων της μελέτης του ΕΜΠ.

Το κεφάλαιο 7 αναφέρεται στην εκτίμηση του νεκρού όγκου του ταμιευτήρα Ευήνου με βάση τα πρωτογενή δεδομένα στερεοπαροχής, όπως αυτή είχε γίνει στη μελέτη του ΕΜΠ και προσαρμόστηκε για την παρούσα μελέτη.

Στο κεφάλαιο 8 τίθεται το γενικό πρόβλημα της προσομοίωσης συστήματος ταμιευτήρων και περιγράφεται το μοντέλο προσομοίωσης του συστήματος Μόρνου-Ευήνου. Στη συνέχεια γίνεται εκτενής αναφορά στις παραδοχές της διερεύνησης των δυνατοτήτων του συστήματος Μόρνου-Ευήνου και τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και τα συμπεράσματα σχετικά με τις δυνατότητες απόληψης από το σύστημα για διάφορα εναλλακτικά μεγέθη σχεδιασμού του ταμιευτήρα Ευήνου.

Στο κεφάλαιο 9 παρουσιάζεται η στατιστική επεξεργασία των σημειώσεων και επιφανειακών μεγίστων υψών βροχής της λεκάνης ανάντη του

φράγματος Αγ. Δημητρίου, η εξαγωγή των ομβρίων καμπυλών για διάρκειες επεισοδίου βροχής από 1 ώρα έως 48 ώρες.

Το κεφάλαιο 10 αφιερώνεται στην κατάρτιση του μοναδιαίου υδρογραφήματος της λεκάνης ανάντη της θέσης του φράγματος Αγ. Δημητρίου.

Στο κεφάλαιο 11 παρουσιάζονται τα υετογράμματα των καταγίδων σχεδιασμού και οι πλημμύρες σχεδιασμού του υπερχειλιστή και της σήραγγας εκτροπής καθώς και η μεθοδολογία κατάρτισής τους.

Το κεφάλαιο 12 αφορά στη διόδευση των πλημμυρογραφημάτων σχεδιασμού μέσω του υπερχειλιστή και της σήραγγας εκτροπής.

Τέλος στο κεφάλαιο 13 δίνονται συνοπτικά προτάσεις για περαιτέρω έρευνες που θα απαιτηθούν στη φάση της οριστικής μελέτης.

Το τεύχος των Παραρτημάτων περιλαμβάνει τα παρακάτω μέρη:

**Παράρτημα Α: Βροχομετρικά δεδομένα Λεκανών Μόρνου και Ευήνου**

Παρουσίαση των μηνιαίων σημειακών και επιφανειακών υψών βροχής στις δύο λεκάνες και των εξισώσεων γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των σημειακών υψών σε μηνιαία βάση.

**Παράρτημα Β: Μετεωρολογικά δεδομένα Λεκανών Μόρνου και Ευήνου**

Παρουσίαση των μηνιαίων ελαχίστων, μεγίστων και μέσων θερμοκρασιών και των δεδομένων σχετικής υγρασίας, ηλιοφάνειας, ταχύτητας ανέμου και εξατμίσεις από εξατμισόμετρο σε μηνιαία χρονική βάση.

**Παράρτημα Γ: Υδρομετρικά δεδομένα Λεκανών Μόρνου και Ευήνου - Δεδομένα Στερεοπαροχής**

Παρουσίαση των δεδομένων παροχής σε ημερήσια βάση, των υδρομετρήσεων και των καμπυλών στάθμης-παροχής που υπολογίστηκαν στους υδρομετρικούς σταθμούς των δύο λεκανών και των τελικών δειγμάτων παροχών σε μηνιαία βάση καθώς και των δεδομένων στερεοπαροχής στη λεκάνη του Ευήνου και της καμπύλης μεταφοράς φερτών.

Παράρτημα Δ: Έξοδοι προγραμμάτων μοντελοποίησης υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας

Γίνεται παρουσίαση σε μορφή γραφημάτων των τελικών δειγμάτων των υδρομετεωρολογικών δεδομένων σε ετήσια βάση μαζί με τους νόμους στατιστικής κατανομής που προσαρμόζονται καλύτερα σ' αυτά. Στη συνέχεια παρουσιάζονται εκτυπώσεις (είσοδοι έξοδοι) του μοντέλου υδρολογικής προσομοίωσης που περιλαμβάνουν και τα στατιστικά χαρακτηριστικά των υδρολογικών μεγεθών σε μηνιαία και ετήσια βάση. Τέλος δίνεται ένα παράδειγμα αναλυτικής και συνοπτικής εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας των συνδυασμένων ταμειευτήρων Μόρνου και Ευήνου.

Παράρτημα Ε: Επεξεργασία μεγίστων βροχοπτώσεων - Ομβρίες καμπύλες

Γίνεται παρουσίαση σε μορφή πινάκων και γραφημάτων της στατιστικής επεξεργασίας των σημειακών μεγίστων υψών βροχής, των ομβρίων καμπυλών που καταρτίστηκαν με βάση τα βροχομετρικά και βροχογραφικά δεδομένα.

Παράρτημα ΣΤ: Πλημμύρες σχεδιασμού

Γίνεται παρουσίαση των πινακοποιημένων πλημμυρογραφημάτων σχεδιασμού (εισοχής) και των πλημμυρογραφημάτων εκροής μετά από διόδευση μέσω του υπερχειλιστή και της σήραγγας εκτροπής.

## 2. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

### 2.1. Γενική μεθοδολογία αντιμετώπισης του προβλήματος του υδρο- λογικού σχεδιασμού του ταμιευτήρα Ευήνου

Ο υδρολογικός σχεδιασμός των έργων του Ευήνου που αντιμετωπίζεται στην παρούσα μελέτη περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- (α) Εκτίμηση του πρόσθετου μέγιστου απολήψιμου όγκου νερού σε ετήσια βάση από τον ταμιευτήρα Ευήνου σε σχέση με τις δυνατότητες του σημερινού υδροδοτικού συστήματος Μόρνου-Υλίκης και αυτό για διάφορα εναλλακτικά ύψη φράγματος ή αλλιώς για διάφορες τιμές της ωφέλιμης χωρητικότητας του ταμιευτήρα.
- (β) Μελέτη πρόσχωσης του ταμιευτήρα Ευήνου και εκτίμηση του νεκρού όγκου του.
- (γ) Διαστασιολόγηση των έργων ασφάλειας του φράγματος Ευήνου με βάση ακραία υδρολογικά περιστατικά και εκτίμηση του όγκου ανάσχεσης των πλημμυρών επί πλέον της ωφέλιμης χωρητικότητας του ταμιευτήρα.

Σε ότι αφορά τα μέρη (β) και (γ) της μελέτης ο ταμιευτήρας Ευήνου είναι δυνατόν να εξεταστεί μεμονωμένα καθόσον τα μεγέθη που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς δεν επηρεάζονται από την ένταξη του ταμιευτήρα στο σύστημα των ταμιευτήρων Μόρνου-Υλίκης.

Σε ότι αφορά το μέρος (α), στη μελέτη του ΕΜΠ (1990) αλλά και στην παλιότερη μελέτη των ΤΕΤΡΑΚΤΥΣ - Κόμη (1977), το πρόβλημα είχε αντιμετωπιστεί με βάση το σύστημα Μόρνου-Ευήνου. Προτού δεχθούμε και στη μελέτη αυτή την παραπάνω μεθοδολογία, της συνδυασμένης δηλαδή διαχείρισης των ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου, προσπαθήσαμε να εξετάσουμε όλες τις δυνατότητες αναγωγής του προβλήματος σε μία απλή περίπτωση ενός μεμονωμένου ταμιευτήρα.

Καταρχήν μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

- α) Στο μελλοντικό υδροδοτικό σύστημα Μόρνου-Ευήνου-Υλίκης η έξοδος του συστήματος που είναι η απόληψη για ύδρευση της Αθήνας, δίνεται από το άθροισμα των απολήψεων από τα επί μέρους συστήματα Μόρνου-Ευήνου και Υλίκης. Δεδομένου ότι η κατανάλωση της Αθήνας κατά τα επόμενα 20 χρόνια δεν αναμένεται να φθάσει τη μέγιστη απολήψιμη ποσότητα από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου-Υλίκης, είναι δυνατόν σε ένα πρώτο στάδιο να θεωρηθεί ότι η εκμετάλλευση της Υλίκης δε θα είναι στο όριο των δυνατοτήτων της κυρίως λόγω της αντισοικονομικότητάς της (κόστος αντλήσεων). Κατά συνέπεια αναζητούνται ουσιαστικά μόνο οι δυνατότητες του επιμέρους συστήματος Μόρνου-Ευήνου και το πρόβλημα του υδρολογικού σχεδιασμού περιορίζεται στη μελέτη του συστήματος αυτού. Η έξοδος του συστήματος είναι η ζήτηση για ύδρευση της Αθήνας και θεωρείται στην υδροληψία του φράγματος Μόρνου.
- β) Οι τοπογραφικές συνθήκες της λεκάνης του Ευήνου δεν ευνοούν τη δημιουργία ταμιευτήρων μεγάλου όγκου, αντίστοιχων με τον ταμιευτήρα Μόρνου. Έτσι η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου μόλις μπορεί να ξεπεράσει τα  $100 * 10^6 \text{ m}^3$  (=K) ενώ η αντίστοιχη τιμή της χωρητικότητας του ταμιευτήρα Μόρνου είναι  $643 * 10^6 \text{ m}^3$ . Αντίθετα, η μέση ετήσια εισροή στον ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου είναι  $303 * 10^6 \text{ m}^3$  (=μ), εξίσου μεγάλη με την εισροή στον ταμιευτήρα Μόρνου ( $305 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ ). Ένας ταμιευτήρας στον Ευήνο ωφέλιμης χωρητικότητας  $100 * 10^6 \text{ m}^3$  θα έχει λόγο χωρητικότητας  $K/\mu = 100/303 = 0.33$ , ενώ για τον ταμιευτήρα Μόρνου  $K/\mu = 643/305 = 2.11$ . Γίνεται επομένως φανερό ότι η ρύθμιση που θα επιτυγχάνει ο ταμιευτήρας Ευήνου θα είναι κατά πολύ μικρότερη από εκείνη του ταμιευτήρα Μόρνου.

Ενδεικτικά συζητούνται οι ακόλουθοι τρεις απλουστευμένοι τρόποι αντιμετώπισης του σχεδιασμού του ταμιευτήρα Ευήνου.

1. Μεμονωμένη εκμετάλλευση του Ευήνου, με ανεξάρτητη υπερετήσια ρύθμιση του

Η αντιμετώπιση αυτή είναι η απλούστερη δυνατή, αλλά και περισσότερο δυσμενής. Η μικρή χωρητικότητα του ταμιευτήρα

Ευήνου θα οδηγήσει σε πολύ μικρό ποσοστό ρύθμισης του, και έτσι η ετήσια απόληψη θα είναι μικρότερη του όγκου του ταμειυτήρα. Έτσι οδηγούμαστε σε σπατάλη νερού που θα μπορούσε να αποθηκευτεί στον ταμειυτήρα Μόρνου.

2. Απόληψη από τον Ευήνο χωρίς ρύθμιση, με ρυθμό ίσο με αυτό που επιτρέπει η παροχτευτικότητα της σήραγγας

Η αντιμετώπιση αυτή έχει δύο προβλήματα. Το πρώτο είναι ότι θεωρεί την χωρητικότητα του Ευήνου μόνο ως όγκο ανάσχεσης και όχι αποθήκευσης. Το δεύτερο και κυριότερο είναι ότι υπονοεί άπειρη χωρητικότητα του ταμειυτήρα Μόρνου, δεδομένου ότι δεν αντιμετωπίζει το ενδεχόμενο υπερχειλίσεων από το Μόρνο. Είναι προφανές ότι σε έτη υψηλής υδροφορίας θα παρατηρούνται μεγάλες εισροές και στους δύο ταμειυτήρες, το ενδεχόμενο υπερχειλίσεων αποκτά σημαντική πιθανότητα.

Μια άλλη δυνατότητα απλοποίησης της λειτουργίας του συστήματος Μόρνου-Ευήνου είναι η θεώρηση ενός ισοδύναμου ταμειυτήρα με ωφέλιμη χωρητικότητα το άθροισμα των χωρητικοτήτων των ταμειυτήρων Μόρνου και Ευήνου και εισροές επίσης το άθροισμα των επιμέρους εισροών. Η θεώρηση αυτή όμως προϋποθέτει ότι η παροχτευτικότητα της σήραγγας Ευήνου-Μόρνου δεν είναι περιοριστική για καμιά τιμή της μηνιαίας εισροής του ταμειυτήρα Ευήνου, κάτι που απαιτεί εξαιρετικά μεγάλες τιμές της παροχτευτικότητας. Επί πλέον εισάγονται αναπόφευκτα ανακρίβειες στη λειτουργία του ισοδύναμου ταμειυτήρα με την παραδοχή μη πραγματικών καμπυλών στάθμης-επιφάνειας-όγκου. Πάντως αυτή η προσέγγιση είναι σαφώς προτιμότερη από τις προηγούμενες, οι οποίες θα πρέπει να θεωρηθούν ως απαράδεκτες.

Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι η μόνη σωστή αντιμετώπιση του προβλήματος είναι η συνδυασμένη εκμετάλλευση Μόρνου-Ευήνου. Με αυτή την αντιμετώπιση προσομοιώνεται η πλήρης λειτουργία του συστήματος των δύο ταμειυτήρων, και μπορεί να εισαχθούν και να μελετηθούν διάφορα διαχειριστικά μέτρα, όπως η δυνατότητα διακοπής της λειτουργίας της σήραγγας Ευήνου-Μόρνου, όταν η στάθμη στο Μόρνο είναι ψηλή, και αξιοποίησης με αυτό τον τρόπο της χωρητικότητας του ταμειυτήρα Ευήνου ως όγκου αποθήκευσης.

Παράλληλα με τον τρόπο αυτό παίρνονται υπόψη όλοι οι φυσικοί περιορισμοί που σχετίζονται με τις διαθέσιμες χωρητικότητες των δύο ταμιευτήρων και τις παροχетеυτικότητες των αγωγών μεταφοράς.

Τα έργα που υπεισέρχονται στη μελέτη του συστήματος Μόρνου-Ευήνου είναι τα ακόλουθα:

- α) Ο υπό μελέτη ταμιευτήρας Αγ. Δημητρίου.
- β) Η σήραγγα Ευήνου-Μόρνου, της οποίας τα χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με τις στάθμες των ταμιευτήρων καθορίζουν τη μέγιστη δυνατή παροχетеύσιμη ποσότητα προς τον ταμιευτήρα Μόρνου. Ασφαλώς η τιμή της παροχής αυτής είναι περιοριστική για την εκτροπή χωρίς ρύθμιση των απορροών του Ευήνου όταν αυτές ξεπερνούν ένα ορισμένο ρυθμό.
- γ) Ο ταμιευτήρας Μόρνου ο οποίος δέχεται εκτός από τις απορροές της λεκάνης του Μόρνου και τη ρυθμισμένη παροχή του Ευήνου και πραγματοποιεί επί πλέον σημαντική ρύθμιση σ' αυτή.
- δ) Ο υδαταγωγός Μόρνου, η παροχетеυτικότητα του οποίου είναι δυνατόν να αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την απόληψη από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου.

Στο σημείο αυτό θεωρούμε σκόπιμο να αναφέρουμε από τώρα ότι σε όλες τις προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκαν δύο εναλλακτικά σενάρια εισροών, τα εξής:

- A. Δυσμενές σενάριο εισροών που έχει ως βάση το δείγμα των απορροών και βροχών έως το υδρολογικό έτος 1989-90.
- B. Ευμενές σενάριο εισροών που έχει ως βάση τις απορροές και τις βροχές έως το υδρολογικό έτος 1987-88, ακριβώς όπως είχαν δοθεί στη μελέτη του ΕΜΠ.

Η χρησιμοποίηση των δύο ξεχωριστών σεναρίων αιτιολογείται από τα εξής:

- (α) Τα δεδομένα των ετήσιων και μηνιαίων απορροών των δύο τελευταίων ξηρών υδρολογικών ετών 1988-89 και 1989-90 και κυρίως του τελευταίου, αποκλίνουν πολύ από τη στατιστική εικόνα της απορροής όπως αυτή δίνεται από όλα τα προηγούμενα έτη. Στη γλώσσα της στατιστικής το τελευταίο υδρολογικό έτος θεωρείται ως outlier, και είναι δυνατόν να μη ληφθεί υπόψη στο στατιστικό δείγμα.
- (β) Όπως εκτιμήθηκε μελέτη του ΕΜΠ (1990), το υδρολογικό έτος 1989-90 χαρακτηρίζεται ως εξαιρετικό υδρολογικό γεγονός με θεωρητική πιθανότητα εμφάνισης (για την απορροή στο Μόρνο) της τάξεως του 1:1000. Το θεωρητικό αυτό συμπέρασμα επιβεβαιώνεται σε ένα βαθμό και εμπειρικά από το ιστορικό δείγμα των παροχών του Βοιωτικού Κηφισού, που ξεκινά από το 1907-08. Πράγματι, η ισοδύναμη απορροή του Βοιωτικού Κηφισού το 1989-90 μόλις φτάνει τα 29.2 mm τιμή που όχι μόνο είναι ελάχιστη σε όλο το δείγμα, από το 1907-08, αλλά είναι και υποπολλαπλάσια από την αμέσως μεγαλύτερη τιμή (64.0 mm) που είχε παρατηρηθεί στην ξηρασία του 1916-17. Αν λοιπόν το 1989-90 ληφθεί υπόψη στην εκτίμηση των στατιστικών χαρακτηριστικών της απορροής, τότε ουσιαστικά θεωρείται ισοδύναμο με τα άλλα 20 περίπου έτη που υπάρχουν δεδομένα. Κατά συνέπεια δίνεται στο γεγονός αυτό βάρος 1/20 αντί του 1/1000 που έπρεπε να έχει θεωρητικά και έτσι τελικά οι τιμές των στατιστικών χαρακτηριστικών που υπολογίζονται είναι εξαιρετικά δυσμενείς.
- (γ) Λόγω των σχετικά μεγάλων αβεβαιοτήτων που υπάρχουν στα υδρολογικά μεγέθη, και προκειμένου ο σχεδιασμός των έργων του Ευήνου να είναι συντηρητικός, χρησιμοποιείται το δυσμενές σενάριο εισροών που προκύπτει από τα διαθέσιμα δεδομένα έχοντας πάντα υπόψη ότι στην πραγματικότητα αναμένεται κατά μέσο όρο η κατάσταση να είναι ευνοϊκότερη. Η τελευταία αυτή πιο ευνοϊκή εικόνα προκύπτει με βάση το ευμενές σενάριο εισροών. Διευκρινίζεται ότι στα πλαίσια της υδρολογικής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν εναλλακτικά και τα δύο παραπάνω σενάρια.

Περισσότερες λεπτομέρειες για τα δύο σενάρια εισροών και τα

αντίστοιχα μέσα στατιστικά χαρακτηριστικά τους δίνονται στην παράγραφο 8.2.5.

## 2.2. Σημερινό υδροδοτικό σύστημα

### 2.2.1. Υδατικοί πόροι

Οι κύριοι υδατικοί πόροι της πρωτεύουσας είναι ο ποταμός Μόρνος και η λίμνη Υλίκη. Η μεταφορά του νερού στην Αθήνα από το Μόρνο γίνεται με βαρύτητα μέσω υδαταγωγού μήκους 188 km και από την Υλίκη με υδραγωγείο μήκους 60 km, με παρεμβολή αντλιοστασίων. Το εσωτερικό δίκτυο μεταφοράς περιλαμβάνει και άλλους αγωγούς που συνδέουν τα δύο κύρια υδραγωγεία μεταξύ τους και με τα διυλιστήρια. Το εξωτερικό δίκτυο μεταφοράς φαίνεται στο σχήμα 2.1.

Άλλοι υδατικοί πόροι, δευτερεύουσας σημασίας είναι:

- η λεκάνη απορροής Μαραθώνα,
- ο ποταμός Ασωπός, και
- πηγές υπόγειων νερών της Αττικής και Βοιωτίας.

Σήμερα γίνονται εκτεταμένες εργασίες για την εντατική εκμετάλλευση και άλλων υπόγειων υδροφορέων, για την ενίσχυση της ύδρευσης της Αθήνας.

### 2.2.2. Ταμιευτήρας Μόρνου

Το φράγμα Μόρνου, που κατασκευάστηκε μεταξύ των ετών 1972-1979 έχει τα κατασκευαστικά στοιχεία που δίνονται από τον Πίνακα 2.1 που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1  
ΚΥΡΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΜΟΡΝΟΥ

Τύπος φράγματος	Χωμάτινο με αδιαπέρατο πυρήνα
Κλίσεις πρανών ανάντη	1 : 2.4 (με αναβαθμούς)
" " κατόντη	1 : 2.0 (με αναβαθμούς)
Υψόμετρο στέψης φράγματος	+ 446.50 m
Υψóm. κατώτατης στάθμης θεμελίωσης	+ 307.5 m
Μέγιστο ύψος	126 m
" " από τη θεμελίωση	139 m
Μήκος στέψης	825 m
Πλάτος στέψης	10 m
Μήκος στη βάση	250 m
Μέγιστο πλάτος στη βάση	595 m
Ακτίνα καμπυλότητας	1500 m
Όγκος φράγματος	17 * 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Τύπος υπερχειλιστή	Μετωπικός χωρίς θυροφράγματα με σήραγγα διαμέτρου 9.60 m, μήκους 495 m
Μήκος υπερχειλίσσης	36 m
Υψόμετρο στέψης υπερχειλιστή	+ 435 m
Ανώτατη στάθμη πλημμύρας	+ 443.65 m
Μέγιστη παροχή υπερχειλιστή	1135 m <sup>3</sup> /sec με ύψος ανασχ. 8.65m
" " εκκενωτή πυθμένα	400 m <sup>3</sup> /sec
Κατώτατη στάθμη υδροληψίας	+ 377 m
" " εκκένωσης	+ 374.6 m
Ολική χωρητικότητα ταμιευτήρα	780 * 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Ωφέλιμη " "	640 * 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Επιφάνεια ταμιευτήρα στη στάθμη +435:	18.2 km <sup>2</sup>
" " " " +443.65:	25 km <sup>2</sup>

Η διατομή του φράγματος συντίθεται από κεντρικό αδιαπέρατο αργιλικό πυρήνα, με κλίσεις ανάντη και κατόντη 3:1, μεταβατικά φίλτρα πάχους 4.0 m, και αμμοχαλικώδη σώματα στήριξης. Το ανάντη πρανές είναι επενδυμένο με λιθορριπή ενώ για το κατόντη προβλέπονταν επένδυση με χλόη και θάμνους που τελικά δεν έγινε.

Η λύση του υπόγειου σπραγγοειδούς υπερχειλιστή προκρίθηκε λόγω των δυσμενών τοπογραφικών και γεωλογικών συνθηκών, που δεν επέτρεπαν την ευστάθεια ανοιχτού υπερχειλιστή.

Κατά μήκος του άξονα του φράγματος, κάτω από τη βάση του πυρήνα, έχει κατασκευαστεί στοά επίσκεψης - σιμεντενέσεων, που διακλαδίζεται σε οριζόντιες σήραγγες μέσα στα αντερείσματα. Το διάφραγμα σιμεντενέσεων έχει ολική επιφάνεια κατακόρυφης προβολής 60.000 m<sup>2</sup>

και μήκος οπών γεωτρήσεων περί τα 95 km. Οι οπές διατάσσονται σε τρεις σειρές, με απόσταση μεταξύ των οπών κάθε σειράς  $1.0 \pm 3.0$  m.

Έχει διαπιστωθεί ότι στο έργο σιμεντενέσεων υπάρχουν κατασκευαστικά προβλήματα, και πιο συγκεκριμένα υπάρχουν ανοιχτοί αρμοί στη στοά επίσκεψης - σιμεντενέσεων και ανοιχτές (ασφράγιστες) οπές σιμεντενέσεων. Για τα προβλήματα αυτά και τον τρόπο αντιμετώπισης τους έχει συντάξει σχετική έκθεση η ΔΕΗ (έγγραφο ΔΕΗ - Δ/νση εκμετάλ. - Παραγωγής - Τομέας Επιτήρησης Τεχν. Εργων Παραγ. 343/18-8-87).

Στην περιοχή "Πύρνος", 6 km ανατολικά του φράγματος, εμφανίζονται έντονα διαρρηγμένοι καρστικοί ασβεστόλιθοι, μεταβατική ζώνη από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, με ρήγματα και διακλάσεις, ερυθρός αργιλικός φλύσχης με εγκλείσματα από διαπερατά στρώματα ασβεστολίθου και κροκαλοπαγή, και τέλος μελανός φλύσχης, στεγανός σε μεγάλα βάθη, που όμως σε ορισμένες θέσεις εμφανίζει ρωγμές και είναι διαπερατός. Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν παράταξη περίπου παράλληλη προς τις υψομετρικές καμπύλες και κλίση  $60^\circ - 80^\circ$ , ομόρροπη προς αυτή του φυσικού εδάφους. Κατά τις εκκαφές διαπιστώθηκε επίσης η ύπαρξη καρστικών σπηλαίων και ρωγμών μεγάλου ανοίγματος.

Η περιοχή αυτή των διαπερατών σχηματισμών στεγανώθηκε με επένδυση από ασφαλτοσκυρόδεμα, σε πολλαπλές στρώσεις, 0.25 m, πάνω σε συμπυκνωμένο διαπερατό επίχωμα και φίλτρο συνολικού πάχους 4.0 m. Με το επίχωμα διαμορφώθηκε ομαλή επιφάνεια με κλίση πρανούς 1:2. Το στραγγιστήριο φίλτρο, απάγει τις διηθήσεις προς τη στοά επίσκεψης - σιμεντενέσεων - αποστράγγισης, που κατασκευάστηκε στο πόδι της επένδυσης. Τα νερά που συλλέγονται στη σήραγγα οδηγούνται προς τους καρστικούς ασβεστολίθους, μέσω δύο εγκαρσίων σηράγγων και γεωτρήσεων αποχέτευσης. Κάτω από τη στοά κατασκευάστηκε διάφραγμα σιμεντενέσεων μικρού βάθους, για την αποτροπή των διηθήσεων από τη λίμνη προς το επίχωμα. Η ολική επιφάνεια της ασφαλτικής επένδυσης έφτασε τα 330.000 m<sup>2</sup> και το μέγιστο μήκος του επενδυμένου πρανούς είναι 160 m.

Με την πλήρωση του ταμιευτήρα, οι διαρροές προς τη στοά Πύρνου

έφτασαν τα 500 lt/s. Επιχειρήθηκαν διάφορες παρεμβάσεις στεγάνωσης που όμως δεν ετελεσφόρησαν και οι διαρροές συνεχίζονται. Μάλιστα έχει εγκατασταθεί και αντλητικό συγκρότημα που λειτουργεί όταν οι τρεις στοές απαγωγής των διηθήσεων προς τον ασβεστόλιθο δεν επαρκούν.

Στη στοά του Πύρνου και στις δύο από τις τρεις σήραγγες αποστράγγισης, έχουν κατασκευαστεί πρόσφατα (το 1984) πέντε διατάξεις υπερχειλιστών λεπτής στέψης για τη μέτρηση των διηθήσεων που συγκεντρώνονται. Οι διατάξεις αυτές περιλαμβάνουν σταθμήμετρα, που η ανάγνωση τους γίνεται μια φορά το μήνα. Παρόλο που η συχνότητα λήψης της ανάγνωσης στάθμης φαίνεται κατ'αρχήν μικρή, στην πραγματικότητα η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι ικανοποιητική, δεδομένου ότι οι παροχές δεν έχουν μεγάλη διακύμανση και ακολουθούν την αντίστοιχη διακύμανση της στάθμης του ταμιευτήρα. Η επεξεργασία των μετρήσεων γίνεται στο κέντρο 'Αμφισσας της ΕΥΔΑΠ όπου και συντάσσεται σχετικό διάγραμμα μεταβολής της παροχής διηθήσεων συναρτήσει του χρόνου. Συστηματικές μετρήσεις υπάρχουν από το 1985. Σποραδικές μετρήσεις είχαν πραγματοποιηθεί και νωρίτερα, κατά τα πρώτα έτη της λειτουργίας του ταμιευτήρα. Η μέγιστη παροχή που έχει μετρηθεί είναι 568 lt/sec (Ιούλιος 1981) και αντιστοιχεί περίπου στη μέγιστη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα (+ 435 m). Η μέση παροχή διηθήσεων κατά τα 4 τελευταία έτη συστηματικών μετρήσεων είναι περίπου 140 lt/sec για τις δύο από τις τρεις σήραγγες, ενώ η τρίτη έχει σταθερή παροχή γύρω στα 30 lt/sec. Κατά συνέπεια η μέση ολική παροχή είναι 170 lt/sec που αντιστοιχεί σε  $5.36 * 10^6$  m<sup>3</sup> ετησίως.

Σε σχέση με τις διηθήσεις από το σώμα του φράγματος και τη θεμελίωση του (διάφραγμα σιμεντενέσεων) δε μπορούμε να έχουμε ακριβείς εκτιμήσεις. Τα μόνα σχετικά στοιχεία είναι (α) οι παροχές των διαρροών που συγκεντρώνονται μέσα στη στοά επίσκεψης - σιμεντενέσεων του φράγματος, που είναι της τάξης των 20 lt/sec ( $0.63 * 10^6$  m<sup>3</sup>/έτος), και (β) η παροχή μιας πηγής που υπάρχει 500 m κατάντη του φράγματος, και φτάνει τα 10 lt/sec, εκ των οποίων τα 6 lt/sec ( $0.19 * 10^6$  m<sup>3</sup>/έτος) εκτιμάται ότι προέρχονται από διαφυγές από τον ταμιευτήρα.

Εκτιμάται επίσης ότι οι διαρροές κάτω από το φράγμα (κουρτίνα

σιμεντενέσεων) είναι αξιόλογες, δεδομένου ότι, όπως έχει επισημάνει η ΔΕΗ που μελέτησε το θέμα στηριζόμενη σε μετρήσεις πιεσομέτρων, η αποτελεσματικότητα της κουρτίνας είναι περιορισμένη. Η ΔΕΗ επισημαίνει επίσης ότι η κατάσταση αυτή δεν επιδέχεται βελτίωση και πρέπει να θεωρείται δεδομένη.

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης και επειδή δεν είναι απαραίτητη μεγαλύτερη ακρίβεια για τις τελικές εκτιμήσεις υδατικού δυναμικού (άλλωστε η αβεβαιότητα στη μέτρηση των εισροών είναι μεγαλύτερης τάξης μεγέθους από τις διαφυγές), δεχθήκαμε την παραδοχή της ομάδας μελέτης του ΕΜΠ. Σύμφωνα με την παραδοχή αυτή οι μη μετρούμενες απώλειες από υπόγειες διαφυγές είναι περίπου ίσες με αυτές των διηθήσεων που μετρούνται στη στοά Πύρνου. Στις μη μετρούμενες διαφυγές συμπεριλαμβάνονται (α) οι διαφυγές από το φράγμα και τη θεμελίωση του, (β) οι διαφυγές από την κουρτίνα σιμεντενέσεων του Πύρνου, (γ) οι άμεσες διαφυγές από την περιοχή Πύρνου που δεν διέρχονται μέσω της στοάς και των σπράγγων, και (δ) τυχόν άλλες διαφυγές σε άλλα σημεία της λεκάνης κατάκλυσης. Η τελική σχέση που περιγράφει τις συνολικές διαφυγές του ταμειυτήρα Μόρνου είναι μια γραμμική σχέση στάθμης και διαφυγών και δίνεται στο κεφάλαιο 8 (εξ. 8.10). Η σχέση του τμήματος των διαφυγών που μετριέται με τη στάθμη του ταμειυτήρα φαίνεται στο Σχ. 2.2.

### 2.2.3. Υδαταγωγός Μόρνου

Ο υδαταγωγός Μόρνου, από την υδροληψία στον ταμειυτήρα Μόρνου μέχρι τα νέα διύλιστήρια Μενιδίου, έχει μήκος 188 χιλιομέτρων. Στη διαδρομή του διασχίζει τους ορεινούς όγκους Γκιώνας, Παρνασσού, Κίρφης, Ελικώνα και Κιθαιρώνα, και την πεδιάδα Θηβών. Στο 146ο χιλιόμετρο της διαδρομής ο αγωγός διακλαδίζεται, και ο κύριος κλάδος συνεχίζει προς τα νέα διύλιστήρια Μενιδίου, μέσω της σήραγγας Κιθαιρώνα, ενώ ο δευτερεύων κλάδος οδεύει προς το παλιό υδραγωγείο Υλίκης - Μαραθώνα. Ο αγωγός από το Μόρνο μέχρι το σημείο διακλάδωσης (μεριστής Κιθαιρώνα) και τη σήραγγα Κιθαιρώνα έχει σχεδιαστεί με παροχτευτικότητα  $23.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Ο κύριος κλάδος μετά τη σήραγγα Κιθαιρώνα κατασκευάστηκε με παροχτευτικότητα  $11.3 \text{ m}^3/\text{sec}$ , και τέλος ο δευτερεύων κλάδος σχεδιάστηκε με παροχτευτικότητα  $4.2 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Όλοι οι κλάδοι του

αγωγού λειτουργούν με βαρύτητα. Το μεγαλύτερο τμήμα αποτελείται από διώρυγες, ενώ περιλαμβάνει σίφωνες μήκους 7.1 km και σήραγγες υπό πίεση ή με ελεύθερη ροή, με μήκη 61.3 km και 8.8 km αντίστοιχα. Αναλυτικά στοιχεία του αγωγού δίνονται στον πίνακα 2.2 του τεύχους 18 της μελέτης του ΕΜΠ (σελ. 30,31).

Ο αγωγός άρχισε να κατασκευάζεται από το 1969. Η πρόσφατη βλάβη του, που οφείλεται σε κατασκευαστικά σφάλματα και σφάλματα μελέτης, σε συνδυασμό με το ιστορικό του όλου έργου, δημιούργησε φόβους για ανεπαρκή ποιότητα κατασκευής και για πιθανότητες και άλλων παρόμοιων βλαβών στο μέλλον. Αυτό που αφορά άμεσα την παρούσα μελέτη είναι η εκτίμηση της πραγματικής παροχетеυτικής ικανότητας του υδαταγωγού, η οποία είναι δυνατό να διαφέρει από την τιμή σχεδιασμού. Σύμφωνα με την ΕΥΔΑΠ ο αγωγός δεν έχει γίνει δυνατό να λειτουργήσει με παροχή πάνω από 16 m<sup>3</sup>/sec. Επισημαίνεται ότι αν η πραγματική παροχетеυτικότητα του αγωγού είναι μικρότερη από της παροχетеυτικότητας σχεδιασμού, αυτό δημιουργεί πρόβλημα στην υπό μελέτη ενίσχυση του υδραγωγείου από τον Εύηνο. Ακόμη, από στοιχεία της ΕΥΔΑΠ επιβεβαιώνεται ότι η σημερινή παροχетеυτικότητα του κλάδου Κιθαιρώνα είναι 11 m<sup>3</sup>/sec.

Ο έλεγχος και η επιτήρηση της ροής στον υδαταγωγό γίνεται με αυτοματισμό, μέσω του κέντρου τηλεχειρισμού Αθηνών που βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του Μενιδιού. Υπάρχουν ακόμα τα περιφερειακά κέντρα Αμφισσας, Προδρόμου και Θηβών. Με το σύστημα αυτό η ΕΥΔΑΠ είναι σε θέση να γνωρίζει κάθε στιγμή τις στάθμες κατά μήκος του αγωγού και τις διοχетеυόμενες παροχές και να τις μεταβάλλει ανάλογα με τη ζήτηση. Ακόμη είναι σε θέση να διαπιστώνει τις βλάβες κατά μήκος του αγωγού. Το σύστημα τηλεχειρισμού του υδαταγωγού λειτουργεί από τον Αύγουστο του 1984. Η ρύθμιση και η ασφάλεια του υδαταγωγού γίνεται κυρίως με 18 ρυθμιστές τύπου "Λ". Ο σκοπός των ρυθμιστών αυτών είναι η ρύθμιση της παροχής μέσω θυροφραγμάτων και η προσαρμογή της στην επιθυμητή ζήτηση. Οι ρυθμιστές αυτοί μπορούν ακόμα να διακόψουν, σε περίπτωση ατυχήματος, τη ροή στον υδαταγωγό, μετατρέποντας τον σε επάλληλες δεξαμενές. Κατά τον τρόπο αυτό μπορεί να αποθηκευτεί στη διώρυγα ένας όγκος νερού 1.15 εκατ. m<sup>3</sup>. Σε αυτά προστίθενται και 0.7 εκατ. m<sup>3</sup> που αποθηκεύονται στις σήραγγες, καθώς και 0.06 εκατ. m<sup>3</sup> μέσα στους σίφωνες που αθροιστικά δίδουν 1.910.000 m<sup>3</sup>, και κατά

συνέπεια, σε περίπτωση βλάβης, υπερχειλίζει το υπόλοιπο από τα 2.700.000 m<sup>3</sup> που βρίσκονται στον αγωγό για την ονομαστική παροχή των 23 m<sup>3</sup>/s, δηλαδή ποσοστό 29% του συνόλου.

Αξια λόγου είναι ακόμα τα έργα καταστροφής ενέργειας, που έχουν κατασκευαστεί κατόντη των σπράγγων Γκιώνας, Κίρφης, Ελικώνα και Κιθαιρώνα, καθώς και τα έργα αντιπληγματικής προστασίας με πύργους αναπάλσεως στην έξοδο των σπράγγων αυτών.

Διατομές ελέγχου παροχής υπάρχουν στην έξοδο της σπράγγας Γκιώνας, στο ενωτικό Κιθαιρώνα κατόντη του μεριστή και στην είσοδο των νέων διύλιστηρίων Μενιδίου. Επίσης υπάρχουν διατάξεις μέτρησης παροχής στις κεφαλές των ενδιάμεσων υδροληψιών για ύδρευση και άρδευση. Από αυτές ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη μελέτη του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας έχει η πλέον ανάντη θέση, δηλαδή της εξόδου της σπράγγας Γκιώνας. Η παροχή εκεί μετριέται με δύο διατάξεις: υπερχειλιστές και δικλείδες κοίλης φλέβας. Δυστυχώς οι αντίστοιχες δύο ομάδες μετρήσεων εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις της τάξης του 25%. Πιο αξιόπιστες θεωρούνται γενικά οι μετρήσεις των υπερχειλιστών οι οποίες σύμφωνα με νεότερες μετρήσεις (Β' εξάμηνο 1988) έχουν αβεβαιότητα της τάξης του 10%.

#### 2.2.4. Λίμνη Υλίκη

Μέχρι το 1981, οπότε τέθηκε σε λειτουργία το υδραγωγείο Μόρνου, την κύρια τροφοδοτική πηγή της ύδρευσης των Αθηνών αποτελούσε η λίμνη Υλίκη. Το υδραγωγείο της Υλίκης πρωτολειτούργησε το 1958.

Η λίμνη Υλίκη, κατάληξη του Βοιωτικού Κηφισού, έχει συνολική λεκάνη απορροής 2432 km<sup>2</sup> (μαζί με την λεκάνη Βοιωτικού Κηφισού και την κλειστή λεκάνη Βάγιας). Από αυτά 422 km<sup>2</sup> αντιστοιχούν αποκλειστικά στη λίμνη και 2010 km<sup>2</sup> στο Βοιωτικό Κηφισό που μετά την κατασκευή των αποξηραντικών έργων της πρώην λίμνης Κωπαΐδας, διοχετεύει τα νερά του, μέσω της σπράγγας Καρδίτσας, στην Υλίκη. Τα νερά του Βοιωτικού Κηφισού αποτελούν την κύρια τροφοδοσία της λίμνης, ενώ τα νερά της δικής της λεκάνης απορροής εκτιμώνται περίπου στο 6% του συνόλου.

Οι συνολικές εισροές στη λίμνη παλιότερα είχαν εκτιμηθεί σε  $490 * 10^6 \text{ m}^3$  περίπου, οι πιο πρόσφατες όμως μετρήσεις της ΕΥΔΑΠ και οι αναλύσεις του ΕΜΠ κατεβάζουν αυτή την ποσότητα στα  $350 * 10^6 \text{ m}^3$  περίπου.

Λόγω της διαπερατότητας των πετρωμάτων του υποβάθρου της λίμνης (καρστικοί ασβεστόλιθοι) εμφανίζονται μεγάλες απώλειες, που μαζί με τις απώλειες εξάτμισης, μπορεί να φτάνουν μέχρι και το 50% περίπου των εισροών, ανάλογα βέβαια και με τη στάθμη της λίμνης και τον τρόπο διαχείρισης του συστήματος.

Οι υπερχειλίσσεις της Υλίκης, που πραγματοποιούνται όταν η στάθμη υπερβαίνει τα + 77,7 m, οδηγούνται μέσω της διώρυγας Μουρικίου στην παρακείμενη Παραλίμνη. Όμως με έμφραξη της διώρυγας επιτυγχάνονται και μεγαλύτερες στάθμες μέχρι +80 m περίπου. Αντίστοιχα, οι υπερχειλίσσεις της Παραλίμνης, οδηγούνται για στάθμες μεγαλύτερες των + 51.2 m στον Ευβοϊκό κόλπο μέσω της σήραγγας Ανθηδώνας.

Τα νερά της Υλίκης, εκτός από την ύδρευση της Αθήνας, συμμετέχουν και στην άρδευση της Κωπαΐδας. Έτσι ο Οργανισμός Κωπαΐδας διεκδικεί από τα νερά της Υλίκης απόθεμα  $50 * 10^6 \text{ m}^3$  σε ετήσια βάση και για το σκοπό αυτό έχει κατασκευαστεί και αρδευτικό αντλιοστάσιο. Η αντίστοιχη πραγματικά αντλούμενη ποσότητα μέχρι και το 1980 ήταν πολύ μικρότερη, επειδή μέχρι τότε ήταν οριακή η επάρκεια των νερών της Υλίκης για την Αθήνα. Στα επόμενα χρόνια όμως, που η Αθήνα υδρεύονταν σχεδόν αποκλειστικά από το Μόρνο, η απόληψη έφθασε περίπου την παραπάνω ποσότητα αλλά τα τελευταία δύο χρόνια λόγω της λειψυδρίας περιορίστηκε και πάλι η απόληψη στα  $15 * 10^6 \text{ m}^3$ . Εξ άλλου ένα έως δύο μήνες πριν από την έναρξη της αρδευτικής περιόδου, οι αγρότες του Οργανισμού κλείνουν με πρόχειρα χωμάτινα φράγματα τις διώρυγες που αποχετεύουν την περιοχή προς την Υλίκη για διάρκεια ίση με την αρδευτική περίοδο, δηλαδή μέχρι τέλος Σεπτεμβρίου.

#### 2.2.5. Το υδραγωγείο Υλίκης

Το υδραγωγείο Υλίκης καταλήγει στη λίμνη Μαραθώνα και έχει ολικό μήκος περίπου 60 km. Δεδομένου ότι η κατώτατη στάθμη υδροληψίας

στην Υλίκη είναι + 70.25 m, ενώ η ανώτατη στάθμη της λίμνης Μαραθώνα είναι + 223 m, η μεταφορά μπορεί να γίνει μόνο με άντληση. Υπάρχουν δύο κύρια αντλιοστάσια, του Μουρικίου (δίπλα στην Υλίκη) με μανομετρικό ύψος 120 m περίπου και παροχή 7.5 m<sup>3</sup>/sec, και της Βίλιζας με μανομετρικό ύψος 80 m περίπου και παροχή 5.5 m<sup>3</sup>/sec. Οι αντίστοιχοι καταθλιπτικοί αγωγοί έχουν μήκη 3.77 km και 1.15 km. Υπάρχει επίσης και ένα σύστημα ενισχυτικών αντλιοστασίων (Booster) με αντίστοιχους καταθλιπτικούς αγωγούς. Κατά το υπόλοιπο μέρος του το υδραγωγείο είναι ελεύθερης ροής με διώρυγα ή κλειστή διατομή, εκτός από ένα σίφωνα, ανάντη του αντλιοστασίου Βίλιζας, μήκους 6.32 km. Υπάρχουν ακόμα τρεις σήραγγες ελεύθερης ροής, της Τανάγρας, μήκους 2.445 m, της Σφενδάλης μήκους 1.500 m και των Κιούρκων (πρίν τη λίμνη Μαραθώνα) μήκους 7.150 m.

Η παροχетеυτικότητα του υδραγωγείου, φτάνει τα 7.5 ÷ 8.1 m<sup>3</sup>/sec στο αρχικό του τμήμα, αλλά μειώνεται στη συνέχεια.

#### 2.2.6. Η λίμνη του Μαραθώνα

Πρόκειται για τεχνητό ταμιευτήρα, ανάντη του φράγματος Μαραθώνα, αλλά έχει επικρατήσει ο όρος "λίμνη Μαραθώνα". Ο ταμιευτήρας έχει δική του λεκάνη απορροής με έκταση 119.7 km<sup>2</sup>. Η μέση ετήσια εισροή από τη λεκάνη αυτή εκτιμάται σε 7 - 10 εκατ. m<sup>3</sup>. Τα κύρια χαρακτηριστικά του φράγματος Μαραθώνα φαίνονται στον πίνακα 2.2. Η χωρητικότητα του, (40.8 εκατ. m<sup>3</sup>) είναι σημαντικό πολλαπλάσιο της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης της Αθήνας (κατά προσέγγιση 1 εκατ. m<sup>3</sup>). Σήμερα ο ταμιευτήρας χρησιμοποιείται κύρια για ταμίευση αποθεμάτων ασφαλείας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2  
ΚΥΡΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΜΑΡΑΘΩΝΑ

Τύπος φράγματος:	Βαρύτητας από σκυρόδεμα
Υψόμετρο στέψης φράγματος	+ 227 m
Υψόμετρο πυθμένα στον πόδα του φράγματος	+ 173 m
Υψος φράγματος	54 m
Ανώτατη στάθμη νερού	+ 223 m
Χωρητικότητα ταμιευτήρα	40.8 * 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>

### 2.2.7. Εγκαταστάσεις διύλισης

Υπάρχουν τρεις εγκαταστάσεις διύλισης του υδρευτικού νερού της Αθήνας:

- Τα παλιά διύλιστήρια στο Γαλάτσι που είναι σχεδιασμένα για 350.000 m<sup>3</sup>/ημέρα και η μέγιστη δυνατότητα τους είναι 500.000 m<sup>3</sup>/ημέρα
- Τα νέα διύλιστήρια στο Μενίδι, σχεδιασμένα για 400.000 m<sup>3</sup>/ημέρα, με μέγιστη δυνατότητα 600.000 m<sup>3</sup>/ημέρα
- Τα ακόμα νεότερα διύλιστήρια στα Κιούρκα, σχεδιασμένα για 150.000 m<sup>3</sup>/ημέρα και μέγιστη δυνατότητα 200.000 m<sup>3</sup>/ημέρα.

Οι σημερινές ανάγκες καλύπτονται από τις εγκαταστάσεις αυτές, αλλά για το μέλλον έχουν προγραμματιστεί και εκτελούνται επεκτάσεις (στο Μενίδι) ή/και νέες εγκαταστάσεις (Μάνδρα Αττικής).

Το εξωτερικό δίκτυο μεταφοράς έχει την κατάλληλη διάταξη ώστε να μπορεί να οδηγεί το νερό που προέρχεται από τα δύο υδραγωγεία Μόρνου και Υλίκης, σε οποιαδήποτε από τις τρεις εγκαταστάσεις διύλισης είναι επιθυμητό.

### 2.2.8. Υπόλοιποι κλάδοι του εξωτερικού δικτύου μεταφοράς

Εκτός από τον υδαταγωγό Μόρνου και το Υδραγωγείο Υλίκης, που περιγράφηκαν αναλυτικά σε προηγούμενες παραγράφους, το εξωτερικό δίκτυο μεταφοράς περιλαμβάνει και άλλους σημαντικούς κλάδους, που σχηματίζουν τους βρόχους του σχήματος 2.1. Συνοπτική περιγραφή των κλάδων αυτών δίνεται στο κεφάλαιο 2 του τεύχους 18 της μελέτης του ΕΜΠ (1990).

### 2.3. Μελλοντικό υδροδοτικό σύστημα

Στη μελέτη του ΕΜΠ (1990, τεύχη 2 και 18) δίνονται με συντομία όλες οι λύσεις για την ενίσχυση της ύδρευσης της Αθήνας που είχαν προταθεί στο παρελθόν. Ειδικότερα, στην επισκόπηση αυτή αναφέρονται:

- η λύση με φράγμα στον Εύηνο,
- η λύση Αχελώου με αγωγό μεταφοράς κατά μήκος της νότιας ακτής του Κορινθιακού,
- η στεγάνωση της Υλίκης, και
- η άντληση των υπόγειων νερών της βόρειας ακτής του Κορινθιακού.

Η λύση που προκρίθηκε τελικά και εξετάζεται στην παρούσα μελέτη είναι η λύση του Ευήνου με φράγμα στη θέση Αγ. Δημήτριος. Εξετάζεται επίσης και μελλοντική ενδεχόμενη ενίσχυση από τη λεκάνη του Κρικελλοπόταμου (Ν.Α. Αχελώος) με φράγμα στη θέση Αγ. Γεώργιος.

Η δυνατότητα αξιοποίησης του υδατικού δυναμικού του Ευήνου για την ύδρευση της Αθήνας, σε συνδυασμό με τον Ταμιευτήρα Μόρνου, είχε επισημανθεί από το 1964 από τους Αλτηγό - Κυριακό - Μαχαίρα ('Υδρευσις Αθηνών - Προκαταρκτική Έκθεσις). Συστηματικότερα όμως διερευνήθηκε από τη μελετητική ομάδα ΤΕΤΡΑΚΤΥΣ - Κόμης το 1977. Προηγουμένως (1972) είχε εκπονηθεί μια διαφορετικού αντικειμένου μελέτη για τον Εύηνο, της Verbund Plan (Masterplan Evinos) με στόχο την υδροηλεκτρική αξιοποίηση του δυναμικού του Ευήνου.

Στη μελέτη ΤΕΤΡΑΚΤΥΣ - Κόμη εξετάστηκαν τρεις εναλλακτικές θέσεις φραγμάτων, στην Περίστα, Αγιο Δημήτριο και Δενδροχώρι. Τα κύρια χαρακτηριστικά των φραγμάτων αυτών φαίνονται στον πίνακα 2.3. Στη μελέτη της Verbund Plan είχαν επίσης εξεταστεί οι δύο από τις θέσεις αυτές (εκτός από τη θέση Αγίου Δημητρίου) καθώς και μια ακόμη θέση, της Φαμίλας, κοντά στον Πόρο Ρηγανίου, η οποία δεν συνδυάζεται άμεσα με τον ταμιευτήρα Μόρνου, επειδή βρίσκεται σε χαμηλότερο υψόμετρο, αλλά προσφέρεται για υδροηλεκτρική αξιοποίηση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΠΕΡΙΣΤΑ,  
ΑΓΙΟ ΔΗΜΗΤΡΙΟ, ΔΕΝΔΡΟΧΩΡΙ ΤΗΣ ΠΡΟΤΑΣΗΣ ΤΕΤΡΑΚΤΥΣA. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

	<u>ΠΕΡΙΣΤΑ</u>	<u>ΑΓ.ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ</u>	<u>ΔΕΝΔΡΟΧΩΡΙ</u>
Τύπος φράγματος	τοξωτό	χωμάτινο	τοξωτό
Υψόμ.στέψης φράγμ.(m.a.s.l.)	+500		
Μέγιστο ύψος (m)	140	93	130
Μήκος στέψης (m)	470	400	
Ανώτατη στάθμη λειτουργίας	+496	+510	+670
Κατώτατη στάθμη υδροληψίας	+455	+455	+635
Ωφέλιμη χωρητικότητα (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	146.5	106.0	98.5
Ολική χωρητικότητα (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	206	161.0	151.0
Εργα μετ/ράς στον ταμ.Μόρνου	σήραγγα μεταφοράς 28 km	σήραγγα μεταφοράς 28 km	σήραγγα μεταφοράς 14.4 *

B. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Μέση ετήσια εισροή (m <sup>3</sup> /sec)	13	11.2	8.40
" " " (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	410	352	265

Ολική ρυθμισμένη παροχή σε  
συνδυασμό με τον ταμιευτήρα  
Μόρνου (συντελ. αξιοπιστ. 95%)

(m <sup>3</sup> /sec)	21.1	19.35	17.15
(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	664	610	540

Ολική ρυθμισμένη παροχή σε  
συνδυασμό με τον ταμιευτήρα  
Αγ.Γεωργίου (συντελ. αξιοπιστ. 95%)

(m <sup>3</sup> /sec)	23.0	21.5	19.65
(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	725	678	620

Γ. ΟΙΝΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Εκτίμηση ολικής δαπάνης (τιμές 1977) (10 <sup>6</sup> δρχ.)	3.900	3.550	2.850**
--	-------	-------	---------

\* Εξετάστηκε και δεύτερη χάραξη, μήκους 24.5 km με δυνατότητα παραγωγής ενέργειας.

\*\* Η δαπάνη της δεύτερης χάραξης, μαζί με τον Η/Μ εξοπλισμό είναι 3.850 εκατ. δραχμές.

Στη μελέτη ΤΕΤΡΑΚΤΥΣ - Κόμη εξετάστηκε ακόμη και η δυνατότητα πρόσθετης ενίσχυσης, με εκμετάλλευση και του υδατικού δυναμικού του Ανατολικού Αχελώου που μπορεί να επιτευχθεί με την κατασκευή του φράγματος εκτροπής (προς τον Εύηνο) του Αγίου Γεωργίου. Η συμβολή του φράγματος αυτού στο συνολικό υδατικό δυναμικό σε συνδυασμό με κάθε μια από τις τρεις λύσεις φραγμάτων στον Εύηνο, φαίνεται στον πίνακα 2.3, και είχε εκτιμηθεί περίπου σε 60 - 80 εκατομμύρια  $m^3$  ετησίως.

Η φιλοσοφία των επιλογών της μελέτης των ΤΕΤΡΑΚΤΥΣ/Κόμη στηρίζεται στην κάλυψη της παροχетеυτικότητας σχεδιασμού του υδαταγωγού Μόρνου, των  $23.0 m^3/sec$ . Πράγματι η λύση Περίστας προκρίθηκε τελικά γιατί μπορεί να καλύψει σε συνδυασμό με το Μόρνο και με την εκτροπή και του Κρικελλοπόταμου (Ν. Α. Αχελώου) αυτή την παροχетеυτικότητα του υδαταγωγού. Στη μελέτη του ΕΜΠ (1990, τεύχος 18) γίνονται οι ακόλουθες επισημάνσεις σχετικά με τα αποτελέματα της μελέτης των ΤΕΤΡΑΚΤΥΣ - Κόμη:

- 1) Δεν έχει διαπιστωθεί ποιά είναι η πραγματική παροχетеυτικότητα του υδαταγωγού Μόρνου, δεδομένου ότι δεν έχουν ποτέ διοχетеυτεί παροχές πάνω από  $16.0 m^3/sec$ . Επί πλέον η παροχетеυτικότητα σχεδιασμού του τμήματος κατάντη της σήραγγας Κιθαιρώνα είναι μόλις  $11.3 m^3/sec$ .
- 2) Είναι βέβαιο ότι η παροχή του υδαταγωγού δε μπορεί να είναι σταθερή στη διάρκεια του έτους, επειδή πρέπει να προσαρμόζεται στις ανάγκες της κατανάλωσης. Τα στοιχεία κατανάλωσης της ΕΥΔΑΠ δείχνουν ότι ο συντελεστής διακύμανσης σε μηνιαία βάση (μεγίστη μηνιαία προς μέση μηνιαία κατανάλωση) είναι  $\lambda = 1.21$ . Αυτό σημαίνει ότι αν δεχτούμε ότι η παροχή του υδαταγωγού το μήνα της μέγιστης κατανάλωσης είναι ίση με την παροχетеυτικότητα του, έστω  $23.0 m^3/sec$ , τότε σε μέση ετήσια βάση η παροχή θα είναι  $Q_E = 23.0/1.21 = 19.00 m^3/sec$  ή περίπου  $600 \cdot 10^6 m^3$  το έτος. Επισημαίνουμε ότι η λίμνη Μαραθώνα, χωρητικότητας 40.8 εκατ.  $m^3$  δε μπορεί προφανώς να χρησιμοποιηθεί για ετήσια εξίσωση, δηλαδή για να αποθηκεύει νερό όταν η κατανάλωση είναι μικρότερη των  $23.0 m^3/sec$ , το οποίο θα απέδιδε κατά τους μήνες αιχμής της ζήτησης. Η ετήσια ρύθμιση θα απαιτούσε

επομένως την κατασκευή άλλου ταμιευτήρα, σημαντικών διαστάσεων. Βεβαίως αν συνδυαστεί ο υδαταγωγός Μόρνου με το υδραγωγείο Υλίκης - Μαραθώνα, σε τρόπο ώστε η Υλίκη να καλύπτει τους μήνες αιχμής, θα μπορούσε να αυξηθεί το μέγεθος  $Q_e$ , χωρίς όμως να φτάνει ποτέ το  $23.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ , γιατί τους μήνες μικρής κατανάλωσης ο υδαταγωγός θα λειτουργεί υποχρεωτικά με μικρότερες παροχές.

Στη μελέτη του ΕΜΠ (1990) δεν είχε οριστικοποιηθεί η θέση του ταμιευτήρα στον Ευήνο, αλλά ούτε και οι διαστάσεις του. Χρησιμοποιήθηκαν και οι τρεις εναλλακτικές θέσεις φραγμάτων Περίστας, Αγ. Δημητρίου και Δενδροχωρίου που είχαν προταθεί σε παλιότερες μελέτες. Για κάθε μια από τις θέσεις αυτές μελετήθηκαν φράγματα διάφορων διαστάσεων. Τα κύρια χαρακτηριστικά των εναλλακτικών ταμιευτήρων που μελετήθηκαν μαζί με την απόληψη από το σύστημα Μόρνου - Ευήνου φαίνονται στον Πίνακα 2.4 που ακολουθεί.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4**  
**ΑΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΡΝΟΥ-ΕΥΗΝΟΥ**  
**ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ ΣΤΟΝ ΕΥΗΝΟ**

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

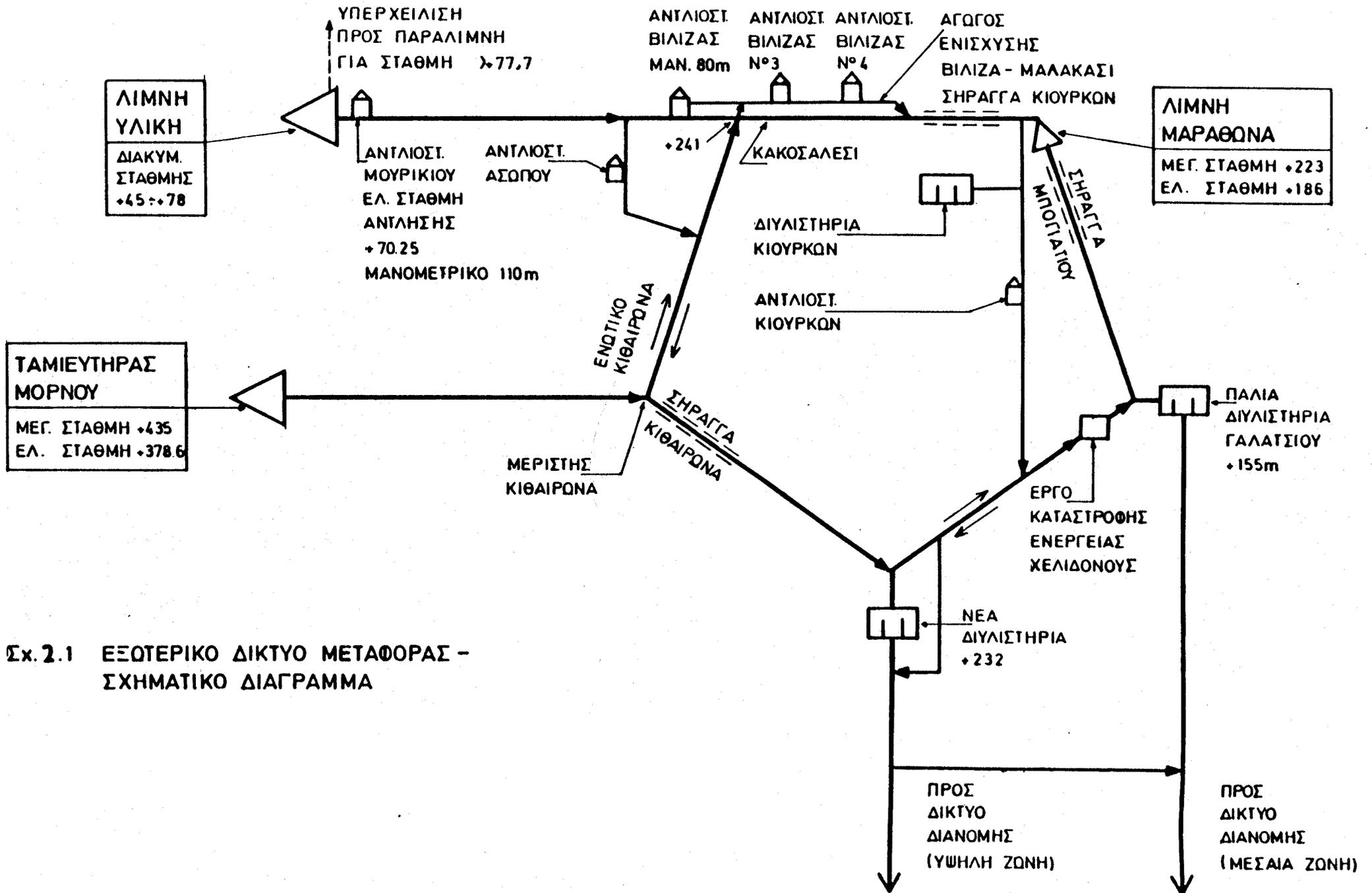
Στον Πίνακα αυτόν φαίνονται οι τυπικές τιμές της

παροχетеυτικότητας της σήραγγας Ευήνου-Μόρνου που είχαν επιλεγεί με κριτήριο τη μη σημαντική επίπτωση τους πάνω στην απόληψη από το σύστημα. Τονίζεται ότι για κάθε λύση φράγματος είχε επιλεγεί και διαφορετική παροχетеυτικότητα σήραγγας και μάλιστα τα μικρότερα φράγματα είχαν συνδυαστεί με μεγαλύτερες παροχетеυτικότητες σήραγγας.

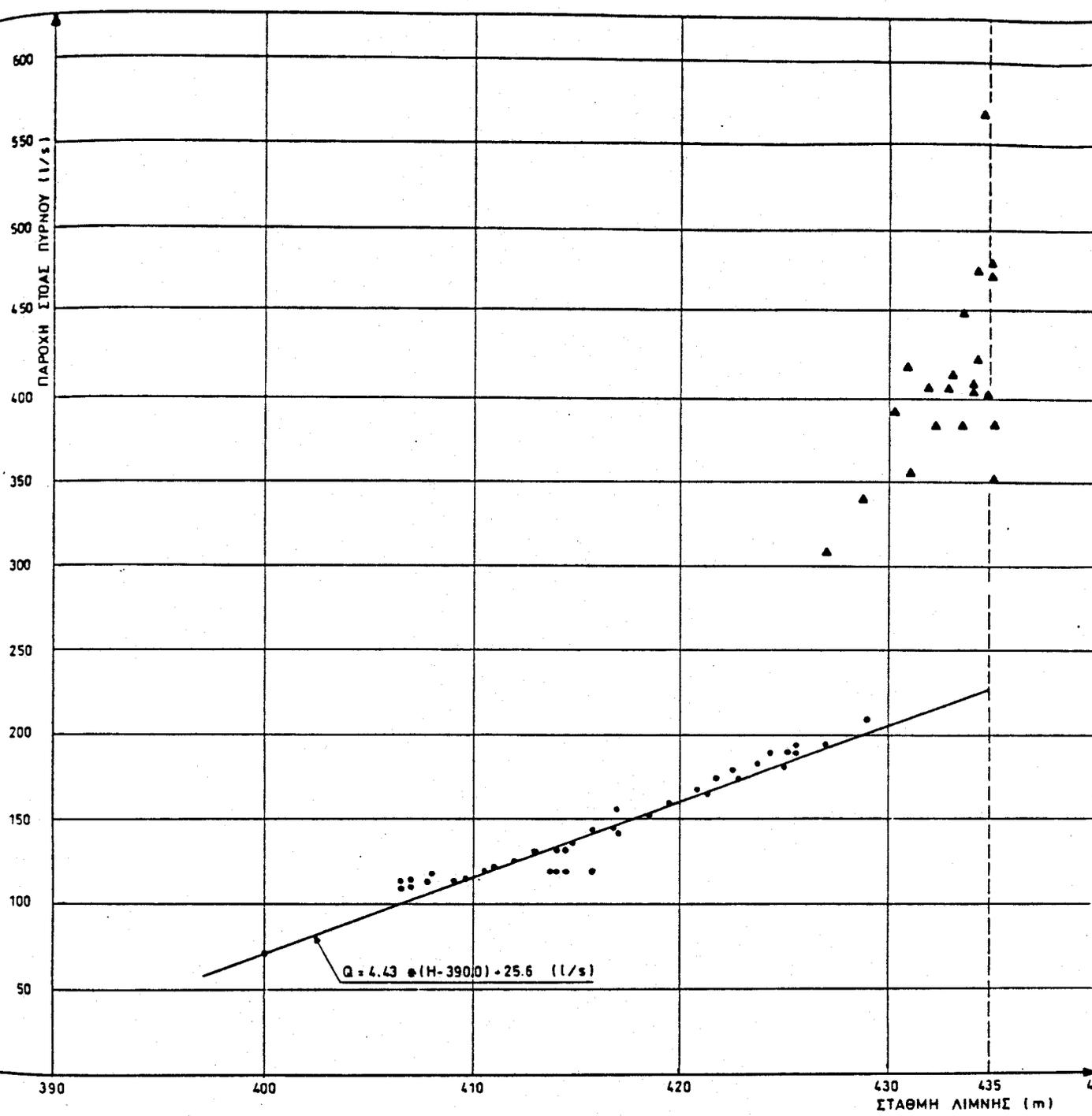
Σημειώνεται πάντως ότι στη μελέτη του ΕΜΠ δεν είχε προηγηθεί χάραξη των σήραγγων ούτε υδραυλικός υπολογισμός τους.

Επίσης στη μελέτη του ΕΜΠ εξετάστηκε και η επίπτωση της ένταξης στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας ενός ταμειυτήρα αναρρύθμισης κοντά στην Αθήνα, πιθανόν στη λεκάνη του ποταμού Ασωπού. Θεωρήθηκε ενδεικτικά μία μόνο τιμή της ωφέλιμης χωρητικότητας του ταμειυτήρα ( $100 * 10^6 \text{ m}^3$ ) ενώ οι εισροές της λεκάνης του ταμειυτήρα δε λήφθηκαν υπόψη.

Το θέμα του υδρολογικού σχεδιασμού των εναλλακτικών ταμειυτήρων Ευήνου καλύπτεται αναλυτικά από το τεύχος 15 της μελέτης του ΕΜΠ.



Σχ. 2.1 ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ - ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- ▲ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ 1ης ΠΕΡΙΟΔΟΥ (1979 - 1983)
- ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ 2ης ΠΕΡΙΟΔΟΥ (1984 - 1988)

2.2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΠΥΡΝΟΥ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΜΟΡΝΟΥ

### 3. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΚΑΝΩΝ

#### 3.1. Λεκάνη Μόρνου

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Μόρνου περικλείεται από τις οροσειρές Γκιώνας, Οίτης και Βαρδουσιών. Γειτονεύει ανατολικά με τη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού, βόρεια με τη λεκάνη Σπερχειού δυτικά με τις λεκάνες Ευήνου και Αχελώου. Η έκταση της λεκάνης ανάντη του φράγματος φτάνει τα 557.5 km<sup>2</sup>, με μέσο υψόμετρο +1062 m, και της συνολικής λεκάνης τα 935.8 km<sup>2</sup>. Ο ποταμός Μόρνος έχει τις πηγές του στις νότιες πλαγιές της Οίτης και εκβάλλει στον Κορινθιακό κόλπο. Η γεωλογική εικόνα της λεκάνης είναι αρκετά πολύπλοκη, αλλά δύο κύριοι σχηματισμοί συνθέτουν τη δομή της: Οι ασβεστόλιθοι και ο φλύσχος. Οι σχηματισμοί αυτοί καλύπτονται σε πολλές περιοχές από νεότερες τεταρτογενείς αποθέσεις.

Σε ότι αφορά το φράγμα Μόρνου, αυτό εδράζεται σε αργιλική και ψαμμιτική φάση του φλύσχη. Στο μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης κατάκλυσης υπάρχουν εμφανίσεις φλύσχη, ο οποίος είναι στεγανός από ένα ορισμένο βάθος και κάτω. Υπάρχουν επίσης και ασβεστολιθικές εμφανίσεις που όμως είναι εγκιβωτισμένες σε στεγανό υπόβαθρο. Μόνο στη θέση "Πύρνος", 6 km ανατολικά του φράγματος, υπάρχει εμφάνιση διαπερατών σχηματισμών σε μία λουρίδα μήκους 2.5 km περίπου.

#### 3.2. Λεκάνη Ευήνου

Η λεκάνη απορροής του Ευήνου περικλείεται από τους ορεινούς όγκους του Παναϊτωλικού (βόρεια και βορειοδυτικά) των Βαρδουσιών (βορειοανατολικά), των ορέων Ναυπακτίας (νοτιοανατολικά) και του Αράκυνθου ή Παλιοβούνας (δυτικά). Η λεκάνη γειτονεύει ανατολικά με τη λεκάνη Μόρνου, βορειοανατολικά με τη λεκάνη Σπερχειού, βόρεια με την υπολεκάνη του Καρπενησιώτη (παραποτάμου του Αχελώου) και δυτικά με άλλες υπολεκάνες του Αχελώου και με τη λεκάνη της λίμνης Τριχωνίδας. Η ολική έκταση της λεκάνης απορροής φθάνει τα 1128.5 km<sup>2</sup>, ενώ η έκταση της λεκάνης ανάντη του φράγματος Αγ. Δημητρίου είναι 349 km<sup>2</sup> με μέσο υψόμετρο +1194 m. Από γεωλογική άποψη η λεκάνη του Ευήνου εκτείνεται κατά το

μεγαλύτερο μέρος της (άνω και κεντρική περιοχή) στη ζώνη της Πίνδου ενώ το υπόλοιπο τμήμα της βρίσκεται στη ζώνη Γαβρόβου. Η περιοχή των υπό μελέτη έργων του Ευήνου βρίσκεται στη ζώνη της Πίνδου. Η ζώνη αυτή παρουσιάζει ανθρακική και πυριτική ιζηματογένεση βαθειάς θάλασσας από το Τριαδικό έως το Ανώτερο Κρητιδικό, η οποία ακολουθείται από ηωκαινικό φλύσχη (Π. Μαρίνος, 1990). Τα κύρια πετρογραφικά μέλη είναι οι λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι, οι αργιλοπυριτικοί σχιστόλιθοι, τα πετρώματα του φλύσχη και των μεταβατικών υβριδικών ζωνών. Από τεκτονική άποψη η περιοχή δεν παρουσιάζει εμφανείς ρηξιγενείς χαρακτήρες. Σε ότι αφορά τη στρωματογραφική διάταξη των πετρωμάτων, το κύριο χαρακτηριστικό είναι οι εναλλαγές "ικανών" με "μη ικανά", από πλευράς αντοχής και ευστάθειας γεωλογικά υλικά.

#### 4. ΒΡΟΧΟΠΤΩΞΕΙΣ

##### 4.1. Γενικά - μεθοδολογία

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας της βροχομετρικής πληροφορίας στις λεκάνες Μόρνου και Ευήνου, όπως αυτή έγινε στα πλαίσια της μελέτης του ΕΜΠ (1990) και συμπληρώθηκε για της ανάγκες της παρούσας μελέτης.

Η γενική μεθοδολογία που εφαρμόστηκε από την ομάδα μελέτης του ΕΜΠ περιλάμβανε τα ακόλουθα στάδια:

- (α) Υπολογισμός των μηνιαίων και των ετήσιων υψών βροχής με βάση τις ημερήσιες τιμές (πρωτογενή δεδομένα).
- (β) Υπολογισμός των συντελεστών συσχέτισης των ετήσιων τιμών για όλους του δυνατούς συνδυασμούς σταθμών ανά δύο.
- (γ) Κατασκευή των διπλών αθροιστικών καμπυλών των ετήσιων τιμών για όλα τα ζεύγη σταθμών, έλεγχος ομογένειας των δεδομένων και ενδεχόμενη ομογενοποίηση των παλιότερων δεδομένων. Ο διορθωτικός συντελεστής εκτιμάται από το λόγο των κλίσεων των κατά προσέγγιση ευθειών της αθροιστικής καμπύλης, πριν και μετά από σημείο εμφάνισης της ανομογένειας (θλάση της καμπύλης). Η διόρθωση γίνεται με βάση ένα ή περισσότερους σταθμούς βάσης οι οποίοι έχουν ως προσόντα ότι διαθέτουν μεγάλη περίοδο σύγχρονων παρατηρήσεων με τους περισσότερους σταθμούς και όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα δεδομένα.

Στην περίπτωση πολλών σταθμών βάσης, ως διορθωτικός συντελεστής λαμβάνεται ο μέσος όρος των διορθωτικών συντελεστών για το κάθε σταθμό βάσης. Οι ίδιοι διορθωτικοί συντελεστές εφαρμόζονται και στις μηνιαίες τιμές.

- (δ) Συμπλήρωση των μηνιαίων τιμών που λείπουν με γραμμική παλινδρόμηση σε μηνιαία βάση. Κατ' εξαίρεση, σε ορισμένους μήνες που έλειπαν μόνο λίγα ημερήσια ύψη βροχής (μέχρι 5) η συμπλήρωση έγινε σε ημερήσια βάση. Στην περίπτωση αυτή το ημερήσιο ύψος του προς συμπλήρωση σταθμού εκτιμήθηκε ως ο

μέσος όρος των αντίστοιχων ημερήσιων υψών των γειτονικών του σταθμών.

- (ε) Υπολογισμός των επιφανειακών υψών βροχής με τη μέθοδο Thiessen και με υψομετρική αναγωγή των μηνιαίων τιμών. Οι επιφανειακές βροχοπτώσεις πολλαπλασιάζονται επί το συντελεστή υψομετρικής αναγωγής  $\mu$  που δίνεται από τη σχέση:

$$\mu = \frac{H_T + a (Z_\lambda - Z_T)}{H_T}$$

όπου

- $H_T$  = μέσο ετήσιο ύψος επιφανειακής βροχής κατά Thiessen  
 $Z_\lambda$  = μέσο υψόμετρο λεκάνης  
 $Z_T$  = μέσο υψόμετρο σταθμών υπολογισμένο από τα επιμέρους υψόμετρα με εφαρμογή των συντελεστών Thiessen  
 $a$  = κλίση της ευθείας των ελαχίστων τετραγώνων του διαγράμματος με άξονες μέσο ετήσιο ύψος βροχής σταθμών - υψόμετρο σταθμών.

Στην παρούσα μελέτη έγινε συμπλήρωση των βάσεων δεδομένων της μελέτης του ΕΜΠ με τα πιο πρόσφατα στοιχεία των υδρολογικών ετών 1988-89 και 1989-90. Επαναλήφθηκαν τα παραπάνω βήματα των υπολογισμών (α) έως (ε) χωρίς όμως αναθεώρηση των αποτελεσμάτων της διερεύνησης του ΕΜΠ σε ότι αφορά τις γραμμικές σχέσεις για συμπλήρωση δεδομένων και τους συντελεστές Thiessen και υψομετρικής αναγωγής.

#### 4.2. Λεκάνη Μόρνου

Στη μελέτη του ΕΜΠ αρχειοθετήθηκαν τα ημερήσια ύψη βροχής σε 10 βροχομετρικούς σταθμούς της λεκάνης απορροής του Μόρνου. Οι σταθμοί αυτοί φαίνονται στον Πίνακα 4.1 που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1  
ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΡΝΟΥ

α/α	ΟΝΟΜΑ/ΘΕΣΗ	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΥΠΗΡΕΣΙΑ	ΒΑΣΗ ΔΕΔΟ- ΜΕΝΩΝ ΕΜΠ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ
3	ΛΙΔΟΡΙΚΙ	ΒΜ/ΒΓ	ΥΠΕΧΩΔΕ	1	1950-88
4	ΚΑΛΛΙΟ	ΒΜ	ΥΠΕΧΩΔΕ	1	1967-78
5	ΚΑΡΟΥΤΕΣ	ΒΜ	ΥΠΕΧΩΔΕ	1	1967-88
6	ΑΘ. ΔΙΑΚΟΣ	ΒΜ/ΒΓ	ΥΠΕΧΩΔΕ	2	1963-88
7	ΔΑΦΝΟΣ	ΒΜ	ΥΠΕΧΩΔΕ	1	1967-87
8	ΚΟΝΙΑΚΟΣ	ΒΜ	ΥΠΕΧΩΔΕ	2	1967-88
9	ΜΑΛΑΝΔΡΙΝΟ	ΒΜ	ΥΠΕΧΩΔΕ	1	1967-88
10	ΠΕΝΤΑΓΙΟΙ	ΒΜ/ΒΓ	ΥΠΕΧΩΔΕ	1	1963-88
11	ΠΥΡΑ	ΒΜ/ΒΓ	ΥΠΕΧΩΔΕ	2	1963-80
12	ΣΥΚΕΑ	ΒΜ	ΥΠΕΧΩΔΕ	2	1967-88

Στο Λιδορίκι είχαν λειτουργήσει παλιότερα και άλλοι δύο σταθμοί της ΕΜΥ (1931-35 και 1959-σήμερα) και του ΕΑΑ (1904-31) που δελήφθηκαν όμως υπόψη γιατί δε μπορούσε να ελεγθεί η αξιοπιστία τους.

Μετά από προκαταρκτική επεξεργασία των δεδομένων σε ετήσια χρονική βάση με τη μέθοδο της γραμμικής συσχέτισης καθώς και μελέτη των χρονοσειρών που αρχειοθετήθηκαν, οι σταθμοί Κάλλιο και Δάφνος αποκλείστηκαν από την παραπέρα επεξεργασία καθώς ο πρώτος είχε πολύ λίγα χρόνια παρατηρήσεων και ο δεύτερος παρουσίαζε προφανή και συνεχή λάθη. Οι συντελεστές συσχέτισης των ετήσιων τιμών βρέθηκαν να κυμαίνονται από -0.333 έως 0.843, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.2 που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2

## ΕΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΥΣΧΕΤΙΣΕΩΣ ΕΤΗΣΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΜΟΡΦΟΥ

	ΛΙΔΟΡΙΚΙ	ΚΑΛΛΙΟ	ΚΑΡΟΥΤΕΣ	ΑΘ. ΔΙΑΚΟΣ	ΔΑΦΝΟΣ	ΚΟΝΙΑΚΟΣ	ΜΑΛΑΝΔΡΙΝΟ	ΠΕΝΤΑΓΙΟΙ	ΠΥΡΑ	ΕΥΚΕΑ
ΛΙΔΟΡΙΚΙ		0.637	0.629	0.647	-0.196	0.478	0.804	0.654	0.351	0.843
ΚΑΛΛΙΟ			0.259	0.208	0.266	0.259	0.566	0.543	0.423	0.750
ΚΑΡΟΥΤΕΣ				0.433	0.183	0.197	0.507	0.432	0.554	0.690
ΑΘ. ΔΙΑΚΟΣ					0.574	0.118	0.507	0.815	-0.333	0.356
ΔΑΦΝΟΣ						0.592	0.181	0.384	-0.141	-0.130
ΚΟΝΙΑΚΟΣ							0.647	0.713	0.267	0.526
ΜΑΛΑΝΔΡΙΝΟ								0.796	0.368	0.632
ΠΕΝΤΑΓΙΟΙ									-0.103	0.726
ΠΥΡΑ										0.711

Η διερεύνηση με τη μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης έδειξε ότι οι σταθμοί Λιδορίκι, Καρούτες, Αθ. Διάκος, Κονιακός και Μαλανδρίνο παρουσιάζουν συστηματικά σφάλματα. Η γενική εικόνα της βροχομετρικής πληροφορίας δεν είναι καλή, αλλά κατά τα τελευταία χρόνια εμφανίζεται σαφώς βελτιωμένη. Οι συντελεστές αναγωγής των διπλών αθροιστικών καμπυλών των ετησίων βροχοπτώσεων φαίνονται στον Πίνακα 4.3 που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3  
ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΔΙΠΛΩΝ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ  
ΕΤΗΣΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΜΟΡΝΟΥ

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΣΤΑΘΜΟΙ ΒΑΣΗΣ	ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ
ΛΙΔΟΡΙΚΙ	ΣΥΚΕΑ	$\lambda = 0.83$	1949-50 έως 1981-82
ΚΑΡΟΥΤΕΣ	ΠΕΝΤΑΓΙΟΙ	$\lambda_1 = 0.855$	1966-67 έως 1971-72
	ΣΥΚΕΑ	$\lambda_2 = 0.796$	
		$\lambda = 0.83$	
ΑΘ. ΔΙΑΚΟΣ	ΠΕΝΤΑΓΙΟΙ	$\lambda = 0.90$	1962-63 έως 1975-76
ΚΟΝΙΑΚΟΣ	ΣΥΚΕΑ	$\lambda = 1.02$	1966-67 έως 1980-81
ΜΑΛΑΝΔΡΙΝΟ	ΠΕΝΤΑΓΙΟΙ	$\lambda_1 = 0.902$	1966-67 έως 1970-71
	ΣΥΚΕΑ	$\lambda_2 = 0.811$	
		$\lambda = 0.86$	

Οι συντελεστές συσχέτισης των ετήσιων τιμών όλων των σταθμών ανά δύο μετά την αναγωγή, παρουσίασαν βελτίωση αλλά παρέμειναν γενικά σε μη ικανοποιητικά επίπεδα. Πάντως κάθε σταθμός είχε τουλάχιστον έναν άλλον υψηλό συντελεστή συσχέτισης ( $>0.70$ ) ώστε να είναι δυνατή η συμπλήρωση των ελλείψεων σε μηνιαίες τιμές. Οι συνδυασμοί αυτοί των σταθμών φαίνονται στον Πίνακα 4.4 που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4  
ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕ ΥΨΗΛΟ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ( $>0.70$ )  
ΛΕΚΑΝΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΜΟΡΝΟΥ

Σταθμός (x)	Σταθμός (y)	Συντελεστής συσχέτισης (r)
ΛΙΔΟΡΙΚΙ	ΣΥΚΕΑ	0.915
ΣΥΚΕΑ	ΠΥΡΑ	0.711
ΛΙΔΟΡΙΚΙ	ΜΑΛΑΝΔΡΙΝΟ	0,817
ΣΥΚΕΑ	ΚΑΡΟΥΤΕΣ	0.872
ΜΑΛΑΝΔΡΙΝΟ	ΠΕΝΤΑΓΙΟΙ	0.811
ΠΕΝΤΑΓΙΟΙ	ΑΘ. ΔΙΑΚΟΣ	0.832
ΠΕΝΤΑΓΙΟΙ	ΚΟΝΙΑΚΟΣ	0.713

Έγινε συμπλήρωση και επέκταση των μηνιαίων χρονοσειρών με γραμμική παλινδρόμηση σε μηνιαία βάση έτσι ώστε η τελική περίοδος

που κάλυψαν τα μεγιστοποιημένα δείγματα ήταν από το υδρολογικό έτος 1962-63 έως το υδρολογικό έτος 1987-88 (για τη μελέτη του ΕΜΠ). Η πάρα πέρα επέκταση προς τα πίσω θεωρήθηκε ότι δε θα είχε επαρκή αξιοπιστία καθόσον θα στηριζόταν στα δεδομένα ενός μόνο σταθμού (Λιδορίκι). Τα τελικά δείγματα των σημειακών υψών βροχής της λεκάνης του Μόρνου φαίνονται στον Πίνακα 4.5 για τα υδρολογικά έτη 1962-63 έως 1989-90 όπως αυτά είχαν καταρτιστεί στη μελέτη του ΕΜΠ και συμπληρώθηκαν στην παρούσα μελέτη.

Από το διάγραμμα μεταβολής του ύψους βροχής σε συνάρτησι με το υψόμετρο στη λεκάνη ανάντη του φράγματος Μόρνου προέκυψε ότι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής αυξάνεται κατά 109 mm για αύξηση υψομέτρου κατά 100 m. Ο συντελεστής υψομετρικής αναγωγής βρέθηκε ίσος με 1.215 και το τελικό δείγμα των μηνιαίων επιφανειακών βροχοπτώσεων της λεκάνης του φράγματος Μόρνου φαίνεται στον Πίνακα 4.6 για τα υδρολογικά έτη 1962-63 έως 1989-90. Ανάλογοι υπολογισμοί είχαν γίνει στη μελέτη του ΕΜΠ και για τις υπολεκάνες ανάντη των υδρομετρικών σταθμών Στενού και Περιβολίου για τον έλεγχο των απορροών μέσω της σχέσης βροχής-απορροής (βλ. Κεφ. 6 της παρούσας μελέτης).

Τέλος στη μελέτη του ΕΜΠ επισημαίνεται ότι τελικό δείγμα επιφανειακής βροχόπτωσης στη λεκάνη του Μόρνου είναι μειωμένης αξιοπιστίας λόγω των διαπιστωμένων προβλημάτων του βροχομετρικού δικτύου της λεκάνης.

Στο παράρτημα Α δίνονται τα σημειακά ύψη βροχής σε μηνιαία βάση καθώς και οι εξισώσεις γραμμικής συσχέτισης που χρησιμοποιήθηκαν για συμπλήρωση των δεδομένων που έλειπαν.

## ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5

ΤΕΛΙΚΑ ΕΜΒΕΛΙΑΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΤΗΣΙΩΝ ΥΨΩΝ ΒΡΟΧΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΡΦΟΥ (σε mm)

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΛΙΔΟΡΙΚΙ	ΚΑΡΟΥΤΣΕ	ΑΘ. ΔΙΑΚΟΣ	ΚΟΝΙΑΚΟΣ	ΜΑΛΛΑΝ/ΝΟ	ΠΕΝΤΑΓΙΩΣ	ΠΥΡΑ	ΕΥΚΕΑ
1962-63	1331.4	1704.0	1809.7	1720.6	1283.7	2062.9	1816.2	2048.3
1963-64	873.0	1386.0	1363.6	1075.5	909.2	1135.3	1188.9	1379.1
1964-65	765.4	1198.9	1448.2	1358.0	817.0	1660.0	1209.4	1278.1
1965-66	997.1	1358.4	1829.2	1589.4	998.4	1911.1	1266.7	1559.4
1966-67	806.1	1082.6	1640.6	1363.1	727.2	1658.8	1300.6	1102.5
1967-68	837.2	1034.9	1402.6	1449.7	914.3	1463.1	1307.3	1092.2
1968-69	787.3	1186.7	1236.4	1092.5	683.0	1321.0	1497.6	1289.8
1969-70	864.1	1207.2	1638.5	1322.2	892.4	1897.2	1244.0	1279.7
1970-71	855.6	1355.4	1279.4	1187.1	765.3	1402.5	1323.6	1217.3
1971-72	785.3	1180.2	1370.5	1188.1	734.1	1351.7	1151.3	1088.2
1972-73	798.3	1246.7	1369.8	1165.4	853.7	1451.9	1204.9	1298.2
1973-74	854.0	1459.0	1578.2	1256.0	1074.6	1651.1	1387.9	1344.2
1974-75	691.7	1088.6	1236.0	981.8	794.0	1230.3	1395.2	1149.5
1975-76	636.9	1204.3	905.2	1198.9	771.9	1101.5	1416.0	1026.4
1976-77	722.3	1137.9	1365.3	939.1	810.6	1417.6	948.0	1010.3
1977-78	898.8	1326.4	1176.1	1167.4	933.3	1477.5	1760.6	1563.0
1978-79	948.5	1444.7	1894.2	1434.9	1022.8	1694.9	1408.4	1571.1
1979-80	1009.2	1632.1	1364.4	1281.1	1190.7	1461.9	1692.9	1884.1
1980-81	1209.1	1691.2	1770.6	1605.8	1151.7	1922.2	1859.1	2129.4
1981-82	1029.1	1637.0	1222.9	1501.2	1084.2	1731.3	1615.9	1821.7
1982-83	749.1	1082.3	895.5	1199.2	542.9	890.3	1396.4	1256.6
1983-84	950.9	998.7	628.4	1417.2	1109.4	1848.5	1688.8	1339.3
1984-85	681.5	988.5	506.7	1268.6	658.3	1310.6	1617.4	1108.5
1985-86	980.7	1460.1	1719.4	1860.5	1062.7	2192.2	1398.6	1760.3
1986-87	884.1	1708.9	1464.1	1100.6	907.4	1526.3	1671.0	1664.3
1987-88	821.3	1364.1	1621.2	1117.0	832.2	785.3	1179.8	1202.3
1988-89	830.5	933.6	1649.5	1207.9	680.1	870.9	1258.9	1521.5
1989-90	636.4	765.4	1312.4	998.9	612.9	717.5	1000.7	899.3
ΜΕΣΗ Γ.	865.5	1281.6	1382.8	1287.4	886.4	1469.5	1397.4	1388.8
ΤΥΠ. ΑΠΟΚ.	157.1	248.6	341.6	223.5	186.5	381.5	241.9	320.8

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6**  
**ΤΕΛΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (σε mm)**

ΔΕΚ. ΑΠΟΡΡΟΗ : ΑΝΑΤΕ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΜΟΡΝΟΥ ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ : 1082 ■  
 ΣΤΑΘΜΟΙ: ΑΙΔΟΡΙΚΙ (0.185) ΚΑΡΟΥΤΕΣ (0.046) ΑΘ. ΔΙΑΚΟΣ (0.113) ΚΟΝΙΑΚΟΣ (0.133) ΜΑΛΛΑΝΔΡΙΝΟ (0.133)  
 ΠΕΝΤΑΓΙΟΙ (0.146) ΠΥΡΑ (0.135) ΕΥΚΕΑ (0.109)  
 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ : 1.215

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒΡ.	ΜΑΡΤ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.	ΕΤΟΣ
1962-63	162.6	317.8	405.4	308.1	365.0	105.7	93.5	112.0	87.0	59.3	12.5	34.7	2063.5
1963-64	228.4	75.6	336.2	93.4	106.0	153.5	85.1	86.6	86.3	41.3	31.7	36.6	1360.7
1964-65	89.2	174.1	261.8	224.4	303.4	104.9	141.6	74.6	53.3	12.7	7.2	4.2	1451.5
1965-66	43.6	409.7	230.2	524.5	120.7	167.3	37.5	54.4	47.8	15.0	10.7	61.2	1722.6
1966-67	100.7	404.9	286.4	238.1	59.6	47.2	92.5	51.3	7.0	82.6	15.8	72.4	1458.3
1967-68	72.6	60.2	374.6	490.8	117.8	117.9	16.7	57.0	82.6	1.1	22.7	25.1	1439.2
1968-69	135.9	141.6	351.9	189.8	264.0	142.8	31.5	13.8	20.5	10.9	9.5	38.4	1350.8
1969-70	4.7	167.7	520.0	271.0	296.0	163.9	38.2	40.7	40.7	35.9	22.1	43.6	1554.6
1970-71	126.8	126.7	229.2	140.3	259.7	297.9	35.2	36.3	7.4	30.1	18.9	77.8	1386.3
1971-72	72.3	226.2	145.4	163.9	169.6	96.4	144.1	88.7	30.8	92.7	45.2	38.7	1314.0
1972-73	247.8	101.5	49.3	217.3	281.9	182.2	81.8	59.4	49.6	67.0	28.2	24.4	1390.6
1973-74	145.9	177.6	249.4	94.5	308.5	127.9	198.8	109.2	38.6	14.7	20.1	79.9	1565.3
1974-75	220.7	190.4	109.3	73.3	217.7	128.2	31.4	91.3	114.6	28.6	58.9	8.0	1272.3
1975-76	102.3	151.0	245.4	186.3	170.2	90.7	85.3	63.1	44.7	45.8	12.2	19.8	1216.8
1976-77	144.8	257.7	302.2	99.6	104.6	43.4	115.3	43.5	34.9	9.0	10.1	71.7	1236.9
1977-78	7.1	294.2	235.1	297.5	205.6	127.6	179.4	23.0	14.3	1.6	9.7	139.9	1535.0
1978-79	95.5	235.9	218.3	433.0	225.2	80.1	159.7	93.2	38.6	61.2	33.6	16.6	1690.9
1979-80	223.8	237.1	259.3	277.2	105.7	260.0	132.3	67.7	50.1	4.8	11.4	62.0	1691.3
1980-81	301.5	268.8	403.9	505.6	172.7	29.6	137.1	84.1	9.0	12.5	21.4	36.7	1982.9
1981-82	144.4	217.2	527.1	64.7	190.8	214.8	162.6	109.6	22.5	8.3	29.7	30.1	1721.9
1982-83	82.7	188.8	230.2	87.9	162.4	109.5	40.9	50.3	124.0	68.7	31.0	10.6	1187.0
1983-84	121.1	266.4	272.6	166.3	261.0	167.3	177.6	44.4	9.8	11.2	27.1	21.6	1546.4
1984-85	15.5	205.0	118.1	426.4	106.5	161.1	95.9	69.8	11.7	8.9	5.6	9.5	1234.0
1985-86	97.7	469.3	108.0	301.2	323.0	116.4	134.9	77.3	139.8	52.1	31.7	10.5	1861.9
1986-87	193.8	66.5	259.1	288.7	144.4	343.0	106.2	62.4	60.3	13.8	39.6	9.9	1587.7
1987-88	126.8	245.8	189.1	150.3	295.1	134.1	56.0	33.2	14.8	12.6	10.8	21.8	1290.5
1988-89	36.7	451.2	218.5	11.8	143.9	138.9	76.3	101.5	43.5	38.7	19.4	52.3	1332.9
1989-90	196.1	157.2	125.6	3.4	66.4	28.7	155.5	65.6	29.9	28.2	129.6	52.0	1038.2
1962-88													
ΜΕΣΗ Τ.	127.2	218.4	266.1	242.9	201.8	142.8	100.4	65.3	47.7	30.9	22.2	38.7	1504.3
ΤΥΠ. ΑΠΟΚ.	75.2	103.3	117.3	138.9	82.1	73.0	53.6	26.5	37.4	27.0	13.1	31.0	236.2
1962-90													
ΜΕΣΗ Τ.	126.5	224.5	259.3	226.1	194.9	138.6	101.5	66.6	46.9	31.1	26.0	39.6	1481.6
ΤΥΠ. ΑΠΟΚ.	75.6	109.5	116.2	147.4	83.6	73.5	52.8	26.4	36.2	26.1	23.9	30.1	245.4

4.3. Λεκάνη Ευήνου

Στη μελέτη του ΕΜΠ (1990) αρχειοθετήθηκαν τα ημερήσια ύψη βροχής σε 8 βροχομετρικούς σταθμούς της λεκάνης του Ευήνου, οι οποίοι φαίνονται στον Πίνακα 4.7 που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7  
ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΛΕΚΑΝΗΣ ΕΥΗΝΟΥ

α/α	ΟΝΟΜΑ/ΘΕΣΗ	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΥΠΗΡΕΣΙΑ	ΒΑΣΗ ΔΕΔΟ- ΜΕΝΩΝ ΕΜΠ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ
1	ΑΝΑΛΗΨΗ	ΒΜ	ΥΠΕΧΩΔΕ	4	1950-88
2	ΑΡΑΧΩΒΑ	ΒΜ	ΔΕΗ	3	1960-88
3	ΓΡΑΜΜΕΝΗ ΟΞΥΑ	ΒΜ	ΥΠΕΧΩΔΕ	3	1950-88
5	ΓΡΗΓΟΡΙΟ	ΒΜ	ΥΠΕΧΩΔΕ	3	1951-84
6	ΔΡΥΜΩΝΑΣ	ΒΜ/ΒΓ	ΔΕΗ	3	1970-88
7	ΠΑΡΑΔΕΙΣΙΟ	ΒΜ	ΥΠΕΧΩΔΕ	4	1950-66
9	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΒΜ	ΥΠΕΧΩΔΕ	3	1950-88
10	ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ	ΒΜ/ΒΓ	ΥΠΕΧΩΔΕ	4	1960-88

Στη μελέτη του ΕΜΠ δε χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του σταθμού Παραδείσιο, ο οποίος σταμάτησε να λειτουργεί το 1966, και έτσι δεν κάλυπτε τη χρονική περίοδο που ενδιέφερε τη μελέτη αυτή. Οι συντελεστές συσχέτισης των ετήσιων τιμών που βρέθηκαν να κυμαίνονται μεταξύ  $-0.066$  έως  $0.804$ , φαίνονται στον Πίνακα 4.8 που ακολουθεί.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8**  
**ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΕΤΗΣΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ**  
**ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΝΤΗ ΠΟΡΟΥ ΡΗΓΑΝΙΟΥ**

	ΑΝΑΛΗΨΗ	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΓΡΑΜΜΕΝΗ ΟΕΥΑ	ΓΡΗΓΟΡΙΟ	ΑΡΑΧΩΒΑ	ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ	ΔΡΥΜΩΝΑΣ
ΑΝΑΛΗΨΗ		0.826	0.414	0.377	0.619	0.724	0.645
ΠΛΑΤΑΝΟΣ			0.608	0.391	-0.066	0.664	0.446
ΓΡΑΜΜΕΝΗ ΟΕΥΑ				0.379	0.458	0.699	0.027
ΓΡΗΓΟΡΙΟ					0.345	0.605	0.235
ΑΡΑΧΩΒΑ						0.414	0.804
ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ							0.760

Η γενική εικόνα των σταθμών είναι μέτρια, παρόμοια με αυτή των σταθμών του Μόρνου. Από άποψη συστηματικών σφαλμάτων είναι πάντως βελτιωμένη, αφού μόνο στο σταθμό Γρηγόριο παρατηρήθηκε ανομοιογένεια των δεδομένων. Ο υπολογισμός του συντελεστή αναγωγής για το σταθμό αυτό φαίνεται στον Πίνακα 4.9 που ακολουθεί.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9**  
**ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΔΙΠΛΩΝ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ**  
**ΕΤΗΣΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΝΤΗ ΠΟΡΟΥ ΡΗΓΑΝΙΟΥ**

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΣΤΑΘΜΟΙ ΒΑΣΗΣ	ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ
ΓΡΗΓΟΡΙΟ	ΑΝΑΛΗΨΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΓΡΑΜΜΕΝΗ ΟΕΥΑ ΑΡΑΧΩΒΑ ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ ΔΡΥΜΩΝΑΣ	$\lambda_1 = 0.854$ $\lambda_2 = 0.912$ $\lambda_3 = 0.949$ $\lambda_4 = 0.760$ $\lambda_5 = 0.812$ $\lambda_6 = 0.961$ <hr/> $\lambda = 0.88$	1951-52 έως 1971-72

Οι διπλές αθροιστικές καμπύλες παρουσίασαν βελτιωμένη εικόνα μετά το 1962-63 εκτός από την Αράχοβα στην οποία η βελτίωση παρουσιάστηκε μετά το 1972-73. Οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης φαίνονται στον Πίνακα 4.10 που ακολουθεί.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10**  
**ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΕΤΗΣΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ**  
**ΛΕΚΑΝΗΣ ΠΟΡΟΥ ΡΗΓΑΝΙΟΥ**  
 (Στοιχεία από το έτος 1962-63)

	ΑΝΑΛΗΨΗ	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΓΡΑΜΜΕΝΗ ΟΞΥΑ	ΓΡΗΓΟΡΙΟ	ΑΡΑΧΩΒΑ		ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ	ΔΡΥΜΩΝΑΣ
ΑΝΑΛΗΨΗ		0.177	0.306	0.379	0.635	(0.837)'	0.721	0.645
ΠΛΑΤΑΝΟΣ			0.786	0.516	-0.009	(0.159)'	0.650	0.446
ΓΡΑΜΜΕΝΗ ΟΞΥΑ				0.785	0.122	(0.463)'	0.727	0.027
ΓΡΗΓΟΡΙΟ					0.308	(0.696)'	0.635	0.235
ΑΡΑΧΩΒΑ							(0.320)'	0.804
ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ								0.760

1. Υπολογισμός με βάση τα δεδομένα μετά το 1972-73

Οι συντελεστές συσχέτισης παρουσιάζουν γενικά βελτιωμένη εικόνα μετά από την αναγωγή των δεδομένων του σταθμού Γρηγορίου, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.11 που ακολουθεί.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.11**  
**ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΕΤΗΣΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ**  
**ΛΕΚΑΝΗΣ ΠΟΡΟΥ ΡΗΓΑΝΙΟΥ**  
 (Στοιχεία από το έτος 1962-63)

	ΑΝΑΛΗΨΗ	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΓΡΑΜΜΕΝΗ ΟΞΥΑ	ΓΡΗΓΟΡΙΟ	ΑΡΑΧΩΒΑ	ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ	ΔΡΥΜΩΝΑΣ
ΑΝΑΛΗΨΗ				0.441			
ΠΛΑΤΑΝΟΣ				0.429			
ΓΡΑΜΜΕΝΗ ΟΞΥΑ				0.781			
ΓΡΗΓΟΡΙΟ					0.430	0.727	0.123
ΑΡΑΧΩΒΑ							
ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ							

Στη συνέχεια έγινε συμπλήρωση των ελλείψεων και επέκταση των δειγμάτων για τα υδρολογικά έτη 1962-63 έως 1987-88. Στην παρούσα μελέτη έγινε και συμπλήρωση με βάση τα πρωτογενή δεδομένα για τα υδρολογικά έτη 1988-89 και 1989-90.

Τα τελικά ετήσια ύψη βροχής των διαφόρων σταθμών της λεκάνης φαίνονται στον Πίνακα 4.12.

Στη μελέτη του ΕΜΠ υπολογίστηκαν στη συνέχεια τα επιφανειακά μηνιαία ύψη βροχής για τις υπολεκάνες ανάντη των θέσεων των φραγμάτων Περίστας, Αγ. Δημητρίου και Δενδροχωρίου, με τη μέθοδο

Thiessen και υψομετρική αναγωγή.

Παρόμοιοι υπολογισμοί έγιναν και για τις υπολεκάνες ανάντη των θέσεων υδρομετρικών σταθμών Πόρου Ρηγανίου και Αχλαδοκάστρου (τεύχος 6 της μελέτης ΕΜΠ) με σκοπό να ελεγχθούν οι υπολογισμένες από τα πρωτογενή δεδομένα παροχές. Στην παρούσα μελέτη έγιναν παρόμοιοι υπολογισμοί για τα έτη 1988-89 και 1989-90 μόνο για τους σταθμούς της λεκάνης ανάντη της θέσης του φράγματος Αγ. Δημητρίου.

Στον Πίνακα 4.13 φαίνονται τα τελικά μηνιαία ύψη επιφανειακής βροχής στη λεκάνη ανάντη του φράγματος Αγ. Δημητρίου, ενώ στο παράρτημα Α δίνονται τα σημειακά ύψη βροχής για όλους τους σταθμούς της λεκάνης του Ευήνου σε μηνιαία βάση. Επίσης δίνονται και οι εξισώσεις γραμμικής συσχέτισης που χρησιμοποιήθηκαν για τη συμπλήρωση των δεδομένων που έλειπαν.

## ΠΙΝΑΚΑΣ 4.12

ΤΕΛΙΚΑ ΕΠΙΜΕΤΑΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΤΗΣΙΩΝ ΥΨΩΝ ΒΡΟΧΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΕΥΗΝΟΥ (σε mm)

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΑΝΑΛΗΨΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ	ΓΡ. ΟΕΥΑ	ΓΡΗΓΟΡΙΟ	ΑΡΑΧΩΒΑ	ΠΟΡΟΣ ΡΗΓ.	ΔΡΥΜΩΝΑΣ	
1962-63	2139.8	2416.5	2303.1	2519.8	2137.7	2137.8	2135.3
1963-64	948.6	1243.9	1089.7	1608.1	984.6	694.2	1092.7
1964-65	1555.9	1337.9	1301.6	1849.1	1608.0	1342.1	1704.1
1965-66	1452.5	2144.0	1541.4	2198.0	1486.0	1665.6	1564.2
1966-67	1455.0	1760.9	1230.3	1685.1	1609.2	1558.9	1679.1
1967-68	1068.4	1500.1	1078.9	1783.2	1079.4	1247.7	1137.5
1968-69	1470.4	1519.1	1627.2	1905.6	1576.3	1321.7	1677.2
1969-70	1439.0	1852.5	1593.9	2161.3	1650.4	1305.1	1723.7
1970-71	1255.1	1676.5	1358.2	1509.9	1265.3	1264.2	1444.3
1971-72	1039.5	1794.4	1008.9	1667.9	1154.6	1287.2	1603.7
1972-73	1387.5	1900.0	1275.3	1414.5	1213.3	1220.2	1310.7
1973-74	1272.4	1673.8	1145.7	2083.3	1361.2	1442.1	1154.8
1974-75	1182.9	1520.9	1156.5	1429.2	1105.1	1077.7	1103.0
1975-76	931.5	1337.8	1161.3	1506.6	1162.0	1043.3	1091.2
1976-77	1098.0	1647.5	1048.8	1538.3	1245.5	1242.6	1381.7
1977-78	1227.3	1487.7	1320.5	1538.6	1445.2	1288.6	1356.4
1978-79	1335.8	1893.7	1335.4	1474.3	1509.1	1367.7	1696.0
1979-80	1521.4	1621.1	1326.2	1800.3	1524.4	1453.7	1581.7
1980-81	1477.3	1421.3	1468.0	2013.8	1619.8	1506.1	1591.4
1981-82	1416.2	1482.9	1366.2	1909.7	1351.5	1684.2	1611.0
1982-83	1156.5	1310.2	999.9	2007.7	1215.3	1204.3	1327.7
1983-84	1205.6	1433.7	1216.6	1929.9	1245.3	1543.2	1451.9
1984-85	869.2	1161.6	916.8	1382.5	909.5	942.0	897.3
1985-86	1338.0	1818.0	1329.5	1858.4	1338.8	1455.0	1604.8
1986-87	1140.4	1276.7	1124.1	1590.4	1074.9	1104.1	1167.2
1987-88	914.7	1109.0	1148.2	1535.3	1066.1	944.4	1183.7
1988-89	-	1314.2	1045.3	1581.9	1125.8	-	-
1989-90	-	648.2	754.2	1233.5	679.2	-	-
ΜΕΣΗ Τ.	1280.7	1553.7	1259.7	1739.9	1312.3	1320.9	1433.6
ΤΥΠ. ΑΠΟΚ.	267.8	328.3	286.9	294.6	289.9	283.8	279.7

## ΠΙΝΑΚΑΣ 4.13

ΓΕΛΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΕΡΧΟΠΤΩΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΑΝΤΗ ΘΕΣΗΣ ΦΑΡΜΑΤΟΣ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ (σε γλ)

ΛΕΚ. ΑΠΟΡΡΟΗ : ΑΝΑΝΤΗ ΦΑΡΜΑΤΟΣ ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ : 1194 μ  
 ΕΤΑΘΜΟΙ: ΓΡΑΜ. ΟΞΥΑ (0.444) ΓΡΗΓΟΡΙΟ (0.241) ΑΡΑΧΩΒΑ (0.315)  
 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ : 1.036

ΥΑΡ. ΕΤΟΣ	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒΡ.	ΜΑΡΤ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.	ΕΤΟΣ
1962-63	270.2	405.9	466.8	329.2	363.8	120.9	109.4	164.4	35.7	64.6	33.8	21.5	2386.1
1963-64	171.3	93.6	273.2	84.6	125.1	182.1	68.4	66.8	82.2	25.7	18.5	32.7	1224.1
1964-65	103.7	230.0	304.4	239.3	234.1	124.4	207.2	79.6	47.5	1.6	11.6	1.6	1585.1
1965-66	42.2	483.2	266.6	436.0	82.4	173.3	63.9	62.1	40.8	16.8	36.7	38.8	1742.7
1966-67	186.1	356.5	306.4	194.1	50.5	41.3	119.0	59.1	11.6	90.1	13.3	83.7	1511.8
1967-68	54.1	53.2	288.8	409.3	103.3	108.1	26.6	64.4	112.1	1.6	51.0	21.3	1293.8
1968-69	123.9	202.6	449.3	234.0	329.7	192.0	53.3	24.8	38.2	21.8	10.3	58.8	1738.7
1969-70	1.4	162.0	743.8	295.7	189.5	165.0	56.2	73.0	52.7	29.3	25.1	17.8	1811.4
1970-71	113.9	150.8	225.2	121.2	247.2	301.2	62.4	34.3	22.9	49.1	10.5	76.0	1414.7
1971-72	62.7	245.7	139.6	128.5	208.1	93.3	131.8	73.6	17.6	79.6	44.9	31.8	1257.3
1972-73	358.2	69.6	34.2	121.3	255.3	173.9	94.8	31.9	55.1	73.7	28.0	39.7	1335.7
1973-74	131.6	167.6	242.1	79.3	252.7	132.4	216.6	104.2	24.0	9.0	17.7	114.0	1491.4
1974-75	324.0	145.9	89.1	37.4	170.5	123.4	35.9	117.2	80.9	35.7	81.8	7.8	1249.4
1975-76	159.0	177.9	212.6	131.1	146.6	75.5	134.7	65.7	98.2	68.6	11.4	8.1	1289.5
1976-77	212.4	312.3	283.3	102.2	77.2	43.3	86.5	47.0	29.9	0.2	37.3	41.5	1273.0
1977-78	5.5	301.7	221.0	255.3	187.9	64.2	204.4	46.8	15.8	1.0	9.7	149.8	1463.2
1978-79	67.0	102.0	280.3	321.2	200.2	71.7	211.1	103.2	40.0	23.5	26.8	28.0	1474.8
1979-80	263.3	258.3	206.1	203.5	68.8	172.4	133.4	96.8	46.1	18.6	16.8	72.8	1557.0
1980-81	226.2	305.9	355.4	268.8	162.5	51.2	100.0	99.3	11.5	53.1	25.1	47.5	1706.7
1981-82	172.4	163.9	541.6	81.2	107.5	153.3	147.3	85.8	33.6	11.5	27.9	20.4	1546.3
1982-83	117.9	310.0	232.9	84.0	170.8	84.3	34.6	45.1	106.1	113.5	37.3	21.2	1357.8
1983-84	98.4	261.1	206.2	160.7	204.9	165.7	174.7	49.6	9.0	10.2	62.3	45.0	1447.9
1984-85	28.6	204.5	116.4	278.9	83.2	166.7	80.5	54.3	22.1	15.3	3.3	9.9	1063.7
1985-86	76.8	389.6	67.6	278.9	221.5	90.9	120.3	98.8	62.8	91.5	8.6	5.1	1512.5
1986-87	80.8	62.2	191.8	224.3	111.7	266.9	142.7	51.9	54.9	24.2	41.6	12.0	1264.9
1987-88	149.7	268.1	178.9	101.0	248.3	149.8	75.7	25.0	18.5	0.0	15.8	28.6	1259.4
1988-89	35.7	318.4	223.2	2.9	169.4	92.6	101.6	147.8	51.7	53.9	16.7	29.4	1243.2
1989-90	137.3	132.8	136.2	2.0	77.9	23.4	146.2	74.0	15.3	40.1	49.7	41.4	876.5
-----													
1962-68													
ΜΕΣΗ Τ.	138.1	224.6	269.8	204.0	174.2	133.5	112.6	72.0	46.1	37.2	27.6	40.3	1471.5
ΤΥΠ. ΑΠΟΚ.	94.0	112.1	152.5	107.4	80.4	64.0	57.2	32.2	29.8	33.2	18.5	35.2	263.2
-----													
1962-90													
ΜΕΣΗ Τ.	134.8	226.3	260.1	185.9	173.2	128.7	112.1	73.1	44.2	36.6	27.6	39.5	1442.1
ΤΥΠ. ΑΠΟΚ.	92.5	110.8	149.0	115.6	79.6	65.4	55.4	34.3	29.2	32.1	18.4	33.9	279.8

## 5. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ - ΕΞΑΤΜΙΣΕΙΣ

### 5.1. Γενικά - Μεθοδολογία

Η ανάλυση των μετεωρολογικών δεδομένων αποσκοπεί ουσιαστικά στην εκτίμηση των απωλειών εξάτμισης από τους ταμιευτήρες Μόρνου και Ευήνου. Στην παρούσα μελέτη δεχθήκαμε τις τελικές εκτιμήσεις της εξάτμισης που δόθηκαν στη μελέτη του ΕΜΠ. Δεν προχωρήσαμε σε συμπλήρωση των δεδομένων για τα υδρολογικά έτη 1988-89 και 1989-90 καθόσον αυτό δεν θα είχε σημαντική επίπτωση στη διερεύνησή μας για τους ακόλουθους δύο λόγους:

- (α) Η διασπορά των μηνιαίων τιμών της εξάτμισης είναι γενικά μικρή.
- (β) Η επίδραση της εξάτμισης στο ισοζύγιο των ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου είναι αρκετά μικρή σε σχέση με άλλες υδρολογικές μεταβλητές (όπως π.χ. η απορροή).

Στη μελέτη του ΕΜΠ χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Penman που είναι και η ακριβέστερη προσέγγιση στο θέμα. Κατά συνέπεια τα μετεωρολογικά δεδομένα που απαιτήθηκε να αναλυθούν είναι αυτά που παίρνονται υπόψη στη μέθοδο Penman, ήτοι:

- Θερμοκρασία αέρα
- Σχετική υγρασία
- Σχετική ηλιοφάνεια
- Ταχύτητα ανέμου

Οι άμεσες μετρήσεις εξάτμισης από εξατμισόμετρα κατά κανόνα στις ελληνικές συνθήκες δεν είναι αξιόπιστες και γιαυτό θεωρήθηκαν ως απλές ενδείξεις. Όλες οι παραπάνω μετεωρολογικές μεταβλητές εξετάστηκαν σε μηνιαία βάση, γιαυτό και δεν έγινε διάκριση οργάνων στιγμιαίας και συνεχούς μέτρησης.

Η ημιεμπειρική σχέση του Penman είναι η ακόλουθη.

$$E = \frac{\Delta \cdot R + E_a \cdot \gamma}{\Delta + \gamma}$$

όπου,

$E$  = η εξάτμιση σε mm/ημέρα

$\Delta$  = κλίση της καμπύλης των κορεσμένων υδρατμών που δίνεται σε mm στήλης υδραργύρου ανά °C από τη σχέση του Bosen:

$$\Delta = 1.5 (0.00738T_a + 0.8072)^7 - 0.00087$$

$T_a$  = θερμοκρασία αέρος σε °C

$\gamma$  = ψυχομετρική σταθερά που δίνεται από τη σχέση του Brunt:

$$\gamma = 0.386 \frac{750 - 0.0793 H}{595 - 0.51 T_a}$$

$H$  = το υψόμετρο της εξατμίζουσας επιφάνειας

$R = R_i - R_b$  = διαφορά ακτινοβολιών λήψεως και εκπομπής η οποία και διατίθεται για εξάτμιση και υπολογίζεται από τη σχέση

$$R = R_A(1-r)(0.29 \cos\phi + 0.55 \eta/N) - \sigma(T_a + 273)^4 (0.56 - 0.09\sqrt{e})(0.1 + 0.9 \eta/N)$$

$R_A$  = ηλιακή ακτινοβολία στο εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας (Τσακίρης, 1985)

$r$  = συντελεστής ανακλαστικότητας ή albedo (0.06 για ελεύθερη επιφάνεια νερού)

$\phi$  = γεωγραφικό πλάτος σε μοίρες

$\eta/N$  = λόγος ωρών πραγματικής ηλιοφάνειας/ώρες δυνατής ηλιοφάνειας

$\sigma$  = σταθερά των Stefan - Boltzmann =  $2.01 \cdot 10^{-9}$  mm/ημ

$e$  = τάση υδρατμών =  $e_w \cdot V$

$e_w$  = τάση κορεσμένων υδρατμών που δίνεται από τη σχέση του Bosen:

$$e_w = 25.4616(0.00738 T_a + 0.8072)^8 - 0.000484|1.8 T_a + 48| + 0.00335$$

$V$  = μέση σχετική υγρασία %

$E_a$  = παράμετρος μεταφοράς μάζας υδρατμών που δίνεται σε mm/ημ από τη σχέση:

$$E_a = 0.35(e_w - e)(0.5 + 0.54 u_2)$$

$u_2$  = μέση ταχύτητα ανέμου σε m/sec σε ύψος 2 m από την

εξατμίζουσα επιφάνεια.

Η μέθοδος Penman που υιοθετήθηκε δε μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι απαλλαγμένη μειονεκτημάτων. Μειονεκτήματα υπάρχουν και στον τρόπο με τον οποίο εφαρμόστηκε (πολλές φορές δεν υπήρχαν μετεωρολογικά δεδομένα στην περιοχή εφαρμογής και έτσι χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα σταθμών αρκετά απομακρυσμένων) αλλά και στις θεωρητικές της προϋποθέσεις (δεν παίρνει υπόψη την αποθήκευση θερμότητας στο νερό του ταμιευτήρα). Παρ' όλα αυτά θεωρούμε ότι δίνει ακριβέστερη προσέγγιση της εξατμίσης από αυτή των παλιότερων μελετών που είχαν στηριχτεί στα δεδομένα του εξατμισίμετρου Μαραθώνα. Ενδεχομένως οι εξατμίσεις που προκύπτουν είναι ελαφρώς υπερεκτιμημένες για τους θερινούς μήνες όπου η αποθήκευση θερμότητας δε μπορεί να αγνοηθεί, αλλά αυτό είναι προς την πλευρά της ασφάλειας, αναφορικά με την εκτίμηση του αξιοποιήσιμου υδατικού δυναμικού.

## 5.2. Ταμιευτήρας Μόρνου

Σε ότι αφορά στην εξατμίση από τον ταμιευτήρα Μόρνου που υπολογίστηκε στη μελέτη του ΕΜΠ υπάρχει σοβαρή ασυμφωνία με παλιότερες μελέτες, που στηρίζονταν στα δεδομένα του εξατμισίμετρου Μαραθώνα, με βάση τα οποία η εξατμίση προκύπτει σαφώς μικρότερη ( $\approx 40\%$ ) από αυτή που υπολογίζεται με τη μέθοδο Penman. Για το θέμα αυτό στη μελέτη του ΕΜΠ γίνονται οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

1. Το εξατμισίμετρο Μαραθώνα δεν είναι πλωτό όπως πολλές φορές αναφέρεται εσφαλμένα, αλλά εξατμισίμετρο ξηράς.
2. Πλωτό εξατμισίμετρο υπήρχε στη λίμνη Μαραθώνα την περίοδο 1931-38, και με βάση αυτό υπολογίστηκαν συντελεστές αναγωγής του εξατμισίμετρου ξηράς, οι οποίοι χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα.
3. Δεν είναι δυνατό να ελεγχθεί η αξιοπιστία των μετρήσεων του παλιού πλωτού εξατμισίμετρου, ούτε και των συντελεστών αναγωγής. Επισημαίνεται πάντως ότι τα πλωτά εξατμισίμετρα παρουσιάζουν σοβαρά προβλήματα αξιοπιστίας και γι' αυτό

έχουν σχεδόν εγκαταλειφθεί. Τα προβλήματα αυτά σχετίζονται αφ' ενός με την επίδραση των στερεών ορίων στο μηχανισμό εξάτμισης, αλλά κυρίως στην εναλλαγή του νερού με αυτό της λίμνης, υπό μορφή σταγόνων (λόγω ανέμου και κυματισμών), πράγμα που καθιστά τη μέτρηση προβληματική.

4. Το σημερινό εξατμισόμετρο Ξηράς, διαπιστώθηκε ότι έχει υποστεί κατά καιρούς σοβαρές μετατροπές (η πιο πρόσφατη αναφέρεται την τοποθέτηση πλέγματος, που εμποδίζει τη ροή της ηλιακής ακτινοβολίας). Εξ άλλου η λήψη των μετρήσεων παρουσιάζει προβλήματα, που εντοπίζονται κυρίως στην αφαίρεση του ύψους βροχής (βλέπε και τεύχος 11 της μελέτης του ΕΜΠ, 1990).
5. Ενδεικτική της αναξιοπιστίας του εξατμισόμετρου Μαραθώνα είναι και η σύγκριση του με το εξατμισόμετρο Αλιάρτου της ΕΜΥ, που θεωρείται ως ένα από τα πιο αξιόπιστα του ελληνικού χώρου. Έτσι η μέση τιμή της εξάτμισης που δίνει το εξατμισόμετρο Μαραθώνα για την περίοδο 1977-88 είναι 902.7 mm ενώ η αντίστοιχη τιμή του εξατμισόμετρου Αλιάρτου είναι 1839 mm (υπεδιπλάσια τιμή). Σημειώνεται πάντως ότι το πρώτο όργανο είναι τύπου A ενώ το δεύτερο είναι τύπου Colorado, αλλά η πιο πάνω απόκλιση δε μπορεί να δικαιολογηθεί.

### 5.2.1. Θερμοκρασία

Στη λεκάνη Μόρνου υπάρχουν δύο θερμόμετρα, στο Λιδορίκι και στο φράγμα Μόρνου. Ο σταθμός φράγματος Μόρνου, όπως προέκυψε από την επί τόπου επίσκεψή της ομάδας μελέτης του ΕΜΠ, είναι τελείως αναξιόπιστος, και οι τιμές που σημειώνονται από τον παρατηρητή δεν είναι μετρήσεις αλλά χονδρικές εκτιμήσεις. Έτσι δεν πάρθηκαν καθόλου υπόψη τα στοιχεία του σταθμού αυτού. Απέμεινε λοιπόν ο σταθμός Λιδορικού, ο οποίος λειτουργεί ικανοποιητικά και συστηματικά, και εμφανίζει ελάχιστες ελλείψεις. Οι ελλείψεις αυτές συμπληρώθηκαν με γραμμική συσχέτιση από το σταθμό Γραμμένης Οξυάς, της λεκάνης Ευήνου. Οι συντελεστές συσχέτισης σε μηνιαία βάση ήταν υψηλοί. Το τελικό συμπληρωματικό δείγμα καλύπτει την περίοδο 1970-71 έως 1986-87.

Η εκτίμηση των μηνιαίων θερμοκρασιών στη θέση του φράγματος έγινε με υψομετρική αναγωγή (στη μέση στάθμη ταμειευτήρα) και χρησιμοποιήθηκαν οι μηνιαίες τιμές της θερμομετρικής βαθμίδας του Giandotti, που έχουν υπολογιστεί εμπειρικά από μεσογειακές λεκάνες. Χαρακτηριστικές μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες φαίνονται στον πίνακα 5.1.

#### 5.2.2. Σχετική υγρασία

Υπάρχει ένα ψυχρόμετρο στο Λιδορίκι με συστηματικές και αξιόπιστες μετρήσεις που καλύπτουν την περίοδο 1960-61 έως 1987-88, με μερικές ελλείψεις. Θεωρήθηκε ότι οι μετρήσεις αυτές ισχύουν και για την περιοχή του φράγματος Μόρνου.

Η σχετική υγρασία στο Λιδορίκι σε μέση μηνιαία βάση φαίνεται στον πίνακα 5.1.

#### 5.2.3. Ηλιοφάνεια

Δεν υπάρχει ηλιογράφος στη λεκάνη Μόρνου, ενώ ο πλησιέστερος, ο οποίος τελικά χρησιμοποιήθηκε, βρίσκεται στη Λαμία (ΕΜΥ). Το δείγμα που υπάρχει καλύπτει την περίοδο από 1976-77 μέχρι 1986-87 χωρίς ελλείψεις. Θεωρήθηκε ότι οι τιμές στη Λαμία καλύπτουν και την περιοχή του Μόρνου, αλλά πάντως η παραδοχή αυτή είναι δυσμενής, δηλαδή οδηγεί σε εξατμίσεις σχετικά μεγαλύτερες από τις πραγματικές. Η σχετική ηλιοφάνεια της Λαμίας σε μέση μηνιαία βάση, φαίνεται στον πίνακα 5.1.

#### 5.2.4. Ταχύτητα ανέμου

Υπάρχουν δύο ανεμόμετρα μέσα στη λεκάνη Μόρνου, στο Λιδορίκι και στο φράγμα Μόρνου. Όπως προαναφέρθηκε στα δεδομένα στο φράγμα Μόρνου είναι χωρίς αξία. Δυστυχώς όμως και τα ανεμομετρικά δεδομένα στο Λιδορίκι εμφανίζουν μία γενική εικόνα αναξιόπιστη. Το ανεμόμετρο του σταθμού της Λαμίας εμφανίζει αξιόπιστη γενική

εικόνα μετρήσεων, αλλά δυστυχώς έχει ελλείψεις δεδομένων που δε μπορούσαν να συμπληρωθούν. Τελικά χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις του ανεμομέτρου Αλιάρτου (ΕΜΥ) που είναι συνεχείς για την περίοδο 1966-67 έως 1987-88. Η ταχύτητα ανέμου στην Αλιάρτο, σε μέση μηνιαία βάση φαίνεται στον πίνακα 5.1.

#### 5.2.5. Υπολογισμός εξάτμισης κατά Penman

Τα πρωτογενή μετεωρολογικά δεδομένα σε μηνιαία βάση παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα Β. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα έγινε δυνατή η εκτίμηση της εξάτμισης από την ελεύθερη επιφάνεια του ταμιευτήρα Μόρνου, με την ημιεμπειρική μέθοδο Penman, που αποτελεί την ακριβέστερη δυνατή προσέγγιση. Οι υπολογισμένες μηνιαίες τιμές της εξάτμισης κάλυψαν την περίοδο από τον Ιανουάριο 1977 μέχρι και τον Σεπτέμβριο 1988 και φαίνονται στον πίνακα 5.2. Η μέση ετήσια εξάτμιση της περιόδου αυτής φτάνει τα 1317 mm. Η τιμή αυτή είναι σχετικά μεγάλη, πράγμα που οφείλεται στις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στην περιοχή (όπως τουλάχιστον προκύπτουν από τα δεδομένα στο Λιδορίκι). Δεν πρέπει πάντως να συγχέεται η τιμή αυτή, που αναφέρεται σε εξάτμιση από ελεύθερη επιφάνεια νερού, με την ετήσια δυναμική εξατμισοδιαπνοή, που αναφέρεται σε εδαφική επιφάνεια, και είναι σαφώς μικρότερη (800 - 900 mm ετησίως).

#### 5.2.6. Μετρήσεις εξάτμισης - Συγκρίσεις

Εξατμισίμετρα υπάρχουν στο Λιδορίκι και στο φράγμα Μόρνου, αλλά σε κανέναν από τους δύο σταθμούς δεν υπήρχαν αξιόπιστα δεδομένα. Για λόγους σύγκρισης χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του εξατμισίμετρου Λαμίας, που οι μέσες μηνιαίες τιμές τους φαίνονται στον πίνακα 5.3. Σε υπερετήσια βάση τα ηλίκα των εκτιμήσεων της μεθόδου Penman προς τις μετρημένες εξατμίσεις της Λαμίας συμφωνούν σε ικανοποιητικό επίπεδο (μέση ετήσια τιμή του ηλίκου = 0.87), αλλά στα επιμέρους έτη οι διαφορές είναι σημαντικές. Πιο σημαντικές είναι οι διαφορές στους επιμέρους μήνες. Η ομάδα μελέτης του ΕΜΠ καταλήγει στο συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα της μεθόδου Penman είναι αρκετά αξιόπιστα, δεν συμβαίνει όμως το ίδιο

με τα δεδομένα του εξατμισιμέτρου Λαμίας.

### 5.2.7. Επέκταση του δείγματος εξατμίσεων

Δεδομένου ότι το μέγεθος που επηρεάζει κατά κύριο λόγο την εξάτμιση είναι η θερμοκρασία (άλλωστε υπάρχουν εμπειρικές μέθοδοι εκτίμησης της εξάτμισης με βάση μόνο τη θερμοκρασία) είναι δυνατόν να επεκτείνουμε το δείγμα των μηνιαίων εξατμίσεων σε όλη την περίοδο που υπάρχουν μετρήσεις θερμοκρασίας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η απλή μέθοδος του βρόχου εξάτμισης (διαγράμματος με άξονες μέση μηνιαία θερμοκρασία - μέση μηνιαία εξάτμιση). Ο βρόχος εξάτμισης καταρτίστηκε με βάση τα αποτελέσματα της μεθόδου Penman και κατόπιν χρησιμοποιήθηκε για την αναγωγή της θερμοκρασίας σε εξάτμιση, για όλους τους επιπλέον μήνες που υπήρχαν μετρήσεις θερμοκρασίας. Το τελικό δείγμα, που φαίνεται στον πίνακα 5.2, καλύπτει την περίοδο από 1970-71 μέχρι 1987-88.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1

ΜΕΣΑ ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΑΘΜΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΡΦΟΥ ή ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ

ΜΗΝΑΣ	Θερμοκρασία στο Λιδορίκι Περίοδος 1/1970 - - 9/1988) (°C)	Θερμοκρασία στη θέση φράγματος Περίοδος 10/1970 - - 9/1988 (°C)	Σχ.Υγρασία στο Λιδο- ρίκι Περίοδος 1/1961 - - 9/1988 (%)	Σχ.Ηλιοφά- νεια στη Λαμία Περίοδος 1/1977 - - 12/1987 (%)	Ταχ. ανέμου (στα 6.5 m) στην Αλίαρτο Περίοδος 1/1967 - - 9/1988 (m/sec)	Εξάτμιση (εξ/τρου) Λαμίας Περίοδος 1/1977 - - 12/1986 (mm)	Εξάτμιση κατά Penman ταμ. Μόρφου Περίοδος 1/1977 - - 9/88 (mm)	Διευρυμένο δειγ. εξάτμ ταμ. Μόρφου Περίοδος 10/1970 - - 9/1988 (mm)
ΟΚΤ.	14.5	15.6	63.7	47	2.2	113.5	68.1	66.1
ΝΟΕΜ.	9.5	10.5	71.3	41	1.9	68.1	35.9	35.7
ΔΕΚ.	6.7	7.3	73.3	39	2.4	65.7	24.0	25.2
ΙΑΝ.	5.2	5.8	68.8	40	2.6	68.5	30.0	29.8
ΦΕΒ.	5.9	6.7	69.1	37	2.8	59.4	42.8	39.4
ΜΑΡ.	8.8	10.0	66.0	42	2.7	87.8	75.4	76.0
ΑΠΡ.	12.3	13.7	62.2	52	2.8	138.9	115.3	113.1
ΜΑΙΟΣ	17.8	19.1	57.6	59	2.4	177.9	163.4	165.6
ΙΟΥΝ.	22.4	23.8	52.0	71	2.6	255.9	205.9	205.4
ΙΟΥΛ.	25.0	26.3	47.8	75	2.8	258.2	226.3	223.6
ΑΥΓ.	24.1	25.4	48.2	72	2.6	235.6	197.4	195.9
ΣΕΠΤ.	20.3	21.6	53.9	64	2.4	180.6	133.0	133.1
ΕΤΟΣ	14.4	15.5	61.2	53	2.5	1647.7	1317.4	1309.0

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2**  
**ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΕΞΑΤΜΙΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΜΟΡΦΟΥ ΚΑΤΑ ΡΕΝΜΑΝ (σε mm)**

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒΡ.	ΜΑΡΤ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.	ΕΤΟΣ
1970-71	62.0*	43.5*	24.8*	38.9*	31.6*	62.0*	79.5*	179.8*	210.0*	209.3*	227.9*	117.0*	1286.2
1971-72	55.9*	33.0*	24.2*	32.6*	32.5*	111.6*	129.0*	161.2*	213.0*	209.3*	165.9*	127.5*	1295.7
1972-73	54.3*	34.5*	27.9*	27.9*	42.0*	55.8*	109.5*	190.7*	209.4*	224.8*	193.8*	133.5*	1304.1
1973-74	66.7*	32.3*	29.5*	26.4*	41.5*	79.1*	88.5*	162.5*	211.4*	240.3*	227.9*	132.9*	1339.5
1974-75	72.9*	32.8*	29.5*	25.1*	22.4*	86.8*	126.0*	164.3*	192.0*	217.0*	175.2*	165.0*	1309.0
1975-76	61.3*	33.2*	29.6*	24.3*	26.1*	68.2*	120.0*	162.5*	190.5*	208.1*	167.4*	123.0*	1215.2
1976-77	68.5*	37.5*	24.8*	29.3	52.3	93.3	128.6	186.0	219.3	247.1	224.8	140.7	1452.2
1977-78	78.1	44.0	30.0	31.6	45.4	87.2	108.5	178.0	222.5	239.0	201.0	122.9	1388.1
1978-79	69.9	42.4	26.5	30.4	44.7	82.7	103.9	138.3	207.9	211.7	182.9	141.4	1282.8
1979-80	62.6	35.3	25.4	24.7	44.2	69.4	103.3	145.4	188.7	213.5	189.7	122.5	1224.9
1980-81	69.9	35.2	24.7	33.1	41.9	82.8	123.9	158.4	199.4	220.9	193.2	119.3	1302.6
1981-82	72.1	31.4	22.7	33.4	40.4	76.5	103.4	148.8	215.6	227.5	193.6	146.3	1311.8
1982-83	70.2	36.1	25.5	28.1	44.4	86.2	137.3	183.2	182.6	201.8	182.5	129.6	1307.4
1983-84	63.4	32.8	21.2	24.8	34.8	63.9	89.2	178.6	216.6	232.4	175.4	129.8	1262.7
1984-85	73.1	34.1	24.0	31.1	36.8	59.5	118.6	160.5	212.6	231.3	217.4	137.6	1336.4
1985-86	62.3	34.2	20.2	27.1	41.3	65.1	143.2	160.7	197.5	208.8	208.7	130.0	1298.9
1986-87	60.2	33.8	21.6	34.7	43.0	66.1	109.6	152.6	198.0	236.0	195.2	144.6	1295.4
1987-88	66.9	35.9	21.9	31.9	44.2	71.7	114.1	170.0	210.1	245.8	204.3	131.7	1348.6
ΜΕΣ. ΤΙΜ.	66.1	35.7	25.2	29.8	39.4	76.0	113.1	165.6	205.4	223.6	195.9	133.1	1309.0
ΤΥΠ. ΑΠΟΚ.	6.3	3.8	3.1	4.0	7.4	14.1	17.1	14.6	11.6	14.4	19.7	11.6	54.1

\* Τιμή που εκτιμήθηκε με βάση μόνο τη θερμοκρασία και με τη μέθοδο του βρόχου εξατμίσης

### 5.3. Ταμιευτήρας Ευήνου

#### 5.3.1. Θερμοκρασία

Στη λεκάνη Ευήνου είναι εγκατεστημένα πέντε θερμόμετρα αέρα, στις θέσεις Πλάτανος, Αράχωβα, Πόρος Ρηγανίου, Γραμμένη Οξυά και Δρυμόνας. Κατά βάση στην επεξεργασία χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των σταθμών Γραμμένη Οξυά και Δρυμόνας, οι οποίοι έχουν πλήρεις μετρήσεις για την περίοδο 1976-77 έως 1987-88. Κενά που εμφανίζονται στη λειτουργία των σταθμών για παλιότερα υδρολογικά έτη συμπληρώθηκαν είτε με γραμμικές συσχετίσεις (με βάση τα δεδομένα του σταθμού Λιδορικού) είτε με υψομετρικές αναγωγές. Τα τελικά δείγματα καλύπτουν την περίοδο 1970-71 έως 1987-88 και οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αυτής της περιόδου φαίνονται στον πίνακα 5.3.

Η εκτίμηση των μηνιαίων θερμοκρασιών στις θέσεις των εναλλακτικών ταμιευτήρων Περίστας, Αγ. Δημητρίου και Δενδροχωρίου έγινε με υψομετρική αναγωγή (στις μέσες στάθμες ταμιευτήρων), με βάση τους

ιδίους συντελεστές θερμομετρικής βαθμίδας που χρησιμοποιήθηκαν για τη λεκάνη Μόρνου. Συγκεκριμένα έγιναν δύο διαφορετικοί υπολογισμοί των θερμοκρασιών στις θέσεις φραγμάτων, ένας για κάθε σταθμό εκκίνησης (Γραμμένη Οξυά - Δρυμώνας) και οι τελικές τιμές λήφθηκαν ως οι μέσοι όροι των δύο ομάδων. Οι τελικές μέσες μηνιαίες τιμές φαίνονται στον πίνακα 5.3 για τον ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου που ενδιαφέρει στην παρούσα μελέτη.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3

ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΓΡΑΜΜΕΝΗ ΟΞΥΑ ΚΑΙ ΔΡΥΜΩΝΑΣ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΠΕΡΙΣΤΑΣ ΚΑΙ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

ΜΗΝΑΣ	Σταθμός Γραμμένη Οξυά Περίοδος 10/1970 - - 9/1988 (°C)	Σταθμός Δρυμώνας Περίοδος 1/1974 - - 9/1988 (°C)	Θέσεις Φραγμάτων Περίστας & Αγ. Δημητρίου Περίοδος 10/1970 - - 9/1988 (°C)
ΟΚΤ.	12.9	12.4	16.1
ΝΟΕΜ.	7.9	8.0	10.7
ΔΕΚ.	4.7	5.6	7.2
ΙΑΝ.	2.8	4.4	5.5
ΦΕΒ.	3.1	4.5	6.1
ΜΑΡ.	5.3	6.8	9.5
ΑΠΡ.	9.1	9.3	13.2
ΜΑΙΟΣ	13.9	13.0	17.7
ΙΟΥΝ.	17.7	18.7	22.2
ΙΟΥΛ.	20.1	22.8	25.0
ΑΥΓ.	20.2	20.9	24.2
ΣΕΠΤ.	17.5	17.5	21.2
ΕΤΟΣ	11.3	12.0	14.9

### 5.3.2. Σχετική υγρασία

Στη λεκάνη Ευήνου υπάρχουν δύο ψυχρόμετρα, στον Πλάτανο και στη Γραμμένη Οξυά. Προτιμήθηκαν τα δεδομένα της Γραμμένης Οξυάς που ήταν πλήρη για την περίοδο 1976-77 μέχρι 1987-88, σε αντίθεση με αυτά του Πλατάνου. Οι μέσες μηνιαίες τιμές τις παραπάνω περιόδου φαίνονται στον πίνακα 5.4.

### 5.3.3. Ηλιοφάνεια

Δεν υπάρχει ηλιογράφος στη λεκάνη Ευήνου, ενώ ο πλησιέστερος, που τελικά χρησιμοποιήθηκε, βρίσκεται στο Αγρίνιο (ΕΜΥ). Το δείγμα που υπάρχει καλύπτει την περίοδο 1978-79 έως 1986-87, η οποία επεκτάθηκε, με γραμμική συσχέτιση, ώστε να καλύπτει την περίοδο 1976-77 έως 1987-88. Χρησιμοποιήθηκε ως βάση ο σταθμός της Λαμίας και οι συντελεστές συσχέτισης που προέκυψαν είναι γενικά ικανοποιητικοί (εκτός από το μήνα Δεκέμβριο).

Οι μέσες μηνιαίες σχετικές ηλιοφάνειες της τελικής περιόδου φαίνονται στον πίνακα 5.4.

### 5.3.4. Ταχύτητα ανέμου

Δεν υπάρχει ανεμόμετρο στη λεκάνη Ευήνου και έτσι χρησιμοποιήθηκαν τελικά τα δεδομένα του ανεμομέτρου Αλιάρτου, όπως έγινε και για τη λεκάνη Μόρνου. Ανεμόμετρο υπάρχει επίσης και στο Αγρίνιο, όμως τα δεδομένα του δε φάνηκαν αξιόπιστα και γιαυτό δε χρησιμοποιήθηκαν. Η ταχύτητα ανέμων στην Αλιάρτο σε μέση μηνιαία βάση φαίνεται στον πίνακα 5.4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4  
ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ, ΣΧΕΤΙΚΗ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ  
ΣΤΑΘΜΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΕΥΗΝΟΥ ή ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ

ΜΗΝΑΣ	Σχετική υγρασία στη Γραμμένη Οξυά (%) Περίοδος 1/1977 - 9/1988	Σχετική ηλιοφάνεια στο Αγρίνιο (%) Περίοδος 1/1977 - 12/1987	Ταχύτητα ανέμου(στα 6.5 m) στην Αλίαρτο (m/sec) Περίοδος 1/1967 - 12/1988
ΟΚΤ.	71.6	57	2.2
ΝΟΕΜ.	75.3	48	1.9
ΔΕΚ.	78.3	41	2.4
ΙΑΝ.	78.1	37	2.6
ΦΕΒ.	79.1	40	2.8
ΜΑΡ.	75.2	47	2.7
ΑΠΡ.	70.7	51	2.8
ΜΑΙΟΣ	65.0	58	2.4
ΙΟΥΝ.	58.9	73	2.6
ΙΟΥΛ.	56.8	80	2.8
ΑΥΓ.	59.8	78	2.6
ΣΕΠΤ.	65.0	70	2.4
ΕΤΟΣ	69.5	57	2.5

**5.3.5. Υπολογισμός εξάτμισης κατά Penman - Επεκτάσεις και αναγωγές δειγμάτων**

Τα πρωτογενή μετεωρολογικά δεδομένα της λεκάνης του Ευήνου παρουσιάζονται σε μηνιαία χρονική βάση στο παράρτημα Β.

Ως βασική θέση ταμειυτήρα, για την οποία έγινε ο πλήρης υπολογισμός της εξάτμισης, θεωρήθηκε από το ΕΜΠ η θέση Περίστας. Τα μεγέθη που υπολογίστηκαν ισχύουν ως έχουν και για τον ταμειυτήρα Αγίου Δημητρίου ο οποίος τοποθετείται περίπου στο ίδιο υψόμετρο με αυτόν της Περίστας. Τέλος τα μεγέθη για τον ταμειυτήρα Δενδροχωρίου, που τοποθετείται σε μεγαλύτερο υψόμετρο κατά 180 m περίπου από αυτόν της Περίστας, εκτιμήθηκαν από τα αντίστοιχα μεγέθη της Περίστας με υψομετρική αναγωγή. Σημειώνεται ότι η παρούσα μελέτη ενδιαφέρει μόνον η εξάτμιση από τον ταμειυτήρα Αγ. Δημητρίου.

Ο υπολογισμός της εξάτμισης από τον ταμειυτήρα Περίστας έγινε με την ημιεμπειρική μέθοδο Penman, για την περίοδο από τον Ιανουάριο

1977 μέχρι το Σεπτέμβριο 1988, που υπήρχαν όλες οι ομάδες των απαιτούμενων μετρήσεων μετεωρολογικών μεταβλητών. Το δείγμα αυτής της περιόδου επεκτάθηκε για την περίοδο των υδρολογικών ετών 1970-71 έως 1987-88, για την οποία υπήρχαν μετρήσεις θερμοκρασίας. Η επέκταση έγινε με τη βοήθεια του διαγράμματος θερμοκρασίας - εξάτμισης (βρόχος εξάτμισης).

Οι τιμές της εξάτμισης για τον ταμιευτήρα Δενδροχωρίου εκτιμήθηκαν με αναγωγή των αντίστοιχων τιμών του ταμιευτήρα Περίστας. Συγκεκριμένα, από τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες στις δύο θέσεις και με τη χρήση του διαγράμματος θερμοκρασίας - εξάτμισης υπολογίστηκαν οι λόγοι της εξάτμισης στις δύο θέσεις για κάθε μήνα, οι οποίοι στη συνέχεια εφαρμόστηκαν για την εκτίμηση της εξάτμισης στο Δενδροχώρι.

Οι μέσες μηνιαίες τιμές της εξάτμισης από τον ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου φαίνονται στον πίνακα 5.5, ενώ το συνολικό δείγμα φαίνεται στον πίνακα 5.6.

#### 5.3.6. Μετρήσεις εξάτμισης - συγκρίσεις

Δεν υπάρχει εξατμισίμετρο στη λεκάνη Ευήνου, ενώ το πλησιέστερο βρίσκεται στο Αγρίνιο (ΕΜΥ). Το δείγμα που υπάρχει καλύπτει την περίοδο 1981-82 μέχρι 1986-87 με μερικές ελλείψεις. Η μέση υπερετήσια τιμή του πηλίκου της μηνιαίας εξάτμισης του ταμιευτήρα που υπολογίστηκε με τη μέθοδο Penman, προς τη μετρούμενη τιμή του εξατμισίμετρου Αγρινίου προκύπτει υπερβολικά μεγάλη (0.97 ενώ θα αναμένονταν της τάξης του 0.80), ενώ τα αντίστοιχα πηλίκια για τα επιμέρους έτη και μήνες παρουσιάζουν σημαντικές και αδικαιολόγητες αποκλίσεις. Τελικά θεωρήθηκε ότι οι τιμές της μεθόδου Penman είναι πιο αξιόπιστες.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5**  
**ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΕΞΑΤΜΙΣΕΙΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΕΥΗΝΟΥ ΚΑΤΑ ΡΕΝΜΑΝ**  
**ΚΑΙ ΑΠΟ ΕΞΑΤΜΙΣΙΜΕΤΡΟ (σε mm)**

ΜΗΝΑΣ	Εξάτμιση εξατ/τρου Αγρινίου  Περίοδος 4/1982 - - 12/1987	Εξάτμιση κατά Ρενμαν ταμ.Περίστασ & Αγ.Δημητρ. Περίοδος 1/1977 - - 9/1988	Διευρυμένο δείγμα εξατμ. ταμ.Περίστασ & Αγ.Δημητρ. Περίοδος 10/1970 - - 9/1988
ΟΚΤ.	99.7	68.4	69.9
ΝΟΕΜ.	63.0	35.2	36.7
ΔΕΚ.	54.0	21.5	23.3
ΙΑΝ.	55.2	26.4	28.5
ΦΕΒ.	60.3	37.6	39.3
ΜΑΡ.	85.6	71.3	72.7
ΑΠΡ.	108.0	106.8	108.0
ΜΑΙΟΣ	143.6	152.7	156.6
ΙΟΥΝ.	170.0	199.1	196.9
ΙΟΥΛ.	178.3	223.3	221.9
ΑΥΓ.	170.0	193.2	197.6
ΣΕΠΤ.	153.6	131.2	134.3
ΕΤΟΣ	1341.3	1266.6	1285.7

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6**  
**ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΕΞΑΤΜΙΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΠΕΡΙΣΤΑΣ**  
**ΚΑΙ ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΚΑΤΑ ΡΕΝΜΑΝ (σε mm)**

ΥΑΡ.ΕΤΟΣ	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒΡ.	ΜΑΡΤ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.	ΕΤΟΣ
1970-71	72.8*	46.5*	24.8*	38.8*	29.4*	58.9*	76.5*	178.3*	207.0*	221.7*	240.3*	135.6*	1330.6
1971-72	71.9*	44.7*	32.6*	37.2*	63.8*	111.6*	169.5*	206.2*	226.8*	231.0*	227.9*	186.0*	1609.2
1972-73	108.5*	38.4*	22.3*	23.3*	40.6*	52.7*	109.5*	179.5*	202.5*	222.0*	186.0*	150.0*	1335.3
1973-74	72.8*	35.7*	27.9*	34.1*	51.8*	79.1*	90.0*	134.9*	187.5*	227.9*	237.2*	135.6*	1314.5
1974-75	58.9*	37.5*	26.4*	35.7*	40.6*	88.4*	111.2*	137.9*	163.5*	209.3*	192.2*	131.7*	1233.3
1975-76	59.2*	35.7*	24.2*	27.3*	29.9*	63.6*	106.5*	148.8*	168.0*	201.5*	155.0*	103.5*	1123.2
1976-77	62.0*	35.7*	23.7*	23.9	43.9	86.5	114.3	182.8	211.0	232.9	208.3	135.3	1360.3
1977-78	86.2	45.5	18.3	25.3	41.0	75.4	95.7	162.1	221.0	236.8	196.1	125.9	1329.5
1978-79	68.5	41.9	25.1	28.4	39.1	77.8	103.0	141.2	212.2	223.3	183.6	146.2	1290.2
1979-80	68.4	34.6	20.7	24.1	40.6	67.1	96.7	127.7	189.5	216.5	195.9	125.9	1207.5
1980-81	63.3	37.3	26.0	29.8	38.2	81.0	122.7	155.3	210.3	238.9	195.8	123.1	1321.6
1981-82	68.2	31.8	25.4	34.8	37.1	70.1	98.2	143.8	208.5	231.0	189.8	142.9	1281.5
1982-83	69.5	41.7	27.9	29.8	40.3	85.7	128.1	174.9	167.1	204.4	188.4	137.9	1295.7
1983-84	68.5	30.8	19.5	25.0	35.7	66.2	88.7	170.2	215.6	233.4	175.2	123.7	1252.6
1984-85	73.4	31.3	18.5	22.9	32.6	63.7	111.9	148.4	198.7	223.7	202.9	132.3	1260.3
1985-86	62.2	29.0	18.4	18.7	27.8	59.3	119.5	142.8	169.9	198.5	195.1	127.0	1168.3
1986-87	60.3	32.6	19.5	27.2	39.6	57.8	99.8	133.4	184.8	205.6	191.2	135.0	1186.9
1987-88	64.1	30.3	17.8	26.3	34.7	64.5	103.0	149.8	200.3	235.0	196.2	119.5	1241.6
ΜΕΣ.ΤΙΜ.	69.9	36.7	23.3	28.5	39.3	72.7	108.0	156.6	196.9	221.9	197.6	134.3	1285.7
ΤΥΠ.ΑΠ.	11.7	5.5	4.2	5.6	8.4	14.5	20.0	21.2	19.7	13.0	20.8	16.7	103.3

\* Τιμή που εκτιμήθηκε με βάση μόνο τη θερμοκρασία και με τη μέθοδο του βρόχου εξάτμισης

## 6. ΑΠΟΡΡΟΕΣ

### 6.1. Γενικά

Η απορροή στις θέσεις των φραγμάτων Μόρνου και Ευήνου αποτελεί την κύρια υδρολογική μεταβλητή που υπεισέρχεται στην προσομοίωση λειτουργίας των ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου (παρ. 8.3). Ακόμη, στο μέγεθος της απορροής στηρίζεται κατά κύριο λόγο η προσομοίωση των υδρολογικών μεταβλητών (βλ. παρ. 8.2). Κατά συνέπεια η υδρομετρική πληροφορία αποτελεί και στην παρούσα μελέτη όπως και στη μελέτη του ΕΜΠ, την πρωτεύουσα υδρολογική πληροφορία στην οποία θα βασιστεί ο σχεδιασμός του ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου της λεκάνης του Ευήνου. Η πληροφορία αυτή περιλαμβάνει:

- (α) Μετρήσεις παροχής (υδρομετρήσεις)
- (β) Ημερήσιες στιγμιαίες καταγραφές στάθμης με σταθμήμετρο
- (γ) Συνεχή καταγραφή της στάθμης από σταθμηγράφο.

Με βάση τις υδρομετρήσεις καταρτίζονται οι καμπύλες στάθμης - παροχής, οι οποίες επιτρέπουν στη συνέχεια την εξαγωγή της πλήρους χρονοσειράς των παροχών από τις αντίστοιχες μετρήσεις στάθμης.

Στη μελέτη του ΕΜΠ (1990) αξιοποιήθηκε το σύνολο των υδρομετρήσεων μέχρι το υδρολογικό έτος 1987-88 για την κατάρτιση των καμπυλών στάθμης-παροχής. Οι στάθμες αρχειοθετήθηκαν σε ημερήσια καταρχήν βάση. Όπου όμως υπήρχε και σταθμηγράφος, για τις ημέρες που παρατηρήθηκε σημαντική διακύμανση της στάθμης, αρχειοθετήθηκε επί πλέον και η ωριαία στάθμη.

Στην παρούσα μελέτη συμπληρώθηκε η βάση των υδρομετρικών δεδομένων του ΕΜΠ με τα πρόσφατα δεδομένα των υδρολογικών ετών 1988-89 και 1989-90. Επίσης με βάση τις υδρομετρήσεις κατά την τελευταία αυτή περίοδο καταρτίστηκαν νέες καμπύλες στάθμης - παροχής. Ειδικότερα στη λεκάνη του Μόρνου όπου δε γίνονται υδρομετρήσεις οι εισροές εκτιμήθηκαν από το ισοζύγιο του ταμιευτήρα (βλ. παρ. 6.2).

## 6.2. Λεκάνη Μόρνου

### 6.2.1. Υδρομετρικοί σταθμοί

Στον ποταμό Μόρνο είχαν λειτουργήσει κατά το παρελθόν δύο κύριοι υδρομετρικοί σταθμοί στο Στενό και στο Περιβόλι, του ΥΠΕΧΩΔΕ. Σήμερα ο σταθμός Στενό έχει καλυφθεί από τον ταμιευτήρα Μόρνου, αλλά και ο σταθμός Περιβόλι που βρίσκονταν αμέσως κατάντη του φράγματος σταμάτησε να λειτουργεί. Η περίοδος λειτουργίας για το Στενό είναι από το Νοέμβριο 1950 μέχρι τον Ιανουάριο 1974, συστηματικές υδρομετρήσεις όμως έγιναν μόνο μετά το 1963 (σποραδικές είχαν γίνει και στο διάστημα 1950-56). Για το Περιβόλι η περίοδος λειτουργίας ξεκινά από τον Οκτώβριο 1963 και φτάνει μέχρι το Νοέμβριο 1976, ενώ συστηματικές υδρομετρήσεις έγιναν από το 1964 μέχρι το 1968 (στο υπόλοιπο διάστημα δεν έγιναν καθόλου).

Για τα πιο πρόσφατα χρόνια που λειτουργεί ο ταμιευτήρας Μόρνου δεν υπάρχει άμεση υδρολογική πληροφορία, δεδομένου ότι δε μετρούνται οι εισροές. Μπορεί όμως να εξαχθεί έμμεση υδρολογική πληροφορία με βάση το ισοζύγιο του, και αναλυτικότερα, με βάση:

- α) τις απολήψεις του ταμιευτήρα,
- β) τις απώλειες του ταμιευτήρα (εξάτμιση και υπόγειες διαφυγές),
- γ) τις υπερχειλίσεις του ταμιευτήρα,
- δ) τη διακύμανση της στάθμης του ταμιευτήρα, και
- ε) τη βροχόπτωση στον ταμιευτήρα.

Ο υπερχειλιστής του ταμιευτήρα αντιμετωπίστηκε σαν υδρομετρικός σταθμός, μόνο που η καμπύλη στάθμης-παροχής του κατασκευάστηκε με υδραυλικούς υπολογισμούς. Οι απολήψεις και οι απώλειες του ταμιευτήρα εκτιμήθηκαν ξεχωριστά, όπως αναλυτικά περιγράφεται στο τεύχος 3 της μελέτης του ΕΜΠ.

Οι υδρομετρικοί σταθμοί της λεκάνης Μόρνου που αρχειοθετήθηκαν συνοψίζονται στον Πίνακα 6.1 που ακολουθεί.

50  
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1

ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΡΝΟΥ

α/α	ΟΝΟΜΑ/ΘΕΣΗ	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΥΠΗΡΕΣΙΑ	ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΜΠ
1	ΓΕΦΥΡΑ ΣΤΕΝΟΥ	ΣΜ	ΥΠΕΧΩΔΕ	5
2	ΓΕΦΥΡΑ ΠΕΡΙΒΟΛΙΟΥ	ΣΜ	ΥΠΕΧΩΔΕ	5
4	ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	ΣΜ	ΥΠΕΧΩΔΕ	5

6.2.2. Καμπύλες στάθμης - παροχής

Και στους δύο υδρομετρικούς σταθμούς που εξετάστηκαν παρατηρήθηκε έντονη μεταβλητότητα και ασαφής προσδιορισμός της σχέσης στάθμης-παροχής. Αλλα σημαντικά προβλήματα που διαπιστώθηκαν στην μελέτη του ΕΜΠ είναι:

- α) Η ύπαρξη μακρών (πολυετών) περιόδων χωρίς καθόλου υδρομετρήσεις. Για τις περιόδους αυτές δεν είναι δυνατό να αναχθούν οι στάθμες σε παροχές, λόγω της μεταβλητότητας που αναφέρθηκε παραπάνω.
- β) Η ύπαρξη περιόδων με πολύ αραιές υδρομετρήσεις (ιδιαίτερα στο Στενό την περίοδο 1950-56). Σε τέτοιες περιόδους η αξιοπιστία των παροχών που εξαγονται είναι πολύ περιορισμένη.
- γ) Υπάρχουν πολύ λίγες μετρήσεις σε περιόδους υψηλών παροχών, πράγμα που δημιουργεί αβεβαιότητα στο αντίστοιχο τμήμα της καμπύλης στάθμης-παροχής, που είναι και το σημαντικότερο.

Η εργασία κατάρτισης καμπυλών στάθμης-παροχής έγινε από την ομάδα μελέτης του ΕΜΠ εξ αρχής για όλους τους σταθμούς (μόνο για το σταθμό Περιβόλι χρησιμοποιήθηκαν ορισμένες καμπύλες της Υδρομηχανικής που κρίθηκαν αξιόπιστες). Οι καμπύλες που

καταρτίστηκαν παρατίθενται στο παράρτημα Δ της παρούσης μελέτης.

Για την επέκταση των καμπυλών στάθμης-παροχής στην περιοχή των υψηλών παροχών χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των υδραυλικών υπολογισμών της Υδρομηχανικής, τα οποία πάντως δεν υπήρχε τρόπος να ελεγχθούν, δεδομένου ότι και οι δύο σταθμοί έχουν καταργηθεί.

### 6.2.3. Τελικές παροχές υδρομετρικών σταθμών

Οι παροχές που υπολογίστηκαν από την ομάδα μελέτης του ΕΜΠ βάσει των μετρήσεων στάθμης και των καμπυλών στάθμης-παροχής εμφανίζουν την ακόλουθη εικόνα.

- α) Για το σταθμό Στενό υπάρχουν δύο διακεκριμένες περιόδους, στις οποίες έγινε δυνατό να υπολογιστούν οι παροχές: (i) Φεβρουάριος 1951 έως Σεπτέμβριος 1956 και (ii) Σεπτέμβριος 1963 έως Σεπτέμβριος 1968. Στην ενδιάμεση περίοδο (Οκτώβριος 1956 έως Αύγουστος 1963) δεν υπάρχουν υδρομετρήσεις και κατά συνέπεια δεν είναι δυνατό να υπολογιστούν οι παροχές. Σημειώνεται ότι σε παλιότερες μελέτες είχαν δοθεί εκτιμήσεις των παροχών για αυτή την ενδιάμεση περίοδο, οι οποίες όμως δε χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη του ΕΜΠ, επειδή κρίθηκαν τελείως αναξιόπιστες.

Στην παραπάνω περίοδο (i) εμφανίζεται μια υποπερίοδος, (1/7/54 - 31/11/54) όπου η καμπύλη στάθμης-παροχής δε μπορούσε να εφαρμοστεί λόγω της κατασκευής ενός πρόχειρου φράγματος που είχε αποτέλεσμα την υπερύψωση της στάθμης στον ποταμό. Για την περίοδο αυτή ο υπολογισμός των παροχών στηρίχτηκε μόνο στα δεδομένα των υδρομετρήσεων, (βλ. και παράγραφο 7.13.β του τεύχους 13 της μελέτης του ΕΜΠ).

Στην παραπάνω περίοδο (ii) εμφανίζεται μία υποπερίοδος από τον Απρίλιο έως το Σεπτέμβριο 1966, όπου επίσης δεν ήταν δυνατό να εξαχθούν παροχές με τη συνήθη μεθοδολογία, δεδομένου ότι υπήρξε αστοχία του σταθμημέτρου ως προς την υφιστάμενη κοίτη, με αποτέλεσμα οι μετρήσεις στάθμης να εμφανίζουν μηδενική τιμή, για οποιαδήποτε τιμή της παροχής.

Για την εν λόγω υποπερίοδο, που σημειωτέον ήταν θερινή, έγινε δεκτό ότι δεν υπήρξαν σημαντικά πλημμυρικά γεγονότα, και οι μηνιαίες παροχές εκτιμήθηκαν ως οι μέσοι όροι των άμεσων μετρήσεων παροχής που πραγματοποιήθηκαν τους αντίστοιχους μήνες.

- β) Για το σταθμό Περιβόλι οι παροχές υπολογίστηκαν με τη συνήθη μεθοδολογία για την περίοδο από το Φεβρουάριο 1964 μέχρι το Σεπτέμβριο 1968. Ελλείψεις μετρήσεων στάθμης εμφανίζονται τους μήνες από το Δεκέμβριο 1966 έως το Φεβρουάριο 1967. Οι παροχές για τους μήνες αυτούς, καθώς και για τους μήνες από τον Οκτώβριο 1963 μέχρι τον Ιανουάριο 1964 (για τη συμπλήρωση του υδρολογικού έτους 1963-64) εκτιμήθηκαν με αναγωγή των μηνιαίων παροχών του Στενού. Συγκεκριμένα καταρτίστηκε ένα διάγραμμα με άξονες παροχή στο Στενό ( $Q_{\sigma}$ ) - παροχή στο Περιβόλι ( $Q_{\pi}$ ), με βάση τις ταυτόχρονες (ίδιας ημερομηνίας) μετρήσεις παροχής στο Στενό και Περιβόλι. Από το διάγραμμα αυτό προέκυψε ότι υπάρχει σαφής αναλογία των παροχών των δύο σταθμών, που εκφράζεται με τη σχέση

$$Q_{\pi} = 1.56 Q_{\sigma}$$

Ο συντελεστής συσχέτισης για την παραπάνω σχέση είναι εντυπωσιακά μεγάλος ( $r = 0.97$  για 353 σημεία). Η σχέση αυτή λοιπόν χρησιμοποιήθηκε για τη συμπλήρωση του δείγματος των μηνιαίων παροχών στο Περιβόλι, από τις αντίστοιχες παροχές στο Στενό.

- γ) Ο υπερχειλιστής του φράγματος έχει λειτουργήσει την περίοδο από το Μάιο 1981 μέχρι το Μάιο 1984, για την οποία υπάρχουν και οι μετρήσεις στάθμης στον ταμιευτήρα. Για την περίοδο αυτή οι παροχές υπολογίστηκαν με τη συνήθη μεθοδολογία.

#### 6.2.4. Παροχές στη θέση φράγματος Μόρνου

Υπάρχουν τρεις διακεκριμένες περίοδοι, για τις οποίες έχουν εκτιμηθεί παροχές στη θέση του φράγματος Μόρνου. Η εκτίμηση των παροχών αυτών γίνεται με διαφορετική μεθοδολογία για κάθε περίοδο, και έχουν διαφορετική αξιοπιστία, όπως αναλυτικά περιγράφεται παρακάτω.

a) Περίοδος μεταξύ των υδρολογικών ετών 1951-52 μέχρι 1955-56

Την περίοδο αυτή διατίθενται οι παροχές μόνο στο Στενό, και αυτές είναι μειωμένης αξιοπιστίας, λόγω των πολύ αραιών μετρήσεων παροχής που είχαν πραγματοποιηθεί. Η αναγωγή των παροχών αυτών στη θέση του φράγματος έγινε με πολλαπλασιασμό επί το συντελεστή

$$\lambda = 1.56 * 0.98 = 1.53$$

Αναλυτικότερα ο συντελεστής 1.56 εφαρμόζεται για την αναγωγή στη θέση του υδρομετρικού σταθμού Περιβολίου, (βλέπε παρ. 6.2.3.β), ο οποίος βρίσκεται πολύ κοντά στη θέση του φράγματος, ενώ ο συντελεστής 0.98 είναι ίσος με το λόγο του εμβαδού της λεκάνης απορροής στη θέση του φράγματος προς το αντίστοιχο εμβαδό στο Περιβόλι. Σημειώνεται ότι η άμεση αναγωγή από το Στενό στο φράγμα βάσει των εμβαδών θα έδινε ένα συντελεστή  $\lambda' = 1.40$ . Η εμφανιζόμενη διαφορά εξηγείται από την ευνοϊκότερη ως προς την απορροή γεωλογική σύσταση της ενδιάμεσης λεκάνης απορροής, μεταξύ Στενού και θέσης φράγματος.

β) Περίοδος μεταξύ των υδρολογικών ετών 1963-64 και 1967-68

Την περίοδο αυτή διατίθενται μετρήσεις παροχής και στο Στενό και στο Περιβόλι. Δυστυχώς μεταξύ των δύο ομάδων μετρήσεων εμφανίζονται ορισμένες ασυμβατότητες. Για παράδειγμα στο υδρολογικό έτος 1965-66 π.χ., οι όγκοι απορροής στο Στενό και Περιβόλι είναι αντίστοιχα 207.8 και  $446.8 * 10^6 \text{ m}^3$ , με αντίστοιχους συντελεστές απορροής 0.33 και 0.54. Η διαφορά των  $239 * 10^6 \text{ m}^3$  δε μπορεί να εξηγηθεί, δεδομένου ότι ο συνολικός όγκος κατακρημνίσεων της ενδιάμεσης λεκάνης είναι περίπου  $280 * 10^6 \text{ m}^3$ . Θα έπρεπε λοιπόν ο συντελεστής απορροής της ενδιάμεσης λεκάνης να ήταν ίσος με  $239/280 = 0.85$  έναντι 0.33 της λεκάνης Στενού. Η αναντιστοιχία των τιμών αυτών είναι εμφανής. Από τις δύο ομάδες μετρήσεων επιλέχθηκαν τελικά οι μετρήσεις στο Περιβόλι που εμφανίζουν ορισμένα πλεονεκτήματα, όπως:

- (i) καλύτερη συσχέτιση με τη βροχόπτωση σε ετήσια βάση,
- (ii) ο σταθμός Περιβόλι βρίσκεται σχεδόν στη θέση του

φράγματος και επομένως είναι πιο αντιπροσωπευτικός, (iii) η θέση του υδρομετρικού σταθμού ήταν πιο πρόσφορη από υδραυλική άποψη, όπως είχαν παρατηρήσει οι μελετητές του φράγματος.

Η αναγωγή των παροχών στη θέση του φράγματος έγινε με βάση το λόγο των εμβαδών των αντίστοιχων λεκανών ( $\lambda = 0.98$ ).

γ) Περίοδος μεταξύ των υδρολογικών ετών 1979-80 και 1989-90

Τα δεδομένα για την περίοδο αυτή προκύπτουν από το ισοζύγιο του ταμιευτήρα Μόρνου. Δυστυχώς και εδώ υπάρχουν αβεβαιότητες που αφορούν στις απώλειες από τον ταμιευτήρα και τη σήραγγα Γκιώνας, καθώς και στις μετρήσεις παροχής στους υπερχειλιστές της σήραγγας Γκιώνας. Οι παροχές εισροής προσδιορίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη:

- (i) τη διακύμανση της στάθμης ταμιευτήρα,
- (ii) τις εκροές της σήραγγας Γκιώνας,
- (iii) τις παροχές του υπερχειλιστή,
- (iv) τη βροχόπτωση στον ταμιευτήρα
- (v) τις απώλειες εξάτμισης από τον ταμιευτήρα, και
- (v) τις εκτιμήσεις των υπόγειων διαφυγών από τον ταμιευτήρα.

Για τα υδρολογικά έτη 1979-80 έως 1987-88 λήφθηκαν υπόψη τα αποτελέσματα της μελέτης του ΕΜΠ. Οι σχετικοί υπολογισμοί ισοζυγίου έχουν γίνει αναλυτικά στο τεύχος 3 της μελέτης του ΕΜΠ. Για τα δύο τελευταία ξηρά υδρολογικά έτη 1988-89 και 1989-90 έγιναν οι υπολογισμοί στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, (για διάκριση η αντίστοιχη περίοδος σημειώνεται ως υποπερίοδος γ2, ενώ η υποπερίοδος μέχρι και το 1987-88 σημειώνεται ως γ1).

Τα δεδομένα παροχής σε ημερήσια βάση, οι υδρομετρήσεις και οι καμπύλες στάθμης-παροχής παρουσιάζονται στο παράρτημα Γ.

Συμπερασματικά οι δύο τελευταίες από τις παραπάνω περιόδους έχουν δεδομένα σχετικά μεγαλύτερης αξιοπιστίας από αυτά της πρώτης περιόδου. Τα δεδομένα των περιόδων αυτών φαίνονται στον πίνακα 6.2. Οι μέσες ετήσιες τιμές που προκύπτουν είναι 312.3 \*

$10^6 \text{ m}^3$ ,  $351.7 * 10^6 \text{ m}^3$ ,  $305.5 * 10^6 \text{ m}^3$  και για τις περιόδους (α), (β), (γ1) και (γ2) αντίστοιχα. Με ενοποίηση των περιόδων (α), (β) και (γ), παράγεται το δείγμα Α, (το τελικό δείγμα του ΕΜΠ), μεγέθους 19 ετών με μέση ετήσια απορροή  $319.5 * 10^6 \text{ m}^3$  και τυπική απόκλιση  $77.9 * 10^6 \text{ m}^3$ . Αν συμπεριληφθεί και η περίοδος (γ2) παράγεται το δείγμα Β, μεγέθους 21 ετών, με μέση ετήσια απορροή  $303.4 * 10^6 \text{ m}^3$  και τυπική απόκλιση  $92.0 * 10^6 \text{ m}^3$ . Αν θεωρήσουμε ως τελική εκτίμηση της απορροής τα  $303.4 * 10^6 \text{ m}^3$  (= 544.2 mm) και ως τελική εκτίμηση της επιφανειακής βροχής στη λεκάνη τα 1481.6 mm (υπολογισμένη από το δείγμα 1962-90), ο συντελεστής απορροής προκύπτει ίσος με 0.37.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2  
 ΤΕΛΙΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΟ ΘΡΑΓΜΑ ΜΟΡΦΟΥ (μ<sup>3</sup> \* 10<sup>6</sup>)

ΥΔ.ΕΤΟΣ	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙ.	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ.	ΣΕΠ.	ΕΤΟΣ
ΠΕΡΙΟΔΟΣ α ΑΝΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΣΤΕΝΟ (ΣΥΝΤΕΛ. 1.56*0.98)													
1951-52	57.2	51.4	37.7	89.6	95.5	21.3	23.1	11.4	6.1	3.7	4.1	3.5	404.6
1952-53	6.7	41.8	37.8	36.6	32.1	10.2	15.1	14.0	26.9	7.3	6.4	6.5	241.6
1953-54	9.6	49.8	5.9	21.5	54.3	44.9	47.4	40.5	16.9	4.5	1.6	0.4	297.4
1954-55	2.0	5.9	55.9	22.1	19.5	29.9	26.0	9.2	4.4	5.2	5.3	4.6	190.0
1955-56	34.7	60.4	12.7	24.9	121.4	62.2	48.7	30.6	12.0	7.7	6.7	5.9	427.9
ΜΕΣ. ΤΙΜΗ	22.1	41.9	30.0	38.9	64.5	33.7	32.1	21.1	13.3	5.7	4.8	4.2	312.3
ΤΥΠ. ΑΠΟΚ	23.4	21.1	20.4	29.0	42.9	20.3	15.1	13.7	9.1	1.8	2.1	2.4	102.6
ΠΕΡΙΟΔΟΣ β ΑΝΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΟΛΙ (ΣΥΝΤΕΛ. 0.98)													
1963-64	20.6	8.6	71.2	22.4	23.8	42.6	26.3	14.8	11.4	3.9	2.1	3.5	251.3
1964-65	3.7	11.6	43.4	62.9	39.1	44.2	48.5	42.6	18.0	3.9	2.2	2.1	322.2
1965-66	2.6	51.2	86.2	124.9	54.7	45.9	27.9	21.2	11.5	3.6	2.5	5.7	437.9
1966-67	6.6	88.9	75.4	68.3	48.1	18.9	25.5	22.3	6.3	15.7	3.2	5.0	384.1
1967-68	4.6	4.5	58.0	117.8	63.0	45.8	34.8	14.3	12.7	1.4	3.5	2.6	363.1
ΜΕΣ. ΤΙΜΗ	7.6	33.0	66.8	79.3	45.7	39.5	32.6	23.0	12.0	5.7	2.7	3.8	351.7
ΤΥΠ. ΑΠΟΚ	7.4	36.5	16.6	42.4	15.1	11.6	9.6	11.5	4.2	5.7	0.6	1.5	70.0
ΠΕΡΙΟΔΟΣ γ1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ													
1979-80	0.0	27.8	56.0	51.8	33.7	67.5	40.1	36.5	21.1	7.5	4.7	3.7	350.2
1980-81	25.3	46.6	82.7	68.8	57.0	50.0	37.5	21.8	14.5	9.9	12.9	11.3	438.2
1981-82	13.9	15.2	106.8	33.6	24.3	36.2	39.1	32.8	9.6	4.0	11.8	11.2	338.5
1982-83	11.0	21.5	58.4	19.7	20.1	24.1	20.5	13.4	11.8	10.4	7.0	1.1	219.0
1983-84	8.3	23.3	57.7	36.8	55.2	36.1	33.5	40.4	23.1	1.8	6.6	7.6	330.2
1984-85	6.0	13.5	11.5	72.7	38.5	42.8	38.2	26.5	13.1	5.1	5.0	6.0	279.0
1985-86	4.0	42.1	26.6	53.6	63.4	39.8	34.2	23.4	12.8	13.0	7.2	2.6	322.8
1986-87	8.4	11.2	14.3	41.2	35.3	47.3	41.2	24.1	16.6	10.4	2.8	4.8	257.6
1987-88	6.9	14.0	29.4	16.5	34.4	49.4	26.4	17.9	7.6	3.1	4.5	4.1	214.3
ΜΕΣ. ΤΙΜΗ	9.3	23.9	49.3	43.9	40.2	43.7	34.5	26.3	14.5	7.2	6.9	5.8	305.5
ΤΥΠ. ΑΠΟΚ	7.1	12.7	31.8	19.6	14.9	12.0	6.9	8.7	5.0	3.9	3.3	3.6	70.6
ΠΕΡΙΟΔΟΣ γ2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ - ΔΥΟ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΕΗΡΑ ΕΤΗ													
1988-89	2.8	47.2	39.2	10.4	21.3	40.5	25.6	18.5	7.6	3.4	0.4	0.7	217.7
1989-90	6.7	14.2	30.1	22.5	18.4	15.4	9.8	10.7	5.8	3.8	3.6	3.6	93.9
ΔΕΙΓΜΑ Α (α)+(β)+(γ1), (1961-88)													
ΜΕΣ. ΤΙΜΗ	12.2	31.0	48.8	51.9	48.1	39.9	33.4	24.1	13.5	6.4	5.3	4.8	319.5
ΤΥΠ. ΑΠΟΚ	13.9	22.9	28.2	32.3	25.9	14.3	9.7	10.5	5.9	3.9	3.1	2.9	77.9
ΔΕΙΓΜΑ Β (α)+(β)+(γ1)+(γ2), (1961-90)													
ΜΕΣ. ΤΙΜΗ	11.6	30.8	47.0	47.8	44.6	38.4	31.9	22.8	12.8	6.2	5.0	4.6	303.4
ΤΥΠ. ΑΠΟΚ.	13.4	22.5	27.6	33.2	27.1	15.4	10.6	11.1	6.1	3.8	3.1	2.9	92.0

### 6.3. Λεκάνη Ευήνου

#### 6.3.1. Υδρομετρικοί σταθμοί

Στον ποταμό Ευήνο ο πιο αξιόλογος σταθμός για την παρούσα μελέτη είναι κατ' αρχήν ο σταθμός Αγίου Δημητρίου (Νεοχώριο - ΔΕΗ), δεδομένου ότι βρίσκεται στην περιοχή του υπό μελέτη ταμιευτήρα (συμπίπτει με τη θέση φράγματος Αγίου Δημητρίου). Ο σταθμός αυτός λειτουργεί από το 1970 μέχρι σήμερα με συνεχείς υδρομετρήσεις. Έχουν λειτουργήσει όμως κατά περιόδους πέντε διαφορετικά σταθμήμετρα, τα οποία έχουν καταχωρηθεί στη βάση δεδομένων του ΕΜΠ ως ξεχωριστοί υδρομετρικοί σταθμοί, για αποφυγή σύγχυσης (βλ. Πιν. 6.3).

Σε μεγάλη απόσταση κατάντη του Αγίου Δημητρίου βρίσκεται ο σταθμός Αχλαδόκαστρο (ΔΕΗ) που λειτούργησε από το 1970 μέχρι το 1980, με υδρομετρήσεις από το 1970 μέχρι το 1978. Σε απόσταση 17 km ανάντη είχε λειτουργήσει πιο παλιά (1961-72) και ο σταθμός Αρτοτίβα, του οποίου τα στοιχεία δεν αρχειοθετήθηκαν στη μελέτη του ΕΜΠ γιατί οι παλιότεροι μελετητές (Verbund Plan) είχαν παρατηρήσει ότι είναι μειωμένης αξιοπιστίας.

Ακόμη, στα πλαίσια της μελέτης του ΕΜΠ εξετάστηκε και ο σταθμός Πόρου Ρηγανίου, ο οποίος βρίσκεται προς τα κατάντη του Αχλαδόκαστρου. Ο σταθμός αυτός έχει μεγάλη περίοδο λειτουργίας (1960 - σήμερα, με υδρομετρήσεις από το 1961-63 και 1970 - σήμερα) και περιλαμβάνει σταθμηγράφο και 3 σταθμήμετρα, από τα οποία εξετάστηκαν τα 2 πιο αξιόπιστα, που αρχειοθετήθηκαν ως ξεχωριστοί σταθμοί.

Οι σταθμοί της λεκάνης του Ευήνου που αρχειοθετήθηκαν συνοψίζονται στον Πίνακα 6.3 που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3  
ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΛΕΚΑΝΗΣ ΕΥΗΝΟΥ

α/α	ΟΝΟΜΑ/ΘΕΣΗ	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΥΠΗΡΕΣΙΑ	ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΜΠ
1	ΑΓ.ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Νο 0	ΣΜ	ΔΕΗ	6
11	ΑΓ.ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Νο 1	ΣΜ	ΔΕΗ	6
12	ΑΓ.ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Νο 2	ΣΜ	ΔΕΗ	6
13	ΑΓ.ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Νο 3	ΣΜ	ΔΕΗ	6
14	ΑΓ.ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Νο 4	ΣΜ	ΔΕΗ	6
3	ΑΧΛΑΔΟΚΑΣΤΡΟ	ΣΜ/ΣΓ	ΔΕΗ	6
4	ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ	ΣΜ/ΣΓ	ΔΕΗ	6
41	ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ ΚΑΤΑΝΤΗ	ΣΜ	ΔΕΗ	6

**6.3.2. Καμπύλες στάθμης - παροχής**

Όπως και στους υδρομετρικούς σταθμούς του Μόρνου, έτσι σε αυτούς του Ευήνου εμφανίζεται έντονη μεταβλητότητα και ασαφής προσδιορισμός της σχέσης στάθμης - παροχής στις διατομές μετρήσεων. Αλλα σημαντικά προβλήματα που διαπιστώθηκαν στη μελέτη του ΕΜΠ είναι:

- α) Η ύπαρξη μακρών (πολυετών) περιόδων χωρίς καθόλου υδρομετρήσεις. Για τις περιόδους αυτές δεν είναι δυνατό να αναχθούν οι στάθμες σε παροχές, λόγω της μεταβλητότητας που αναφέρθηκε παραπάνω.
- β) Η ύπαρξη περιόδων με πολύ αραιές υδρομετρήσεις. Τέτοιες περίοδοι εμφανίζονται, δυστυχώς, συστηματικά τους χειμερινούς μήνες που παρουσιάζουν και το μεγαλύτερο υδρολογικό ενδιαφέρον. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε μεγάλη αβεβαιότητα των παροχών που εξάγονται.
- γ) Ο ανεπαρκής αριθμός μετρήσεων σε περιόδους υψηλών παροχών, που δημιουργεί αβεβαιότητα στο αντίστοιχο τμήμα της καμπύλης στάθμης - παροχής, που είναι και το σημαντικότερο.

- δ) Το γεγονός ότι σε ορισμένους σταθμούς και ορισμένες περιόδους, (Αχλαδόκαστρο 1972-74, Άγιος Δημήτριος 1975-76, 1977-79, 1982-83) εμφανίζεται έντονη μεταβολή της παροχής με σχεδόν μηδενική μεταβολή της στάθμης, πράγμα που οδηγεί σε μεγάλη αβεβαιότητα στην εξαγωγή της παροχής.

Σε όλες τις περιπτώσεις έγινε επέκταση των καμπυλών στάθμης - παροχής, στην περιοχή των υψηλών παροχών βάσει υδραυλικών υπολογισμών. Χρησιμοποιήθηκε γενικά ο τύπος του Chezy που δίνει πιο συντηρητικά αποτελέσματα από τον τύπο του Manning. Πρόχειρα γεωμετρικά στοιχεία διατομής λήφθηκαν σε επί τόπου επίσκεψή της ομάδας μελέτης του ΕΜΠ.

### 6.3.3. Τελικές παροχές υδρομετρικών σταθμών

Οι παροχές που υπολογίστηκαν βάσει των μετρήσεων στάθμης και των καμπυλών στάθμης-παροχής παρουσιάζουν την ακόλουθη εικόνα:

- α) Στο σταθμό Αγίου Δημητρίου (σταθμήμετρο) όπως προαναφέρθηκε υπάρχουν 5 διαφορετικά σταθμήμετρα, που εναλλάσσονται διαδοχικά στο χρόνο με ελάχιστες επικαλύψεις. Με συνένωση των διαφόρων περιόδων λειτουργίας όλων των σταθμημέτρων προκύπτει ένα τελικό δείγμα παροχών που καλύπτει την περίοδο μεταξύ των υδρολογικών ετών 1970-71 έως 1986-87. Ελλείψεις εμφανίζονται μόνο στην περίοδο 12/1973 - 6/1974, που οφείλονται σε έλλειψη καμπύλης στάθμης παροχής (οι υδρομετρήσεις της περιόδου αυτής ήταν ελάχιστες και εμφάνιζαν πολύ μεγάλη διασπορά, ώστε να μην είναι δυνατό να δώσουν μονοσήμαντη σχέση στάθμης-παροχής). Οι μηνιαίες παροχές αυτής της περιόδου συμπληρώθηκαν με γραμμική συσχέτιση σε μηνιαία βάση από τις αντίστοιχες παροχές του σταθμού Πόρου Ρηγανίου.
- β) Για το σταθμό Αχλαδόκαστρο (σταθμήμετρο και σταθμηγράφος) οι παροχές υπολογίστηκαν για την περίοδο από τον Ιούλιο 1970 (αρχή λειτουργίας) μέχρι το Νοέμβριο 1978 (τέλος περιόδου υδρομετρήσεων). Ο σταθμός αυτός σταμάτησε να λειτουργεί το

1980 και κατά συνέπεια δεν είχε ιδιαίτερη αξία για τη μελέτη του ΕΜΠ ούτε και για την παρούσα μελέτη.

- γ) Για το σταθμό Πόρου Ρηγανίου (σταθμήμετρο και σταθμηγράφος) όπως προαναφέρθηκε λειτούργησαν ταυτόχρονα 3 σταθμήμετρα, αλλά ένα μόνο συνδύαζε αξιοπιστία μετρήσεων, συνέχεια λειτουργίας και αντιστοιχία με τις μετρήσεις του σταθμηγράφου, και αυτό τελικά χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των τελικών παροχών. Παροχές υπολογίστηκαν για δύο ξεχωριστές περιόδους, ήτοι από το Μάιο 1961 μέχρι το Μάιο 1963 και από το Μάρτιο 1970 μέχρι το Σεπτέμβριο 1987. Οι παροχές της πρώτης περιόδου είναι λιγότερο αξιόπιστες, λόγω αραιών υδρομετρήσεων. Οι παροχές της δεύτερης περιόδου (17 ετών) είναι αυξημένης αξιοπιστίας, πράγμα που επιβεβαιώθηκε και από τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των άλλων σταθμημέτρων που λειτούργησαν ταυτόχρονα.

#### 6.3.4. Έλεγχος αξιοπιστίας των παροχών του Ευήνου

Στην παράγραφο αυτή συνοψίζονται τα συμπεράσματα της μελέτης του ΕΜΠ (1990) σχετικά με τον έλεγχο της αξιοπιστίας των μηνιαίων παροχών των διαφόρων σταθμών του Ευήνου. Πιο συγκεκριμένα εξετάστηκαν:

- α) Η συσχέτιση των παροχών κάθε θέσης μέτρησης με τις επιφανειακές βροχοπτώσεις της αντίστοιχης υπολεκάνης, σε ετήσια βάση.

Παρατηρήθηκε ότι γενικά εμφανίζονται υψηλοί συντελεστές γραμμικής συσχέτισης, (Άγιος Δημήτριος 0.77, Αχλαδόκαστρο 0.77, Πόρος 0.84).

Εξετάστηκαν ακόμη οι συντελεστές απορροής σε ετήσια βάση. Στον Άγιο Δημήτριο ο συντελεστής απορροής κυμαίνεται από 0.43 μέχρι 0.96 με μέση τιμή 0.63. Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή 0.96 είναι υπερβολικά μεγάλη, και προφανώς πρέπει να αποδοθεί σε σφάλματα μέτρησης είτε της παροχής είτε της βροχής. Στο Αχλαδόκαστρο ο συντελεστής απορροής κυμαίνεται

από 0.53 μέχρι 0.69 με μέση τιμή 0.60. Τέλος στον Πόρο Ρηγανίου ο συντελεστής απορροής κυμαίνεται από 0.41 μέχρι 0.75 με μέση τιμή 0.62. Παρατηρούμε ότι στους δύο τελευταίους σταθμούς η διακύμανση του συντελεστή απορροής είναι λογική. Σημειώνεται ότι στη μελέτη της Verbund Plan (Masterplan Εvíνος - βλέπε τεύχος 2) ο μέσος συντελεστής απορροής στον Πόρο Ρηγανίου βρέθηκε ίσος με 0.82, που πρέπει να θεωρηθεί υπερβολικός. Αντίθετα, στη μεταγενέστερη μελέτη της ΤΕΤΡΑΚΤΥΣ (Ενίσχυσις του Υδατικού Δυναμικού του Ταμιευτήρος Μόρνου - βλ. τεύχος 2) είχε δοθεί αντίστοιχη τιμή ίση με 0.63, που συμφωνεί με την τιμή της παρούσας μελέτης.

- β) Η συσχέτιση των παροχών των διαφόρων σταθμών μεταξύ τους. Παρατηρήθηκε ότι οι ετήσιες παροχές των σταθμών Αγίου Δημητρίου και Πόρου Ρηγανίου (που έχουν κοινή περίοδο 17 ετών) εμφανίζουν υψηλή γραμμική συσχέτιση μεταξύ τους (συντελ. συσχ. = 0.73). Αντίθετα οι παροχές στο Αχλαδόκαστρο (μόνο 8 πλήρη υδρολογικά έτη) εμφανίζουν μέτρια συσχέτιση με τους άλλους σταθμούς (0.48 με Αγιο Δημήτριο και 0.55 με Πόρο Ρηγανίου). Ειδικότερα οι ετήσιες παροχές στον Αγιο Δημήτριο και τον Πόρο Ρηγανίου, εμφανίζουν ταυτόσημη εικόνα ως προς τη μεταβολή τους στο χρόνο. Επί πλέον οι μέσες απορροές στις δύο αντίστοιχες λεκάνες, ανηγμένες σε ισοδύναμο ύψος είναι 885.3 mm για τον Αγιο Δημήτριο και 883.5 mm για τον Πόρο Ρηγανίου (για την κοινή περίοδο, μέχρι και το υδρολογικό έτος 1987-88), δηλαδή σχεδόν ταυτίζονται.

#### 6.3.5. Τελικές παροχές στις θέσεις φραγμάτων

Για την αναγωγή των παροχών στις θέσεις φραγμάτων φαίνεται κατ' αρχήν ότι πρέπει να χρησιμοποιηθεί ως βάση ο σταθμός Αγίου Δημητρίου, που είναι ο πλησιέστερος και στις τρεις υπό μελέτη θέσεις φραγμάτων. Παρ' όλα αυτά στη μελέτη του ΕΜΠ προτιμήθηκε η επιλογή του σταθμού Πόρου Ρηγανίου ως σταθμού βάσης, για τους ακόλουθους λόγους:

- Στον Αγιο Δημήτριο εμφανίζονται αδικαιολόγητα υψηλοί

συντελεστές απορροής, σε ορισμένα έτη, πράγμα που δημιουργεί αμφιβολίες για την αξιοπιστία του σταθμού.

- Ο σταθμός Πόρου Ρηγανίου εμφανίζει πολύ καλύτερη εικόνα διακύμανσης των ετήσιων συντελεστών απορροής και μάλιστα ως προς τη μέση τιμή δε διαφέρει από αυτήν του Αγίου Δημητρίου.
- Οι παροχές του Πόρου Ρηγανίου που αφορούν στις περιόδους πλημμυρών έχουν υπολογιστεί από ωριαίες στάθμες, (ενώ του Αγίου Δημητρίου από ημερήσιες, δεδομένου ότι δε διαθέτει σταθμηγράφο), και κατά συνέπεια είναι σαφώς πιο αξιόπιστες.
- Επί πλέον στον Πόρο Ρηγανίου δεν εμφανίζονται ελλείψεις, ενώ παράλληλα υπάρχουν κατά περιόδους και μετρήσεις σε άλλα σταθμήμετρα, που μειώνουν την αβεβαιότητα στις τελικές εκτιμήσεις των παροχών.
- Τέλος τα στατιστικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων των δύο σταθμών σε υπερετήσια βάση είναι ίδια, και έτσι δεν υπάρχουν επιφυλάξεις για την εφαρμοσιμότητα των παροχών του Πόρου Ρηγανίου.

Στη μελέτη του ΕΜΠ, οι παροχές στις θέσεις των φραγμάτων Δενδροχωρίου, Αγίου Δημητρίου και Περίστας εκτιμήθηκαν με αναγωγή των παροχών του Πόρου Ρηγανίου με βάση το λόγο των επιφανειών των αντίστοιχων λεκανών απορροής. Στην παρούσα μελέτη λήφθηκαν υπόψη οι τελικές μηνιαίες παροχές στη θέση του φράγματος Αγ. Δημητρίου όπως τις έδωσε η μελέτη του ΕΜΠ για τις περιόδους 1961-62 έως 1962-63 και 1970-71 έως 1987-88. Επί πλέον έγινε συμπλήρωση του δείγματος των παροχών για τα δύο τελευταία υδρολογικά έτη 1988-89 και 1989-90. Το τελικό δείγμα που περιλαμβάνει συνολικά 22 υδρολογικά έτη φαίνεται στον Πίνακα 6.4. Στο παράρτημα Γ δίνονται οι ημερήσιες παροχές, τα δεδομένα των υδρομετρήσεων και οι καμπύλες στάθμης-παροχής που καταρτίστηκαν στη μελέτη του ΕΜΠ και στην παρούσα μελέτη.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4  
 ΤΕΛΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΗ ΒΕΣΗ ΦΑΡΜΑΤΟΣ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ (m<sup>3</sup> \* 10<sup>6</sup>)  
 ΑΝΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΡΟΥ ΡΗΓΜΙΟΥ (ΣΥΝΤΕΛ. 0.3949)

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
ΠΕΡΙΟΔΟΣ α													
1961-62	2.5	15.6	40.4	17.6	43.0	122.7	34.7	12.5	4.6	3.2	2.2	3.2	302.3
1962-63	12.8	97.5	146.0	138.5	156.0	40.3	34.3	31.7	16.4	8.5	3.9	4.0	690.1
ΠΕΡΙΟΔΟΣ β1													
1970-71	3.4	8.9	37.9	40.4	46.7	106.7	43.3	14.8	6.3	3.7	2.4	4.4	318.8
1971-72	4.1	23.6	47.4	29.3	51.1	47.3	31.7	21.2	6.2	5.2	3.9	3.2	274.3
1972-73	21.4	17.6	9.6	30.7	77.3	66.7	45.2	22.1	8.6	5.2	3.2	3.5	311.2
1973-74	5.6	12.4	48.3	19.0	60.2	39.3	55.1	22.8	6.5	2.9	2.3	3.8	278.3
1974-75	24.6	36.4	23.0	12.1	19.1	24.3	14.8	12.7	6.3	3.6	4.2	1.5	182.5
1975-76	7.1	18.4	62.1	18.8	29.8	23.8	34.3	16.5	8.4	5.1	2.7	2.1	228.9
1976-77	2.4	77.6	116.9	45.0	33.3	16.1	10.7	6.7	3.6	2.1	1.9	2.3	318.5
1977-78	2.3	15.2	32.6	47.6	70.6	26.4	50.2	19.6	7.6	3.4	2.5	4.2	282.3
1978-79	4.2	14.3	56.4	125.0	97.8	24.3	53.6	21.4	10.8	5.2	4.0	3.2	420.2
1979-80	7.2	38.7	36.0	83.9	39.0	71.7	41.0	27.0	14.7	6.2	3.6	2.7	371.8
1980-81	15.3	42.8	108.4	43.7	70.4	51.8	32.7	27.2	8.5	4.9	2.9	2.9	411.5
1981-82	9.7	16.5	179.8	32.3	37.3	49.0	35.7	26.7	10.2	5.3	4.0	2.9	409.3
1982-83	5.6	31.2	97.9	24.0	31.3	29.4	17.5	7.7	8.0	6.6	3.6	3.1	266.0
1983-84	3.9	39.1	73.3	52.6	66.2	42.2	36.1	25.5	8.2	4.3	3.6	2.9	357.9
1984-85	2.5	19.7	8.5	70.1	33.2	42.2	28.1	13.3	6.8	5.0	1.8	0.6	231.9
1985-86	2.2	53.1	23.4	72.9	92.1	39.2	26.8	13.7	9.1	6.9	3.3	2.4	345.2
1986-87	3.1	4.9	12.1	40.0	38.6	51.8	33.4	16.5	8.8	4.2	2.7	2.0	218.1
1987-88	3.9	24.2	39.9	22.7	34.8	39.7	20.2	10.7	4.2	3.2	2.8	2.5	208.8
ΠΕΡΙΟΔΟΣ β2													
1988-89	2.5	45.6	31.2	9.1	10.7	26.4	16.5	24.3	11.2	6.2	2.1	0.7	186.6
1989-90	9.6	11.6	17.0	8.5	6.0	6.5	10.8	5.9	3.3	2.0	2.7	2.1	86.0
ΔΕΙΓΜΑ Α (α)+(β1), (1961-88)													
ΜΕΣ. ΤΙΜΗ	7.2	30.4	60.0	48.3	56.4	47.8	34.0	18.5	8.2	4.7	3.1	2.9	321.4
ΤΥΠ. ΑΠΟΚ.	6.5	23.4	47.0	34.6	32.0	27.0	12.2	7.0	3.2	1.6	0.8	0.9	111.1
ΔΕΙΓΜΑ Β (α)+(β1)+(β2), (1961-90)													
ΜΕΣ. ΤΙΜΗ	7.1	30.2	56.9	44.6	52.0	44.9	32.1	18.2	8.1	4.7	3.0	2.7	304.6
ΤΥΠ. ΑΠΟΚ.	6.3	22.9	46.0	34.9	33.5	27.5	13.1	7.3	3.2	1.6	0.8	1.0	119.8

#### 6.4. Ενίσχυση του ταμιευτήρα Ευήνου από τον Ανατολικό Αχελώο

Στην παρούσα υδρολογική διερεύνηση εξετάζεται και η δυνατότητα μελλοντικής ενίσχυσης του ταμιευτήρα Ευήνου από τη γειτονική λεκάνη του Ανατολικού Αχελώου. Συγκεκριμένα εξετάζεται η πιθανή συμβολή στην ενίσχυση του υδατικού δυναμικού του συστήματος Ευήνου-Μόρνου, μετά από εκτροπή του Κρικελλοπόταμου, στη θέση Άγιος Γεώργιος. Η έκταση της λεκάνης απορροής σε αυτή τη θέση είναι 136 km<sup>2</sup>. Η θέση εκτροπής 'Άγιος Γεώργιος είχε εξεταστεί και παλιότερα στη μελέτη της ΤΕΤΡΑΚΤΥΣ (1977) καθώς και της SNC (1972).

Δεδομένα για τις εισροές του Κρικελλοπόταμου αντλήθηκαν από τη μελέτη της SNC και επεκτάθηκαν με βάση νεότερα δεδομένα του Αχελώου στη θέση Κρεμαστά που μας δόθηκαν από τη ΔΕΗ.

Η SNC κατάρτισε ένα πίνακα μηνιαίων εισροών στη θέση 'Άγιος Γεώργιος, για την περίοδο 1937-38 μέχρι 1969-70. Τους υπολογισμούς της τους στήριξε σε μια σχέση γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των εισροών στα Κρεμαστά (έκταση λεκάνης 3737 km<sup>2</sup> και χωρίς τη λεκάνη Ταυρωπού 3570 km<sup>2</sup>) και ενός δείγματος μετρημένων παροχών στη Δομνίστα, μια θέση ανάντη του Αγίου Γεωργίου, με έκταση λεκάνης 136 km<sup>2</sup>. Η εν λόγω γραμμική σχέση είναι

$$D = 0.021513 K - 0.30101$$

όπου D και K η μηνιαία παροχή στη Δομνίστα και στα Κρεμαστά αντίστοιχα (m<sup>3</sup>/sec). Στη συνέχεια η αναγωγή στη θέση 'Άγιος Γεώργιος έγινε με βάση την αναλογία

$$AG = 1.555 D$$

όπου AG είναι η μηνιαία παροχή στον 'Άγιο Γεώργιο και ο συντελεστής 1.555 προέκυψε ως γινόμενο των λόγων των επιφανειών των λεκανών και των αντίστοιχων επιφανειακών βροχοπτώσεων τους.

Ο παραπάνω σχέσεις χρησιμοποιήθηκαν και στην παρούσα μελέτη, προκειμένου να επεκταθεί το δείγμα των παροχών του Αγίου Γεωργίου, με βάση τα νεότερα δεδομένα στα Κρεμαστά. Τα νεότερα

αυτά δεδομένα καλύπτουν την περίοδο 1970-71 μέχρι 1976-77.

Οι παροχές στον Άγιο Γεώργιο σε ετήσια βάση δίνονται στον πίνακα 6.5. Η μέση υπερετήσια παροχή, υπολογισμένη για την περίοδο 1950-77 φτάνει τα  $4.11 \text{ m}^3/\text{sec}$  (προ του 1950 τα δεδομένα θεωρούνται λιγότερο αξιόπιστα).

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5

ΥΔΡΟΛΟΓ. ΕΤΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ ΚΡΕΜΑΣΤΩΝ (m <sup>3</sup> /s)	ΠΑΡΟΧΗ ΑΓ. ΓΕΩΡΓ. (m <sup>3</sup> /s)
1937 -38		4.85
1938 -39		4.01
1939 -40		7.02
1940 -41		6.34
1941 -42		5.01
1942 -43		1.80
1943 -44		4.70
1944 -45		6.43
1945 -46		5.38
1946 -47		9.68
1947 -48		7.99
1948 -49		3.18
1949 -50		5.23
1950 -51	191.96	5.96
1951 -52	182.30	5.64
1952 -53	171.28	5.27
1953 -54	134.88	4.05
1954 -55	132.62	3.97
1955 -56	197.81	6.16
1956 -57	116.98	3.45
1957 -58	175.41	5.41
1958 -59	126.27	3.76
1959 -60	159.95	4.83
1960 -61	90.19	2.55
1961 -62	129.37	3.87
1962 -63	235.10	7.39
1963 -64	106.66	3.10
1964 -65	133.92	4.01
1965 -66	151.60	4.61
1966 -67	127.83	3.81
1967 -68	112.90	3.31
1968 -69	125.30	3.73
1969 -70	150.80	4.58
1970 -71	125.70	3.74
1971 -72	112.60	3.30
1972 -73	113.50	3.33
1973 -74	132.00	3.95
1974 -75	84.98	2.37
1975 -76	76.48	2.09
1976 -77	98.67	2.83
<b>ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ</b>		
1937 -70	147.66	4.88
1937 -77	-	4.57
1950 -77	136.93	4.11

Σε ότι αφορά την ενίσχυση του ταμειευτήρα Ευήνου με εκτροπή της παροχής του Κρικελλοπόταμου στον Άγιο Γεώργιο και επειδή δεν είναι καθορισμένα τα έργα που θα κατασκευαστούν για την εκτροπή

του Κρικελλοπόταμου, υποτέθηκαν τα ακόλουθα εναλλακτικά σενάρια.

Σενάριο Α: Κατασκευή ταμιευτήρα υπερετήσιας ρύθμισης στον 'Αγιο Γεώργιο

Θεωρήθηκε υπερετήσια ρύθμιση με βαθμό 75%, οπότε η εισροή στον ταμιευτήρα Αγίου Δημητρίου θα είναι συνεχώς σταθερή, ίση με  $0.75 * 4.11 = 3.00 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

Σενάριο Β: Εκτροπή του Κρικελλοπόταμου χωρίς ρύθμιση

Θεωρήθηκε ότι τους χειμερινούς μήνες (Νοέμβριο έως Μάιο) θα εκτρέπεται κατά μέσο όρο το 60% της παροχής του Κρικελλοπόταμου και τους θερινούς (Ιούνιο έως Οκτώβριο) το 90%, δεδομένου ότι το καλοκαίρι οι παροχές είναι μικρές και μπορούν άνετα να διοχετευτούν μέσω της σήραγγας εκτροπής. Περαιτέρω θεωρείται ότι η εκτρεπόμενη παροχή δεν είναι σταθερή, αλλά είναι ανάλογη της εισροής στον Εύηνο. Θεωρώντας ως μέση παροχή του Εύηνου στον 'Αγιο Δημήτριο τα  $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ , οι παραπάνω παραδοχές ισοδυναμούν με αύξηση των παροχών του Εύηνου κατά

$$0.60 * (4.11/10) = 25\% \text{ το χειμώνα, και}$$

$$0.90 * (4.11/10) = 37\% \text{ το καλοκαίρι.}$$

## 7. ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΕΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΕΥΗΝΟΥ

### 7.1. Εκτίμηση μέσης ετήσιας στερεοαπορροής αιωρούμενων φερτών

Στη μελέτη Masterplan Evinos της Verbund Plan (1972, Vol. III, Hydrology) δίνεται μια εκτίμηση της μέσης ετήσιας στερεοαπορροής αιωρούμενων φερτών. Η εκτίμηση αυτή ήταν 330 τον/έτος/km<sup>2</sup> και βασίστηκε στις ακόλουθες παραδοχές:

- (α) Η καμπύλη μεταφοράς φερτών υπολογίστηκε με βάση 6 μόνο ταυτόχρονες μετρήσεις παροχής και στερεοπαροχής στη λεκάνη του Ευήνου καθώς και αντίστοιχες μετρήσεις από γειτονικές λεκάνες.
- (β) Για τον υπολογισμό της μέσης ετήσιας στερεοαπορροής πάρθηκε υπόψη η καμπύλη διάρκειας των παροχών στη θέση γέφ. Μπανιά (906 km<sup>2</sup>).

Η μόνη πρόσφατη μελέτη που αξιοποιεί το σύνολο της υπάρχουσας μέχρι σήμερα πληροφορίας σχετικά με τις στερεοπαροχές του Ευήνου είναι η μελέτη του ΕΜΠ (1990). Για το λόγο αυτό στην παρούσα μελέτη αποδεχόμαστε τα αποτελέσματα της μελέτης του ΕΜΠ, αλλά παράλληλα διατυπώνουμε σοβαρές επιφυλάξεις για το πόσο τα στοιχεία της μελέτης αυτής επαρκούν για το στάδιο της οριστικής μελέτης των έργων του Ευήνου. Οι προτάσεις μας για βελτίωση της πληροφορίας σχετικά με τις στερεοπαροχές παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 13 του τεύχους αυτού.

Στη μελέτη του ΕΜΠ έγινε καταρχήν υπολογισμός της καμπύλης μεταφοράς φερτών με βάση μετρήσεις παροχής και στερεοπαροχής σε 4 θέσεις του Ευήνου που φαίνονται στον πίνακα 7.1 που ακολουθεί.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1**  
**ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΗΣ ΕΥΗΝΟΥ**

ΘΕΣΗ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ		ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ		
	ΛΕΚΑΝΗΣ	ΥΠΗΡΕΣΙΑ		ΥΓΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΝΟΕ-ΜΑΙ	ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΙΟΥΝ-ΟΚΤ	ΣΥΝΟΛΟ
	km <sup>2</sup>					
ΓΕΦ. ΜΠΑΝΙΑ	906	ΔΕΗ	1970-82	32	2	34
ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ	884	ΔΕΗ	1970-82	36	1	37
ΑΧΛΑΔΟΚΑΣΤΡΟ	641	ΔΕΗ	1970-76	7	0	7
ΓΕΦ. ΝΕΟΧΟΡΙΟΥ	292	ΔΕΗ	1971-82	4	0	4
Σ Υ Ν Ο Λ Ο				79	3	82

Η τελική καμπύλη μεταφοράς φερτών αποκτήθηκε με ομαδοποίηση των μετρήσεων όλων των σταθμών μετά από αναγωγή στη μονάδα επιφάνειας της αντίστοιχης λεκάνης απορροής τόσο της παροχής  $Q$  ( $m^3/sec/km^2$ ) όσο και της στερεοπαροχής  $Q_s$  ( $kg/sec/km^2$ ). Η καμπύλη αυτή έχει την ακόλουθη αναλυτική της μορφή:

$$Q_s = 31.6(Q + 0.035)^{3.678} \quad (7.1)$$

με συντελεστή συσχέτισης 0.888.

Η καμπύλη αυτή θεωρήθηκε ότι ισχύει τόσο για την υγρή περίοδο (Νοέμβριος - Μάιος) όσο και για την ξηρή περίοδο (Ιούνιος - Οκτώβριος) καθόσον ο μικρός αριθμός παρατηρήσεων της ξηρής περιόδου (3) δεν επέτρεψε τον υπολογισμό ξεχωριστής καμπύλης για την περίοδο αυτή.

Η μέση ετήσια στερεοαπορροή σε αιώρηση υπολογίστηκε στη θέση Πόρος Ρηγανίου όπου υπήρχαν διαθέσιμα από την ίδια μελέτη του ΕΜΠ αξιόπιστα δεδομένα ημερήσιων παροχών κατά τις περιόδους 1961-62 και 1970-71 έως 1986-87 (συνολικά 18 υδρολογικά έτη). Ο υπολογισμός έγινε με δύο μεθόδους:

- (α) με απευθείας εφαρμογή της σχέσης 7.1 σε όλο το δείγμα των ημερήσιων παροχών και
- (β) με τη μέθοδο της καμπύλης διάρκειας των παροχών (βλ. παρ. 4.4 του τεύχους 15 της μελέτης του ΕΜΠ).

Η τελική εκτίμηση που δόθηκε από την ερευνητική ομάδα του ΕΜΠ ήταν 734 τον/έτος/km<sup>2</sup>. Η εκτίμηση αυτή επαληθεύτηκε και από μία εμπειρική σχέση για ελληνικά ποτάμια (Κουτσογιάννης, Ταρλα, 1987), (βλ. σελ. 39, 40 του τεύχους 15 της μελέτης ΕΜΠ).

## 7.2. Εκτίμηση του νεκρού όγκου του ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου

Σύμφωνα πάντα με τη μελέτη του ΕΜΠ (1990, Τεύχος 15), η μέση ετήσια στερεοαπορροή σε αιώρηση προσαυξήθηκε κατά 15% ώστε να ληφθεί υπόψη και η στερεοαπορροή σε σύρση. Έτσι η μέση ετήσια ολική στερεοαπορροή στη θέση Πόρος Ρηγανίου εκτιμήθηκε σε 844 τον/έτος/km<sup>2</sup>. Για την αναγωγή στη θέση Αγ. Δημητρίου θεωρήθηκε ότι η στερεοαπορροή ανά μονάδα εξαρτάται από την επιφάνεια A και μάλιστα είναι αντίστροφα ανάλογη  $A^{0.2}$  (Vanoni, 1977).

Η μέση ετήσια ολική στερεοαπορροή στη θέση του φράγματος Αγ. Δημητρίου υπολογίστηκε στους 1016 τον/έτος/km<sup>2</sup> ή  $355 \cdot 10^3$  τον/έτος στο σύνολο της λεκάνης ανάντη της θέσης αυτής. Για χρονικό ορίζοντα λειτουργίας 100 ετών η ποσότητα των φερτών εκτιμήθηκε σε  $35.5 \cdot 10^6$  τον. ή  $25.4 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> με θεώρηση ενός μέσου ειδικού βάρους για την 100ετία 1.4 τον/m<sup>3</sup>.

Στην παρούσα μελέτη αποδεχόμαστε ως τιμή του νεκρού όγκου τα  $25.4 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> γεγονός που ισοδυναμεί με κατακράτηση του 100% των φερτών που εισέρχονται στον ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου.

Για λόγους ασφάλειας θεωρείται ότι το σύνολο των φερτών θα αποθηκευτεί στα χαμηλότερα σημεία του ταμιευτήρα σχηματίζοντας περίπου οριζόντια επιφάνεια. Η ελάχιστη στάθμη του ταμιευτήρα τοποθετήθηκε στα +455 m που αντιστοιχεί σε όγκο  $27.7 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> ο οποίος υπερκαλύπτει την παραπάνω τιμή του νεκρού όγκου των  $25.4 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>.

Σημειώνεται πάντως ότι στο στάδιο της οριστικής μελέτης θα πρέπει να γίνει πλήρης μελέτη πρόσχωσης του ταμειυτήρα (εφόσον είναι διαθέσιμα τα στοιχεία που περιγράφονται στο κεφάλαιο 13), ώστε να προβλεφτεί η μορφή της μεταβολής του πυθμένα του ταμειυτήρα.

## 8. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

### 8.1. Τοποθέτηση του προβλήματος

Όπως ήδη τονίστηκε στην παράγραφο 2.1, ο υδρολογικός σχεδιασμός του ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου της λεκάνης του Ευήνου, δεν είναι δυνατόν να γίνει μεμονωμένα αλλά μόνο σε συνδυασμό με τον ταμιευτήρα Μόρνου. Πρόκειται επομένως για ένα πρόβλημα υδρολογικού σχεδιασμού συστήματος ταμιευτήρων (reservoir system) το οποίο χαρακτηρίζεται από σύνθετες αλληλεπιδράσεις των μεταβλητών που το περιγράφουν. Οι μεταβλητές που υπεισέρχονται στη μαθηματική διατύπωση του προβλήματος μπορούν να ομαδοποιηθούν με τον ακόλουθο τρόπο:

#### (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  $D_1$  (demand, desired draft)<sup>2</sup>

#### (γ) Χαρακτηριστικά συστήματος

(γ1) χωρητικότητα ταμιευτήρα,<sup>3</sup>  $K_1$  (storage capacity)

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

2. Σε μεμονωμένους ταμιευτήρες συχνά η ολική ζήτηση  $D_1$  εκφράζεται ως ποσοστό της μέσης ετήσιας καθαρής εισροής  $\mu_1$ . Το μέγεθος αυτό περιγράφεται με τους όρους επίπεδο ανάπτυξης (level of development) ή βαθμός ρύθμισης (degree of regulation) και είναι προφανώς μικρότερο από 100%.

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).

(γ2) παροχεταιυτικότητα κάθε αγωγού,  $C_i$  (discharge capacity)

(δ) Λειτουργικές μεταβλητές

(δ1) αποθήκευση (ή απόθεμα),  $S_i$  (storage)

(δ2) στάθμη,  $Z_i$  (water level)

(δ3) επιφάνεια ταμιευτήρα,  $A_i$  (reservoir area)

(δ4) απόληψη,  $R_i$  (draft, release)

(δ5) έλλειμμα,  $DF_i$  (deficit), που είναι η διαφορά της ζήτησης μείον την απόληψη

(δ6) υπερχείλιση,  $SP_i$  (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 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:

$$\underline{u} = f (N, D, R) \quad (8.1)$$

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

$$h_i (D_i, N_i, K_i, C_i, S_i, Z_i, A_i, R_i, DF_i, SP_i) = 0 \quad (8.2)$$

Η τελική μαθηματική σχέση που ενδιαφέρει είναι παρόμοια με την (8.1), με τη διαφορά ότι οι μεταβλητές ικανοποιούν και τις δεσμεύσεις (8.2).

Εχουμε δηλαδή:

$$\underline{u}_i = f (N_i, D_i, R_i) \quad (8.3)$$

όπου  $\underline{u}_i = (K_i, C_i)$

Το πρόβλημα της διαστασιολόγησης μεμονωμένου ταμειυτήρα 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).

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 ταμειυτήρων (εξισώσεις (8.2) και (8.3)).

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.

## 8.2. Προσομοίωση υδρολογικών μεταβλητών

### 8.2.1. Βασικές παρατηρήσεις και παραδοχές

1. Υπάρχει έντονη στοχαστική εξάρτηση κάθε υδρολογικής μεταβλητής στις διάφορες θέσεις και 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 του ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου δε μπορούν να εκτιμηθούν από τώρα, αλλά πάντως αναμένεται ότι θα είναι μικρές (μικρότερες από την αβεβαιότητα των υδρολογικών υπολογισμών) και γι' αυτό θα αγνοηθούν. Οι απώλειες του Μόρνου μπορούν να περιγραφούν ικανοποιητικά, χωρίς σημαντικό σφάλμα, με μια σχέση στάθμης-όγκου απωλειών. 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. Όπως έδειξαν προκαταρκτικές διερευνήσεις η μηνιαία χρονική κλίμακα είναι επαρκής για την παρακολούθηση και της ετήσιας και της υπερετήσιας ρύθμισης των ταμιευτήρων. Λόγω της σαφούς υπεροχής των χωρητικότητων για υπερετήσια ρύθμιση, σε σχέση με αυτές για ετήσια ρύθμιση, οι κρίσιμες χρονοσειρές είναι οι ετήσιες, ενώ οι μηνιαίες είναι δευτερεύουσες. Μόνο στην περίπτωση ταμιευτήρα μικρής χωρητικότητας ( $< 50 * 10^6 \text{ m}^3$ ) στον Εύηνο είναι δυνατόν να μην είναι ακριβής η παρακολούθηση της διαίτας των υψηλών απορροών σε μηνιαία βάση. Στην παρούσα μελέτη έγινε κατάλληλη προσαρμογή στον κανόνα λειτουργίας που να αντιμετωπίζει με ικανοποιητική προσέγγιση το θέμα στη μηνιαία κλίμακα και την περίπτωση μικρού ταμιευτήρα τον Εύηνο ( $< 50 * 10^6 \text{ m}^3$  βλ. παρ. 8.3.7). Η διερεύνηση του θέματος αυτού πιο πέρα από τη μελέτη του ΕΜΠ, αποτελεί ένα από τα σημαντικά στοιχεία που συμπληρώνουν και βελτιώνουν τη μελέτη αυτή. Επισημαίνεται ότι οι διερευνήσεις αυτές ήταν ιδιαίτερα χρονοβόρες και αντιστοιχούν σε μεγάλο ποσοστό του χρόνου της παρούσας μελέτης.
8. Οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης των ετήσιων χρονοσειρών που εξετάστηκαν για τα δείγματα μέχρι και το 1987-88 είναι γενικά μικροί ( $0 \div 0.17$ ). Αυτό σημαίνει ότι οι απορροές δε χαρακτηρίζονται από σημαντική εμμονή. Αν όμως ληφθούν υπόψη και τα δύο τελευταία ξηρά υδρολογικά έτη οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης αυξάνουν σημαντικά, φθάνοντας μέχρι και 0.35. Σε κάθε περίπτωση, 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  $\rho_i$  των εξατμίσεων έχουν τιμές από  $-0.06$  μέχρι  $0.26$ , 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.

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

Το γενικό σχήμα που υιοθετήθηκε για τη συνδυασμένη προσομοίωση απορροής-βροχής είναι παρόμοιο με εκείνο που χρησιμοποιηθήκε και στη μελέτη του ΕΜΠ. Το σχήμα αυτό συνίσταται από

- Ένα Μαρκοβιανό μοντέλο ετήσιων απορροών 4 διαστάσεων (2 μεγέθη \* 2 θέσεις) το οποίο διατηρεί τους συντελεστές ετήσιας αυτοσυσχέτισης  $\rho_i$ , 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, 4 διαστάσεων και 12 τμηματικών μεταβλητών, ήτοι

συνολικά 48 μεταβλητών. Το μοντέλο αυτό διατηρεί τις ίδιες ομάδες στατιστικών χαρακτηριστικών για κάθε μήνα, και επι πλέον διατηρεί τη λεγόμενη προσθετική ιδιότητα (το άθροισμα των μηνιαίων τιμών σε ένα έτος είναι ίσο με την ετήσια τιμή).

Στη μελέτη του ΕΜΠ (1990) αναφέρονται με λεπτομέρεια οι λόγοι για τους οποίους το παραπάνω μοντέλο υπερτερεί έναντι της απευθείας παραγωγής μηνιαίων τιμών και της άθροισής τους στη συνέχεια. Ο κυριότερος από τους λόγους αυτούς είναι η αδυναμία του μοντέλου της απευθείας παραγωγής μηνιαίων τιμών να διατηρήσει τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ετήσιων χρονοσειρών που είναι και οι κρίσιμες στη μελέτη. Στην ίδια μελέτη του ΕΜΠ (1990) αναφέρονται επίσης οι λόγοι που το παραπάνω μοντέλο υπερτερεί έναντι ενός μοντέλου βροχής απορροής. Πιο συγκεκριμένα γίνονται οι ακόλουθες παρατηρήσεις και επισημάνσεις:

- Τα βροχομετρικά δεδομένα των λεκανών Μόρνου και Ευήνου 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 υποεκτίμησεις 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 δύο διαστάσεων (2 θέσεις ταμιευτήρων).

### 8.2.3. Το Μαρκοβιανό μοντέλο παραγωγής ετήσιων χρονοσειρών

Εστω το διάνυσμα των στοχαστικών ανελίξεων των ετήσιων μεγεθών  $\underline{X}^t = [X_1^t, X_2^t, \dots, X_n^t]^T$  με  $n$  διαστάσεις. Στην περίπτωση που ενδιαφερόμαστε για την απορροή και βροχή στις δύο λεκάνες (Ευήνου-Μόρνου) το διάνυσμα  $\underline{X}^t$  περιλαμβάνει 4 συνιστώσες ( $n = 2$  μεγέθη \* 2 λεκάνες) ενώ στην περίπτωση των εξατμίσεων περιλαμβάνει 2 συνιστώσες ( $n = 1$  μέγεθος \* 2 λεκάνες).

Η παραγωγή οσωνδήποτε συνθετικών τιμών των μεταβλητών  $\underline{X}^t$  (έστω  $N$ ), δηλαδή ο σχηματισμός παράλληλων συνθετικών ετήσιων χρονοσειρών μιας περιόδου  $N$  ετών (εδώ  $N=2000$ ), μπορεί να γίνει με

αναδρομική εφαρμογή της ακόλουθης σχέσης που χαρακτηρίζει το Μαρκοβιανό μοντέλο.

$$\underline{X}^t = \underline{a}^t \underline{X}^{t-1} + \underline{b}^t \underline{V}^t \quad (8.4)$$

όπου,  $\underline{a}^t = \text{diag} (a_{11}^t, a_{22}^t, \dots, a_{nn}^t) =$  διαγώνιος πίνακας σταθερών

$\underline{b}^t = [b_{ij}^t], i, j=1, \dots, n =$  τετραγωνικός πίνακας σταθερών

$\underline{V}^t = [V_1^t, \dots, V_n^t]^T =$  διάνυσμα τυχαίων μεταβλητών, στοχαστικά ανεξάρτητων μεταξύ τους καθώς και με τις μεταβλητές  $V_j^{t-k}$ , για κάθε  $j, k \neq 0$

Το μαρκοβιανό μοντέλο μπορεί να διατηρήσει τις ακόλουθες ομάδες στατιστικών παραμέτρων των μεταβλητών  $X_i^t$

- Μέσες τιμές
- Διασπορές
- Συντελεστές ασυμμετρίας
- Συντελεστές αυτοσυσχέτισης 1ης τάξης  $\rho_{11}^t$  (μεταξύ των μεταβλητών  $X_i^t$  και  $X_i^{t-1}$ )
- Συντελεστές ετεροσυσχέτισης  $r_{11}^t$  (μεταξύ των μεταβλητών  $X_i^t$  και  $X_i^t$ ).

Η διατήρηση εξασφαλίζεται από τον τρόπο προσδιορισμού των παραμέτρων του μοντέλου, που αναλυτικά περιγράφεται στο κεφάλαιο 4 του τεύχους 13 της μελέτης του ΕΜΠ.

#### 8.2.4. Γενική περιγραφή του μοντέλου επιμερισμού

Με δεδομένες τις (συνθετικές) ετήσιες χρονοσειρές των υδρολογικών μεταβλητών, οι οποίες παράγονται με το μοντέλο της προηγούμενης παραγράφου στο επιθυμητό μήκος (εδώ 2.000 χρόνια), το μοντέλο επιμερισμού αναλαμβάνει την πύκνωση τους σε μηνιαία βάση. Συγκεκριμένα αναλαμβάνει την παραγωγή τιμών των μηνιαίων μεταβλητών  $X_{ij}^t$ , όπου οι δείκτες  $t$ ,  $i$  και  $j$  αναφέρονται αντίστοιχα στο έτος, τη θέση και το μήνα. Η παραγωγή των τιμών γίνεται έτσι ώστε να ικανοποιείται η λεγόμενη αθροιστική

ιδιότητα, δηλαδή

$$\sum_{j=1}^k X_{ij}^t = Z_i^t, \quad i = 1 \dots n, \quad (8.5)$$

όπου  $Z_i^t$  η (γνωστή) ετήσια τιμή της αντίστοιχης χρονοσειράς και  $k = 12$ .

Επί πλέον διατηρούνται και οι ακόλουθες ομάδες στατιστικών παραμέτρων (όπως συμβαίνει και στο Μαρκοβιανό μοντέλο).

- Μέσες τιμές των μηνιαίων μεταβλητών  $X_{ij}^t$
- Διασπορές των μηνιαίων μεταβλητών  $X_{ij}^t$
- Συντελεστές ασυμμετρίας των μηνιαίων μεταβλητών  $X_{ij}^t$
- Συντελεστές αυτοσυσχέτισης α' τάξης  $\rho_{ij}^t$  μεταξύ των μηνιαίων μεταβλητών  $X_{ij}^t$  και  $X_{i,j-1}^t$
- Συντελεστές ετεροσυσχέτισης  $r_{ij}^t$  μεταξύ των μεταβλητών  $X_{ij}^t$  και  $X_{ij}^t$ .

Η μαθηματική διατύπωση του μοντέλου επιμερισμού και των αλγορίθμων του είναι ένα αρκετά πολύπλοκο ζήτημα, που αναλυτικά περιγράφεται στα κεφάλαια 5 και 6 του τεύχους 13 της μελέτης του ΕΜΠ. Το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης των ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου κωδικοποιήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Pascal και έτρεξε σε υπολογιστές συμβατούς με IBM.

#### 8.2.5. Τελικές στατιστικές εκτιμήσεις υδρολογικών μεταβλητών

Σύμφωνα με τα παραπάνω, για την προσομοίωση των υδρολογικών μεταβλητών του συστήματος ενδιαφέρουν τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ακόλουθων μεγεθών:

- Των απορροών στις δύο λεκάνες Ευήνου και Μόρνου.
- Των άμεσων βροχοπτώσεων στις δύο λεκάνες κατάκλυσης των ταμιευτήρων Ευήνου και Μόρνου.
- Των εξατμίσεων από τους ταμιευτήρες Ευήνου και Μόρνου.

Από τα διαθέσιμα ιστορικά δείγματα των μεγεθών αυτών υπολογίστηκαν με τις γνωστές μεθοδολογίες τα στατιστικά τους

χαρακτηριστικά σε μηνιαία και ετήσια βάση. Στον πίνακα 8.1 συνοψίζονται τα στατιστικά χαρακτηριστικά σε ετήσια βάση (σε mm), ενώ τα αντίστοιχα μηνιαία χαρακτηριστικά σε μηνιαία βάση φαίνονται στους αντίστοιχους πίνακες των κεφαλαίων 4, 5 και 6.

Για την αναγωγή των χαρακτηριστικών αυτών σε όγκους χρησιμοποιούνται τα εμβαδά των αντίστοιχων λεκανών απορροής, που φαίνονται στον πίνακα 8.2. Η αναγωγή των βροχοπτώσεων και εξατμίσεων στις θέσεις των λεκανών κατάκλυσης, μπορεί να γίνει με βάση τους συντελεστές του πίνακα 8.3. Το σύνολο των στατιστικών χαρακτηριστικών του δείγματος Α σε μηνιαία και ετήσια βάση δίνεται στο παράρτημα Δ1.

Τέλος στον πίνακα 8.1 φαίνονται και τα όρια εμπιστοσύνης των μέσων τιμών των υδρολογικών μεταβλητών, όπως προέκυχαν από τα αντίστοιχα δείγματα.

Το θέμα των περιθώριων συναρτήσεων κατανομής έχει εξεταστεί αναλυτικά στο τεύχος 13 της μελέτης του ΕΜΠ. Συμπερασματικά προέκυψε ότι η κατανομή γάμα 2 παραμέτρων είναι κατάλληλη για την περιγραφή των απορροών και βροχών σε όλες τις λεκάνες, σε μηνιαία και ετήσια βάση, ενώ οι εξατμίσεις περιγράφονται καλύτερα από την κανονική κατανομή σε μηνιαία και ετήσια βάση (βλ. παράρτημα Δ).

Ο πίνακας περιλαμβάνει δύο τιμές για κάθε μέγεθος που αντιστοιχούν στα δύο σενάρια των εισροών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. Τα σενάρια αυτά ήσαν τα ακόλουθα:

- A. Δυσμενές σενάριο εισροών που έχει ως βάση το δείγμα των απορροών και βροχών έως το υδρολογικό έτος 1989-90.
- B. Ευμενές σενάριο εισροών που έχει ως βάση τις απορροές και τις βροχές έως το υδρολογικό έτος 1987-88, ακριβώς όπως είχαν δοθεί στη μελέτη του ΕΜΠ.

Σε ότι αφορά τις εξατμίσεις και τα δύο σενάρια βασίζονται στο δείγμα έως το 1987-88.

Η κατάρτιση των δύο σεναρίων εισροών κρίθηκε σκόπιμη για τους λόγους που αναφέρονται στην παράγραφο 2.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1

ΤΕΛΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΣΕ ΕΤΗΣΙΑ ΒΑΣΗ (mm)

A: ΔΥΣΜΕΝΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΙΣΡΟΩΝ (ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΩΣ 1989-90)

B: ΕΥΜΕΝΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΙΣΡΟΩΝ (ΔΕΙΓΜΑ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΩΣ 1987-88)

Λεκάνη απορροής		Εύηνος (Αγ. Δημήτριος)			Μόρνος		
		Απορροή	Βροχή	Εξάτμιση	Απορροή	Βροχή	Εξάτμιση
Υδρολογική μεταβλητή							
Μέγεθος δείγματος	A	22	28		21	28	
	B	20	26	18	19	26	18
Μέση τιμή	A	378.7	1442.1		544.3	1481.6	
	B	920.9	1463.3	1285.7	573.0	1504.3	1309.0
Τυπική απόκλιση	A	343.3	279.8		165.0	245.4	
	B	318.2	262.3	103.3	139.8	236.2	54.1
Ανω όριο εκτίμησης μέσης τιμής για $\alpha = 95\%$	A	770.5	1550.5		619.6	1576.7	
	B	1070.3	1569.3	1337.1	640.4	1599.7	1335.9
Κάτω όριο εκτίμησης μέσης τιμής για $\alpha = 95\%$	A	1024.9	1333.7		469.0	1386.5	
	B	771.5	1357.3	1234.3	505.6	1408.9	1282.1
Συντελεστής αυτοσυσχέτισης 1ης τάξης	A	0.35	0.00		0.26	0.00	
	B	0.17	0.00	0.26	0.03	0.00	- 0.06

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1. Τα εμβαδά των λεκανών απορροής, που χρειάζονται για την αναγωγή των υψών του πίνακα σε όγκους, δίνονται στον πίνακα 8.2.
2. Οι εξατμίσεις του πίνακα αντιστοιχούν στις λεκάνες κατάκλυσης των ταμειυτήρων και όχι στις λεκάνες απορροής.
3. Οι βροχές του πίνακα αντιστοιχούν στις λεκάνες απορροής. Για την αναγωγή των τιμών στις λεκάνες κατάκλυσης χρησιμοποιούνται οι συντελεστές του πίνακα 8.3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.2

ΕΜΒΑΔΑ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΕ km<sup>2</sup>

ΛΕΚΑΝΗ	ΕΜΒΑΔΟ
Μόρνου, ανάντη Φράγματος	557.5
Ευήνου, ανάντη Υ.Σ. Πόρου Ρηγανίου	884.0
Ευήνου, ανάντη Θ. Φρ. Αγ. Δημητρίου	349.0

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.3

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ 8.1 ΣΤΙΣ ΛΕΚΑΝΕΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ

Μεταβλητή	Απορροή	Βροχή	Εξάτμιση
Μόρνος - Φράγμα	1.0	0.489	1.0
Ευήνος - Αγ. Δημήτριος	1.0	0.794	1.0

### 8.3. Προσομοίωση λειτουργίας υδροδοτικού συστήματος

#### 8.3.1. Διάρθρωση του συστήματος

Το μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας του μελλοντικού υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας που χρησιμοποιήθηκε για τον υδρολογικό σχεδιασμό του ταμιευτήρα Ευήνου περιλαμβάνει τα εξής κύρια έργα:

- Το σημερινό ταμιευτήρα Μόρνου
- Τον υπό μελέτη ταμιευτήρα Ευήνου με φράγμα στη θέση Αγ. Δημητρίου
- Ένα ταμιευτήρα στη λεκάνη του Κρικελλοπόταμου (Ν. Α. Αχελώος) στη θέση Αγ. Γεώργιος
- Τον υφιστάμενο υδαταγωγό Μόρνου μέχρι τον Κιθαιρώνα
- Την υπό μελέτη σήραγγα Ευήνου-Μόρνου

Δεν εντάχθηκαν στο σύστημα τα ακόλουθα έργα:

- Ο ταμιευτήρας Μαραθώνα, ο οποίος θεωρήθηκε ότι καλύπτει μόνον ανάγκες ασφαλείας έναντι έκτακτων περιστατικών, και κατά συνέπεια δεν έχει ρυθμιστικό ρόλο.
- Το σύστημα των αγωγών κατόπιν του κόμβου Κιθαιρώνα, το οποίο αν και επαρκές για τις σημερινές συνθήκες υδροδότησης, δεν επαρκεί για τις μελλοντικές ανάγκες του συστήματος.
- Η σήραγγα Τρικεριώτη - Ευήνου.

Στο μοντέλο της παρούσας μελέτης δεν εντάσσεται επίσης το τμήμα του συστήματος που αφορά την Υλίκη δεδομένου ότι αυτό που ενδιαφέρει είναι ο σχεδιασμός του ταμιευτήρα Ευήνου (βλ. και παρ. 2.1). Τέλος δε λαμβάνονται υπόψη οι ενδεχόμενες πρόσθετες εισροές από γεωτρήσεις κατά μήκος του υδαταγωγού Μόρνου.

Το μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας του συστήματος των ταμιευτήρων κωδικοποιήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Pascal και ένα παράδειγμα εξόδου του μοντέλου φαίνεται στο παράρτημα Δ.

### 8.3.2. Ταμιευτήρας Μόρνου

Οι εισροές στον ταμιευτήρα περιλαμβάνουν την απορροή του ποταμού Μόρνου, τη βροχόπτωση πάνω στη λεκάνη κατάκλυσης και την εισροή από τον Εύηνο, μέσω του αγωγού εκτροπής. Οι εκροές περιλαμβάνουν την απόληψη μέσω της σήραγγας Γκιώνας, την εξάτμιση, τις υπόγειες διαφυγές και τις υπερχειλίσεις. Η απορροή του ποταμού Μόρνου και η βροχόπτωση, καθώς και η εξάτμιση από την επιφάνεια του ταμιευτήρα έχουν προσδιοριστεί υπό μορφή συνθετικών χρονοσειρών κατά το στάδιο της υδρολογικής προσομοίωσης. Τα υπόλοιπα μεγέθη εισροών και εκροών προσδιορίζονται κατά το στάδιο της προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος.

Οι απολήψεις από τον ταμιευτήρα Μόρνου διατίθενται αποκλειστικά για την ύδρευση της Αθήνας και δεν προβλέπονται αρδευτικές χρήσεις. Οι διαφυγές από τον ταμιευτήρα Μόρνου προσδιορίζονται από μια γραμμική συνάρτηση της στάθμης, η οποία περιγράφεται στην παράγραφο 8.3.8. (εξίσωση 8.10).

Ως ελάχιστη στάθμη του ταμιευτήρα θεωρήθηκε αυτή που εξασφαλίζει ροή με βαρύτητα στη σήραγγα Γκιώνας. Το κατώφλι της υδροληψίας είναι στα +377 m και η διάμετρος της σήραγγας είναι 3.20 m. Για να εξασφαλίζεται η παροχή στη σήραγγα των 23.0 m<sup>3</sup>/sec κατά μέγιστο, θεωρήσαμε ότι η στάθμη νερού στον ταμιευτήρα πρέπει να είναι στα +382.0 m, που αντιστοιχεί σε όγκο 118.6 \* 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Η μέγιστη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα είναι στα +435 m που αντιστοιχεί σε όγκο 762 \* 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Κατά συνέπεια ο ωφέλιμος όγκος του ταμιευτήρα είναι 643.4 \* 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

### 8.3.3. Ταμιευτήρας Αγ. Δημητρίου

Μελετήθηκαν φράγματα διαφόρων διαστάσεων και τα κύρια χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον Πίνακα 8.4 που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.4  
ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

ΜΕΓΙΣΤΗ ΣΤΑΘΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡ- ΓΙΑΣ σε m	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΣΤΑΘΜΗ ΥΔΡΟΛΗ- ΨΙΑΣ σε m	ΣΤΑΘΜΗ ΠΥΘΜΕΝΑ	ΟΛΙΚΗ ΧΩΡΗΤΙ- ΚΟΤΗΤΑ (*10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	ΝΕΚΡΟΣ ΩΦΕΛΙΜΟΣ ΟΓΚΟΣ (*10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	ΩΦΕΛΙΜΗ ΧΩΡΗΤΙ- ΚΟΤΗΤΑ (*10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
500	455	412	131.4	27.7	103.7
490	"	"	100.7	27.7	73.0
480	"	"	74.1	27.7	46.4
465	"	"	43.0	27.7	15.3

Οι εισροές στον ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου περιλαμβάνουν την απορροή του ποταμού Ευήνου και τη βροχόπτωση στη λεκάνη κατάκλυσης. Και οι δύο αυτές μεταβλητές προσδιορίζονται κατά το στάδιο της υδρολογικής προσομοίωσης. Οι εκροές περιλαμβάνουν την εξάτμιση, που προσδιορίζεται κατά το στάδιο της υδρολογικής προσομοίωσης, την απόληψη προς Μόρνο και την υπερχείλιση, που προσδιορίζονται κατά το στάδιο της προσομοίωσης του συστήματος. Εκτίμηση των υπόγειων διαφυγών του ταμιευτήρα δεν είναι δυνατό να γίνει στο παρόν στάδιο, αλλά θεωρείται ότι αυτές είναι αμελητέες (μικρότερες από την αβεβαιότητα των υδρολογικών υπολογισμών).

Επίσης θεωρήθηκαν με εξαιρετικά απλό τρόπο και πρόσθετες εισροές στον ταμιευτήρα Ευήνου από ενδεχόμενο ταμιευτήρα στον Κρικελλοπόταμο (λεκάνη Ν.Α. Αχελώου). Εξετάστηκαν δύο σενάρια για την εκτροπή των νερών του Κρικελλοπόταμου προς τον Ευήνο, τα οποία παρουσιάστηκαν ήδη στην παρ. 6.4. Υπενθυμίζουμε ότι τα σενάρια αυτά ήσαν τα ακόλουθα:

Σενάριο Α: Εκτροπή 3 m<sup>3</sup>/sec με σταθερό ρυθμό όλο το χρόνο.

Σενάριο Β: Εκτροπή ανάλογη των εισροών του Ευήνου με συντελεστή αναλογίας ίσο με 0.25 κατά την υγρή περίοδο Νοεμβρίου-Μαΐου και 0.37 για την ξηρή περίοδο Ιουνίου-Οκτωβρίου.

Οι καμπύλες στάθμης επιφάνειας και στάθμης-όγκου στον 'Αγ. Δημήτριο φαίνονται πινακοποιημένες στον πίνακα 12.1.

### 8.3.4. Κύριοι αγωγοί μεταφοράς νερού

Ο υδαταγωγός Μόρνου έχει σχεδιαστεί με παροχетеυτικότητα 23.0 m<sup>3</sup>/sec, μέχρι τον κόμβο Κιθαιρώνα. Μέχρι σήμερα όμως δεν έχει διαπιστωθεί ποιά είναι η πραγματική παροχетеυτικότητα του, δεδομένου ότι η παροχή λειτουργίας ποτέ δεν έχει ξεπεράσει τα 16.0 m<sup>3</sup>/sec. Η εξέταση του θέματος αυτού έχει ενταχθεί στα πλαίσια ενός προγράμματος ΕΥΔΑΠ/ΕΜΠ που όμως δεν είχε ολοκληρωθεί στη φάση εκπόνησης της παρούσας μελέτης. Χρησιμοποιήσαμε την τιμή σχεδιασμού των 23.0 m<sup>3</sup>/sec καθόσον αναζητήθηκε η μέγιστη δυνατή απόληψη από το σύστημα Μόρνου-Εύηνου και η παραπάνω τιμή δεν είναι περιοριστική για κανένα από τους προτεινόμενους εναλλακτικούς ταμιευτήρες στον Εύηνο.

Σε ότι αφορά στη σήραγγα Εύηνου-Μόρνου μας δόθηκε μετά από ανεξάρτητη διερεύνηση η παροχетеυτικότητα της σήραγγας ως συνάρτηση της στάθμης στον ταμιευτήρα του Εύηνου. Η σχέση αυτή φαίνεται στον Πίνακα 8.5 που ακολουθεί.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.5**  
**ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΕΥΗΝΟΥ-ΜΟΡΝΟΥ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ**  
**ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΣΤΟΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΕΥΗΝΟΥ**

ΣΤΑΘΜΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΕΥΗΝΟΥ (m)	ΠΑΡΟΧΗ (m <sup>3</sup> /sec)
455	0.0
460	15.0
470	18.8
480	21.6
490	24.7
500	26.6

Σημειώνεται ότι το έργο περιλαμβάνει σήραγγα υπό πίεση με έξοδο προς τον ταμιευτήρα Μόρνου στη στάθμη +440 m, δηλαδή πάνω από τη μέγιστη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα (+435 m). Η κατασκευή θα περιλαμβάνει και έργο ρύθμισης εκ του κατάντη που θα επιτρέπει την μείωση της παροχής ή τη διακοπή της λειτουργίας της σήραγγας, όταν είναι επιθυμητή η αποθήκευση να γίνεται στον Εύηνο (για μεγάλες στάθμες στον Μόρνο).

### 8.3.5. Επίπεδο αξιοπιστίας

Όπως επισημαίνεται στη μελέτη του ΕΜΠ (1990) η αποδοχή ενός αυξημένου επιπέδου αξιοπιστίας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας είναι επιβεβλημένη για τους ακόλουθους λόγους:

- (α) Το έργο καλύπτει βασικότερες ανάγκες των κατοίκων της πρωτεύουσας και οι συνέπειες μιας ενδεχόμενης αστοχίας του θα είναι εξαιρετικά σοβαρές.
- (β) Υπάρχουν ανακρίβειες στις εκτιμήσεις των υδρολογικών μεγεθών.
- (γ) Λόγω των πολλών μεταβλητών που περιγράφουν το σύστημα, και των πολυπλόκων αλληλεπιδράσεών τους δεν είναι δυνατό να υπολογιστούν όρια εμπιστοσύνης, παρά μόνο μέσες αναμενόμενες εκτιμήσεις των μεταβλητών απόφασης.

Στην παρούσα μελέτη επιλέξαμε ως αποδεκτό για την κανονική (συνήθη) πολιτική απολήψεων το επίπεδο αξιοπιστίας 99%, που ορίζεται από το δυσμενέστερο συντελεστή  $\alpha_1$  (βλ. παρ. 8.1) και αντιστοιχεί στις κύριες πηγές τροφοδοσίας.

Αυτό σημαίνει ότι δεχόμαστε γενικά 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

παροχετευτικότητας του αγωγού μεταφοράς ενός ταμιευτήρα, με ταυτόχρονο άδειασμα των άλλων ταμιευτήρων).

Η παραπάνω τιμή του συντελεστή αξιοπιστίας αι αναφέρεται 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.

Τέλος τονίζεται ότι όλη η διερεύνηση του συστήματος Μόρνου-Ευήνου με σκοπό τον υδρολογικό σχεδιασμό του ταμιευτήρα Ευήνου βασίστηκε στην υπόθεση ότι η υδρολογική δίαιτα είναι στατιστικά σταθερή για τα επόμενα υδρολογικά έτη και απεικονίζεται πλήρως στα ιστορικά υδρολογικά δεδομένα. Το ενδεχόμενο μόνιμων κλιματικών αλλαγών δεν αντιμετωπίστηκε.

#### 8.3.6. Κατανάλωση νερού

Για τις ανάγκες του υδρολογικού σχεδιασμού του ταμιευτήρα 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 συστήματος αυτού να ανταποκριθεί σε κάποια σενάρια εξέλιξης των σημερινών καταναλώσεων. Σε όλες τις δοκιμές που παρουσιάζονται στη συνέχεια (παρ. 8.4) η ετήσια ζήτηση νερού στην Αθήνα, πάρθηκε ίση με μια σταθερή τιμή. Σημειώνεται εδώ ότι στο μοντέλο προσομοίωσης υπεισέρχεται η ολική κατανάλωση, που αναφέρεται στις εξόδους των ταμιευτήρων.

Πάντως, όπου απαιτήθηκε να καθοριστεί εκ των προτέρων η συνολική ζήτηση για υδροδότηση της Αθήνας, αυτή θεωρήθηκε ίση με  $600 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>). Η τιμή αυτή προέρχεται από τη μελέτη του ΕΜΠ και αντιστοιχεί στην κατανάλωση του 2010-11, με βάση το μέσο σενάριο εξέλιξης της.

Τέλος κατά την προσομοίωση λήφθηκε υπόψη η μηνιαία διακύμανση της κατανάλωσης, όπως αυτή προέκυψε από τα διαθέσιμα στοιχεία της ΕΥΔΑΠ και φαίνεται στον Πίνακα 8.6 που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.6

ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΤΗΣ 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

**8.3.7. Κανόνας λειτουργίας συστήματος Μόρνου-Ευήνου**

Στην παρούσα μελέτη πήραμε υπόψη τον κανόνα λειτουργίας που είχε αναπτυχθεί στη μελέτη του ΕΜΠ (1990). Πραγματοποιήσαμε όμως σημαντική βελτίωσή του ώστε να αντιμετωπίζεται και το θέμα της λειτουργίας σε μηνιαία βάση μικρών ταμιευτήρων στη λεκάνη του Ευήνου. Η κατάρτιση αυτού του κανόνα λειτουργίας βασίστηκε στις εξής παραδοχές και παρατηρήσεις:

- (α) Σε ότι αφορά στην ολική απόληψη από το σύστημα των δύο ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου επιδιώκεται πάντα η ικανοποίηση της ζήτησης με απόληψη από το Μόρνο και αυτό ανεξάρτητα από τη στάθμη του νερού στους δύο ταμιευτήρες ή από άλλες λειτουργικές μεταβλητές.
- (β) Είναι επιθυμητή η αποθήκευση της μέγιστης δυνατής ποσότητας από το νερό του Ευήνου στον ταμιευτήρα Μόρνου για το λόγο ότι ο ταμιευτήρας Μόρνου διαθέτει πολύ μεγαλύτερη ωφέλιμη χωρητικότητα σε σχέση με τις εισροές από τη λεκάνη Μόρνου από ότι ο ταμιευτήρας Ευήνου σε σχέση με τις εισροές από την αντίστοιχη λεκάνη Ευήνου.
- (γ) Είναι προτιμότερο το περίσσειμα νερού που δε χρησιμοποιείται για ύδρευση της Αθήνας να αποθηκεύεται όσο πιο κοντά στην Αθήνα γίνεται για λόγους ασφαλείας έναντι βλάβης των αγωγών μεταφοράς. Κατά συνεπεία η αποθήκευση πρέπει να γίνεται κατά προτεραιότητα στον ταμιευτήρα Μόρνου.

- (δ) Η παραδοχή που γίνεται συνήθως για τη διαχείριση του νερού σε μηνιαία βάση είναι ότι η απόληψη προηγείται της αποθήκευσης και της υπερχείλισης, με αποτέλεσμα να γίνεται απόληψη του μέγιστου δυνατού μέρους της εισροής και να ελαχιστοποιούνται οι υπερχειλίσεις. Η ευνοϊκή αυτή παραδοχή, είναι δυνατόν να οδηγήσει σε υπερεκτίμηση των δυνατοτήτων του συστήματος αν εφαρμοστεί για μικρή ωφέλιμη χωρητικότητα ταμιευτήρα Ευήνου.
- (ε) Αντί της παραδοχής (δ) στην περίπτωση του Ευήνου μπορεί να γίνει η παραδοχή ότι η υπερχείλιση προηγείται της απόληψης, που είναι όμως εξαιρετικά δυσμενής καθώς θεωρεί ουσιαστικά ότι η εισροή φθάνει ακαριαία στην αρχή του κάθε μήνα.
- (στ) Μια λιγότερο δυσμενής παραδοχή, είναι ότι η εισροή πραγματοποιείται κατά ένα ποσοστό  $v_1$  μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή του μήνα και ένα άλλο ποσοστό  $v_2$  φθάνει με σταθερό ρυθμό. Το πρώτο τμήμα της εισροής υπερχειλίζει άμεσα προτού γίνει οποιαδήποτε απόληψη από αυτό, εφόσον βέβαια γεμίσει ο ταμιευτήρας. Για το δεύτερο τμήμα της εισροής δεχόμαστε ότι η απόληψη προηγείται από την υπερχείλιση. Για το πρώτο κομμάτι της εισροής που φθάνει στιγμιαία δεν ενδιαφέρει τελικά η χρονική στιγμή της άφιξης του και γιαυτό θεωρήσαμε ότι η στιγμή αυτή συμπίπτει με την αρχή του μήνα. Σε ότι αφορά τα ποσοστά  $v_1$  και  $v_2$  θεωρήσαμε ότι  $v_1 = v_2 = 50\%$ .
- (ζ) Στον ταμιευτήρα Ευήνου θεωρείται και πρόσθετη εισροή από τον ταμιευτήρα Αγ. Γεωργίου στον Κρικελλοπόταμο (Ν.Α. Αχελώος), (βλ. παρ. 8.3.3).
- (η) Η παροχетеυτικότητα της σήραγγας Ευήνου - Μόρνου δίνεται ως συνάρτηση της στάθμης στον πίνακα 8.5. Εδώ η στάθμη του ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου θεωρείται ίση με εκείνη που αντιστοιχεί στο μέσο όρο των αποθεμάτων στην αρχή και στο τέλος του μήνα. Επειδή το απόθεμα στο τέλος του μήνα είναι άγνωστο σε κάθε βήμα της προσομοίωσης γίνονται μια πρώτη φορά οι υπολογισμοί με θεώρηση του αρχικού αποθέματος και στη συνέχεια επαναλαμβάνονται οι υπολογισμοί για μία δεύτερη

φορά με το μέσο όρο των αποθεμάτων. Για το υδραγωγείο Μόρνου - Αθήνας η παροχетеυτικότητα θεωρήθηκε σταθερή και ανεξάρτητη της στάθμης, με  $23.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

- (θ) Στον ταμιευτήρα Μόρνου λαμβάνονται υπόψη και υπόγειες διαφυγές ως γραμμική συνάρτηση της στάθμης ενώ στον ταμιευτήρα Ευήνου δε θεωρούνται απώλειες λόγω διαφυγών (βλ. και παρ. 8.3.3).

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις και παραδοχές (α) έως (θ) καταρτίστηκε ο παρακάτω κανόνας λειτουργίας.

- α1. Θεωρείται εισροή στον ταμιευτήρα Ευήνου ίση με ένα ποσοστό  $v_1\%$  της εισροής από τη λεκάνη του Ευήνου για το μήνα που εξετάζεται. Χωρίς καμία απόληψη από τον ταμιευτήρα Ευήνου καταρτίζεται το ισοζύγιο του ταμιευτήρα και υπολογίζονται οι ενδεχόμενες υπερχειλίσεις.
- α2. Το υπόλοιπο μέρος της εισροής στον ταμιευτήρα Ευήνου  $v_2 = 1 - v_1\%$  μαζί με την πρόσθετη εισροή από τον Κρικελλοπόταμο και μετά από συνεκτίμηση της βροχής πάνω στην επιφάνεια του ταμιευτήρα και της εξάτμισης από αυτόν, διατίθεται μαζί με το απόθεμα στον ταμιευτήρα για απόληψη μέσω της σήραγγας Ευήνου-Μόρνου. Η παροχетеυση προς τον ταμιευτήρα Μόρνου γίνεται με το μέγιστο ρυθμό που επιτρέπει η παροχетеυτικότητα της σήραγγας και ο όγκος νερού που διατίθεται για απόληψη. Η παροχетеυση διακόπτεται στην περίπτωση που προκαλεί υπερχείλιση στον ταμιευτήρα Μόρνου.
- α3. Η ζήτηση για ύδρευση της Αθήνας καλύπτεται από το Μόρνο ανεξάρτητα από όλα τα λειτουργικά μεγέθη στους δύο ταμιευτήρες.

Στη μελέτη του ΕΜΠ είχε εξεταστεί και ένας κανόνας λειτουργίας (με έλεγχο στάθμης στο Μόρνο) στον οποίο γινόταν διακοπή της παροχетеυσης προς τον ταμιευτήρα Μόρνου στην περίπτωση που η στάθμη σ' αυτόν ξεπερνούσε ένα συγκεκριμένο κατώφλι. Ο κανόνας όμως αυτός δεν απέδωσε την αναμενόμενη αύξηση των απολήψεων από το σύστημα Μόρνου - Ευήνου και γιαυτό δεν εξετάστηκε καθόλου στην

παρούσα μελέτη.

### 8.3.8. Εξισώσεις προσομοίωσης

Τα μαθηματικά της προσομοίωσης είναι σχετικά απλά και ουσιαστικά αποτελούνται από τις εξισώσεις διατήρησης μάζας (όγκου) και από τις μαθηματικές εκφράσεις των φυσικών και λειτουργικών περιορισμών. Παρακάτω δίνεται κατ' αρχήν μία σειρά εξισώσεων ενός αντιπροσωπευτικού ταμιευτήρα που μπορεί να είναι είτε ο ταμιευτήρας Μόρνου είτε ο ταμιευτήρας Ευήνου. Στη συνέχεια δίνονται οι μαθηματικές σχέσεις του κανόνα λειτουργίας.

Εστω  $K_i$  η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα  $i$  ( $i=1$  Ευήνος,  $i=2$  Μόρνος),  $Sd_i$  ο νεκρός όγκος του και  $C_i$  η παροχετευτικότητα του υδραγωγείου, με τον οποίο γίνεται η μεταφορά από τον υπόψη ταμιευτήρα προς την κατανάλωση. Η ολική ζήτηση από το σύνολο των ταμιευτήρων για τη χρονική περίοδο (μήνα)  $t$  είναι

$$D(t) = a(t) * (Dy/12) \quad (8.5)$$

όπου  $Dy$  η ετήσια ζήτηση και  $a(t)$  ο συντελεστής ανισοκατανομής της ζήτησης για το μήνα  $t$ . Η μερική ζήτηση από τον επιμέρους ταμιευτήρα δεν είναι δεδομένη, αλλά υπάρχει η δέσμευση

$$\sum_{i=1}^k D_i(t) = D(t) \quad (8.6)$$

όπου  $D_i(t)$  η ζήτηση από τον ταμιευτήρα  $i$  και  $k$  το πλήθος των ταμιευτήρων.

Αντίστοιχα η απόληψη  $R_i(t)$ , δεν είναι καταρχήν καθορισμένη αλλά πάντως είναι επιθυμητό να είναι ίση με  $D_i(t)$ . Προφανώς υπάρχει ένα μέγιστο για την ποσότητα  $R_i(t)$ ,

$$R_i(t) \leq \max R_i(t) = C_i(t) \cdot \Delta t \quad (8.7)$$

και παράλληλα ισχύει μια σχέση αντίστοιχη με την (8.6)

$$\sum_{i=1}^k R_i(t) \leq D(t) \quad (8.8)$$

Η ακριβής τιμή του  $R_i$  καθορίζεται με βάση τις σχέσεις διατήρησης της μάζας και του νερού τον κανόνα λειτουργίας που καθορίζει τις προτεραιότητες μεταξύ των ταμιευτήρων.

Ο καθαρός όγκος εισροής στον ταμιευτήρα θα είναι

$$N_i(t) = I_i(t) [s_i - A_i(t)] + [P_i(t) - E_i(t)] * A_i(t) - L_i(t) + R_i(t) \quad (8.9)$$

όπου,

$I_i(t)$  το ισοδύναμο ύψος απορροής της λεκάνης του ταμ/τήρα  $i$   
 $P_i(t)$  το ύψος βροχής στη λεκάνη κατάκλυσης  
 $E_i(t)$  η εξάτμιση από τη επιφάνεια του ταμιευτήρα  
 $L_i(t)$  οι υπόγειες διαφυγές από τον ταμιευτήρα που γενικά προσδιορίζονται με βάση τη στάθμη. Για αποφυγή επαναλήψεων, στους υπολογισμούς χρησιμοποιείται η στάθμη  $Z_i(t-1)$  στο τέλος του προηγούμενου μήνα που είναι γνωστή αφού έχει ολοκληρωθεί η προσομοίωση στο προηγούμενο βήμα. Για τον ταμιευτήρα Μόρνου χρησιμοποιήθηκε η σχέση που δίνεται από το ΕΜΠ (1990):

$$L_2(t) = 0.022865[Z_2(t-1) - 390] + 0.132710 \quad (8.10)$$

όπου το  $L_2(t)$  δίνεται σε  $m^3 \cdot 10^6$  και το  $Z_2(t-1)$  σε m. Για τον ταμιευτήρα Ευήνου θεωρήθηκε  $L_1(t) = 0$ .

$R_i(t)$  η ενδεχόμενη πρόσθετη εισροή στον ταμιευτήρα, προερχόμενη από τον ταμιευτήρα  $l$ , εφόσον αυτός συνδέεται σε σειρά με τον ταμιευτήρα  $i$  (πρόσθετη εισροή στον ταμιευτήρα Ευήνου από τον Ν.Α. Αχελώο και εισροή από τη σήραγγα Ευήνου-Μόρνου στον ταμιευτήρα Μόρνου.

$s_i$  η έκταση της λεκάνης απορροής του ταμιευτήρα  $i$ , και  
 $A_i(t)$  η έκταση της λεκάνης κατάκλυσης, συνάρτηση της στάθμης  $Z_i(t)$ . Για αποφυγή επαναλήψεων, στο δεύτερο μέλος της (8.9), αντί του  $A_i(t)$  τίθεται (προσεγγιστικά) το  $A_i(t-1)$  που είναι πάντοτε γνωστό,

αφού έχει ολοκληρωθεί η προσομοίωση στο προηγούμενο χρονικό βήμα  $t-1$ .

Η εξίσωση διατήρησης όγκου, με τις πιο πάνω προϋποθέσεις είναι

$$S_1(t) = S_1(t-1) + N_1(t) - R_1(t) - SP_1(t) \quad (8.11)$$

όπου,

$S_1(t)$  το απόθεμα στον ταμιευτήρα στο τέλος του μήνα  $t$ , μετρούμενο από την ελάχιστη στάθμη υδροληψίας, και

$SP_1(t)$  η υπερχειλίση από τον ταμιευτήρα

όπου προφανώς οι φυσικοί περιορισμοί επιβάλλουν

$$-Sd_1 \leq S_1(t) \leq K_1 \quad (8.12)$$

και η ποσότητα  $SP_1(t)$  προσδιορίζεται σε τρόπο ώστε να ισχύει πάντα η (8.12).

Στην παρούσα μελέτη εξετάστηκαν οι παρακάτω τρεις περιπτώσεις αντιμετώπισης των εισροών στον ταμιευτήρα Ευήνου:

- A. Η εισροή πραγματοποιείται στιγμιαία κατά 50% και κατά 50% με σταθερό ρυθμό. Πρόκειται για τη μέση εκτίμηση των απολήψεων που αντιστοιχεί στην παραδοχή (στ) της παραγράφου 8.3.7.
- B. Το σύνολο της εισροής πραγματοποιείται στιγμιαία, κάτι που δίνει το κάτω υπολογιστικό όριο για τις απολήψεις, που αντιστοιχεί στην παραδοχή (ε) της παραγράφου 8.3.7.
- Γ. Η εισροή γίνεται εξ ολοκλήρου με σταθερό ρυθμό δίνοντας έτσι το άνω υπολογιστικό όριο των απολήψεων, που αντιστοιχεί στην παραδοχή (δ) της παραγράφου 8.3.7.

Στην περίπτωση του ταμιευτήρα Ευήνου η καθαρή εισροή  $N_1(t)$  στον ταμιευτήρα αποτελείται γενικά από δύο τμήματα:

- (α) Το τμήμα που φθάνει στιγμιαία στην αρχή του μήνα

$$N_1'(t) = v_1 I_1(t) (s_1 - A_1(t)) \quad (8.13)$$

(β) Το τμήμα που φθάνει με σταθερό ρυθμό σε όλη τη διάρκεια του μήνα

$$N_1''(t) = v_2 I_1(t) [s_1 - A_1(t)] \quad (8.14)$$

+ όροι (Α), (Β), (Γ), (Δ) της εξίσωσης 8.9.

Από τις εξισώσεις 8.11 και 8.12 και με απόληψη  $R_1(t) = 0$  και καθαρή εισροή  $N_1'(t)$  υπολογίζεται το απόθεμα  $S_1'(t)$  και η υπερχειλίση  $SP_1(t)$  μετά την άφιξη του πρώτου τμήματος της εισροής.

Στη συνέχεια υπολογίζεται η απόληψη από τον ταμιευτήρα Ευήνου:

$$R_1(t) = \min [S_1'(t) + N_1''(t), C_1(t) \cdot \Delta t] \quad (8.15)$$

και από τις εξισώσεις 8.11 και 8.12

λαμβάνονται το τελικό απόθεμα  $S_1(t)$  του ταμιευτήρα Ευήνου καθώς και η ενδεχόμενη νέα υπερχειλίση  $SP_1''(t)$ .

Με εισροή  $N_2(t) + R_1(t)$  η απόληψη από τον ταμιευτήρα Μόρνου είναι

$$R_2(t) = \min [S_2(t-1) + N_2(t) + R_1(t), C_2(t)\Delta t] \quad (8.16)$$

και με βάση τις εξισώσεις 8.11 και 8.12 καταρτίζεται το ισοζύγιο του ταμιευτήρα Μόρνου. Εφόσον προκύψει υπερχειλίση στο Μόρνο, μειώνεται καταλληλα η απόληψη από τον ταμιευτήρα Ευήνου.

#### 8.4. Αποτελέσματα προσομοίωσης

##### 8.4.1. Απόληψη από τον ταμιευτήρα Μόρνου

Από το μοντέλο προσομοίωσης του ταμιευτήρα Μόρνου με βάση τις συνθετικές χρονοσειρές εισροών, βροχών και εξατμίσεων διάρκειας 2000 ετών, και για το δυσμενές σενάριο εισροών που αντιστοιχεί στη στατιστική εικόνα των 21 ετών (1951-90), προέκυψε ότι η απόληψη από τον ταμιευτήρα για αξιοπιστία 99% είναι  $247 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

το χρόνο. Αντίστοιχα για το ευμενές σενάριο των εισροών που αντιστοιχεί στο δείγμα 19 ετών (1951-88) η απόληψη είναι  $280 * 10^6 \text{ m}^3$ , όπως αυτή είχε υπολογιστεί στη μελέτη του ΕΜΠ (1990). Η μείωση της απόληψης στο δυσμενές σενάριο των εισροών κατά 12% σε σχέση με το ευμενές σενάριο, απλουστευτικά μπορεί να θεωρηθεί ότι οφείλεται κατά το μισό στη μείωση των ετήσιων εισροών κατά 6% (από  $322 * 10^6 \text{ m}^3$  σε  $303 * 10^6 \text{ m}^3$ ), και κατά το άλλο μισό (6%) στην αύξηση της τυπικής απόκλισης (από  $77.9 * 10^6 \text{ m}^3$  σε  $92.0 * 10^6 \text{ m}^3$ ) και του συντελεστή αυτοσυσχέτισης 1ης τάξης των εισροών από 0.03 σε 0.26 (βλ. πίνακα 8.1). Τα μέσα ετήσια ισοζύγια του ταμιευτήρα και για τα δύο σενάρια των εισροών φαίνονται στον πίνακα 8.1.

#### 8.4.2. Απόληψη από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου

Το μοντέλο προσομοίωσης του συστήματος των συνδυασμένων ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου, έτρεξε με τις παραδοχές της παραγράφου 8.3 και με εισόδους χρονοσειρές μηνιαίων εισροών, βροχών και εξατμίσεων, για 2000 υδρολογικά έτη και δύο σενάρια εισροών που περιγράφηκαν στην παρ. 2.1. Υπενθυμίζεται ότι το πρώτο σενάριο που χαρακτηρίζεται δυσμενές, αντιστοιχεί στην παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών απορροής και βροχής με βάση τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος μέχρι το 1989-90 ενώ το δεύτερο σενάριο (ευμενές) είναι εκείνο που είχε χρησιμοποιηθεί στη μελέτη του ΕΜΠ και δεν περιλάμβανε τα δύο τελευταία υδρολογικά έτη 1988-89 και 1989-90. Σε ότι αφορά στις εξατμίσεις, και τα δύο σενάρια βασίζονται στο δείγμα μέχρι το έτος 1987-88. Για τρεις εναλλακτικές τιμές της ωφέλιμης χωρητικότητας που αντιστοιχεί σε μέγιστη στάθμη λειτουργίας +480 m, +490 m και +500 m λήφθηκαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 8.7. Επί πλέον, μελετήθηκε και ένα χαμηλό φράγμα με μέγιστη στάθμη λειτουργίας ταμιευτήρα στα +465 m για λόγους πληρότητας της διερεύνησης. Στον πίνακα 8.7 δίνονται για κάθε τιμή της ωφέλιμης χωρητικότητας και για κάθε σενάριο εισροών η συνολική απόληψη από το σύστημα για αξιοπιστία 99%.

Δίνονται κάθε φορά τρεις εκτιμήσεις:

- Το κάτω υπολογιστικό όριο που αντιστοιχεί στη δυσμενέστερη δυνατή θεώρηση της διακύμανσης των μηνιαίων εισροών, μέσα στο μήνα.
- Το άνω υπολογιστικό όριο που αντιστοιχεί στην ευνοϊκότερη θεώρηση των εισροών.
- Η μέση εκτίμηση που αποτελεί μια ενδιάμεση περίπτωση που προσεγγίζει περισσότερο την πραγματικότητα.

Η αναλυτική παρουσίαση της εξαγωγής των παραπάνω υπολογιστικών ορίων έγινε στις παραγράφους 8.3.7 και 8.3.8.

Επίσης στον πίνακα 8.7 δίνεται σε παρένθεση και η αύξηση της απόληψης από το σύστημα σε σχέση με το μεμονωμένο ταμειυτήρα Μόρνου. Ακόμη δίνεται και η διαφορά των άνω και κάτω υπολογιστικών ορίων από τη μέση εκτίμηση της απόληψης. Τα αναλυτικά μέσα ετήσια ισοζύγια των ταμειυτήρων Μόρνου και Αγ. Δημητρίου παρουσιάζονται στους πίνακες 8.12 και 8.13.

Για λόγους σύγκρισης των αποτελεσμάτων με εκείνα της μελέτης του ΕΜΠ (1990), στον πίνακα 8.8 παρατίθενται οι τιμές της απόληψης από το σύστημα Μόρνου-Αγ.Δημητρίου οι οποίες υπολογίστηκαν στην παραπάνω μελέτη, για πολύ μεγάλη παροχετευτικότητα της σήραγγας Ευήνου-Μόρνου. Η εκτίμηση αυτή αποτελεί το ανώτατο δυνατό όριο που μπορεί να φθάσει η απόληψη από το σύστημα για το ευμενές σενάριο εισροών που συμπίπτει με το σενάριο εισροών της μελέτης του ΕΜΠ. Τα δεδομένα των πινάκων 8.7 και 8.8 φαίνονται και στα σχήματα 8.1 (δυσμενές σενάριο εισροών) και 8.2 (ευμενές σενάριο εισροών). Στον πίνακα 8.9 παρουσιάζονται τα ποσοστά ρύθμισης του συστήματος και των δύο ταμειυτήρων Μόρνου και Ευήνου ξεχωριστά πάντα για τη συνδυασμένη λειτουργία τους, τόσο για το ευμενές όσο και για το δυσμενές σενάριο εισροών.

Από τη μελέτη των πινάκων προκύπτουν τα ακόλουθα:

1. Η κατασκευή ταμειυτήρα ωφέλιμης χωρητικότητας  $103.7 * 10^6 \text{ m}^3$  επιτρέπει συνολική απόληψη από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου  $447 * 10^6 \text{ m}^3$  σύμφωνα με τη μέση εκτίμηση και το δυσμενές σενάριο

εισορών. Τα άνω και κάτω υπολογιστικά όρια ουσιαστικά δε διαφέρουν από τη μέση εκτίμηση ( $449 * 10^6 \text{ m}^3$  και  $447 * 10^6 \text{ m}^3$  αντίστοιχα). Η ένταξη του ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας αυξάνει την απόληψη από το σύστημα κατά  $201 * 10^6 \text{ m}^3$  (μέση εκτίμηση).

2. Με ταμιευτήρα στον Εύηνο ωφέλιμης χωρητικότητας  $73.0 * 10^6 \text{ m}^3$  η απόληψη από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου είναι  $445 * 10^6 \text{ m}^3$  για το δυσμενές σενάριο εισροών και τη μέση εκτίμηση. Πάλι εδώ τα άνω και κάτω υπολογιστικά όρια διαφέρουν πολύ λίγο από τη μέση εκτίμηση ( $446 * 10^6 \text{ m}^3$  και  $441 * 10^6 \text{ m}^3$  αντίστοιχα). Το όφελος από την ένταξη του ταμιευτήρα Ευήνου είναι  $198 * 10^6 \text{ m}^3$  (μέση εκτίμηση).
3. Για ταμιευτήρα ωφέλιμης χωρητικότητας  $46.4 * 10^6 \text{ m}^3$  η απόληψη από το σύστημα είναι  $438 * 10^6 \text{ m}^3$  ή αλλιώς το όφελος από την ένταξη του ταμιευτήρα Ευήνου είναι  $191 * 10^6 \text{ m}^3$ , για τη μέση πάντα εκτίμηση και το δυσμενές σενάριο εισροών. Τα άνω και κάτω υπολογιστικά όρια δε διαφέρουν πάλι πολύ από τη μέση εκτίμηση ( $426 * 10^6 \text{ m}^3$  και  $441 * 10^6 \text{ m}^3$  αντίστοιχα).

Κατά συνέπεια είναι δυνατόν να ειπωθεί με κατηγορηματικό τρόπο ότι για ταμιευτήρα στον Εύηνο με ωφέλιμη χωρητικότητα μεγαλύτερη των  $50 * 10^6 \text{ m}^3$  περίπου, το χρονικό βήμα του μήνα επαρκεί για τη μελέτη της λειτουργίας του συστήματος Μόρνου-Ευήνου.

4. Αν κατασκευάζονταν χαμηλό φράγμα με ταμιευτήρα μικρής ωφέλιμης χωρητικότητας ίσης με  $15.3 * 10^6 \text{ m}^3$ , η απόληψη από το σύστημα θα μειωνόταν στα  $417 * 10^6 \text{ m}^3$  ( $170 * 10^6 \text{ m}^3$  επιπλέον της της απόληψης από τον μεμονωμένο ταμιευτήρα Μόρνου), για το δυσμενές πάντα σενάριο εισροών και τη μέση εκτίμηση. Σε αυτή την περίπτωση όμως το κάτω όριο, είναι σημαντικά χαμηλότερο από τη μέση εκτίμηση (κατά  $61 * 10^6 \text{ m}^3$  ή ίσο με  $356 * 10^6 \text{ m}^3$ ). Αυτό αποδεικνύει ότι η διακύμανση της εισροής σε κλίμακα μικρότερη του μήνα επηρεάζει σημαντικά την απόληψη από το σύστημα. Υπενθυμίζεται πάντως ότι η παραπάνω τιμή των  $356 * 10^6 \text{ m}^3$ , που αντιστοιχεί σε στιγμιαία εισροή στην αρχή του μήνα αποτελεί ένα ιδεατό κάτω

όριο και στην πραγματικότητα η κατάσταση θα είναι αρκετά ευνοϊκότερη. Αυτό φαίνεται και από το γεγονός ότι η μέση εκτίμηση ( $417 * 10^6 \text{ m}^3$  το χρόνο) πλησιάζει πολύ στο άνω όριο ( $426 * 10^6 \text{ m}^3$  το χρόνο).

5. Για το ευμενές σενάριο εισροών, τη μέση εκτίμηση και ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα Ευήνου ίση με 103.7, 73.0, 46.4 και  $15.3 * 10^6 \text{ m}^3$  η απόληψη από το σύστημα είναι αντίστοιχα 507, 502, 496 και  $470 * 10^6 \text{ m}^3$ . Η αντίστοιχη αύξηση της απόληψης λόγω ένταξης του ταμιευτήρα Ευήνου είναι 227, 222, 216 και  $190 * 10^6 \text{ m}^3$ . Οι διαφορές της μέσης εκτίμησης και των άνω και κάτω υπολογιστικών ορίων είναι εντελώς ανάλογες με εκείνες που παρατηρήθηκαν στο δυσμενές σενάριο εισροών.
6. Οι απολήψεις από το σύστημα για το δυσμενές σενάριο εισροών ως ποσοστά των απολήψεων που αντιστοιχούν στο ευμενές σενάριο κυμαίνονται από 88.4% έως 88.7%. Η μείωση αυτή των απολήψεων οφείλεται στη μείωση των μέσων τιμών των εισροών στο 94.7% για το Μόρνο και στο 94.4% για τον Ευήνο καθώς και στην αύξηση της διασποράς των εισροών και του συντελεστή συσχέτισης τους (βλ. πίνακα 8.1). Υπενθυμίζεται ότι αντίστοιχες αλλαγές των στατιστικών χαρακτηριστικών υπάρχουν και για τις μηνιαίες τιμές των εισροών.
7. Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της μελέτης του ΕΜΠ με εκείνα της παρούσας μελέτης για το ευμενές σενάριο εισροών και το άνω υπολογιστικό όριο (σχήμα 8.2) προκύπτει ότι για τα δύο ψηλά φράγματα με ταμιευτήρα χωρητικότητας  $103.7 * 10^6 \text{ m}^3$  και  $73.0 * 10^6 \text{ m}^3$  η παροχетеυτικότητα της σήραγγας Ευήνου-Μόρνου είναι ελάχιστα περιοριστική για την απόληψη από τον Ευήνο ( $1.0 * 10^6 \text{ m}^3$  έως  $2.0 * 10^6 \text{ m}^3$  το χρόνο). Για το χαμηλό φράγμα με ωφέλιμο ταμιευτήρα  $46.4 * 10^6 \text{ m}^3$  η μείωση σε σχέση με την περίπτωση της άπειρης παροχетеυτικότητας είναι μικρή (της τάξης των  $4 * 10^6 \text{ m}^3$  το χρόνο). Για τον πιο μικρό ταμιευτήρα ( $15.3 * 10^6 \text{ m}^3$  ωφέλιμο όγκο), η μείωση παραμένει πάλι σχετικά μικρή (της τάξης των  $10 * 10^6 \text{ m}^3$  το χρόνο). Είναι δυνατόν κατά συνέπεια να υποστηριχθεί ότι η παροχетеυτικότητα της σήραγγας Ευήνου-Μόρνου δεν επηρεάζει ουσιαστικά την απόληψη από το σύστημα

για ταμιευτήρες ωφέλιμης χωρητικότητας μεγαλύτερης των  $50 * 10^6 \text{ m}^3$  περίπου.

8. Για μείωση της ωφέλιμης χωρητικότητας του ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου από  $103.7 * 10^6 \text{ m}^3$  σε  $46.4 * 10^6 \text{ m}^3$  και το δυσμενές σενάριο εισροών, το ποσοστό ρύθμισης του συστήματος Μόρνου-Ευήνου μειώνεται από 73.7% σε 72%. Η μείωση αυτή οφείλεται στη σημαντική μείωση του ποσοστού ρύθμισης του ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου από 70.3% σε 63.7% η οποία όμως αντισταθμίζεται μερικά από την αύξηση του ποσοστού ρύθμισης του ταμιευτήρα Μόρνου από 77.0% σε 80.3% (βλ. πίνακα 8.9). Επισημαίνεται εδώ ότι ο μόνος τρόπος για να αυξηθεί το ποσοστό ρύθμισης του συστήματος στα επίπεδα του ταμιευτήρα Μόρνου είναι να αυξηθεί η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα Ευήνου, εφόσον η παροχετευτικότητα της σήραγγας Ευήνου-Μόρνου δεν επηρεάζει την απόληψη για μεγάλες τιμές της χωρητικότητας του ταμιευτήρα Ευήνου. Αλλά, όπως ήδη αναφέρθηκε στην παρ. 2.1 δεν είναι δυνατή η κατασκευή μεγαλύτερων ταμιευτήρων.

9. Για το ευμενές σενάριο εισροών και για μεταβολή της ωφέλιμης χωρητικότητας του ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου από  $103.7 * 10^6 \text{ m}^3$  το ποσοστό ρύθμισης του συστήματος μειώνεται από 78.7% σε 77%, γεγονός που οφείλεται πάλι στη μείωση του ποσοστού ρύθμισης του ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου. Πάντως στην περίπτωση του ευμενούς σεναρίου εισροών τα ποσοστά ρύθμισης είναι γενικά μεγαλύτερα από εκείνα του δυσμενούς σεναρίου κατά 5 περίπου ποσοστιαίες μονάδες. Αυτό οφείλεται στην ευνοϊκότερη στατιστική εικόνα των εισροών στο ευμενές σενάριο (μικρότερες διασπορές και μικρότεροι συντελεστές αυτοσυσχέτισης 1ης τάξης).

#### 8.4.3. Απόληψη από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου-N.A. Αχελώου

Με το μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος Μόρνου-Ευήνου εξετάστηκε και η ενδεχόμενη εκτροπή του νερού από τον N.A. Αχελώο (Κρικελλοπόταμο) προς τον ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου με φράγμα στη θέση Αγ. Γεώργιος. Λόγω της έλλειψης

κατασκευαστικών στοιχείων του έργου αυτού εξετάστηκαν μόνο δύο απλά σενάρια που περιγράφηκαν αναλυτικά στην παρ. 6.4. Τα σενάρια αυτά ήσαν τα ακόλουθα:

- A: Εκτροπή  $3.0 \text{ m}^3/\text{sec}$  προς τον Εύηνο με σταθερό ρυθμό σε όλη τη διάρκεια του υδρολογικού έτους.
- B: Εκτροπή ανάλογη των εισροών του ταμιευτήρα Ευήνου με συντελεστή αναλογίας 0.25 κατά την υγρή περίοδο Νοεμβρίου-Μαΐου και 0.37 κατά την ξερή περίοδο Ιουνίου-Οκτωβρίου.

Η διερεύνηση έγινε μόνο για το ψηλότερο φράγμα στον Εύηνο (ωφέλιμη χωρητικότητα ταμιευτήρα ίση με  $103.7 * 10^6 \text{ m}^3$ ) και το δυσμενές σενάριο εισροών, που ήταν και η πιο ενδιαφέρουσα περίπτωση. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 8.14.

Σύμφωνα με το σενάριο A η πρόσθετη εισροή από τον Κρικελλοπόταμο ( $93 * 10^6 \text{ m}^3$  το χρόνο) λαμβάνεται ολόκληρη προς την Αθήνα και η απόληψη από το σύστημα ανεβαίνει από το  $448 * 10^6 \text{ m}^3$  στα  $541 * 10^6 \text{ m}^3$  για αξιοπιστία πάντα 99%.

Στο σενάριο B η απόληψη φθάνει τα  $490 * 10^6 \text{ m}^3$  δηλαδή λαμβάνεται περίπου η μισή ποσότητα από αυτή που εκτρέπεται προς τον Εύηνο ( $78 * 10^6 \text{ m}^3$ ). Τέλος, επισημαίνεται ότι σε κανένα από τα παραπάνω δύο σενάρια ενίσχυσης του ταμιευτήρα Ευήνου από τον Ν.Α. Αχελώο δεν υπάρχει εξάντληση της παροχетеυτικότητας του υδαταγωγού Μόρνου, των  $23 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

#### **8.4.4. Εκτίμηση απολήψεων από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου-Υλίκης**

Στην μελέτη του ΕΜΠ (1990) καταρτίστηκαν τρία εναλλακτικά σενάρια εξέλιξης των καταναλώσεων της Αθήνας τα οποία περιγράφονται αναλυτικά στο τεύχος 12 της αντίστοιχης μελέτης και συνοψίζονται στο τεύχος 18 της αντίστοιχης τελικής έκθεσης (σελ. 158 πίνακας 9.2).

Σύμφωνα με το μέσο σενάριο εξέλιξης των καταναλώσεων (που αναφέρονται στις εξόδους των ταμιευτήρων) η κατανάλωση της Αθήνας κατά το υδρολογικό έτος 2010-11 αναμένεται να φθάσει τα  $600 * 10^6$

$m^3$  το χρόνο που θα πρέπει να καλυφθούν από τους υπάρχοντες ταμιευτήρες Μόρνου και Υλίκης και τον υπό μελέτη ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου στη λεκάνη του Ευήνου. Τίθεται κατά συνέπεια το ακόλουθο ερώτημα: Ποιά θα πρέπει να είναι η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου ώστε το σύστημα Μόρνου-Ευήνου-Υλίκης να μπορεί να καλύψει με αξιοπιστία 99% κατανάλωση της Αθήνας ίση με  $600 * 10^6 m^3$ ;

Εφόσον βέβαια η ωφέλιμη χωρητικότητα που απαιτείται προκύψει μικρότερη από την τιμή των  $103.7 * 10^6 m^3$  που αποτελεί και τη μέγιστη δυνατή που μελετάται, είναι δυνατό, σε πρώτη προσέγγιση, να θεωρηθεί ότι κατασκευάζεται το ψηλότερο φράγμα και ένα μέρος του ωφέλιμου όγκου του δεσμεύεται για άλλες χρήσεις νερού (π.χ. άρδευση). Επισημαίνεται πάντως ότι ο διαχωρισμός της ωφέλιμης χωρητικότητας σε ζώνες που εξυπηρετούν ξεχωριστές χρήσεις απαιτεί γενικά εκτεταμένη διερεύνηση του θέματος μέσω της προσομοίωσης. Ακόμη, οι κανόνες λειτουργίας του ταμιευτήρα που θα καταρτιστούν αναμένεται να είναι γενικά πολύπλοκες συναρτήσεις των λειτουργικών μεταβλητών του συστήματος.

Για να εκτιμηθεί ο ωφέλιμος όγκος του ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου που ζητάμε επιλύσαμε τελικά το αντίστροφο πρόβλημα που συνίσταται στα εξής:

Για μια μεγάλη τιμή της ωφέλιμης χωρητικότητας ( $100 * 10^6 m^3$ ) υπολογίστηκε η απόληψη από το σύστημα Μόρνου-Αγ. Δημητρίου-Υλίκης για το δυσμενές σενάριο εισροών. Η εκτίμηση έγινε με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης του ΕΜΠ (1990) που είχαν προκύψει με το ευμενές σενάριο εισροών.

Σύμφωνα με τη μελέτη του ΕΜΠ (1990) το σύστημα Μόρνου-Ευήνου-Υλίκης με φράγμα στη θέση Περίστα της λεκάνης του Ευήνου και ωφέλιμη χωρητικότητα ταμιευτήρα  $199 * 10^6 m^3$ , επιτρέπει την απόληψη  $715 * 10^6 m^3$  το χρόνο με αξιοπιστία 99%. Από τα αποτελέσματα της μελέτης του ΕΜΠ εκτιμάται επίσης ότι για ταμιευτήρα στην Περίστα με ωφέλιμη χωρητικότητα  $100 * 10^6 m^3$ , η απόληψη θα είναι κατά  $10 * 10^6 m^3$  μικρότερη, δηλαδή  $705 * 10^6 m^3$  το χρόνο.

Για το ευμενές σενάριο εισροών η αναγωγή στον ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου μπορεί να γίνει με βάση το λόγο των ολικών εισροών του συστήματος. Οι εισροές στους 3 ταμιευτήρες Μόρνου, Ευήνου και Υλίκης για τη θέση της Περίστας είναι αντίστοιχα  $323 * 10^6 \text{ m}^3$ ,  $361 * 10^6 \text{ m}^3$  και  $358 * 10^6 \text{ m}^3$  το χρόνο, δηλαδή αθροιστικά  $1042 * 10^6 \text{ m}^3$ . Οι ετήσιες εισροές του ταμιευτήρα Ευήνου για τη θέση Αγ. Δημητρίου είναι  $321 * 10^6 \text{ m}^3$  και του αντίστοιχου συστήματος Μόρνου-Αγ. Δημητρίου-Υλίκης  $1002 * 10^6 \text{ m}^3$ . Ο λόγος των ολικών ετήσιων εισροών για τα δύο εναλλακτικά υδρευτικά σχήματα (Μόρνος+Αγ. Δημήτριος + Υλίκη και Μόρνος+Περίστα+Υλίκη) είναι  $1002/1042 = 0.962$  και η απόληψη από το πρώτο από αυτά εκτιμάται σε  $705 * 10^6 * 0.962 = 678 * 10^6 \text{ m}^3$  το χρόνο.

Για την αναγωγή της εκτίμησης αυτής στο δυσμενές σενάριο εισροών το οποίο και μας ενδιαφέρει εδώ, γίνεται η παραδοχή ότι ο λόγος των απολήψεων των δύο σεναρίων για το σύστημα Μόρνου-Ευήνου-Υλίκης θα είναι ο ίδιος με εκείνον που προέκυψε από τις διερευνήσεις της παρούσας μελέτης για το σύστημα Μόρνου-Ευήνου. Όπως φαίνεται από τον πίνακα 8.7 και επισημάνθηκε ήδη στην παρ. 8.4.2 ο λόγος αυτός θα είναι  $448 * 10^6 \text{ m}^3 / 507 * 10^6 \text{ m}^3 = 0.884$ . Η τελική εκτίμηση της απόληξης από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου-Υλίκης θα είναι κατά συνέπεια ίση με  $678 * 10^6 \text{ m}^3 * 0.884 = 599.4 * 10^6 \text{ m}^3 \approx 600 \text{ m}^3$ .

Η απάντηση το ερώτημα που τέθηκε στην αρχή αυτής της παραγράφου αν γίνει δεκτό το δυσμενές σενάριο εισροών είναι ότι για απόληψη  $600 * 10^6 \text{ m}^3$  το χρόνο για αξιοπιστία 99% από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου-Υλίκης με φράγμα στη θέση Αγ. Δημήτριος είναι απαραίτητη η κατασκευή του μεγαλύτερου ταμιευτήρα των  $100 * 10^6 \text{ m}^3$  περίπου.

#### **8.4.5. Λειτουργία υδροδοτικού συστήματος Μόρνου-Ευήνου-Υλίκης μετά την κατασκευή ταμιευτήρα στον Ευήνο**

Μετά την ένταξη στο υπάρχον υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας του ταμιευτήρα Ευήνου αναμένεται ότι οι δυνατότητες απόληξης από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου-Υλίκης θα ξεπερνούν τη ζήτηση της Αθήνας τουλάχιστον για ένα χρονικό διάστημα μιας 15ετίας. Τίθεται επομένως το θέμα της καλύτερης δυνατής διαχείρισης του συστήματος ώστε και να εξασφαλίζεται η κάλυψη της ζήτησης με αξιοπιστία 99%

και να αποφεύγονται όσες αντλήσεις από την Υλίκη δεν είναι απαραίτητες. Το θέμα αυτό διερευνήθηκε από την ομάδα μελέτης του ΕΜΠ (1990) και προτάθηκε η ακόλουθη λύση:

Ενώ η μέγιστη απόληψη από το σύστημα επιτυγχάνεται με απόληψη κατά προτεραιότητα πάντα από την Υλίκη ώστε να ελαχιστοποιούνται οι υπόγειες διαφυγές της, για απολήψεις μικρότερες της μέγιστης, είναι δυνατόν, όταν το απόθεμα στον ταμιευτήρα Μόρνου ξεπερνά ένα ορισμένο κατώφλι, να αντιστρέφεται ο κανόνας λειτουργίας του συστήματος και να γίνονται απολήψεις κατά προτεραιότητα από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου. Πρόκειται για τον κανόνα λειτουργίας που αναφέρεται στη μελέτη του ΕΜΠ ως κανόνας εναλλακτικής προτεραιότητας Μόρνου-Υλίκης. Το κατώφλι αλλαγής προτεραιότητας ( $m^3 * 10^6$ ) εξαρτάται κάθε φορά από την επιθυμητή απόληψη. Στη μελέτη του ΕΜΠ δίνονται τιμές του κατωφλίου και της αντίστοιχης απόληψης μόνο για δύο υδρευτικά σχήματα που δεν περιλαμβάνουν όμως το σχήμα Μόρνου-Αγ. Δημητρίου-Υλίκης το οποίο και προκρίθηκε τελικά. Το πρώτο σχήμα περιλαμβάνει τον ταμιευτήρα Δενδροχωρίου ωφέλιμης χωρητικότητας  $252 * 10^6 m^3$  και το δεύτερο τον ταμιευτήρα Περίστας ωφέλιμης χωρητικότητας  $199 * 10^6 m^3$ . Τα αποτελέσματα της μελέτης του ΕΜΠ φαίνονται στον πίνακα 8.10 και με βάση τον πίνακα αυτό κατασκευάσαμε το διάγραμμα του σχήματος 8.3 το οποίο παρέχει πλήρη εποπτεία σε ότι αφορά στη λειτουργία του συστήματος Μόρνου-Ευήνου-Υλίκης. Όπως προκύπτει από το σχήμα 8.3, με τον κανόνα απόλυτης προτεραιότητας της Υλίκης μεγιστοποιείται η ολική απόληψη από το σύστημα, αλλά η απόληψη από το υποσύστημα Μόρνου-Ευήνου φτάνει σχεδόν στην ελάχιστη τιμή της. Ο κανόνας αυτός είναι και ο πλέον αντιοικονομικός. Η μεγιστοποίηση της απόληψης του συστήματος Μόρνου-Ευήνου συμβαίνει όταν χρησιμοποιείται ο κανόνας εναλλακτικής προτεραιότητας Μόρνου-Υλίκης, για μια συγκεκριμένη τιμή του κατωφλίου, αλλά τότε η ολική απόληψη και από τους τρεις ταμιευτήρες μικραίνει.

Σημειώνεται ότι στην παρούσα μελέτη δεν εξετάστηκε καθόλου η Υλίκη ως τμήμα του υδροδοτικού συστήματος για τους λόγους που ήδη αναφέραμε στην παράγραφο 2.1. Δεν ήταν κατά συνέπεια δυνατή η επανάληψη των υπολογισμών του ΕΜΠ για το σύστημα Μόρνου-Ευήνου-Υλίκης με ταμιευτήρα στον Αγ. Δημήτριο και το δυσμενές σενάριο εισροών που ενδιαφέρει την παρούσα μελέτη.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.7**  
**ΕΤΗΣΙΕΣ ΑΠΟΛΗΨΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΡΝΟΥ - ΕΥΗΝΟΥ (σε  $m^3 \cdot 10^6$ )**  
**ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ 99%**

Α: ΜΕΣΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ  
 Β: ΚΑΤΩ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΟΡΙΟ  
 Γ: ΑΝΩ " "

ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ $m^3 \cdot 10^6$	ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΟΡΙΟ	ΑΠΟΛΗΨΗ ( $m^3 \cdot 10^6$ )	
		ΔΥΣΜΕΝΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΙΣΡΟΩΝ	ΕΥΜΕΝΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΙΣΡΟΩΝ
103.7	A	448(201) <sup>1</sup>	507(227) <sup>1</sup>
	B	447(-1) <sup>2</sup>	504(-3) <sup>2</sup>
	Γ	449(+1) <sup>2</sup>	508(+1) <sup>2</sup>
73.0	A	445(198) <sup>1</sup>	502(222) <sup>1</sup>
	B	441(-4) <sup>2</sup>	498(-4) <sup>2</sup>
	Γ	446(+1) <sup>2</sup>	505(+3) <sup>2</sup>
46.4	A	438(191) <sup>1</sup>	496(216) <sup>1</sup>
	B	426(-12) <sup>2</sup>	481(-15) <sup>2</sup>
	Γ	441(+3) <sup>2</sup>	498(+2) <sup>2</sup>
15.3	A	417(170) <sup>1</sup>	470(190) <sup>1</sup>
	B	356(-61) <sup>2</sup>	396(-74) <sup>2</sup>
	Γ	426(+9) <sup>2</sup>	482(+12) <sup>2</sup>

1. Αύξηση της απόληψης σε σχέση με τον μεμονωμένο ταμειυτήρα Μόρνου.
2. Διαφορά των υπολογιστικών ορίων με τη μέση εκτίμηση

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.8**  
**ΕΤΗΣΙΕΣ ΑΠΟΛΗΨΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΡΝΟΥ - ΕΥΗΝΟΥ (σε  $m^3 \cdot 10^6$ )**  
 (από τη μελέτη του ΕΜΠ 1990)  
**ΠΑΡΟΧΕΤΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΜΟΡΝΟΥ ΕΥΗΝΟΥ: ΠΟΛΥ ΜΕΓΑΛΗ**  
**ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΙΣΡΟΩΝ: ΕΥΜΕΝΕΣ**

ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ( $m^3 \cdot 10^6$ )	ΑΠΟΛΗΨΗ ( $m^3 \cdot 10^6$ )
10.0	493
20.0	495
50.0	502
100.0	508

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.9**  
**ΠΟΣΟΣΤΑ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΜΟΡΝΟΥ - ΕΥΗΝΟΥ (%)**  
**ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ 99%**

**ΜΕΣΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΛΗΨΕΩΝ**

ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ( $m^3 \cdot 10^6$ )	ΠΟΣΟΣΤΟ ΡΥΘΜΙΣΗΣ (%)					
	ΔΥΣΜΕΝΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΙΣΡΟΩΝ			ΕΥΜΕΝΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΙΣΡΟΩΝ		
	ΕΥΗΝΟΣ	ΜΟΡΝΟΣ	ΣΥΣΤΗΜΑ	ΕΥΗΝΟΣ	ΜΟΡΝΟΣ	ΣΥΣΤΗΜΑ
103.7	70.3	77.0	73.7	75.4	82.0	78.7
73.0	67.0	79.3	73.2	72.6	83.3	78.0
46.4	63.7	80.3	72.0	69.2	84.8	77.0
15.3	55.4	81.6	68.6	60.1	85.8	73.0

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.10**  
**ΕΤΗΣΙΕΣ ΑΠΟΛΗΨΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**  
**ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΜΟΡΝΟΥ - ΕΥΗΝΟΥ - ΥΛΙΚΗΣ (σε  $m^3 \cdot 10^6$ ) ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ 99%**  
 (Από την μελέτη του ΕΜΠ, 1990)  
 ΚΑΝΟΝΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ: ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΜΟΡΝΟΥ - ΥΛΙΚΗΣ

ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΕΥΗΝΟΥ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΕΥΗΝΟΥ ( $m^3 \cdot 10^6$ )	ΚΑΤΩΦΛΙ ΑΛΛΑΓΗΣ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟ- ΤΗΤΑΣ ΑΠΟΛΗΨΕΙΣ ( $m^3 \cdot 10^6$ )	ΑΠΟΛΗΨΗ ( $m^3 \cdot 10^6$ )
Δενδροχώρι	252	643.4	631 (448)
"	"	593.0	628 (463)
"	"	300.0	592 (483)
"	"	0.0	461 (461)
Περίστα	199	643.4	715 (544)
"	"	593.0	708 (561)
"	"	300.0	653 (589)
"	"	0.0	541 (541)

Σημ. Τα νούμερα σε παρένθεση αντιστοιχούν στην απόληψη από το υποσύστημα Μόρνου - Ευήνου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.11  
ΜΕΣΑ ΕΤΗΕΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΜΟΡΝΟΥ (σε m<sup>3</sup> \* 10<sup>6</sup>)  
ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ α<sub>1</sub> = 99

ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΙΣΡΟΩΝ	ΔΥΣΜΕΝΕΣ	ΕΥΜΕΝΕΣ
	ΖΗΤΗΣΗ = 247 α <sub>2</sub> = 99.84% α <sub>3</sub> = 99.89%	ΖΗΤΗΣΗ = 280 α <sub>2</sub> = 99.85% α <sub>3</sub> = 99.91%
	ΑΓΟΡΡΟΗ 292 ΒΡΟΧΟΠ. 13	ΑΓΟΡΡΟΗ 311 ΒΡΟΧΟΠ. 11
	ΕΙΣΡΟΕΣ 305	ΕΙΣΡΟΕΣ 322
	ΥΔΡΕΥΣΗ 247 ΑΡΔΕΥΣΗ 0 ΕΞΑΙΤΜ. 22 ΔΙΑΦΥΓΗ 12 ΥΠΕΡΧ. 24	ΥΔΡΕΥΣΗ 280 ΑΡΔΕΥΣΗ 0 ΕΞΑΙΤΜ. 21 ΔΙΑΦΥΓΗ 11 ΥΠΕΡΧ. 10
	ΕΚΡΟΕΣ 305	ΕΚΡΟΕΣ 322

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.12**  
**ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΕΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΜΟΡΝΟΥ-ΕΥΗΝΟΥ (σε m<sup>3</sup> \* 10<sup>6</sup>)**  
**ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ α<sub>1</sub> = 99%**

ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΙΣΡΟΩΝ: ΔΥΣΜΕΝΕΣ  
 Α: ΜΕΣΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ  
 Β: ΚΑΤΩ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΟΡΙΟ  
 Γ: ΑΝΩ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΟΡΙΟ

	Α			Β			Γ					
ΧΩΡΗΤ/ΤΑ	ΖΗΤΗΣΗ = 448			ΖΗΤΗΣΗ = 447			ΖΗΤΗΣΗ = 449					
ΤΑΜ.ΕΥΗΝ.	α <sub>2</sub> = 99.74% α <sub>3</sub> = 99.92%			α <sub>2</sub> = 99.77% α <sub>3</sub> = 99.84			α <sub>2</sub> = 99.84% α <sub>3</sub> = 99.75%					
σε 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΕΥΝΟΛΟ			ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΕΥΝΟΛΟ			ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΕΥΝΟΛΟ					
	ΑΠΟΡΡΟΗ	292	301	593	ΑΠΟΡΡΟΗ	292	301	593	ΑΠΟΡΡΟΗ	292	301	593
	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2	15	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2	15	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2	15
103.7	ΕΙΣΡΟΕΣ	305	303	608	ΕΙΣΡΟΕΣ	305	303	608	ΕΙΣΡΟΕΣ	305	303	608
	ΥΔΡΕΥΣΗ	235	213	448	ΥΔΡΕΥΣΗ	237	210	447	ΥΔΡΕΥΣΗ	235	214	449
	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0
	ΕΞΑΤΜ.	24	2	26	ΕΞΑΤΜ.	24	2	26	ΕΞΑΤΜ.	24	2	26
	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12
	ΥΠΕΡΧ.	34	88	122	ΥΠΕΡΧ.	32	91	123	ΥΠΕΡΧ.	34	87	121
	ΕΚΡΟΕΣ	305	303	608	ΕΚΡΟΕΣ	305	303	608	ΕΚΡΟΕΣ	305	303	608
	ΖΗΤΗΣΗ = 445				ΖΗΤΗΣΗ = 441				ΖΗΤΗΣΗ = 446			
	α <sub>2</sub> = 99.75%	α <sub>3</sub> = 99.82%			α <sub>2</sub> = 99.76%	α <sub>3</sub> = 99.83%			α <sub>2</sub> = 99.75%	α <sub>3</sub> = 99.83%		
	ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΕΥΝΟΛΟ			ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΕΥΝΟΛΟ			ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΕΥΝΟΛΟ			ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΕΥΝΟΛΟ		
	ΑΠΟΡΡΟΗ	292	301	593	ΑΠΟΡΡΟΗ	292	301	593	ΑΠΟΡΡΟΗ	292	301	593
	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2	15	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2	15	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2	15
73.0	ΕΙΣΡΟΕΣ	305	303	608	ΕΙΣΡΟΕΣ	305	303	608	ΕΙΣΡΟΕΣ	305	303	608
	ΥΔΡΕΥΣΗ	242	203	445	ΥΔΡΕΥΣΗ	243	198	441	ΥΔΡΕΥΣΗ	241	205	446
	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0
	ΕΞΑΤΜ.	24	2	26	ΕΞΑΤΜ.	24	2	26	ΕΞΑΤΜ.	24	2	26
	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12
	ΥΠΕΡΧ.	27	98	125	ΥΠΕΡΧ.	26	103	128	ΥΠΕΡΧ.	28	96	124
	ΕΚΡΟΕΣ	305	303	608	ΕΚΡΟΕΣ	305	303	608	ΕΚΡΟΕΣ	305	303	608

ΠΙΝΑΚΑΣ 9.12 (Ευνέχεια)  
 ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΜΟΡΦΟΥ-ΕΥΗΝΟΥ (σε  $m^3 \cdot 10^6$ )  
 ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ  $\alpha_1 = 99\%$

ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΙΣΡΟΩΝ: ΔΥΜΕΝΕΣ  
 Α: ΜΕΣΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ  
 Β: ΚΑΤΩ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΟΡΙΟ  
 Γ: ΑΝΩ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΟΡΙΟ

	Α			Β			Γ		
ΧΩΡΗΤ/ΤΑ	ΖΗΤΗΣΗ = 438			ΖΗΤΗΣΗ = 426			ΖΗΤΗΣΗ = 441		
ΤΑΜ.ΕΥΗΝ.	$\alpha_2 = 99.76\%$ $\alpha_3 = 99.82\%$			$\alpha_2 = 99.77\%$ $\alpha_3 = 99.86\%$			$\alpha_2 = 99.75\%$ $\alpha_3 = 99.83\%$		
σε $10^6 m^3$	ΜΟΡΦ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΜΟΡΦ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΜΟΡΦ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ		
	ΑΠΟΡΡΟΗ	292	301 593	ΑΠΟΡΡΟΗ	292	301 593	ΑΠΟΡΡΟΗ	292	301 593
	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2 15	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2 15	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2 15
46.4	ΕΙΣΡΟΕΣ	305	303 608	ΕΙΣΡΟΕΣ	305	303 608	ΕΙΣΡΟΕΣ	305	303 608
	ΥΔΡΕΥΣΗ	245	193 438	ΥΔΡΕΥΣΗ	245	181 426	ΥΔΡΕΥΣΗ	244	197 441
	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0 0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0 0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0 0
	ΕΞΑΤΜ.	24	2 26	ΕΞΑΤΜ.	24	2 26	ΕΞΑΤΜ.	24	2 26
	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0 12	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0 12	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0 12
	ΥΠΕΡΧ.	24	108 132	ΥΠΕΡΧ.	24	120 147	ΥΠΕΡΧ.	25	104 129
	ΕΚΡΟΕΣ	305	303 608	ΕΚΡΟΕΣ	305	303 608	ΕΚΡΟΕΣ	305	303 608
	ΖΗΤΗΣΗ = 417			ΖΗΤΗΣΗ = 356			ΖΗΤΗΣΗ = 426		
	$\alpha_2 = 99.79\%$ $\alpha_3 = 99.86\%$			$\alpha_2 = 99.82\%$ $\alpha_3 = 99.88\%$			$\alpha_2 = 99.78\%$ $\alpha_3 = 99.85\%$		
	ΜΟΡΦ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΜΟΡΦ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ			ΜΟΡΦ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ		
	ΑΠΟΡΡΟΗ	292	301 593	ΑΠΟΡΡΟΗ	292	301 593	ΑΠΟΡΡΟΗ	292	301 593
	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2 15	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2 15	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2 15
15.3	ΕΙΣΡΟΕΣ	305	303 608	ΕΙΣΡΟΕΣ	305	303 608	ΕΙΣΡΟΕΣ	305	303 608
	ΥΔΡΕΥΣΗ	249	168 417	ΥΔΡΕΥΣΗ	250	106 356	ΥΔΡΕΥΣΗ	249	177 426
	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0 0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0 0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0 0
	ΕΞΑΤΜ.	24	2 26	ΕΞΑΤΜ.	23	2 25	ΕΞΑΤΜ.	24	2 26
	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0 12	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0 12	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0 12
	ΥΠΕΡΧ.	20	133 153	ΥΠΕΡΧ.	20	195 215	ΥΠΕΡΧ.	20	124 144
	ΕΚΡΟΕΣ	305	303 608	ΕΚΡΟΕΣ	305	303 608	ΕΚΡΟΕΣ	305	303 608

## ΠΙΝΑΚΑΣ 3.13

ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΓΕΩΥΓΙΑ ΕΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΜΟΡΦΟΥ-ΕΥΗΝΟΥ (σε  $\text{m}^3 \cdot 10^6$ )  
ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ  $\alpha_1 = 99\%$

ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΙΣΡΟΩΝ: ΕΥΜΕΝΕΣ

Α: ΜΕΣΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ

Β: ΚΑΤΩ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΟΡΙΟ

Γ: ΑΝΩ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΟΡΙΟ

	Α			Β			Γ					
ΧΩΡΗΤ/ΤΑ ΤΑΜ. ΕΥΗΝ. σε $10^6 \text{ m}^3$	ΖΗΤΗΣΗ = 507 $\alpha_2 = 99.37\%$ $\alpha_3 = 99.92\%$ ΜΟΡΦ. ΕΥΗΝ. ΕΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 504 $\alpha_2 = 99.86\%$ $\alpha_3 = 99.91\%$ ΜΟΡΦ. ΕΥΗΝ. ΕΥΝΟΛΟ			ΖΗΤΗΣΗ = 508 $\alpha_2 = 99.85\%$ $\alpha_3 = 99.90\%$ ΜΟΡΦ. ΕΥΗΝ. ΕΥΝΟΛΟ					
	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	319	629	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	319	629	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	319	629
	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2	15	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2	15	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2	15
103.7	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	321	644	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	321	644	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	321	644
	ΥΔΡΕΥΣΗ	265	242	507	ΥΔΡΕΥΣΗ	265	239	504	ΥΔΡΕΥΣΗ	264	244	508
	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0
	ΕΞΑΤΜ.	24	3	27	ΕΞΑΤΜ.	24	3	27	ΕΞΑΤΜ.	24	3	27
	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12
	ΥΠΕΡΧ.	22	77	99	ΥΠΕΡΧ.	22	79	101	ΥΠΕΡΧ.	23	74	97
	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	321	644	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	321	644	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	321	644
	ΖΗΤΗΣΗ = 502 $\alpha_2 = 99.88\%$ $\alpha_3 = 99.82\%$ ΜΟΡΦ. ΕΥΗΝ. ΕΥΝΟΛΟ				ΖΗΤΗΣΗ = 498 $\alpha_2 = 99.85\%$ $\alpha_3 = 99.90\%$ ΜΟΡΦ. ΕΥΗΝ. ΕΥΝΟΛΟ				ΖΗΤΗΣΗ = 505 $\alpha_2 = 99.85\%$ $\alpha_3 = 99.90\%$ ΜΟΡΦ. ΕΥΗΝ. ΕΥΝΟΛΟ			
	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	319	629	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	319	629	ΑΠΟΡΡΟΗ	310	319	629
	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2	15	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2	15	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2	15
73.0	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	321	644	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	321	644	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	321	644
	ΥΔΡΕΥΣΗ	269	233	502	ΥΔΡΕΥΣΗ	270	228	498	ΥΔΡΕΥΣΗ	269	236	505
	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0
	ΕΞΑΤΜ.	24	2	26	ΕΞΑΤΜ.	24	2	26	ΕΞΑΤΜ.	24	2	26
	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12	ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12
	ΥΠΕΡΧ.	18	86	104	ΥΠΕΡΧ.	17	91	108	ΥΠΕΡΧ.	18	83	101
	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	321	644	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	321	644	ΕΙΣΡΟΕΣ	323	321	644

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.13 (Συνέχεια)  
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΜΟΡΝΟΥ-ΕΥΗΝΟΥ (σε m<sup>3</sup> \* 10<sup>6</sup>)  
ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ α<sub>1</sub> = 99%

ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΙΣΡΟΩΝ: ΕΥΜΕΝΕΣ  
 Α: ΜΕΣΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ  
 Β: ΚΑΤΩ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΟΡΙΟ  
 Γ: ΑΝΩ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΟΡΙΟ

	Α	Β	Γ
ΧΩΡΗΤ/ΤΑ	ΖΗΤΗΣΗ = 496	ΖΗΤΗΣΗ = 481	ΖΗΤΗΣΗ = 498
ΤΑΜ.ΕΥΗΝ.	α <sub>2</sub> = 99.87% α <sub>3</sub> = 99.92%	α <sub>2</sub> = 99.88% α <sub>3</sub> = 99.93%	α <sub>2</sub> = 99.88% α <sub>3</sub> = 99.93%
σε 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ	ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ	ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ
	ΑΠΟΡΡΟΗ 310 319 629 ΒΡΟΧΟΠ. 13 2 15	ΑΠΟΡΡΟΗ 310 319 629 ΒΡΟΧΟΠ. 13 2 15	ΑΠΟΡΡΟΗ 310 319 629 ΒΡΟΧΟΠ. 13 2 15
46.4	ΕΙΣΡΟΕΣ 323 321 644	ΕΙΣΡΟΕΣ 323 321 644	ΕΙΣΡΟΕΣ 323 321 644
	ΥΔΡΕΥΣΗ 274 222 496 ΑΡΔΕΥΣΗ 0 0 0 ΕΞΑΤΜ. 24 2 26 ΔΙΑΦΥΓΗ 12 0 12 ΥΠΕΡΧ. 13 97 110	ΥΔΡΕΥΣΗ 273 208 481 ΑΡΔΕΥΣΗ 0 0 0 ΕΞΑΤΜ. 24 2 26 ΔΙΑΦΥΓΗ 12 0 12 ΥΠΕΡΧ. 14 111 125	ΥΔΡΕΥΣΗ 274 224 498 ΑΡΔΕΥΣΗ 0 0 0 ΕΞΑΤΜ. 24 2 26 ΔΙΑΦΥΓΗ 12 0 12 ΥΠΕΡΧ. 13 95 108
	ΕΙΣΡΟΕΣ 323 321 644	ΕΙΣΡΟΕΣ 323 321 644	ΕΙΣΡΟΕΣ 323 321 644
	ΖΗΤΗΣΗ = 470 α <sub>2</sub> = 99.88% α <sub>3</sub> = 99.93%	ΖΗΤΗΣΗ = 396 α <sub>2</sub> = 99.83% α <sub>3</sub> = 99.92%	ΖΗΤΗΣΗ = 482 α <sub>2</sub> = 99.89% α <sub>3</sub> = 99.94%
	ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ	ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ	ΜΟΡΝ. ΕΥΗΝ. ΣΥΝΟΛΟ
	ΑΠΟΡΡΟΗ 310 319 629 ΒΡΟΧΟΠ. 13 2 15	ΑΠΟΡΡΟΗ 310 319 629 ΒΡΟΧΟΠ. 13 2 15	ΑΠΟΡΡΟΗ 310 319 629 ΒΡΟΧΟΠ. 13 2 15
15.3	ΕΙΣΡΟΕΣ 323 321 644	ΕΙΣΡΟΕΣ 323 321 644	ΕΙΣΡΟΕΣ 323 321 644
	ΥΔΡΕΥΣΗ 277 193 470 ΑΡΔΕΥΣΗ 0 0 0 ΕΞΑΤΜ. 23 2 25 ΔΙΑΦΥΓΗ 12 0 12 ΥΠΕΡΧ. 11 126 137	ΥΔΡΕΥΣΗ 280 116 396 ΑΡΔΕΥΣΗ 0 0 0 ΕΞΑΤΜ. 22 2 24 ΔΙΑΦΥΓΗ 12 0 12 ΥΠΕΡΧ. 9 203 212	ΥΔΡΕΥΣΗ 278 204 482 ΑΡΔΕΥΣΗ 0 0 0 ΕΞΑΤΜ. 23 2 25 ΔΙΑΦΥΓΗ 12 0 12 ΥΠΕΡΧ. 10 115 125
	ΕΙΣΡΟΕΣ 323 321 644	ΕΙΣΡΟΕΣ 323 321 644	ΕΙΣΡΟΕΣ 323 321 644

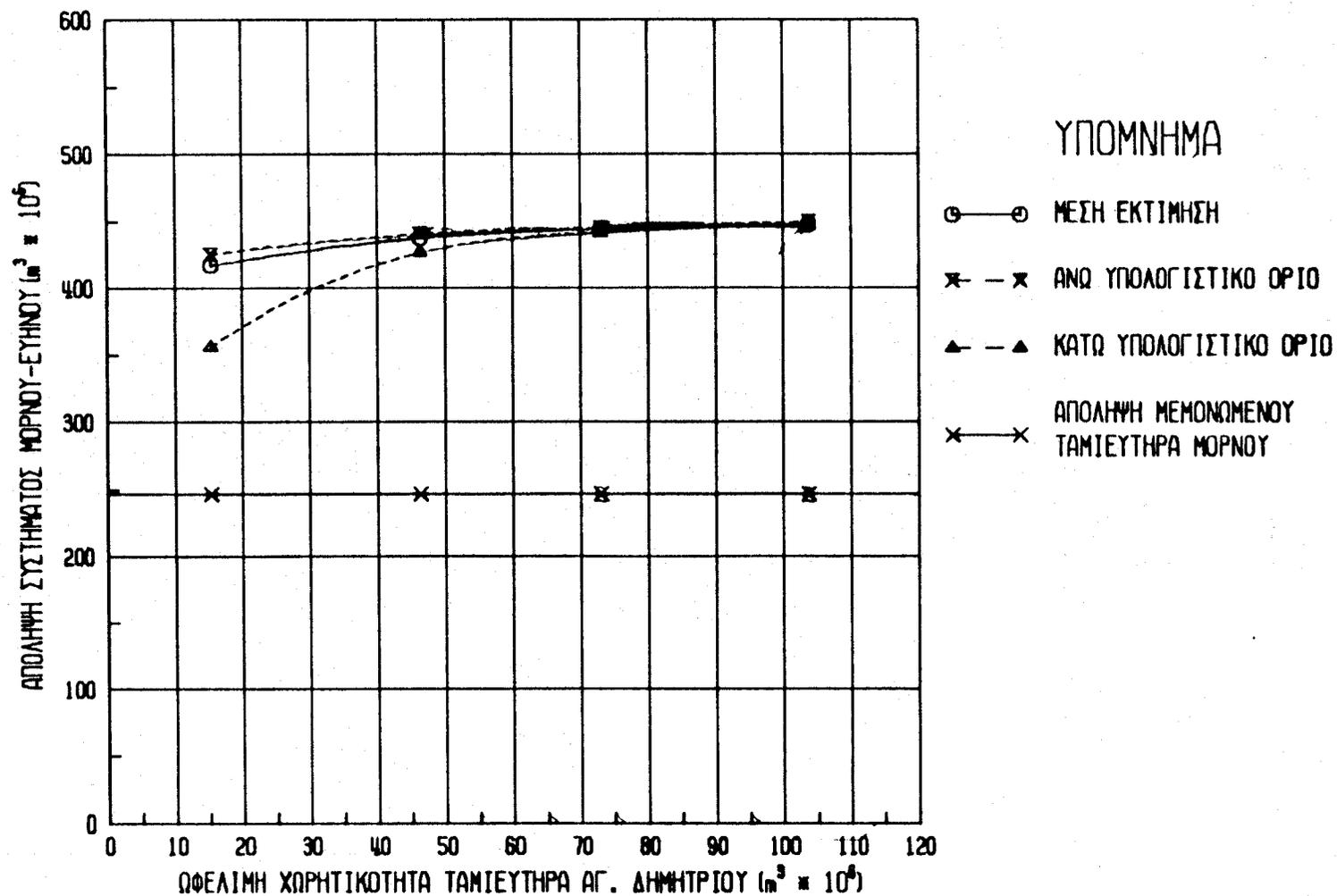
**ΠΙΝΑΚΑΣ 8.14**  
**ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΓΕΟΥΥΓΙΑ ΕΥΕΤΗΜΑΤΟΣ**  
**ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΜΟΡΝΟΥ - ΕΥΗΝΟΥ (σε  $m^3 \cdot 10^6$ )**  
**ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ 99%**

**ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΑΓ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ**

ΣΕΝΑΡΙΑ            Α: ΣΤΑΘΕΡΗ ΕΚΤΡΟΠΗ 3.0  $m^3/sec$   
 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ    Β: ΕΚΤΡΟΠΗ ΑΝΑΛΟΓΗ ΜΕ ΤΩΝ ΕΙΣΡΟΩΝ ΕΥΗΝΟΥ  
 ΩΦ. ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ:  $103.7 \cdot 10^6 m^3$   
 ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΙΣΡΟΩΝ ΕΥΗΝΟΥ: ΔΥΣΜΕΝΕΣ

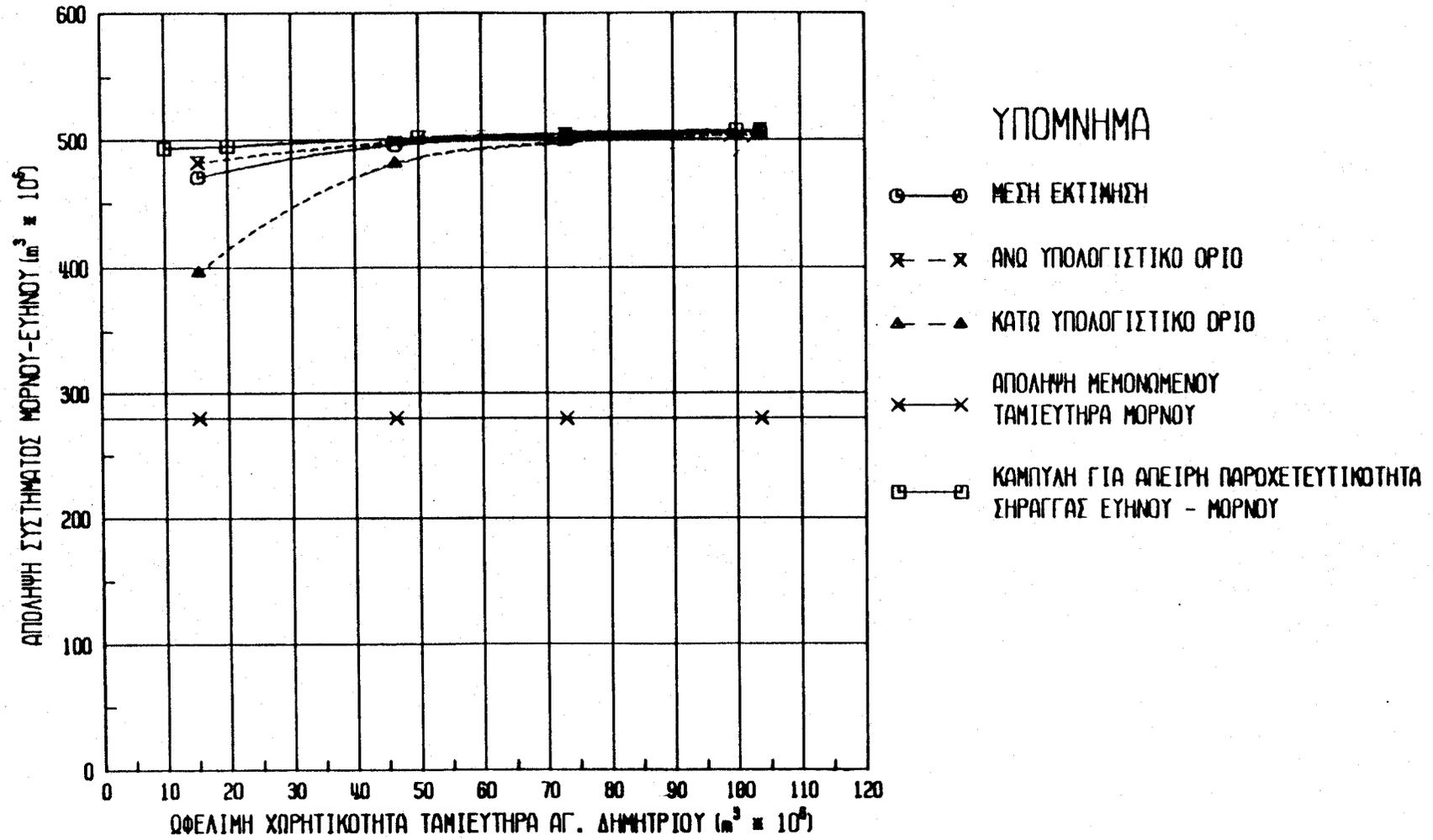
ΣΕΝΑΡΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ							
Α				Β			
ΖΗΤΗΣΗ = 541 $\alpha_2=99.77\%$ $\alpha_3=99.86\%$				ΖΗΤΗΣΗ = 490 $\alpha_2=99.75\%$ $\alpha_3=99.83\%$			
	ΜΟΡΝ.	ΕΥΗΝ.	ΣΥΝ.		ΜΟΡΝ.	ΕΥΗΝ.	ΣΥΝ.
ΑΠΟΡΡΟΗ	292	301	593	ΑΠΟΡΡΟΗ	292	301	593
ΒΡΟΧΟΠ.	13	2	15	ΒΡΟΧΟΠ.	13	2	15
ΠΡΟΣΘ. ΕΙΣ.	0	93	93	ΠΡΟΣΘ. ΕΙΣ.	0	78	78
<b>ΕΙΣΡΟΕΣ</b>	<b>305</b>	<b>396</b>	<b>701</b>	<b>ΕΙΣΡΟΕΣ</b>	<b>305</b>	<b>381</b>	<b>686</b>
ΥΔΡΕΥΣΗ	247	294	541	ΥΔΡΕΥΣΗ	241	249	490
ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0	ΑΡΔΕΥΣΗ	0	0	0
ΕΞΑΤΜ.	24	3	27	ΕΞΑΤΜ.	24	3	27
ΔΙΑΦΥΓΗ	12	0	12	ΔΙΑΦΥΓΗ	13	0	13
ΥΠΕΡΧ.	22	99	121	ΥΠΕΡΧ.	27	129	156
<b>ΕΚΡΟΕΣ</b>	<b>305</b>	<b>396</b>	<b>701</b>	<b>ΕΚΡΟΕΣ</b>	<b>305</b>	<b>381</b>	<b>686</b>

## ΔΥΣΜΕΝΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΙΣΡΟΩΝ

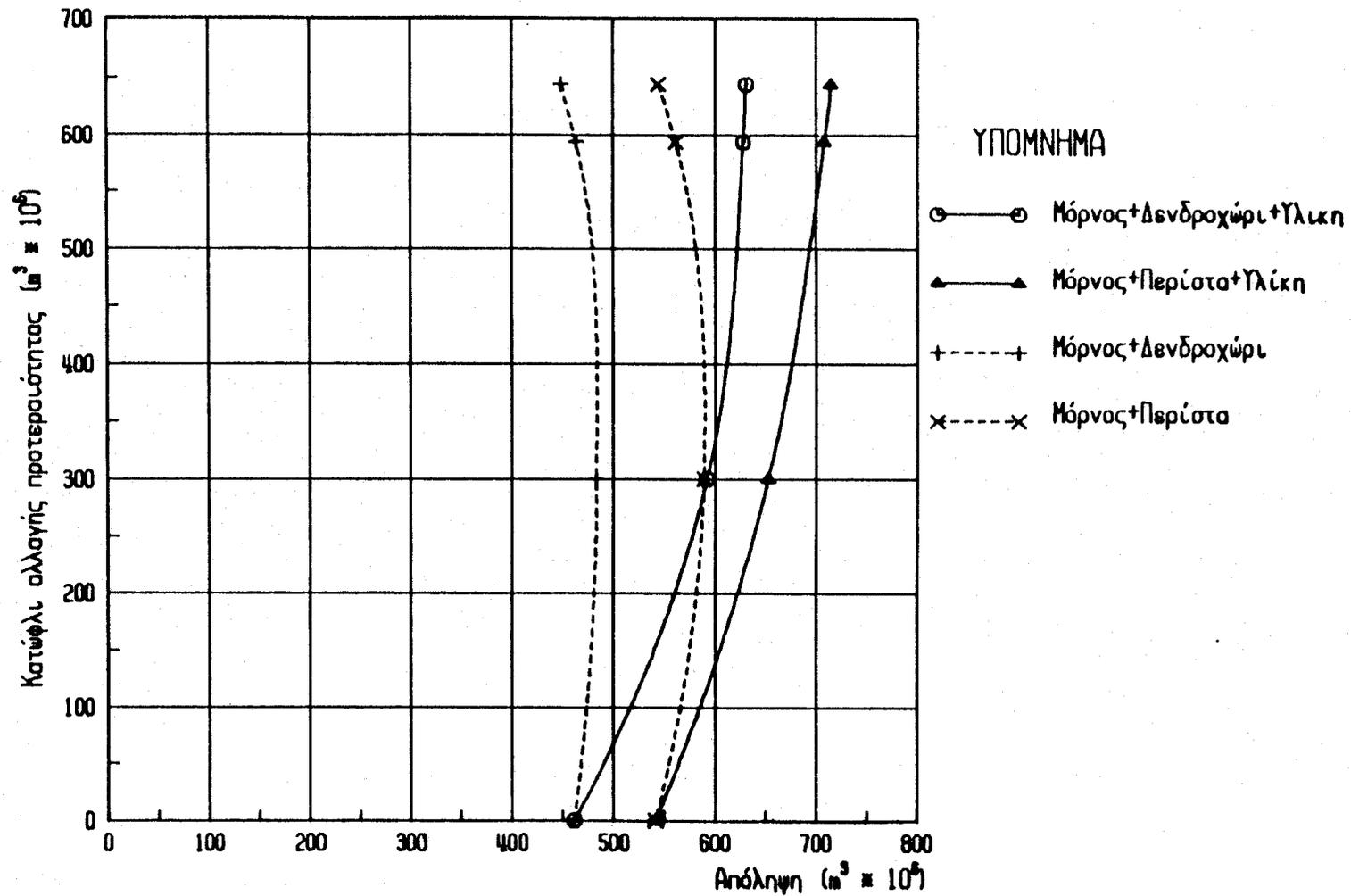


Σχ. 8.1 Απόληψη συστήματος Μόρνου-Ευήνου  
Δυσμενές σενάριο εισροών

## ΕΥΜΕΝΕΣ ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΙΣΡΟΩΝ



Σχ. 8.2 Απόληψη συστήματος Μόρνου-Ευήνου  
Ευμενές σενάριο εισροών



Σχ. 8.3 Απόληψη από το σύστημα Μόρνου Ευήνου Υλικής, (από στοιχεία τής μελέτης τού ΕΜΠ, 1990)

## 9. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΙΓΙΔΩΝ - ΟΜΒΡΙΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

### 9.1. Σταθμοί και δεδομένα

Για την ανάλυση των καταιγίδων χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των βροχομετρικών και βροχογραφικών σταθμών της λεκάνης Ευήνου ή γειτονικών που αναφέρονται στον πίνακα 9.1

ΠΙΝΑΚΑΣ 9.1  
ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΓΡΑΦΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ  
ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΙΓΙΔΩΝ

α/α	ΟΝΟΜΑ-ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΥΠΗΡΕΣΙΑ	ΟΡΓΑΝΑ	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ
1	Γραμμένη Οξυά	1160	ΥΠΕΧΩΔΕ	ΒΜ	Εύηνος, ανάντη Αγίου Δημητρίου	1950-51/1989-90
2	Αράχοβα	960	ΔΕΗ	ΒΜ	Εύηνος, ανάντη Αγίου Δημητρίου	1959-60/1989-90
3	Γρηγόριο	1000	ΥΠΕΧΩΔΕ	ΒΜ	Εύηνος, ανάντη Αγίου Δημητρίου	1951-52/1983-84
4	Δρυμώνας	900	ΔΕΗ	ΒΜ, ΒΓ	Εύηνος, κατάντη Αγίου Δημητρίου	1972-73/1989-90
5	Πλάτανος	900	ΥΠΕΧΩΔΕ	ΒΜ	Εύηνος, κατάντη Αγίου Δημητρίου	1950-51/1989-90
6	Πόρος Ρηγανίου	150	ΥΠΕΧΩΔΕ	ΒΜ	Εύηνος, κατάντη Αγίου Δημητρίου	1960-61/1989-90
7	Ανάληψη	620	ΥΠΕΧΩΔΕ	ΒΜ	Εύηνος, κατάντη Αγίου Δημητρίου	1950-51/1989-90
8	Πενταγιοί	950	ΥΠΕΧΩΔΕ	ΒΜ, ΒΓ	Μόρνος	1962-63/1989-90

Από τους σταθμούς του Πίνακα 9.1 μόνο τρεις βρίσκονται μέσα στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής, και μάλιστα κανένας από αυτούς δεν είναι εφοδιασμένος με βροχογράφο. Σημειώνεται ότι η ανάλυση καταιγίδων και η σύνταξη αξιόπιστων ομβρίων καμπυλών προϋποθέτει την ύπαρξη ταινιών βροχογράφου, από τις οποίες μπορούν να εξαχθούν ύψη βροχής για αρκετά μικρές διάρκειες της τάξης της 1h.

Από τους παραπάνω σταθμούς, βροχογράφο διαθέτουν μόνο δύο, ο Δρυμώνας που βρίσκεται στη λεκάνη Ευήνου, αλλά έξω από την υπολεκάνη Αγ. Δημητρίου και οι Πενταγιοί στη λεκάνη Μόρνου.

Στην προκειμένη περίπτωση αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα των δύο παραπάνω βροχογράφων, που χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για την παραγωγή ομβρίων καμπυλών με άμεσο τρόπο. Παράλληλα όμως καταρτίστηκαν με έμμεσο τρόπο καμπύλες και για τα βροχόμετρα,

σύμφωνα με τη μέθοδο που αναλύεται παρακάτω.

## 9.2. Σχηματισμός στατιστικών δειγμάτων

Στην περίπτωση των βροχομέτρων καταρτίστηκαν στατιστικά δείγματα μεγίστων ετησίων υψών βροχής διάρκειας 1 και 2 ημερών. Η κατάρτιση αυτών των δειγμάτων έγινε με κατάλληλο πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή άμεσα από τη βάση δεδομένων του ΕΜΠ. Τα δείγματα αυτά φαίνονται στο παράρτημα Ε, όπως έχουν εκτυπωθεί από το εν λόγω πρόγραμμα υπολογιστή. Ορισμένα όπως από τα δεδομένα των αρχικών αυτών δειγμάτων εξαιρέθηκαν γιατί κρίθηκαν ως αναξιόπιστα. Τα τελικά δείγματα σε ταξινομημένη μορφή φαίνονται επίσης στο παράρτημα Ε.

Η ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθήθηκε και για την περίπτωση των επιφανειακών υψών βροχής 1 και 2 ημερών για την υπολεκάνη ανάντη Αγίου Δημητρίου. Ο υπολογισμός και η εκτύπωση των επιφανειακών υψών, βασισμένων στη μέθοδο Thiessen έγινε με το ίδιο πρόγραμμα υπολογιστή. Οι συντελεστές Thiessen είναι: Γραμμένη Οξυιά 44.4%, Αράχοβα 31.5% και Γρηγόριο 24.1%.

Για την περίπτωση των βροχογράφων, αποκωδικοποιήθηκαν επιλεκτικά σε ωριαία βάση οι ταινίες όλων των αξιόλογων επεισοδίων βροχής, στα πλαίσια της παρούσας μελέτης.

Τα δεδομένα που προέκυψαν επεξεργάστηκαν με κατάλληλο πρόγραμμα υπολογιστή, το οποίο εξήγαγε μέγιστα ετήσια ύψη βροχής για διάρκειες 1h, 2h, 6h, 12h, 24h και 48h. Τα σχετικά δείγματα φαίνονται επίσης στη μορφή που εκτυπώθηκαν από τον υπολογιστή, καθώς και σε ταξινομημένη μορφή, στο παράρτημα Ε.

Τα δείγματα από κάθε σταθμό εξετάστηκαν μεμονωμένα, χωρίς να εφαρμοστεί η ενοποίηση με τη μέθοδο των σταθμών-ετών. Όπως φάνηκε από την αρχική επεξεργασία των δειγμάτων δεν τηρείται ούτε ο όρος της στοχαστικής ανεξαρτησίας μεταξύ των βροχοπτώσεων διαφορετικών σταθμών (ειδικά στις μεγάλες διάρκειες) ούτε και ο όρος της στατιστικής ομογένειας. Μάλιστα, όπως θα φανεί παρακάτω υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις στα στατιστικά χαρακτηριστικά

μεταξύ των διαφόρων σταθμών.

### 9.3. Στατιστική επεξεργασία δειγμάτων

Η συνηθέστερη συνάρτηση κατανομής που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των μεγίστων υψών βροχής είναι η συνάρτηση μεγίστων Gumbel I. Η συνάρτηση αυτή γίνεται από τη σχέση

$$F(h) = 1 - F_1(h) = 1 - 1/T = \exp(-\exp(-\alpha(x-x_0))) \quad (9.1)$$

όπου

$h$  = η μεταβλητή μέγιστο ετήσιο ύψος βροχής

$F(h)$  = η συνάρτηση κατανομής

$F_1(h)$  = η πιθανότητα υπέρβασης

$T$  = η περίοδος επαναφοράς

$\alpha, x_0$  = οι παράμετροι της συνάρτησης Gumbel

Η εκτίμηση των παραμέτρων γίνεται από τα εμπειρικά στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος: τη μέση τιμή  $\mu_h$  και την τυπική απόκλιση  $\sigma_h$ . Η μέθοδος των ροπών δίνει τις ακόλουθες εκτιμήσεις:

$$\alpha = 1/(0.78 \cdot \sigma_h), \quad x_0 = \mu_h - 0.577/\alpha \quad (9.2)$$

Εδώ χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες εκτιμήσεις που οφείλονται στον Gumbel, οι οποίες δίνουν μεγαλύτερες τιμές του ύψους βροχής για μεγάλες περιόδους επαναφοράς:

$$\alpha = S_N/\sigma_h, \quad x_0 = \mu_h - Y_N/\alpha \quad (9.3)$$

όπου  $Y_N$  και  $S_N$  παράμετροι που εξαρτώνται από το μέγεθος του δείγματος  $N$ , και δίνονται συναρτήσει αυτού από πίνακες (βλ. Kottegora, 1980, σελ. 218).

Οι τιμές των στατιστικών χαρακτηριστικών, των δειγμάτων, των παραμέτρων  $Y_N$  και  $S_N$ , καθώς και των τελικών παραμέτρων  $x_0$  και  $\alpha$  για κάθε ένα από τα δείγματα υψών βροχής βροχομέτρων ή βροχογράφων, φαίνονται στους πίνακες του παραρτήματος Ε. Σε άλλους πίνακες φαίνονται χαρακτηριστικές τιμές του ύψους και της έντασης βροχής, όπως προκύπτουν από τη συνάρτηση Gumbel.

Η γραφική απεικόνιση των δειγμάτων με τις εμπειρικές συχνότητες τους γίνεται στα αντίστοιχα σχήματα του παραρτήματος Ε. Στα ίδια σχήματα έχουν χαραχτεί οι συναρτήσεις Gumbel που προσαρμόστηκαν, που λόγω της ειδικής κλίμακας των διαγραμμάτων απεικονίζονται ως ευθείες. Από τα σχήματα αυτά διαπιστώνεται η αρκετά καλή προσαρμογή των συναρτήσεων Gumbel με τα σημειοσύνολα των δειγμάτων. Έτσι περιττεύει η αναζήτηση άλλης συνάρτησης κατανομής με τυχόν καλύτερη προσαρμογή.

Συγκρίνοντας τις συναρτήσεις Gumbel (αλλά και τα πρωτογενή δεδομένα) των διαφορετικών σταθμών παρατηρούμε έντονες διαφορές. Στον πίνακα 9.2 δίνονται ορισμένα αντιπροσωπευτικά δεδομένα για την παρουσίαση αυτών των διαφορών

ΠΙΝΑΚΑΣ 9.2  
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ 24ΩΡΩΝ  
ΥΨΩΝ ΒΡΟΧΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΕΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ

a/a	ΣΤΑΘΜΟΣ	ΟΡΓΑΝΟ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΤΙΜΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ GUMBEL ΓΙΑ T=10.000
1	Γραμμένη Οξυά	ΕΜ	40	69.3	112.0	226.6
2	Αράχοβα	ΕΜ	31	66.7	106.6	172.8
3	Γρηγόριο	ΕΜ	33	77.0	100.0	231.7
4	Δρυώνας	ΕΜ	20	87.0	164.0	364.6
4α	"	ΒΓ	18	95.7	222.1	456.8
5	Πλάτανος	ΕΜ	40	94.9	166.1	301.1
6	Πόρος Ρηγανίου	ΕΜ	30	89.9	174.0	299.5
7	Ανάληψη	ΕΜ	40	78.3	173.0	249.3
8	Πενταγιοί	ΕΜ	22	96.9	157.5	300.2
8α	"	ΒΓ	21	97.8	175.8	407.4
9	Επιφανειακά κατά Thiessen Αγίου Δημητρίου	ΕΜ	39	56.4	84.2	151.7

Από τον πίνακα 9.2 προκύπτει ότι οι τρεις σταθμοί που βρίσκονται μέσα στην υπολεκάνη ανάντη του Αγίου Δημητρίου εμφανίζουν σαφώς μικρότερα ύψη βροχής από τους υπόλοιπους σταθμούς. Επίσης τα ύψη που προκύπτουν από τους βροχογράφους είναι μεγαλύτερα των αντιστοιχών υψών των βροχομέτρων, γεγονός που είναι αναμενόμενο επειδή στην περίπτωση των βροχογράφων το 24ωρο με τη μέγιστη βροχόπτωση δεν είναι το ημερολογιακό (8.00 - 8.00) του βροχομέτρου, αλλά προσδιορίζεται σε τρόπο ώστε να μεγιστοποιείται το

ύψος βροχής.

#### 9.4. Όμβριες καμπύλες βροχογράφων

Ως τελική προσεγγιστική αλλά ενιαία έκφραση των αποτελεσμάτων της συνάρτησης Gumbel, επιλέγεται η ακόλουθη τετραπαραμετρική σχέση

$$i = \kappa T^\lambda / (t+b)^n \quad (9.4)$$

όπου  $i$  = η ένταση βροχής σε mm/h  
 $t$  = η διάρκεια βροχής σε h  
 $T$  = η περίοδος επαναφοράς σε έτη  
 $\kappa, \lambda, b, n$  = παράμετροι

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατάρτιση της σχέσης αυτής και τον υπολογισμό των παραμέτρων της είναι τα αποτελέσματα της ανάλυξης με τη συνάρτηση Gumbel, των σταθμών Δρυμόνα και Πενταγιών για περιόδους επαναφοράς από 10 μέχρι 10.000 έτη.

Η παραπάνω σχέση παριστάνεται σε ένα λογαριθμικό χαρτί με άξονες ( $i$ ) και  $(t+b)$ , ως ένα σύνολο από παράλληλες ευθείες με κλίση  $-n$ . Με βάση την παρατήρηση αυτή η τιμή του  $b$  μπορεί να βρεθεί γραφικά, ως η τιμή εκείνη με την οποία τα προκύπτοντα σημειοσύνολα διατάσσονται περίπου ευθύγραμμα. Μια ακριβέστερη μέθοδος εκτίμησης του  $b$ , η οποία και τελικά εφαρμόστηκε, είναι η επαναληπτική αριθμητική μέθοδος, σύμφωνα με την οποία

- επιλέγεται μια τιμή του  $b$
- υπολογίζονται οι τιμές των άλλων παραμέτρων  $\kappa$ ,  $\lambda$  και  $n$  με τη μέθοδο της πολλαπλής παλινδρόμησης
- υπολογίζεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα για την εν λόγω τιμή του  $b$ .

Τελικά υιοθετείται η τιμή του  $b$  που δίνει το ελάχιστο τετραγωνικό σφάλμα.

Ανεξάρτητα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του  $b$ , οι υπόλοιπες παράμετροι υπολογίζονται με τη μέθοδο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (ελάχιστων τετραγώνων).

Πράγματι η λογαριθμηση της σχέσης δίνει

$$\log i = \log \kappa + \lambda \log T - n \log(t+b) \quad (9.5)$$

που, αν τεθεί  $x = \log T$ ,  $y = -\log(t+b)$ ,  $z = \log i$ ,  $c = \log \kappa$ , παίρνει τη μορφή

$$z = \lambda x + n y + c \quad (9.6)$$

Οι σταθερές  $\lambda$ ,  $n$  και  $c$  προκύπτουν ως οι λύσεις του γραμμικού συστήματος

$$\begin{aligned} \lambda \Sigma x + n \Sigma y + n c &= \Sigma z \\ \lambda \Sigma x^2 + n \Sigma xy + c \Sigma x &= \Sigma xz \\ \lambda \Sigma xy + n \Sigma y^2 + c \Sigma y &= \Sigma yz \end{aligned} \quad (9.7)$$

Εν προκειμένω με βάση τα στοιχεία των πινάκων του παραρτήματος Ε, η παραπάνω μεθοδολογία έδωσε τις ακόλουθες σχέσεις

- Για το Δρυμόνα

$$i = \frac{36.27 T^{0.124}}{(t+2.2)^{0.558}} \quad (t \text{ σε h, } i \text{ σε mm/h)}$$

- Για τους Πενταγιούς

$$i = \frac{25.82 T^{0.132}}{(t+0.2)^{0.514}} \quad (t \text{ σε h, } i \text{ σε mm/h)}$$

Οι αντίστοιχες σχέσεις για τα ύψη βροχής είναι

- Για το Δρυμόνα

$$h = 36.27 T^{0.124} \frac{t}{(t + 2.2)^{0.558}} \quad (t \text{ σε h, } i \text{ σε mm/h)}$$

- Για τους Πενταγιούς

$$h = 25.82 T^{0.132} \frac{t}{(t + 0.2)^{0.514}} \quad (t \text{ σε h, } i \text{ σε mm/h)}$$

Η γραφική απεικόνιση των παραπάνω σχέσεων γίνεται στα αντίστοιχα σχήματα του παραρτήματος Ε.

### 9.5. Όμβριες καμπύλες βροχομέτρων

Όπως προαναφέρθηκε προκειμένου να καταρτιστούν όμβριες καμπύλες στις θέσεις των βροχομέτρων αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε μια έμμεση μέθοδος. Η μέθοδος αυτή αξιοποιεί αφ' ενός την πληροφορία που υπάρχει από το συγκεκριμένο βροχόμετρο για τις 24 ώρες και 48 ώρες βροχόπτωσης και αφ'ετέρου την πληροφορία για βροχοπτώσεις μικρότερης διάρκειας από ένα κοντινό βροχογράφο που θεωρείται ως σταθμός βάσης. Εν προκειμένω ως σταθμός βάσης θεωρήθηκε ο βροχογράφος στο Δρυμώνα ως πιο αξιόπιστος και πλησιέστερος (βρίσκεται στη λεκάνη Ευήνου).

Η μέθοδος κάνει αναγωγή των καμπυλών του βροχογράφου ώστε να ταιριάζουν με τις τιμές που προκύπτουν για το υπόψη βροχόμετρο. Προκειμένου να πραγματοποιήσει την αναγωγή, η μέθοδος παίρνει υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές του βροχομέτρου του σταθμού βάσης, και έτσι οι συντελεστές που χρησιμοποιούνται για την αναγωγή προσδιορίζονται ως λόγοι υψών ή εντάσεων βροχής που προέρχονται αποκλειστικά από βροχόμετρα.

Ας έλθουμε τώρα στην πλήρη περιγραφή της μεθόδου.

Έστω:  $x_{24}$ ,  $x_{48}$  οι εντάσεις βροχής του βροχομέτρου σταθμού βάσης που προκύπτουν από τη συνάρτηση Gumbel για δεδομένη περίοδο επαναφοράς  $T$ , διάρκειας 24 και 48 ωρών αντίστοιχα,  $i = \mu / (t+c)^\lambda$  η όμβρια καμπύλη του βροχογράφου του ίδιου σταθμού για την ίδια περίοδο επαναφοράς  $T$  και  $x'_{24}$ ,  $x'_{48}$  οι εντάσεις βροχής που δίνονται από τη συνάρτηση Gumbel στη θέση ή τη λεκάνη που ενδιαφέρει, για διάρκεια 24 και 48 ωρών αντίστοιχα, και για την ίδια περίοδο επαναφοράς  $T$ .

Ας υποθέσουμε ότι η ζητούμενη όμβρια καμπύλη για τη θέση ή τη λεκάνη που ενδιαφέρει είναι της μορφής:

$$i' = \mu' / (t+c)^{\lambda'} \quad (9.8)$$

όπου:  $\mu'$  και  $\lambda'$  σταθερές που πρέπει να προσδιοριστούν, ενώ η παράμετρος  $c$  θεωρείται ίδια με αυτή του σταθμού βάσης.

θα είναι:

$$\begin{aligned} i'_{24} &= \mu' / (24+c)^{\lambda'} \\ i_{24} &= \mu / (24+c)^{\lambda} \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \frac{i'_{24}}{i_{24}} = \frac{\mu'}{\mu} (24+c)^{\lambda-\lambda'} \quad (9.9)$$

Δεχόμαστε ότι:

$$\frac{i'_{24}}{i_{24}} = \frac{x'_{24}}{x_{24}} = \rho_{24} \quad (9.10)$$

Από τις (9.9) και (9.10) έπεται:

$$\frac{\mu'}{\mu} (24+c)^{\lambda-\lambda'} = \rho_{24} \quad (9.11)$$

Όμοια:

$$\frac{\mu'}{\mu} (48+c)^{\lambda-\lambda'} = \rho_{48} \quad (9.12)$$

Διαιρώντας την (9.11) με την (9.12) έχουμε:

$$\frac{(48+c)^{\lambda-\lambda'}}{(24+c)^{\lambda-\lambda'}} = \frac{\rho_{48}}{\rho_{24}} \Rightarrow \left(\frac{48+c}{24+c}\right)^{\lambda-\lambda'} = \frac{\rho_{48}}{\rho_{24}} \Rightarrow$$

$$\lambda' = \lambda - \frac{\ln(\rho_{48}/\rho_{24})}{\ln[(48+c)/(24+c)]} \quad (9.13)$$

Αντικαθιστώντας την (9.13) στην (9.11) προκύπτει:

$$\mu' = \frac{\rho_{24} \mu}{(24+c)^{\lambda-\lambda'}} \quad (9.14)$$

Από τις εξισώσεις (9.13) και (9.14) προσδιορίζονται οι άγνωστες σταθερές  $\mu'$  και  $\lambda'$  της σχέσης (9.8). Στη συνέχεια τίθεται

$$\mu' = \kappa' T^{n'} \quad (9.15)$$

και με απλή παλινδρόμηση υπολογίζονται οι σταθερές  $\kappa'$  και  $n'$  (για δεδομένα σημειοσύνολα  $T-\mu'$ ). Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζονται πλήρως όλες οι σταθερές της γενικής συναρτησιακής σχέσης

$$i = \kappa' T^{n'} / (t+c)^{\lambda'} \quad (9.16)$$

Σημειώνεται ότι η εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου για τον ίδιο σταθμό βάσης δίνει την αρχική όμβρια καμπύλη του σταθμού βάσης, δεδομένου ότι  $\rho_{24} = \rho_{48} = 1$ .

Οι ενδιάμεσοι υπολογισμοί που εκτελέστηκαν φαίνονται πινακοποιημένοι στο παράρτημα Ε.

Οι τελικές σχέσεις που προέκυψαν με την παραπάνω μέθοδο είναι οι ακόλουθες:

- Γραμμένη Οξιά

$$i = \frac{14.93 T^{0.092}}{(t+2.2)^{0.362}}, \quad h = 14.93 T^{0.092} \frac{t}{(t+2.2)^{0.362}}$$

- Αράχοβα

$$i = \frac{7.88 T^{0.056}}{(t+2.2)^{0.171}}, \quad h = 7.88 T^{0.056} \frac{t}{(t+2.2)^{0.171}}$$

- Γρηγόριο

$$i = \frac{9.28 T^{0.089}}{(t+2.2)^{0.198}}, \quad h = 9.28 T^{0.089} \frac{t}{(t+2.2)^{0.198}}$$

- Πλάτανος

$$i = \frac{39.52 T^{0.104}}{(t+2.2)^{0.591}}, \quad h = 39.52 T^{0.104} \frac{t}{(t+2.2)^{0.591}}$$

- Πόρος Ρηγανίου

$$i = \frac{41.64 T^{0.103}}{(t+2.2)^{0.610}}, \quad h = 41.64 T^{0.103} \frac{t}{(t+2.2)^{0.610}}$$

- Ανάληψη

$$i = \frac{36.86 T^{0.103}}{(t+2.2)^{0.627}}, \quad h = 36.86 T^{0.103} \frac{t}{(t+2.2)^{0.627}}$$

- Επιφανειακή βροχόπτωση Λεκάνης Αγ. Δημητρίου κατά Thiessen

$$i = \frac{7.90 T^{0.079}}{(t+2.2)^{0.253}}, \quad h = 7.90 T^{0.079} \frac{t}{(t+2.2)^{0.253}}$$

Χαρακτηριστικές εντάσεις και ύψη βροχής από τις παραπάνω καμπύλες φαίνονται στο παράρτημα Ε. Στον πίνακα 9.3 δίνονται αποσπασματικά αντιπροσωπευτικές τιμές από τις καμπύλες αυτές για διάρκειες βροχής 1h και 24h.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 9.3**  
**ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΟΜΒΡΙΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ**  
**ΓΙΑ ΔΙΑΡΚΕΙΕΣ ΒΡΟΧΗΣ 1h και 24h (σε mm)**

α/α	ΣΤΑΣΜΟΣ	ΟΡΓΑΝΟ	T = 20		T = 50		T = 1000		T = 10.000	
			1h	24h	1h	24h	1h	24h	1h	24h
1	Γραμμένη Οξυά	ΕΜ	12.9	144.7	14.0	157.4	18.5	207.4	22.9	256.3
2	Αράχοβα	ΕΜ	7.6	127.9	8.0	134.7	9.5	159.3	10.8	181.2
3	Γρηγόριο	ΕΜ	9.6	152.2	10.4	165.2	13.6	215.6	16.7	264.7
4	Δρυμώνας	ΒΓ	27.5	204.0	30.8	228.6	44.6	331.4	59.4	440.9
5	Πλάτανος	ΕΜ	27.1	188.0	29.8	206.8	40.8	282.3	51.8	358.7
6	Πόρος Ρηγανίου	ΕΜ	27.9	185.6	30.6	204.0	41.7	277.7	52.9	352.0
7	Ανάληψη	ΕΜ	24.2	155.4	26.6	170.8	36.2	232.5	45.9	294.8
8	Πενταγιοί	ΒΓ	34.9	178.9	39.4	201.9	58.5	299.8	79.3	406.3
9	Επιφανειακά Αγίου Δημητρίου κατά Thiessen	ΕΜ	7.5	105.2	8.0	113.1	10.2	143.2	12.2	171.8

Η παρατήρηση που έγινε στην παράγραφο 9.3 ότι τα ύψη βροχής των τριών σταθμών που βρίσκονται μέσα στη λεκάνη Αγ. Δημητρίου εμφανίζουν σαφώς μικρότερα ύψη βροχής από τους υπόλοιπους σταθμούς, επιβεβαιώνεται και από τον πίνακα 9.3.

#### 9.6. Επιλογή τελικής όμβριας καμπύλης

Στο σχήμα 9.1 φαίνεται το σύνολο των ομβρίων καμπυλών που καταρτίστηκε με τις παραπάνω μεθόδους για περίοδο επαναφοράς 10.000 ετών. Και εδώ εμφανίζονται χαρακτηριστικά οι αποκλίσεις που συζητήθηκαν παραπάνω.

Κανονικά η καμπύλη που θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί για τους υπολογισμούς πλημμυρών στη θέση του φράγματος είναι αυτή της επιφανειακής βροχόπτωσης του Αγ. Δημητρίου. Όμως η καμπύλη αυτή δίνει εξαιρετικά μικρά ύψη βροχής. Παρόμοια συμπεριφορά εμφανίζουν και οι τρεις σημειακές καμπύλες των σταθμών της λεκάνης ανάντη Αγ. Δημητρίου (Γρ. Οξυά, Αράχοβα, Γρηγόριο).

Για το λόγο αυτό δε μπορούν να υιοθετηθούν για την εκτίμηση πλημμυρών. Οι μικρές τιμές των υψών βροχής προκειμένου για μικρές διάρκειες μπορούν να αποδοθούν ενδεχομένως σε αστοχία της μεθόδου αναγωγής που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ομβρίων καμπυλών από βροχόμετρα. Όμως παρόμοια κατάσταση εμφανίζεται και στις μεγάλες διάρκειες βροχής, όπου η παραπάνω αιτιολόγηση δεν ευσταθεί. Σημειωτέον ότι η συμπεριφορά των τριών σταθμών είναι περίπου ενιαία (με πιο ακραία περίπτωση την Αράχοβα). Έτσι μπορεί να θεωρηθεί ότι οι αναλογικά μικρότερες τιμές που εμφανίζονται στη λεκάνη ανάντη του Αγ. Δημητρίου ανταποκρίνονται σε κάποια φυσική πραγματικότητα, αφού δεν υπάρχουν και βάσιμα στοιχεία περί αναξιοπιστίας των σταθμών. Ωστόσο μια πιο συντηρητική (λιγότερο ριψοκίνδυνη) αντιμετώπιση των πλημμυρών πιστεύουμε ότι επιβάλλει την επαύξηση των τιμών που δίνουν οι όμβριες καμπύλες των τριών παραπάνω σταθμών, παίρνοντας υπόψη και τις καμπύλες των εξωτερικών σταθμών. Με το σκεπτικό αυτό καταρτίσαμε γραφικά μέσες όμβριες καμπύλες, οι οποίες βρίσκονται στο ενδιάμεσο μεταξύ των καμπυλών των εξωτερικών και εσωτερικών σταθμών της λεκάνης, στις οποίες δώσαμε στη συνέχεια την ακόλουθη αναλυτική έκφραση

$$i = \frac{28 T^{0.114}}{(t+2.2)^{0.553}}, \quad h = 28 T^{0.114} \frac{t}{(t+2.2)^{0.553}} \quad (9.17)$$

Η παραπάνω καμπύλη, θεωρείται ως αντιπροσωπευτική σημειακή όμβρια καμπύλη και φαίνεται επίσης για  $T=10.000$  στο σχήμα 3.1.

Για την αναγωγή των σημειακών τιμών σε επιφανειακές χρησιμοποιήθηκε σχετικό νομογράφημα του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας (βλ. Sutcliffe, 1978), το οποίο συμφωνεί και με το αντίστοιχο διάγραμμα του U.S. Weather Bureau (βλ. Ξανθόπουλος, 1990). Από το νομογράφημα αυτό για έκταση λεκάνης  $349 \text{ km}^2$  προκύπτουν οι τιμές του μειωτικού επιφανειακού συντελεστή του πίνακα 9.4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9.4  
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΣ ΜΕΙΩΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ  
ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΔΙΑΡΚΕΙΕΣ ΒΡΟΧΗΣ  
ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΝΑΝΤΗ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

Διάρκεια (h)	Μειωτ. Συντελ.
1	0.70
2	0.78
6	0.86
12	0.88
24	0.91
48	0.93

Μια προσεγγιστική αναλυτική έκφραση για τις τιμές αυτές, που μπορεί να συνδυαστεί με την (9.17) είναι η

$$\mu = 0.67(t+2.2)^{0.093} \quad (9.18)$$

Συνδυάζοντας τις (9.17) και (9.18) προκύπτει η ακόλουθη τελική επιφανειακή όμβρια καμπύλη που θα χρησιμοποιηθεί περαιτέρω

$$i = \frac{18.75 T^{0.114}}{(t+2.2)^{0.46}}, \quad h = 18.75 T^{0.114} \frac{t}{(t+2.2)^{0.46}} \quad (9.19)$$

Χαρακτηριστικές τιμές της έντασης και του ύψους βροχής από τις σχέσεις (9.17) και (9.19) δίνονται στους πίνακες 9.5 και 9.6.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 9.5**  
**ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ**  
**ΑΠΟ ΤΗ ΣΗΜΕΙΑΚΗ ΟΜΒΡΙΑ ΚΑΜΠΥΛΗ (9.17)**

	1h	2h	6h	12h	24h	48h
<b>ΕΝΤΑΣΕΙΣ</b>						
T=10	19.13	16.46	11.37	8.39	5.98	4.18
T=20	20.71	17.82	12.31	9.08	6.47	4.52
T=50	22.99	19.78	13.66	10.08	7.19	5.02
T=100	24.88	21.40	14.78	10.91	7.78	5.43
T=200	26.92	23.16	16.00	11.81	8.42	5.87
T=500	29.89	25.71	17.76	13.11	9.34	6.52
T=1000	32.35	27.83	19.22	14.19	10.11	7.06
T=5000	38.86	33.43	23.09	17.05	12.15	8.48
T=10000	42.05	36.18	24.99	18.45	13.15	9.18
<b>ΥΨΗ</b>						
T=10	19.13	32.93	68.23	100.72	143.57	200.41
T=20	20.71	35.63	73.84	109.00	155.37	216.88
T=50	22.99	39.56	81.97	121.01	172.48	240.76
T=100	24.88	42.81	88.71	130.96	186.66	260.56
T=200	26.92	46.33	96.00	141.72	202.01	281.99
T=500	29.89	51.43	106.57	157.33	224.25	313.03
T=1000	32.35	55.66	115.34	170.26	242.69	338.77
T=5000	38.86	66.87	138.56	204.55	291.56	407.00
T=10000	42.05	72.37	149.96	221.37	315.54	440.46

**ΠΙΝΑΚΑΣ 9.6**  
**ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ**  
**ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΟΜΒΡΙΑ ΚΑΜΠΥΛΗ (9.19)**

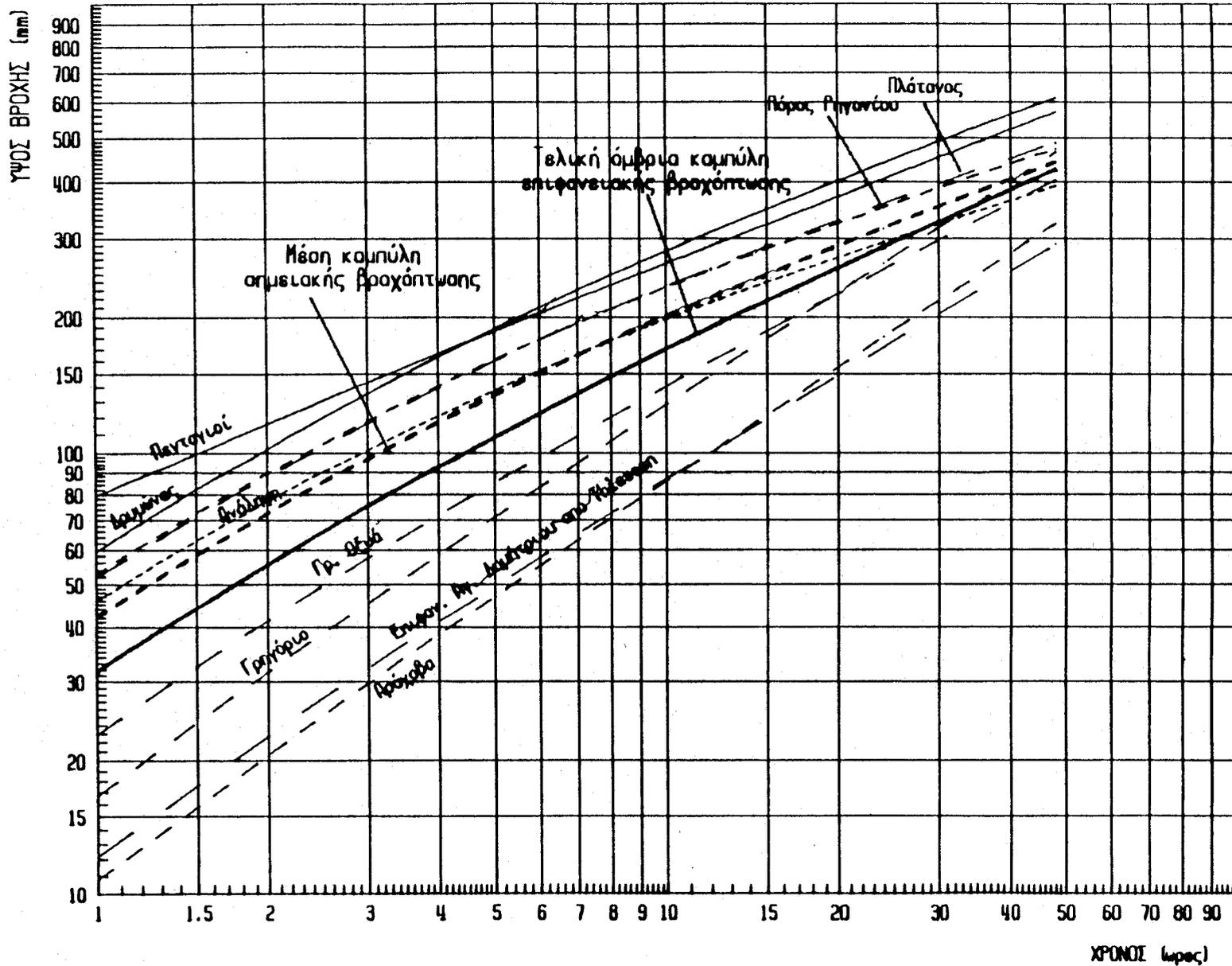
	1h	2h	6h	12h	24h	48h
<b>ΕΝΤΑΣΕΙΣ</b>						
T=10	14.28	12.60	9.26	7.19	5.43	4.02
T=20	15.45	13.63	10.02	7.79	5.87	4.36
T=50	17.15	15.14	11.13	8.64	6.52	4.83
T=100	18.56	16.38	12.04	9.35	7.06	5.23
T=200	20.09	17.73	13.03	10.12	7.64	5.66
T=500	22.30	19.68	14.47	11.24	8.48	6.29
T=1000	24.13	21.30	15.65	12.16	9.17	6.80
T=5000	28.99	25.59	18.81	14.61	11.02	8.17
T=10000	31.38	27.69	29.35	15.81	11.93	8.84
<b>ΥΨΗ</b>						
T=10	14.28	25.20	55.56	86.32	130.25	193.16
T=20	15.45	27.27	60.13	93.42	140.97	209.04
T=50	17.15	30.27	66.75	103.71	156.49	232.06
T=100	18.56	32.76	72.24	112.24	169.35	251.14
T=200	20.09	35.45	78.18	121.46	183.28	271.79
T=500	22.30	39.36	86.79	134.84	203.46	301.72
T=1000	24.13	42.59	93.93	145.93	220.19	326.53
T=5000	28.99	51.17	112.84	175.31	264.53	392.28
T=10000	31.38	55.38	122.12	189.73	286.28	424.54

Σημειώνεται τέλος ότι λόγω των προβλημάτων που επισημάνθηκαν παραπάνω, το θέμα των ομβρίων καμπυλών είναι σκόπιμο να επανεξεταστεί στο στάδιο της οριστικής μελέτης, με βάση και τα νέα δεδομένα που θα έχουν συλλεγεί μέχρι τότε (βλ. και κεφ. 13).

### 9.7. Συγκρίσεις - Συμπεράσματα

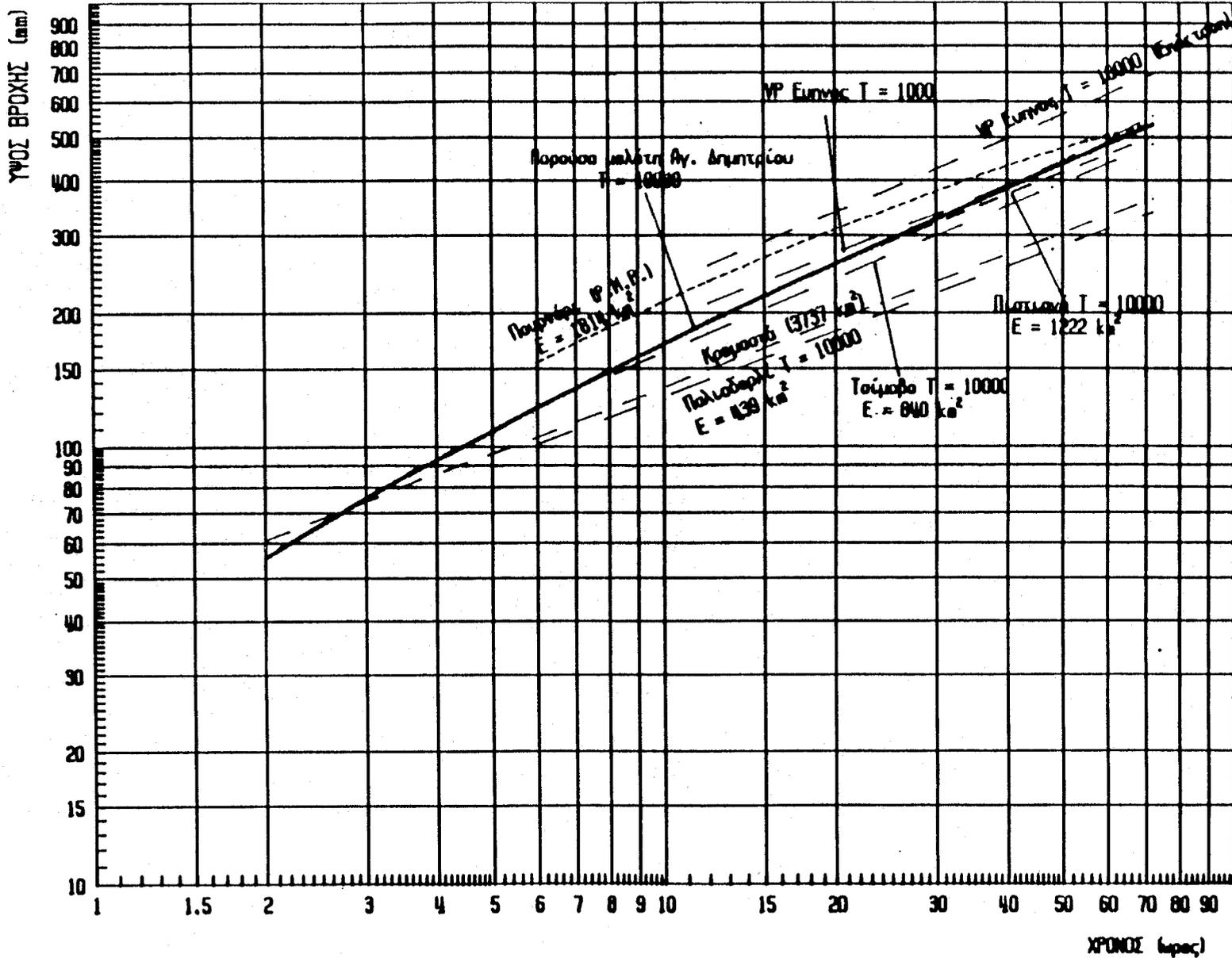
Στο σχήμα 9.2 γίνεται σύγκριση της επιφανειακής όμβριας καμπύλης του Αγ. Δημητρίου (εξ. 9.19) για  $T=10.000$  και ομβρίων καμπυλών που χρησιμοποιήθηκαν σε μελέτες σχεδιασμού υπερχειλιστών άλλων φραγμάτων. Οι αντίστοιχες καμπύλες για τα άλλα φράγματα έχουν ληφθεί από τους Num & Snyder (1972) Koutsoyiannis (1983), Ξανθόπουλος κ.ά. (1988), και Verbund Plan (1972). Παρατηρούμε ότι η καμπύλη της παρούσας μελέτης βρίσκεται στα ίδια περίπου επίπεδα με αντίστοιχες καμπύλες του Αράχθου (Τοίμοβο  $640 \text{ km}^2$ , Πιστιανά  $1222 \text{ km}^2$ ). Σε σχέση με τις αντίστοιχες καμπύλες της Verbund Plan για τον Εύηνο η καμπύλη της παρούσας μελέτης δίνει χαμηλότερες τιμές, και αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η Verbund Plan αναφέρονταν στην ευρύτερη λεκάνη ανάντη του Πόρου Ρηγανίου, ενώ όπως αναλύθηκε παραπάνω η λεκάνη ανάντη Αγ. Δημητρίου εμφανίζει μικρότερες καταιγίδες.

ΟΜΒΡΙΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΕΥΗΝΟΥ  
ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ  $T = 10000$  ΕΤΗ



Σ Χ Η Μ Α 9.1

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΩΝ  
ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ



Σ Χ Η Μ Α 9.2

## 10. ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ

### 10.1. Εισαγωγή

#### 10.1.1. Γενικά

Η κλασική μέθοδος περιγραφής του μετασχηματισμού "Βροχόπτωση - Πλημμυρική Απορροή" είναι η μέθοδος του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Αυτή επιτρέπει την πρόγνωση της χρονικής εξέλιξης των πλημμυρών όταν είναι γνωστή η χρονική εξέλιξη της έντασης βροχής, πράγμα που ενδιαφέρει κυρίως στην κατάρτιση των πλημμυρών σχεδιασμού διάφορων έργων (αντιπλημμυρικών, φραγμάτων κλπ.). Προϋπόθεση για την καταλληλότητα της μεθόδου αυτής είναι η γραμμική συμπεριφορά της λεκάνης απορροής πράγμα που σημαίνει ότι η μαθηματική σχέση μεταξύ της εισόδου στη λεκάνη (στη συγκεκριμένη περίπτωση της βροχόπτωσης) και της αντίστοιχης εξόδου (στη συγκεκριμένη περίπτωση της παροχής στην έξοδο της λεκάνης) περιγράφεται από μια γραμμική διαφορική εξίσωση με σταθερούς συντελεστές.

Βεβαίως η άμεση εφαρμογή της μεθόδου απαιτεί να είναι διαθέσιμα επαρκή υδρομετρικά και βροχομετρικά στοιχεία στη λεκάνη απορροής. Η έννοια της επάρκειας των στοιχείων θα αναλυθεί παρακάτω. Το σημαντικό όμως πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι μπορεί να επεκταθεί και σε λεκάνες που δεν έχουν υδρομετρικό εξοπλισμό. Η επέκταση αυτή μπορεί να γίνει είτε με μεταφορά μοναδιαίου υδρογραφήματος από μια λεκάνη σε μια άλλη, με παρόμοια συμπεριφορά, είτε με απευθείας σύνθεση του μοναδιαίου υδρογραφήματος, βάσει τοπογραφικών και υδροκλιματικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής.

#### 10.1.2. Προϋποθέσεις Εφαρμογής του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένα, η βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι η γραμμικότητα της λεκάνης απορροής. Όπως έδειξε η εμπειρία, αυτή η βασική προϋπόθεση ισχύει με ανεκτή προσέγγιση μόνο εφόσον η λεκάνη απορροής και η βροχόπτωση πληρούν τις ακόλουθες προϋπο-

θέσεις (βλ. Ξανθόπουλος [1990], USBR [1977]).

- 1) Η λεκάνη απορροής είναι ομογενής ως προς την απορροή, δηλαδή η απάντηση της στη συνολική βροχόπτωση είναι επίσης συνολική, ποιοτικά ομογενής και ενιαία. Η ύπαρξη χαμηλών περιοχών, που κατακλύζονται και απορρέουν σε άλλη χρονική κλίμακα, ή τοπικών διαπερατών περιοχών σε ένα αδιαπέρατο σύνολο λεκάνης αποκλείει την εφαρμογή του μοναδιαίου υδρογραφήματος.
- 2) Οι καταιγίδες πρέπει να είναι χωρικά ομοιόμορφες και να προκαλούν ταυτόχρονα απορροή από όλη τη λεκάνη.
- 3) Οι βροχοπτώσεις πρέπει να είναι σύντομες και να εμφανίζουν την ίδια χρονική κατανομή σε όλη τη λεκάνη.
- 4) Στην επιφανειακή απορροή δεν πρέπει να περιέχονται σημαντικές ποσότητες απορροής από τήξη χιονιού.

Από τις παραπάνω προϋποθέσεις, η πρώτη αναφέρεται σε χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, ενώ οι υπόλοιπες αναφέρονται σε χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης ή του συνδυασμού της με άλλους κλιματικούς παράγοντες. Κατά συνέπεια μόνο η πρώτη προϋπόθεση μπορεί να είναι απαγορευτική για τη χρήση του μοναδιαίου υδρογραφήματος σε μια συγκεκριμένη λεκάνη, ενώ οι άλλες αποτελούν κριτήρια επιλογής των κατάλληλων βροχοπτώσεων, που μπορούν να συνδυαστούν με το μοντέλο του μοναδιαίου υδρογραφήματος.

Στην πραγματικότητα όμως και η δεύτερη παραδοχή δημιουργεί απαγορευτικές συνθήκες για την εφαρμοσιμότητα της μεθόδου. Πράγματι, στις λεκάνες με πολύ μεγάλο εμβαδό σπάνια η βροχόπτωση έχει χωρική ομοιομορφία και αυτό περιορίζει την εφαρμογή του μοναδιαίου υδρογραφήματος σε μικρές λεκάνες απορροής. Βεβαίως το "απαγορευτικό όριο" για το εμβαδό της λεκάνης απορροής δεν είναι μονοσήμαντα καθορισμένο, αφού εξαρτάται από τη γενικότερη κλιματολογία της περιοχής. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται τιμές από 500 km<sup>2</sup> (Sutcliffe [1978]) μέχρι 5000 km<sup>2</sup> (Linsley [1975]). Πιο αναλυτικά ο Sutcliffe (του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας) αναφέρει ότι το όριο των 500 km<sup>2</sup> προέκυψε από τις απαιτήσεις για την ανάλυση ιστορικών πλημμυρών (για την παραγωγή του μοναδιαίου

υδρογραφήματος), αλλά για την παραγωγή πλημμυρών σχεδιασμού είναι απολύτως λογικό να θεωρηθεί χωρικά ομοιόμορφη βροχόπτωση σε εκτάσεις πολύ μεγαλύτερες των 500 km<sup>2</sup>. Έτσι θεωρείται ότι η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε λεκάνες με εμβαδό της τάξης των 1000 km<sup>2</sup>, ενώ για ακόμη μεγαλύτερες συνιστάται η υποδιαίρεση της λεκάνης σε επιμέρους υπολεκάνες.

Η τρίτη από τις παραπάνω προϋποθέσεις στην ουσία προκύπτει από τις απαιτήσεις για την ανάλυση των ιστορικών πλημμυρών και δεν αποτελεί θεωρητικό περιορισμό της μεθόδου του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Γι' αυτό και στις εφαρμογές το μοναδιαίο υδρογράφημα χρησιμοποιείται για την παραγωγή πλημμυρών σχεδιασμού που προκαλούνται από πολύ μεγάλης διάρκειας (24ωρες, 48ωρες ή/και ακόμα μεγαλύτερες) βροχοπτώσεις.

Τέλος, η τέταρτη προϋπόθεση είναι ουσιαστική αφού το μοναδιαίο υδρογράφημα δε μπορεί να περιγράψει τη διαδικασία της τήξης του χιονιού. Σε περιπτώσεις που η άμεση απορροή συνδυάζεται με απορροή από τήξη χιονιού, η ποσοτική εκτίμηση της δεύτερης γίνεται με διαφορετικές μεθόδους και στη συνέχεια γίνεται επαλληλία των δύο αντίστοιχων υδρογραφημάτων.

### 10.1.3. Προϋποθέσεις για την κατάρτιση του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος

Θα αναφερθούμε στις προϋποθέσεις για την άμεση σύνταξη ενός πραγματικού μοναδιαίου υδρογραφήματος βάσει καταγραμμένων πλημμυρογραφημάτων και όχι για την έμμεση "σύνθεση" του από τοπογραφικά και άλλα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Οι προϋποθέσεις αυτές κωδικοποιούνται τα ακόλουθα:

#### (1) Προϋποθέσεις Μετρητικού Εξοπλισμού της Λεκάνης

Προφανώς η λεκάνη θα πρέπει να είναι εξοπλισμένη με πλήρη υδρομετρικό σταθμό στην έξοδο της, ο οποίος πρέπει να περιλαμβάνει και σταθμηγράφο, ώστε να μπορεί να γίνει η αναγωγή της στάθμης σε παροχή σε συνεχή χρονική βάση. Εξάλλου είναι απαραίτητο να υπάρχουν ορισμένοι βροχογραφικοί

σταθμοί, ομοιόμορφα κατανεμημένοι στη λεκάνη απορροής, ώστε να μπορεί να διαπιστωθεί η χωρική ομογένεια ή όχι της κάθε βροχόπτωσης και να προσδιοριστεί η χρονική της κατανομή. Στη χειρότερη περίπτωση θα πρέπει να υπάρχει ένας τουλάχιστον βροχογράφος και παράλληλα ένας επαρκής (ανάλογα με την έκταση της λεκάνης) αριθμός βροχομέτρων.

## (2) Φυσικές Προϋποθέσεις

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο η λεκάνη απορροής θα πρέπει να πληρεί ορισμένους όρους φυσικής διαμόρφωσης (βλ. προϋπόθεση (1) παραγράφου 10.1.3.) και να έχει εμβαδό μικρότερο από ένα όριο π.χ. 500 km<sup>2</sup>.

### 10.1.4. Ορισμοί και Βασικές Σχέσεις

Εστω  $U_D(t)$  είναι το μοναδιαίο υδρογράφημα μιας λεκάνης απορροής για διάρκεια βροχής  $D$ . Ουσιαστικά η συνάρτηση  $U_D(t)$  δίνει την παροχή στην έξοδο της λεκάνης στο χρόνο  $(t)$ , μετά από καθαρή βροχόπτωση διάρκειας  $D$  και ύψους  $H_D = 10 \text{ mm}$ , (έντασης  $I_D = 10/D$ ), ομοιόμορφα κατανεμημένης στο χρόνο και το χώρο. Θεωρητικά μπορεί να οριστεί το μοναδιαίο υδρογράφημα και για μηδενική διάρκεια βροχής ( $d = 0$ ),  $U_0(t)$  το οποίο λέγεται στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα. Τέλος ορίζεται η καμπύλη  $S_D(t)$ , η οποία είναι το υδρογράφημα για άπειρη διάρκεια βροχής, με σταθερή ένταση  $I = 10/D$ . Η συνάρτηση  $S_D(t)$  συνδέεται με το μοναδιαίο υδρογράφημα  $U_D(t)$  με τη σχέση:

$$U_D(t) = S_D(t) - S_D(t-d) \quad (10.1)$$

και με το στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα  $U_0(t)$  με τη σχέση:

$$S_D(t) = \frac{1}{D} \int_0^t U_0(\tau) d\tau \quad (10.2)$$

Τα εμβαδά που περικλείονται κάτω από τις καμπύλες  $U_D(t)$  και  $U_0(t)$  είναι ίσα μεταξύ τους (ανεξάρτητα του  $D$ ), παριστάνουν τον όγκο της πλημμύρας και δίνονται από την προφανή σχέση:

$$V_0 = \int_0^{T_D} U_D(t) dt = \int_0^{T_0} U_0(t) dt = H_0 \cdot A = V_0 \quad (10.3)$$

όπου  $h=10\text{mm}$  το καθαρό ύψος βροχής του ορισμού του μοναδιαίου υδρογραφήματος,  $A$  είναι το εμβαδό της λεκάνης απορροής, ενώ τα  $T_D$  και  $T_0$  είναι αρκετά μεγάλες διάρκειες (θεωρητικά μπορεί να είναι και άπειρες) στις οποίες μηδενίζεται η απορροή και αναφέρονται ως διάρκειες πλημμύρας.

Συνέπεια των (10.2) και (10.3) είναι ότι η οριακή τιμή της καμπύλης  $S_D(t)$ , για μεγάλες τιμές του χρόνου  $t$ , (θεωρητικά όταν το  $t$  τείνει στο άπειρο), είναι:

$$Q_0 = \max S_D = \frac{H_0}{D} \cdot A = \frac{V_0}{D} \quad (10.4)$$

Η σχέση (10.4), παίρνει την ακόλουθη έκφραση για τις συνήθως χρησιμοποιούμενες μονάδες ( $A$  σε  $\text{km}^2$ ,  $D$  σε  $h$ ,  $H_0 = 10 \text{ mm}$ ):

$$Q_0 = \max S_D [\text{m}^3/\text{sec}] = \frac{A [\text{km}^2]}{0.36 \cdot d [h]} \quad (10.5)$$

Οι ακόλουθες τυποποιημένες μορφές του μοναδιαίου υδρογραφήματος προκύπτουν όταν οι τεταγμένες του διαιρεθούν με τον όγκο  $V_0$ :

$$u_D(t) = \frac{U_D(t)}{V_0} \quad (10.6)$$

$$u_0(t) = \frac{U_0(t)}{V_0} \quad (10.7)$$

Οι συναρτήσεις  $u_D(t)$  και  $u_0$  έχουν διαστάσεις  $(\text{χρόνος})^{-1}$  και έχουν τη χαρακτηριστική ιδιότητα:

$$\int_0^{T_D} u_D(t) dt = \int_0^{T_0} u_0(t) dt = 1 \quad (10.8)$$

Η πλήρης αδιαστατοποιημένη μορφή του μοναδιαίου υδρογραφήματος προκύπτει με την αδιαστατοποίηση και του χρόνου, με διαίρεση του με τη χρονική σταθερά  $\mu$ :

$$t^* = t/\mu \quad (10.9)$$

$$u_D^*(t^*) = \mu \cdot u_D(t) = \frac{\mu}{V_0} U_D(t) \quad (10.10)$$

$$u_0^*(t^*) = \mu \cdot u_0(t) = \frac{\mu}{V_0} U_0(t) \quad (10.11)$$

Η χρονική σταθερά  $\mu$  λαμβάνεται συνήθως ίση με το χρόνο που αντιστοιχεί στο κέντρο βάρους του στιγμιαίου υδρογραφήματος, ήτοι

$$\mu = \int_0^{T_0} t u_0(t) dt \quad (10.12)$$

Με συνδυασμό των σχέσεων (10.6) και (10.7) με τις (10.9) έως (10.11) προκύπτουν οι ακόλουθες:

$$\int_0^{T_D/\mu} u_D^*(t^*) dt^* = 1 \quad (10.13)$$

$$\int_0^{T_0/\mu} u_0^*(t^*) dt^* = 1 \quad (10.14)$$

#### 10.1.5. Συνήθης γραμμική κατάρτιση μοναδιαίου Υδρογραφήματος

Εστω  $Q(t)$  η παροχή που οφείλεται στην επιφανειακή απορροή μιας λεκάνης με μοναδιαίο υδρογράφημα  $U_D(t)$ , μετά από βροχόπτωση με ωφέλιμο υετόγραμμα  $I(t)$ . Θεωρούμε ότι η βροχόπτωση εμφανίζει ομοιόμορφη ένταση  $I_j$  σε κάθε επιμέρους χρονικό διάστημα:

$$\Delta t_j = (t_{j-1}, t_j)$$

όπου,

$$t_j - t_{j-1} = D$$

και κατά συνέπεια το ύψος βροχής σε κάθε επιμέρους χρονικό διάστημα  $\Delta t_j$  είναι:

$$h_j = D \cdot I_j$$

Σύμφωνα με τη θεωρία του μοναδιαίου υδρογραφήματος η παροχή στο χρόνο  $t_j$  δίνεται από τη σχέση:

$$Q(t_j) = \sum_{\kappa=m}^n U_D(t_{j+1-\kappa}) \cdot H_{\kappa}/H_0, \quad (j=1, 2, \dots, N_U+N_H-1) \quad (10.15)$$

$$\text{όπου: } m = \max(1, i+1-N_U) \quad (10.16)$$

$$n = \min(i, N_Q) \quad (10.17)$$

$$N_U = \frac{t_U}{D} - 1 = \text{αριθμός τεταγμένων μοναδιαίου υδρογραφήματος ανά χρονικά διαστήματα μήκους } D$$

$$N_H = \frac{t_H}{D} = \text{αριθμός χρονικών διαστημάτων μήκους } D \text{ στο καθαρό υετόγραμμα}$$

$$t_U = \text{ολική διάρκεια μοναδιαίου υδρογραφήματος}$$

$$t_H = \text{ολική διάρκεια καθαρής βροχόπτωσης}$$

Η εξίσωση (10.15) χρησιμοποιείται είτε για τον προσδιορισμό του υδρογραφήματος  $Q(t)$  όταν είναι γνωστό το μοναδιαίο υδρογράφημα  $U_D(t)$  και το υετόγραμμα  $I(t)$ , είτε για τον προσδιορισμό του μοναδιαίου υδρογραφήματος  $U_D(t)$  όταν είναι γνωστά τα  $Q(t)$  και  $I(t)$ . Στην τελευταία περίπτωση, που μας απασχολεί εδώ, η σχέση (2.15) εφαρμοζόμενη για  $j=1$  μέχρι  $N_U+N_H-1$  δίνει  $N_U+N_H-1$  γραμμικές εξισώσεις, με άγνωστες τις  $N_U$  τεταγμένες του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Για  $N_H > 1$  το εν λόγω γραμμικό σύστημα έχει περισσότερες εξισώσεις από τον αριθμό των αγνώστων και η επίλυση του συνίσταται στην εύρεση της βέλτιστης λύσης, δηλαδή της λύσης που δίνει το μικρότερο σφάλμα στην προσαρμογή με τις εξισώσεις. Οι σχετικές μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται (βλ. Raudkivi, 1979) στηρίζονται είτε στη γραμμική άλγεβρα είτε στις σειρές Fourier.

Βεβαίως η απόκριση της λεκάνης δεν είναι πάντα η ίδια σε κάθε καταγίδα, γι' αυτό και το μοναδιαίο υδρογράφημα που προκύπτει από κάθε πλημμυρικό επεισόδιο είναι διαφορετικό από τα άλλα. Αυτός είναι και ο λόγος που θα πρέπει να διατίθενται τουλάχιστον 5 καταγραμμένα πλημμυρικά επεισόδια, ώστε να είναι δυνατό να εξαχθεί ένα αντιπροσωπευτικό "μέσο" μοναδιαίο υδρογράφημα της λεκάνης. Οι σχετικές τεχνικές είναι συνήθως εμπειρικές ή γραφικές (βλ. Ξανθόπουλος, 1984).

#### 10.1.6. Παραμετρική μέθοδος κατάρτισης μοναδιαίου υδρογραφήματος

Η παραμετρική μέθοδος συνίσταται στην υπόθεση μιας κατάλληλης

αναλυτικής έκφρασης του μοναδιαίου υδρογραφήματος, με περιορισμένο αριθμό παραμέτρων, και την εκτίμηση των παραμέτρων αυτών βάσει γνωστών περιορισμών ή με βελτιστοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης όπως αναλυτικότερα αναπτύσσεται παρακάτω.

Η μέθοδος προτάθηκε από τον Nash (1959) και έχει διερευνηθεί αναλυτικά από τους Koutsoyiannis & Xanthopoulos (1989), οι οποίοι δίνουν μια σειρά από κατάλληλες αναλυτικές εκφράσεις για την έκφραση του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος και συγκρίνουν δύο διαφορετικές μεθόδους εκτίμησης των παραμέτρων του. Η πρώτη μέθοδος είναι η μέθοδος των ροπών, η οποία θεμελιώθηκε από τον Nash (1959) και στηρίζεται σε απλές σχέσεις μεταξύ των τριών πρώτων ροπών του μοναδιαίου υδρογραφήματος και των αντίστοιχων ροπών του υετογραφήματος και του παρατηρημένου πλημμυρογραφήματος. Η δεύτερη μέθοδος είναι αυτή του ελάχιστου τετραγωνικού σφάλματος και στηρίζεται στην ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης

$$g(a, b, c, \dots) = \sum_{i=1}^m (Q_i - Q_i^*)^2 \quad (10.18)$$

όπου  $g()$  είναι η αντικειμενική συνάρτηση,  $a, b, c, \dots$ , οι προς εκτίμηση παράμετροι του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος,  $i$  είναι χρονικός δείκτης,  $Q_i$  οι τεταγμένες του καταγραμμένου πλημμυρογραφήματος,  $Q_i^*$  οι αντίστοιχες τεταγμένες του υδρογραφήματος που προκύπτει σύνθεση του καθαρού υετογραφήματος και του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος και  $m$  μια αρκετά μεγάλη ακέραια χρονική σταθερά (= διάρκεια καταγραμμένης πλημμύρας). Η ελαχιστοποίηση της συνάρτησης  $g()$  γίνεται με διαδοχικές επαναλήψεις, όπου κάθε επανάληψη αντιστοιχεί ένα προεπιλεγμένο σύνολο παραμέτρων ( $a, b, c, \dots$ ). Τα βήματα κάθε επανάληψης είναι τα ακόλουθα:

- (1) Υπολογισμός του τυποποιημένου στιγμιαίου υδρογραφήματος από την αντίστοιχη αναλυτική έκφραση  $u_0(t)$
- (2) Υπολογισμός του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος  $V_0(t)$  από τη σχέση (10.7)

- (3) Υπολογισμός της καμπύλης  $S_D(t)$  από τη σχέση (10.2)
- (4) Υπολογισμός του μοναδιαίου υδρογραφήματος  $V_D(t)$  για διάρκεια βροχής  $D$  ίση με τη χρονική ισοδιάσταση  $D$  του υετογραφήματος, από τη σχέση (10.1)
- (5) Υπολογισμός του σύνθετου πλημμυρογραφήματος από τη σχέση (10.16)
- (6) Υπολογισμός του τετραγωνικού σφάλματος από τη σχέση (10.18)

Τελικά επιλέγεται εκείνο το σύνολο παραμέτρων που δίνει το ελάχιστο τετραγωνικό σφάλμα.

Από τις διάφορες αναλυτικές σχέσεις που έχουν μελετηθεί για την έκφραση του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος παρατίθεται εδώ η λογαριθμοκανονική, που χρησιμοποιήθηκε για λόγους που εξηγούνται σε επόμενες παραγράφους.

Η αναλυτική της έκφραση είναι

$$u_0(t) = \frac{1}{t(\pi b)^{1/2}} \exp\left[\frac{-\ln^2(t/a)}{b}\right], \quad t \geq 0 \quad (10.19)$$

όπου  $\lambda$  είναι παράμετρος κλίμακας και  $b$  παράμετρος σχήματος. Ο χρόνος ανόδου του  $u_0(t)$  είναι

$$t_p = \lambda e^{-b/2} \quad (10.20)$$

και ο μέσος χρόνος (πρώτη ροπή) του σχήματος

$$t_v = \lambda e^{b/4} \quad (10.21)$$

Η βασική ιδιότητα της παραμετρικής μεθόδου είναι ο περιορισμένος αριθμός παραμέτρων που χρησιμοποιεί (π.χ. στη σχέση 10.19 χρησιμοποιούνται μόνο δύο παράμετροι) έναντι του πλήθους παραμέτρων που χρησιμοποιεί η κλασική γραμμική μέθοδος. Παρόλο που φαινομενικά ο περιορισμένος αριθμός παραμέτρων οδηγεί σε μειωμένη ακρίβεια υπολογισμών, αυτό στην πράξη δε συμβαίνει, γιατί οι άλλες ανακρίβειες που υπεισέρχονται στην κατάρτιση του

μοναδιαίου υδρογραφήματος (καμπύλη στάθμης-παροχής, διαχωρισμός βασικής ροής, διαχωρισμός απωλειών βροχής, χωρική και χρονική κατανομή βροχής) είναι πολύ πιο σημαντικές από αυτές που προέρχονται από τον περιορισμό των παραμέτρων.

Ο περιορισμένος αριθμός παραμέτρων θεωρείται πλεονέκτημα σε περιπτώσεις που χρειάζεται να εγκαθιδρυθούν σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών του μοναδιαίου υδρογραφήματος και της λεκάνης, προκειμένου να καταστεί δυνατή η μεταφορά σε άλλες λεκάνες ή υπολεκάνες της περιοχής. Η παραμετρική μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη για τη λείανση ενός μοναδιαίου υδρογραφήματος που έχει παραχθεί με τη συνήθη γραμμική μέθοδο με σκοπό την αποφυγή των προβλημάτων που παρουσιάζονται κατά τη διαδικασία μετασχηματισμού του μοναδιαίου υδρογραφήματος από μια διάρκεια σε άλλη.

#### 10.2. Μεθοδολογία κατάρτισης μοναδιαίου υδρογραφήματος στη θέση φράγματος Αγίου Δημητρίου

Κατ' αρχήν η λεκάνη απορροής του Ευήνου ανάντη της θέσης φράγματος Αγίου Δημητρίου έχει χαρακτηριστικά που επιτρέπουν την εφαρμογή της θεωρίας του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Η λεκάνη είναι ομογενής ως προς τα φυσικά χαρακτηριστικά, και κατά συνέπεια και ως προς την απορροή, και η έκταση της (349 km<sup>2</sup>) είναι οπωσδήποτε μέσα στα συνήθη όρια που τίθενται για την εφαρμοσιμότητα της μεθόδου.

Είναι προφανές ότι από άποψη ακρίβειας και αξιοπιστίας των υπολογισμών, η προτιμότερη μέθοδος παραγωγής του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι η άμεση, και ακολουθούν κατά σειρά οι μέθοδοι της μεταφοράς και της σύνθεσης.

Για τη θέση φράγματος Αγίου Δημητρίου η άμεση παραγωγή του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι αδύνατη, δεδομένου ότι δεν έχει λειτουργήσει σταθμηγράφος στην περιοχή της θέσης φράγματος, ενώ δεν υπάρχει κανένας βροχογράφος στην ανάντη υπολεκάνη. Είναι όμως ενδεχόμενο ότι στη φάση της οριστικής μελέτης των έργων θα υπάρχουν κάποιες μετρήσεις από το σταθμηγράφο που από μνημών έχει

εγκατασταθεί στο σταθμό Νεοχωρίου της ΔΕΗ, και έτσι θα καταστεί δυνατό να εφαρμοστεί η άμεση μέθοδος, ή τουλάχιστον να επαληθευτεί το μοναδιαίο υδρογράφημα. Απαραίτητη προϋπόθεση για αυτό είναι η εγκατάσταση ενός τουλάχιστον βροχογράφου στην υπολεκάνη ανάντη του Νεοχωρίου.

Η μέθοδος της μεταφοράς του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι δυνατή, δεδομένου ότι ο κατάντη σταθμός του Πόρου Ρηγανίου διαθέτει τις μετρήσεις που επιτρέπουν την άμεση παραγωγή μοναδιαίου υδρογραφήματος. Μάλιστα τέτοιο μοναδιαίο υδρογράφημα έχει παραχθεί στα πλαίσια της μελέτης της Verbund Plan (1972).

Για τη μεταφορά του μοναδιαίου υδρογραφήματος στη θέση φράγματος Αγίου Δημητρίου χρησιμοποιήθηκαν εμπειρικές σχέσεις από τη διεθνή και ελληνική εμπειρία, όπως αναλυτικά αναφέρεται παρακάτω. Το μοναδιαίο υδρογράφημα που προέκυψε κατά τον τρόπο αυτό επαληθεύτηκε και με καθιερωμένες μεθόδους σύνθεσης.

### 10.3. Το μοναδιαίο υδρογράφημα στη θέση Πόρος Ρηγανίου

Στη μελέτη της Verbund Plan (1972) καταρτίστηκε μοναδιαίο υδρογράφημα στη θέση Πόρος Ρηγανίου (θέση φράγματος Φαμίλας) το οποίο στην παρούσα μελέτη αξιοποιήθηκε προκειμένου να καταρτιστεί μοναδιαίο υδρογράφημα στη θέση φράγματος Αγίου Δημητρίου. Το μοναδιαίο υδρογράφημα του Πόρου Ρηγανίου υπολογίστηκε από πλημμυρογραφήματα που καταρτίστηκαν με βάση τα σταθμηγραφήματα. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν έξι πλημμυρογραφήματα (13-15.2.1962, 12-14.2.1963, 18-20.12.1963, 11-14.1.1966, 13-15.12.1966 και 10-11.12.1969). Η επιλογή αυτών των πλημμυρογραφημάτων έγινε με κριτήρια την αξιοπιστία τους και την ύπαρξη μιας μοναδικής πλημμυρικής αιχμής χωρίς προηγούμενα ή επόμενα πλημμυρικά κύματα. Για το διαχωρισμό της βασικής ροής χρησιμοποιήθηκαν οριζόντιες ή κεκλιμένες ευθείες. Οι απώλειες βροχής θεωρήθηκαν σταθερές. Τα ολικά επιφανειακά ύψη βροχής υπολογίστηκαν από υσούετιες που χάρακταν με βάση ημερήσια διήμερα, ή τριήμερα ύψη βροχής. Για την κατανομή της επιφανειακής βροχής στο χρόνο, με ισοδιάσταση 2 ωρών χρησιμοποιήθηκαν οι ταινίες των βροχογράφων Πόρου Ρηγανίου (λεκάνη Ευήνου), Κρίκελλου (λεκάνη Τρικεριώτη) και Προυσού (λεκάνη Τρικεριώτη). Η

επιφανειακή ολοκλήρωση στην περίπτωση αυτή έγινε με τη μέθοδο Thiessen.

Η παραγωγή των ξεχωριστών μοναδιαίων υδρογραφήματων για τα πιο πάνω έξι πλημμυρικά επεισόδια έγινε με υπολογιστή, με τη χρήση της συνήθους γραμμική μεθόδου. Από τα έξι μοναδιαία υδρογραφήματα προέκυψε το τελικό μοναδιαίο υδρογράφημα της Verbund Plan, ως σταθμισμένος μέσος όρος τους. Ως βάση για το σταθμισμένο μέσο όρο χρησιμοποιήθηκαν οι αιχμές των αντίστοιχων πλημμυρογραφήματων, προκειμένου να δοθεί με αυτό τον τρόπο μεγαλύτερη έμφαση στα υδρογραφήματα που προέρχονται από πιο έντονα πλημμυρικά επεισόδια.

Η πιο πάνω μέθοδος παραγωγής του μοναδιαίου υδρογραφήματος από τη Verbund Plan κρίνεται γενικά ως αξιόπιστη. Το τελικό της υδρογράφημα, που φαίνεται στον πίνακα 10.1 και στο σχήμα 10.1 (με την ένδειξη: αρχικό V.P.), εμφανίζει χρόνο ανόδου  $t_p = 8h$  και παροχή αιχμής  $169.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Το υδρογράφημα αυτό εμφανίζει δύο επουσιώδη προβλήματα:

- (α) έχει πολύ μεγάλη χρονική διάρκεια (πάνω από 72h) που οφείλεται στο γεγονός ότι η βασική ροή εκτιμήθηκε κατά βάση ως σταθερή ή με πολύ ήπια αύξηση, και
- (β) το εμβαδό του δε συμβαδίζει με το εμβαδό της λεκάνης απορροής. Τα προβλήματα αυτά διορθώθηκαν με κατάλληλες επεμβάσεις και προέκυψε το υδρογράφημα που στον πίνακα 10.1 και στο σχήμα 10.1 χαρακτηρίζεται ως μετασχηματισμένο. Η παροχή αιχμής του τελευταίου φτάνει στα  $176.9 \text{ m}^3/\text{sec}$

Για λόγους αποφυγής προβλημάτων κατά την αλλαγή χρονικής διάρκειας του μοναδιαίου υδρογραφήματος, αλλά κυρίως για την εξυπηρέτηση της μεταφοράς του στη θέση φράγματος Αγίου Δημητρίου, έγινε χρήση της παραμετρικής μεθόδου, και υπολογίστηκε έτσι το στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα, σε τρόπο ώστε το προκύπτον μοναδιαίο υδρογράφημα διάρκειας 2h να προσαρμόζεται κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο στο παραπάνω μετασχηματισμένο μοναδιαίο υδρογράφημα.

Συγκεκριμένα η αναλυτική μορφή που χρησιμοποιήθηκε είναι η λογαριθμοκανονική, που δίνεται στην εξίσωση (10.19). Η επιλογή αυτής της μορφής υπαγορεύτηκε από τη μεγάλη ασυμμετρία του υπόψη μοναδιαίου υδρογραφήματος, η οποία γενικά αποδίδεται από τη λογαριθμοκανονική μορφή. Για την εκτίμηση των παραμέτρων (των  $a$  και  $b$ ) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του ελάχιστου τετραγωνικού σφάλματος (σχέση 10.18). Επί πλέον για την εκτίμηση των παραμέτρων επιβλήθηκαν ως περιορισμοί η διατήρηση του χρόνου ανόδου του μ.υ. 2h στις 8h και η διατήρηση της παροχής αιχμής του. Κατά τον τρόπο αυτό οι παράμετροι του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος προέκυψαν  $a = 9.97 h$  και  $b = 0.95$ , που δίνουν χρόνο ανόδου  $t_p = 6.2 h$ . Το στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα με παροχή αιχμής  $180.6 m^3/sec$  φαίνεται στο σχήμα 10.2.

Το προκύπτον από αυτό μοναδιαίο υδρογράφημα 2 ωρών, με χρόνο ανόδου 8h και παροχή αιχμής  $176.8 m^3/sec$  φαίνεται για λόγους σύγκρισης στον Πίνακα 10.1 και το σχήμα 10.1.

#### 10.4. Μοναδιαίο υδρογράφημα στη θέση φράγματος Αγίου Δημητρίου

Προκειμένου να γίνει μεταφορά του μοναδιαίου υδρογραφήματος στη θέση φράγματος Αγ. Δημητρίου έγινε κατ' αρχήν η παραδοχή ότι το σχήμα του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος, σε αδιάστατη μορφή, διατηρείται κατά τη μεταφορά. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι δε μεταβάλλεται η παράμετρος  $b$  της αναλυτικής έκφρασης, άρα η προς προσδιορισμό παράμετρος είναι η  $a$ . Ο προσδιορισμός της τελευταίας μπορεί να βασιστεί σε μια χρονική σταθερά, που εδώ ως τέτοια επιλέχτηκε ο χρόνος ανόδου του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος. Η χρονική σταθερά αυτή έχει συσχετιστεί στη βιβλιογραφία με διάφορα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Ας σημειωθεί ότι στην παράκατω ανάλυση δε χρησιμοποιούνται οι σχέσεις της βιβλιογραφίας για τον πλήρη προσδιορισμό της χρονικής σταθεράς, αλλά για τον προσδιορισμό της αναλογίας της με την αντίστοιχη σταθερά της λεκάνης ανάντη του Πόρου Ρηγανίου. Για το λόγο αυτό δεν χρειάζεται να είμαστε αυστηροί στον ορισμό της χρονικής σταθεράς, σε συμφωνία με τον ορισμό που για κάθε μέθοδο δίνεται στην αντίστοιχη βιβλιογραφία (π.χ. στη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας χρησιμοποιείται ως χρονική

σταθερά ο χρόνος ανόδου του μοναδιαίου υδρογραφήματος 1 ώρας, ενώ εδώ χρησιμοποιούμε το χρόνο ανόδου του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος, αλλά ωστόσο η αναλογία από λεκάνη σε λεκάνη ελάχιστα επηρεάζεται από αυτή τη διαφορά).

Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση και χρήση των μεθόδων της βιβλιογραφίας δίνουμε τα βασικά φυσιογραφικά χαρακτηριστικά των δύο λεκανών απορροής όπως αυτά προέκυψαν από χάρτες 1:50.000 και τη μηκοτομή του ποταμού σε κλίμακα μηκών 1:50.000.

	Λεκάνη ανάντη Αγ. Δημητρίου	Λεκάνη ανάντη Πόρου Ρηγανίου
Έκταση, A (km <sup>2</sup> )	349.0	884.0
Μήκος υδατορεύματος, L (km)	35.7	69.1
Μήκος υδατορεύματος από την έξοδο μέχρι την προβολή του κ.β. της λεκάνης, L <sub>c</sub> (km)	11.5	30.0
Υψόμετρο υδατορεύματος στην έξοδο της λεκάνης, Z <sub>E</sub> (m)	420.0	150.0
Υψόμετρο υδατορεύματος στην αρχή του, Z <sub>A</sub> (m)	1680.0	1680.0
Υψόμετρο υδατορεύματος στο 10% του μήκους του, Z <sub>10</sub> (m)	465.0	202.0
Υψόμετρο υδατορεύματος στο 85% του μήκους του, Z <sub>85</sub> (m)	1132.0	880.0
Κλίση υδατορεύματος μεταξύ των σημείων 10% και 85% του μήκους του, S <sub>1085</sub> (m/km)	25.0	13.0

Για τον προσδιορισμό του λόγου  $t_{P1}/t_{P2}$ , όπου  $t_{P1}$  ο χρόνος ανόδου του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος της λεκάνης Αγίου Δημητρίου και  $t_{P2}$  ο αντίστοιχος χρόνος για τη λεκάνη Πόρου Ρηγανίου, χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες μέθοδοι.

### 1) Μέθοδος βασισμένη σε δεδομένα λεκανών απορροής της δυτικής και βορειοδυτικής Ελλάδας

Τα αποτελέσματα σύγκρισης των μοναδιαίων υδρογραφημάτων 11 λεκανών της δυτικής και βορειοδυτικής Ελλάδας (Αχελώος, Άραχθος, Καλαμάς, Αώος, Αλιάκμονας, Βενετικός) που έγινε από τη Μιμίκου (1984) οδήγησαν στις ακόλουθες εμπειρικές σχέσεις

$$t_L(h) = 0.43 A^{0.418} \quad (10.22)$$

$$q_P(m^3/s) = 2.27 A^{0.667} \quad (10.23)$$

όπου  $t_L$  ο χρόνος υστέρησης (lag time) και  
 $q_P$  η παροχή αιχμής του μοναδιαίου υδρογραφήματος.

Στην εργασία δε διευκρινίζεται ο τρόπος ορισμού του  $t_L$  ούτε η διάρκεια στην οποία αναφέρεται το μοναδιαίο υδρογράφημα. Εφαρμόζοντας τη σχέση (10.22) για την αναλογία των χρόνων ανόδου των στιγμιαίων μοναδιαίων υδρογραφημάτων των δύο λεκανών παίρνουμε

$$t_{P1}/t_{P2} = (349/884)^{0.418} = 0.678$$

## 2) Μέθοδος βασισμένη σε εμπειρική σχέση του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας

Το Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας (Sutcliffe, 1978) συνιστά τη σύνθεση μοναδιαίου υδρογραφήματος (1 ώρας) τριγωνικής μορφής με χαρακτηριστικά στοιχεία

$$t_P (h) = \frac{46.6 L^{0.14}}{S^{0.38} (1+URBAN)^{1.99} RSMD^{0.4}} \quad (10.24)$$

$$q_P (m^3/s) = 2.2 \frac{A}{t_P} \quad (10.25)$$

όπου  $t_P$  ο χρόνος ανόδου και  
 $q_P$  η παροχή αιχμής.

Η παράμετρος URBAN είναι η αναλογία των αστικών περιοχών μέσα στη λεκάνη απορροής και η RSMD είναι παράμετρος μεγέθους βροχοπτώσεων, που πρακτικά για ορεινές ή ημιορεινές λεκάνες απορροής είναι ίση με το ύψος της μέγιστης 24ωρης βροχής για περίοδο επαναφοράς 5 ετών (σε mm).

Εφαρμόζοντας τη σχέση (10.24) για την αναλογία των χρόνων ανόδου των στιγμιαίων υδρογραφημάτων των δύο λεκανών, και θεωρώντας ότι η παράμετρος RSMD είναι η ίδια και για τις δύο

150  
Λεκάνες ενώ η URBAN = 0, έχουμε

$$t_{L1}/t_{L2} = (35.7/69.1)^{0.14} * (13.0/25.0)^{0.38} = 0.711$$

### 3) Μέθοδος βασισμένη στο συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα του Snyder

Το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα του Snyder βασίζεται στις σχέσεις

$$t_P = C_t (LLC)^{0.3} \quad (10.26)$$

$$q_P = C_q A/t_P \quad (10.27)$$

όπου  $C_t$  και  $C_q$  συντελεστές.

Τα παραπάνω μεγέθη αναφέρονται σε μοναδιαίο υδρογράφημα με διάρκεια βροχής  $t_P/5.5$ . Οι συντελεστές  $C_t$  και  $C_q$  βρέθηκαν να έχουν μέσες τιμές 1.5 και 1.72 σε λεκάνες απορροής των Αππαλαχίων. Όμως ο ίδιος ο Snyder στην Ελλάδα (Άραχθος, Πουρνάρι) έχει υιοθετήσει πολύ δυσμενέστερες τιμές  $C_t = 0.76$  και  $C_q = 2.0$ . Πάντως, για το πρόβλημα του προσδιορισμού του λόγου  $t_{L1}/t_{L2}$  που μας απασχολεί οι τιμές των συντελεστών αυτών δεν έχουν καμία σημασία. Με εφαρμογή της σχέσης (10.26) παίρνουμε

$$t_{P1}/t_{P2} = (35.1/69.1)^{0.3} * (11.5/30.0)^{0.3} = 0.612$$

Παρατηρούμε ότι και οι τρεις παραπάνω μέθοδοι δίνουν παραπλήσιες τιμές με μέση τιμή  $(0.678 + 0.711 + 0.612)/3 = 0.667$ . Υιοθετώντας την τιμή 0.667, και δεδομένου ότι  $t_{L2} = 6.2$  h προκύπτει  $t_{L1} = 4.1$  h. Από την εξίσωση (10.20) προκύπτει η τιμή της παραμέτρου  $a = 6.59$  h, ενώ  $b = 0.95$ .

Με τις παραπάνω τιμές έχει υπολογιστεί και δίνεται στον πίνακα 10.2 και το σχήμα 10.3 το στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα της λεκάνης ανάντη Αγ. Δημητρίου. Η μέγιστη παροχή του είναι 107.9  $m^3/sec$ . Στον ίδιο πίνακα και το ίδιο σχήμα δίνεται και το μοναδιαίο υδρογράφημα για διάρκεια βροχής 1h που έχει χρόνο ανόδου 5h και παροχή αιχμής 108.1  $m^3/sec$ . Σημειώνεται ότι για να

καταρτιστεί το μοναδιαίο υδρογράφημα 1h έγινε κάποιος μετασχηματισμός, ανάλογος με αυτόν που περιγράφεται στην παράγραφο 10.3, προκειμένου να περιοριστεί η ουρά του υδρογραφήματος στις μεγάλες τιμές του χρόνου.

Τονίζεται ότι το παραπάνω μοναδιαίο υδρογράφημα ουσιαστικά προέρχεται από μεταφορά ενός μέσου μοναδιαίου υδρογραφήματος της θέσης Πόρου Ρηγανίου και για το λόγο αυτό χαρακτηρίζεται ως μέσο μοναδιαίο υδρογράφημα. Το μοναδιαίο υδρογράφημα που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό παροχών σχεδιασμού θα πρέπει να είναι δυσμενέστερο από το μέσο μοναδιαίο υδρογράφημα, προκειμένου να αντιμετωπίσει μια πιο δυσμενή χωροχρονική εξέλιξη της καταίγιδας, καθώς και την επιτάχυνση των ρυθμών απορροής που αναμένεται κατά τη διάρκεια ενός ακραίου πλημμυρικού επεισοδίου. Το Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας (Sutcliffe, 1978) συνιστά απομείωση του χρόνου ανόδου στα  $(2/3)^D$  που συνεπάγεται αύξηση της παροχής αιχμής κατά 50%. Με αυτή την παραδοχή έχουμε για το στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα

$$t_p = (2/3) * 4.1 = 2.7 \text{ h}$$

$$a = 4.34 \text{ h}$$

$$b = 0.95$$

$$q_p = 162.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Το στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα αυτό φαίνεται στον πίνακα 10.2 και το σχήμα 10.4, όπου χαρακτηρίζεται ως μοναδιαίο υδρογράφημα σχεδιασμού. Στον ίδιο πίνακα και το ίδιο σχήμα φαίνεται και το αντίστοιχο μοναδιαίο υδρογράφημα για διάρκεια βροχής 1 h, που έχει χρόνο ανόδου 3 h και παροχή αιχμής 161.6 m<sup>3</sup>/sec.

#### 10.5. Συγκρίσεις - Συμπεράσματα

Αν χρησιμοποιηθούν αυτούσιες οι σχέσεις της προηγούμενης παραγράφου για την κατάρτιση ενός καθαρά συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος προκύπτουν τα ακόλουθα:

- (1) Μέθοδος βασισμένη σε δεδομένα λεκανών απορροής της δυτικής και βορειοδυτικής Ελλάδας

$$t_L = 0.43 * 439^{0.418} = 5.5 \text{ h}$$

$$q_P = 2.27 * 439^{0.667} = 131.4 \text{ m}^3/\text{sec}$$

(2) Μέθοδος του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας (RSDM = 120 mm)

$$t_P = \frac{46.6 * 35.7^{0.14}}{25.0^{0.38} * 120^{0.4}} = 3.3 \text{ h}$$

$$q_P = 2.2 * 349/3.3 = 232.7 \text{ m}^3/\text{sec}$$

(3) Μέθοδος Snyder

$$t_P = 0.76 (35.1 * 11.5)^{0.3} = 4.6 \text{ h}$$

$$q_P = 2.0 * 349/4.6 = 151.8 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Παρατηρούμε ότι γενικά υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις ανάμεσα στις παραμέτρους που υπολογίζονται με κάθε μια από τις παραπάνω μεθόδους. Το πλησιέστερο προς το δικό μας υδρογράφημα σχεδιασμού, ως προς την παροχή αιχμής, είναι το υδρογράφημα του Snyder. Το υδρογράφημα του Βρετανικού Ινστιτούτου έχει πλημμυρική αιχμή κατά 43% μεγαλύτερη. Τέλος το υδρογράφημα της πρώτης μεθόδου είναι κατά 19% ευνοϊκότερο από το τελικό υδρογράφημα σχεδιασμού.

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.1

ΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΒΡΟΧΗΣ 2 h (m<sup>3</sup>/ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΦΑΜΙΛΑΣ (ΠΕΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ))

ΧΡΟΝΟΣ (h)	ΑΡΧΙΚΟ VP	ΕΝΔΙΑΜ.	ΜΕΤΑΣΧΗΜ. ΒΑΣΕΙ ΣΤΙΓΜ.	
0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	60.0	59.7	63.0	12.5
4	115.0	114.3	120.7	101.4
6	154.0	153.0	161.5	169.3
8	169.0	167.6	176.9	176.8
10	140.0	138.3	146.0	155.9
12	103.0	100.9	106.5	128.0
14	84.0	81.6	86.1	101.7
16	74.0	71.2	75.2	79.7
18	62.0	58.9	62.1	62.1
20	53.0	49.5	52.3	48.4
22	44.0	40.2	42.4	37.8
24	36.0	31.8	33.6	29.7
26	30.0	25.5	26.9	23.4
28	24.0	19.1	20.2	18.6
30	20.0	14.8	15.6	14.8
32	16.5	10.9	11.5	11.9
34	14.5	8.6	9.0	9.6
36	12.0	5.7	6.0	7.7
38	11.0	4.4	4.6	6.3
40	10.0	3.0	3.2	5.2
42	9.6	2.3	2.4	4.2
44	9.2	1.5	1.6	3.5
46	8.8	0.8	0.8	2.9
48	8.4	0.0	0.0	2.4
50	8.0			2.0
52	7.6			1.7
54	7.2			1.4
56	6.8			1.2
58	6.4			0.9
60	4.0			0.6
62	3.7			0.7
64	3.4			0.6
66	3.1			0.5
68	2.8			0.4
70	2.5			0.4
72	2.3			0.3
74	2.1			0.3
76	1.9			0.2
78	1.7			0.2
80	1.5			0.2
ΑΘΡ. ΤΕΤ. ΟΓΚΟΣ ΠΛ. (εκατ. m <sup>3</sup> )	1333.0	1163.0	1227.8	1225.8
	9.598	8.374	8.840	8.826

ΣΗΜΕΙΩΣΗ : Το στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα γίνεται δεκτό ότι περιγράφεται από την λογαριθμικοκανονική συνάρτηση με παραμέτρους  $a = 9.97 \text{ h}$ ,  $b = 0.95$  ( $t_P = 6.2 \text{ h}$ )

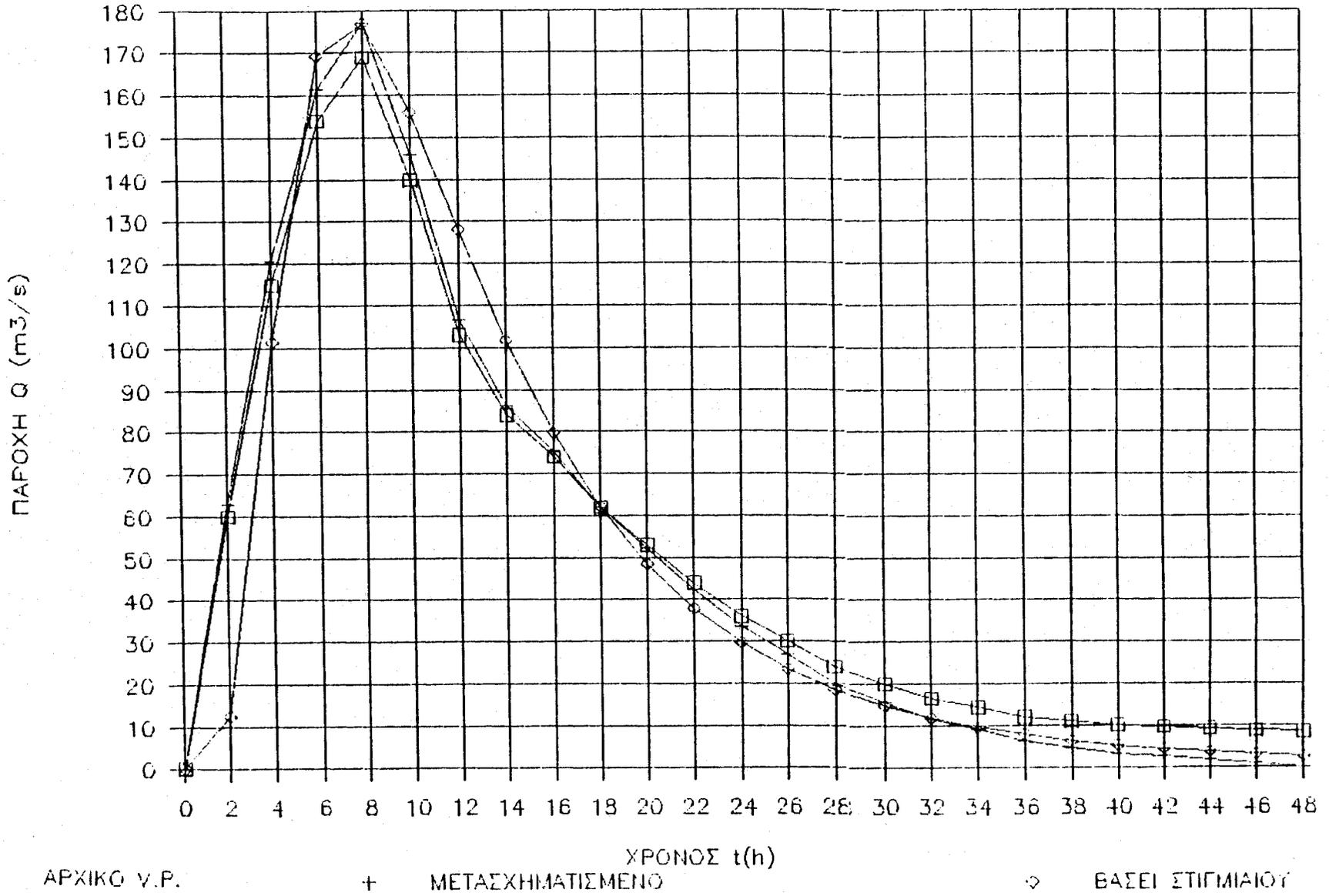
ΠΙΝΑΚΑΣ 10.2

ΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ (m<sup>3</sup>/s)  
ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

ΧΡΟ- ΝΟΣ (h)	Μ.Υ. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (t <sub>p</sub> = 2.7 h)				ΜΕΣΟ Μ.Υ. (t <sub>p</sub> = 4.1 h)			
	ΣΤΙΓΜΙΑΙΟ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ D = 1 h			ΣΤΙΓΜΙΑΙΟ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ D = 1 h		
		αρχικό	ενδιάμ.	τελικό		αρχικό	ενδιάμ.	τελικό
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	53.0	16.5	16.5	16.6	13.3	3.1	3.1	3.2
2	143.1	110.1	110.0	111.0	62.7	37.5	37.5	38.0
3	162.0	160.2	160.2	161.6	97.4	82.2	82.2	83.4
4	139.3	152.0	151.9	153.2	107.9	104.2	104.2	105.8
5	109.9	124.6	124.5	125.6	103.6	106.5	106.4	108.1
6	83.3	96.4	96.4	97.2	92.7	98.4	98.3	99.3
7	63.1	73.0	72.9	73.5	79.9	86.3	86.2	87.5
8	47.3	54.3	54.7	55.2	67.4	73.6	73.5	74.6
9	35.6	41.2	41.1	41.4	56.3	61.7	61.6	62.6
10	27.0	31.1	31.0	31.2	46.7	51.4	51.3	52.1
11	20.5	23.6	23.5	23.7	38.7	42.6	42.5	43.1
12	15.3	18.0	17.9	18.0	32.1	35.3	35.1	35.7
13	12.2	13.9	13.7	13.8	26.6	29.2	29.1	29.5
14	9.5	10.8	10.6	10.7	22.1	24.2	24.1	24.5
15	7.4	8.4	8.2	8.3	18.4	20.2	20.0	20.3
16	5.9	6.6	6.4	6.5	15.3	16.8	16.6	16.9
17	4.6	5.2	5.0	5.1	12.8	14.0	13.9	14.1
18	3.7	4.2	3.9	4.0	10.8	11.8	11.6	11.7
19	3.0	3.3	3.1	3.1	9.1	9.9	9.7	9.8
20	2.4	2.7	2.4	2.5	7.7	8.4	8.1	8.3
21	2.0	2.2	1.9	1.9	6.5	7.1	6.8	6.9
22	1.6	1.8	1.5	1.5	5.5	6.0	5.8	5.8
23	1.3	1.4	1.2	1.2	4.7	5.1	4.8	4.9
24	1.1	1.2	0.9	0.9	4.0	4.4	4.1	4.2
25	0.9	1.0	0.7	0.7	3.5	3.7	3.5	3.5
26	0.7	0.8	0.5	0.5	3.0	3.2	2.9	3.0
27	0.6	0.7	0.3	0.4	2.6	2.8	2.5	2.5
28	0.5	0.6	0.2	0.2	2.2	2.4	2.1	2.1
29	0.4	0.4	0.1	0.1	1.9	1.9	1.6	1.6
30	0.4	0.4	0.0	0.0	1.7	1.7	1.3	1.3
31	0.3	0.3			1.5	1.5	1.1	1.1
32	0.3	0.3			1.3	1.3	0.9	0.9
33	0.2	0.2			1.1	1.1	0.7	0.7
34	0.2	0.2			1.0	1.0	0.6	0.6
35	0.2	0.2			0.9	0.9	0.5	0.5
36	0.1	0.1			0.8	0.8	0.3	0.3
37	0.1	0.1			0.7	0.7	0.2	0.2
38	0.1	0.1			0.6	0.6	0.1	0.2
39	0.1	0.1			0.5	0.5	0.1	0.1
40	0.1	0.1			0.5	0.5	0.0	0.0
Σ =	971.2	968.6	961.3	969.4	965.5	964.3	954.9	969.4
Υ =	3.496	3.487	3.461	3.490	3.476	3.471	3.438	3.490

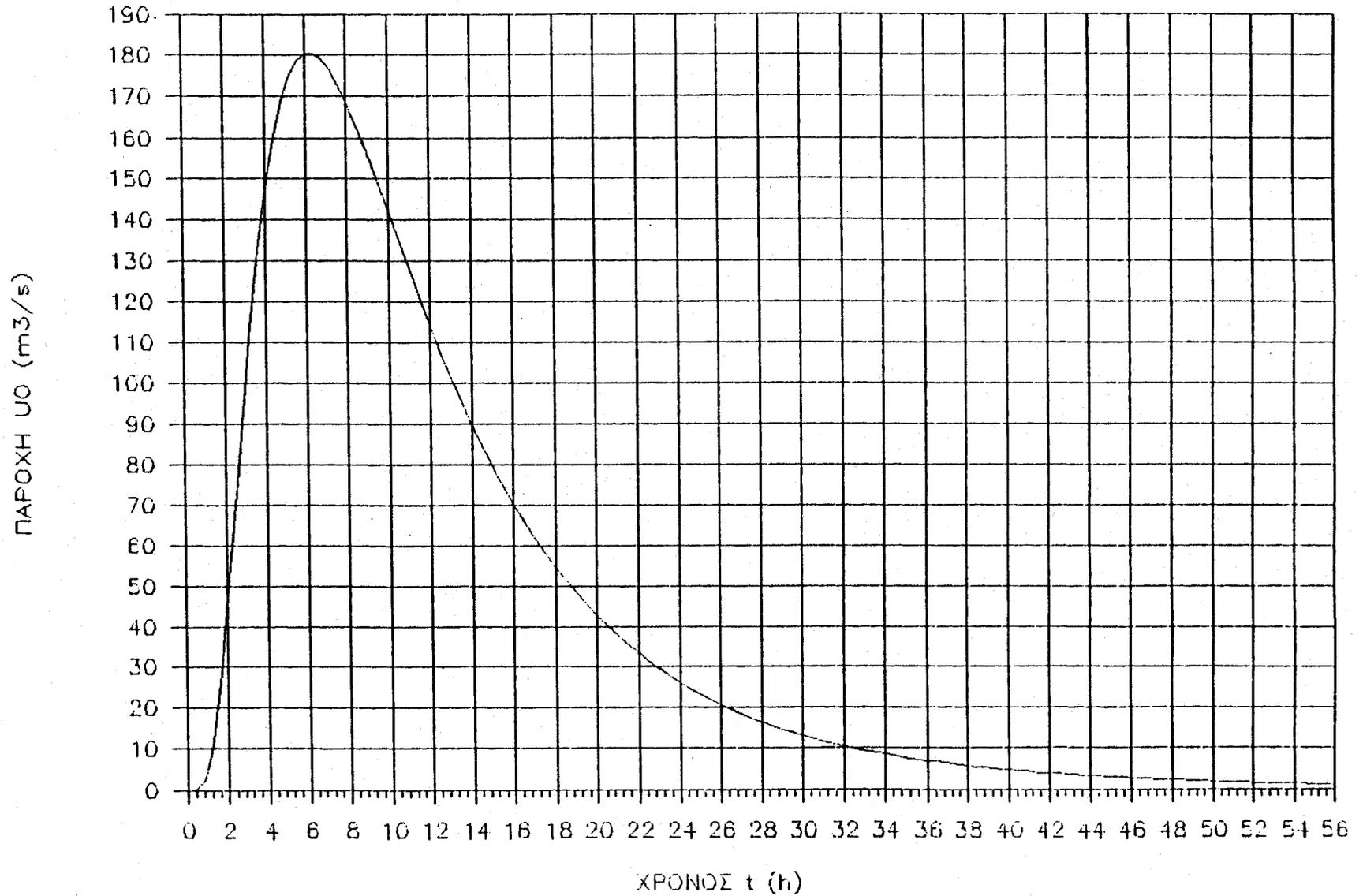
ΣΗΜΕΙΩΣΗ : Τα στιγμιαία μοναδιαία υδρογράφηματα γίνεται δεκτό ότι περιγράφονται από την λογαριθμικοκανονική συνάρτηση με παραμέτρους a = 4.34 h, b = 0.95 (t<sub>p</sub> = 2.7 h - μ.υ. σχεδιασμού), και a = 6.69 h, b = 0.95 (t<sub>p</sub> = 4.1 h - μέσο μ.υ.).

# ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΣΤΗ Θ.Φ.Ρ. ΦΑΜΙΛΑΣ



Σ Χ Η Μ Α 10.1

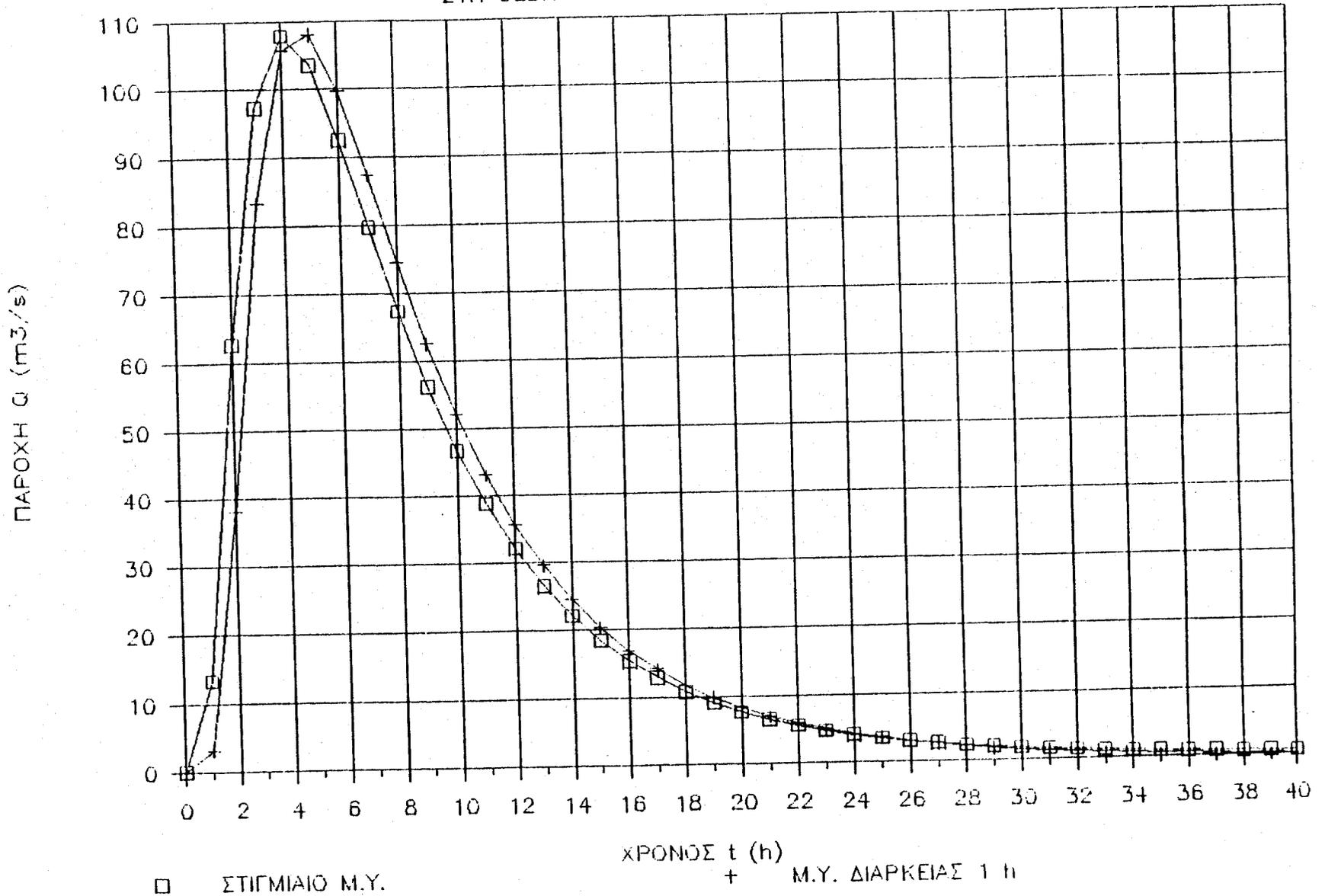
# ΣΤΙΓΜΙΑΙΟ ΜΟΝΑΔ. ΥΔΡ. ΣΤΗ Θ.ΦΡ. ΦΑΜΙΛΑΣ



Σ Χ Η Μ Α 10.2

# ΜΕΣΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ

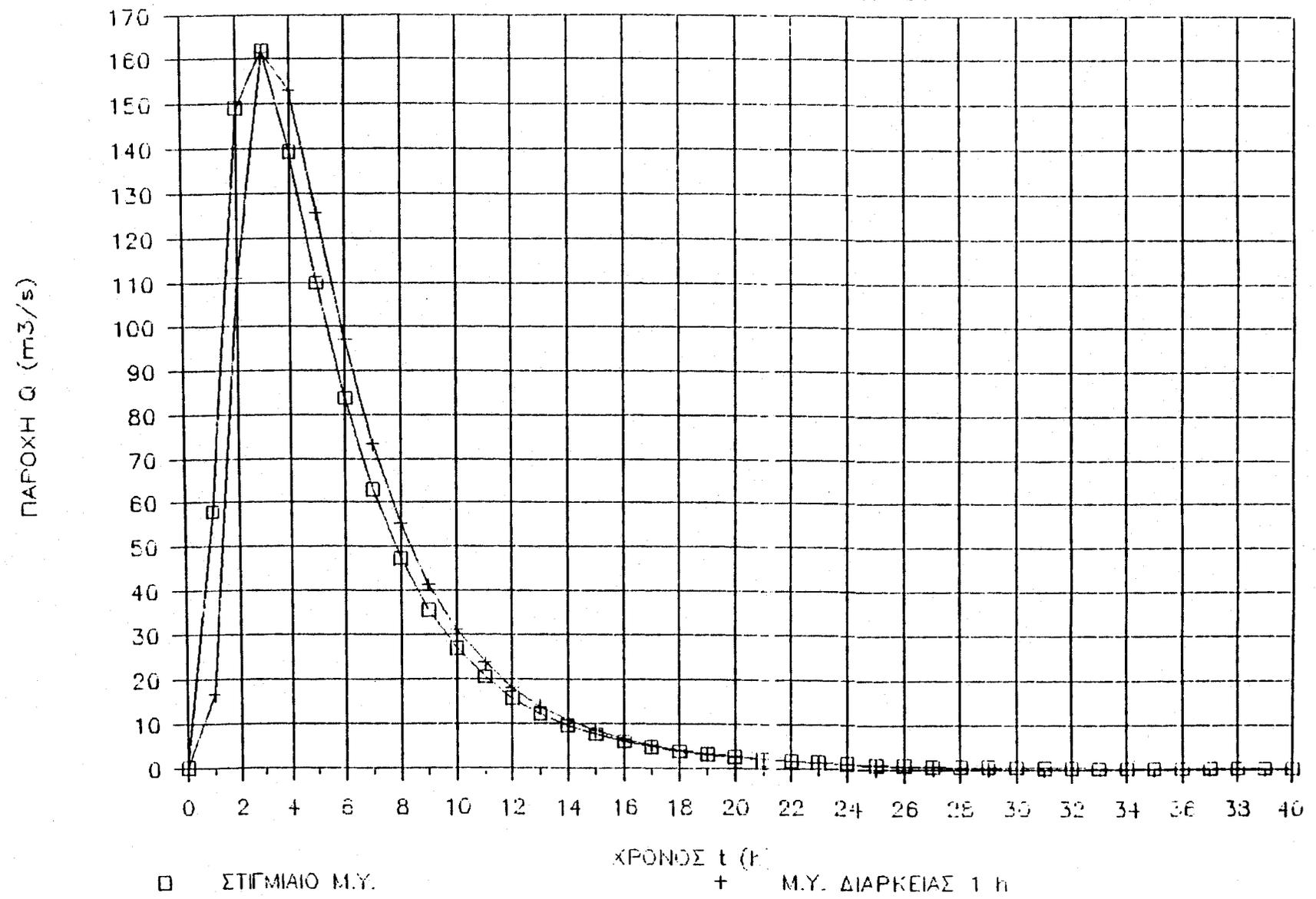
ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ



Σ Χ Η Μ Α 10.3

# ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ



Σ Χ Η Μ Α 10.4

## 11. ΣΥΝΘΕΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

### 11.1. Γενικά

Η προσέγγιση που ακολουθούμε για την κατάρτιση των πλημμυρών σχεδιασμού για τη λεκάνη ανάντη της θέσης φράγματος Αγίου Δημητρίου βασίζεται στη σύνθεση τους μέσω των καταιγίδων σχεδιασμού και του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Για το σκοπό αυτό διατίθενται οι όμβριες καμπύλες που καταρτίστηκαν στο κεφάλαιο 9 και το μοναδικό υδρογράφημα σχεδιασμού που καταρτίστηκε στο κεφάλαιο 10.

Απομένει να καθοριστούν μερικές βασικές ή και δευτερεύουσες παράμετροι που υπεισέρχονται στην κατάρτιση των καταιγίδων και πλημμυρών σχεδιασμού, πράγμα που θα γίνει στις επόμενες παραγράφους.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι σύμφωνα με την επικρατούσα υδρολογική πρακτική, η πλημμύρα σχεδιασμού ενός σοβαρού έργου είναι επιβεβλημένο να βασίζεται στην καταιγίδα σχεδιασμού, ακόμα και όταν υπάρχουν αρκετά δεδομένα άμεσων μετρήσεων πλημμυρών. Με τον τρόπο αυτό παίρνουμε γενικά δυσμενέστερα αποτελέσματα, σε σχέση με αυτά που θα παίρναμε με άμεση στατιστική ανάλυση δεδομένων παροχής. Στην προκειμένη περίπτωση δεν υπάρχουν άμεσα στατιστικά δεδομένα πλημμυρικών παροχών στον Άγιο Δημήτριο, και κατά συνέπεια η σύνθεση των πλημμυρογραφημάτων μέσω των καταιγίδων σχεδιασμού είναι η μόνη λύση. Ωστόσο έγινε και κάποια προσπάθεια σύγκρισης των αποτελεσμάτων της προσέγγισης αυτής με κάποια άμεσα στατιστικά δεδομένα πλημμυρικών παροχών στον Πόρο Ρηγανίου, μετά από κατάλληλη αναγωγή των τελευταίων.

### 11.2. Όμβριες καμπύλες

Χρησιμοποιούνται όμβριες καμπύλες που περιγράφονται από τη σχέση (9.19) που κατά παραδοχή αντιστοιχούν στην επιφανειακή βροχόπτωση της υπολεκάνης ανάντη του Αγίου Δημητρίου. Υπενθυμίζεται ότι για την εξαγωγή των καμπυλών αυτών χρησιμοποιήθηκαν και δεδομένα σημειακών βροχοπτώσεων έξω από την υπόψη υπολεκάνη, που ήταν

σαφώς δυσμενέστερα από αυτά της υπολεκάνης, προκειμένου να οδηγηθούμε σε ασφαλέστερο αντιπλημμυρικό σχεδιασμό.

### 11.3. Μοναδιαίο υδρογράφημα

Χρησιμοποιείται το μοναδιαίο υδρογράφημα σχεδιασμού διάρκειας 1h που φαίνεται στον πίνακα 10.2 και το σχήμα 10.4. Υπενθυμίζεται ότι το υδρογράφημα αυτό είναι κατά 50% δυσμενέστερο, ως προς την παροχή αιχμής, από το μέσο υδρογράφημα.

### 11.4. Περίοδοι επαναφοράς σχεδιασμού

Για την κατάρτιση της πλημμύρας σχεδιασμού του υπερχειλιστή του υπό μελέτη φράγματος θεωρούμε ότι είναι επιβεβλημένη η περίοδος επαναφοράς  $T=10.000$ . Σύμφωνα με τις νεότερες έρευνες η πλημμύρα αυτής της περιόδου επαναφοράς είναι μάλλον ισοδύναμη με τη μέγιστη πιθανή πλημμύρα. Σημειώνουμε ότι η τιμή αυτή της περιόδου επαναφοράς αναφέρεται και στην καταιγίδα και στην πλημμύρα, δεδομένου ότι για τόσο σπάνια γεγονότα οι αντίστοιχες περίοδοι επαναφοράς θεωρούνται ότι συμπίπτουν.

Για τη μελέτη μικρότερης σημασίας έργων, όπως της σήραγγας εκτροπής, βεβαίως θα χρησιμοποιηθούν μικρότερες περίοδοι επαναφοράς. Ο προσδιορισμός της περιόδου επαναφοράς σε αυτές τις περιπτώσεις δεν είναι αντικείμενο της υδρολογικής μελέτης, αλλά απαιτείται ο συνδυασμός της υδρολογικής και τεχνοοικονομικής μελέτης των έργων.

Στην παρούσα μελέτη, για τη σήραγγα εκτροπής, χρησιμοποιήθηκαν δύο εναλλακτικές τιμές της περιόδου επαναφοράς,  $T=20$  και 50 χρόνια. Οι τιμές αυτές αναφέρονται στη βροχόπτωση, ενώ η αντίστοιχη περίοδος για την πλημμύρα είναι μικρότερη (βλ. Sutcliffe, 1978).

Τέλος, στο κεφάλαιο αυτό έχουν υπολογιστεί υδρογραφήματα και για ένα φάσμα ενδιάμεσων τιμών της περιόδου επαναφοράς για λόγους πληρότητας.

### 11.5. Διάρκειες καταιγίδων σχεδιασμού

Δεν υπάρχει μονοσήμαντος τρόπος για τον καθορισμό της διάρκειας της καταιγίδας σχεδιασμού. Θεωρητικά η διάρκεια πρέπει να είναι η μεγαλύτερη δυνατή, στην πράξη όμως λαμβάνεται πολλαπλάσια του χρόνου απάντησης της λεκάνης και πάντως μεγαλύτερη της διάρκειας του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Κανονικά στην περίπτωση σχεδιασμού έργων που προκαλούν ανάσχεση πλημμύρας, στο χρόνο απάντησης της λεκάνης πρέπει να συνυπολογίζεται και ο χρόνος απάντησης του ταμιευτήρα κατά τη διόδευση. Αυτό συνεπάγεται μια ακόμα μεγαλύτερη διάρκεια της καταιγίδας σχεδιασμού.

Από την εμπειρία μας σε παρόμοια έργα, και παίρνοντας υπόψη ότι στη λεκάνη του υπό μελέτη φράγματος ο χρόνος απάντησης τυ κυμαίνεται από 3-6 ώρες ανάλογα με τον τρόπο ορισμού του, θεωρούμε ικανοποιητική μια 24ωρη διάρκεια καταιγίδας. Εξάλλου δοκιμάστηκε και η διάρκεια των 48 ωρών, η οποία δεν έδωσε αισθητές διαφορές στις πλημμυρικές παροχές.

### 11.6. Χρονική κατανομή της βροχής

Βεβαίως μια βροχόπτωση 24ωρης διάρκειας δε μπορεί ποτέ να έχει ομοιόμορφη ένταση, και άλλωστε μια τέτοια παραδοχή θα υποεκτιμούσε σαφώς την πλημμυρική αιχμή.

Συνήθως για την κατανομή του συνολικού ύψους βροχής στο χρόνο χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικές μέθοδοι:

#### (α) Η μέθοδος της αδιάστατης χρονικής κατανομής

Ο επιμερισμός του ύψους βροχής στο χρόνο γίνεται σύμφωνα με μια προκαθορισμένη αδιάστατη κατανομή της μορφής  $(H/H_{τελ}) =$  συνάρτηση  $(t/D)$ , όπου  $D$  η ολική διάρκεια της καταιγίδας,  $t \leq D$  ο χρόνος,  $H$  το ύψος βροχής στο χρόνο  $t$ , και  $H_{τελ}$  το τελικό (συνολικό) ύψος της καταιγίδας. Η μορφή της παραπάνω συνάρτησης θεωρείται ανεξάρτητη της διάρκειας  $D$  και του ύψους  $H_{τελ}$  και συνήθως προσδιορίζεται βάσει διαγραμμάτων της βιβλιογραφίας. Μια τέτοια μέθοδος συνιστάται και από το Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας, το οποίο δίνει και

ορισμένες καμπύλες αδιάστατων κατανομών.

(β) Η μέθοδος του δυσμενέστερου συνδυασμού των τμηματικών υψών βροχής

Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζονται τα τμηματικά ύψη βροχής των επιμέρους διάρκειών με βάση την καμπύλη ύψους - διάρκειας βροχής (όμβρια καμπύλη) της υπό μελέτη λεκάνης, που αντιστοιχεί στην περίοδο επαναφοράς μελέτης. Τα τμηματικά ύψη βροχής διατάσσονται στη συνέχεια σε τρόπο ώστε να προκύπτει ο δυσμενέστερος δυνατός συνδυασμός, δηλαδή αυτός που προκαλεί τη δυσμενέστερη αιχμή της παραγόμενης πλημμύρας. Η μέθοδος αυτή προτείνεται από το USBR (1977).

Παρόλο που θεωρητικά η δεύτερη μέθοδος βασίζεται στο δυσμενέστερο συνδυασμό των επιμέρους υψών βροχής, είναι δυνατό να δίνει μικρότερες πλημμύρες αιχμής από την πρώτη μέθοδο. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η πρώτη μέθοδος είναι δυνατό να δώσει μεγαλύτερα σε μέγεθος τμηματικά ύψη από τη δεύτερη, δεδομένου ότι δεν παίρνει υπόψη την όμβρια καμπύλη για τις ενδιάμεσες διάρκειες.

Θεωρούμε ότι πιο κατάλληλη μέθοδος για την παρούσα μελέτη είναι η δεύτερη, που έχει το πλεονέκτημα ότι βασίζεται αποκλειστικά σε δεδομένα που έχουν μετρηθεί στην περιοχή μελέτης και όχι σε διαγράμματα της βιβλιογραφίας.

Η βασική παραδοχή της μεθόδου του δυσμενέστερου συνδυασμού είναι ότι σε κάθε επιμέρους διάρκεια  $t$  το προκύπτον ύψος βροχής έχει την ίδια περίοδο επαναφοράς με το τελικό (συνολικό) ύψος βροχής. Ο δυσμενέστερος συνδυασμός των τμηματικών υψών προκύπτει με την εξής μεθοδολογία: Τα τμηματικά ύψη βροχής διατάσσονται σε χρονική αντιστοιχία με τις τεταγμένες του μοναδιαίου υδρογραφήματος σε τρόπο ώστε το μέγιστο ύψος βροχής να είναι απέναντι από τη μέγιστη τεταγμένη του μοναδιαίου υδρογραφήματος, το αμέσως μικρότερο απέναντι από την αμέσως μικρότερη τεταγμένη κ.ο.κ. Η διάταξη αυτή στη συνέχεια αντιστρέφεται και έτσι προκύπτει το τελικό υετόγραμμα. Η τεχνική αυτή υπακούει βέβαια σε κάποια λογική και αποδεικνύεται θεωρητικά ότι πράγματι δίνει τη μέγιστη παροχή αιχμής όταν συνδυαστεί με το μοναδιαίο υδρογράφημα.

### 11.7. Απώλειες - Ωφέλιμη βροχή

Για το διαχωρισμό υδρολογικών απωλειών και καθαρού υετογράμματος στο ολικό υετόγραμμα χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εμπειρική σχέση του U.S. Soil Conservation Service (S.C.S.), (βλ. USBR, 1978).

$$H = \begin{cases} 0 & H_0 \leq 0.2 \cdot S \\ \frac{(H_0 - 0.2 \cdot S)^2}{H_0 + 0.8 \cdot S} & H > 0.2 \cdot S \end{cases} \quad (11.1)$$

όπου:  $H_0$  το ολικό ύψος βροχής σε mm

$H$  το καθαρό (ωφέλιμο) ύψος βροχής σε mm ( $= H_0 - H_{\text{απωλ}}$ )

$S$  παράμετρος (σε mm) που περιγράφει το μέγιστο δυνατό ύψος απωλειών που μπορεί να πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια του φαινομένου της απορροής.

Η παραπάνω σχέση αναπαριστά το φαινόμενο της μετατροπής της βροχής σε απορροή, με μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι οι μέθοδοι που στηρίζονται σε δείκτες απωλειών, σταθερούς στο χρόνο (δείκτης  $\Phi$ ) ή μεταβλητούς (π.χ. εκθετικής μείωσης). Η σχέση εφαρμόζεται και για το τελικό ύψος βροχής της καταιγίδας αλλά και για ενδιάμεσες τιμές του, και έτσι προκύπτει η χρονική εξέλιξη του φαινομένου.

Στο μοντέλο που αντιπροσωπεύει η παραπάνω σχέση θεωρείται ότι ένα αρχικό ύψος βροχής, ίσο με  $0.2 \cdot S$ , μετατρέπεται άμεσα σε απώλειες (κατακράτηση). Στην επόμενη διάρκεια που εξελίσσεται η καταιγίδα το μοντέλο θεωρεί ότι μπορεί να μετατραπεί σε απώλειες μια πρόσθετη ποσότητα βροχής, το πολύ ίση με  $S$ . Κατά συνέπεια το συνολικό ύψος απωλειών μπορεί να φτάσει μέχρι  $1.2 \cdot S$ .

Η παράμετρος  $S$  συνδέεται με μια άλλη χαρακτηριστική παράμετρο, την CN (Curve Number - Αριθμός καμπύλης) με τη σχέση:

$$S[\text{mm}] = 25.4 \cdot \left[ \frac{1000}{\text{CN}} - 10 \right] \quad (11.2)$$

Η παράμετρος CN παίρνει τιμές από 0 μέχρι 100, και επηρεάζεται από τις συνθήκες γεωλογίας, εδαφολογίας και φυτοκάλυψης στη

λεκάνη απορροής καθώς και από τη χρονική απόσταση της υπό μελέτη καταιγίδας από προηγούμενες.

Η τιμή της παραμέτρου  $CN = 90$  θεωρείται ενδεδειγμένη για την κατάρτιση των πλημμυρών σχεδιασμού. Με αυτή την τιμή το ποσοστό απωλειών προκύπτει ίσο με 10.9% για την πλημμύρα 10.000 ετών και ανεβαίνει μέχρι 20.6% για την πλημμύρα 20 ετών. Οι τιμές αυτές των απωλειών κρίνονται ως λογικές για τη λεκάνη του Ευήνου, που η γεωλογική της σύσταση ευνοεί την επιφανειακή απορροή και άλλωστε έχει υψηλό μέσο ετήσιο συντελεστή απορροής άνω του 60%.

### 11.8. Βασική ροή

Ο προσδιορισμός της βασικής ροής δεν είναι δυνατό να γίνει με την ίδια ακρίβεια, όπως ο προσδιορισμός της επιφανειακής απορροής, αλλά αυτό δεν έχει τόσο μεγάλη σημασία, δεδομένου ότι η βασική ροή είναι μικρό ποσοστό της αιχμής της επιφανειακής απορροής.

Είναι σκόπιμο να συμπεριλάβουμε στη βασική ροή και την απορροή από την τήξη του χιονιού, δεδομένου ότι και αυτή παρουσιάζει παρόμοια εικόνα μεταβολής στο χρόνο, χωρίς έντονες διακυμάνσεις.

Με βάση την εμπειρία μας από άλλες λεκάνες του ελληνικού χώρου, υιοθετήσαμε μια σταθερή τιμή της βασικής ροής ίση με  $0.20 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$  για περίοδο επαναφοράς  $T=10.000$  που μειώνεται σταδιακά μέχρι  $0.10 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$  για περίοδο επαναφοράς  $T=20$  έτη.

### 11.9. Τελικά πλημμυρογραφήματα

Τα τελικά πλημμυρογραφήματα υπολογίστηκαν με τις παραπάνω παραδοχές και τη χρήση της εξίσωσης (10.15), και δίνονται αναλυτικά στο παράρτημα ΣΤ. Τα πλημμυρογραφήματα για  $T=20$ , 50 και 10.000 χρόνια δίνονται και σχηματικά στα σχήματα 11.1 έως 11.3. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του συνόλου των πλημμυρογραφημάτων δίνονται στον πίνακα 11.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 11.1**  
**ΕΥΝΟΠΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΕΙΣΡΟΗΣ**  
**ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ**

	T=20	T=50	T=100	T=200	T=500	T=1000	T=2000	T=5000	T=10000
Διάρκεια βροχής, D (h) :	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Ολικό ύψος βροχής, H (mm) :	141.0	156.4	169.4	183.3	203.5	220.2	238.3	264.5	286.3
Οφέλιμο ύψος βροχής, H* (mm) :	112.0	127.0	139.7	153.3	173.1	189.6	207.5	233.4	255.0
Απώλειες (%) :	20.6	18.8	17.5	16.4	14.9	13.9	12.9	11.8	10.9
Βασική ροή (m <sup>3</sup> /s) :	35	35	45	45	45	60	60	60	70
Παροχή αιχμής (m <sup>3</sup> /s) :	885.1	987.7	1083.2	1174.7	1307.5	1432.1	1550.7	1722.0	1873.8
Χρόνος πραγματ. αιχμής (h) :	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Καθαρός όγκος πλημμύρας (εκατομ. m <sup>3</sup> ) :	39.08	44.34	48.75	53.50	60.43	66.18	72.43	81.49	89.01
Συνολικός όγκος πλημμύρας (εκατομ. m <sup>3</sup> ) :	45.63	50.89	57.17	61.92	68.55	77.41	83.66	92.72	102.11

#### 11.10. Συγκρίσεις - Συμπεράσματα

Η σύγκριση των πλημμυρικών παροχών που υπολογίστηκαν σύμφωνα με τα παραπάνω, με άμεσα στατιστικά δεδομένα παροχών στον Άγιο Δημήτριο δεν είναι δυνατή, γιατί η εκτίμηση των παροχών στο σταθμό Νεοχωρίου γίνεται από ημερήσιες στάθμες, οι οποίες δεν προσφέρουν καμιά αξιοπιστία στον υπολογισμό των μέγιστων πλημμυρικών παροχών. Έτσι επιχειρείται η σύγκριση με αντίστοιχα δεδομένα του σταθμού Πόρου Ρηγανίου, μετά από κατάλληλη αναγωγή.

Με βάση τις ωριαίες παροχές του Πόρου Ρηγανίου υπολογίστηκαν οι ανά έτος μέγιστες ωριαίες και 24ωρες τιμές. Στη συνέχεια αναλύθηκαν στατιστικά με την κατανομή Gumbel, που έδειξε καλή προσαρμογή στα δεδομένα (βλ. παράρτημα Ε). Από τη συνάρτηση Gumbel υπολογίστηκαν στη συνέχεια τιμές της παροχής, (ωριαίας και 24ωρης) για χαρακτηριστικές περιόδους επαναφοράς που φαίνονται στον πίνακα 11.2 που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2  
ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ GUMBEL ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΩΡΙΑΙΩΝ ΚΑΙ 24ΩΡΩΝ  
ΠΑΡΟΧΩΝ ΠΟΡΟΥ ΡΗΓΑΝΙΟΥ (m<sup>3</sup>/sec)

	ΩΡΙΑΙΕΣ	24ΩΡΕΣ
<u>ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</u>		
Μέγεθος δείγματος	22	22
Μέση τιμή	70.8	440.9
Τυπική απόκλιση	363.8	188.3
<u>ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ GUMBEL</u>		
a	0.0029	0.0057
x <sub>0</sub>	592.6	348.7
<u>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ</u>		
T=20	1597.3	868.7
T=50	1912.4	1031.7
T=100	2148.6	1153.9
T=200	2383.9	1275.7
T=500	2694.4	1436.4
T=1000	2929.0	1557.8
T=2000	3163.6	1679.2
T=5000	3473.6	1839.6
T=10000	3708.0	1961.0

Εξάλλου από κάθε ένα από τα πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού του Αγίου Δημητρίου εκτιμήθηκαν οι μέγιστες παροχές 24ώρου. Η σύγκριση αυτών των μεγεθών καθώς και των ωριαίων παροχών αιχμής με τα αντίστοιχα μεγέθη που προέκυψαν από την κατανομή Gumbel, για περιόδους επαναφοράς 20, 50, και 10.000 ετών γίνεται στον πίνακα 11.3. Για τις 24ώρες τιμές η αναγωγή των παροχών κατά Gumbel από τον Πόρο Ρηγανίου στον Άγιο Δημήτριο γίνεται με την αναλογία των εμβαδών των λεκανών. Για τις ωριαίες τιμές μια τέτοια αναγωγή δεν είναι σωστή, και είναι προφανές ότι ο λόγος των εμβαδών θα πρέπει να υψωθεί σε δύναμη με εκθέτη μικρότερο του 1. Η τιμή του εκθέτη θεωρήθηκε ίση με 0.892. Η τελευταία τιμή δίνεται από την Mimikou (1984), βασισμένη σε επεξεργασία καταγραμμένα πλημμυρογραφήματα της δυτικής Ελλάδας.

Από τον πίνακα αυτό προκύπτει ότι τα πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού δίνουν παροχές κατά 15% έως 30% αυξημένες σε σχέση με τις ανηγμένες άμεσες στατιστικές εκτιμήσεις, πράγμα που συμβαδίζει με τις παρατηρήσεις της παραγράφου 11.1.

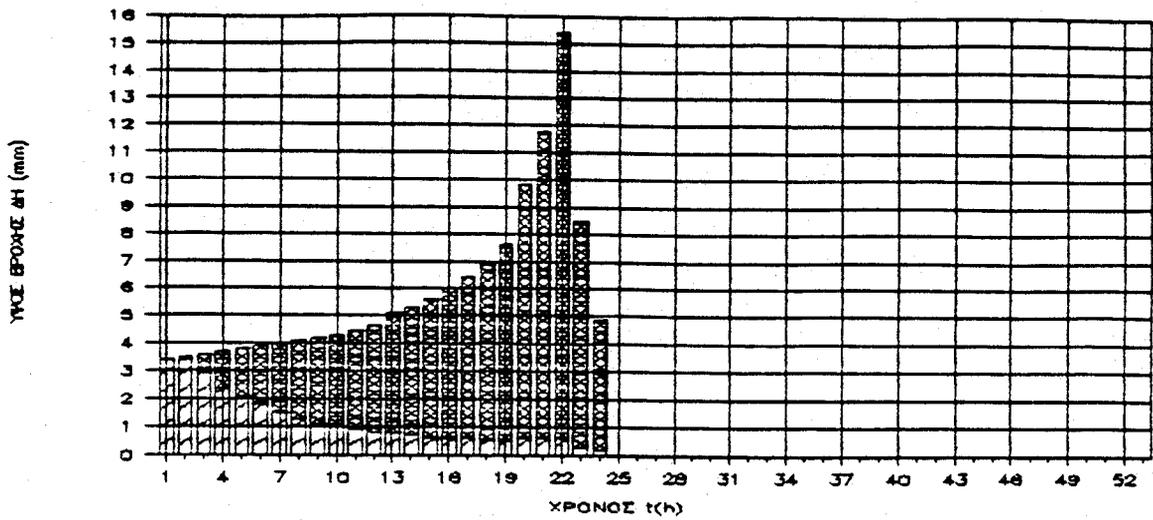
Τέλος οι παροχές των πλημμυρογραφημάτων σχεδιασμού είναι στα ίδια επίπεδα με αυτές της Verbund Plan (1972). Π.χ. για T=50 η Verbund

Plan δίνει για την Περίστα  $1047 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Αν αναχθεί αυτή η τιμή στον Άγιο Δημήτριο γίνεται  $942 \text{ m}^3/\text{sec}$  έναντι  $988 \text{ m}^3/\text{sec}$  της παρούσας μελέτης. Οι αντίστοιχες τιμές για  $T=1000$  (που για την Verbund Plan ήταν η περίοδος επαναφοράς σχεδιασμού είναι  $1623 \text{ m}^3/\text{sec}$  και  $1460 \text{ m}^3/\text{sec}$  έναντι  $1432 \text{ m}^3/\text{sec}$  της παρούσας μελέτης.

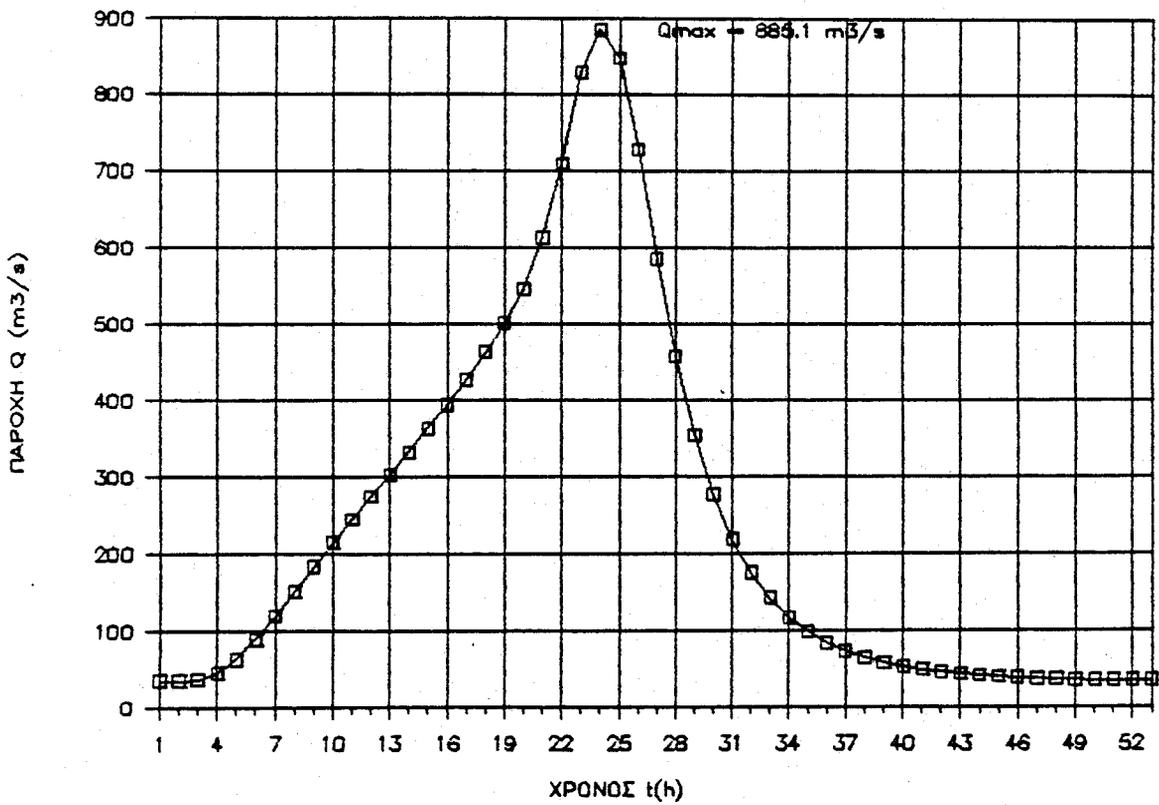
**ΠΙΝΑΚΑΣ 11.3**  
**ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ**

	T = 20		T = 50		T = 10.000	
	1h	24h	1h	24h	1h	24h
Από πλημμυρογράφημα σχεδιασμού Αγ. Δημητρ.	885.1	455.1	987.7	510.6	1873.0	1011.8
Από κατανομή Gumbel Πόρου Ρηγανίου	1597.3	868.7	1912.4	1031.7	3708.0	1961.0
Αναγωγή στον Άγ. Δημήτριο, συντ.=349/884	630.6	<u>343.0</u>	755.0	<u>407.3</u>	1463.9	<u>774.2</u>
Αναγωγή στον Άγ. Δημήτριο συντ. = (349/884) <sup>0.852</sup>	<u>697.1</u>	379.2	<u>834.7</u>	450.3	<u>1618.5</u>	855.9

ΥΕΤΟΓΡΑΦΗΜΑ ΛΕΚ. ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ - T=20

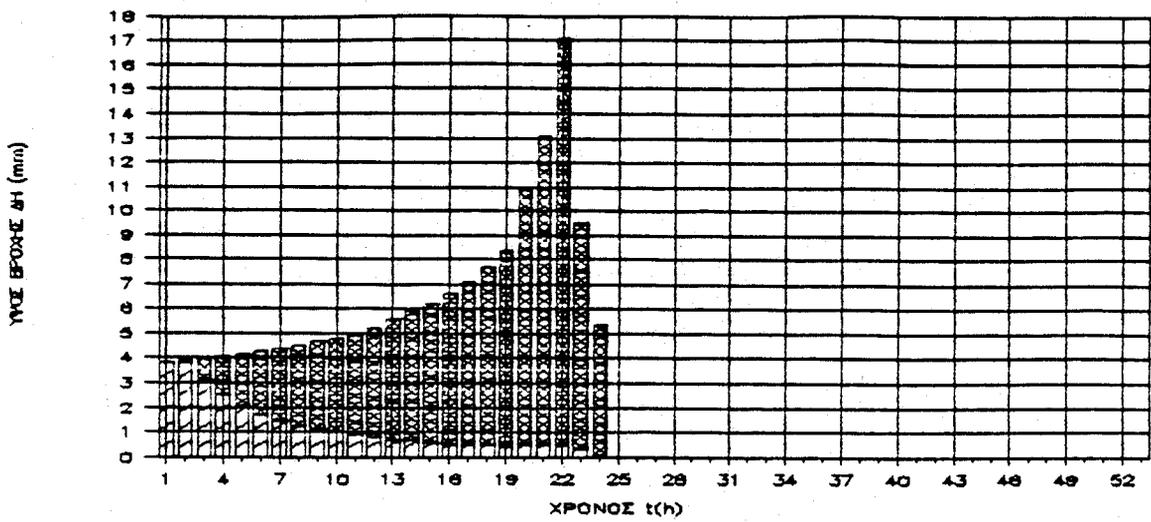


ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΛΕΚ. ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ - T=20

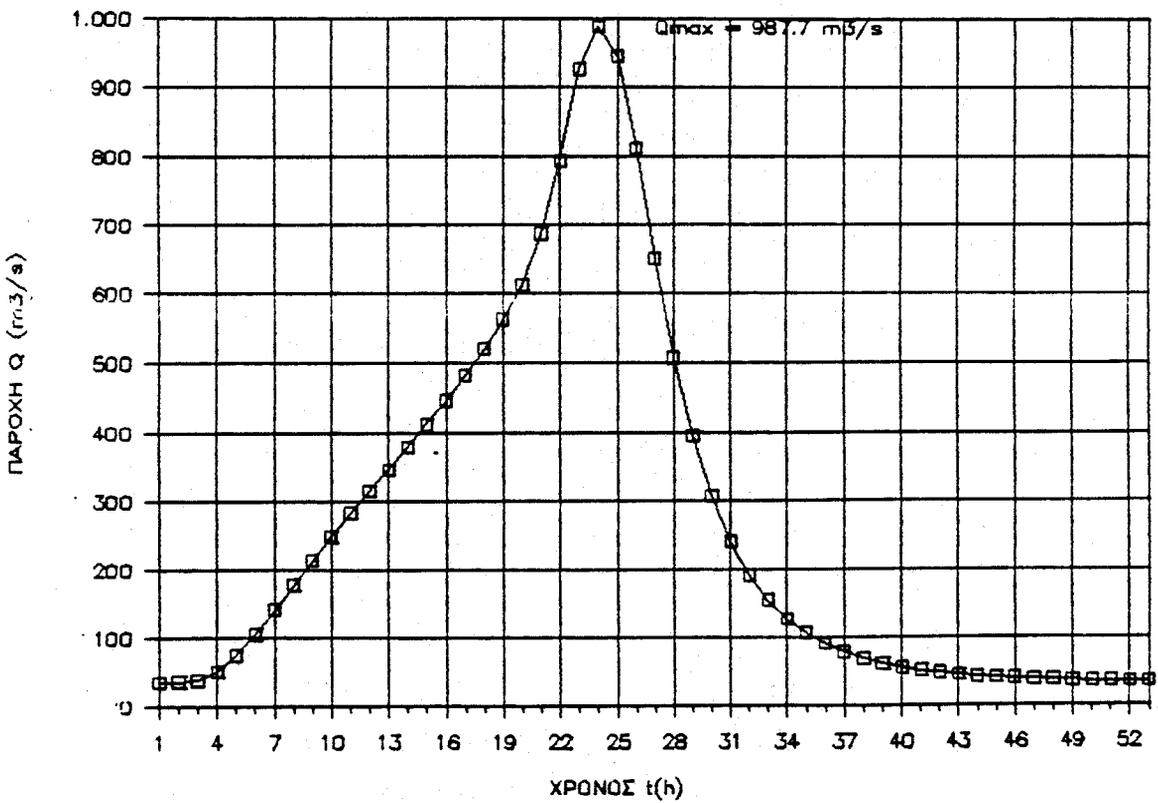


Σ Χ Η Μ Α 11.1

ΥΕΤΟΓΡΑΦΗΜΑ ΛΕΚ. ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ - T=50

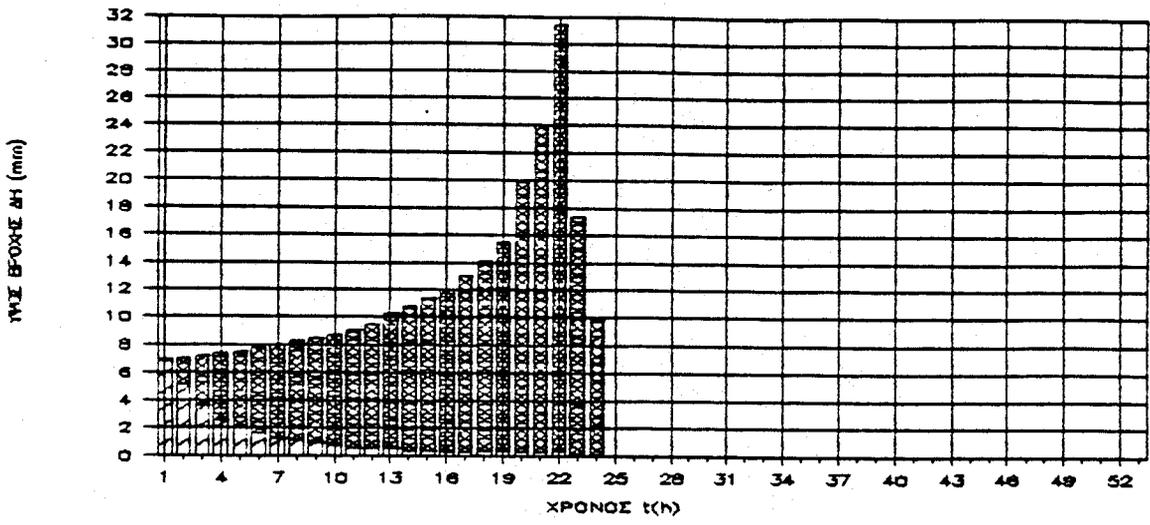


ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΛΕΚ. ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ - T=50

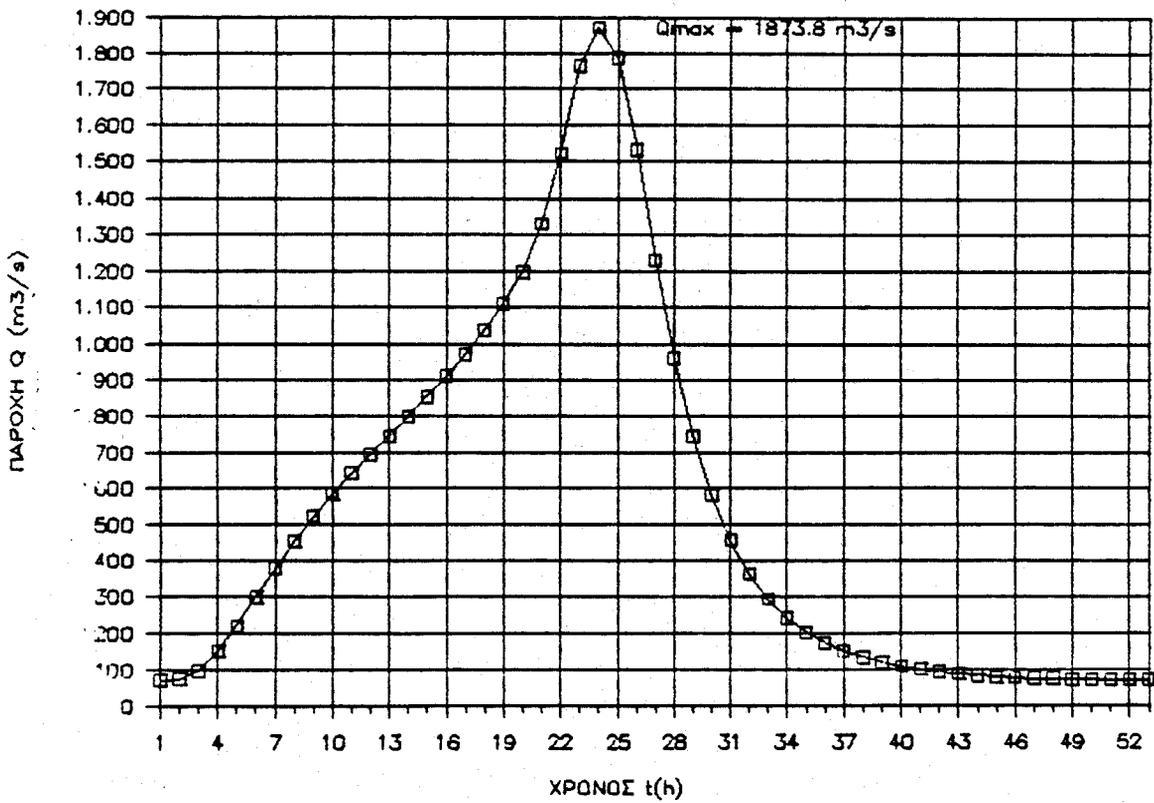


Σ Χ Η Μ Α 11.2

ΥΕΤΟΓΡΑΦΗΜΑ ΛΕΚ. ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ -T=10000



ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΛΕΚ. ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ -T=10000



Σ Χ Η Μ Α 11.3

## 12. ΔΙΟΔΕΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

### 12.1. Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της διόδευσης των πλημμυρών σχεδιασμού του υπερχειλιστή του φράγματος και της σήραγγας εκτροπής, προκειμένου να καθοριστούν τα μεγέθη σχεδιασμού των έργων αυτών, καθώς και τα ύψη του φράγματος και του προφράγματος. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο ως πλημμύρα σχεδιασμού του υπερχειλιστή θεωρείται η πλημμύρα περιόδου επαναφοράς 10.000 ετών, ενώ για τη σήραγγα εκτροπής χρησιμοποιούνται δύο εναλλακτικές πλημμύρες, περιόδων επαναφοράς 20 και 50 ετών. Ειδικά για τον υπερχειλιστή εξετάστηκαν δύο τύποι κατασκευής και τρεις εναλλακτικές στάθμες τοποθέτησης του.

### 12.2. Μέθοδος διόδευσης

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τη διόδευση βασίζεται στην εξίσωση συνέχειας και την καμπύλη στάθμης-παροχής του υπερχειλιστή ή της σήραγγας εκτροπής.

Η εξίσωση συνέχειας για τον ταμιευτήρα γράφεται:

$$\frac{dV}{dt} + Q = I \quad (12.1)$$

όπου  $V = V(z, t)$  = όγκος ταμιευτήρα

$Q = Q(z, t)$  = παροχή εκροής υπερχειλιστή ή σήραγγας

$I = I(t)$  = παροχή εισροής στον ταμιευτήρα

$z$  = στάθμη ταμιευτήρα =  $z_c + H$

$z_c$  = στέψη υπερχειλιστή ή πυθμένα σήραγγας

$t$  = χρόνος

Η παραπάνω διαφορική εξίσωση μπορεί να γραφεί υπό μορφή πεπερασμένων διαφορών. Αν θεωρήσουμε το χρονικό διάστημα  $\Delta t_n = t_{n+1} - t_n$  θα έχουμε:

$$I = \frac{I_n + I_{n+1}}{2} \quad (12.2)$$

$$Q = \frac{Q_n + Q_{n+1}}{2} \quad (12.3)$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{V_{n+1} - V_n}{\Delta t_n} \quad (12.4)$$

οπότε:

$$\frac{V_{n+1} - V_n}{\Delta t_n} = \frac{I_n + I_{n+1}}{2} - \frac{Q_n + Q_{n+1}}{2} \quad (12.5)$$

Όταν η ολοκλήρωση προχωρεί από το χρόνο  $t_n$  στο χρόνο  $t_{n+1}$ , οι άγνωστοι στην πιο πάνω εξίσωση είναι τα  $V_{n+1}$  και  $Q_{n+1}$ . Και οι δύο άγνωστοι μπορούν να εκφραστούν ως συναρτήσεις της στάθμης  $z_{n+1}$  (μέσω της καμπύλης στάθμης-όγκου και της καμπύλης στάθμης-παροχής, αντίστοιχα). Κατά συνέπεια μπορεί σε κάθε βήμα να προσδιορίζεται με κάποια κατάλληλη αριθμητική μέθοδο η στάθμη  $z_{n+1}$ , από την παραπάνω εξίσωση διαφορών, και στη συνέχεια τα  $V_{n+1}$  και  $Q_{n+1}$ .

Η λογιστική εφαρμογή της μεθόδου γίνεται με αριθμητική μέθοδο, κωδικοποιημένη σε πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή (γλώσσα Pascal). Για την εφαρμογή χρησιμοποιούνται:

(α) η σχέση (12.5) γραμμένη με τη μορφή

$$V_{n+1} + \frac{\Delta t_n}{2} Q_{n+1} = V_n + \frac{\Delta t_n}{2} (I_{n+1} + I_n - Q_n) \quad (12.6)$$

(β) η σχέση στάθμης-όγκου ταμιευτήρα

$$V = V(z) \quad (12.7)$$

(γ) η σχέση στάθμης-παροχής του υπερχειλιστή ή της σήραγγας εκτροπής

$$Q = Q(z) \quad (12.8)$$

Το δεύτερο μέλος της (12.6) είναι γνωστό σε κάθε βήμα ολοκλήρωσης. Η υπολογιστική διαδικασία στοχεύει στον προσδιορισμό των δύο όρων του πρώτου μέλους και περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

1. Επιλέγονται ως αρχικές συνθήκες οι  $z_{n+1} = z_n$ ,  $Q_{n+1} = Q_n$  και  $V_{n+1} = V_n$
2. Υπολογίζεται η νέα τιμή του  $V_{n+1}$  με επίλυση της (12.6). Η αριθμητική μέθοδος συγκλίνει ταχύτερα αν χρησιμοποιηθεί ως νέα τιμή του  $V_{n+1}$  το ημίαθροισμα της προηγούμενης τιμής και αυτής που προκύπτει από την επίλυση της (12.6).
3. Από την (12.7) υπολογίζεται η νέα τιμή της στάθμης  $z_{n+1}$ .
4. Από την (12.8) υπολογίζεται η νέα τιμή της παροχής  $Q_{n+1}$ .
5. Επαναλαμβάνονται τα βήματα 2 έως 4 μέχρις ότου η νέα τιμή του  $V_{n+1}$  (ή ισοδύναμα του  $z_{n+1}$  ή του  $Q_{n+1}$ ) δε διαφέρει πολύ από την αμέσως προηγούμενη τιμή. Συνήθως σε κάθε βήμα χρειάζονται αρκετές επαναλήψεις.

### 12.3. Καμπύλες στάθμης-όγκου και στάθμης-επιφάνειας ταμιευτήρα

Στον πίνακα 12.1 δίνονται οι συντεταγμένες των καμπυλών στάθμης-όγκου και στάθμης-επιφάνειας του ταμιευτήρα Αγίου Δημητρίου, που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς διόδευσης. Οι καμπύλες αυτές προέκυψαν από εμβαδομετρήσεις σε χάρτες 1:5.000.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 12.1**  
**ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΤΑΘΜΗΣ-ΟΓΚΟΥ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΗΣ-ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ**

ΣΤΑΘΜΗ (m)	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (km <sup>2</sup> )	ΟΓΚΟΣ (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> )
412	0.020	0
420	0.197	0.6
440	0.854	11.1
460	1.575	34.4
480	2.419	74.1
500	3.446	131.4
512	4.221	178.2

### 12.4. Καμπύλες σταθμης-παροχής υπερχειλιστή

Όπως προαναφέρθηκε στα πλαίσια της μελέτης εξετάζονται δύο τύποι μετωπικών υπερχειλιστών, με σφραγγοειδή αγωγό. Ο ένας

περιλαμβάνει κατασκευή στέψης υπερχειλίσσης τύπου ogee, ενώ ο δεύτερος είναι ελεύθερης ροής, χωρίς στέψη τύπου ogee. Το πλάτος των υπερχειλιτών είναι και στις δύο περιπτώσεις  $L = 45.0$  m. Η καμπύλη στάθμης-παροχής ορίζεται και στις δύο περιπτώσεις από τη σχέση:

$$Q = cLH^{3/2} \quad (12.9)$$

όπου  $Q$  η παροχή εκροής ( $m^3/sec$ ) και  $H$  το ολικό ύψος ενέργειας (m), που είναι ίσο με τη στάθμη νερού στον ταμιευτήρα μετρούμενη από τη στέψη του υπερχειλιστή. Ο συντελεστής  $c$  βρέθηκε ίσος με 2.1 για την περίπτωση του υπερχειλιστή με ogee και 1.7 για την περίπτωση του υπερχειλιστή ελεύθερης ροής.

Στη μελέτη εξετάστηκαν τρεις διατάξεις υπερχειλιστή, με στέψη στις στάθμες +480 m, +490 m και +500 m, οι οποίες είναι και οι ανώτατες στάθμες λειτουργίας των αντίστοιχων εναλλακτικών ταμιευτήρων που μελετήθηκαν.

#### 12.5. Καμπύλη στάθμης-παροχής σήραγγας εκτροπής

Οι συντεταγμένες της καμπύλης υπολογισμένες με υδραυλικές μεθόδους δίνονται στον πίνακα 12.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.2  
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ-ΠΑΡΟΧΗΣ  
ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΕΚΤΡΟΠΗΣ

ΣΤΑΘΜΗ (m.a.s.l.)	ΠΑΡΟΧΗ ( $m^3/sec$ )
412.00	0.0
412.90	8.7
414.05	32.9
415.25	67.7
416.40	111.5
417.70	163.5
419.10	224.7
421.00	298.2
423.80	388.0
424.25	400.0
428.90	500.0
434.55	600.0
441.50	703.0

## 12.6. Αποτελέσματα διοδεύσεων

Τα αναλυτικά αποτελέσματα των διοδεύσεων δίνονται στο παράρτημα ΣΤ. Στους παρακάτω πίνακες 12.3 και 12.4 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των υδρογραφημάτων εκροής των υπερχειλιστών και της σήραγγας εκτροπής. Ορισμένα από τα υδρογραφήματα φαίνονται στα σχήματα 12.1 έως 12.4.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 12.3**  
**ΕΥΝΟΠΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΕΚΡΟΗΣ**  
**ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ**

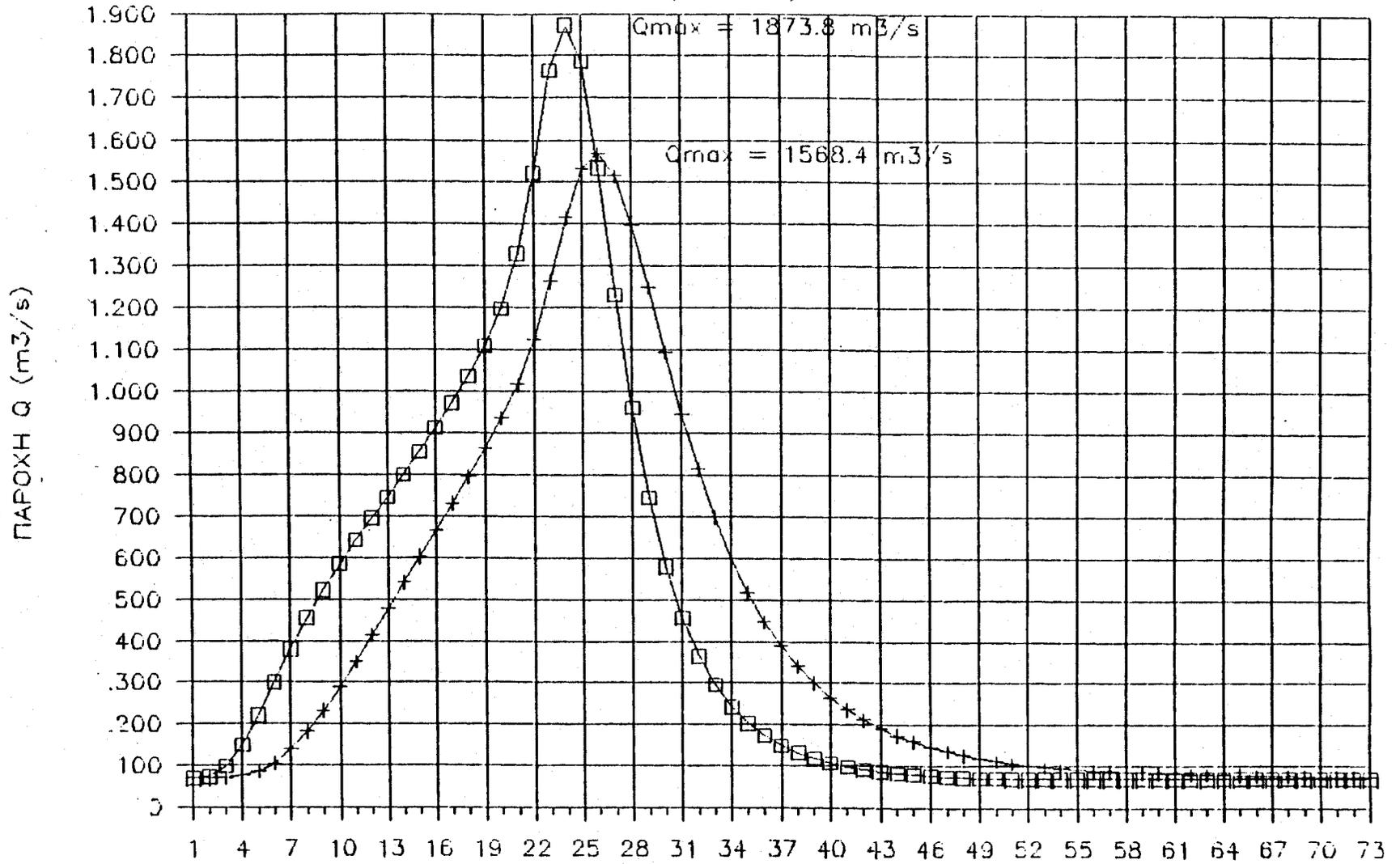
	ΣΤΕΥΗ + 500		ΣΤΕΥΗ + 490		ΣΤΕΥΗ + 480	
	ΜΕ ΟΓΕΕ	ΧΩΡΙΣ ΟΓΕΕ	ΜΕ ΟΓΕΕ	ΧΩΡΙΣ ΟΓΕΕ	ΜΕ ΟΓΕΕ	ΧΩΡΙΣ ΟΓΕΕ
Παροχή αιχμής Q (m <sup>3</sup> /sec) :	1568.4	1515.4	1627.2	1587.5	1659.0	1627.9
Χρόνος πραγματ. αιχμής t <sub>2</sub> (h) :	26	26	26	26	26	26
Μέγιστος όγκος στον ταμιευτήρα V <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> *10 <sup>6</sup> ) :	155.73	158.95	120.57	123.39	91.41	93.94
Μέγιστος όγκος ανάσχεσης V = V <sub>max</sub> -V <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> *10 <sup>6</sup> ):	24.33	27.55	20.11	22.93	17.31	19.84
Μέγιστη στάθμη ταμιευτήρα z <sub>max</sub> (m) :	506.51	507.32	496.67	497.55	486.75	487.68

**ΠΙΝΑΚΑΣ 12.4**  
**ΕΥΝΟΠΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΕΚΡΟΗΣ**  
**ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΕΚΤΡΟΠΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ**

	T=20	T=50
Παροχή αιχμής Q (m <sup>3</sup> /sec) :	651.7	613.3
Χρόνος πραγματ. αιχμής t <sub>2</sub> (h) :	27	27
Μέγιστος όγκος στον ταμιευτήρα V <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> *10 <sup>6</sup> ) :	9.364	7.453
Μέγιστος όγκος ανάσχεσης V = V <sub>max</sub> -V <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> *10 <sup>6</sup> ):	9.364	7.453
Μέγιστη στάθμη ταμιευτήρα z <sub>max</sub> (m) :	437.94	435.40

# ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ - T=10000

(ΜΕ ΟΓΕΕ)



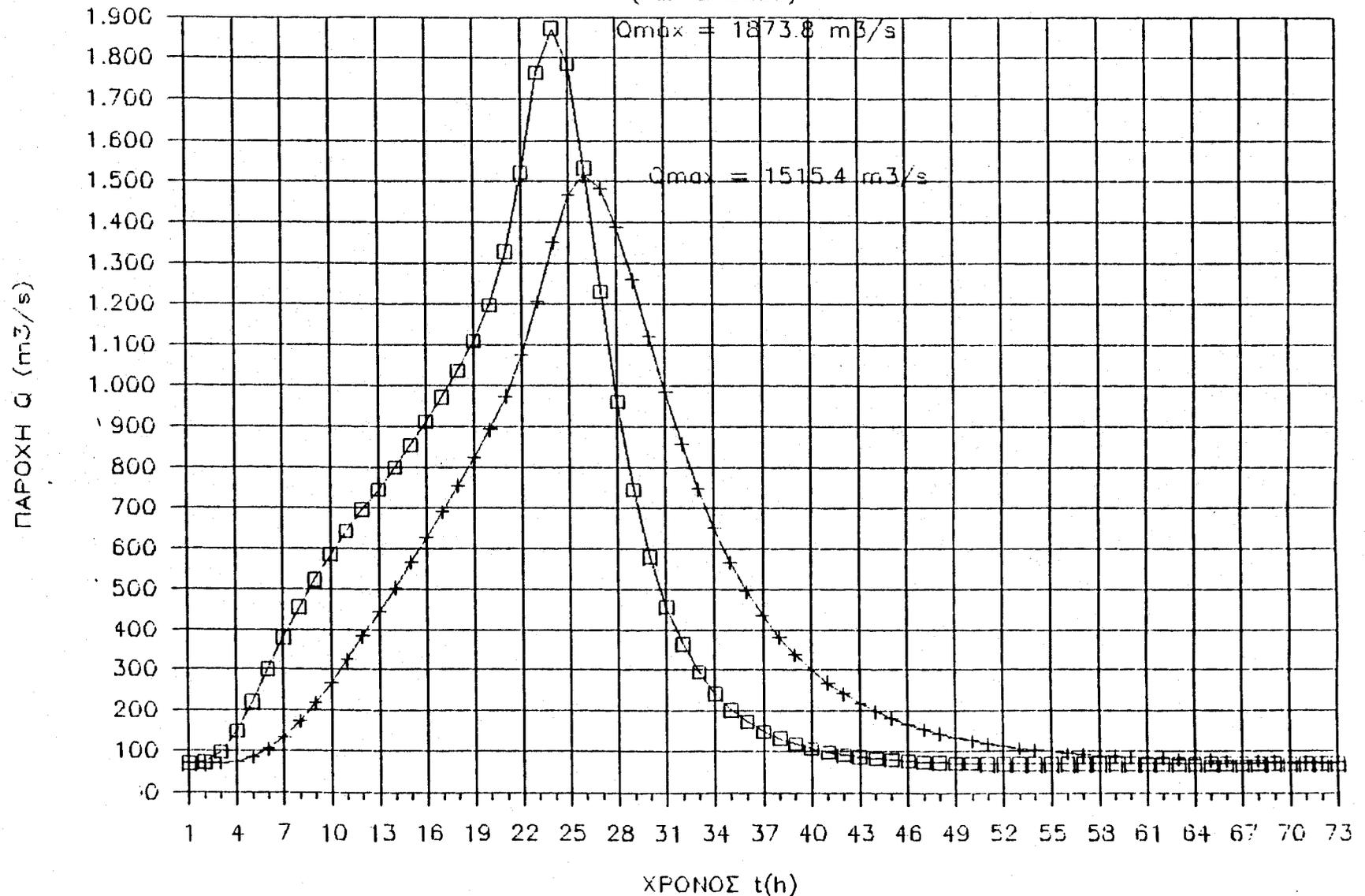
Σ Χ Η Μ Α 12.1

□ ΕΙΣΡΟΗ

+ ΕΚΡΟΗ

# ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ - T=10000

(ΧΩΡΙΣ ΟΓΕΕ)

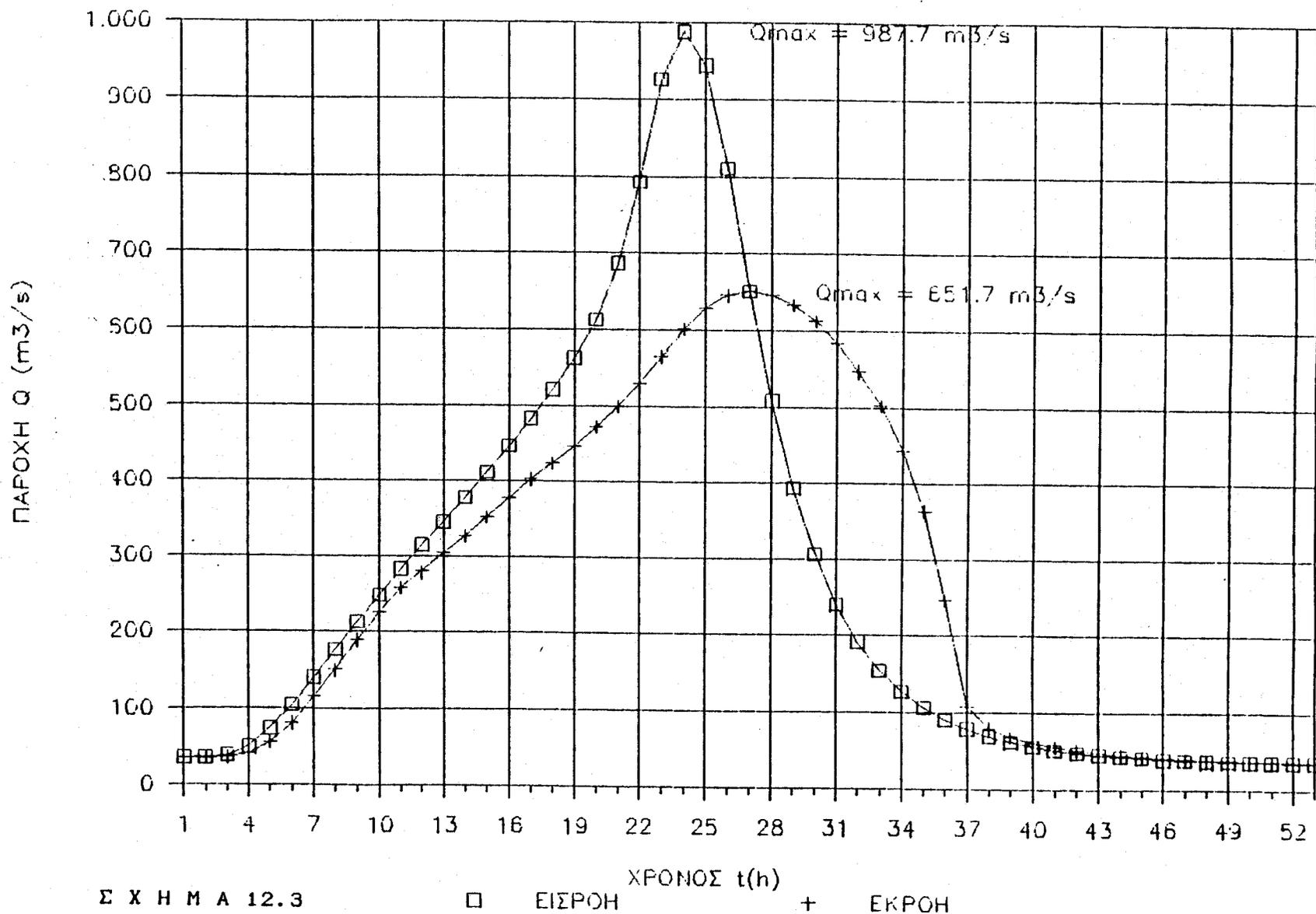


Σ Χ Η Μ Α 12.2

□ ΕΙΣΡΟΗ

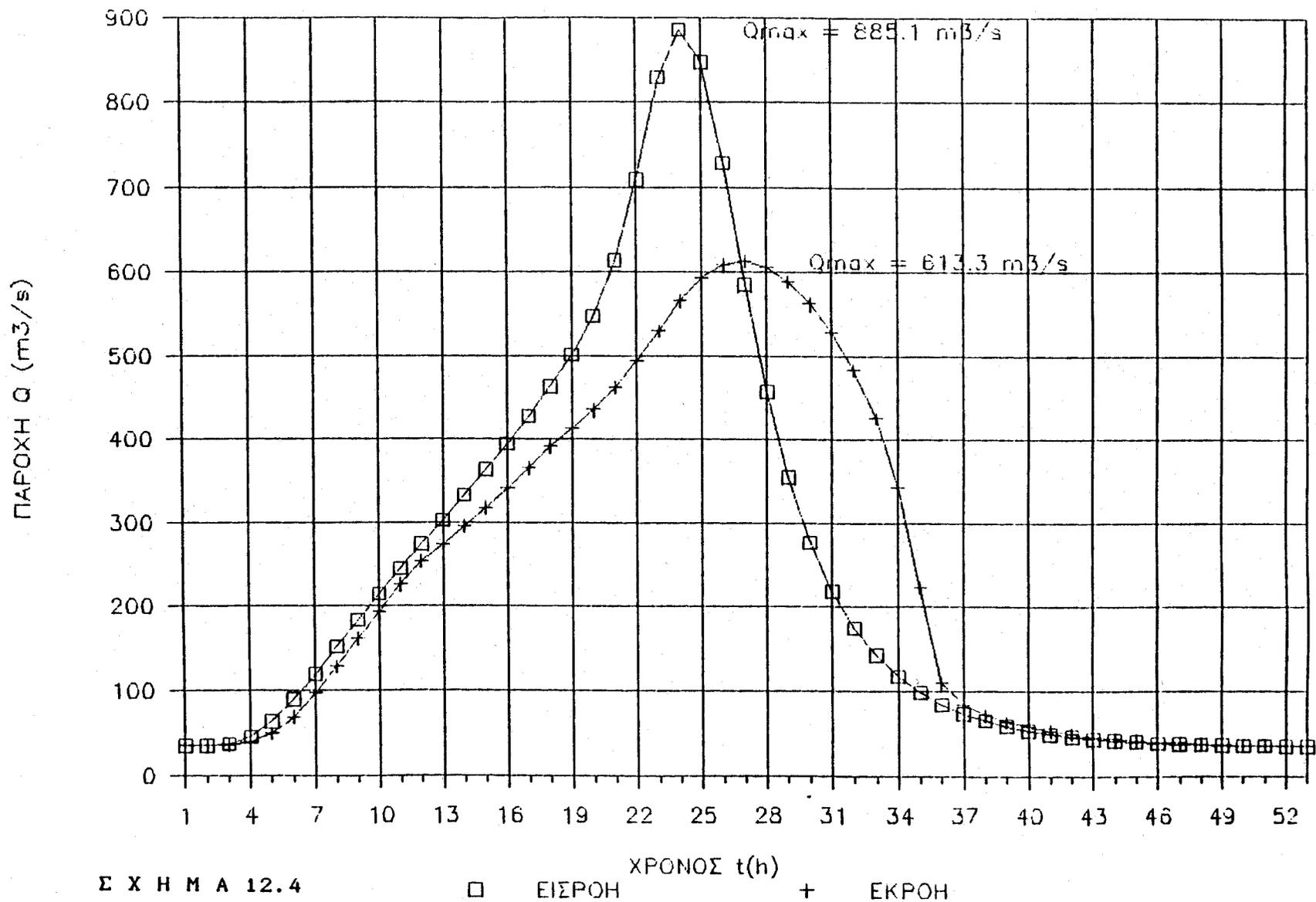
+ ΕΚΡΟΗ

# ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΕΚΤΡΟΠΗΣ - T=50



Σ Χ Η Μ Α 12.3

# ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΕΚΤΡΟΠΗΣ - T=20



Σ Χ Η Μ Α 12.4

### 13. ΛΗΨΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΟΜΕΝΗ ΦΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Προκειμένου να εκπονηθεί η τελική υδρολογική μελέτη στο στάδιο της οριστικής μελέτης, θα πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω ορισμένα ζητήματα τα οποία έχουν ήδη θιγεί στην παρούσα υδρολογική μελέτη. Συνοπτικά τα ζητήματα αυτά είναι:

1. Όμβριες καμπύλες - Περαιτέρω διερεύνηση της συμπεριφοράς των καταιγίδων στη λεκάνη ανάντη Αγίου Δημητρίου, σε σχέση και με την υπόλοιπη λεκάνη Ευήνου.
2. Μοναδιαίο υδρογράφημα - Προσπάθεια άμεσης κατάρτισης μοναδιαίου υδρογραφήματος στη θέση φράγματος Αγίου Δημητρίου ή τουλάχιστον επαλήθευση αυτού που δίνεται στην παρούσα μελέτη.
3. Εκτίμηση νεκρού όγκου ταμειευτήρα - Επανεκτίμηση του νεκρού όγκου βάσει νέων μετρήσεων στερεοπαροχής σε αιώρηση και σύρση.

Απαραίτητα μέτρα για τις παρακάτω εργασίες θεωρούντα τα εξής:

1. Εξοπλισμός ενός τουλάχιστον από τους σταθμούς Γραμμένης Οξιάς, Αράχοβας ή Γρηγορίου με βροχογράφο.
2. Λειτουργία του σταθμηγράφου του σταθμού Νεοχωρίου.
3. Επανάληψη των μετρήσεων στερεοπαροχής σε αιώρηση στους σταθμούς Πόρου Ρηγανίου και Νεοχωρίου. Εκτέλεση περιορισμένων μετρήσεων στερεοπαροχής με σύρση στο σταθμό Νεοχωρίου. Κατασκευή κοκκομετρικών καμπυλών φερτών υλικών πυθμένα στις θέσεις Πόρου Ρηγανίου και Νεοχωρίου, καθώς και κοκκομετρικές αναλύσεις δειγμάτων αιωρούμενων φερτών.

Πέρα από αυτά τα άμεσης σημασίας μέτρα, στα πλαίσια της έρευνας του ΕΜΠ έχει εκπονηθεί ειδική μελέτη βελτίωσης του υδρομετεωρολογικού στις λεκάνες Μόρνου και Ευήνου, στις οποίες προβλέπονται και μακροπρόθεσμα μέτρα που για τη λεκάνη του Ευήνου

συνοψίζονται στα ακόλουθα:

1. Προσθήκη μετεωρολογικών οργάνων σε υπάρχοντες βροχομετρικούς σταθμούς.
2. Ίδρυση πέντε νέων βροχομετεωρολογικών σταθμών (Αρτοτίνα, Καλλονή, Μεσοκώμη, Ελατού, Προς Πενταγιούς).
3. Ίδρυση υδρομετρικού σταθμού σε θέση 300 m ανάντη της γέφυρας προς Περδικόβρυση.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Kottegoda N.T. (1980). Stochastic Water Resources Technology, Mc Millan Press, London.
2. Koutsoyiannis D. & Xanthopoulos T. (1989). On the parametric approach to unit hydrograph identification, Water Resources Management 3, 107 - 128.
3. Koutsoyiannis D. (1983). Comparison between the Middle Course (Arachthos) and Pournari design floods, Technical note to Public Power Corporation, Athens.
4. Κουτσογιάννης Δ., Ταρλά Κ. (1987). Εκτιμήσεις Στερεοαπορροής στην Ελλάδα. Τεχνικά Χρονικά Α Επιστημονική Εκδοση ΤΕΕ Τόμος 7, Τεύχος 3, Αθήνα.
5. Κουτσογιάννης Δ., Θ. Ξανθόπουλος (1990). Ερευνητικό έργο: Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών, Τεύχος 18, Τελική Έκθεση, Αθήνα.
6. Κουτσογιάννης Δ., Μαμάσης Ν., Ναλμπάντης Ι. (1990). Στοχαστική προσομοίωση υδρολογικών μεταβλητών. Ερευνητικό έργο: Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών, Τεύχος 13, Αθήνα.
7. Μαρίνος Π.Γ, Μουρτζάς Ν.Δ (1990). Γεωλογικά θέματα σχετικά με τα έργα εκτροπής του ποταμού Ευήνου. Πρακτικά Ημερίδας: Προοπτικές επίλυσης του υδροδοτικού προβλήματος της Αθήνας, ΕΕΔΥΠ, Αθήνα 17 Οκτωβρίου 1990.
8. Mimikou M. (1984). Regional relationships between basin size and runoff characteristics, Hydrol. Sci. J., 29, 1, 3, 63-73.
9. Ναλμπάντης Ι. (1990), Υδρολογικός σχεδιασμός ταμειυτήρων Ευήνου. Ερευνητικό έργο: Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών, Τεύχος 15, Αθήνα.

10. Ναλμπάντης Ι. (1990). Μοντελοποίηση υδροδοτικού συστήματος. Ερευνητικό έργο: Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών, Τεύχος 14, Αθήνα.
11. Nash, J.E. (1959). Systematic determination of unit hydrograph parameters, J. Geophys. Res. 64, 111-115.
12. Nunn, Snyder & Associates (1972), Review of flood Hydrology studies for Pournari H-E Project, Greece, Report to Public Power Corporation, Athens.
13. Εανθόπουλος Θ., Κουτσογιάννης Δ., Ρώτη Σ. & Τζεράνης Ι. (1988). Υδρολογική διερεύνηση υδατικού διαμερίσματος Θεσσαλίας, Τεύχος 4, Πλημμύρες Σχεδιασμού, ΕΜΠ, Αθήνα.
14. SNC (1972). Eastern Acheloos Hydroelectric Development, Masterplan, P.P.C., Athens.
15. Τετρακτύς Ο.Ε, Κόμης Δ. (1977). Ενίσχυσις του Υδατικού Δυναμικού του Ταμειευτήρος Μόρνου - Αναγνωριστική Έκθεση, Τεύχος 2, Αθήνα.
16. Τσακίρης Γ. (1985). Μαθήματα εγγειοβελτιωτικών έργων, Αθήνα.
17. Vanoni V.A editor (1977). Sedimentation Engineering, ASCE, New York.
18. Verbund Plan (1972). Power Development Planning in Greece, Masterplan Evinos, Vol. III, Hydrology, United Nations, New York.

**ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ**

Τα πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα υδρολογική διερεύνηση προέρχονται από τις ακόλουθες υπηρεσίες, στις οποίες εκφράζονται ευχαριστίες.

**ΔΕΗ/ΔΑΥΕ**

**ΥΠΕΧΩΔΕ**

ΣΤΑΘΜΟΙ  
ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΟΙ  
ΝΕΟΧΩΡΙΟ  
ΑΧΛΑΔΟΚΑΣΤΡΟ  
ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ

ΣΤΑΘΜΟΙ  
ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΙ  
ΑΡΑΧΩΒΑ  
ΔΡΥΜΩΝΑΣ

ΣΤΑΘΜΟΙ  
ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΟΙ  
ΓΕΦΥΡΑ ΣΤΕΝΟΥ  
ΓΕΦ. ΠΕΡΙΒΟΛΙΟΥ

ΣΤΑΘΜΟΙ  
ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΙ  
ΛΙΔΟΡΙΚΙ  
ΚΑΛΛΙΟ  
ΚΑΡΟΥΤΕΣ  
ΑΘ. ΔΙΑΚΟΣ  
ΔΑΦΝΟΣ  
ΚΟΝΙΑΚΟΣ  
ΜΑΛΑΝΔΡΙΝΟ  
ΠΕΝΤΑΓΙΟΙ

**ΕΜΥ**

**ΕΥΔΑΠ**

ΣΤΑΘΜΟΙ  
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ  
ΠΛΑΤΑΝΟΣ  
ΑΓΡΙΝΙΟ  
ΑΛΙΑΡΤΟΣ  
ΛΙΔΟΡΙΚΙ  
ΛΑΜΙΑ

ΣΤΑΘΜΟΙ  
ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΟΙ  
ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗΣ  
ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΜΟΡΝΟΥ  
ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗΣ  
ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΓΚΙΩΝΑΣ

ΣΤΑΘΜΟΙ  
ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΟΙ  
ΣΥΚΕΑ  
ΑΝΑΛΗΨΗ  
ΓΡΑΜ. ΟΕΥΑ  
ΓΡΗΓΟΡΙΟ  
ΠΑΡΑΔΕΙΣΙΟ  
ΠΛΑΤΑΝΟΣ  
ΠΟΡΟΣ ΡΗΓΑΝΙΟΥ

Τα περισσότερα από τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αντλήθηκαν άμεσα από τη βάση δεδομένων του ΕΜΠ (Τομέας Υδατικών Πόρων) που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού έργου "Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζοντος περιοχής Αθηνών".

## ΟΜΑΔΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τα μέλη της ομάδας, εργασίας που εκπόνησε την παρούσα υδρολογική διερεύνηση είναι:

**Δημ. Κουτσογιάννης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός**

Γενική εποπτεία και διεύθυνση της ομάδας, Ανάπτυξη και λειτουργία του μοντέλου υδρολογικής προσομοίωσης, Κατάρτιση μοναδιαίου υδρογραφήματος, πλημμυρογραφημάτων μελέτης και διόδευση πλημμυρών

**Ιωάν. Ναλμπάντης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός**

Ανάπτυξη και λειτουργία μοντέλου προσομοίωσης του συστήματος ταμειυτήρων Μόρνου-Ευήνου, Υδρολογικός σχεδιασμός εναλλακτικών ταμειυτήρων, Μελέτη στερεοπαροχών Ευήνου

**Νικ. Μαμάσης, Αγρ. Τοπ. Μηχανικός**

Στατιστική επεξεργασία υδρομετεωρολογικών δεδομένων, Κατάρτιση ομβρίων καμπυλών

**Χ. Ανυφαντή, Πολιτικός Μηχανικός**

Αποκωδικοποίηση, αρχειοθέτηση και επεξεργασία ταινιών βροχογράφου, εξαγωγή μέγιστων βροχοπτώσεων

**Κων. Τσολακίδης, Πολιτικός Μηχανικός, Μ.Σ.Ε.**

Αποκωδικοποίηση, αρχειοθέτηση και επεξεργασία ταινιών βροχογράφου, εξαγωγή μέγιστων βροχοπτώσεων.

Αθήνα, 31 Ιανουαρίου 1991

Για το μελετητή

Οι συντάξαντες

Δ. Κωνσταντινίδης

Δ. Κουτσογιάννης

Ι. Ναλμπάντης

Ν. Μαμάσης

## Υ Π Ο Μ Ν Η Μ Α

### ΕΠΙ ΤΟΥ ΡΟΛΟΥ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΕΥΨΗΝΟΥ

Ἡ Τεχνική Ἐκθεση τοῦ Εἰσαγωγικοῦ Μέρους τῆς Μελέτης τοῦ φράγματος ΕὐΨήνου καί τῆς συνδετήριας σήραγγας ΕὐΨήνου - Μόρνου ἐθεώρησε δεδομένη τήν ἀφομοίωση τῆς γενικῆς θεωρήσεως τοῦ ὑδροδοτικοῦ συστήματος ΕὐΨήνου-Μόρνου-Ἰλίου ἀπό τίς εἰδικές μελέτες πού συνυποβλήθηκαν καί συγκεκριμένα τή λεπτομερειακή καί ἐκτεταμένη ὑδρολογική Μελέτη.

Μέ τό παρόν ὑπόμνημα ἐπαναφέρομε συνοπτικά στοιχεῖα τῆς ὅλης μελέτης, πρὸς ἀποφυγή ἀναδρομῶν στά ἐπί μέρους τεύχη.

#### 1. Ταμειυτήρες καί Χωρητικότητες

Οἱ ταμειυτήρες πού ἐξυπηρετοῦν τήν ὕδρευση τῆς Ἀθήνας εἶναι:

- Μόρνος: Ὀλική χωρητικότητα  $730 \times 10^6 \mu^3$  καί ὠφέλιμη  $640 \times 10^6 \mu^3$

Κ.Σ.Υ. (ὕδροληψία) εἰς +377,0μ. (ὕψ.μ. θεμ. +307,5)

Α.Σ.Υ. +435,0μ. Α.Σ.πλ. = +443,65μ. Στέψη + 446,50μ.

- Ἰλίου: Ὀλική χωρητικότητα  $537 \times 10^6 \mu^3$

μέ Α.Σ.Υ. +77μ. καί Κ.Σ.Υ. +45,0μ. Ἀντλιοστάσιο Μουρικίου εἰς +70,0μ.

Μέση στάθμη ἀντλήσεως ἐξ Ἰλίου +60μ.

- Λίμνη Μαραθώνα: Ὀλική χωρητικότητα  $40,3 \times 10^6 \mu^3$

Α.Σ.Υ. = +223μ.

#### - Ταμειυτήρας ΕὐΨήνου

Στους ἀνωτέρω ταμειυτήρες θά προστεθῇ ἡ χωρητικότητα τοῦ φράγματος ΕὐΨήνου τό ὅποιο μελετᾶται. Προφανῶς αὐτή ἡ χωρητικότητα θά συνδυασθῇ μέ τόν ταμειυτήρα Μόρνου. Ἐξετάζονται οἱ περιπτώσεις φραγμάτων μέ χωρητικότητες:  $103,7 \times 10^6 \mu^3$  γιά Α.Σ.Υ. εἰς +500μ,  $73 \times 10^6 \mu^3$  γιά Α.Σ.Υ. εἰς +490μ. καί  $46,4 \times 10^6 \mu^3$  γιά Α.Σ.Υ. εἰς +480μ.

Ἔτσι σύμφωνα μέ τίς διάφορες αὐτές ἐκδοχές, θά διατίθενται οἱ ἐξῆς συνδυασμένες χωρητικότητες γιά τήν ὕδρευση τῆς Ἀθήνας ἀπό Δυσμῶν:

Γιά Α.Σ.Υ.	500	490	480	Ποσοστό		
Μόρνος ( $10^6 \mu^3$ )	640,0	640,0	640,0	86,1%	89,8%	93,2%
ΕὐΨήνος "	<u>103,7</u>	<u>73,0</u>	<u>46,4</u>	<u>13,9%</u>	<u>10,2%</u>	<u>6,8%</u>
Σύνολον	743,7	713,0	686,4	100,0	100,0	100,0

Ποσοστό ἀύξησης Μόρνου 16,2%                      11,4%                      7,3%

Δηλαδή ενώ καθ'εαυτήν η αύξηση των χωρητικοτήτων των τριών λύσεων του Εύηνου είναι 57,3% και 42% η τελική αύξηση του συνδυασμένου συστήματος είναι 7,3% έως 16,2%.

2. Ύψομετρική διαδρομή υδραγωγείου Ύλικης

Μέση στάθμη άντλήσεως Ύλικης: +60μ.

Ανάστη στάθμη Διυλιστηρίων Μενιδίου: +250μ.

Για την απλούστερη διαδρομή Ύλικης - Μενιδίου γεωμετρικόν ύψος άντλήσεως 190μ.

Γραμμικές και τοπικές απώλειες = 50μ.

Μανομετρικόν ύψος 230μ.

Ενέργεια απαιτούμενη ανά μ<sup>3</sup> νερού: 1,17 kwh/m<sup>3</sup>.

Κατά την ΕΥΔΑΠ, ανάλογα με την διαδρομή, η αναλισκομένη ενέργεια κυμαίνεται μεταξύ 0,85 και 1,51 kwh/m<sup>3</sup>. Θεωρούμε μία μέση τιμή 1,20 kwh/m<sup>3</sup>.

3. Απολήψεις από τό σύστημα Εύηνου - Μόρνου

Σύμφωνα με τούς πίνακες 8,12 και 8,13 της Ύδρολογικής Μελέτης για τά διάφορα ύψη φράγματος Εύηνου έχομε τίς έξής είσορές - απολήψεις και ύπερχειλίσεις:

Δυσμενές σενάριο

α/α	Α.Σ.Υ.	500	490	480
1	Χωρητικότης (10 <sup>6</sup> μ <sup>3</sup> )	103,7	73,0	46,4
2	Είσορές "	303,0	303,0	303,0
3	Πρός ύδρευση "	213,0	203,0	193,0
4	Ύπερχείλιση "	88,0	98,0	108,0
5	"Ύδρευση συστήματος"	448,0	445,0	438,0

Για την σύγκριση και βελτιστοποίηση του φράγματος Εύηνου θά χρησιμοποιηθούν τά μεγέθη τά όποια κατευθύνονται από τόν Εύηνο προς την κατεύθυνση του Μόρνου. Η διαφορά μεταξύ ύψηλοϋ και χαμηλοϋ φράγματος είναι η διαφορά των ποσοτήτων πού ύπερχειλίζουν, η όποία είναι 20x10<sup>6</sup> μ<sup>3</sup> μεταξύ 1<sup>ου</sup> και 3<sup>ου</sup> (διαφορά των προς ύδρευση ποσοτήτων πού έκκλινούν από τόν ταμειυτήρα Εύηνου) άσχέτως άν από τόν ταμειυ-

τήρα Μόρνου υπερχειλίζουν, λόγω αδυναμίας του κατάντη συστήματος να τὰ αξιοποιήσει,  $7 \times 10^6 \mu^3$  μεταξύ  $1^{\text{ου}}$  και  $2^{\text{ου}}$  και  $3 \times 10^6 \mu^3$  μεταξύ του  $2^{\text{ου}}$  και  $3^{\text{ου}}$  ).

Είναι θέμα διαχείρισης του συστήματος πλέον ή αξιοποίηση της επί πλέον ποσότητας των  $20 \times 10^6 \mu^3$  τὰ ὁποῖα διαθέτει τό ὑψηλό φράγμα.

Κατά τό εὐμενές σενάριο (αὐτό δηλαδή πού δέν περιέλαβε στήν προσομοίωση τὰ δύο τελευταῖα δυσμενῆ ὑδρολογικά ἔτη) παραμένει ἡ ἴδια ἀντιστοιχία μέ ὁμοιόθετη μεταβολή τῶν πρὸς ὕδρευση ποσοτήτων σέ  $242 \times 10^6 \mu^3 - 233 \times 10^6 \mu^3 - 222 \times 10^6 \mu^3$  γιὰ τίς τρεῖς περιπτώσεις καί οἱ υπερχειλίσεις μειώνονται ἀντιστοίχως εἰς  $77 \times 10^6 \mu^3 - 36 \times 10^6$  καί  $97 \times 10^6 \mu^3$ .

Ἀπό τὰ ἀνωτέρω εἶναι φανερό ὅτι ἀνά 10μ. αὐξήσεως ὕψους φράγματος χορηγεῖται πρὸς τήν κατεύθυνση τῆς Ἀθήνας ποσότητα ἐπί πλέον  $10 \times 10^6 \mu^3$  (ἡ ὁποῖα μπορεῖ νά αξιοποιηθῆ μέ κάποια ρύθμιση τοῦ ἀγωγοῦ μετά τόν Μόρνο μέ ὕδρευση καί ἄρδευση τῶν ἐνδιαμέσων τόπων.

Ἡ ποσότητα αὐτή τῶν  $10 \times 10^6 \mu^3$  (μεταξύ τῶν φραγμάτων μέ Α.Σ.Υ. εἰς +500 καί +490μ.) θά μποροῦσε νά χρησιμοποιηθῆ κατά πολλούς τρόπους. Θά μποροῦσε κατ'ἀρχήν νά παίξει ἀποφασιστικόν ρόλο στόν κανόνα προτεραιότητας στήν λειτουργία τῶν διαφόρων Ταμιευτήρων:

Εἶναι προφανές ὅτι ἡ μέγιστη ἀπόληψη τοῦ συστήματος γιὰ τήν ὕδρευση τῆς Ἀθήνας ἐπιτυγχάνεται ὅταν ἀρχίζει ἡ ὑδροληψία ἀπό τήν Ὑλίκη, ἀφοῦ ἡ παραμονή ἀποθηκευμένων ποσοτήτων σ'αὐτήν συνεπάγεται μεγαλύτερες ποσότητες ἀπωλειῶν ἀπό τίς ρωγμές καί διακλάσεις τῶν καρστικῶν τοιχωμάτων καί πυθμένα της. Ἐξ ἄλλου, εἶναι ἐπίσης προφανές ὅτι ἡ προσφυγή στήν Ὑλίκη ἐπιβαρύνει τήν ὕδρευση μόνον ἀπό τήν ἐνέργεια, κατά τήν ἀξία  $1,2 \text{ kwh/m}^3$  - μέ τήν τιμὴν τῆς ἐνέργειας διαρκῶς αὐξανομένη.

Δέν εἶναι τῆς παρουσίας ἡ μελέτη ἑνός ὀρθολογιστικοῦ συστήματος ρυθμίσεως τῶν προτεραιοτήτων χρησιμοποίησεως τῶν διαφόρων πηγῶν, ἀλλά ἡ ἐπί πλέον χορήγηση 10 ἢ 20 ἑκατομμ.  $\mu^3$  ἀπό τό φράγμα Εὐήνου - ἀνάλογα μέ τό ὕψος του-θέτει ἄλλα κριτήρια προτεραιοτήτων στήν χρησιμοποίηση τῶν Ταμιευτήρων.

Μέ τήν πρόσθετη αὐτή ποσότητα ἐπιτυγχάνονται:

- Ἡ μείωση τῆς ἀντίστοιχης ἐνέργειας ἀπό τήν Ὑλίκη.
- Καί, τό σπουδαιότερο, ἐλευθερώνονται 10 ἢ  $20 \times 10^6 \mu^3$  τῆς Ὑλίκης πρὸς ἄρδευση τῶν ἐκτάσεων περί τήν λίμνη καί τῆς Κωπαΐδας. Μέ νό-

μο του Κράτους είχε επιδικασθῆ για τὴν ἄρδευση τῆς Κωπαΐδας ποσό-  
της  $50 \times 10^6 \mu^3$  ἑτησίως καὶ εἶχε κατασκευασθῆ τὸ ἀντίστοιχο δίκτυο.  
Ἐπειδὴ τὸ πρόβλημα τῆς ὕδρευσης τῆς Ἀθήνας παρουσιαζόταν πάντο-  
τε ὄξυ (ἐκτός 4-5 χρόνων μετὰ τὴν λειτουργία τοῦ Μόρνου) ἡ ποσό-  
τητα αὐτὴ ἐφαλκιδεῦετο ὑπὲρ τῶν ἀναγκῶν τῆς Ἀθήνας καὶ τὰ τελευ-  
ταῖα χρόνια δὲν ὑπερβαίνουν τὰ  $15.000.000 \mu^3$  οἱ ἀπολήψεις γιὰ τὴν  
ἄρδευση τῶν ἀνωτέρω ἐκτάσεων στὶς ἠποῦες "ἀνήκει" τὸ νερό αὐτό.

#### 4. Ἀποτίμηση δαπανῶν - βελτιστοποίηση ὕψους φράγματος

Ἀπὸ τίς προμετρήσεις πού ἔγιναν στό στάδιο τοῦ Εἰσαγωγικοῦ Μέρους  
προέκυψαν οἱ ἑξῆς ὄγκοι φράγματος μέ τούς ἀντίστοιχους δείκτες  
(ἔχει ληφθῆ τιμὴ ἐπιχώματος  $1250 \text{ δρχ}/\mu^3$ ) καὶ προϋπολογισμούς:

1	A.Σ.Υ.	500	490	480
2	Χωρητικότης ( $10^6 \mu^3$ )	103,7	73,0	46,4
3	Ὅγκος φράγματος "	7,3	6,1	4,8
4	Δείκτης $\frac{Q}{V} \left( \frac{\mu^3 \text{ νεροῦ}}{\mu^3 \text{ φρ.}} \right)$	14,2	12,0	9,7
5	Δαπάνη φράγματος ( $10^9 \text{ δρχ}$ )	21,22	19,72	18,10 *
6	Δείκτης δαπάνης $\frac{\Delta}{\Omega} \left( \frac{\text{δρχ}}{\mu^3 \text{ νερ.}} \right)$	204,6	270,1	390,0

Οἱ ἀνωτέρω δείκτες εἶναι κατατοπιστικοί γιὰ τὴν σχετικὴ ὑπεροχὴ  
τῆς κατασκευῆς τοῦ ὑψηλοῦ φράγματος, ὑπάρχουν ὁμως διαφορὲς κόστους  
σὲ ἀπόλυτες τιμές μετὰξὺ  $1^{\text{ου}}$ ,  $2^{\text{ου}}$  καὶ  $3^{\text{ου}}$  πού εἶναι  $1,5 \times 10^9$  καὶ  
 $1,62 \times 10^9$  δρχ. μετὰξὺ δὲ τοῦ  $1^{\text{ου}}$  καὶ  $3^{\text{ου}}$  φθάνουν τὰ  $3,12 \times 10^9$  δρχ.

Ἐναντι τῆς ἐπὶ πλέον αὐτῆς δαπάνης, προσδοκῶνται τὰ ἑξῆς ὀφέλη:

##### 1. Μείωση ἀντλήσεων ἀπὸ Ὑλίκη:

Διὰ  $10 \times 10^6 \mu^3$  κατὰ  $W = 12.000.000 \text{ kwh}$  ἑτησίως, δαπάνη  $C_w =$   
 $= 192.000.000 \text{ δρχ./έτ.}$

##### 2. Αὐξηση γεωργικοῦ εἰσοδήματος:

Μέ μέσην κατανάλωση  $600 \mu^3/\text{στρ.}$  ἡ ποσότητα τῶν  $10.000.000 \mu^3$   
ἀντιστοιχεῖ σὲ ἄρδευση  $16.600$  στρεμμάτων. Τὸ κέρδος ἐκμεταλλεύ-  
σεως ἀντιστοιχεῖ, σύμφωνα μέ γεωργοοικονομικά στοιχεῖα 1990,  
σὲ  $82.000 \times 16.600 = 1.361.000.000$  δρχ. ἑτησίως.

Ἀπὸ τὰ ἀνωτέρω προκύπτει ὅτι ἡ συγκράτηση τῶν  $10 \times 10^6 \mu^3$  σ' ἐκεῖνο  
τὸ ὑψόμετρο ἐπάγεται ὄφελος  $1.361.000.000 + 192.000.000 = 1.553.000.000$   
δρχ. ἑτησίως. Καὶ γιὰ  $20 \times 10^6 \mu^3$  τὸ ἀνωτέρω ὄφελος διπλασιάζεται.

Ἡ ἔτησίᾳ ἐξυπηρέτηση τοῦ προσθέτου κεφαλαίου (τῆς μεγίστης διαφορᾶς τῶν  $1.62 \times 10^9$  δραχ.) ἀντιστοιχεῖ σέ 162.000.000 δραχ. ποσόν τό ὁποῖο ὑπερκαλύπτεται καί μόνον ἀπό τό κέρδος τῆς ἐνεργείας.

Πέραν αὐτῶν:

Γιά τήν ὕδρευση τῆς Ἀθήνας ἀνατρέχουν συχνά στήν περιπέτεια τῆς χρησιμοποίησεως καί τῶν ἐξῆς πρόσθετων πηγῶν κατά περίπτωση:

- Πηγές Καλάμου
- Ποταμός Ἀσωπός
- Ὑπόγεια νερά ἀσβεστολίθων μαυροσουβάλας
- " " " Παραλίμνης
- Γεωτρήσεις Ρεβυθιάς Ἀγίων Ἀποστόλων
- Ἀγίου Μερκουρίου
- Πηγές Σουλίου (ὑφάλμυρες)
- Πηγές Καλάμου (ὑφάλμυρες)
- Πηγές Γερανείων
- Πηγές Βοιωτικοῦ Κηφισοῦ

Ὅλες αὐτές οἱ πηγές δίδουν ποσότητες περίπου  $20 \times 10^6 \mu^3$ , νεροῦ μέτριας ποιότητος, πού ἐκτός τῶν ἐξαιρετικά δαπανηρῶν ἔργων συλλογῆς καί ἀνουψώσεως, ἀπαιτοῦν ὑπέρογκες ποσότητες ἐνεργείας, πάνω ἀπό 2 kwh/ $\mu^3$ .

Μέ τίς ποσότητες αὐτές συγκρινόμενες οἱ ἐλευθερούμενες ἀπό τόν Ταμειευτήρα Εὐήνου προκύπτουν ἀπολύτως οἰκονομικότερες καί ἀσφαλεῖς.

##### 5. Λοιπές χρήσεις

Ἡ διάθεση τῶν ἐπί πλέον  $20 \times 10^6 \mu^3$  πρὸς τὰ Ἀνατολικά κατά τό μέσον ἔτος, θεωρεῖται ἀσφαλῆς ἀφοῦ ὑποστηρίζεται ἀπό χωρητικότητα ἀνάντη πλέον τῶν  $700 \times 10^6 \mu^3$ , καί τοῦτο μετά πλήρη κάλυψη ὕδρευτικῶν ἀναγκῶν ὕψους  $448 \times 10^6 \mu^3$ .

Ὡς λόγους ἀμέσου ὀφέλους ἐθεωρήσαμε ἀνωτέρω τήν μείωση ἀντιστοιχῶν ἀντλήσεων ἀπό τήν Ὑλίκη καί τήν ἄρδευση ἐκτάσεων τοῦ Κωπαϊδικοῦ καί, ἦ, τοῦ Θηβαϊκοῦ πεδίου.

Ἐκτός αὐτῶν ὅμως ὑπάρχουν οἱ ἐνδιάμεσες περιοχές ἀπό τήν Ἀμφισσα μέχρι τή θήβα, μέ τό μικρό ὕδροηλεκτρικό Ἀμφίσσης καί μέ τόν Ἐλαιώνα.

Καί για μερικές δεκαετίες θά είναι διαθέσιμες, χωρίς κίνδυνο άστο-  
χίας ή καταρρεύσεως του συστήματος.

### 6. Συγκριτικά μεγέθη

Μέ τό ύψηλό φράγμα Εύηνου δίδομε στό σύστημα ύδρευσεως Ἀθηνῶν  
 $20 \times 10^6 \mu^3$  ἐπί πλέον ἀπό ὅ,τι μέ τό χαμηλό φράγμα ( $213 \times 10^6$  ἔναντι  
 $193 \times 10^6 \mu^3$ ).

Καί ἡ ἐπί πλέον δαπάνη γιά τήν πρόσκτηση αὐτῶν τῶν  $20 \times 10^6 \mu^3$ , ῥθάνει  
τά 3,12 δισεκ. δραχμῶν, (ἀναγομένη σέ κόστος νεροῦ  $15,60 \text{ δρχ}/\mu^3$ ).

Ἐάν γίνει ἐκτροπή τοῦ Κρικελοπόταμου, θά πάρωμε  $44 \times 10^6 \mu^3$  ἀφοῦ κα-  
τασκευασθῆ φράγμα μικρῆς ἀποθήκευσης καί ἐκτροπῆς καί σήραγγα 9,0 χμ.  
καί ἔργα προσπελάσεως, δαπάνης  $9,0 \times 10^9$  δρχ. τούλάχιστον, χωρίς νά  
ὑπολογισθοῦν ἀπρόοπτες δυσμενεῖς καταστάσεις στά ἀπόκρημα καί ὀρει-  
νά ἐκεῖνα σημεῖα. Δηλαδή γιά διπλάσια σχεδόν ποσότητα (καί μέ ἀβε-  
βαιότητα ὑδρολογική) θά ἔχωμε τριπλάσιο σχεδόν κόστος καί ἄν ἐπιχει-  
ρηθῆ φράγμα στόν Τρικεριώτη γιά τετραπλάσια ποσότητα ἡ δαπάνη θά  
εἶναι ἑπταπλάσια.

Ἡ κατασκευή ταμιευτήρων στήν Ἑλλάδα εἶναι καί δυσχερῆς καί δαπα-  
νηρή ὑπόθεση καί ὅπου εἶναι δυνατή ἡ κατασκευή τους θά εἶναι ἀβελτη-  
ρία καί ἐπιζήμια παράλειψη, ἡ σύμπτυξή τους σέ ἐκπλήρωση μιᾶς περιω-  
ρισμένης ἀποστολῆς ἡ ὁποία ἐν πολλοῖς ἐδράζεται σέ παραδοχές. Γιά  
νά σχηματισθῆ μία γενικώτερη ἀντίληψη τοῦ κόστους τῶν ἔργων ἀποθη-  
κεύσεως παραθέτομε μερικά στοιχεῖα ἀπό πρόσφατες μελέτες ἢ κατα-  
σκευές:

1. Φράγμα Ἀπολακκιᾶς :  $\Delta = 6,2 \times 10^6 \mu^3$   $\Delta = 1.500.000.000 \text{ δρχ.}$   $C = 242 \text{ δρχ}/\mu^3$ .

2. Φράγμα Πλακιώτισσας (Μεσαρᾶς Κρήτης)

$V = 13,2 \times 10^6 \mu^3$   $\Delta = 1.350.000.000$  Α' ἔξάμ. 1986

Ἀναπροσαρμοσμένη δαπάνη :  $3 \times 10^9$  δρχ.

Ἀνά  $\mu^3$   $C = 165$  δρχ. καί γιά  $50 \times 10^9 \rightarrow 8,2 \times 10^9$  δρχ.

3. Φράγμα Ἡλιολούστου :

$V = 37,0 \times 10^6 \mu^3$   $\Delta = 900.000.000$  δρχ Β' ἔξάμ. 1985

Ἀναπροσαρμοσμένη δαπάνη :  $2.250.000.000$  δρχ.

Ἀνά  $\mu^3$  :  $62,5$  δρχ. Γιά  $50 \times 10^6 \mu^3 \rightarrow 3,13 \times 10^9$  δρχ.

4. Φράγμα Φανερωμένης :

$V = 17,0 \times 10^6 \mu^3$   $\Delta = 3.100.000.000$  δρχ. Β' ἔξάμ. 1988

Ἀναπροσαρμοσμένη τιμή  $4,21 \times 10^9$  δρχ.

Ἀνά  $\mu^3$  :  $248$  δρχ. καί τά  $50 \times 10^6 \rightarrow 12,4 \times 10^9$  δρχ.

5. Κόρης Γεφύρι :

$$V = 3,0 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\Delta = 848.000.000 \text{ δρχ. Α' έξάμ. 1988}$$

Αναπροσαρμοσμένη 1.453.000.000 δρχ. Τα  $50 \text{ km}^6 \rightarrow 24,2 \times 10^9 \text{ δρχ.}$

Τά άνωτέρω είναι ένδεικτικά. Είναι προφανές ότι άλλο τό "είδικό βάρος" τής εύρέσεως ύδατος σε νησιωτικές <sup>ΠΕΡΙΟΧΕΣ</sup> ή άλλους άνύδρους τόπους καί άλλο τό τής Δυτικής Ελλάδος, αλλά καί ο Εύηνος δέν παύει νά έξυπηρετεί άνάγκες περιοχής "ύψηλου κινδύνου" λειψυδρίας.

Στό σύντομο αυτό σημείωμα δέν αναφερόμεθα στην μεγάλη σημασία του Ταμειυτήρα για τίς κατάντη έκτάσεις του Εύήνου, για τήν άρδευση, τήν άντιπλημμυρική προστασία (μέ τήν άνάσχεση τών πλημμυρών καί τήν άπομείωση τών αίχμών τους), τήν πιθανή ύδροηλεκτρική έκμετάλλευση του δυναμικού του για παραγωγή μή ρυπαίνουσας ενέργειας κλπ, θέματα πού θά άπασχολήσουν ώς νύξεις τό στάδιο τής κυρίως Προμελέτης.

Η προσκόλληση όμως στόν ρόλο του Ταμειυτήρα μόνον ώς συναφοϋς έργου ύδρεύσεως τών Αθηνών, δημιουργεί κίνδυνον άγκυλώσεως τής προσοχής καί παραβλέψεις τών δευτερογενών πολλαπλών όφελών του.

Γιά τόν Μελετητή

11 Φεβρουαρίου 1991

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ Π.Ε.Χ.Δ.Ε.  
Διεύθυνση Έργων Υδρευσης και Αποχέτευσης  
Τμήμα Μελετών Δ6/α  
Φαναριωτών 9  
10178 ΑΘΗΝΑ

Θέμα : Υψος φράγματος Αγ.Δημητρίου  
Σχετικό : Εγγραφό σας Δ6/οικ/20402/8-2-91

Απαντώντας στο προαναφερόμενο έγγραφο σας επιθυμούμε να παράσχουμε περισσότερες διευκρινίσεις πάνω σε όσα, σαφώς νομίζουμε, προκύπτουν από την υποβληθείσα Έκθεση του Εισαγωγικού Μέρους της μελέτης των έργων Ευήνου και σε όσα σας αναπτύξαμε προφορικά στις 8-2-91.

Η πρόταση του Μελετητή για ψηλό φράγμα Αγ.Δημητρίου βασίζεται πράγματι σε "ποιοτικά" στοιχεία και όχι σε ποσοτική ανάλυση και ο Μελετητής δεν έχει ποτέ ισχυριστεί το εναντίον. Από την ποσοτική ανάλυση, η οποία έγινε με πάσα δυνατή επιμέλεια και με τη χρήση των πιο σύγχρονων επιστημονικών μεθόδων - αλλά η οποία υποχρεωτικά στηρίχτηκε στις πληροφορίες που ήταν δυνατό να συναχθούν από τα διαθέσιμα βασικά δεδομένα - προέκυψε ότι η αύξηση του όγκου ταμίευσης στον Αγ.Δημήτριο πέρα από τα 47 εκ. μ.κ. που αντιστοιχούν σε ύψος φράγματος 490μ (ΑΣΥ λειτουργίας 480μ) αποφέρει αμελητέο όφελος από την άποψη της αύξησης του εξασφαλιζόμενου ετήσιου όγκου, ενώ προϋποθέτει μια αισθητή πρόσθετη δαπάνη για ένα ψηλότερο φράγμα.

Ο Μελετητής θεώρησε όμως καθήκον του να επισημάνει ορισμένα γενικότερα και ειδικότερα πλεονεκτήματα από τη διαθεσιμότητα ενός πρόσθετου αποθηκευτικού όγκου 57 εκ. μ.κ. σε αρκετά μεγάλο υψόμετρο και έναντι μικρού προσθετικού κόστους ανα μονάδα συμπληρωματικού όγκου. Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι καταφανή, δεν μπορούν όμως στη φάση τούτη και με βάση τα διαθέσιμα σήμερα στοιχεία να τεκμηριωθούν με αυστηρή ποσοτική ανάλυση.

Συγκεκριμένα με τη διαθεσιμότητα μιας εφεδρείας 57 εκ.μ.κ. νερού στον Αγ.Δημήτριο μπορούν να αντιμετωπιστούν διάφορες δυσκολίες που είναι ενδεχόμενο να εμφανιστούν κατά τη λειτουργία των έργων. Ενδεικτικά αναφέρονται τα εξής :

- Το ιστορικό δείγμα απορροών πάνω στο οποίο στηρίχτηκε όλο το οικοδόμημα της πολύ εμπεριστατωμένης και λεπτομερέστατης ποσοτικής ανάλυσης για τον προσδιορισμό του διαθέσιμου όγκου νερού από το σύστημα Ευήνου-Μόρνου έχει χρονικό εύρος 20 ετών και παρουσιάζει μεγάλη ανομοιομορφία μεταξύ των διαφόρων ετών. Είναι ενδεχόμενο, ύστερα από 5 ή 10 χρόνια το δείγμα να έχει υποστεί ουσιώδη αλλοίωση επί το δυσμενέστερο (π.χ. προσθήκη ενός ή δύο

πολύ άνομβρων ετών). Σε τέτοια περίπτωση ο ασφαλής ετήσιος όγκος απόληψης που έχει υπολογιστεί με τα σημερινά δεδομένα θα μπορούσε πολύ εύκολα να προκύψει ότι ανταποκρίνεται σε μικρότερη αξιοπιστία, έστω 95% αντί 99%. Αν υπάρχει μια εφεδρεία νερού τότε μπορεί κατά τα άνομβρα χρόνια συχνότητας μεγαλύτερης από 1:100 να συμπληρώνεται το έλλειμμα του ετήσιου όγκου και έτσι να διατηρηθεί ο επιθυμητός βαθμός αξιοπιστίας του συστήματος.

- Εντελώς ανάλογα ισχύουν αν προκύψει έλλειμμα όχι λόγω δυσμενοποίησης του ιστορικού δείγματος αλλά λόγω διαμόρφωσης της ζήτησης σε ψηλότερα επίπεδα από αυτά που, πολύ ευλόγως νομίζουμε, έχουν υποτεθεί.

- Ανεξάρτητα απ'αυτά, αν παρά πάσα προσδοκία εμφανιστεί κάποια εντελώς εξαιρετική και μη προβλέψιμη σήμερα ανομβρία, η διαθεσιμότητα μιας εφεδρείας μπορεί να απαλλάξει την ΕΥΔΑΠ και το Υπουργείο από την ανάγκη προσφυγής "εν θερμώ" σε έκτακτα μέτρα προσωρινού εμπλουτισμού του υδραγωγείου τα οποία πιθανότατα θα είχαν κόστος πολλαπλάσιο του κόστους για την εφάπαξ εξασφάλιση αυτής της εφεδρείας. Σημειώνεται ότι μετά την ανάλυσή της για τέτοιο σκοπό η εφεδρεία μπορεί να επανασχηματιστεί σε σύντομο διάστημα, ίσως και σε ένα χρόνο, όπως φαίνεται από την υπολογισμένη εκτίμηση που έχει γίνει για τον μέσο ετήσιο όγκο υπερχειλίσεων από τον Αγ. Δημήτριο. Η συμπλήρωση της εφεδρείας θα γίνει εις βάρος αυτών των υπερχειλίσεων.

- Άλλη χρήση της εφεδρείας είναι η εξασφάλιση, σε περίπτωση εξαιρετικής ανομβρίας, αρδευτικού νερού για τις αξιοποιήσιμες γεωργικές εκτάσεις της περιοχής των εκβολών του Ευήνου, όπως επίσης για ανάλογες εκτάσεις κατά μήκος του υδαταγωγού Μόρνου.

- Αναφέρεται ακόμη η αβεβαιότητα που φαίνεται να υπάρχει σήμερα σχετικά με τον αναμενόμενο ρυθμό πρόσχωσης του ταμιευτήρα Αγ. Δημητρίου. Σήμερα με την καλλίτερη εκτίμηση που μπορούσε να γίνει βάσει των διαθέσιμων πληροφοριών, επιδικάζονται 27 εκ.μ.κ. του ταμιευτήρα για την απόθεση φερτών υλών. Αν, σύμφωνα με τις ανησυχίες που εκφράζονται από την πλευρά της ΔΕΗ, η στερεοπαροχή στην εξεταζόμενη θέση είναι πολύ μεγαλύτερη απ'ότι συνήθως σε παρόμοια ποτάμια, η διαθεσιμότητα ενός εφεδρικού όγκου μερικών δεκάδων εκατομμυρίων μ.κ. θα μπόυσε να αποδειχθεί πολύτιμη.

- Τέλος υπάρχει και το θέμα της ενδεχόμενης μελλοντικής επέκτασης του συστήματος προς τον Ανατολικό Αχελώο. Σήμερα δεν είναι ούτε στοιχειωδώς γνωστός και εκτιμήσιμος ο τρόπος που θα μπορούσε να διαμορφωθεί το σχετικό έργο. Κι'αυτό επειδή δεν υπάρχουν αξιόπιστα υδρολογικά στοιχεία (όλες οι ως τώρα εκτιμήσεις έχουν γίνει με βάση συσχετίσεις με την τεκμαιρόμενη ροή στα Κρεμαστά που και γι'αυτήν δεν υπάρχουν στοιχεία για τό μετά το 1977 χρονικό διάστημα). Ούτε τεκμηριώνεται από γεωλογική άποψη κάποια βάσιμη προοπτική για τη δυνατότητα κατασκευής ενός ταμιευτήρα στον Κρικελλοπόταμο αλλά ακόμη και στον Τρικεριώτη. Το αντίθετο μάλιστα. Συνεπώς το μόνο που μπορούσε να γίνει στα πλαίσια τούτου του Εισαγωγικού Μέρους ήταν να εκτιμηθεί το καθαρό όφελος από την παροχέτευση της αρρύθμιστη ροής του

Κρικελλοπόταμου προς τον Αγ. Δημήτριο σε σύγκριση με το καθαρό όφελος από τη διοχέτευση μιας αντίστοιχης ρυθμισμένης παροχής. Η σύγκριση αυτή έδωσε διαφορά καθαρού οφέλους 47 εκ. μ.κ. υπέρ της λύσης που συνεπάγεται αξιοποίηση ρυθμισμένης παροχής. Αυτό δείχνει καθαρά την αξία της διαθεσιμότητας ενός αποθηκευτικού όγκου. Εκείνο που επισημάνθηκε στην Έκθεση είναι ότι η ύπαρξη ενός αξιόλογου εφεδρικού όγκου στον Αγ. Δημήτριο θα μπορούσε ως ένα βαθμό τουλάχιστο να υποκαταστήσει τα έργα ταμείωσης μέσα στη λεκάνη του Κρικελλοποτάμου, τα οποία εν πάση περιπτώσει δε φαίνονται σήμερα πραγματοποιήσιμα.

- Σύμφωνα με την παραγγελία σας συμπληρώθηκαν επείγοντως οι υπολογισμοί σχετικά με την μεταφορά αρρυθμιστής παροχής από τον Κρικελλοπόταμο προς ταμειυτήρα με ΑΣΥ 480μ στον Αγ. Δημήτριο. Το καθαρό όφελος σε ετήσιο όγκο διαθέσιμου νερού βρέθηκε ότι στην περίπτωση αυτή περιορίζεται από 47 εκ. μ.κ. που ισχύει για το ψηλό φράγμα σε εκ. μ.κ. Η εκτίμηση αυτή είναι η καλλίτερη που μπορεί να γίνει σήμερα, δεν παύει όμως να είναι τόσο αβέβαιη όσο και τα βασικά δεδομένα.

Ουσιαστικά ο Μελετητής, στην προσπάθειά του να διατυπώσει μια ορθή πρόταση σχετικά με το ύψος του φράγματος Αγ. Δημητρίου, επισημαίνει ότι στην Ελλάδα η δημιουργία ενός εφεδρικού αποθηκευτικού όγκου σε αρκετά μεγάλο υψόμετρο και με συγκριτικά πολύ χαμηλό προσθετικό κόστος ανά μ.κ. πρέπει να θεωρείται ως πράξη στοιχειώδους προνοίας και ότι ο πρόσθετος αυτός όγκος μπορεί να αποδειχθεί από χρήσιμος έως σωτήριος υπό πληθώρα προϋποθέσεων, προβλέψιμων και απρόβλεπτων. Τελικά ο Μελετητής πιστεύει ότι θα ήταν ατυχές να φαλκιδευτούν οι μακροχρόνιες λειτουργικές δυνατότητες του νέου ταμειυτήρα με τη συμπίεση του αποθηκευτικού όγκου σ' ένα εξαιρετικά μικρό ποσοστό (15%) της μέσης ετήσιας απορροής του ποταμού. Υπενθυμίζεται ότι παρόμοιο ζήτημα είχε τεθεί και κατά τον καθορισμό του ύψους του φράγματος Μόρνου. Τότε η επιλογή ευνόησε τη δημιουργία ταμειυτήρα με όγκο διπλάσιο της ετήσιας απορροής του ποταμού. Ο Μελετητής διερωτάται ποιά θα ήταν σήμερα η κατάσταση στην Πρωτεύουσα αν ο ταμειυτήρας Μόρνου είχε κατασκευαστεί με τον μισό αποθηκευτικό όγκο απ' αυτόν που έχει σήμερα, αν δηλ. είχαν λείψει από το ισοζύγιο των τελευταίων ετών 300 εκ. μ.κ.

Τέλος η Υπηρεσία ζητάει να γίνει σχολιασμός σχετικά με τη δυνατότητα χρησιμοποίησης του εφεδρικού όγκου κατά τη λειτουργία του συστήματος. Αναφορικά με το θέμα αυτό σημειώνονται τα εξής :

- Για όλες τις περιπτώσεις εκτός της επέκτασης προς Κρικελλοπόταμο μπορεί να χρησιμοποιηθούν οι χαμηλότερες στοιβάδες (57 εκ. μ.κ.) στον ταμειυτήρα Αγ. Δημητρίου με ΑΣΥ 500μ ως όγκος εφεδρείας και οι ανώτερες στοιβάδες (47 εκ. μ.κ.) ως όγκος ταμείωσης για την κανονική λειτουργία. Κάθε φορά που εξαγτλούνται τα 47 εκ. μ.κ. θα διακόπτεται η τροφοδότηση του Μόρνου μέσω της σήραγγας. Έτσι μπορεί να κρατιέται η εφεδρεία αλώβητη για ώρα ανάγκης, π.χ. για την περίπτωση που συγχρόνως με την ταπείνωση

4  
; στάθμης στον Αγ. Δημήτριο έχει αδειάσει και ο ταμειευτήρας  
ρνου, οπότε βέβαια κινδυνεύει να καταρρεύσει το σύστημα και  
ρέπει να γίνει προσφυγή στην εφεδρεία.

- Ως προς την περίπτωση εμπλουτισμού από τον Αν. Αχελώο όλοι οι  
υπολογισμοί έχουν γίνει για το ενιαίο σύστημα Ευήνου-Μόρνου και  
επομένως δε χρειάζεται ειδικός σχολιασμός για τον τρόπο  
χρησιμοποίησης της εφεδρείας.

Στή διάθεσή σας για οποιεσδήποτε περαιτέρω διευκρινίσεις.

Για το Μελετητή

Δημ. Φεσσάς

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ  
ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

των Δ. Κουτσογιάννη και Ι. Ναλμπάντη

Με το κείμενο αυτό θέλουμε να διατυπώσουμε τις προσωπικές μας απόψεις στο θέμα της επιλογής της χωρητικότητας του ταμειυτήρα που πρόκειται να κατασκευαστεί στον Εύηνο, και συγκεκριμένα στη θέση Αγ. Δημητρίου.

Θεωρούμε λοιπόν ότι ο ταμειυτήρας πρέπει να έχει την μέγιστη τεχνικά δυνατή χωρητικότητα, και την άποψη μας αυτή θα προσπαθήσουμε να τεκμηριώσουμε παρακάτω. Πιο συγκεκριμένα πιστεύουμε ότι από τις τρεις λύσεις που εξετάστηκαν στα πλαίσια του εισαγωγικού μέρους της προμελέτης ( $\alpha = 46$  εκατ.  $m^3$ ,  $\beta = 73$  εκατ.  $m^3$ ,  $\gamma = 104$  εκατ.  $m^3$ ), θα πρέπει να προκριθεί η τελευταία, και μάλιστα, αν δεν υπήρχαν γεωτεχνικοί περιορισμοί θα ήταν επιβεβλημένη η πρόκριση μιας σημαντικά μεγαλύτερης χωρητικότητας. Η άποψη μας αυτή βρίσκεται σε συμφωνία με τις προτάσεις του ερευνητικού έργου "Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονας περιοχής Αθηνών", όπου συμπεραίνεται ότι "ο ταμειυτήρας θα πρέπει να έχει αυξημένη ωφέλιμη χωρητικότητα, ώστε να γίνει η μέγιστη αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού".

Το οικονομικό κριτήριο, αν και πολύ βαρύνον δεν θα πρέπει να είναι η μοναδική βάση της απόφασης για την τελική επιλογή της χωρητικότητας του ταμειυτήρα. Πάντως το κόστος της επιπλέον ποσότητας νερού που προκύπτει με την αύξηση της χωρητικότητας του ταμειυτήρα από τη λύση ( $\alpha$ ) στη ( $\gamma$ ) (30-35  $\delta\rho\chi/m^3$ ) δεν είναι μεγάλο. Άλλωστε δεν υπάρχει (λόγω των αβεβαιοτήτων της εξέλιξης της κατανάλωσης και της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων) μονοσήμαντη εναλλακτική πηγή για οικονομική σύγκριση (θα συγκριθεί π.χ. με το κόστος μεταφοράς νερού από την Υλίκη—συμπεριλαμβανομένου και του κόστους που οπωσδήποτε θα απαιτηθεί για βελτίωση του υδραγωγείου—, ή με το κόστος μεταφοράς νερού από τον Ανατολικό Αχελώο, ή με το κόστος αφαλάτωσης και εν συνεχεία άντλησης;). Δεν θα πρέπει να μας διαφύγει το γεγονός ότι

η μεταφορά από τον Εύηνο πραγματοποιείται με βαρύτητα, και έτσι το κόστος δεν επηρεάζεται από πιθανές αυξήσεις της τιμής της ενέργειας, όπως συμβαίνει π.χ. με το νερό της Υλίκης.

Με τον "μεγάλο" ταμιευτήρα (γ) εξασφαλίζεται μια συνολική απολήψιμη ποσότητα νερού από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου 448 εκατ.  $m^3$ , για το δυσμενές σενάριο εισροών. Η αντίστοιχη ποσότητα για τον μικρό ταμιευτήρα είναι 438 εκατ.  $m^3$ , δηλαδή είναι μικρότερη κατά 10 εκατ.  $m^3$ . (Τα μεγέθη αυτά γίνονται 490 εκατ.  $m^3$  και 476 εκατ.  $m^3$  στην περίπτωση συμβολής και του Κρικελλοπόταμου, με διαφορά 14 εκατ.  $m^3$ .) Στην πραγματικότητα και στις δύο αυτές λύσεις η ρύθμιση είναι αρκετά μικρή (θα ήταν βέβαια πολύ μικρότερη, αν δεν προβλέπονταν συνδυασμένη λειτουργία των ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου). Πράγματι οι υπερχειλίσεις του Ευήνου είναι πολύ σημαντικές: 88 εκατ.  $m^3$  για τον μεγάλο ταμιευτήρα και 108 εκατ.  $m^3$  για τον μικρό, έναντι 24 εκατ.  $m^3$  του σημερινού μεμονωμένου ταμιευτήρα Μόρνου. Για να μειωθούν δραστικά οι υπερχειλίσεις θα έπρεπε να κατασκευαστεί ένας ταμιευτήρας με χωρητικότητα της τάξης των  $500 \times 10^6 m^3$ . Ένας τέτοιος ταμιευτήρας θα οδηγούσε σε ολικές απολήψεις 480  $m^3$  από το σύστημα Μόρνου-Ευήνου, φτάνοντας έτσι σε επίπεδα ίδια με αυτά που στις λύσεις (α), (β) και (γ) επιτυγχάνονται μαζί με τον Κρικελλοπόταμο, και περιορίζοντας τις υπερχειλίσεις του Ευήνου στα 40 εκατ.  $m^3$ . Βεβαίως ένας τόσο μεγάλος ταμιευτήρας δεν είναι τεχνικά επιτεύξιμος στον Άγιο Δημήτριο, αλλά τα παραπάνω στοιχεία μπορούν να χρησιμεύσουν ως αφετηρία αναφοράς. Σημειώνουμε ότι η παρατηρούμενη βραδεία άνοδος στην ποσότητα απόληψης με την αύξηση της χωρητικότητας του ταμιευτήρα Ευήνου, οφείλεται στη συνδυασμένη λειτουργία του συστήματος: π.χ. η ποσοστιαία αύξηση της χωρητικότητας του ταμιευτήρα Ευήνου από τη λύση (α) στη λύση (γ) είναι 126% αν αγνοηθεί ο ταμιευτήρας Μόρνου, αλλά μόνο 8% αν προσμετρηθεί και η χωρητικότητα του τελευταίου, πράγμα που είναι και το ορθό.

Στα πλεονεκτήματα του μεγάλου ταμιευτήρα σε σχέση με τον μικρό συμπεριλαμβάνεται, εκτός από την αύξηση της απολήψιμης ποσότητας, και η αύξηση της ελαστικότητας του συστήματος, μια έννοια που συνδυάζεται με τη μείωση του κινδύνου πλήρους αστοχίας του συστήματος (βλ. Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, Αξιοπιστία και

ασφάλεια του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, Πρακτικά της ημερίδας Προοπτικές επίλυσης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας ή Περιοδικό Οικονομικός Ταχυδρόμος τ. 47(1907) 22 Νοεμ. 1990). Πράγματι, σε ένα μεγάλο ταμειυτήρα είναι δυνατό να τηρούνται αποθέματα ασφαλείας, τα οποία χρησιμοποιούνται μόνο σε περιπτώσεις επερχόμενης αστοχίας ή σε βλάβη του συστήματος. Η σημασία αυτού του θέματος μπορεί να κατανοηθεί πολύ καλά από την πρόσφατη εμπειρία. Τα διατιθέμενα αποθέματα είναι κάτι, σίγουρο, ενώ οι αναμενόμενες εισροές, που είναι στην ουσία οι υδατικοί πόροι, έχουν πάντα ένα σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας. Γι' αυτό και οι συζητήσεις και ανακοινώσεις της ΕΥΔΑΠ μιλούσαν μόνο για αποθέματα. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι δεν είναι αμελητέος και ο ψυχολογικός παράγοντας που συνδυάζεται με τον κίνδυνο αστοχίας, ο οποίος δεν υπακούει σε ορθολογισμό, και συχνά έχει δυσμενείς οικονομικές επιπτώσεις (π.χ. εσπευσμένη αναζήτηση λύσεων έστω και αντιοικονομικών).

Ακόμη, δεν θα πρέπει να αγνοηθεί η ενδεχόμενη επίδραση των κλιματικών αλλαγών στη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων στο μέλλον, και ιδιαίτερα αυτών που οφείλονται στο φαινόμενο θερμοκηπίου, ~~ατους υδατικούς πόρους~~. Παρόλο που τέτοια έρευνα δεν έχει ακόμη εκπονηθεί για τους υδατικούς πόρους που υδροδοτούν την Αθήνα, από τα αποτελέσματα παρόμοιων ερευνών σε ελληνικό και διεθνές επίπεδο οδηγούμαστε στην εξής ένδειξη: Η κλιματική αλλαγή θα έχει δυσμενείς επιπτώσεις στα έργα ταμείωσης, ακόμα και για ενδεχόμενη αύξηση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης. Οι δυσμενείς επιπτώσεις φαίνεται να οφείλονται κυρίως στη δυσμενέστερη χρονική κατανομή της βροχής και της απορροής μέσα στη διάρκεια του έτους, και την ελάττωση των χιονοπτώσεων. Σε έρευνα που εκπονήθηκε στο ΕΜΠ (βλέπε και δημοσίευμα των Μ. Μιμίκου, Π. Χατζησάββα και Ι. Κουσόπουλου στο βήμα στις 1 Ιουλίου 1990) στη βάση σεναρίων κλιματικής αλλαγής για την περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας, προέκυψε ότι "η διατήρηση αποδεκτού βαθμού αξιοπιστίας για την εγγύηση όλων των χρήσεων μπορεί να επιτευχθεί με την αύξηση του ωφέλιμου όγκου του ταμειυτήρα, που μπορεί να φτάνει μέχρι και στον τριπλασιασμό".

Τέλος υπενθυμίζουμε ότι ανάλογο θέμα επιλογής της τελικής τιμής της χωρητικότητας ταμειυτήρα είχε ανακύψει και κατά

τη διαστασιολόγηση του ταμιευτήρα Μόρνου. Όπως αναφέρεται στο σχετικό υπόμνημα της ΥΔΡΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ από 25 Ιαν. 1972, η προτεινόμενη από το μελετητή χωρητικότητα του ταμιευτήρα για απόληψη 300 εκατ.  $m^3$  ήταν 642 εκατ. για αξιοπιστία 99.4%. Ο σύμβουλος του ΥΠΔΕ LAHMEYER, πρότεινε όμως την τιμή της χωρητικότητας 330  $m^3$  για αξιοπιστία 99.9% (τιμή που εκ των υστέρων κρίνεται ως απολύτως εσφαλμένη). Ο μελετητής τότε επέμεινε στις αρχικές του απόψεις, επικαλούμενος τη σπουδαιότητα του έργου για την πρωτεύουσα και την πολύ μικρή αύξηση του κόστους κατασκευής από την αύξηση της ωφέλιμης χωρητικότητας, σε σχέση με το τελικό κόστος. Ευτυχώς που ο ταμιευτήρας κατασκευάστηκε τελικά σύμφωνα με την άποψη την ΥΔΡΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, γιατί σε αντίθετη περίπτωση, και πλήρης αστοχία του συστήματος θα είχε συμβεί εδώ και 2-3 χρόνια, αλλά και ο όγκος του ταμιευτήρα Μόρνου δεν θα επαρκούσε για ταμίευση του νερού του Ευήνου.

Δ. Κουτσογιάννης  
Δρ. Πολ. Μηχανικός

Ι. Ναλμπάντης  
Δρ. Πολ. Μηχανικός

Δημήτρης Κουτσογιάννης  
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός  
Λέκτορας ΕΜΠ  
Ηρώων Πολυτεχνείου 5  
157 73 Ζωγράφου

## ΤΕΧΝΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

ΓΙΑ ΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΕΥΗΝΟΥ - ΜΟΡΝΟΥ  
ΑΠΟ ΛΕΚΑΝΕΣ ΤΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΑΧΕΛΩΟΥ (ΜΕ ΑΦΟΡΜΗ ΤΟ ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΜΑΓΕΙΡΙΑ)

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Σημείωμα αυτό γράφηκε με αφορμή το Υπόμνημα του κ. Στ. Μαγειρία με θέμα "Υδροενεργειακό σχήμα εμπλουτισμού λίμνης Μόρνου", που κοινοποιήθηκε από τη Διεύθυνση Ύδρευσης - Αποχέτευσης του ΥΠΕΧΩΔΕ στην ερευνητική ομάδα του ΕΜΠ, στην οποία και συμμετείχα.

Ωστόσο, δεν αποτελεί συνολική απάντηση στο, δυσφημιστικό για την ερευνητική ομάδα του ΕΜΠ, περιεχόμενο του Υπομνήματος. Το Υπόμνημα αυτό, και μόνο λόγω του ύφους του, δεν προσφέρεται για απάντηση. Θα θίξω μόνο δύο σημεία που είναι ενδεικτικά της επιστημονικής ποιότητας του Υπομνήματος.

- 1) Στο Υπόμνημα θεωρείται ως συμβολή του ταμιευτήρα Δενδροχωρίου στο σύστημα ο ετήσιος όγκος των 235 εκατομ.μ<sup>3</sup>, δηλαδή το σύνολο της μέσης ετήσιας απορροής της λεκάνης Ευήνου στη θέση αυτή.<sup>1</sup> Εδώ έχουμε μια παραδοχή καταφανώς εξωπραγματική, αφού δεν παίρνεται υπόψη καμία απώλεια επί της εισροής στον ταμιευτήρα (εξάτμιση, υπερχειλίση, διαρροή). Η σωστή εκτίμηση, που άλλωστε υπάρχει και στην Συνοπτική Έκθεση του ΕΜΠ, είναι 181 εκατομ. μ<sup>3</sup>, και προέκυψε από αναλυτικότερη διερεύνηση με χρήση προχωρημένων μεθόδων της Υδρολογίας.
- 2) Για το έργο στον Κρικελλοπόταμο στο Υπόμνημα εκτιμάται η μέση εισροή ίση με 118.7 εκατομ. μ<sup>3</sup> ετησίως<sup>2</sup> και η μέση ετήσια απόληψη 107 εκατομ. μ<sup>3</sup>, δηλαδή θεωρείται βαθμός ρύθμισης (βλ. παράγραφο 2 και Σχ. 1)  $107 / 118.7 = 90\%$ . Για ένα τέτοιο βαθμό ρύθμισης, και δεδομένου ότι οι κατάντη ταμιευτήρες δίνουν μικρότερο βαθμό ρύθμισης, θα χρειαζόνταν ένας ταμιευτήρας στον Κρικελλοπόταμο με όγκο υπερδιπλάσιο της μέσης ετήσιας εισροής, δηλαδή με όγκο άνω των 237 εκατομ. μ<sup>3</sup>. Ο ταμιευτήρας όμως που προτείνεται από τον κ. Μαγειρία έχει όγκο μόλις το 6% του παραπάνω μεγέθους, δηλαδή 14 εκατομ. μ<sup>3</sup>.

Από τα παραπάνω, διαφαίνεται ότι η εκτίμηση των 450 εκατομ. μ<sup>3</sup> που δίνεται στο Υπόμνημα ως ετήσιο δυναμικό του συστήματος Ευήνου - Κρικελλοπόταμου - Καρπενησιώτη είναι τελείως εξωπραγματική.

Στη συνέχεια του Σημειώματος αυτού θα επιχειρηθεί μία προσεγγιστική εκτίμηση της πραγματικής δυνατότητας περαιτέρω ενίσχυσης του συστήματος Ευήνου - Μόρνου από τις

---

1. Την τιμή αυτή ο κ. Μαγειρίας την πήρε από την μελέτη ΕΜΠ.

2. Εκτίμηση του κ. Μαγειρία κατ'αναλογίαν με την λεκάνη Ευήνου, με βάση τα δεδομένα του ΕΜΠ.

λεκάνες Κρικελλοπόταμου και Καρπενησιώτη και για τις τρεις εναλλακτικές θέσεις φράγματος στον Εύηνο (Δενδροχώρι - Άγιος Δημήτριος - Περίστα).

Σημειώνεται ότι το Σημείωμα αυτό, όπως άλλωστε και η όλη έρευνα του ΕΜΠ, περιορίζεται στην υδρολογική άποψη του θέματος και θίγει μόνο θέματα ποσότητας υδατικών πόρων, και όχι ενεργειακά ή τεχνικο-οικονομικά ζητήματα, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι τα τελευταία είναι μικρότερης σπουδαιότητας.

## 2. ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Κρίνεται σκόπιμο να παρατεθούν μερικές βασικές έννοιες<sup>3</sup>, που είναι απαραίτητες για την κατανόηση της ανάλυσης που θα επακολουθήσει:

1. Οι νέοι ταμιευτήρες που θα δημιουργηθούν πρέπει να θεωρηθούν ως ένα ενιαίο σύστημα μαζί με τους σημερινούς ταμιευτήρες Μόρνου και Υλίκης. Σε πρώτη προσέγγιση για τους υπολογισμούς του σχεδιασμού των νέων έργων μπορεί να αγνοηθεί η Υλίκη αλλά όχι και ο ταμιευτήρας Μόρνου, ο οποίος λόγω της μεγάλης χωρητικότητας του θα χρησιμοποιείται και για μερική ρύθμιση των εισροών του Ευήνου.
2. Το κριτήριο υδρολογικής αξιολόγησης κάθε συγκεκριμένης λύσης που εξετάζεται για την ενίσχυση του Μόρνου, δεν είναι η ολική πρόσθετη εισροή που επιφέρει, αλλά το καθαρό όφελος που προκύπτει στην απόληψη για ύδρευση της Αθήνας. Αυτό το καθαρό όφελος ορίζεται ως η διαφορά της ολικής απόληξης από το υδροδοτικό σύστημα της λύσης που εξετάζεται μείον την ολική απόληψη από το σύστημα αναφοράς (σημερινό).
3. Βασική είναι η έννοια του βαθμού ρύθμισης, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του όγκου απόληξης (D) προς τον ολικό όγκο εισροής (I). Το μέγεθος αυτό είναι πάντα μικρότερο από 1 και εξαρτάται από το συντελεστή χωρητικότητας K/I, όπου K η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα, καθώς και από το επίπεδο αξιοπιστίας που είναι επιθυμητό να προσφέρει το σύστημα. Στη μελέτη ΕΜΠ το επίπεδο αξιοπιστίας ορίστηκε ίσο με 99%, που σημαίνει ότι γίνεται αποδεκτή μερική αστοχία κάλυψης των αναγκών της Αθήνας κατά μέσο όρο μία φορά κάθε 100 χρόνια. Όπως είναι προφανές η αύξηση του όγκου του ταμιευτήρα K επιφέρει αύξηση του βαθμού ρύθμισης και επομένως και της απόληξης, για δεδομένο επίπεδο αξιοπιστίας (βλέπε και Σχήμα 1).
4. Κανονικά η μελέτη των παραπάνω μεγεθών για κάθε συγκεκριμένη τεχνική λύση απαιτεί χρήση προχωρημένων υδρολογικών μοντέλων, με παράλληλη προσομοίωση της πλήρους λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος. Τέτοια διερεύνηση σε βάθος έγινε και για τις τρεις εναλλακτικές θέσεις φραγμάτων στον Εύηνο, στη μελέτη ΕΜΠ, αλλά δεν είναι δυνατό να γίνει στα πλαίσια αυτού του Σημειώματος, το οποίο περιορίζεται σε προσεγγιστικές εκτιμήσεις.

## 3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ - ΠΗΓΕΣ

Η σύνταξη αυτού του Σημειώματος στηρίχτηκε στα δεδομένα και αποτελέσματα του ερευνητικού έργου "Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μεζονος περιοχής Αθηνών" (ΕΜΠ, 1990). Δευτερευόντως χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από

3. Περαιτέρω οι έννοιες αυτές αναπτύσσονται στα 19 Τεύχη της μελέτης του ΕΜΠ.

την Υδρολογική Διερεύνηση της "Προμελέτης ενίσχυσης του υδατικού δυναμικού του ταμιευτήρα Μόρνου από τη λεκάνη του ποταμού Ευήνου" (ΟΤΜΕ - ΥΔΡΟΜΗΧΑΝΙΚΗ - ΥΔΡΟΤΕΚ - ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗΣ - ΚΑΡΑΒΟΚΥΡΗΣ - ΓΚΟΦΑΣ, 1991), στην οποία λήφθηκαν υπόψη και τα πιο πρόσφατα υδρολογικά δεδομένα μέχρι και το υδρολογικό έτος 1989-90.

#### 4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ

Εξετάστηκαν τα ακόλουθα εναλλακτικά συστήματα ταμιευτήρων:

- 1.1. Μόρνος + Δενδροχώρι
- 1.2. Μόρνος + Δενδροχώρι + Κρικελλοπόταμος
- 1.3. Μόρνος + Δενδροχώρι + Κρικελλοπόταμος + Καρπενησιώτης
- 1.1. Μόρνος + 'Αγ. Δημήτριος
- 1.2. Μόρνος + 'Αγ. Δημήτριος + Κρικελλοπόταμος
- 1.3. Μόρνος + 'Αγ. Δημήτριος + Κρικελλοπόταμος + Καρπενησιώτης
- 1.1. Μόρνος + Περίστα
- 1.2. Μόρνος + Περίστα + Κρικελλοπόταμος
- 1.3. Μόρνος + Περίστα + Κρικελλοπόταμος + Καρπενησιώτης

Οι ωφέλιμες χωρητικότητες των ταμιευτήρων στις τρεις θέσεις που χρησιμοποιήθηκαν στο Σημείωμα αυτό έχουν ληφθεί από τη μελέτη ΕΜΠ, και συγκεκριμένα για κάθε έργο χρησιμοποιήθηκε η μέγιστη από τις εναλλακτικές χωρητικότητες που εξετάστηκαν στην τελευταία, ήτοι:

Δενδροχώρι	252 εκατομ. m <sup>3</sup>
Αγ. Δημήτριος	100 εκατομ. m <sup>3</sup>
Περίστα	199 εκατομ. m <sup>3</sup>

Για τα έργα του Ανατολικού Αχελώου χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές του Υπομνήματος Μαγειρία, ήτοι:

Κρικελλοπόταμος	14 εκατομ. m <sup>3</sup>
Καρπενησιώτης	6 εκατομ. m <sup>3</sup>

#### 5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε στο Σημείωμα αυτό είναι καθαρά εμπειρική και προσεγγιστική, αφού δεν χρησιμοποιήθηκε η πλήρης μοντελοποίηση και προσομοίωση του συστήματος ταμιευτήρων (βλ. παρ. 2, σημείο 4). Συγκεκριμένα όλοι οι υπολογισμοί στηρίχτηκαν σε μια εμπειρική καμπύλη συντελεστή χωρητικότητας - βαθμού ρύθμισης, η οποία καταρτίστηκε με βάση τα αποτελέσματα της διερεύνησης ΕΜΠ (βλ. σχήμα 1). Η μέθοδος αυτή αντί του συστήματος ταμιευτήρων χρησιμοποιεί την έννοια του ισοδύναμου ταμιευτήρα, δηλαδή ενός ιδεατού ταμιευτήρα με όγκο και εισροές ίσες με τα αντίστοιχα αθροιστικά μεγέθη του συστήματος ταμιευτήρων. Η μέθοδος αυτή θα ήταν ακριβής με τις προϋποθέσεις ότι

- α) η παροχετευτικότητα των αγωγών διασύνδεσης θα ήταν πρακτικώς άπειρη, και
- β) θα υπήρχε δυνατότητα αμφίδρομης ροής (αντιστρεψιμότητα) στους αγωγούς διασύνδεσης.

Βεβαίως οι προϋποθέσεις αυτές δεν ισχύουν στην περίπτωση που εξετάζεται, και κατά συνέπεια η μέθοδος δίνει υπερεκτιμημένες τιμές. Για το λόγο αυτό επιβάλλεται να γίνεται μια διόρθωση των αποτελεσμάτων της μεθόδου, με χρησιμοποίηση κατάλληλων μειωτικών συντελεστών, η εκτίμηση των οποίων είναι εμπειρική.

Αναλυτικότερα η μέθοδος και οι υπολογισμοί περιγράφονται στο παράρτημα που συνοδεύει το Σημείωμα.

## 6. ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα τελικά αποτελέσματα της παραπάνω μεθόδου συνοψίζονται τον Πίνακα 1, ενώ αναλυτικότερα φαίνονται στους Πίνακες Π2, Π3 και Π4 του Παραρτήματος.

### ΠΙΝΑΚΑΣ 1

ΚΑΘΑΡΟ ΟΦΕΛΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΛΥΣΕΩΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΑΠΟ ΕΥΗΝΟ ΚΑΙ  
ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΑΧΕΛΩΟ (ΣΕ ΕΚΑΤΟΜ. m<sup>3</sup>)

ΔΕΙΓΜΑ ΕΙΣΡΟΩΝ: Μέχρι 1987-88 (όπως στη μελέτη ΕΜΠ - ευμενές σενάριο εισροών)

Λύση → Θέση Φρ. Ευήνου	Εύηνος	Εύηνος +Κρικελλοπ.	Εύηνος+Κρικελλοπ. +Καρπεν.
Δενδροχώρι	181	241	288
Άγιος Δημήτριος	223	282	325
Περίστα	261	320	363

Τα υδρολογικά δεδομένα εισροών που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς είναι τα ίδια με αυτά της μελέτης ΕΜΠ, και προκύπτουν από τα ιστορικά δείγματα μέχρι και το υδρολογικό έτος 1987-88. Στη μελέτη ΟΤΜΕ κ.α. χρησιμοποιήθηκαν και τα δεδομένα των δύο τελευταίων ιδιαίτερα ξηρών υδρολογικών ετών (δυσμενές σενάριο εισροών), και από τη σχετική διερεύνηση προέκυψε ότι αυτά επιφέρουν μια μείωση των απολήψεων στο 88.5%, σε σχέση με τις αντίστοιχες του ΕΜΠ. Αν γίνει η παραδοχή ότι ο ίδιος μειωτικός συντελεστής μπορεί να εφαρμοστεί και για το διευρυμένο σύστημα που περιλαμβάνει και τον Αχελώο, τότε οι τιμές του Πίνακα 1, για το δυσμενές σενάριο εισροών γίνονται όπως στον Πίνακα 2.

## ΠΙΝΑΚΑΣ 2

ΚΑΘΑΡΟ ΟΦΕΛΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΛΥΣΕΩΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΜΟΡΝΟΥ ΑΠΟ ΕΥΗΝΟ ΚΑΙ  
ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΑΧΕΛΩΟ (ΣΕ ΕΚΑΤΟΜ.  $m^3$ )  
ΔΕΙΓΜΑ ΕΙΣΡΟΩΝ: Μέχρι 1989-90 (όπως Προμελέτη ΟΤΜΕ κ.α. 1991 -  
δυσμενές σενάριο εισροών)

Λύση →	Εύηνος	Εύηνος +Κρικελλοπ.	Εύηνος+Κρικελλοπ. +Καρπεν.
Θέση Φρ. Ευήνου			
Δενδροχώρι	160	213	255
Άγιος Δημήτριος	197	250	288
Περίστα	231	283	321

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Το συνολικό καθαρό όφελος απόληψης για το σύστημα Δενδροχωρίου - Κρικελλοπόταμου - Καρπενησιώτη εκτιμάται ίσο με 288 εκατομ.  $m^3$  για το ευμενές σενάριο εισροών και 255 εκατομ.  $m^3$  για το δυσμενές σενάριο εισροών.
2. Η προσθήκη των έργων εκτροπής Κρικελλοπόταμου και Καρπενησιώτη στο σύστημα Μόρνου - Ευήνου προσθέτει στην απόληψη του συστήματος 107 εκατομ.  $m^3$  για το ευμενές σενάριο εισροών ή 95 εκατομ.  $m^3$  για το δυσμενές σενάριο εισροών.
3. Η εκτροπή του Ανατολικού Αχελώου είναι δυνατό να συνδυαστεί και με τα έργα Αγίου Δημητρίου ή Περιστάς, χωρίς ουσιαστική μεταβολή του πρόσθετου οφέλους ενίσχυσης στην απόληψη. Το συνολικό καθαρό όφελος στις περιπτώσεις αυτές γίνεται 325 (288) εκατομ.  $m^3$  για τον Άγ. Δημήτριο ή 363 (321) εκατομ.  $m^3$  για την Περίστα και για το ευμενές (δυσμενές) σενάριο εισροών.
4. Από άποψη την άποψη της εκμετάλλευσης των υδατικών πόρων και για κάθε συνδυασμό έργων η Περίστα υπερέχει του Αγίου Δημητρίου κατά περίπου 40 εκατομ.  $m^3$ , και ο Άγ. Δημήτριος του Δενδροχωρίου κατά επίσης 40 εκατομ.  $m^3$  περίπου (για το ευμενές σενάριο εισροών).
5. Είναι προφανές ότι η υδρολογία δεν αποτελεί αποκλειστικό κριτήριο για την επιλογή μιας συγκεκριμένης λύσης, αλλά είναι πάντοτε απαραίτητη προϋπόθεση η αξιόπιστη αποτίμηση των υδρολογικών μεγεθών κάθε τεχνικής λύσης αξιοποίησης υδατικών πόρων.
6. Αν αποφασιστεί η επέκταση του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας προς τον Ανατολικό Αχελώο, θα απαιτηθούν ακριβέστερες και αναλυτικές υδρολογικές διερευνήσεις της πραγματικής δυνατότητας των έργων που θα μελετηθούν.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

### Παραγωγή καμπύλης συντελεστή χωρητικότητας - βαθμού ρύθμισης

Η καμπύλη καταρτίστηκε με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης ΕΜΠ, για επίπεδο αξιοπιστίας 99% και για άπειρη παροχτετευτικότητα αγωγού διασύνδεσης Ευήνου - Μόρνου. Τα αποτελέσματα αυτά συνοψίζονται στον Πίνακα Π1. Από τα στοιχεία αυτά υπολογίστηκαν οι συντελεστές χωρητικότητας και οι βαθμοί ρύθμισης του ισοδύναμου ταμιευτήρα, και τα σημεία που προέκυψαν παραστάθηκαν γραφικά στο διάγραμμα του Σχήματος 1. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, οι ομάδες σημείων που προκύπτουν για τις διάφορες εναλλακτικές λύσεις μπορούν να ενοποιηθούν και να προσεγγιστούν με μια ενιαία καμπύλη. Αυτή η καμπύλη μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί και για τα συστήματα που περιλαμβάνουν και νέους ταμιευτήρες στον Αχελώο, με την προϋπόθεση ότι θα γίνουν οι διορθώσεις που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 5.

### Διορθώσεις - Διορθωτικοί συντελεστές

Οι διορθωτικοί συντελεστές εφαρμόζονται ξεχωριστά για κάθε ταμιευτήρα, επί του μεμονωμένου οφέλους απόληψης του υπόψη ταμιευτήρα. Οι συντελεστές αυτοί εξαρτώνται από τον όγκο ταμιευτήρα, την παροχτετευτικότητα του αγωγού διασύνδεσης και τις συνθήκες απόληψης. Σχετικά έγιναν οι εξής παραδοχές:

1. *Ταμιευτήρες Ευήνου:* Εδώ δεν χρειάζεται να γίνει διόρθωση για τη μη αντιστρεψιμότητα της ροής δεδομένου ότι η καμπύλη έχει βασιστεί σε δεδομένα που προέκυψαν από στοχαστική προσομοίωση με παραδοχή μη αντιστρεψιμότητας. Η επίδραση της πεπερασμένης παροχτετευτικότητας είναι μικρή, λόγω του μεγάλου όγκου των ταμιευτήρων. Εν πάση περιπτώσει, από τη μελέτη του ΕΜΠ, είναι γνωστές οι τιμές της απόληψης και για πεπερασμένη παροχτετευτικότητα, και επομένως δεν είναι απαραίτητη η εφαρμογή μειωτικού συντελεστή.
2. *Έργο εκτροπής Κρικελλοποτάμου:* Λόγω της πολύ μικρής χωρητικότητας του έργου θεωρείται μειωτικός συντελεστής ίσος με 75%. Αν λάβουμε υπόψη και την Προμελέτη ΟΤΜΕ κ.α. (1991), στην οποία το καθαρό όφελος του Κρικελλοποτάμου υπολογίστηκε (με άλλη μεθοδολογία) ίσο με 42 εκατομ.  $m^3$  ετησίως, για το δυσμενές σενάριο εισροών (ή περίπου 47 εκατομ.  $m^3$  ετησίως, για το ευμενές σενάριο εισροών), βλέπουμε ότι η τιμή του συντελεστή 75% είναι αρκετά αισιόδοξη. (βλ. και Πιν. Π2).
3. *Έργο εκτροπής Καρπενησιώτη:* Λόγω της πολύ μικρής χωρητικότητας του έργου (6 εκατομ.  $m^3$ ), αλλά και των απαιτούμενων αντλήσεων που προβλέπεται να πραγματοποιούνται σε περιορισμένη χρονική διάρκεια της ημέρας, με νυχτερινό ρεύμα, θεωρείται μειωτικός συντελεστής ίσος με 50%.

### Εφαρμογή της μεθόδου

- α. Εκτιμάται η ολική εισροή  $I$  στο σύστημα. Η απορροή στον Αν. Αχελώο εκτιμήθηκε με βάση τα δεδομένα του Ευήνου, με παραδοχή αναλογίας προς τα εμβαδά των λεκανών.
- β. Υπολογίζεται για κάθε λύση η ολική χωρητικότητα  $K$  του συστήματος.
- γ. Υπολογίζεται ο συντελεστής χωρητικότητας  $K/I$ .
- δ. Από το διάγραμμα του Σχ. 1 εκτιμάται ο βαθμός ρύθμισης  $D/I$  και υπολογίζεται η ολική απόληψη του ισοδύναμου ταμιευτήρα,  $D$ .

- ε. Υπολογίζεται το καθαρό όφελος του κάθε μεμονωμένου ταμειυτήρα, με αφαίρεση των ολικών απολήψεων που επιτυγχάνονται με και χωρίς τον υπόψη ταμειυτήρα.
- στ. Επί του παραπάνω καθαρού οφέλους εφαρμόζεται ο αντίστοιχος μειωτικός συντελεστής, προκειμένου να ληφθούν υπόψη τα λάθη που υπεισέχονται λόγω των παραδοχών της μεθόδου (άπειρη παροχτευτικότητα - αντιστρεψιμότητα).
- ζ. Με πρόσθεση των διορθωμένων καθαρών οφελών προκύπτει ο συνολικός απολήψιμος όγκος του συστήματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π1.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ - ΒΑΘΜΟΥ ΡΥΘΜΙΣΗΣ  
(ΑΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΕΜΠ, ΤΕΥΧΟΣ 15, ΓΙΑ ΑΠΕΙΡΗ ΠΑΡΟΧΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ)

	ΩΦΕΛΙΜΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ			ΑΚΑΘΑΡΙΣΤΗ ΕΙΣΡΟΗ			ΟΛΙΚΗ ΑΠΟΛΗΞΗ	ΣΥΝΤΕΛ. ΧΩΡΗΤ.	ΒΑΘΜΟΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ
	ΜΟΡΝΟΥ	ΕΥΗΝΟΥ	ΣΥΝΟΛΟ	ΜΟΡΝΟΥ	ΕΥΗΝΟΥ	ΣΥΝΟΛΟ			
ΜΟΡΝΟΣ	643	0	643	319	0	319	280	2.013	0.877
ΔΕΝΔΡΟΧΩΡ (+ΜΟΡΝΟΣ)	643	10	653	319	235	554	443	1.178	0.799
	643	50	693	319	235	554	449	1.250	0.810
	643	100	743	319	235	554	453	1.340	0.817
	643	150	793	319	235	554	456	1.430	0.823
	643	252	895	319	235	554	461	1.614	0.832
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡ. (+ΜΟΡΝΟΣ)	643	10	653	319	321	641	493	1.019	0.769
	643	20	663	319	321	641	495	1.035	0.772
	643	50	693	319	321	641	502	1.081	0.783
	643	100	743	319	321	641	508	1.159	0.793
ΠΕΡΙΣΤΑ (+ΜΟΡΝΟΣ)	643	10	653	319	362	681	508	0.958	0.746
	643	20	663	319	362	681	515	0.973	0.756
	643	50	693	319	362	681	521	1.017	0.765
	643	100	743	319	362	681	532	1.091	0.781
	643	150	793	319	362	681	540	1.164	0.793
	643	199	842	319	362	681	545	1.236	0.800

ΠΙΝΑΚΑΣ Π2:

ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΘΑΡΟΥ ΟΦΕΛΟΥΣ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΜΟΡΝΟΥ - ΕΥΗΝΟΥ (ΔΕΝΔΡΟΧΩΡΙ) - ΑΝ.ΑΧΕΛΛΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΗΜΕΡΙΝΟ ΣΧΗΜΑ ΜΟΡΝΟΥ (ΟΓΚΟΙ ΣΕ ΕΚΑΤΟΜΜΥΡΙΑ m<sup>3</sup>)

Υδροδοτικό Σχήμα:	Μόρνος	Μόρνος+Εύηνος	Μόρνος+Εύηνος +Κρικελλοπόταμ.	Μόρνος+Εύηνος +Κρικελ.+Καρπεν.
Προστιθέμενη έκταση λεκάνης (km <sup>2</sup> )	558	255	129	158
Προστιθέμενη μέση ετήσια εισροή	319	235	119	145
Συνολική ετήσια ακαθάριστη εισροή, I	319	554	673	818
Προστιθέμενος όγκος ταμειυτήρα	643	252	14	6
Συνολική ωφέλιμη χωρητικότητα συστήματος ταμειυτήρων, K	643	895	909	915
Συντελεστής χωρητικότητας, K/I	2.02	1.62	1.35	1.12
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΑΠΕΙΡΗ ΠΑΡΟΧΕΤΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΕΨΙΜΟΤΗΤΑ				
Ποσοστό ρύθμισης, D'/I	0.87	0.84	0.81	0.78
Ολική απόληψη, D'	280*	465	545	638
Καθαρό όφελος σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα, ΔD'	-	185	80	93
Καθαρό όφελος σε σχέση με το Μόρνο	-	185	265	358
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΕΤΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΜΗ ΑΝΤΙΣΤΡΕΨΙΜΟΤΗΤΑ				
Καθαρό όφελος σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα ΔD	-	181*	60**	47***
Ολική απόληψη, D	280*	461*	521	568
Καθαρό όφελος σε σχέση με το Μόρνο	-	181*	241	288

\* Από έρευνα ΕΜΠ

\*\* ΔD = 75% ΔD'

\*\*\* ΔD = 50% ΔD'

ΠΙΝΑΚΑΣ Π3: ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΘΑΡΟΥ ΟΦΕΛΟΥΣ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΜΟΡΝΟΥ - ΕΥΗΝΟΥ (ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ) - ΑΝ.ΑΧΕΛΩΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΗΜΕΡΙΝΟ ΣΧΗΜΑ ΜΟΡΝΟΥ (ΟΓΚΟΙ ΣΕ ΕΚΑΤΟΜΜΥΡΙΑ m<sup>3</sup>)

Υδροδοτικό Σχήμα:	Μόρνος	Μόρνος+Εύηνος	Μόρνος+Εύηνος +Κρικελλοπόταμ.	Μόρνος+Εύηνος +Κρικελ.+Καρπεν.
Προστιθέμενη έκταση λεκάνης (km <sup>2</sup> )	558	349	129	158
Προστιθέμενη μέση ετήσια εισροή	319	321	119	145
Συνολική ετήσια ακαθάριστη εισροή, I	319	640	759	904
Προστιθέμενος όγκος ταμιευτήρα	643	100	14	6
Συνολική ωφέλιμη χωρητικότητα συστήματος ταμιευτήρων, K	643	743	757	763
Συντελεστής χωρητικότητας, K/I	2.02	1.16	1.00	0.84
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΑΠΕΙΡΗ ΠΑΡΟΧΕΤΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΕΨΙΜΟΤΗΤΑ				
Ποσοστό ρύθμισης, D'/I	0.87	0.79	0.77	0.74
Ολική απόληψη, D'	280*	506	584	669
Καθαρό όφελος σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα, ΔD'	-	226	78	85
Καθαρό όφελος σε σχέση με το Μόρνο	-	226	304	389
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΕΤΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΜΗ ΑΝΤΙΣΤΡΕΨΙΜΟΤΗΤΑ				
Καθαρό όφελος σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα ΔD	-	223*	59**	43***
Ολική απόληψη, D	280*	503*	562	605
Καθαρό όφελος σε σχέση με το Μόρνο	-	223*	282	325

\* Από έρευνα ΕΜΠ

\*\* ΔD = 75% ΔD'

\*\*\* ΔD = 50% ΔD'

ΠΙΝΑΚΑΣ Π4: ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΘΑΡΟΥ ΟΦΕΛΟΥΣ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΜΟΡΝΟΥ - ΕΥΗΝΟΥ (ΠΕΡΙΣΤΑ) - ΑΝ.ΑΧΕΛΛΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΗΜΕΡΙΝΟ ΣΧΗΜΑ ΜΟΡΝΟΥ (ΟΓΚΟΙ ΣΕ ΕΚΑΤΟΜΜΥΡΙΑ m<sup>3</sup>)

Υδροδοτικό Σχήμα:	Μόρνος	Μόρνος+Εύηνος	Μόρνος+Εύηνος +Κρικελλοπόταμ.	Μόρνος+Εύηνος +Κρικελ.+Καρπεν.
Προστιθέμενη έκταση λεκάνης (km <sup>2</sup> )	558	393	129	158
Προστιθέμενη μέση ετήσια εισροή	312	362	119	145
Συνολική ετήσια ακαθάριστη εισροή, I	319	681	800	945
Προστιθέμενος όγκος ταμειυτήρα	643	199	14	6
Συνολική ωφέλιμη χωρητικότητα συστήματος ταμειυτήρων, K	643	842	856	862
Συντελεστής χωρητικότητας, K/I	2.02	1.24	1.07	0.91
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΑΠΕΙΡΗ ΠΑΡΟΧΕΤΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΕΨΙΜΟΤΗΤΑ				
Ποσοστό ρύθμισης, D'/I	0.87	0.80	0.78	0.75
Ολική απόληψη, D'	280*	545	624	709
Καθαρό όφελος σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα, ΔD'	-	265	79	85
Καθαρό όφελος σε σχέση με το Μόρνο	-	265	344	429
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΕΤΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΜΗ ΑΝΤΙΣΤΡΕΨΙΜΟΤΗΤΑ				
Καθαρό όφελος σε σχέση με το προηγούμενο σχήμα ΔD	-	261*	59**	43***
Ολική απόληψη, D	280*	541*	600	643
Καθαρό όφελος σε σχέση με το Μόρνο	-	261*	320	363

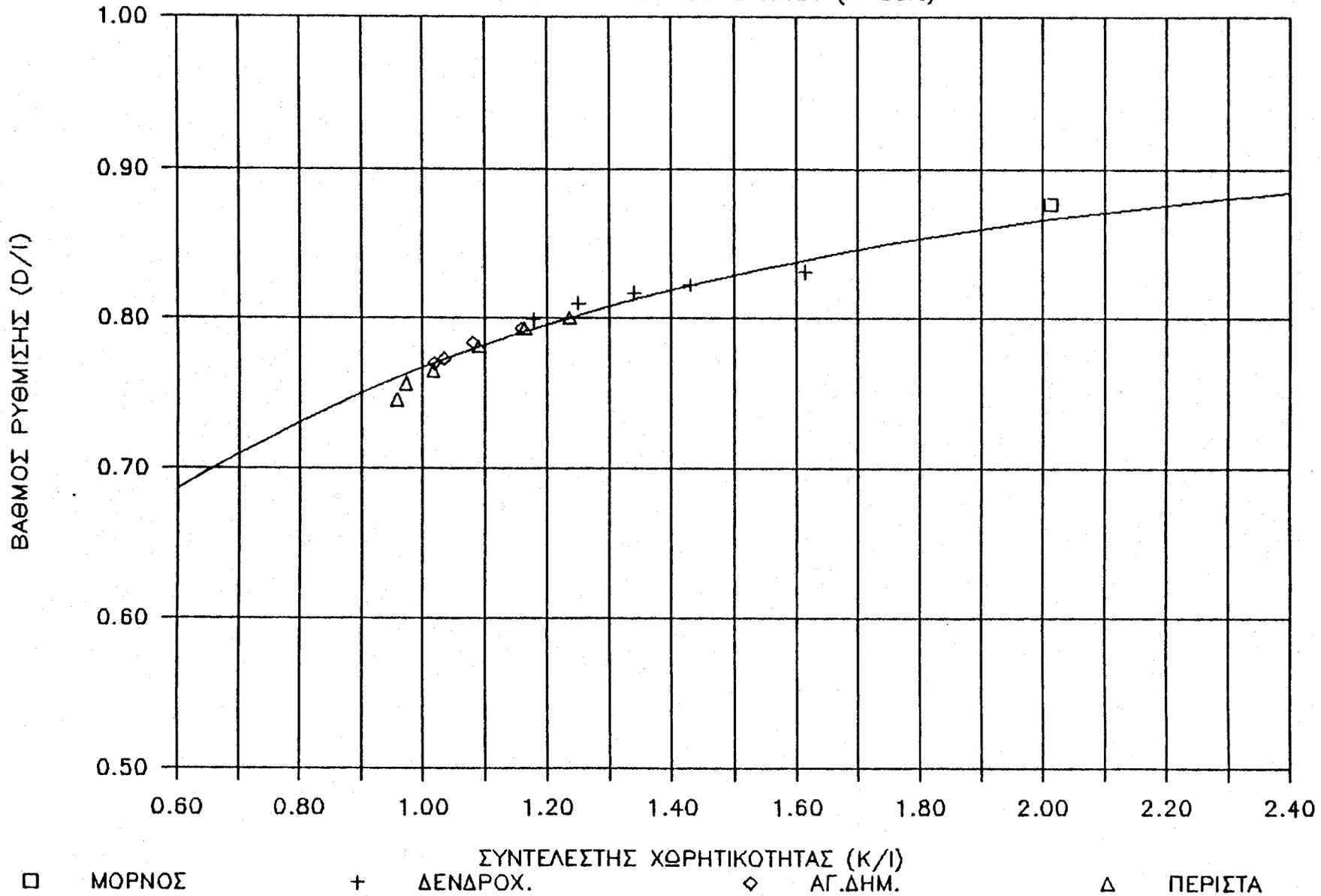
\* Από έρευνα ΕΜΠ

\*\* ΔD = 75% ΔD'

\*\*\* ΔD = 50% ΔD'

# ΣΧΕΣΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΗΣ

ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΡΝΟΥ-ΕΥΗΝΟΥ ( $\alpha=99\%$ )



Σχήμα 1