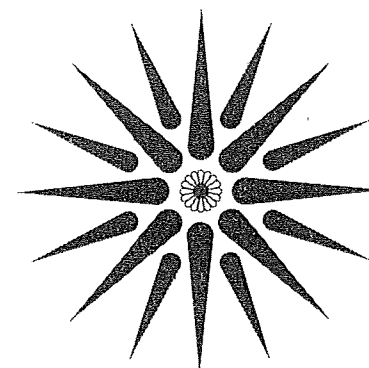


ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΕΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ

ΠΡΑΚΤΙΚΑ
ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΥ ΣΕΜΙΝΑΡΙΟΥ

Εκδότης: Χ. Τζιμόπουλος



ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ Α.Π.Θ.
ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ - ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ & ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΣΥΛΛΟΓΟΣ ΔΙΠΛ. ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ - ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Β.Ε.

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 19-22 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 1994
ΜΑΪΟΣ 1994

Small Reservoirs and Dams

Proceedings of the Panhellenic Seminar
on Small Reservoirs and Dams,
held at Polytechnic School, Thessaloniki
January, 1994.

Editor C. TZIMOPOULOS

Published by:
Ziti Editors, Thessaloniki 1994
Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1994

ISBN 960-431-280-4

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι υδάτινοι πόροι μιας χώρας αποτελούν βασική προϋπόθεση για τη διατήρηση ενός ικανοποιητικού ρυθμού αναπτύξεως. Δυστυχώς κατά τα τελευταία χρόνια, όπως έχει διαπιστωθεί από πολλούς υδρολόγους, διερχόμαστε μια μακρόχρονη περίοδο λειψυδρίας που είναι ιδιαίτερα αισθητή στη χώρα μας. Πράγματι σύμφωνα με στοιχεία που έχουν δοθεί σε διάφορα συνέδρια υπολογίζεται ότι υπάρχει μια συστηματική διολίσθηση των βροχοπτώσεων με σταθερή ένταση.

Τα αποτελέσματα της παρατεταμένης λειψυδρίας είναι εμφανή στη δίαιτα των ποταμών, την πτώση της στάθμης των υπογείων υδάτων και των λιμνών κ.λπ.

Τα τελευταία χρόνια ο Επιστημονικός κόσμος της χώρας μας συνειδητοποίησε το παραπάνω φαινόμενο και προσπάθησε με επανειλημμένα Συνέδρια, Σεμινάρια, Ημερίδες κ.λπ.

- 1) Να ενημερώσει την κοινή γνώμη.
- 2) Να ευαισθητοποιήσει την Πολιτική ηγεσία της χώρας μας.
- 3) Να προτείνει λύσεις για τη θεραπεία του προβλήματος.

Σήμερα οι δύο πρώτοι στόχοι έχουν επιτευχθεί και απομένει ο τρίτος στόχος που είναι και ο βασικότερος. Οι λύσεις που προτείνονται για τη θεραπεία του προβλήματος είναι πολλές:

- α) Αφαλάτωση του νερού της θάλασσας.
- β) Προγράμματα ορθολογιστικής διαχείρισης των υδατινών πόρων της χώρας μας.
- γ) Αναδιάρθρωση των καλλιεργειών κ.λπ.
- δ) Κατασκευή φραγμάτων και λιμνοδεξαμενών.

Η αφαλάτωση του νερού της θάλασσας αποτελεί εδώ και δεκαετίες την κύρια λύση για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας σε διάφορα μέρη του κόσμου. Ήδη υφίστανται περίπου 7500 μονάδες αφαλάτωσης του θαλάσσιου νερού σε διάφορα μέρη του κόσμου και στη χώρα μας που επεξεργαζόμαστε 13 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού ημερησίως. Το πρόβλημα βεβαίως με τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης είναι ότι:

- 1) Έχουν μικρή απόδοση.
- 2) Έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής και συντήρησης.

Τα προγράμματα ορθολογιστικής διαχείρισης των υδατικών πόρων θα πρέπει να γίνονται κατά υδρολογικές λεκάνες με τη βοήθεια μοντέλων και θα επιτρέπουν σε κάθε υδρολογική λεκάνη:

- 1) Να πάρει υπόψη όλες τις χρήσεις νερού.
- 2) Να συνδυάζονται μεταξύ τους οι χρήσεις αυτές ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη χρήση.

Έτσι π.χ. για την υδρολογική λεκάνη του ποταμού Αλιάκμονα θα πρέπει να δημιουργηθούν προγράμματα διαχείρισης που θα παίρνουν υπόψη τους:

- τα υπόγεια νερά
- τα επιφανειακά νερά
- την άρδευση
- την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- την ύδρευση
- τη βιομηχανία
- το περιβάλλον
- τον τουρισμό
- τις ιχθυοκαλλιέργειες κ.λπ.

και θα συνδυάζονται μεταξύ τους ώστε να δίνουν τη βέλτιστη χρήση του νερού.

Φυσικά για την πραγμάτωση των στόχων αυτών θα πρέπει οι διάφορες υπηρεσίες που χειρίζονται τα διάφορα έργα να συντονιστούν και να εξοπλιστούν ανάλογα.

Επειδή οι αρδεύσεις απορροφούν το 80-85% της κατανάλωσης του νερού θα πρέπει ενδεχομένως να σκεφθούμε και τις λύσεις της αναδιάρθρωσης ορισμένων υδροβόρων καλλιιεργειών με την εισαγωγή άλλων καλλιεργειών λιγότερο υδροβόρων.

Τέλος ένα από τα αποτελεσματικότερα μέτρα για τη θεραπεία του προβλήματος αποτελούν *οι κατασκευές των φραγμάτων και λιμνοδεξαμενών*. Θεωρώντας ότι ούτε μία σταγόνα νερού δεν πρέπει σήμερα να μένει ανεκμετάλλευτη, προσανατολιζόμαστε σε λύσεις και μικρών ακόμη φραγμάτων που παλαιότερα θεωρούνταν αντισοικονομικά και στις λύσεις των λιμνοδεξαμενών που είναι νέα τεχνολογία για τη χώρα μας συγγενική με τα φράγματα.

Το παρόν Σεμινάριο διοργανώθηκε από τον Τομέα Συγκοινωνιακών και Υδραυλικών Έργων του Τμήματος Αγρονόμων - Τοπογράφων Μηχανικών του Α.Π.Θ. από κοινού με το Σύλλογο Αγρονόμων - Τοπογράφων Μηχανικών Β.Ε. σε μία προσπάθεια διάχυσης των γνώσεων σχετικά με τα Φράγματα και τις Λιμνοδεξαμενές σε όλο το φάσμα των Επιστημόνων που ασχολούνται με τα έργα αυτά.

Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 1994

Χρήστος Τζιμόπουλος
Καθηγητής Α.Π.Θ.
Δ/τής του Τομέα Συγκοινωνιακών
και Υδραυλικών Έργων

ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Χρήστος Τζιμόπουλος: Καθηγητής Α.Π.Θ. Διευθυντής του Τομέα Συγκοινωνιακών και Υδραυλικών Έργων.

Αθανάσιος Παύλου: Αγρονόμος - Τοπογράφος Μηχανικός, Πρόεδρος του Συλλόγου Διπλωματούχων Αγρονόμων - Τοπογράφων Μηχανικών Β.Ε.

Γραμματέας: Γεωργία Παπαδοπούλου, Ε.Δ.Τ.Π., Τομέας Συγκοινωνιακών και Υδραυλικών Έργων, Τμήμα Αγρονόμων - Τοπογράφων Μηχανικών.

Ταχυδρομική διεύθυνση

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ - ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΧΡ. ΤΖΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

Τηλ: (031) 996141
54006 - ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | Σελ. |
|---|------|
| Παρουσίαση της εκδήλωσης από τον Διευθυντή του Τομέα Συγκοινωνιακών και Υδραυλικών Έργων, Καθηγητή κ. Χρήστο Τζιμόπουλο..... | 11 |
| Παρουσίαση της εκδήλωσης από τον Πρόεδρο του Συλλόγου Διπλωματούχων Αγρονόμων - Τοπογράφων Μηχανικών Β.Ε. κ. Α. Παύλου | 14 |
| Προσφώνηση Μ. Παπαδοπούλου, Καθηγητή Α.Π.Θ., Κοσμήτορα της Πολυτεχνικής Σχολής | 16 |
| Προσφώνηση Χρ. Καλτσιώκη, Αναπληρωτή Καθηγητή Α.Π.Θ., Προέδρου του Τμήματος Αγρονόμων - Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ..... | 17 |
| Προσφώνηση Γ. Σούλιου, Καθηγητή Α.Π.Θ., Προέδρου του Τμήματος Γεωλογίας | 18 |
| Προσφώνηση Α. Ψιλοβίκου, Φοιτητή Τμήματος Αγρονόμων - Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ., Εκπροσώπου του Συλλόγου Φοιτητών του Τ.Α.Τ.Μ..... | 20 |
| Λόγος του Εμ. Γαξέλα, Διευθυντή Υ.Ε.Β. του Υπουργείου Γεωργίας, εκπροσώπου του Υφυπουργού Γεωργίας..... | 21 |
| Λόγος του κ. Δ. Μαραγκουδάκη, Διευθυντή Υ.Ε.Β. του Υπουργείου Γεωργίας εκφωνηθείς από τον εκπρόσωπο του κ. Δ. Βαλασσόπουλο, Τημηματάρχη της Υ.Ε.Β. | 25 |
| Προσφώνηση - Έναρξη του Σεμιναρίου από τον Αντιπρότανη του Α.Π.Θ., Καθηγητή κ. Κ. Δεμίρη..... | 27 |

1. Υδρολογία

| | |
|--|-----|
| "Ειδικά προβλήματα υδρολογίας. Εκτίμηση εισροών σε ταμειυτήρες νερού". Παπαζαφειρίου Ζαφείρης, Καθηγητής Α.Π.Θ. Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής. Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ..... | 31 |
| "Διόδευση πλημμυρών". Ευριπίδου Κυριάκος, Πολ. Μηχανικός ΥΠΕΧΩΔΕ. Δ/ση Εγγ/κών Έργων (Δ7) | 57 |
| "Υδρολογικά δίκτυα - Εφαρμογές στη μελέτη Φράγματος. Τζοβαρίδης Σοφοκλής, Αγρονόμος - Τοπογράφος Μηχανικός, ΥΠΕΧΩΔΕ, Δ/ση Εγγ/κών Έργων (Δ7), Dr. Ing. de l'Univeristé de Toulouse | 78 |
| "Το υδρολογικό δίκτυο της Δ.Ε.Η." Ξανθουλέας Αχιλλέας, Πολ. Μηχανικός, Υδραυλικός - Υδρολόγος Μηχανικός Τομεάρχης Υδρολογίας Δ.Ε.Η..... | 103 |
| "Η αξιοποίηση του υδάτινου δυναμικού με την κατασκευή φραγμάτων, βασικός παράγοντας της ενεργειακής ανάπτυξης της χώρας". Τσόγκας Χρήστος, Αγρονόμος - Τοπογράφος Μηχανικός, Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης..... | 118 |

2. Λιμνοδεξαμενές

- "Προβλήματα σχεδιασμού Λιμνοδεξαμενών".
Παρισόπουλος Γεώργιος, Δρ. Πολ. Μηχανικός, Εντεταλμένος Ερευνητής Ε.Θ.Ι.Α.Γ.Ε.,
Ι.Γ.Ε.Μ.Κ. 135
- "Εμπειρίες από τη μελέτη και κατασκευή στον Ελληνικό χώρο".
Παρισόπουλος Γεώργιος, Δρ. Πολ. Μηχανικός, Εντεταλμένος Ερευνητής Ε.Θ.Ι.Α.Γ.Ε.,
Ι.Γ.Ε.Μ.Κ. 156

3. Μορφές φραγμάτων - υπερχειλιστές

- "Χωμάτινα - Λιθόρριπτα Φράγματα. Ειδικές μορφές".
Θανόπουλος Ιωάννης, Πολ. Μηχανικός ΔΕΗ, Ing. Hydraulicien, Dr. Ing. INP. Grenoble..... 173
- "Υπερχειλιστές"
Τζιμόπουλος Χρήστος, Καθηγητής Α.Π.Θ. Τομέας Συγκοινωνιακών και Υδραυλικών
Έργων. Τμήμα Αγρονόμων - Τοπογράφων Μηχανικών..... 205
- "Ένα παράδειγμα υπερχειλιστού με τραπεζοειδή διατομή (Βάλια Κάλντα)".
Ξανθούλεας Αχιλλέας, Πολ. Μηχανικός, Υδραυλικός - Υδρολόγος Μηχανικός Τομέα-
ρης Υδρολογίας Δ.Ε.Η..... 242

4. Λεκάνες αποσβέσεως ενέργειας

- "Λεκάνες αποσβέσεως ενεργείας".
Τηλιγάδας Ελεήμων, Αγρονόμος - Τοπογράφος Μηχανικός, ΥΠΕΧΩΔΕ, Δ/νση
Εγγ/κών Έργων (Δ7), Dr. Ing. de l'Universite de Paris VI..... 249
- "Ένα παράδειγμα λεκάνης ηρεμίας".
Ξανθούλεας Αχιλλέας, Πολ. Μηχανικός, Υδραυλικός - Υδρολόγος Μηχανικός Τομέα-
ρης Υδρολογίας Δ.Ε.Η..... 267

5. Ειδικά θέματα για τη μελέτη φραγμάτων

- "Σχεδιασμός Υδροληψιών και Σηράγγων Εκτροπής".
Τζιμόπουλος Χρήστος - Παπαδοπούλου Ευαγγελία - Σπυρίδης Άνθιμος, Τομέας Συγ-
κοινωνιακών και Υδραυλικών Έργων. Τμήμα Αγρονόμων - Τοπογράφων Μηχα-
νικών Α.Π.Θ..... 275
- "Το πρόβλημα της πρόσχωσης του ταμειυτήρα της Κερκίνης από τις φερτές ύλες του πο-
ταμού Στρυμόνα".
Ψιλοβίκος Αντώνιος - Αλμπάνης Κώστας - Παπαφιλίππου - Μπένου Ε., Τομέας Γεωλο-
γίας & Φυσικής Γεωγραφίας. Τμήμα Γεωλογίας..... 327
- "Το υδραυλικό πρόβλημα της ρήξεως ενός φράγματος".
Σακάς Ιωάννης, Καθηγητής Πολυτεχνικής Σχολής, Δ.Π.Θ..... 362
- "Θραύση φράγματος. Μέθοδοι επίλυσης του προβλήματος. Πεπερασμένα στοιχεία".
Τσάρας Ιωάννης, Αγρονόμος - Τοπογράφος Μηχανικός, Ph. D. University of Michigan,
Ann Arbor, Γενικό Δ/ντή Κ.Ε.Π.Α..... 393

- "Προβλήματα στην προστασία των χωματινών Φραγμάτων από διηθήσεις".
Τηλιγάδας Ελεήμων, Αγρονόμος - Τοπογράφος Μηχανικός, ΥΠΕΧΩΔΕ, Δ/νση
Εγγ/κών Έργων (Δ7), Dr. Ing. de l'Universite de Paris VI..... 411
- "Μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων Υδραυλικών Έργων".
Οικονόμου Αθανάσιος, Βιολόγος, Τμήμα Γενικών Περιβαλλοντικών Θεμάτων,
ΥΠΕΧΩΔΕ..... 431
- "Επιπτώσεις από τη δημιουργία Φράγματος στο βιολογικό πλούτο λίμνης Κερκίνης,
Μακεδονία".
Πυροβέτση Μυρτώ, Επίκουρη Καθηγήτρια Οικολογίας, Τομέας Οικολογίας, Τμήμα
Βιολογίας, Α.Π.Θ. 448

Παρουσίαση της εκδήλωσης απο τον Διευθυντή του Τομέα Συγκοινωνιακών και Υδραυλικών Έργων, Καθηγητή κ.Χρήστο Τζιμόπουλο.

Κύριε Αντιπρύτανη, κύριε Κοσμήτορα, κύριε Πρόεδρε του Τμήματος Αγρονόμων -Τοπογράφων Μηχανικών, κύριε Πρόεδρε του Τμήματος Γεωλογίας, αγαπητοί φίλες και φίλοι, σας καλωσορίζω σήμερα στην έναρξη του Πανελληνίου Σεμιναρίου "Λιμνοδεξαμενές-Φράγματα πολλαπλής σκοπιμότητας.

Όπως και στους στόχους του Προγράμματος αναφέρεται, η χώρα μας έχει ανάγκη απο μελέτες και κατασκευές μεγάλων αποθηκευτικών έργων για τη σωστή διαχείριση των υδάτινων πόρων της, ιδιαίτερα τη σημερινή εποχή, η οποία ανήκει σε περίοδο μακροχρόνιας λειψυδρίας. Τα έργα αυτά είναι οι **Λιμνοδεξαμενές και τα Φράγματα.**

Και για μεν τα Φράγματα υπάρχει μια μακρόχρονη πολιτική μελέτης και κατασκευής (και επομένως ανάλογη εμπειρία), τόσο σε επίπεδο Δημοσίων φορέων (ΔΕΗ, ΥΠΕΧΩΔΕ, Υπουργείο Γεωργίας κ.λ.π.), όσο και σε επίπεδο Μελετητικών γραφείων.

Για τις Λιμνοδεξαμενές θα πρέπει να αναφερθεί ότι εδώ και λίγα χρόνια ξεκίνησε μια προσπάθεια εκ μέρους του Υπουργείου Γεωργίας με τη βοήθεια και του κράτους της Κύπρου για την ανάπτυξη των Λιμνοδεξαμενών στον Ελληνικό χώρο. Η προσπάθεια αυτή υλοποιήθηκε με τη προκήρυξη και ανάθεση ορισμένου αριθμού λιμνοδεξαμενών σε άνδρες κυρίως περιοχές της χώρας μας και θα μπορούσε κανείς να πεί ότι η εμπειρία των Ελλήνων Επιστημόνων στη μελέτη και κατασκευή των έργων αυτών είναι ακόμη μικρή.

Επειδή τα δύο αναφερόμενα έργα (Λιμνοδεξαμενές και Φράγματα) έχουν πολύ κοινά συγγενικά χαρακτηριστικά και κοινούς στόχους, όπως Υδρολογική μελέτη, επι μέρους τεχνικά έργα, σώμα του φράγματος κ.λ.π., θεωρήθηκε λογικό να αντιμετωπιστούν σε ενιαία μορφή στο παρόν Σεμινάριο.

Θα επιθυμούσα επίσης να ενημερώσω τους αγαπητούς συνέδρους ότι εδώ και δύο χρόνια έχει εισαχθεί στο Μεταπτυχιακό Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων του Γεωπονικού Τμήματος του Α.Π.Θ. το μάθημα "Σχεδιασμός μικρών φραγμάτων", το οποίο και διδάσκεται απο τον υποφαινόμενο.

Η ανάγκη λοιπόν της διατήρησης και επαύξησης των Υδάτινων πόρων της χώρας μας και η ανάγκη της διάδοσης της πολύτιμης εμπειρίας απο τα πρώτα έργα των Λιμνοδεξαμενών, εντασσόμενες στο πλαίσιο της ευρύτερης ανάγκης της συνεχούς

επιμόρφωσης των Ελλήνων Επιστημόνων που ασχολούνται με συναφή έργα, αποτελέσαν την κινητήρια δύναμη που ώθησε τον Τομέα Συγκοινωνιακών και Υδραυλικών Έργων από κοινού με το Σύλλογο Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών Β.Ε. να αποφασίσουν τη διοργάνωση ενός Πανελληνίου Σεμιναρίου. Αισιοδοξούμε περαιτέρω ότι Σεμινάρια τέτοιας μορφής θα ενταχθούν σε μια συλλογική προσπάθεια των κρατικών και ιδιωτικών φορέων για τη συνεχή επιμόρφωση των Ελλήνων Επιστημόνων.

Με ιδιαίτερη χαρά επισημαίνω την ύπαρξη μέσα στην αίθουσα εκπροσώπων από διάφορους Δημόσιους Φορείς:

ΔΕΗ,

ΥΠΕΧΩΔΕ,

Υπουργείο Γεωργίας

αλλά και ελεύθερους επαγγελματίες και μάλιστα Επιστήμονες διαφόρων ειδικοτήτων, διότι τα παραπάνω αναφερόμενα έργα είναι πολυκλαδικά και επομένως απαιτούν τη συλλογική εργασία πολλών κλάδων.

Στο παρόν Σεμινάριο προσπαθήσαμε να προσκαλέσουμε σαν Ειδικούς ομιλητές, Επιστήμονες σχετικούς με το αντικείμενο και μάλιστα από διάφορους φορείς:

Υπουργείο Γεωργίας,

ΔΕΗ,

ΥΠΕΧΩΔΕ,

Πανεπιστήμιο.

Βεβαίως οι προσκεκλημένοι ομιλητές δεν αποτελούν αναμφίβολα τους αποκλειστικά ειδικούς στα αντίκείμενα αυτά, και θα πρέπει να επισημάνω ότι υπάρχουν και άλλοι αξιόλογοι Επιστήμονες και εντός και εκτός του Αμφιθεάτρου που θα μπορούσαν επίσης να συνεισφέρουν με τις επιστημονικές τους γνώσεις, πλην όμως η διάρκεια του Σεμιναρίου δεν μας επέτρεψε να δώσουμε και σε αυτούς την ευκαιρία να μας μεταδώσουν τις γνώσεις τους, επιφυλασσόμαστε όμως στο μέλλον ότι σε μια συστηματική οργάνωση παρομοίων σεμιναρίων θα δοθεί η ευκαιρία για αξιοποίηση μεγαλύτερου φάσματος ομιλητών. Είναι επίσης δυνατόν κατά τη διάρκεια των συζητήσεων που θα επακολουθήσουν να γίνουν παρεμβάσεις από εκείνους που ενδιαφέρονται και οι παρεμβάσεις αυτές θα καταχωρηθούν στα πρακτικά.

Προσπαθήσαμε να καλύψουμε στο Σεμινάριο αυτό μεγάλο φάσμα προβλημάτων που αναφέρονται κατά τη μελέτη Φραγμάτων και Λιμνοδεξαμενών, χωρίς βέβαια να ισχυριζόμαστε ότι έχουμε καλύψει τα πάντα. Τα πρακτικά αυτού του Σεμιναρίου θα εκδοθούν σε ένα καλαίσθητο Τόμο που θα κυκλοφορήσει σε λίγο

χρόνο και θα σταλούν σε όλους τους συνέδρους για να αποτελέσουν ένα πολύτιμο βοήθημα στο έργο τους.

Το Σεμινάριο θα τελειώσει το Σάββατο με μια επίσκεψη στα φράγματα Σφηκιάς-Ασωμάτων της ΔΕΗ και στο κατασκευαζόμενο φράγμα στην Αγία Βαρβάρα, όπου ο Μηχανικός της ΔΕΗ κ.Καλαϊτζής θα έχει την ευγενή καλωσύνη να μας ενημερώσει για τις διάφορες κατασκευαστικές λεπτομέρειες. Πριν τελειώσω θα επιθυμούσα να ευχαριστήσω :

1. Την Επιτροπή Ερευνών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για τη διάθεση ποσού 1.000.000 δρχ., με το οποίο καλύψαμε τα έξοδα του Σεμιναρίου.
2. Τη γραμματέα του Σεμιναρίου κ.Γεωργία Παπαδοπούλου που βοήθησε στα διοικητικά θέματα της οργάνωσης.
3. Την κ. Ευαγγελία Παπαδοπούλου, Επιστημονική συνεργάτρια μου, που βοήθησε στη σύνταξη του Προγράμματος.
4. Τον κ.Ανθίμο Σπυρίδη και Γιάννη Τσιτσόπουλο, Μεταπτυχιακούς φοιτητές και τον Αρη Ψιλοβίκο Φοιτητή, που βοήθησαν σε διάφορες φάσεις του Σεμιναρίου.
5. Και όσους προσφέρθηκαν οικειοθελώς από διάφορες υπηρεσίες, φοιτητές κλπ. για τη σωστή οργάνωση του Σεμιναρίου.

Παρουσίαση της εκδήλωσης από τον Πρόεδρο του Συλλόγου Διπλωματούχων Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών Β.Ε. κ.Αθανάσιο Παύλου.

Κύριε Αντιπρύτανη,
Κύριε Κοσμήτορα,
Κύριε Πρόεδρε του Τ.Α.Τ.Μ.
Αγαπητοί πανεπιστημιακοί δάσκαλοι,
Κυρίες και Κύριοι,

ο Σύλλογος Διπλωματούχων Α.Τ.Μ.Β.Ε. με μεγάλη του χαρά σας **καλωσορίζει** στο σεμινάριο με θέμα: " Λιμνοδεξαμενές - Φράγματα πολλαπλής σκοπιμότητας", που διοργανώνει από κοινού με τον Τομέα Υδραυλικών και Συγκοινωνιακών Έργων του Τμήματος Α.Τ.Μ. του Α.Π.Θ.. Με δεδομένο ότι οι απαιτήσεις της σύγχρονης Ανάπτυξης αυξάνονται διαρκώς, η **σκοπιμότητα του σεμιναρίου αυτού θα λέγαμε ότι είναι "πολλαπλή"**.

Ο Α.Τ.Μ. **καλείται εξ ορισμού να συντάξει μελέτες και να επιβλέπει** κατασκευές εγγειοβελτιωτικών έργων, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται οι Λιμνοδεξαμενές και τα Φράγματα. Στην κατεύθυνση αυτή συνεισφέρει επί σειρά ετών την επιστημονική του γνώση είτε σε μελέτες Δημοσίου, είτε σε μελέτες φορέων, ιδιωτών κ.λ.π.

Τα τελευταία ωστόσο χρόνια εξαιτίας της αλλαγής των καιρικών συνθηκών, οι οποίες πιθανότατα θα επιδεινωθούν, βιώνουμε καθημερινά τα καυτά προβλήματα της **λειψυδρίας**, της **αλόγιστης εκμετάλλευσης** των υδατικών πόρων, της **μείωσης** των υδατικών αποθεμάτων, καθώς επίσης και την **αδυναμία αποτροπής** και διευθέτησης των χειμάρρων. Γίνεται λοιπόν επιτακτική η **ανάγκη του σχεδιασμού** και της **κατασκευής** έργων στην κατεύθυνση αυτή από το Υπουργείο Γεωργίας και από το ΠΕΧΩΔΕ, και ήδη προκηρύχθηκαν μελέτες κατασκευής Λιμνοδεξαμενών στα νησιά της χώρας μας. Μπροστά στα έργα αυτά, καθώς και σε άλλα μεγαλύτερης κλίμακας τα οποία πιστεύουμε ότι είναι απαραίτητο να ακολουθήσουν, καλούμαστε όλοι οι Α.Τ.Μ., αλλά και οι άλλοι επιστημονικοί κλάδοι που σχετίζονται με τα Εγγειοβελτιωτικά Έργα, δηλ. Πολιτικοί Μηχανικοί, Γεωπόνοι κ.λ.π., να συνδράμουμε με την επιστημονική μας κατάρτιση στην πορεία ανάπτυξης της χώρας μας.

Ο Σύλλογος μας συνεχίζοντας την παράδοση που τον θέλει να συνεργάζεται άριστα με τον κατ'εξοχήν φορέα της επιστημονικής γνώσης, που είναι το Πανεπιστήμιο, έρχεται σήμερα να **χαιρετήσει** τις εργασίες του σεμιναρίου αυτού.

Σκοπός όλων η **επιμόρφωση, ενημέρωση και απόκτηση** εξειδικευμένων επιστημονικών γνώσεων, οι οποίες θα μας καταστήσουν ικανούς να ανταπεξέλθουμε στις απαιτήσεις των καιρών.

Πιστεύουμε ότι είναι **αναγκαία** η δημιουργία ενός άρτια εξοπλισμένου και ειδικευμένου κρατικού και ιδιωτικού μηχανισμού, ικανού να συνεισφέρει στην αύξηση της παραγωγικότητας και στη βελτίωση της ποιότητας παραγωγής. Καλεσμένοι του σεμιναρίου αυτού είναι **ειδικοί επιστήμονες**, οι οποίοι θα μας μεταφέρουν τις γνώσεις και την πολυετή πείρα τους πάνω σε θέματα κατασκευής και συντήρησης Λιμνοδεξαμενών, Φραγμάτων, Υδροληψιών, Υπερχειλιστών, Κατασκευής σπράγγων, Περιβαλλοντικών επιπτώσεων των Φραγμάτων κ.λ.π.

Ευχόμαστε να αποκομίσετε τις καλύτερες εντυπώσεις από την εκδήλωση αυτή, **διευρύνοντας** τους ορίζοντές σας γύρω από το γνωστικό αντικείμενο που πραγματεύεται το σεμινάριο.

Πιστεύουμε ότι και η Πολιτεία θα δείξει μεγαλύτερη ευαισθησία και θα προχωρήσει με ταχύτερους ρυθμούς ένα πρόγραμμα, Λιμνοδεξαμενών και Φραγμάτων, ώστε αφ'ενός μεν να ανακουφιστούν οι άnuδρες περιοχές και αφ'ετέρου να βελτιωθούν οι αρδεύσεις των αγροτικών περιοχών.

Κλείνοντας θέλω να σας ευχαριστήσω για την τιμή που μας κάνατε να παρευρεθείτε και να παρακολουθήσετε το σεμινάριο.

Προσφώνηση Μ.Παπαδοπούλου, Καθηγητή Α.Π.Θ., Κοσμήτορα της Πολυτεχνικής Σχολής.

Εκ μέρους της Πολυτεχνικής Σχολής καλωσορίζω τους συναδέλφους που μετέχουν στο Σεμινάριο αυτό.

Ανάλογες εκδηλώσεις ενισχύουν τον πολύτιμο ομφάλιο λώρο που λειτουργεί αμφίδρομα ανάμεσα στους διδάσκοντες - ερευνητές της Πολυτεχνικής και τους συναδέλφους της καθημερινής πράξης και εφαρμογής.

Η ανομβρία και οι διαρκώς αυξανόμενες αναγκαίες ποσότητες νερού καθιστούν το αντικείμενο του Σεμιναρίου "Λιμνοδεξαμενές-Φράγματα πολλαπλής σκοπιμότητας" εξαιρετικά επίκαιρο.

Μια γρήγορη ματιά στους τίτλους των ανακοινώσεων επαναλαμβάνει τη βασική αρχή της ανάγκης συνεργασίας των επιστημόνων διαφόρων ειδικοτήτων. Ενδεικτικά αναφέρομαι στις επανασταστικές λύσεις στεγάνωσης των τελευταίων χρόνων που διευκολύνουν την τεχνικά άρτια κατασκευή των λιμνοδεξαμενών με σημαντικά μικρότερο κόστος. Αναφέρομαι ακόμη στα μικρά φράγματα που με τις μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους, τις περιορισμένες γεωτεχνική και γεωλογική έρευνά τους, το μικρό χρόνο μελέτης και κατασκευής τους, μπορούν σε πολλές περιπτώσεις να συνδυαστούν με μικρά υδροηλεκτρικά έργα, με αποτέλεσμα την προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε απομακρυσμένες περιοχές χωρίς μεγάλες γραμμές μεταφοράς και ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος.

Δυνατότητες λοιπόν υπάρχουν για συνεργασία πανεπιστημιακών και συναδέλφων ελευθέρων επαγγελματιών, καθώς και για συνεργασία ανάμεσα σε τοπογράφους, πολιτικούς μηχανικούς, ηλεκτρολόγους, μετεωρολόγους κ.λ.π. συνεργασίες που αποτελούν, όπως προκύπτει από την εμπειρία, εγγύηση για την αρτιότητα των έργων.

Συγχαίροντας την οργανωτική επιτροπή για τις προσπάθειές της, εύχομαι επιτυχία στο Σεμινάριο και κατάληξη σε συμπεράσματα απλά, ξεκάθαρα και εφαρμόσιμα.

Ευχαριστώ

Προσφώνηση Χρ.Καλτσίκη, Αναπληρωτή Καθηγητή Α.Π.Θ., Προέδρου του Τμήματος Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ.

Κύριε Πρύτανη
Κύριε Κοσμήτορα
Κύριοι Πρόεδροι
Αγαπητοί Συνάδελφοι

Σας καλωσορίζω στους χώρους του Τμήματος που ελπίζω να αποδειχθούν εξ'ίσου φιλόξενοι με τα μέλη της Οργανωτικής Επιτροπής του Σεμιναρίου.

Η θεματολογία και οι εισηγητικές του Σεμιναρίου μου παρέχουν την βεβαιότητα ότι οι εργασίες σας θα στεφθούν από επιτυχία, που θα συμβάλλει στην επίλυση του τόσο σοβαρού θέματος της διαχείρισης και αξιοποίησης των υδάτινων πόρων της χώρας μας.

Σας ευχαριστώ.

Κύριε Πρόεδρε
Της Οργανωτικής Επιτροπής,

Το παρόν σεμινάριο για τα φράγματα είναι χρήσιμο και θα προσφέρει πολλά, τσοσούτο μάλιστα καθόσον απευθύνεται σε αυτούς που ως εκ της θέσεώς τους θα κληθούν να εφαρμόσουν στην πράξη τις γνώσεις που θα αποκτήσουν από αυτό.

Ο άνθρωπος στην προσπάθεια για την αξιοποίηση του υδάτινου δυναμικού σε παλιότερες εποχές, μέχρι σχεδόν το τέλος της δεκαετίας του '50, χρησιμοποιούσε πηγάδια, υδρομαστεύσεις πηγών και ρεμμάτων. Από το τέλος της δεκαετίας του '50 και κυρίως από τις αρχές της δεκαετίας του '60 άρχισε η κατασκευή γεωτρήσεων με εντατικό ρυθμό, μέχρι το τέλος της δεκαετίας του '80. Πολλές εκατοντάδες χιλιάδες γεωτρήσεις έγιναν σχεδόν σε όλα τα υδροφόρα στρώματα της χώρας. Πραγματοποιήθηκε μία χωρίς προηγούμενο εντατική άντληση και υπερεκμετάλλευση υδροφόρων στρωμάτων με συνέπεια τη σημαντική πτώση της στάθμης και κατ'επέκταση τη στέρηση ή τουλάχιστο τη σημαντική μείωση της παροχής χιλιάδων πηγών. Αν συνεχισθεί αυτή η κατάσταση μετά από λίγες δεκαετίες δεν θα υπάρχουν πλέον πηγές. Το καλοκαίρι δεν θα υπάρχουν ποτάμια. Η χώρα μας θα γνωρίσει μια μεγάλη οικολογική καταστροφή. Μια λύση στο πρόβλημα αυτό αποτελεί η κατασκευή φραγμάτων που θα αξιοποιήσουν τα νερά της χειμερινής απορροής τα οποία καταλήγουν αχρησιμοποίητα στη θάλασσα. Έτσι, ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του '90, άρχισε με εντατικό ρυθμό η κατασκευή αρδευτικών κυρίως φραγμάτων τα οποία φαίνεται ότι θα είναι τα υδροληπτικά έργα που θα κατασκευάζονται αυτήν τη δεκαετία, όπως και κατά τις επόμενες, άγνωστο πόσες δεκαετίες ακόμα. Τα φράγματα, ειδικά τα μικρά και μεσαία, είναι έργα φιλικά προς το περιβάλλον, δημιουργούν τοπικά υγροτόπους, αξιοποιούν το νερό της χειμερινής επιφανειακής απορροής και θα ανακουφίζουν έτσι τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα. Εντούτοις όμως, τουλάχιστο με τα σημερινά δεδομένα, θεωρούνται έργα σχετικά δαπανηρά. Η μονάδα του όγκου του νερού που θα ληφθεί από έναν ταμιευτήρα φράγματος είναι κατά μέσο όρο πολύ ακριβότερη από ό,τι από τη γεώτρηση. Η τεχνολογία στο μέλλον ίσως μειώσει αυτό το πρόβλημα.

Τα χωμάτινα φράγματα αποτελούν σύνθετα τεχνικά έργα για την επιτυχή μελέτη και κατασκευή των οποίων πρέπει να συνεργασθούν διάφορες ειδικότητες επιστημόνων όπως Τοπογράφοι, Γεωλόγοι, Υδραυλικοί, Εδαφομηχανικοί, Γεωπόνοι και κατά περίπτωση άλλοι.

Ο Κλάδος των Γεωλόγων έχει καθοριστικό ρόλο στη μελέτη και στην κατασκευή των φραγμάτων. Αξιολογεί τη γεωλογική καταλληλότητα της θέσης του φράγματος (κυρίως από την άποψη της σταθερότητας των

πρανών και της στεγανότητας του ταμιευτήρα). Αξιολογεί τη γεωμορφολογική διαμόρφωση και κάνει τη σχέση ύγους φράγματος ταμιευτήρα που είναι ένα σημαντικό κριτήριο οικονομικής αξιολόγησης της θέσης του φράγματος. Μελετά τη γεωλογική δομή της λεκάνης απορροής και κατ'επέκταση την οργάνωση των υδροφόρων συστημάτων. Έτσι μπορεί να γίνει καλός υπολογισμός του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης του φράγματος. Γνωρίζει τα γεωλογικά κριτήρια για τον υπολογισμό των πλημμυρικών παροχών και της ποσότητας των φερτών υλών. Κάνει τη γεωλογική μελέτη των δανειοθαλάμων. Αναλύει τα σεισμικά δεδομένα της περιοχής. Έχει προσωπική εμπειρία από μετρήσεις πεδίου και μπορεί να εφαρμόσει σωστά τις διάφορες υδρολογικές μεθόδους. Γνωρίζει τους λόγους για τους οποίους τα αποτελέσματα της εφαρμογής των εμπειρικών μεθόδων πολύ συχνά αποκλίνουν από την πραγματικότητα και επίσης γνωρίζει τη χρήση καταλλήλων συντελεστών διόρθωσης. Πολύ συχνά, αν όχι σχεδόν πάντα, στη χώρα μας υπερτιμάμε την ολική απορροή λεκανών με συνέπεια να κατασκευάζουμε φράγματα με ύγος μεγαλύτερο από το ορθολογικά απαιτούμενο. Αυτό συνεπάγεται δυσανάλογα μεγάλο κόστος κατασκευής, αφού αυτό είναι μια συνάρτηση της τρίτης δύναμης του ύγους του φράγματος. Η καλή γνώση του γεωλογικού υποβάθρου επιτρέπει τη σωστή διαστασιολόγηση του έργου.

Κύριε Πρόεδρε, το παρόν σεμινάριο είναι πολύ καλά οργανωμένο και θα έχει βέβαια μεγάλη συμμετοχή. Εύχομαι, και το πιστεύω βέβαια, να έχει και αντίστοιχα μεγάλη επιτυχία.

Προσφώνηση Α.Ψιλοβίκου, Φοιτητή Τμήματος Αγρονόμων - Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ., Εκπροσώπου του Συλλόγου Φοιτητών του Τ.Α.Τ.Μ.

Εκ μέρους του Φοιτητικού Συλλόγου του Τμήματος Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, εκφράζω τη μεγάλη μας χαρά για την έναρξη των εργασιών του Πανελληνίου Σεμιναρίου με τίτλο "Λιμνοδεξαμενές & Φράγματα πολλαπλής σκοπιμότητας".

Με την πραγματοποίηση αυτού του σεμιναρίου, βλέπουμε να συνεχίζονται και οι δικές μας προσπάθειες για την καλή πορεία του Τομέα Συγκοινωνιακών & Υδραυλικών Έργων, έχοντας υπόψη την παλιότερη εκδήλωση του Συλλόγου των φοιτητών για τον Αγρονόμο Μηχανικό.

Πιστεύουμε ότι το αντικείμενο του σεμιναρίου είναι πολύ επίκαιρο κυρίως λόγω του προβλήματος της λειψυδρίας που ταλαιπωρεί τη χώρα μας τα τελευταία χρόνια. Οι λιμνοδεξαμενές και τα φράγματα για την αποταμίευση του επιφανειακού νερού, αποτελούν ίσως τον καλύτερο τρόπο αντιμετώπισης των προβλημάτων της λειψυδρίας. Εκεί μάλιστα όπου οι καταστάσεις ξηρασίας είναι έντονες, αποτελούν τα μόνα έργα για την εξυπηρέτηση των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών.

Εμείς οι φοιτητές θα παρακολουθήσουμε με προσοχή τις εισηγήσεις των διακεκριμένων ομιλητών και τις συζητήσεις που θα ακολουθήσουν, αποκομίζοντας έτσι σημαντικές γνώσεις και εμπειρίες.

Με την ευκαιρία αυτή, θα θέλαμε να συγχαρούμε τον Τομέα Συγκοινωνιακών & Υδραυλικών Έργων, καθώς και το Σύλλογο Διπλωματούχων Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών Βορείου Ελλάδος που είχαν την πρωτοβουλία να οργανώσουν το σεμινάριο αυτό.

Ακόμη θα θέλαμε να προτείνουμε το αντικείμενο των λιμνοδεξαμενών και φραγμάτων να αποτελέσει ένα ανεξάρτητο μάθημα του Τμήματος Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών στο πρόγραμμα σπουδών του.

Ευχόμαστε καλή επιτυχία στις εργασίες του σεμιναρίου.

Λόγος του Εμ. Γάζελα, Διευθυντή Υ.Ε.Β. του Υπουργείου Γεωργίας, εκπροσώπου του Υφυπουργού Γεωργίας

ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑΣ

Η Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων του Υπουργείου Γεωργίας, από την ίδρυσή της, πριν από 30 και πλέον χρόνια, είχε και έχει και σήμερα σαν κύριο αντικείμενό της το νερό και την αξιοποίησή του με Εγγειοβελτιωτικά Έργα και παντός είδους δράσεις προς την κατεύθυνση αυτή.

Οι εκάστοτε υφιστάμενες ανάγκες για ταχεία και εντατική γεωργική ανάπτυξη, η εξέλιξη της τεχνικής και της τεχνολογίας και οι διαθέσιμοι οικονομικοί πόροι καθόριζαν την πορεία και τους άξονες συγκέντρωσης των προσπαθειών όλα αυτά τα χρόνια με στόχο το κτίσιμο μιας στέρεας υποδομής για την ανάπτυξη της αρδευόμενης γεωργίας.

Η αντιμετώπιση των πλημμυρών και των κατακλίσεων γόνιμων και παραγωγικών εκτάσεων, ήταν οι πρώτες δράσεις της, που συνεχίστηκαν με την κατασκευή και αξιοποίηση αρδευτικών έργων και των πρώτων μεγάλων φραγμάτων πολλά από τα οποία συνδύαστηκαν με την παραγωγή ενέργειας, καθώς και οι σχετικές ανάγκες μεγάλωναν.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις και οι απαιτήσεις εντατικής καλλιέργειας, οδήγησαν σε μεγάλη επέκταση έργων τεχνητής βροχής στις πιο μεγάλες και παραγωγικές πεδιάδες της Χώρας με κατάληξη σήμερα να αξιοποιούνται για άρδευση τα 3/4 περίπου των διαθέσιμων υδατικών πόρων.

Τα προβλήματα των τελευταίων ετών που πήραν τη μορφή κυρίως παρατεταμένων και επαναλαμβανομένων περιόδων ανομβρίας, οδήγησαν σε πραγματικά κρίσιμη κατάσταση την έλλειψη νερού στις λιγότερο ευνοημένες περιοχές και έτσι η προσπάθεια της Υπηρεσίας μας επικεντρώθηκε στις περιοχές αυτές και αναπτύχθηκε το πολύ σημαντικό πρόγραμμα των Λιμνοδεξαμενών και φραγμάτων πολλαπλής σκοπιμότητας.

Πράγματι βρισκόμαστε στην αρχή της υλοποίησης μιας τεράστιας προσπάθειας των Μονάδων Εγγείων Βελτιώσεων του Υπουργείου Γεωργίας, που έχει σαν στόχο να δημιουργήσει την υποδομή συγκεντρώσεως και αξιοποιήσεως του λιγοστού νερού, που παρέχει τόσο φειδολά η φύση στις σημαντικές από κάθε άποψη ανατολικές περιοχές της Χώρας.

Το πρόγραμμα μελέτης και κατασκευής λιμνοδεξαμενών στο Υπουργείο Γεωργίας, μπορούμε να πούμε ότι άρχισε στη 10ετία του '60, με την εκπόνηση προκαταρκτικών μελετών για Λιμνοδεξαμενές του τύπου Laghetti Collinari.

Η δραστηριότητα όμως αυτή σταμάτησε και ήταν επόμενο αυτό, γιατί το βάρος και οι προτεραιότητες του Υπουργείου γρήγορα προσανατολίστηκαν τότε στην εκμετάλλευση των θερινών παροχών των ποταμών και πηγών, δεδομένου ότι η σύλληψη και η χρησιμοποίηση αυτών απαιτούσε σχετικά εύκολα και οικονομικά έργα.

Με την κατασκευή φραγμάτων αποθηκεύσεως των χειμερινών απορροών στους μεγάλους ποταμούς Αχελώο, Αλλιάνκιον κλπ. για υδροηλεκτρική και γεωργική εκμετάλλευση των νερών αυτών, άρχισε η ταυτόχρονη κατασκευή και των μεγάλων αρδευτικών έργων για τη γεωργική ανάπτυξη των μεγάλων πεδιάδων της Χώρας.

Παράλληλα, με την έρευνα και μελέτη του υπόγειου υδροαποθεματικού, άρχισε η χρησιμοποίηση και ανάπτυξη του υπόγειου υδροφορέα, με το σχεδιασμό και εκτέλεση μεγάλων προγραμμάτων εκμεταλλεύσεως υπογείων υδάτων, όπως του Θεσσαλικού Κάμπου, της Πιερίας Κοιλιάδας, των Παρεβριών Περιοχών, της Δοϊράνης, της Κατερίνης κλπ.

Το σύνολο των γεωτρήσεων, που ανορύχθηκαν με τα προγράμματα αυτά ξεπερνά τις 5.000. Πέραν αυτών, η ΥΕΒ συνέβαλε, για την εξυπηρέτηση μεμονωμένων παραγωγών, Ομάδων παραγωγών, Συν/σμών, Ο.Τ.Α. κλπ., στην ανόρυξη 11.000 γεωτρήσεων με τα γεωτρώπανα της.

Βέβαια θα πρέπει να αναφερθεί ότι στο διάστημα που βρισκόταν σε εξέλιξη τα μεγάλα προγράμματα εκμεταλλεύσεως των υπογείων υδάτων, η ΥΕΒ δεν σταμάτησε να ασχολείται με τη μελέτη και κατασκευή μεσαίων και μεγάλων φραγμάτων, όπως της Κοντιάς Λήμνου, της Απολακκιάς Ρόδου, του Μπραμιανού Κρήτης, του Φενεού Κορινθίας, των Λευκωγίων Δράμας κλπ.

Η επανεξέταση της κατασκευής μικρών λιμνοδεξαμενών και φραγμάτων, προσαρμοσμένων στις καινούργιες τεχνικές και τεχνολογίες, που εν τω μεταξύ αναπτύχθηκαν, άρχισε από το 1989, όταν έγινε προσπάθεια στα πλαίσια της συνεργασίας Ελλάδος - Κύπρου να μεταφερθεί η τεχνογνωσία αυτή στη Χώρα μας από την Κύπρο, που πράγματι έχει κάνει στον τομέα αυτό σημαντική πρόοδο. Με τη μέθοδο των λιμνοδεξαμενών και φραγμάτων σήμερα στην Κύπρο εναποθηκεύονται 310 εκατομ. m³ νερού.

Με τη συνεργασία των αρμοδίων Υπηρεσιών Εγγείων Βελτιώσεων Ελλάδος και Κύπρου επισημάνθηκαν και επελέγησαν για μελέτη και κατασκευή δύο θέσεις λιμνοδεξαμενών με χρήση στεγανοποιητικής μεμβράνης, μία στη νήσο Σάμο και μία στη νήσο Λέσβο, οι οποίες και απετέλεσαν Έργο Οδηγό (Pilot Project).

Η ανομβρία, που βασάνισε τη Χώρα μας κατά τα τελευταία έτη, (το φαινόμενο άρχισε να εμφανίζεται έντονα από το 1988 και εντεύθεν), δημιούργησε προβλήματα στην τροφοδοσία με νερό όχι μόνο των καλλιεργειών αλλά στέρησε το πολύτιμο αυτό φυσικό αγαθό και από τους κατοίκους της

νησιωτικής κυρίως Ελλάδος.

Στις περιοχές αυτές, που δέχονται το χρόνο λιγότερα από 400 χιλιοστά βροχής και αυτά συγκεντρωμένα στους τρεις χειμερινούς μήνες, η ανόρυξη των γεωτρήσεων δεν έλυσε το οξύ αυτό πρόβλημα, λόγω της χαμηλής υδατοχωρητικότητας των υπόγειων υδροφόρων τους. Εξ αιτίας δε της υπεραντλήσεως των υπογείων υδροφορέων, έχει αρχίσει να παρατηρείται υφαλμύρωση των αντλούμενων νερών.

Το Υπουργείο Γεωργίας για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα αυτό, ανέπτυξε ειδικό Πρόγραμμα κατασκευής Λιμνοδεξαμενών και μικρών Φραγμάτων με στόχο τη συγκέντρωση των επιφανειακών απορροών, ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες και την απόδοσή τους κατά τις περιόδους αιχμής ζητήσεως ύδατος.

Για το σκοπό αυτό καταρτίστηκε ένα ευρύ Πρόγραμμα μελέτης (για την κατασκευή Λιμνοδεξαμενών) με προτεραιότητα στο νησιωτικό χώρο.

Οι μελέτες αυτές αφορούν όλα τα νησιά του Αιγαίου και Ιονίου Πελάγους, καθώς επίσης την Κρήτη και την Εύβοια.

Έτσι το Φεβρουάριο του 1990 ανατέθηκε σε στάδιο αναγνωριστικό η εκπόνηση μελετών για 12 νησιωτικά συγκροτήματα, σε ισάριθμα Μελετητικά Γραφεία.

Με τις μελέτες αυτές επισημάνθηκαν όλες οι πιθανές θέσεις κατασκευής εξωποτάμιας λιμνοδεξαμενής ή φράγματος και προωθήθηκαν για οριστικό στάδιο μελέτης, σε πρώτη φάση, από κάθε ομάδα δέκα (10) Λιμνοδεξαμενές ή Φράγματα.

Το Πρόγραμμα αυτό εντάχθηκε στο Πρώτο Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης με Προϋπολογισμό 100 εκατ. ECU, 25 δισ. δρχ. περίπου και εφαρμόζεται, όπως και ανωτέρω αναφέρθηκε, σε ολόκληρη τη νησιωτική Ελλάδα.

Μέχρι σήμερα έχουν δημοπρατηθεί και κατασκευάζονται 27 λιμνοδεξαμενές και φράγματα, συνολικού προϋπολογισμού 19 δισ. δρχ., μετά το πέρας της κατασκευής των οποίων θα καταστεί δυνατή η αποθήκευση 15 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων νερού.

Επίσης μέσω του Προγράμματος Interreg, κατασκευάζονται άλλες τρεις λιμνοδεξαμενές, συνολικού προϋπολογισμού 650 εκατ. δρχ. περίπου.

Επίσης, έχουν εκπονηθεί και εγκριθεί οι οριστικές μελέτες για 20 θέσεις λιμνοδεξαμενών και φραγμάτων, συνολικού προϋπολογισμού 33 δισ. δρχ., ενώ συνεχίζεται η πορεία εκπόνησης μελετών για 75 ακόμη θέσεις.

Το Πρόγραμμα προβλέπεται να συνεχιστεί στα πλαίσια του Δευτέρου Πακέτου Delor, στο οποίο, σε πρώτη φάση, καταλαμβάνει το 20% περίπου του συνολικού προϋπολογισμού του Κεντρικού Σκέλους του Προγράμματος 1994/1999.

Εκτός από το πρόγραμμα αυτό της νησιωτικής Ελλάδος, προωθείται η εκπόνηση μελετών και η κατασκευή αναλόγων έργων και σε περιοχές της

ηπειρωτικής Ελλάδος, όπως στους Νομούς Κορινθίας, Αρκαδίας, Μαγνησίας, Κιλκίς, Φλώρινας, Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης κλπ. με στόχο την εξασφάλιση των αναγκαιουσών ποσοτήτων νερού για την κάλυψη των ελλειμμάτων λόγω της ανομβρίας, σε υφιστάμενα αρδευτικά δίκτυα, την απεξάρτηση των αρδευτικών δικτύων από τα νερά των διακρατικών ποταμών κλπ.

Το πρόγραμμα αυτό καταλαμβάνει στο δεύτερο Πακέτο Delor, που αφορά στα Εγγειοβελτιωτικά Έργα, το 33% περίπου του συνολικού προϋπολογισμού του Κεντρικού Σκέλους του Προγράμματος 1994/1999.

Όπως τονίστηκε και στην αρχή της ομιλίας μας, η εξέλιξη της τεχνικής και της τεχνολογίας οδήγησε και οδηγεί στην κατασκευή έργων πολυπλόκων, τα οποία για να λειτουργήσουν, συντηρηθούν και αξιοποιηθούν, απαιτούν οργανωμένη και συντονισμένη δράση όλων των φορέων και ειδικοτήτων, που συμμετέχουν στο κύκλωμα επισήμανσης - αναγνώρισης - προγραμματισμού - μελέτης - κατασκευής - αξιοποίησης - λειτουργίας και συντήρησης των Εγγειοβελτιωτικών Έργων.

Σήμερα η Υ.Ε.Β. μετά από 35 και πλέον έτη παραγωγικής ζωής, όπου προσέφερε τεράστιες υπηρεσίες σε έργα αγροτικής υποδομής, τόσο σε επίπεδο Εθνικής Οικονομίας, όσο και σε επίπεδο παραγωγού, με την αποκτηθείσα εμπειρία, μπορεί να προσφέρει ακόμη περισσότερα στον τομέα των εγγειοβελτιωτικών έργων.

Σήμερα, που ο εφιάλτης της λειψυδρίας πλανάται απειλητικός στον ορίζοντα, η αναγκαιότητα της Υπηρεσίας Εγγείων Βελτιώσεων, είναι πολύ μεγαλύτερη απ' ότι κατά την εποχή της ιδρύσεώς της το 1958.

Στα πλαίσια αυτά, η οργάνωση σεμιναρίων όπως αυτό, με συμμετοχή των σημαντικότερων φορέων, που μπορούν να διατυπώσουν συγκεκριμένες απόψεις και σκέψεις, για την πρακτική αντιμετώπιση των προβλημάτων που εμφανίζονται κατά την εξέλιξη των διαφόρων δράσεων, αποτελεί αναμφισβήτητα θετική ενέργεια, προς τη σωστή κατεύθυνση.

Ιδιαίτερα κατά την περίοδο αυτή, κατά την οποία το Υπουργείο Γεωργίας καταβάλλει δια της ΥΕΒ, μια εξαιρετικά σημαντική προσπάθεια μελέτης και κατασκευής μικρών Φραγμάτων και Λιμνοδεξαμενών στις πιο ευαίσθητες, από πλευράς υδατικών πόρων, αλλά και για άλλους γνωστούς και λίαν σημαντικούς λόγους, περιοχές, η παρουσίαση των προβλημάτων και των δυσκολιών, που προέκυψαν κατά την εξέλιξη της προσπάθειας αυτής και η ανταλλαγή απόψεων πάνω σ' αυτά, αναμένεται πολύ ενδιαφέρουσα και ελπίζω πολύ καρποφόρα.

Τελειώνοντας, σας μεταφέρω θερμό χαιρετισμό του Υφυπουργού Γεωργίας κ. Φλώρου Κωνσταντίνου, ο οποίος για λόγους ανεξάρτητους της θελήσεώς του δεν μπόρεσε να παρευρεθεί και να κηρύξει την έναρξη των εργασιών του Σεμιναρίου αυτού.

Ευχαριστώ.

Λόγος του κ.Δ.Μαραγκουδάκη, Διευθυντή Υ.Ε.Β. του Υπουργείου Γεωργίας εκφωνηθείς από τον εκπρόσωπό του κ.Δ.Βαλασσόπουλο, Τμηματάρχη της Υ.Ε.Β.

Κύριες και Κύριοι Σύνεδροι,

Με αφορμή την πρόσκλησή σας θα θέλαμε, μέσα στο σύντομο χρονικό διάστημα ενός χαιρετισμού, να ακούσετε λίγα λόγια για το έργο του Υπουργείου και της Δ/νσής μας στον τομέα "Λιμνοδεξαμενές - Φράγματα".

- Το ΥΠ.ΓΕ. για την αντιμετώπιση του μεγάλου προβλήματος της λειψυδρίας εκπόνησε ένα πρόγραμμα μελέτης και κατασκευής λιμνοδεξαμενών και φραγμάτων το οποίο προχωρεί με γρήγορους ρυθμούς τόσο στο στάδιο "εκπόνηση, έγκριση οριστικής μελέτης" όσο και στο στάδιο "δημοπράτηση, κατασκευή των έργων".

- Η Δ/νση Τεχνικών Μελετών και Κατασκευών του ΥΠ.ΓΕ. από το Δ/ντή της Δημ.Μαραγκουδάκη μέχρι και τον τελευταίο Μηχανικό τέθηκε σε "συναγερμό" για την υλοποίηση του παραπάνω προγράμματος δίδοντας προτεραιότητα στο νησιώτικο χώρο όπου και εμφανίζονται εντονότερα τα προβλήματα της λειψυδρίας τόσο στην ύδρευση -πρωτίστως-όσο και στην κάλυψη αρδευτικών αναγκών.

Σε συνεργασία με τις συγγενείς Δ/σεις της Υ.Ε.Β. -Γεωπονικές και Γεωλογικές- προχώρησε στην εκπόνηση Αναγνωριστικών Μελετών σε όλα τα νησιά του Αιγαίου, του Ιονίου πελάγους, στην Κρήτη και στη Εύβοια και εν συνεχεία σε Οριστικές Μελέτες σε επιλεγείσες θέσεις για κάθε περιοχή.

- Πράγματι, μέχρι σήμερα έχουν δημοπρατηθεί 39 Λιμνοδεξαμενές και μικρά Φράγματα εκ των οποίων τουλάχιστον 30 θα είναι έτοιμα μέσα στο Α' Εξάμηνο του 1994. Εννοείται ότι έχουν εγκριθεί Οριστικές Μελέτες για περισσότερες θέσεις Λιμνοδεξαμενών και μικρών Φραγμάτων.

Σ'αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί ότι όλες οι μελέτες και οι κατασκευές πραγματοποιούνται από το τεχνικό δυναμικό της χώρας μας.

- Ανάμεσα στα έργα που έχουν δημοπρατηθεί υπάρχουν και φράγματα από ισχνό κυλινδρούμενο σκυρόδεμα - διεθνώς R.C.C. - τα οποία έχουν σημαντικά μικρότερο κόστος και χρόνο κατασκευής σε σχέση με άλλους τύπους φραγμάτων. Όσο αφορά αυτά τα φράγματα της νέας τεχνολογίας θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατασκευάζονται για πρώτη φορά στην Ελλάδα και το Υπουργείο Γεωργίας είναι πρωτοπόρο σε αυτά τα έργα. Μάλιστα δε ένα από αυτά έχει περατωθεί και έχει συγκεντρώσει περίπου 1.000.000 κυβικά μέτρα νερό.

- Συνολικά στο Πρόγραμμα προβλέπεται η κατασκευή 160 Λιμνοδεξαμενών και μικρών φραγμάτων από τα οποία 129 σε νησιά και 31 στον Ελληνικό ηπειρωτικό χώρο. Η χωρητικότητά τους κυμαίνεται από 100.000 κ.μ. μέχρι 2.000.000 κ.μ. νερό.
Το δε κόστος των παραπάνω έργων εκτιμάται ότι θα ανέλθει στο ύψος των 200.000.000.000 δραχμών περίπου.
- Πριν προχωρήσουμε στον τεχνικό απολογισμό των Λιμνοδεξαμενών θα πρέπει να πούμε ότι εκτός των προηγούμενων το ΥΠ.ΓΕ. έχει εγκεκριμένες Οριστικές Μελέτες για 3 μεγάλα φράγματα - εκ των οποίων το υψηλότερο έχει ύψος 105 μέτρα - για τη συγκέντρωση 70.000.000 κ.μ. νερού. Αυτά τα φράγματα είναι μελετημένα με τη νέα τεχνολογία του R.C.C.
- Από τα παραπάνω, πολύ συνοπτικά στοιχεία φαίνεται η μεγάλη εμπειρία της Δ/σης Τεχνικών Μελετών & Κατασκευών του ΥΠ.ΓΕ. σε τέτοιου είδους έργα. Είναι δε πρόθεση του Δ/ντού της Δημ.Μαραγκουδάκη να οργανώσει στο προσεχές μέλλον σεμινάριο με σκοπό να δοθεί η δυνατότητα στους συναδέλφους τεχνικούς που δεν έχουν ασχοληθεί με την επίβλεψη τέτοιων έργων να γνωρίσουν τα σημαντικά προβλήματα που αντιμετωπίζονται στην κατασκευή.
- Μέσα στο λίγο χρόνο που μας απομένει θα θέλαμε να επισημάνουμε το μεγάλο κοινωνικό έργο που επιτελεί η Δ/ση Τεχνικών Μελετών και Κατασκευών του ΥΠ.ΓΕ. η οποία σε συνεργασία με όλους τους συναδέλφους των Περιφερειακών και Νομαρχιακών Διευθύνσεων Εγγείων Βελτιώσεων αποσκοπεί στην επίλυση προβλημάτων ύδρευσης των νησιών - π.χ. Κυκλαδονήσια - και στην αξιοποίηση μη ανεπτυγμένων περιοχών με την εγκατάσταση δυναμικών καλλιεργειών υψηλής αποδοτικότητας - υπερπρώιμα κηπευτικά - όπως αυτό συμβαίνει στο νότιο άξονα της νήσου Κρήτης.
- Τελειώνοντας σας μεταφέρω το χαιρετισμό του Δ/ντού Δημ. Μαραγκουδάκη και σας εύχεται κάθε επιτυχία στο Πανελλήνιο Σεμινάριό σας με τίτλο "Λιμνοδεξαμενές - Φράγματα πολλαπλής Σκοπιμότητας".
Θα περιμένουμε με ενδιαφέρον στη Διεύθυνση τα Πρακτικά και τα συμπεράσματά σας.
- Πρέπει να σας έχει γίνει κατανοητή η μεγάλη προσπάθεια του ΥΠ.ΓΕ. και όλου του Τεχνικού δυναμικού της -Κεντρικής και Περιφερειακών Υπηρεσιών- στην υλοποίηση του μεγάλου Προγράμματος "Λιμνοδεξαμενές, μικρά Φράγματα".

Προσφώνηση-Εναρξη του Σεμιναρίου από τον Αντιπρότανη του Α.Π.Θ., Καθηγητή κ.Κ.Δεμίρη.

**Κύριε Πρόεδρε της Οργανωτικής Επιτροπής
Αγαπητοί Σύεδροι
Αγαπητοί Συνάδελφοι
Κυρίες κ Κύριοι
Αγαπητοί Φοιτητές και Φοιτήτριες**

Νιώθω ιδιαίτερη χαρά για την ευκαιρία που μου δίνεται να απευθύνω χαιρετισμό στο Πανελλήνιο αυτό Σεμινάριο το οποίο οργάνωσε ο Τομέας Συγκοινωνιακών και Υδραυλικών Έργων των Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Πανεπιστημίου μας, μαζί με τον Σύλλογο Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Βορείου Ελλάδας" με θέμα "Λιμνοδεξαμενές & Φράγματα Πολλαπλής Σκοπιμότητας".

Κατ' αρχήν συχαίρω τους διοργανωτές για την πρωτοβουλία που είχαν να οργανώσουν το Σεμινάριο αυτό το οποίο πέραν του επιστημονικού του ενδιαφέροντος παρουσιάζει και μεγάλη κοινωνική διάσταση.

Πράγματι το Σεμινάριο αυτό πέραν του μεγάλου επιστημονικού ενδιαφέροντος παρουσιάζει και μία άκρως ενδιαφέρουσα κοινωνική διάσταση γιατί κέντρο της μέριμνάς του είναι το νερό και γιατί το Σεμινάριο τούτο γίνεται σε μια περίοδο που έχει χαρακτηριστεί περίοδος κρίσης νερού.

Πρόκειται δηλαδή για ένα φαινόμενο το οποίο αυτή τη στιγμή πέραν της Ελλάδας απασχολεί και πολλές άλλες χώρες του πλανήτη μας (ακόμα και χώρες της Ευρώπης οι οποίες μάλιστα για να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα μελετούν και αυτήν ακόμη την μεταφορά νερού από άλλες πλουσιότερες σε υδάτινους πόρους χώρες).

Βέβαια στην κρίση αυτή η Ελλάδα δεν είναι δυνατόν να μείνει αδιάφορη αφού βασικός παράγοντας αναπτύξεως της είναι το νερό και θα πρέπει να κάνει ότι της είναι δυνατόν για την αντιμετώπισή της.

Το Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης στα πλαίσια αυτής της προσπάθειας νοιώθει ιδιαίτερη ικανοποίηση γιατί μετέχει και φιλοξενεί στους χώρους του το Πανελλήνιο αυτό Σεμινάριο αλλά και γιατί πιστεύει ότι οι Λιμνοδεξαμενές και τα Φράγματα που πρόκειται να συζητηθούν μπορούν να συμβάλουν θετικότερα στην αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτής της κρίσης και ακόμα γιατί πιστεύει ότι ο Τεχνικός κόσμος της χώρας θα πρέπει να έχει πλήρη ενημέρωση επί του τρόπου μελέτης και κατασκευής έργων αναλόγων με τα παραπάνω.

Με τις σκέψεις αυτές αλλά και με την πεποίθηση ότι στο Σεμινάριο αυτό θα συζητηθούν αξιόλογα επιστημονικά θέματα τα οποία θα δώσουν λύση στην αντιμετώπιση πολλών από τα προβλήματα που αναφέρθηκαν

Συγχαίρω την Οργανωτική Επιτροπή και όλους όσους άμεσα ή έμμεσα συνέβαλαν στην οργάνωση αυτού του Σεμιναρίου.

Καλωσορίζω στο Πανεπιστήμιό μας όλους τους ξένους συνέδρους στους οποίους εύχομαι καλή διαμονή στη Θεσ/νίκη, και

Κηρύσσω την έναρξη των Εργασιών του Σεμιναρίου ευχόμενος επιτυχία των εργασιών του για την εκπλήρωση των στόχων του.

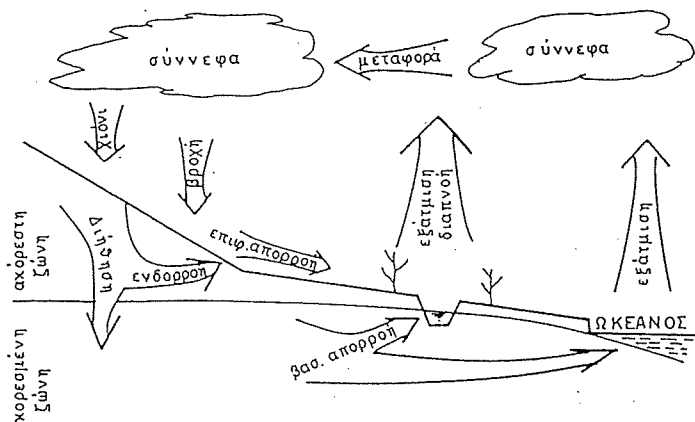
1. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

ΕΙΔΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΙΣΡΟΩΝ ΣΕ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ ΝΕΡΟΥ

Παπαζαφειρίου Ζαφείρης, Καθηγητής Α.Π.Θ. Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων
Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής. Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ.

1. ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Κύριοι προμηθευτές του νερού στη γη είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και ειδικότερα, η βροχή και το χιόνι που έχουν την προέλευσή τους στην εξάτμιση του θαλασσινού νερού. Η διαδικασία που περιλαμβάνει τη μεταφορά της υγρασίας από τη θάλασσα στη γη και πίσω στη θάλασσα είναι γνωστή σαν υδρολογικός κύκλος. Το νερό που εξατμίζεται από τη θάλασσα ανυψώνεται, μεταφέρεται και προσωρινά αποθηκεύεται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή υδρατμών. Όταν επικρατήσουν οι κατάλληλες συνθήκες, οι υδρατμοί υγροποιούνται και πέφτουν στη γη με τη μορφή βροχής ή χιονιού. Περίπου τα 2/3 από το νερό αυτό ξαναγυρίζει στην ατμόσφαιρα με εξάτμιση από το έδαφος και τις διάφορες υδάτινες επιφάνειες και με τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής από τη βλάστηση. Το υπόλοιπο νερό απορρέει επιφανειακά ή διηθείται στο έδαφος. Ένα μέρος από το νερό που διηθείται δημιουργεί προσωρινή κατάσταση κορεσμού στο επιφανειακό έδαφος, κινείται πλευρικά και απολήγει πάλι στην επιφάνεια του εδάφους ή την κοίτη κάποιου ρεύματος. Το νερό αυτό αποτελεί τη λεγόμενη ενδορροή. Ότι νερό έχει απομείνει διηθείται βαθύτερα και φτάνει στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, μετατρέπόμενο έτσι σε υπόγειο νερό. Το νερό αυτό κινείται επίσης πλευρικά και μπορεί να εκδηλωθεί μέσα σε υδάτινα ρεύματα, οπότε αποτελεί αυτό που λέγεται βασική απορροή. Τέλος, ένα μέρος του επιφανειακού και υπόγειου νερού καταλήγει στη θάλασσα, από όπου αρχίζει πάλι νέος κύκλος. Η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Ο υδρολογικός κύκλος

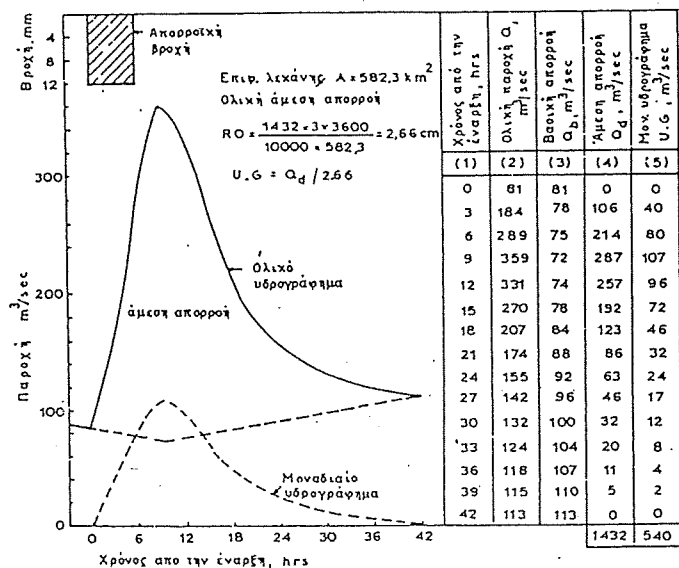
Η περιοχή που τροφοδοτεί με νερό ένα υδάτινο ρεύμα λέγεται λεκάνη απορροής και αποτελεί τη βασική υδρολογική μονάδα. Η παροχή των ρευμάτων, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, διαμορφώνεται από το άθροισμα της επιφανειακής απορροής, της ενδορροής και της βασικής απορροής. Η επιφανειακή απορροή και η ενδορροή είναι το άμεσο αποτέλεσμα της βροχής, έχουν μικρή σχετικά διάρκεια και συμπεριλαμβάνονται συνήθως στον κοινό όρο άμεση απορροή. Το μέρος της βροχής που αντιστοιχεί στην άμεση απορροή λέγεται απορροϊκή βροχή. Η βασική απορροή είναι το αποτέλεσμα βροχών του παρελθόντος και της τήξεως του χιονιού, η μεταβολή της με το χρόνο είναι σχετικά βραδεία και έχει μεγάλη διάρκεια. Δίαιτα ενός ρεύματος είναι η διακύμανση της παροχής του με το χρόνο.

Για τη σχεδίαση ενός ταμειευτήρα νερού είναι απαραίτητη η γνώση της δΐαιτας του ρεύματος ή των ρευμάτων που θα τον τροφοδοτήσουν, για περίοδο ίση τουλάχιστον με τη διάρκεια ζωής του έργου. Τέτοιες παρατηρήσεις υπάρχουν για πολύ λίγα υδάτινα ρεύματα. Αντίθετα, κατά κανόνα, υπάρχουν πάντοτε βροχομετρικές παρατηρήσεις μεγάλης χρονικής διάρκειας από σταθμούς που βρίσκονται μέσα και γύρω από τη λεκάνη απορροής τους. Έτσι

προκύπτει η ανάγκη να βρεθεί κάποια σχέση ανάμεσα στη βροχή και την απορροή, ώστε να καταστεί δυνατό να εκτιμηθεί η απορροή για το σύνολο της χρονικής περιόδου κατά την οποία υπάρχουν παρατηρήσεις βροχής. Η δυσκολία στη διερεύνηση τέτοιων σχέσεων έγκειται στο γεγονός ότι η απορροή δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος, τη διάρκεια και την ένταση μιας βροχής αλλά και από βροχές που έπεσαν στην λεκάνη απορροής στο πρόσφατο ή απώτερο παρελθόν.

2. ΤΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ

Η βάση για τη διερεύνηση μιας σωστής σχέσης ανάμεσα στη βροχή και την απορροή τέθηκε από τον Sherman (1932) με τη διατύπωση της αρχής του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Η αρχή αυτή βασίζεται στην παρατήρηση ότι μια φυσική λεκάνη απορροής είναι πρακτικά αμετάβλητη με το χρόνο. Αφού η απορροή είναι το αποτέλεσμα των επιδράσεων που υφίσταται το νερό της βροχής, καθώς αυτό περνάει μέσα από τις διάφορες φάσεις του συστήματος που απαρτίζει μια λεκάνη απορροής και, το σύστημα αυτό, θεωρείται πρακτικά αμετάβλητο με το χρόνο, βροχή ορισμένου ύψους και διάρκειας πρέπει κατά προσέγγιση να δίνει την ίδια απορροή, ανεξάρτητα από το χρόνο της βροχοπτώσεως. Επειδή η απορροή επηρεάζεται και από βροχές του παρελθόντος, για να εφαρμοστεί η αρχή αυτή, από το υδρογράφημα πρέπει να αφαιρεθεί η βασική του απορροή. Έτσι, μοναδιαίο είναι το υδρογράφημα της άμεσης απορροής που προκαλείται από απορροϊκή βροχή ίση με τη μονάδα, που είναι ομοιόμορφα κατανομημένη πάνω στη λεκάνη απορροής και έχει ομοιόμορφη ένταση κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Αν, κατά τη διάρκεια μιας σχετικά περιορισμένης χρονικής περιόδου, υπάρχουν ταυτόχρονες παρατηρήσεις βροχής και απορροής, μπορεί να διερευνηθεί ένα αντιπροσωπευτικό για τη λεκάνη μοναδιαίο υδρογράφημα και με τη βοήθειά του να υπολογιστεί η άμεση απορροή για όλο τον υπόλοιπο χρόνο που υπάρχουν μόνο παρατηρήσεις βροχής, με την προϋπόθεση ότι για κάθε βροχή μπορεί να υπολογιστεί το απορροϊκό της μέρος. Διερεύνηση ενός μοναδιαίου υδρογραφήματος διάρκειας 6 ωρών με τη μέθοδο του Sherman δίνεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Διερεύνηση μοναδιαίου υδρογραφήματος διάρκειας 6 ωρών υδάτινου ρεύματος με επιφάνεια 582.3 km².

Ο Sherman διερεύνησε εμπειρικά το υδρογράφημά του. Ακολούθησαν άλλοι ερευνητές που με καθαρά μαθηματικές διαδικασίες διερεύνησαν δικά τους μοναδιαία υδρογραφήματα, όπως ο Nash (1957, 1960), ο O'Donnell (1960), ο Parazafiriou (1975) κ.ά. Οι μέθοδοι αυτές κάνουν χρήση του γραμμικού αναδιπλωτικού ολοκληρώματος

$$y(t) = \int_0^t h(t-\tau) \cdot x(\tau) \cdot d\tau \quad (1)$$

όπου y(t) είναι η άμεση απορροή, x(τ) είναι η απορροϊκή βροχή και h(t-τ) είναι το μοναδιαίο υδρογράφημα. Η σχέση (1) μπορεί να οδηγήσει στη διερεύνηση του μοναδιαίου υδρογραφήματος h(t-τ) αν είναι γνωστά τα y(t) και x(τ) και, αντίστροφα, η ίδια σχέση μπορεί

να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του y(t) όταν είναι γνωστά τα x(τ) και h(t-τ).

Ο Nash (1957) για τη διερεύνηση του μοναδιαίου υδρογραφήματος χρησιμοποίησε την κανονική και την ατελή Γ-συνάρτηση, κάνοντας την παραδοχή ότι η υδρολογική λεκάνη είναι ένα σύστημα γραμμικών δεξαμενών, όπου η εκροή της προηγούμενης αποτελεί την εισροή στην επόμενη. Στη μέθοδο αυτή, η σχέση που δίνει το μοναδιαίο υδρογράφημα είναι

$$h = \frac{1}{k \cdot \Gamma(n)} \cdot e^{-t/k} \cdot (t/k)^{n-1} \quad (2)$$

όπου Γ(n) είναι η Γ-συνάρτηση τάξης n, n είναι ο αριθμός των γραμμικών δεξαμενών και k είναι ο συντελεστής αποθήκευσης κάθε δεξαμενής. Τα n και k υπολογίζονται με τη λύση του συτήματος των εξισώσεων

$$n \cdot k = M_1 \cdot y - M_1 \cdot x$$

$$n \cdot (n+1) \cdot k^2 = M_2 \cdot y - M_2 \cdot x - 2 \cdot n \cdot k \cdot M_1 \cdot x \quad (3)$$

όπου M₁·y και M₁·x είναι οι πρώτες ροπές αντίστοιχα γύρω από την αρχή της άμεσης απορροής και της απορροϊκής βροχής και M₂·y και M₂·x είναι οι δεύτερες ροπές αντίστοιχα γύρω από την αρχή της άμεσης απορροής και της απορροϊκής βροχής.

Ο Nash (1960) επίσης κάνει χρήση της S-καμπύλης και της ατελούς Γ-συνάρτησης για να διερευνήσει το μοναδιαίο υδρογράφημα οποιασδήποτε χρονικής διάρκειας T με τη σχέση

$$h(T, t) = \frac{1}{T} \cdot \left(F(n, t/k) - F(n, \frac{t-T}{k}) \right) \quad (4)$$

όπου οι ποσότητες F(n, t/k) και F(n, $\frac{t-T}{k}$) είναι οι ατελείς

Γ-συναρτήσεις τάξης n σε t/k και $(t-T)/k$ αντίστοιχα, που μπορούν να υπολογιστούν είτε απ' ευθείας ή με τη χρήση πινάκων όπως αυτοί του Pearson.

Ο O'Donnell (1960) διερεύνησε το μοναδιαίο υδρογράφημα κάνοντας χρήση της αρμονικής ανάλυσης και προσεγγίζοντας τα $y(t)$, $x(t)$ και $h(t-\tau)$ με σειρές του Fourier που έχουν την ίδια βασική χρονική περίοδο T που είναι ίση ή μικρότερη από τη διάρκεια της άμεσης απορροής.

$$y(t) = A_0 + \sum_{r=0}^{\infty} \left(A_r \cdot \cos r \frac{2\pi t}{T} + B_r \cdot \sin r \frac{2\pi t}{T} \right) \quad (5)$$

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=0}^{\infty} \left(a_n \cdot \cos n \frac{2\pi t}{T} + b_n \cdot \sin n \frac{2\pi t}{T} \right) \quad (6)$$

$$h(t-\tau) = a_0 + \sum_{m=0}^{\infty} \left(a_m \cdot \cos m \frac{2\pi t}{T} + \beta_m \cdot \sin m \frac{2\pi t}{T} \right) \quad (7)$$

Αντικαθιστώντας τις (6) και (7) στην (1) και κάνοντας χρήση της ορθογωνικότητας των συναρτήσεων των \sin και \cos για $m \neq n$ προκύπτει η σχέση

$$\begin{aligned} y(t) &= A_0 + \sum_{r=0}^{\infty} A_r \cdot \cos r \frac{2\pi t}{T} + \sum_{r=0}^{\infty} B_r \cdot \sin r \frac{2\pi t}{T} \\ &= T \cdot a_0 \cdot a_0 + \frac{T}{2} \sum_{n=0}^{\infty} (a_n \cdot a_n - b_n \cdot \beta_n) \cdot \cos n \frac{2\pi t}{T} \\ &\quad + \frac{T}{2} \sum_{n=0}^{\infty} (a_n \cdot \beta_n + b_n \cdot a_n) \cdot \sin n \frac{2\pi t}{T} \end{aligned} \quad (8)$$

από την οποία, με εξίσωση των συντελεστών, προκύπτουν οι αρμονικοί συντελεστές του μοναδιαίου υδρογραφήματος a_0 , a_n , b_n σαν συνάρτηση των αρμονικών συντελεστών των αναπτυγμάτων της άμεσης απορροής A_0 , A_n , B_n και της απορροϊκής βροχής a_0 , a_n , b_n ως εξής:

$$a_0 = \frac{1}{T} \cdot \frac{A_0}{a_0}$$

$$a_n = \frac{2}{T} \cdot \frac{a_n \cdot A_n + b_n \cdot B_n}{a_n^2 + b_n^2}$$

$$\beta_n = \frac{2}{T} \cdot \frac{a_n \cdot B_n - b_n \cdot A_n}{a_n^2 + b_n^2} \quad (9)$$

Οι συντελεστές A_0 , A_n , B_n και a_0 , a_n , b_n υπολογίζονται με τη βοήθεια των παρατηρήσεων της άμεσης απορροής και της απορροϊκής βροχής αντίστοιχα. Έτσι,

$$A_0 = \frac{1}{P} \sum_{k=0}^{P-1} y_k \quad (\text{για } P \text{ περιττό})$$

$$A_0 = \frac{1}{P} \sum_{k=0}^{P-1} y_k \cdot \cos(nk) \quad (\text{για } P \text{ άρτιο})$$

$$A_n = \frac{2}{P} \sum_{k=0}^{P-1} y_k \cdot \cos n \frac{2\pi k}{P} \quad (1 \leq n \leq \frac{P}{2})$$

$$B_n = \frac{2}{P} \sum_{k=0}^{P-1} y_k \cdot \sin n \frac{2\pi k}{P} \quad (1 \leq n \leq \frac{P}{2}) \quad (10)$$

Οι συντελεστές a_0 , a_n , b_n υπολογίζονται επίσης με τις σχέσεις (10) με αντικατάσταση του y_k με το x_k . Για κάποια υπολογιστικά πλεονεκτήματα το P παίρνεται περιττό και ίσο με $2m+1$, οπότε η έκφραση για το μοναδιαίο υδρογράφημα είναι

$$h(t) = a_0 + \sum_{n=1}^m a_n \cdot \cos n \frac{2\pi t}{P} + \sum_{n=1}^m \beta_n \cdot \sin n \frac{2\pi t}{P} \quad (11)$$

Ένας άλλος τρόπος υπολογισμού του μοναδιαίου υδρογραφήματος βασίζεται στην έκφραση της σχέσεως (1) σαν σειράς για την

περίπτωση που η άμεση απορροή $y(t)$ και η απορροϊκή βροχή $x(t)$ δίνονται σαν παρατηρήσεις κατά τακτά χρονικά διαστήματα. Η έκφραση αυτή είναι

$$y(t) = \sum_{\tau=1}^M h(\tau) \cdot x(t-\tau) \quad (12)$$

όπου το M είναι ίσο ή μικρότερο της χρονικής διάρκειας της άμεσης απορροής. Στη συνέχεια, το μοναδιαίο υδρογράφημα $h(\tau)$ μπορεί να αναπτυχθεί σε μια σειρά ορθογωνικών πολυωνύμων. Έτσι, αν δίνεται μια ακολουθία ορθογωνικών πολυωνύμων $Q=[P_n(\tau), n=1,2,\dots,N]$, το $h(\tau)$ μπορεί να προσεγγιστεί από την εξίσωση

$$h(\tau) = \sum_{n=1}^N a_n \cdot P_n(\tau) \quad (13)$$

όπου N είναι η τάξη του αναπτύγματος των ορθογωνικών πολυωνύμων και a_n είναι οι πολυωνυμικοί συντελεστές. Επομένως, το μοναδιαίο υδρογράφημα μπορεί να προσδιοριστεί αν υπολογιστούν οι πολυωνυμικοί συντελεστές a_n , δεδομένης μιας σειράς ορθογωνικών πολυωνύμων. Για το ανάπτυγμα του $h(\tau)$ μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε σειρά πολυωνύμων που είναι ορθογωνικά σε ένα πεπερασμένο διάστημα. Ο Παρζαφίριου (1975) χρησιμοποίησε για το σκοπό αυτό τα κλασικά πολυώνυμα του Chebyshev και τα πολυώνυμα του Stiefel.

Τα πολυώνυμα του Chebyshev παράγονται από την επαναληπτική σχέση των τριών όρων

$$T_{n+1}(t) = 2 \cdot t \cdot T_n(t) - T_{n-1}(t), \quad T_0(t)=1, \quad T_1(t)=t \quad (14)$$

Τα πολυώνυμα του Stiefel παράγονται από την επαναληπτική σχέση των τριών όρων

$$S_{n+1}(t) = [(t-a_{n+1}) \cdot S_n(t) - b_n \cdot S_{n-1}(t)] \cdot W^2(t), \quad S_0(t)=W^2(t) \quad (15)$$

όπου

$$a_{n+1} = \sum_{i=1}^N t_i \cdot S_n^2(t_i) / \sum_{i=1}^N S_n^2(t_i) \cdot W^2(t_i)$$

$$b_n = \sum_{i=1}^N t_i \cdot S_n(t_i) \cdot S_{n-1}(t_i) \cdot W^2(t_i) / \sum_{i=1}^N S_{n-1}^2(t_i) \cdot W^2(t_i)$$

και $W^2(t)$ είναι ένας θετικός σταθμιστικός παράγοντας.

Οποιαδήποτε από τα πολυώνυμα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθούν στη σχέση (13). Αντικατάσταση της (13) στη (12) δίνει

$$y(t) = \sum_{\tau=1}^M \sum_{n=0}^N a_n \cdot P_n(\tau) \cdot x(t-\tau) \quad (16)$$

που με αναδιάταξη των όρων της προκύπτει

$$y(t) = \sum_{n=0}^N a_n \sum_{\tau=1}^M P_n(\tau) \cdot x(t-\tau) \quad (17)$$

αν δε, για ευκολία, γίνει η αντικατάσταση

$$C_n(t) = \sum_{\tau=1}^M P_n(\tau) \cdot x(t-\tau) \quad (18)$$

τελικά

$$y(t) = \sum_{n=0}^N a_n \cdot C_n(t) \quad (19)$$

Δεδομένης μιας σειράς τιμών απορροϊκής βροχής και υπολογίζοντας τα πρώτα N ορθογωνικά πολυώνυμα, οι ποσότητες $C_n(t)$ μπορούν άμεσα να υπολογιστούν με τη σχέση (18). Δεδομένης και μιας σειράς ταυτόχρονων παρατηρήσεων άμεσης απορροής, οι ορθογωνικοί συντελεστές a_n μπορούν να υπολογιστούν λύνοντας το σύστημα των εξισώσεων

$$[C_{k,n}][a_n] = (y_k) \quad k=1,2,\dots,L \text{ και } n=0,1,2,\dots,N \quad (20)$$

όπου L είναι ο αριθμός των δεδομένων και N είναι ο αριθμός των πολυωνύμων που χρησιμοποιήθηκαν. Επειδή πάντοτε $N < L$, το σύστημα (20) είναι απροσδιόριστο και για τη λύση του μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε κατάλληλη μέθοδος, όπως η πολλαπλή συσχέτιση κ.τ.λ.

3. ΤΟ ΣΥΝΘΕΤΙΚΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ

Σε πολλές περιπτώσεις υδάτινων ρευμάτων δεν υπάρχουν καθόλου παρατηρήσεις απορροής. Για την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων έχουν επινοηθεί κατά καιρούς διάφορες εμπειρικές μέθοδοι που βασίζονται σε παρατηρήσεις βροχής και τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Στον τομέα αυτό ξεχωρίζει η μέθοδος του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος της Soil Conservation Service (1957). Η SCS επινόησε ένα αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα μετά από ανάλυση μεγάλου αριθμού υδρογραφημάτων διαφόρων λεκανών απορροής με ποικίλο μέγεθος και γεωγραφική θέση μέσα στις ΗΠΑ. Το αδιάστατο αυτό υδρογράφημα δίνεται στο Σχήμα 3 και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση κανονικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων οποιασδήποτε λεκάνης απορροής και, κατ' επέκταση, για τον υπολογισμό του υδρογραφήματος της άμεσης απορροής όταν είναι γνωστή η απορροϊκή βροχή που το προκάλεσε. Έτσι, οι τεταγμένες (παροχές Q) ενός κανονικού μοναδιαίου υδρογραφήματος διάρκειας t_0 ωρών μιας λεκάνης απορροής υπολογίζονται από τη σχέση

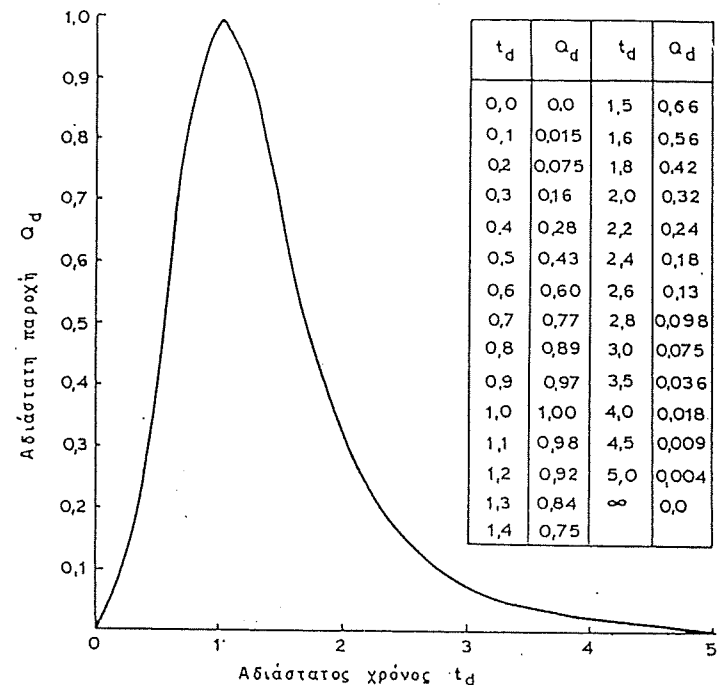
$$Q = Q_d \cdot Q_p \quad (21)$$

και οι αντίστοιχοι χρόνοι με τη σχέση

$$t = t_d \cdot t_p \quad (22)$$

όπου Q_d και t_d είναι αντίστοιχα οι παροχές και οι χρόνοι που δίνονται στον πίνακα του Σχήματος 3, Q_p είναι η αιχμή της παροχής σε m^3/sec και t_p είναι ο χρόνος αιχμής σε ώρες που είναι ο χρόνος από την έναρξη της απορροής μέχρι την αιχμή της. Η Q_p υπολογίζεται κατά προσέγγιση από την εμπειρική σχέση

$$Q_p = 0.208 \cdot A \cdot P_r / t_p \quad (23)$$



Σχήμα 3. Τα αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS.

όπου A είναι η έκταση της λεκάνης σε Km^2 και P_r είναι η απορροϊκή βροχή σε mm. Ο χρόνος αιχμής υπολογίζεται από τη σχέση

$$t_p = t_i + t_0/2 \quad (24)$$

όπου t_i είναι ο χρόνος καθυστέρησης της λεκάνης σε ώρες που είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από το μέσο της βροχής μέχρι την αιχμή της απορροής και υπολογίζεται εμπειρικά από τη σχέση

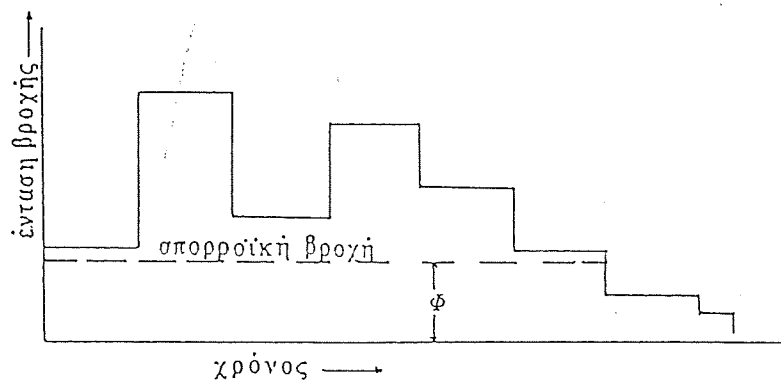
$$t_i = 0.756 \cdot C_t \cdot (\bar{L} \cdot L)^{0.3} \quad (25)$$

όπου C_t είναι ένας συντελεστής που παίρνει τιμές από 1.8 μέχρι 2.2 ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της λεκάνης, L είναι το μήκος του κυρίου ρεύματος της λεκάνης σε Km και \bar{L} είναι η απόσταση του σημείου εξόδου του ρεύματος από το κέντρο της λεκάνης σε km. Η

μέθοδος αυτή δίνει ρεαλιστικά αποτελέσματα και πρέπει να θεωρείται αξιόπιστη.

4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΙΚΗΣ ΒΡΟΧΗΣ

Όπως έχει τονιστεί κατ' επανάληψη στα προηγούμενα, για την εφαρμογή του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του μέρους εκείνου της βροχής που μετατρέπεται σε άμεση απορροή, το οποίο αποτελεί την απορροϊκή βροχή. Προσπάθειες για τον υπολογισμό της απορροϊκής βροχής έχουν γίνει από νωρίς με τη βοήθεια των λεγόμενων δεικτών διηθητικότητας. Έτσι, ο δείκτης f_{ave} ορίζεται σαν η μέση διηθητικότητα μιας λεκάνης κατά τη διάρκεια μιας βροχής, ο δείκτης W αντιπροσωπεύει τη μέση διήθηση κατά το χρονικό διάστημα που η ένταση της βροχής ξεπερνά τη διηθητικότητα του εδάφους και ο δείκτης Φ ορίζεται σαν η μέση ένταση της βροχής πάνω από την οποία ο όγκος της βροχής ισούται με τον όγκο της άμεσης απορροής. Ο δείκτης αυτός είναι ο πιο απλός στην εφαρμογή του και φαίνεται γραφικά στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4. Ο δείκτης διηθητικότητας Φ .

Οι παραπάνω δείκτες υπολογίζονται όταν υπάρχουν ταυτόχρονες παρατηρήσεις βροχής και απορροής και μετά το διαχωρισμό του υδρογραφήματος σε άμεση και βασική απορροή. Η εκτίμηση της απορροϊκής βροχής γίνεται με αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή σχεδιάζεται πρώτα το ισόγραμμα της βροχής και μετά εφαρμόζεται ο δείκτης που επιλέχθηκε κατά περίπτωση.

Η ανάλυση των σχέσεων βροχής-απορροής τέθηκε σε νέες βάσεις από τη Soil Conservation Service με την εισαγωγή της διαδικασίας του απορροϊκού συντελεστή CN. Η μέθοδος αυτή παρουσιάστηκε αρχικά το 1954 (National Engineering Handbook) και επανασεμφανίστηκε με βελτιώσεις σε επόμενες εκδόσεις (1964, 1972, 1985), έχουν δε παρουσιαστεί και πολλές εργασίες άλλων ερευνητών με παρατηρήσεις και προτάσεις πάνω στη μέθοδο αυτή. Κατά την SCS, η σχέση βροχής-απορροής εκφράζεται με τη μορφή

$$\frac{F}{S} = \frac{RO}{P - I_a} \quad (26)$$

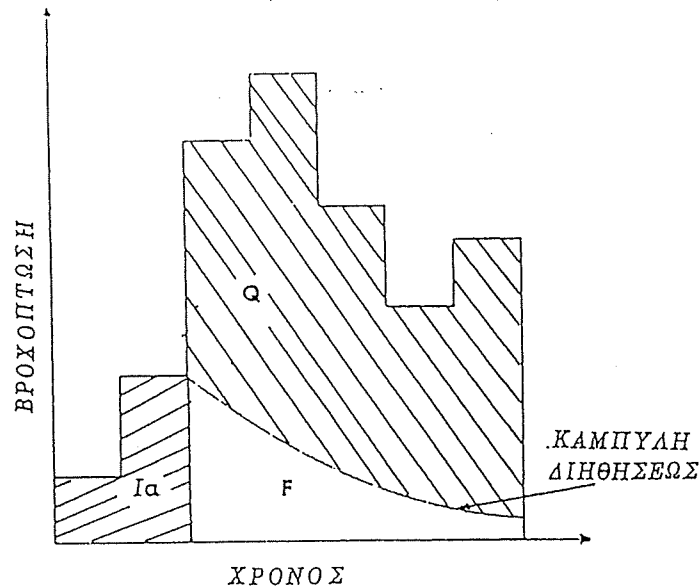
όπου S είναι η μέγιστη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας από το έδαφος της λεκάνης απορροής ή αποθηκευτικότητα, F είναι η πραγματική συγκράτηση υγρασίας από το έδαφος, RO είναι η απορροή, P είναι το ύψος του κατακρημνίσματος και I_a είναι η αρχική συγκράτηση υγρασίας. Η πραγματική συγκράτηση εκφράζεται από τη σχέση

$$F = (P - I_a) - RO \quad (27)$$

που δίνεται γραφικά στο Σχήμα 5. Συνδυασμός των σχέσεων (26) και (27) δίνει

$$RO = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (28)$$

Η αρχική συγκράτηση υγρασίας I_a είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων της λεκάνης απορροής, όπως είναι η συγκράτηση του νερού της βροχής από τη φυτοκάλυψη, ο τρόπος χρήσης και διαχείρισης της



Σχήμα 5. Σχέση ανάμεσα στη βροχή στην απορροή και τη συγκράτηση.

γης, η διηθητικότητα του εδάφους, η αποθήκευση νερού σε επιφανειακές κοιλότητες και η προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση του εδάφους. Η SCS, στηριζόμενη σε πειράματα και εμπειρία πολλών ετών σε μεγάλο αριθμό λεκανών απορροής, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι, σε γενικές γραμμές, η I_a είναι κλάσμα της S και συγκεκριμένα

$$I_a = 0.2 \cdot S \quad (29)$$

γεγονός που δείχνει ότι και η S επηρεάζεται από τους ίδιους παράγοντες που διαμορφώνουν την I_a . Αντικατάσταση της (29) στην (28) δίνει

$$RO = \frac{(P - 0.2 \cdot S)^2}{P + 0.8 \cdot S} \quad (30)$$

που δείχνει ότι ο μόνος παράγοντας, πέρα από τη βροχή, που εξαρτάται η απορροή είναι η αποθηκευτικότητα S . Η SCS, μετά από μελέτες, εκφράζει την S σαν συνάρτηση ενός απορροϊκού συντελεστή CN με τη σχέση

$$S = \frac{254 \cdot (100 - CN)}{CN} \quad (31)$$

όπου το S είναι σε mm. Το CN επηρεάζεται από τους ίδιους παράγοντες που διαμορφώνουν τα I_a και S και συγκεκριμένα από τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τους τρόπους χρήσης και διαχείρισης του και την προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση. Η SCS κατατάσσει τα εδάφη σε τέσσερις τύπους. Η κατάταξη της επιφάνειας του εδάφους γίνεται με βάση τρία χαρακτηριστικά που είναι ο τρόπος χρήσης της γης, η γεωργική πρακτική ή διαχείριση και οι υδρολογικές συνθήκες. Τέλος, η προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση της λεκάνης διακρίνεται σε τρεις τύπους. Με βάση τα παραπάνω η SCS διαμόρφωσε πίνακες από τους οποίους γίνεται κατά περίπτωση η επιλογή του κατάλληλου CN .

Είναι φανερό ότι η έννοια του CN είναι κάπως "σκοτεινή", όπως και το γεγονός ότι η αρχική συγκράτηση I_a παίρνεται σαν ένα συγκεκριμένο και σταθερό κλάσμα S . Παρ' όλα αυτά, η χρήση του CN για τον υπολογισμό της απορροής (και κατ' επέκταση της απορροϊκής βροχής) είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται διεθνώς και, θα μπορούσε να ειπωθεί, ότι αυτή αποτελεί τον πιο κατάλληλο τρόπο για επίλυση σχετικών προβλημάτων.

5. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΧΕΣΕΩΝ ΒΡΟΧΗΣ - ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

"Σύστημα" είναι ένα οργανωμένο σύνολο στοιχείων το οποίο ενεργεί επί μιας "εισόδου" για να αποδώσει μια "έξοδο", όπου είσοδος και έξοδος είναι χρονικές συναρτήσεις. Η υδρολογική λεκάνη θεωρείται ότι είναι ένα σύστημα του οποίου είσοδος είναι η βροχή και έξοδος η απορροή. Ανάλυση συστημάτων είναι μια τεχνική, η οποία σχετίζει την ολική είσοδο (βροχή) προς την ολική έξοδο (απορροή) με τη βοήθεια ενός γραμμικού ή μη γραμμικού τελεστή που προσδιορίζεται από ταυτόχρονες παρατηρήσεις εισόδου-εξόδου, χωρίς καμιά αναφορά στους φυσικούς νόμους που ενεργούν στον κύκλο απορροής. Έτσι, με τη διαδικασία αυτή, χρησιμοποιούνται αυτούσιες οι παρατηρήσεις βροχής και απορροής, χωρίς να υπάρχει ανάγκη για

το χωρισμό του υδρογραφήματος σε άμεση και βασική απορροή και υπολογισμό της απορροϊκής βροχής. Ακολούθως, οι τελεστές ή χαρακτηριστικές συναρτήσεις του συστήματος που διερευνήθηκαν με την παραπάνω διαδικασία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν, σε μια αντίστροφη διαδικασία, μαζί με παρατηρήσεις οποιασδήποτε βροχής για την εκτίμηση της ολικής απορροής.

Ένα σύστημα είναι χρονικά αμετάβλητο όταν η λειτουργία του δεν μεταβάλλεται με το χρόνο, είναι δε φυσικά πραγματοποιήσιμο αν η τιμή της εξόδου σε κάποιο χρόνο είναι ανεξάρτητη από μελλοντικές τιμές της εισόδου. Αν η αντίδραση ενός συστήματος σε μια ακολουθία τιμών εισόδου σε οποιοδήποτε χρόνο είναι απόλυτα και μοναδικά καθορισμένη, το σύστημα λέγεται καθορισμένο. Μνήμη του συστήματος είναι η περίοδος μεταξύ κάποιου χρόνου στο παρελθόν και του παρόντος κατά την οποία η έξοδος επηρεάζεται από την είσοδο. Ένα σύστημα μπορεί να είναι κλειστό, οπότε είσοδος και έξοδος είναι ίσες μεταξύ τους, ή ανοικτό, οπότε είσοδος και έξοδος διαφέρουν ποσοτικά. Αν ένα σύστημα είναι αναλυτικό, όπου ο όρος αναλυτικότητα είναι ανάλογος της συνέχειας στις συναρτήσεις, μπορεί να αναπτυχθεί σε συναρτησιακές σειρές. Η υδρολογική λεκάνη θεωρείται σαν ένα χρονικά αμετάβλητο, φυσικά πραγματοποιήσιμο, καθορισμένο, με μνήμη, κλειστό ή ανοικτό, γραμμικό ή μη γραμμικό, αναλυτικό, φυσικό σύστημα.

Ένα γραμμικό, με πεπερασμένη μνήμη σύστημα εκφράζεται από τη σχέση

$$y(t) = \int_0^t h(\tau) \cdot x(t-\tau) d\tau \quad (32)$$

όπου $y(t)$ είναι η απορροή, $x(t-\tau)$ είναι η βροχή και $h(\tau)$ είναι η χαρακτηριστική συνάρτηση, τ είναι κάποιος χρόνος στο παρελθόν και t είναι η μνήμη του συστήματος. Αν το σύστημα είναι κλειστό, βροχή και απορροή είναι ποσοτικά ίσες, οπότε $h(\tau)$ είναι το μοναδιαίο υδρογράφημα που αναλύθηκε στα προηγούμενα. Αν βροχή και απορροή δίνονται κατά τακτά χρονικά διαστήματα, η σχέση (32) παίρνει τη μορφή

$$y(t) = \sum_{\tau=1}^M h(\tau) \cdot x(t-\tau) \quad (33)$$

όπου M είναι η πεπερασμένη μνήμη του συστήματος, δηλαδή είναι το χρονικό διάστημα από την τελευταία βροχή που επηρεάζει την απορροή μέχρι το παρόν. Η χαρακτηριστική συνάρτηση $h(\tau)$ προσεγγίζεται στη συνέχεια από κάποια ακολουθία ορθογωνικών πολυωνύμων $[P_n(t)]$ με τη σχέση

$$h(\tau) = \sum_{n=1}^N a_n \cdot P_n(\tau) \quad (34)$$

όπου N είναι ο αριθμός των όρων του πολυωνυμικού αναπτύγματος και a_n είναι οι ορθογωνικοί συντελεστές. Αντικατάσταση της σχέσης (34) στην (33) δίνει

$$y(t) = \sum_{n=0}^N a_n \sum_{\tau=1}^M P_n(\tau) \cdot x(t-\tau) \quad (35)$$

από την οποία, αν κάνουμε την αντικατάσταση

$$A_n(t) = \sum_{\tau=1}^M P_n(\tau) \cdot x(t-\tau) \quad (36)$$

προκύπτει η σχέση

$$y(t) = \sum_{n=0}^N a_n \cdot A_n(t) \quad (37)$$

Οι ορθογωνικοί συντελεστές a_n μπορούν να υπολογιστούν από το σύστημα των εξισώσεων που αντιπροσωπεύει η σχέση (37), όταν υπάρχουν ταυτόχρονες παρατηρήσεις βροχής-απορροής η οποία με μορφή μητρώου γίνεται

$$[A_{k,n}][a_n] = [y_k] \quad , \quad k=1,2,\dots,L \quad n=0,1,2,\dots,N \quad (38)$$

Μετά τον υπολογισμό των a_n , αυτοί αντικαθίστανται στη σχέση (34), από την οποία προκύπτει η γραμμική χαρακτηριστική συνάρτηση, που μπορεί ακολούθως να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της απορροής μιας οποιαδήποτε ακολουθίας βροχών με τη σχέση (33).

Ένα μη γραμμικό, δεύτερης τάξης, ανοιχτό με πεπερασμένη μνήμη σύστημα εκφράζεται από τη σχέση

$$y(t) = \int_0^t h_1(\tau) \cdot x(t-\tau_1) + \int_0^t \int_0^t h_2(\tau_1, \tau_2) \cdot x(t-\tau_1) \cdot x(t-\tau_2) d\tau_1 d\tau_2 \quad (39)$$

όπου το απλό ολοκλήρωμα είναι το γραμμικό υποσύστημα, το διπλό ολοκλήρωμα είναι το δεύτερης τάξης μη γραμμικό υποσύστημα, τ_1 και τ_2 είναι κάποιοι χρόνοι στο παρελθόν και t είναι η μνήμη του συστήματος.

Αν βροχή και απορροή δίνονται κατά τακτά χρονικά διαστήματα, η σχέση (39) παίρνει τη μορφή

$$y(t) = \sum_{\tau_1=1}^M h_1(\tau) \cdot x(t-\tau_1) + \sum_{\tau_1=1}^M \sum_{\tau_2=1}^M h_2(\tau_1, \tau_2) \cdot x(t-\tau_1) \cdot x(t-\tau_2) \quad (40)$$

όπου M είναι η πεπερασμένη μνήμη του συστήματος. Για τη λύση του συστήματος, αυτού (40), οι γραμμικές και μη γραμμικές χαρακτηριστικές συναρτήσεις αναπτύσσονται σε σειρές ορθογωνικών πολυωνύμων

$$h_1(\tau_1) = \sum_{r=0}^{N_1} a_r \cdot P_r(\tau_1) \quad (41)$$

$$h_2(\tau_1, \tau_2) = \sum_{r=0}^{N_2} \sum_{s=0}^{N_2} a_{rs} \cdot P_r(\tau_1) \cdot P_s(\tau_2) \quad (42)$$

όπου N_1 και N_2 είναι η τάξη του πολυωνυμικού αναπτύγματος αντίστοιχα της γραμμικής και των δεύτερης τάξης μη γραμμικών χαρακτηριστικών συναρτήσεων. Αντικατάσταση των σχέσεων (41) και

(42) στη σχέση (40) δίνει

$$y(\tau) = \sum_{r=0}^{N_1} a_r \sum_{\tau_1=1}^M P_r(\tau_1) \cdot x(t-\tau_1) + \sum_{r=0}^{N_2} \sum_{s=0}^{N_2} a_{rs} \sum_{\tau_1=1}^M P_r(\tau_1) \cdot x(t-\tau_1) \sum_{\tau_2=1}^M P_s(\tau_2) \cdot x(t-\tau_2) \quad (43)$$

Αν γίνει η αντικατάσταση

$$A_r(t) = \sum_{\tau_1=1}^M P_r(\tau_1) \cdot x(t-\tau_1) \quad (44)$$

$$A_s(t) = \sum_{\tau_2=1}^M P_s(\tau_2) \cdot x(t-\tau_2) \quad (45)$$

τότε, αν υπάρχουν ταυτόχρονες παρατηρήσεις βροχής και απορροής, οι ορθογωνικοί συντελεστές a_r και a_{rs} μπορεί να υπολογιστούν με επίλυση του συστήματος εξισώσεων

$$y(t) = \sum_{r=0}^{N_1} a_r \cdot A_r(t) + \sum_{r=0}^{N_2} \sum_{s=0}^{N_2} a_{rs} \cdot A_r(t) \cdot A_s(t) \quad (46)$$

Μετά τον υπολογισμό των a_r και a_{rs} , αυτοί αντικαθίστανται στις σχέσεις (41) και (42) από τις οποίες προκύπτουν η γραμμική και οι μη γραμμικές χαρακτηριστικές συναρτήσεις, που μπορούν ακολούθως να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της απορροής μιας οποιαδήποτε ακολουθίας βροχών με τη σχέση (40).

Με ανάλογο τρόπο μπορούν να αναπτυχθούν συστήματα ανώτερης από τη δεύτερη τάξης. Η πράξη έδειξε ότι το μη γραμμικό δεύτερης τάξης σύστημα είναι αρκετό για την επίλυση των πλείστων υδρολογικών προβλημάτων. Επίσης έχουν αναπτυχθεί συστήματα με πολλαπλές εισόδους και μια έξοδο, τα οποία χρησιμοποιούνται για προβλήματα διάδευσης πλημμυρών. Εργασίες όπου γίνεται χρήση της ανάλυσης συστημάτων για τη διερεύνηση σχέσεων βροχής-απορροής

έχουν παρουσιαστεί κατά καιρούς από τους Jacobi (1966), Amorocho και Brandstetter (1971), Papazafiriou (1976), Party και Marino (1983), Papamichail και Papazafeiriou (1992), κ.ά.

6. ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ ΟΜΟΙΩΜΑΤΑ

Η σωστή σχεδίαση ενός έργου αξιοποίησας ενός υδατικού πόρου είναι εργασία σύνθετη και βασίζεται στη μελέτη της αλληλεξαρτήσεως ανάμεσα σε επιλεγόμενες κατασκευαστικές διατάξεις και την υδρολογία της περιοχής. Μια τέτοια διαδικασία πρέπει να δώσει σαν αποτέλεσμα λύση που να συνδυάζει το οικονομικότερο δυνατό κόστος κατασκευής του έργου με την πλήρη αξιοποίηση του υδατικού πόρου. Το σοβαρότερο πρόβλημα που έχει να αντιμετωπίσει ένας μελετητής σε τέτοιες περιπτώσεις είναι η εκτίμηση των διακυμάνσεων των υδρολογικών παραμέτρων για τη μελλοντική περίοδο που ταυτίζεται με την αναμενόμενη διάρκεια ζωής του έργου.

Αν η ακολουθία των υδρολογικών δεδομένων καλύπτει μια μεγάλη χρονική περίοδο του παρελθόντος, θα μπορούσε αυτή να χωριστεί σε ομάδες με διάρκεια της κάθε μιας ίση με την οικονομική ζωή του έργου. Η κάθε ομάδα θα μπορούσε στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση και, ανάλογα με τον επιδιωκόμενο σκοπό, να επιλεγούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου. Στην πράξη, τα διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα σχεδόν ποτέ δεν καλύπτουν χρονική περίοδο ίση με τη ζωή του έργου, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν σαφή κριτήρια σχεδιασμού, πολύ δε περισσότερο να παρέχουν τη δυνατότητα για συγκριτική μελέτη και επιλογή. Ακόμη, επειδή είναι σχεδόν απίθανο η ιστορική ακολουθία να επαναληφθεί αυτούσια στο μέλλον, η συμπεριφορά του έργου στη διάρκεια της ζωής του είναι αδύνατο να προβλεφθεί με βάση μόνο τα υπάρχοντα ιστορικά δεδομένα.

Το κενό έρχεται να καλύψει η συνθετική ή επιχειρησιακή υδρολογία που έχει σαν αντικείμενο τη δημιουργία συνθετικών σειρών υδρολογικών δεδομένων. Ιστορικά, ο πρώτος που δημιούργησε μια συνθετική σειρά απορροών ήταν ο Sudler (1927) που, κατ' αρχή, επέλεξε 50 ετήσιες απορροές από ένα πληθυσμό με συγκεκριμένη κατανομή, τις έγραψε σε ισάριθμες κάρτες, ανακάτεψε τις κάρτες και

κατέγραψε τις τιμές τους με τη σειρά που βρέθηκαν. Τη διαδικασία αυτή επανέλαβε 20 φορές δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό μια ακολουθία από 1000 ετήσιες απορροές. Η ακολουθία αυτή παρουσίαζε δύο αδυναμίες, (1) οι ακραίες τιμές της (μέγιστες ή ελάχιστες) δεν ξεπερνούσαν τις αντίστοιχες των 50 αρχικών δεδομένων και (2) δεν αντιπροσώπευαν την "υδρολογική εμμονή" που είναι το φαινόμενο που παρουσιάζεται κατά κανόνα στα υδάτινα ρεύματα, όπου περίοδοι υψηλής απορροής ακολουθούνται πάλι από μεγάλη απορροή και περίοδοι χαμηλής από χαμηλή. Η υδρολογική εμμονή μπήκε στην υδρολογική ανάλυση με την υιοθέτηση των ακολουθιών του Markov, με αντιπροσωπευτικές εργασίες στον τομέα αυτό των Thomas και Fiering (1962), Matalas (1967), Jackson 1975 κ.ά. Με τη διαδικασία των ακολουθιών του Markov μπορούν να δημιουργηθούν σειρές συνθετικών απορροών απεριόριστης διάρκειας, πολύ μεγαλύτερες από τη διάρκεια ζωής ενό έργου, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα για επιλογή της πιό κατάλληλης λύσης.

Η διαδικασία που βασίζεται σε ακολουθίες του Markov, με την παραδοχή ότι τα ιστορικά δεδομένα παρουσιάζουν κανονική κατανομή γύρω από το μέσο όρο τους, παράγει σειρές συνθετικών απορροών που έχουν ακριβώς τον ίδιο μέσο όρο, τυπική αποκλιση και συντελεστή συσχέτισεως με την ακολουθία των ιστορικών δεδομένων. Η σημασία του γεγονότος αυτού έγκειται στο ότι η ιστορική και η συνθετική σειρά είναι στατιστικά παρόμοιες, παρόλο που χρονικά δεν ταυτίζονται. Ένα στοχαστικό ομοίωμα που έχει τα παραπάνω χαρακτηριστικά μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση

$$x_{t+1} = \bar{x}_{t+1} + \rho \cdot \frac{[\text{var}(x_{t+1})]^{1/2}}{[\text{var}(x_t)]^{1/2}} \cdot (x_t - \bar{x}_t) + e_{t+1} \quad (47)$$

όπου,

x_{t+1} είναι το μέγεθος της απορροής σε χρόνο $t+1$ που θεωρείται γραμμική συνάρτηση της αμέσως προηγούμενης x_t

\bar{x}_{t+1} είναι ο μέσος όρος των x_{t+1}

\bar{x}_t είναι ο μέσος όρος των x_t

ρ είναι ο συντελεστής συσχέτισεως

$\text{var}(x_{t+1})$ είναι η μεταβλητότητα των x_{t+1}

$\text{var}(x_t)$ είναι η μεταβλητότητα των x_t , και

e_{t+1} είναι ένα στοιχείο που αντιπροσωπεύει την ποσοτική έκφραση της διασποράς των σημείων γύρω από τη μέση τιμή τους και με κανένα τρόπο δεν συνδέεται με την απορροή x_t της προηγούμενης χρονικής περιόδου. Τα στοιχεία e_{t+1} έχουν μέσο όρο ίσο με το μηδέν και σταθερή παραλακτικότητα.

Μια άλλη διαδικασία αποτελούν τα στοχαστικά ομοιώματα Box-Jenkins ή ARIMA. Αν δίνεται μια χρονική σειρά $z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$ της οποίας οι τιμές αναφέρονται σε χρονικά διαστήματα ίσης μεταξύ τους αποστάσεως, η σειρά αυτή μπορεί να προσομοιωθεί από ένα στοχαστικό εποχιακό ομοίωμα ARIMA της μορφής

$$\phi(B)\phi(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D(z_t - \mu) = \theta(B)\theta(B^s)e_t \quad (48)$$

όπου,

t είναι ο διακεκριμένος χρόνος

s είναι το εποχιακό μήκος

B είναι ένας τελεστής οπίσω διαφορών που ορίζεται από τη σχέση

$$Bz_t = z_{t-1}, \quad B^s z_t = z_{t-s}$$

μ είναι ο μέσος όρος των απείρων όρων της σειράς που συνήθως παίρνεται σαν η μέση τιμή των όρων της πεπερασμένης σειράς z_t

$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$ είναι ο μη εποχιακός τελεστής αυτοσυσχέτισης (AR) τάξης p

$(1-B)^d = \nabla^d$ είναι ο μη εποχιακός τελεστής διαφορών τάξης d που δημιουργεί μη εποχιακή στασιμότητα των d -οστών διαφορών, όπου συνήθως $d=0, 1$ ή 2

$\phi(B)^s = 1 - \phi_1 B^s - \phi_2 B^{2s} - \dots - \phi_p B^{ps}$ είναι ο εποχιακός τελεστής αυτοσυσχέτισης (AR) τάξης P

$(1-B^s)^D = \nabla^D$ είναι ο εποχιακός τελεστής διαφορών τάξης D που δημιουργεί εποχιακή στασιμότητα των D -οστών διαφορών, όπου συνήθως $D=0, 1$ ή 2

$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$ είναι ο μη εποχιακός τελεστής κινουμένων μέσων όρων (MA) τάξης q

$\theta(B)^s = 1 - \theta_1 B^s - \theta_2 B^{2s} - \dots - \theta_q B^{qs}$ είναι ο εποχιακός τελεστής

κινουμένων μέσων όρων (MA) τάξης Q .

e_t είναι ο κανονικά ανεξάρτητα κατανομημένος "λευκός θόρυβος" με μέσο όρο μηδέν και μεταβλητότητα σ_s^2 .

Για την περιγραφή των εποχιακών ARIMA ομοιωμάτων χρησιμοποιείται ο γενικός συμβολισμός $(p,d,q)(P,D,Q)_s$. Για τα μη εποχιακά ARIMA ομοιώματα είναι αρκετός ο συμβολισμός (p,d,q) . Αν $d=0$, το $(p,0,q)$ αντιπροσωπεύει το γενικό ARMA στοχαστικό ομοίωμα. Αν $d=0$ και $q=0$, το $(p,0,0)$ είναι το ομοίωμα αυτοσυσχέτισης AR(p). Αν $p=0$ και $d=0$, το $(0,0,q)$ αντιπροσωπεύει το στοχαστικό ομοίωμα κινουμένων μέσων όρων MA(q).

Ο προσδιορισμός ενός στοχαστικού μη εποχιακού ομοιώματος ARIMA (p,d,q) αφορά τη συγκεκριμενοποίηση των παραμέτρων του p , d και q που καθορίζουν τη μορφή του. Η διαδικασία προσδιορισμού βασίζεται στον υπολογισμό του αθροιστικού περιοδογράμματος, της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης και της συνάρτησης μερικής αυτοσυσχέτισης της χρονικής σειράς. Η μελέτη της χρονικής σειράς είναι απαραίτητη για τη διακρίβωση εποχικότητας, τάσεων, εμμονής κ.τ.λ. Αν τέτοια χαρακτηριστικά παρουσιαστούν σε μια χρονική σειρά, χρησιμοποιούνται διάφορες διαδικασίες για την απομάκρυνσή τους, για να εξασφαλιστεί η στασιμότητα, που αποτελεί προϋπόθεση για τα ομοιώματα Box-Jenkins.

Εργασίες που εδραιώνουν και επεκτείνουν τις δυνατότητες των ομοιωμάτων αυτών έχουν γίνει από τους Box και Jenkins (1970,1976), Yevjenich (1972), Hipel(1975), Kottegoda (1980), Vandaele (1983), Brockwell και Davis(1987) κ.ά.

Ανακεφαλαιώνοντας τα όσα παρουσιάστηκαν στα παραπάνω επισημαίνεται ότι για τη μελέτη και σχεδίαση ενός ταμιευτήρα νερού είναι απαραίτητη η γνώση της δίαιτας του ρεύματος ή των ρευμάτων που το τροφοδοτούν, για περίοδο ίση τουλάχιστον με τη διάρκεια ζωής του έργου. Επειδή τέτοιες παρατηρήσεις υπάρχουν για πολύ λίγα υδάτινα ρεύματα ενώ, αντίθετα, υπάρχουν κατά κανόνα βροχομετρικές παρατηρήσεις για μεγάλες χρονικές περιόδους από σταθμούς που βρίσκονται μέσα ή γύρω από τη λεκάνη απορροής, προκύπτει η ανάγκη να βρεθεί κάποια σχέση ανάμεσα στη βροχή και την απορροή ώστε να καταστεί δυνατή η εκτίμηση της απορροής για το σύνολο της χρονικής

περιόδου κατά την οποία υπάρχουν παρατηρήσεις βροχής. Μια τέτοια διαδικασία βασίζεται στο μοναδιαίο υδρογράφημα που, για τη διερεύνησή του, απαιτούνται ταυτόχρονες παρατηρήσεις βροχής-απορροής για κάποια χρονική περίοδο και, ακόμη, πρέπει να γίνει ο χωρισμός του υδρογραφήματος σε βασική και άμεση απορροή και να υπολογιστεί η απορροϊκή βροχή. Αν δεν υπάρχουν τέτοιες παρατηρήσεις, μπορεί κατά προσέγγιση να χρησιμοποιηθεί το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS που βασίζεται στα χαρακτηριστικά της βροχής και της λεκάνης απορροής. Η απορροϊκή βροχή μπορεί να εκτιμηθεί είτε με τη διαδικασία των δεικτών διηθητικότητας είτε με τη διαδικασία του απορροϊκού συντελεστή CN της SCS, η οποία θεωρείται πιο αξιόπιστη. Μια άλλη διαδικασία διερεύνησης σχέσεων βροχής-απορροής για κάποια χρονική περίοδο, βασίζεται στη θεωρία ανάλυσης συστημάτων. Κατ' αυτή χρησιμοποιούνται αυτούσιες οι παρατηρήσεις βροχής-απορροής, χωρίς την ανάγκη διαχωρισμού του υδρογραφήματος και υπολογισμού της απορροϊκής βροχής. Ανάλογα με τις διαθέσιμες παρατηρήσεις μπορεί, κατά περίπτωση, να χρησιμοποιηθεί η πιο πρόσφορη μέθοδος για τον υπολογισμό της απορροής για όλα τα χρόνια που υπάρχουν βροχομετρικές παρατηρήσεις. Οι ακολουθίες τιμών απορροής που προκύπτουν από την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία συνθετικών σειρών απορροών απεριόριστης χρονικής διάρκειας με την εφαρμογή στοχαστικών διαδικασιών. Οι συνθετικές αυτές σειρές μπορεί να καλύψουν περιόδους πολύ μεγαλύτερες από τη διάρκεια ζωής του έργου, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στο μελετητή να επιλέξει την πιο κατάλληλη λύση. Όλες οι διαδικασίες διεκπεραιώνονται με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή για τον οποίο υπάρχουν τα ανάλογα προγράμματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Amorocho, J. and Brandstetter, A., 1971. Determination of nonlinear response functions in rainfall-runoff relations. *Water Resour. Res.*, 7(5):1087-1101.
2. Box, G.E.P., and Jenkins, G.M., 1970. *Time series analysis: Forecasting and Control*. Holden-Day, Inc., San Francisco Calif.
3. Box, G.E.P., and Jenkins, G.M., 1976. *Time series analysis: Forecasting and Control*. Revised Edition. Holden-Day, Inc., San Francisco, Calif.
4. Brockwell, P.J., and Davis, R.A., 1987. *Time series: Theory and Methods*. Springer-Verlag, Inc., New York.
5. Hipel, k.w., 1975. Contemporary Box-Jenkins modeling in Hydrology. Tech. Report No 75-4, Water Resour. Group, Dept. of Civil Eng., Univ. of Waterloo, Ontario, Canada.
6. Jackson, B.B., 1975. The use of streamflow models in planning. *Water Resour. Res.*, 11(1):54-63.
7. Jacobi, S.L.S., 1966. A mathematical model for nonlinear hydrologic systems. *J. Geophysical Res.*, 71(20):4811-4824.
9. Matalas, N.C., 1967. Time series analysis. *Water Resour. Res.*, 3(3): 817-829.
10. Nash, J.E., 1957. The form of the instantaneous hydrograph. *Int'l Assoc. Sci. Hydrology, Proc., General Assembly of Toronto*, vol III:114-121.
11. Nash, J.E., 1960. A unit hydrograph study with particular reference to British Catchments. *Proc., Inst. Civil Eng.*, 17:249-282.
12. O'Donnell, T., 1960. Instantaneous unit hydrograph derivation by harmonic analysis. *Int'l Assoc. Sci. Hydrology*, 51:546-557.
13. Papamichail, D.M., and Papazafeiriou, Z.G., 1992. Multiple input-single output linear functional models for river flow routing. *J. Hydrol.*, 133:365-337.
14. Papazafeiriou, Z.G., 1975. Polynomial approximation of the kernels of closed linear hydrologic systems. *J. Hydrol.*, 27:319-329.

15. Papazafeiriou, Z.G., 1976. Linear and nonlinear approaches for short-term runoff estimations in time-invariant open hydrologic systems. J. Hydrol., 30:63-80.
16. Party, G.G., and Marino, A.M., 1983. Nonlinear runoff modeling: Parameter identification. J. Hydraul. Eng., ASCE, 109(6):865-880.
17. Sherman, L. K., 1932. Streamflow from rainfall by the Unit-Graph method. Eng. News Record, 108:501-506.
18. Sudler, C.E., 1927. Storage required for the regulation of stream flow. Trans. ASCE, 91:662-680.
19. Thomas, H.A., and Fiering, M.B., 1962. Mathematical synthesis of stream-flow sequances for the analysis of river basins by simulation. In:Design of water Resources Systems, Chapter 12, Harvard University Press, Cambridge Mass., U.S.A.
20. U.S.D.A., Soil Conservation Service, 1954. Hydrology. In:National Engineering Handbook, Section 4, Gov't Printing Office, Washington D.C.
21. U.S.D.A., Soil Conservation Service, 1957. Hydrology. Supplement A. In:National Engineering Handbook, Section 4, Gov't Printing Office, Washington D.C.
22. Vantaele, W., 1983. Applied time series and Box-Jenkins models Academic Press, New York.
23. Yevjevich, V., 1972. Stochastic processes in hydrology. Water Resources Publications, Univ. of Colorado, Fort Collins, Colorado.

ΔΙΟΔΕΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Ευριπίδου Κυριάκος, Πολ.Μηχανικός ΥΠΕΧΩΔΕ. Δ/ση Εγγ/κών Έργων (Δ7)

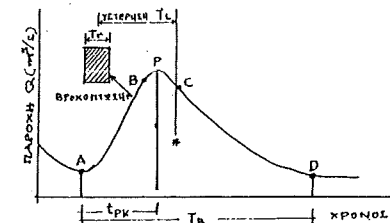
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- Στην πραγματικότητα το πλημμυρογράφημα ή και υδρογράφημα δεν περιγράφουν τίποτε άλλο παρά ένα κύμα, δηλαδή τα υδρογραφήματα απεικονίζουν εν γένει τον τρόπο, με τον οποίο το κύμα αυτό διέρχεται από μία διατομή ενός ποταμού ή χειμάρρου.
- Συνήθως η απεικόνιση αυτή εκφράζει την στάθμη του νερού στην εξεταζόμενη θέση ή και την παροχή στην ίδια θέση σε συνάρτηση με το χρόνο.
- Αντί του κύματος πολλές φορές χρησιμοποιείται η έννοια υδρογράφημα επειδή οι δύο έννοιες έχουν σχεδόν ταυτισθεί.
- Καθώς το κύμα αυτό κινείται προς τα κατάντη του ποταμού, το σχήμα του μεταβάλλεται λόγω διαφόρων παραγόντων, όπως η ικανότητα αποθήκευσης του ρεύματος, η αντίσταση τριβής, οι πλευρικές εισροές κ.λ.π.
- Όταν ένα πλημμυρικό κύμα διέρχεται μέσω ενός ταμιευτήρα, η μέγιστη τιμή του (η αιχμή) εξομαλύνεται και ο χρόνος της βάσεώς του αυξάνει λόγω του φαινομένου της αποθήκευσης(ή και ανάσχεσης). Εξομάλυνση αιχμής παρατηρείται ακόμη λόγω τριβής όταν το πλημμυρικό κύμα δεν συναντά κατά την κατάντη πορεία του πλευρικές εισροές.
- Οι επιπρόσθετες πλευρικές εισροές μπορούν να εξομαλύνουν ή να ανορθώσουν ένα πλημμυρικό κύμα.

Η μελέτη των μεταβολών αυτών που συμβαίνουν κατά τη διέλευση ενός πλημμυρικού κύματος μέσα σε ένα ταμιευτήρα ή ένα κανάλι (ποτάμι κ.λ.π.) αποτελεί και το αντικείμενο διόδευσης πλημμυρών (Flood Routing).

2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Θεωρούμε σκόπιμο πριν προχωρήσουμε σε αυτό καθ'αυτό το αντικείμενο της διόδευσης να υπενθυμίσουμε ορισμένες από τις βασικές έννοιες του υδρογράμματος καθώς και τους κυριότερους από τους παράγοντες, που το επηρεάζουν.



Σχ.1 Χαρακτηριστικά στοιχεία Υδρογραφήματος

Στο υδρογράφημα του σχ.1 απεικονίζεται μία καταιγίδα, η οποία προκαλείται από μία "εξιδανικευμένη" ομοιόμορφη βροχόπτωση, διάρκειας T , μέσα σε μία λεκάνη απορροής.

Διακρίνουμε τρεις χαρακτηριστικές περιοχές:

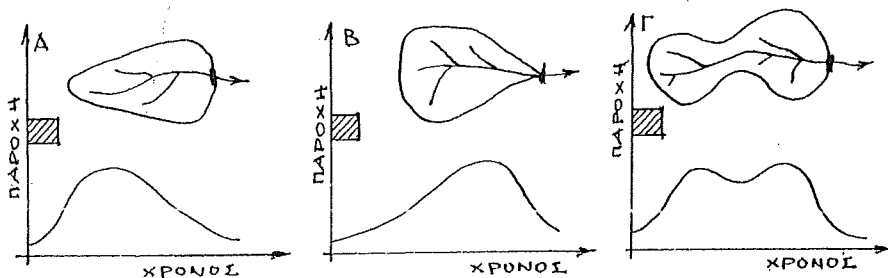
- Τον ανιόντα κλάδο AB
- Την περιοχή αιχμής BC μεταξύ των δύο σημείων καμψής με το σημείο P της αιχμής και
- Τον κατιόντα κλάδο CD

Άλλα ενδιαφέροντα σημεία είναι: ο χρόνος t_{pk} που μεσολαβεί μεταξύ της ώρας έναρξης της βροχόπτωσης μέχρι την ώρα κατά την οποία παρατηρείται η μέγιστη παροχή (αιχμή της πλημμύρας), ο χρόνος T_L μεταξύ του κέντρου μάζας της βροχόπτωσης και του κέντρου μάζας του υδρογραφήματος γνωστός σαν χρόνος υστέρησης, η μέγιστη παροχή πλημμύρας Q_p και ο χρόνος βάσεως T_B του υδρογραφήματος.

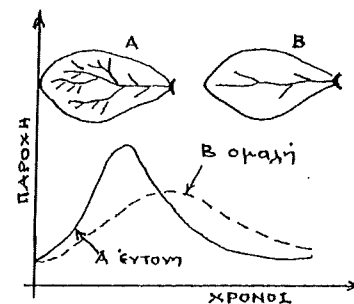
Εν γένει η συμπεριφορά των διαφόρων καταιγίδων και λεκανών απορροής αποτελούν ανομοιόμορφα και πολυσύνθετα φαινόμενα. Αν κανείς εξετάσει τα δελτία καταγραφής ενός μεγάλου αριθμού πλημμυρογραφήματων σε ένα ρεύμα θα παρατηρήσει ότι πολλά εξ αυτών έχουν ιδιομορφίες τόσο σε σχήμα όσο και σε πολλαπλότητα σημείων αιχμής σε σχέση με το απλοποιημένο υδρογράφημα, του σχήματος 1.

Βέβαια για να είναι δυνατή η ανάλυση μέσω των υδρογραφήματων θα πρέπει προηγουμένως αυτά να εξιδανικευθούν σε υδρογραφήματα απλής μορφής, που συνήθως επιτυγχάνονται με το να διαχωρισθούν οι εξεταζόμενες βροχοπτώσεις σε μεμονωμένες ομοιόμορφες καταιγίδες.

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν ένα υδρογράφημα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: η μία κατηγορία αφορά στους φυσιογραφικούς παράγοντες και η δεύτερη στους κλιματικούς παράγοντες.



Σχ.2 Επιρροή του σχήματος της Λεκάνης απορροής στη μορφή του Υδρογραφήματος



Σχ.3 Επιρροή της χαράδρωσης της Λεκάνης απορροής στη μορφή του Υδρογραφήματος

Οι φυσιογραφικοί παράγοντες είναι:

1. Τα χαρακτηριστικά της λεκάνης όπως:

- το σχήμα (Σχ.2)
- το μέγεθος
- η κλίση
- η φύση της κοιλάδας
- το υψόμετρο
- η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου (χαράδρωση Σχ.3)

2. Τα χαρακτηριστικά διαπερατότητας όπως:

- χρήσεις γης και φυτοκάλυψη
- το είδος του εδάφους και η γεωλογική του δομή
- η ύπαρξη λιμνών, ελών, βάλτων κ.λπ. περιοχών με ικανότητα κατακράτησης όγκων νερού.

3. Τα χαρακτηριστικά του ρεύματος όπως:

- η διατομή
- η τραχύτητα της κοίτης και των πρανών και
- η ικανότητα αποθήκευσης.

Οι κλιματικοί παράγοντες είναι:

1. Τα χαρακτηριστικά της καταιγίδας, όπως:

- η συχνότητα των βροχοπτώσεων

- β) η ένταση της βροχόπτωσης
- γ) η διάρκεια της βροχόπτωσης
- δ) το μέγεθος και η μετακίνηση ή μη της καταγίδας καθώς και η κατεύθυνση μετακίνησης.

2. Οι αρχικές απώλειες και

3. Η εξατμισοδιαπνοή

3. ΔΙΟΔΕΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ - ΒΑΣΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ

Η διόδευση ενός πλημμυρογραφήματος μέσα από ένα ταμιευτήρα ή ένα κανάλι είναι φαινόμενο ανομοιομόρφης ροής, γνωστό στην υδραυλική σαν βαθμιαίως μεταβαλλομένη ροή. Η εξίσωση συνεχείας που χρησιμοποιείται για τη διόδευση εκφράζει απλά το γεγονός ότι σε μία χρονική περίοδο η διαφορά μεταξύ εισροής και εκροής αποτελεί τη μεταβολή της αποθήκευσης σε συνάρτηση με το χρόνο:

$$I - Q = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad \text{ή} \quad I\Delta t - Q\Delta t = \Delta S \quad [1]$$

όπου I = η μέση εισροή

Q = η μέση εκροή

ΔS = η μεταβολή της αποθήκευσης (S) και

Δt = το χρονικό διάστημα της μεταβολής

Αν ακόμη θεωρήσουμε δύο χρονικές στιγμές την t_1 και t_2 , κατά τις οποίες η εισροή, εκροή και ο όγκος αποθήκευσης είναι αντίστοιχα I_1 , Q_1 , S_1 και I_2 , Q_2 , S_2 , τότε η σχέση [1] μπορεί να γραφεί ως:

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \Delta t - \frac{Q_1 + Q_2}{2} \Delta t = S_2 - S_1 \quad [2]$$

όπου $\Delta t = t_2 - t_1$, το χρονοδιάστημα.

Γενικά για την επίλυση της εξίσωσης (2), η οποία πρέπει να αναφέρουμε ότι αποτελεί απλουστευμένη μορφή των γνωστών από την υδραυλική διαφορικών εξισώσεων του Saint-Venant, χρησιμοποιούνται διάφορες μορφές της καθώς και μέθοδοι εφαρμογής της, ανάλογα με το πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε κάθε φορά.

4. ΔΙΟΔΕΥΣΗ ΜΕΣΑ ΣΕ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ.

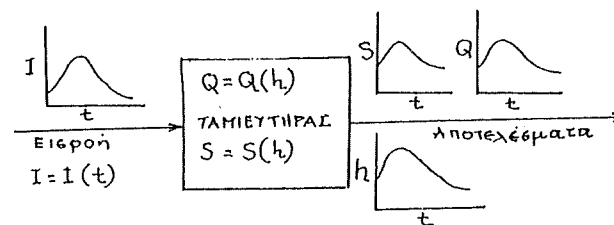
Στην περίπτωση που ένα πλημμυρικό κύμα $I(t)$ εισέρχεται σε έναν ταμιευτήρα ο οποίος σαν έξοδο έχει ένα υπερχειλιστή, τότε η εκροή εξαρτάται μόνο από την στάθμη του νερού στον ταμιευτήρα αυτό:

$$Q = Q(h).$$

Επίσης η αποθήκευση στον ταμιευτήρα εξαρτάται από την στάθμη του νερού στον ταμιευτήρα: $S = S(h)$.

Η στάθμη του νερού στον ταμιευτήρα μεταβάλλεται σε σχέση με το χρόνο, όσο συνεχίζει να διέρχεται το πλημμυρικό κύμα: $h = h(t)$.

Είναι προφανές ότι τόσο η αποθήκευση $S(h)$ όσο και η εκροή $Q(h)$, μεταβάλλονται σε σχέση με το χρόνο.



Σχ.4 Διόδευση σε Ταμιευτήρα (σχηματικά)

Η παροχή του υπερχειλιστή δίδεται από τη γνωστή μορφή:

$$Q = C H^{3/2}$$

όπου H το βάθος ροής πάνω από τον υπερχειλιστή και C σταθερά εξαρτώμενη από το μήκος και τη μορφή της στέψης του υπερχειλιστή.

Για να είναι δυνατή η διόδευση του πλημμυρικού κύματος, πρέπει να είναι ακόμη γνωστά τα εξής:

α. Η καμπύλη στάθμης - όγκου του ταμιευτήρα: $S = S(h)$

β. Η καμπύλη στάθμης - παροχής (εκροών): $Q = Q(h)$

άρα και η σχέση όγκου - παροχής: $S = S(Q)$

γ. Το υδρογράφημα εισροών: $I = I(t)$

δ. Οι αρχικές τιμές των S , I και Q τη χρονική στιγμή $t = 0$.

Οι μέθοδοι που υπάρχουν για τη διόδευση των πλημμυρών μέσω ενός ταμιευτήρα είναι διάφορες, στηρίζονται όμως όλες στην σχέση (1).

Οι πλέον γνωστές είναι δύο:

1. Η μέθοδος **Pul**, η οποία είναι μετασχηματισμός της εξίσωσης (2) υπό τη μορφή:

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \cdot \Delta t + S_1 - \frac{Q_1 \cdot \Delta t}{2} = S_2 + \frac{Q_2 \cdot \Delta t}{2}$$

2. Η μέθοδος **Goodrich** με τη μορφή:

$$(I_1 + I_2) + \frac{2S_1}{\Delta t} - Q_1 - \frac{2S_2}{\Delta t} + Q_2$$

Το ζητούμενο από τη διδουση της πλημμύρας είναι να απεικονίσουμε τις μεταβολές της στάθμης, του όγκου και της παροχής (εκροής) του ταμειυτήρα σε σχέση με το χρόνο διάρκειας της πλημμύρας, ώστε στην συνέχεια να εξαχθούν ορισμένα συμπεράσματα, για το ελεύθερο ύψος ασφαλείας και την τελική στάθμη στέψης του φράγματος.

Επίσης ο ρυθμός μεταβολής της στάθμης είναι χρήσιμος για εκτιμήσεις στην ευστάθεια των πρανών του ταμειυτήρα και του φράγματος, την τοποθέτηση φίλτρων κ.λ.π. όταν μάλιστα συνδυάζονται και με αντίστοιχες εκτιμήσεις κυματισμών από άλλους παράγοντες (π.χ. άνεμος, κατολισθήσεις κ.λ.π.).

5. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ

Πανομοιότυπη με τη μεθοδολογία της διδουσης πλημμυρών είναι η μεθοδολογία που ακολουθείται με την προσομοίωση, για τη διερεύνηση της λειτουργίας ταμειυτήρων μέσω μαθηματικών μοντέλων, προκειμένου να καταρτισθούν προγράμματα υδατικής οικονομίας και διαχείρισης, για διάφορες χρήσεις του νερού των ταμειυτήρων.

Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιείται το αρχείο εισροών που μπορεί να υπάρχει από πολυετείς μετρήσεις ή και αρχείο εισροών που προκύπτει από άλλες μεθόδους εκτιμήσεων της Υδρολογίας, μετά βεβαίως από επεξεργασία των υφισταμένων παρατηρήσεων.

Ο μαθηματικός τύπος που συνήθως χρησιμοποιείται είναι της μορφής:

$$E_i (H_{i+1} - H_i) = \Delta t (I_i - \Sigma QX_i - QA_i - QY_i)$$

όπου :

i : δείκτης μεταβολής παραμέτρου με το χρόνο

E_i : το εμβαδόν της επιφάνειας του ταμειυτήρα

H_i : η στάθμη της επιφάνειας της λίμνης

Δt : χρονοδιάστημα (μήνας, ημέρα, ώρα κ.λ.π)

I_i : η εισροή

ΣQX_i : το άθροισμα των παροχών χρήσεως

QA_i : απώλειες (εξάτμιση, διαφυγές κ.λ.π)

QY_i : παροχή υπερχείλισης όταν η ΣY είναι μεγαλύτερη από την $A \cdot \Sigma Y$

Για την εφαρμογή της μεθόδου πρέπει, όπως και στην περίπτωση διδουσης πλημμυρών, να είναι γνωστά πέραν των εισροών και:

α) Η καμπύλη **Στάθμης - επιφάνειας** ή η καμπύλη **Στάθμης - Όγκου** του ταμειυτήρα.

β) Οι καμπύλες **Στάθμης - Παροχής** των διαφόρων χρήσεων ή ακόμα και **σενάρια χρήσεων**.

γ) Οι κάθε είδους **απώλειες** σε συνάρτηση με την στάθμη του ταμειυτήρα, είτε και σαν ποσοστό των εισροών και,

δ) Οι καμπύλες **στάθμης - υπερχείλισης**, όταν η στάθμη στον ταμειυτήρα φτάνει να υπερβαίνει την $A \cdot \Sigma Y$ (στάθμη υπερχείλισης).

Εφαρμογή της μεθόδου αυτής, όπως θα δούμε στη συνέχεια, αποτελεί το παράδειγμα του **πίνακα III**, από τα διαγράμματα του οποίου προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα για την επάρκεια αποθεμάτων στον ταμειυτήρα, την ύπαρξη ή όχι ελλειμμάτων κ.λ.π, ώστε να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα για την αντιμετώπιση τους.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1:

Έστω Λιμνοδεξαμενή $\Lambda 1$, επιφάνειας λίμνης 560 στρεμ. με υπερχειλιστή απλής μορφής. Ο νόμος **παροχής-στάθμης** εκφράζεται από τη σχέση:

$$Q = 50.48 h^{3/2} \quad (m^3/sec)$$

Θεωρούμε ότι η στάθμη του νερού βρίσκεται στη στάθμη υπερχείλισης. Κατά τη διάρκεια μίας έντονης βροχόπτωσης στη λεκάνη απορροής, μετρήθηκε η ακόλουθη μεταβολή στάθμης στον υπερχειλιστή.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

| | | | | | | | | | | | |
|--------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| t (ωρ) | 0 | 2 | 4 | 6 | 7 | 8 | 10 | 14 | 18 | 24 | 36 |
| h (m) | 0 | 0.12 | 0.49 | 0.73 | 0.76 | 0.73 | 0.61 | 0.34 | 0.18 | 0.09 | 0.03 |

Προτείνεται, αμέσως κατάντη της Λιμνοδεξαμενής $\Lambda 1$, να κατασκευασθεί μία δεύτερη Λιμνοδεξαμενή $\Lambda 2$, με σκοπό να διπλασιασθεί η λεκάνη απορροής του συστήματος των δύο Λιμνοδεξαμενών.

Η δεύτερη Λιμνοδεξαμενή θα έχει επιφάνεια λίμνης 1120 στρεμ. ενώ η σχέση **παροχής-στάθμης** θα είναι:

$$Q = 100.97 h^{3/2} \quad (m^3/sec)$$

Ζητούμενο είναι το υδρογράφημα εισροών της Λιμνοδεξαμενής $\Lambda 1$ και το υδρογράφημα της δεύτερης Λιμνοδεξαμενής για την ίδια, όπως πιο πάνω, βροχόπτωση.

ΕΠΙΛΥΣΗ:

Τα χρονικά διαστήματα του Πίνακα Δεδομένων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μία πρώτη προσέγγιση.

Οι υπολογισμοί πινακοποιούνται, όπως φαίνεται στον ΠΙΝΑΚΑ I, όπου οι γραμμές αντιστοιχούν είτε στους χρόνους (t) της πρώτης στήλης είτε στα χρονικά διαστήματα (Δt) της δεύτερης στήλης.

Για την εύρεση των εισροών στη δεύτερη Λιμνοδεξαμενή, προσθέτουμε τις παροχές εκροής της πρώτης Λιμνοδεξαμενής με τις παροχές της ίδιας, θεωρώντας ότι η δεύτερη λεκάνη απορροής έχει πανομοιότυπες υδρολογικές συνθήκες με την πρώτη.

Κάθε χρονικό διάστημα Δt στον πινακοποιημένο υπολογισμό όπως φαίνεται στον ΠΙΝΑΚΑ II συνοδεύεται και με μία μεταβολή στη στάθμη του νερού ίση με Δh .

Επιλέγεται μία μέση τιμή του h μέσα στο χρονοδιάστημα (στήλη 5) και προκύπτει το Δh (στήλη 6).

Έτσι προκύπτει ο αποθηκευτικός όγκος κατά τη διάρκεια του αντιστοίχου χρονοδιαστήματος (στήλη 7) και στη συνέχεια η διαφορά μεταξύ του όγκου εισροής και του όγκου αποθήκευσης (στήλη 8).

Το μήκος του χρονοδιαστήματος αναγράφεται στη στήλη 9, από το οποίο προκύπτει και η παροχή υπερχειλίσης με τη βοήθεια της εξίσωσης διόδευσεως (στήλη 10).

Η παροχή υπερχειλίσης μπορεί να εκτιμηθεί απ'ευθείας από τη σχέση παροχής-στάθμης του υπεχειλιστή, χρησιμοποιώντας τη μέση τιμή του h.

Αν οι επιλεγείσες τιμές των h και Δh εκτιμήθηκαν σωστά, τότε οι τιμές των στηλών 10 και 11 θα πρέπει να ταυτίζονται. Σε αντίθετη περίπτωση επιλέγονται νέες τιμές κ.ο.κ. μέχρι να επιτευχθεί σχετική σύμπτωση.

Η βελτιωμένη πλέον τιμή του Δh προστίθεται στην αρχική τιμή του h της επόμενης περιόδου και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία μέχρι το τέλος της χρονικής διάρκειας του πλημμυρικού φαινομένου.

Στη συνέχεια οι τιμές των στηλών των πινάκων χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση των υδρογραφημάτων σε διαγράμματα [Q(t), h(t) κλπ].

Όπως είναι φυσικό, ακριβέστερα αποτελέσματα μπορούμε να έχουμε επαναλαμβάνοντας τους υπολογισμούς αυτούς με μικρότερα χρονοδιαστήματα (Δt).

Σήμερα με την εξάπλωση των Η/Υ και με τη χρήση κατάλληλου software όπως τα προγράμματα LOTUS 123, EXCEL, QPRO4 [εν προκειμένω] κ.λ.π, τα διατιθέμενα φύλλα εργασίας (spreadsheets), με κατάλληλο προγραμματισμό των στηλών και γραμμών τους, βοηθούν σημαντικά στη γρήγορη επίλυση παρόμοιων προβλημάτων, ακόμα και πολυσύνθετων, όπως είναι τα μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης της λειτουργίας ουστημάτων ύδρευσης κ.λ.π. (ένα ανάλογο παράδειγμα είναι αυτό του Πίνακα III).

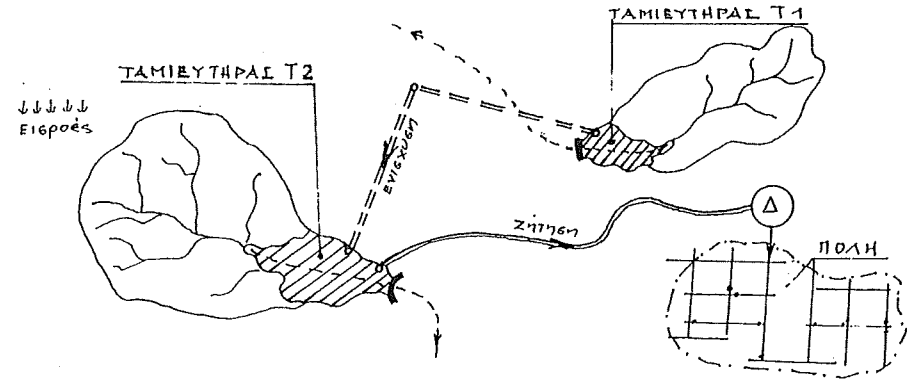
Πιο κάτω περιγράφονται οι σχέσεις (formulas, functions) που χρησιμοποιήθηκαν για τον προγραμματισμό των στηλών των Πινάκων I και II του παραδείγματος (περιγράφεται η γραμμή 7).

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΙΝΑΚΑ I

| Στήλη | Χαρακτήρας | Σχέση |
|-------|----------------------|---|
| 1 | (t) | τιμή |
| 2 | (Δt) | @IF((A8-A6))=0,"", (A8-A6)*3600) |
| 3 | (h) | τιμή |
| 4 | μέσο(h) | @IF(((C8+C6)=0,"", (C8+C6)/2) |
| 5 | παροχή εκροής | @IF((D7)=0, 50.48*(C7)^(3/2), 50.48*(D7)^(3/2)) |
| 6 | όγκος εκροής | @IF(B7=0,"", (B7*E7/1000)) |
| 7 | (Δh) | @IF(C8-C6=0,"", (C8-C6)) |
| 8 | αποθηκ.όγκος | @IF(G7=0,"", 0.56*10^6/1000*G7) |
| 9 | εισρέων όγκος | @IF(H7=0,"", (F7+H7)) |
| 10 | μέση εισροή | @IF(B7=0,"", (I7/B7)*1000) |
| 11 | εισροή στη Λιμ/νή Λ1 | @IF(A7=0,"", (J6+J8)/2) |

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΙΝΑΚΑ ΙΙ

| Στήλη | Χαρακτήρας | Σχέση |
|-------|------------------------------|---------------------------------|
| 1 | (t) | τιμή |
| 2 | όγκος από Λιμ/νή Λ1 | τιμή (από Πίνακα Ι) |
| 3 | όγκος από λεκάνη απορροής Λ2 | τιμή |
| 4 | συνολική εισροή στη Λ2 | @IF((B7+C7)=0,"",(B7+C7)) |
| 5.7 | (h) | (E6+E7/2) |
| 5.8 | (h) | (E6+F7) |
| 6 | (Δh) | τιμή |
| 7 | αποθηκ.όγκος | @IF(F7=0,"",(F7*1120)) |
| 8 | εκρέων όγκος | @IF(F7=0,"",(D7-G7)) |
| 9 | (Δt) | @IF((A8-A6)=0,"",(A8-A6)*3600)2 |
| 10 | παροχή υπερχειλίσης | @IF(F7=0,"",(H7*1000/I7)) |
| 11 | παροχή = Ch3/2 | @IF(F7=0,"",(100.97*(E7)^(3/2)) |
| 12 | παροχή εισροής | @IF(D7=0,"",(D7*1000/I7)) |



Σχ.5 Σχηματική διάταξη Ταμιευτήρων T1 και T2

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2:

Εξετάζεται η περίπτωση που, το υδατικό δυναμικό του ταμιευτήρα T2 ενισχύεται από το υδατικό δυναμικό της λεκάνης απορροής του ταμιευτήρα T1, προκειμένου να υδροδοτηθεί μία πόλη με ζήτηση υδατοκατανάλωσης ίσης με 1.285.000 μ³/ημέρα κατά μ.ο. Η Α.Σ.Υ στον ταμιευτήρα T2 βρίσκεται σε υψόμετρο +445.

Γνωστά είναι:

- α) Οι μηνιαίες ποσότητες ενίσχυσης του ταμιευτήρα T2 από τον T1 επί μία δεκαετία.
- β) Οι εισροές στον ταμιευτήρα T2 από τη λεκάνη απορροής του, επί μία δεκαετία.
- γ) Οι απώλειες από εξάτμιση και διαφυγές στον Ταμιευτήρα T2.
- δ) Η καμπύλη στάθμης - επιφάνειας του Ταμιευτήρα T2 και,
- ε) Η ζήτηση της πόλης όπως θα εξελιχθεί σε δέκα χρόνια κατά μ.ο.

Ζητούμενο είναι να απεικονισθεί το υδατικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα T2 γι'αυτή τη δεκαετία, δηλαδή να μπορούμε να ξέρουμε την εξέλιξη των αποθεμάτων στον ταμιευτήρα σε σχέση με τις εισροές και τη ζήτηση, σε επίπεδο π.χ ενός μήνα (Δt = μήνας) για τη δεκαετία αυτή.

ΕΠΙΛΥΣΗ :

Η επίλυση του προβλήματος φαίνεται στον Πίνακα ΙΙΙ και είναι πανομοιότυπη με αυτή του πρώτου παραδείγματος.

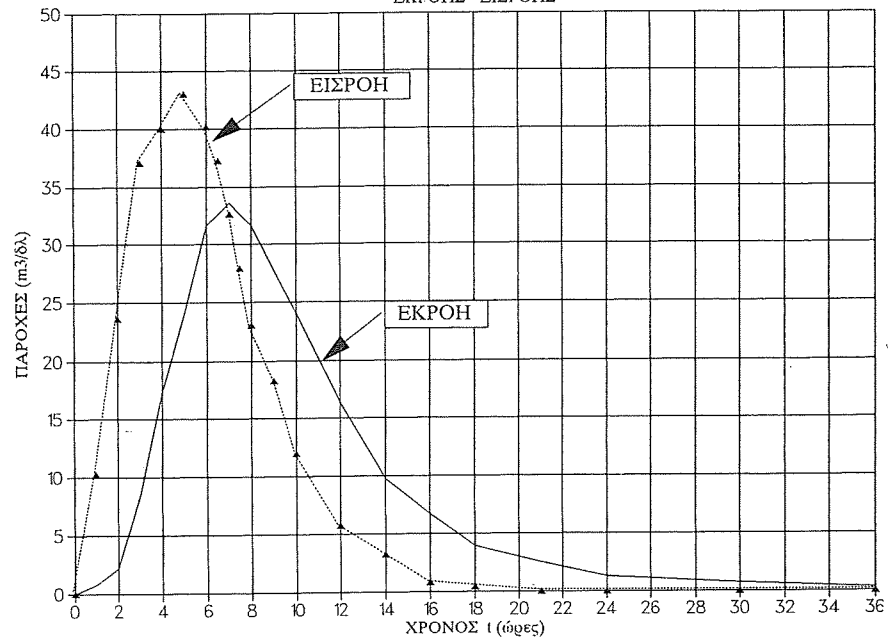
ΠΙΝΑΚΑΣ I

| Χρόνος t ώρες | Δt δλ | h m | Μέσο h m | Παροχή Εκροής m ³ /δλ | Όγκος Εκροής χιλ. m ³ | Δh m | Αποθηκ. Όγκος χιλ. m ³ | Εισροών Όγκος χιλ. m ³ | Μέση Εισροή m ³ /δλ | Εισροή στην Δ/Δ m ³ /δλ |
|---------------------|----------|--------|----------------|--|--|---------|---|---|--------------------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 0 | | 0.00 | | 0.0 | | | | | | 0.0 |
| 2 | 7200 | 0.12 | 0.06 | 0.8 | 5.5 | 0.12 | 68.3 | 73.8 | 10.2 | 23.7 |
| 4 | 7200 | 0.31 | 0.31 | 2.2 | 17.3 | 0.37 | 205.5 | 266.9 | 37.1 | 40.0 |
| 6 | 7200 | 0.49 | 0.61 | 8.5 | 61.4 | 0.24 | 136.1 | 309.5 | 43.0 | 40.1 |
| 7 | 3600 | 0.73 | 0.75 | 17.3 | 173.4 | 0.03 | 16.8 | 134.1 | 37.3 | 32.6 |
| 8 | 3600 | 0.76 | 0.75 | 31.6 | 117.3 | -0.03 | -16.8 | 100.5 | 27.9 | 23.1 |
| 10 | 7200 | 0.73 | 0.67 | 32.6 | 117.3 | -0.12 | -68.3 | 131.5 | 18.3 | 12.0 |
| 14 | 14400 | 0.61 | 0.47 | 24.1 | 199.8 | -0.28 | -154.0 | 82.1 | 5.7 | 3.2 |
| 18 | 14400 | 0.34 | 0.26 | 16.4 | 236.1 | -0.15 | -85.1 | 10.7 | 0.7 | 0.3 |
| 24 | 21600 | 0.18 | 0.13 | 9.8 | 95.8 | -0.10 | -54.9 | -1.4 | -0.1 | -0.0 |
| 36 | 43200 | 0.09 | 0.06 | 4.0 | 53.5 | -0.06 | -30.8 | -0.7 | -0.0 | -0.0 |
| | | 0.03 | | 2.5 | 30.1 | | | | | |
| | | | | 1.3 | | | | | | |
| | | | | 0.7 | | | | | | |
| | | | | 0.3 | | | | | | |

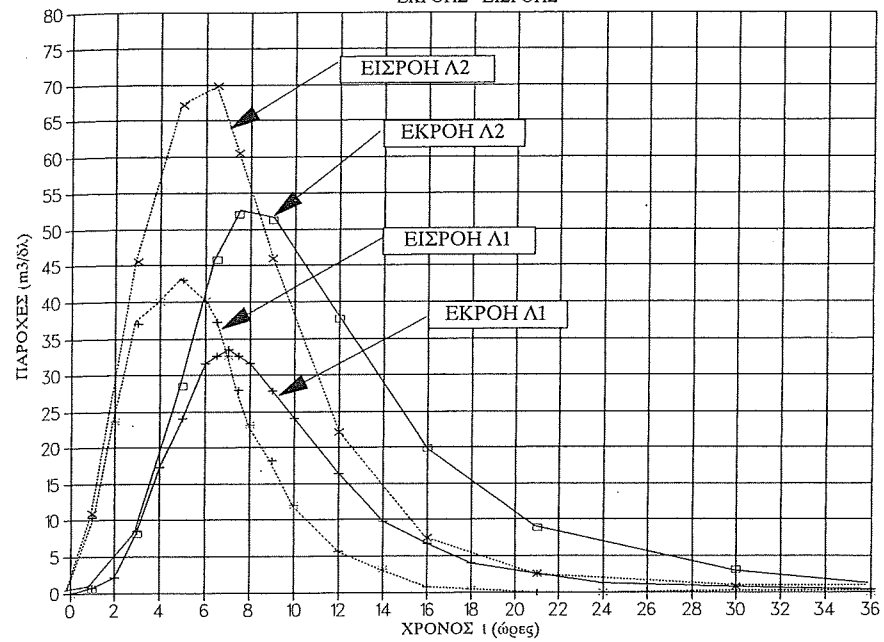
ΠΙΝΑΚΑΣ II

| Χρόνος t ώρες | Όγκος από Δ/Δ1 χιλ. m ³ | Όγκος απ' λεχ. Αποθ. χιλ. m ³ | Συνολική Εισροή χιλ. m ³ | h m | Δh m | Αποθηκ. Όγκος χιλ. m ³ | Εκροών Όγκος χιλ. m ³ | Δt δλ | Παροχή Υπερχείλι m ³ /δλ | Παροχή= C ¹ h ^{3/2} m ³ /δλ | Παροχή Εισροής m ³ /δλ |
|---------------------|--|--|---|--------|---------|---|--|----------|---|--|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 0 | | | | 0.000 | | | | | | | |
| 2 | 5.5 | 73.80 | 79.3 | 0.034 | 0.067 | 75.04 | 4.3 | 7200 | 0.59 | 0.62 | 11.01 |
| 4 | 61.4 | 266.90 | 328.3 | 0.067 | 0.240 | 268.80 | 59.5 | 7200 | 8.26 | 8.17 | 45.60 |
| 6 | 173.4 | 309.50 | 482.9 | 0.187 | 0.245 | 274.40 | 208.5 | 7200 | 28.96 | 28.42 | 67.07 |
| 7 | 117.3 | 134.10 | 251.4 | 0.307 | 0.430 | 0.245 | 274.40 | 208.5 | 7200 | 28.96 | 67.07 |
| 8 | 117.3 | 100.50 | 217.8 | 0.430 | 0.591 | 0.077 | 86.24 | 165.2 | 3600 | 45.88 | 69.83 |
| 10 | 199.8 | 131.50 | 331.3 | 0.552 | 0.629 | 0.077 | 86.24 | 165.2 | 3600 | 45.88 | 69.83 |
| 14 | 236.1 | 82.10 | 318.2 | 0.629 | 0.643 | 0.027 | 30.24 | 187.6 | 3600 | 52.10 | 60.50 |
| 18 | 95.8 | 10.70 | 106.5 | 0.656 | 0.637 | -0.038 | -42.56 | 373.9 | 7200 | 51.93 | 46.01 |
| 24 | 53.5 | 0.00 | 53.5 | 0.618 | 0.518 | -0.200 | -224.00 | 542.2 | 14400 | 37.65 | 22.10 |
| 36 | 30.1 | 0.00 | 30.1 | 0.418 | 0.338 | -0.160 | -179.20 | 285.7 | 14400 | 19.84 | 7.40 |
| | | | | 0.258 | 0.198 | -0.120 | -134.40 | 187.9 | 21600 | 8.70 | 2.48 |
| | | | | 0.138 | 0.096 | -0.085 | -95.20 | 125.3 | 43200 | 2.90 | 0.70 |
| | | | | 0.053 | | | | | | | |

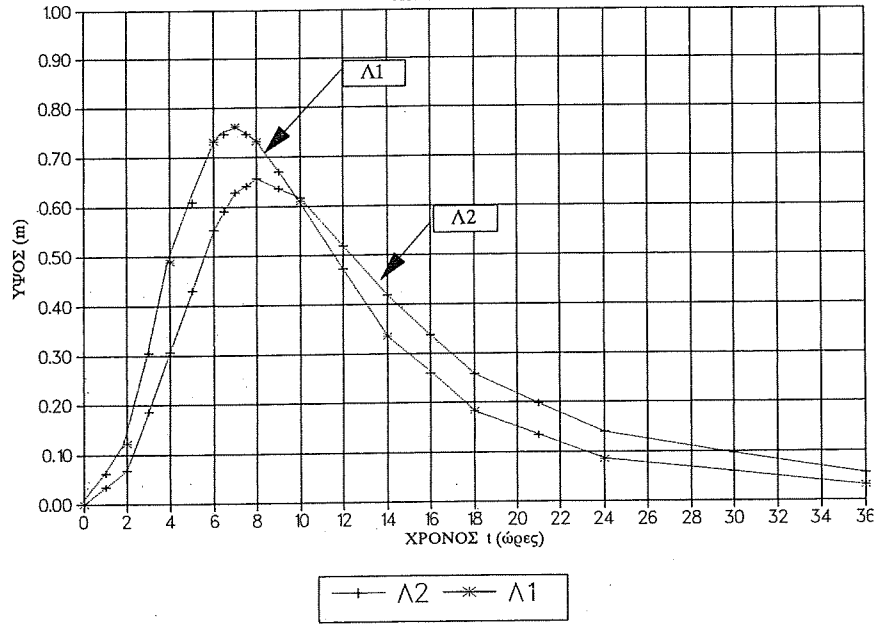
ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ
ΕΚΡΟΗΣ - ΕΙΣΡΟΗΣ



ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ
ΕΚΡΟΗΣ - ΕΙΣΡΟΗΣ



ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ (h)
ΑΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ Λ1 και Λ2



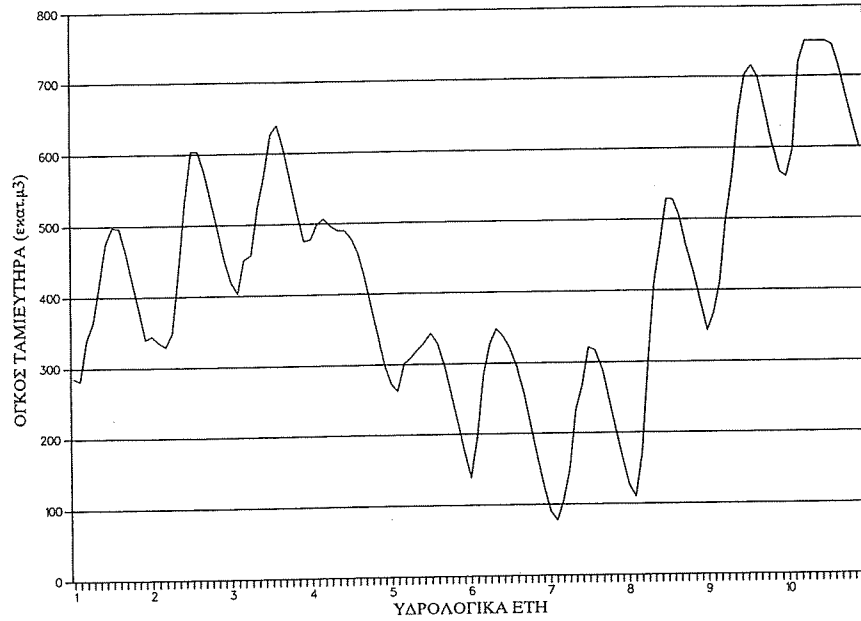
ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ ΑΒΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΑΜΙΒΥΤΗΡΑ Τ2 (αρχικός όγκος ταμιευτήρα 320 εκατ. μ3)

| ΥΑΡΟ/ΓΙΟΘ ΣΤΟΣ | Ενίσχυση | Εισροές | | Μέση | Συνολική | ΣΤΑΘΜΗ | | ΒΗΘΑΝΘΙΑ | | Ζήτηση | Όγκος | Όγκος | Όγκος | Συνολική |
|----------------|----------|---------|---------|-------|----------|--------|--------|----------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|
| | | ακρ | λεκανής | | | ΑΙΜΝΗΣ | ΑΙΜΝΗΣ | Αρχική | Τέλος | | | | | |
| α/α | ΜΗΝΑΣ | T1 | T2 | α.α | T2 | αρχή | τέλος | αρχή | τέλος | Ρόλης | T2 | T2 | T2 | T2 |
| 1 | 0 | 1.2 | 7.6 | 70.0 | 8.8 | 405.0 | 401.8 | 10.82 | 9.98 | 42.0 | 1.8 | -35.0 | | 285.0 |
| | N | 15.1 | 20.2 | 37.9 | 35.3 | 401.8 | 401.4 | 9.98 | 9.87 | 38.0 | 1.4 | -4.1 | | 280.9 |
| | A | 52.0 | 40.5 | 27.4 | 92.5 | 401.4 | 407.3 | 9.87 | 11.42 | 33.0 | 1.3 | 58.2 | | 339.1 |
| | I | 28.5 | 32.1 | 31.3 | 60.6 | 407.3 | 409.4 | 11.42 | 12.01 | 35.0 | 1.4 | 24.2 | | 363.4 |
| | Φ | 47.9 | 41.6 | 42.5 | 89.5 | 409.4 | 414.0 | 12.01 | 13.31 | 33.0 | 1.5 | 55.0 | | 418.4 |
| | M | 46.1 | 44.4 | 78.4 | 90.5 | 414.0 | 418.1 | 13.31 | 14.55 | 33.0 | 2.0 | 55.5 | | 473.8 |
| | A | 24.6 | 35.5 | 118.0 | 60.1 | 418.1 | 419.7 | 14.55 | 15.02 | 35.0 | 2.7 | 22.4 | | 496.2 |
| | M | 17.6 | 28.3 | 172.3 | 45.9 | 419.7 | 419.6 | 15.02 | 15.01 | 43.0 | 3.6 | -0.7 | | 495.5 |
| | I | 1.3 | 12.0 | 215.2 | 13.3 | 419.6 | 417.4 | 15.01 | 14.34 | 42.0 | 4.2 | -32.9 | | 462.6 |
| | I | 0.4 | 7.1 | 233.5 | 7.5 | 417.4 | 414.6 | 14.34 | 13.49 | 44.0 | 4.3 | -40.8 | | 421.7 |
| | A | 0.3 | 8.7 | 208.4 | 9.0 | 414.6 | 411.5 | 13.49 | 12.62 | 46.0 | 3.8 | -40.8 | | 380.9 |
| | Σ | 0.0 | 6.1 | 143.3 | 6.1 | 411.5 | 408.2 | 12.62 | 11.69 | 45.0 | 2.8 | -41.7 | | 339.2 |
| 2 | 0 | 16.8 | 32.0 | 70.0 | 48.8 | 408.2 | 408.7 | 11.69 | 11.81 | 42.0 | 1.8 | 5.0 | | 344.2 |
| | N | 15.0 | 15.5 | 37.9 | 30.5 | 408.7 | 407.9 | 11.81 | 11.60 | 38.0 | 1.4 | -8.9 | | 335.3 |
| | A | 7.4 | 19.8 | 27.4 | 27.2 | 407.9 | 407.3 | 11.60 | 11.43 | 33.0 | 1.3 | -7.1 | | 328.1 |
| | I | 23.9 | 33.0 | 31.3 | 56.9 | 407.3 | 409.1 | 11.43 | 11.93 | 35.0 | 1.4 | 20.5 | | 348.7 |
| | Φ | 59.8 | 58.4 | 42.5 | 118.2 | 409.1 | 416.1 | 11.93 | 13.95 | 33.0 | 1.5 | 83.7 | | 432.4 |
| | M | 70.6 | 61.5 | 78.4 | 132.1 | 416.1 | 423.1 | 13.95 | 16.08 | 33.0 | 2.1 | 97.0 | | 529.4 |
| | A | 65.5 | 46.2 | 118.0 | 111.7 | 423.1 | 427.7 | 16.08 | 17.55 | 35.0 | 2.9 | 73.8 | | 603.2 |
| | M | 17.8 | 29.1 | 172.3 | 46.9 | 427.7 | 427.6 | 17.55 | 17.55 | 43.0 | 4.0 | -0.1 | | 603.1 |
| | I | 3.8 | 14.3 | 215.2 | 18.1 | 427.6 | 426.0 | 17.55 | 17.02 | 42.0 | 4.8 | -28.7 | | 574.4 |
| | I | 0.9 | 7.3 | 233.5 | 8.2 | 426.0 | 423.6 | 17.02 | 16.26 | 44.0 | 5.0 | -40.8 | | 533.6 |
| | A | 2.4 | 7.0 | 208.4 | 9.4 | 423.6 | 421.1 | 16.26 | 15.47 | 46.0 | 4.4 | -41.0 | | 492.6 |
| | Σ | 0.1 | 6.2 | 143.3 | 6.3 | 421.1 | 418.4 | 15.47 | 14.63 | 45.0 | 3.2 | -41.9 | | 450.7 |
| 3 | 0 | 2.7 | 9.7 | 70.0 | 12.4 | 418.4 | 416.2 | 14.63 | 13.98 | 42.0 | 2.0 | -31.6 | | 419.1 |
| | N | 10.4 | 11.4 | 37.9 | 21.8 | 416.2 | 415.0 | 13.98 | 13.61 | 38.0 | 1.5 | -17.7 | | 401.3 |
| | A | 41.7 | 41.1 | 27.4 | 82.8 | 415.0 | 418.5 | 13.61 | 14.67 | 33.0 | 1.4 | 48.4 | | 449.8 |
| | I | 17.5 | 25.6 | 31.3 | 43.1 | 418.5 | 419.0 | 14.67 | 14.81 | 35.0 | 1.5 | 6.6 | | 456.4 |
| | Φ | 52.3 | 47.5 | 42.5 | 99.8 | 419.0 | 423.4 | 14.81 | 16.18 | 33.0 | 1.6 | 65.2 | | 521.6 |
| | M | 43.2 | 37.4 | 78.4 | 80.6 | 423.4 | 426.2 | 16.18 | 17.07 | 33.0 | 2.3 | 45.3 | | 566.9 |
| | A | 44.1 | 53.9 | 118.0 | 98.0 | 426.2 | 429.7 | 17.07 | 18.22 | 35.0 | 3.0 | 60.0 | | 626.9 |
| | M | 29.3 | 29.6 | 172.3 | 58.9 | 429.7 | 430.3 | 18.22 | 18.43 | 43.0 | 4.1 | 11.8 | | 638.7 |
| | I | 1.7 | 12.3 | 215.2 | 14.0 | 430.3 | 428.5 | 18.43 | 17.84 | 42.0 | 5.0 | -33.0 | | 605.7 |
| | A | 1.4 | 2.5 | 233.5 | 3.9 | 428.5 | 426.0 | 17.84 | 17.02 | 44.0 | 5.2 | -45.3 | | 560.4 |
| | I | 0.2 | 5.1 | 208.4 | 5.3 | 426.0 | 423.3 | 17.02 | 16.17 | 46.0 | 4.5 | -45.2 | | 515.2 |
| | Σ | 1.0 | 6.4 | 143.3 | 7.4 | 423.3 | 420.8 | 16.17 | 15.38 | 45.0 | 3.3 | -40.9 | | 474.3 |
| 4 | 0 | 10.6 | 36.4 | 70.0 | 47.0 | 420.8 | 421.0 | 15.38 | 15.44 | 42.0 | 2.1 | 2.9 | | 477.1 |
| | N | 30.4 | 30.0 | 37.9 | 60.4 | 421.0 | 422.4 | 15.44 | 15.86 | 38.0 | 1.6 | 20.8 | | 498.0 |
| | A | 15.2 | 27.1 | 27.4 | 42.3 | 422.4 | 422.8 | 15.86 | 16.01 | 33.0 | 1.4 | 7.9 | | 505.8 |
| | I | 5.0 | 21.2 | 31.3 | 26.2 | 422.8 | 422.2 | 16.01 | 15.81 | 35.0 | 1.5 | -10.3 | | 495.5 |
| | Φ | 7.3 | 21.3 | 42.5 | 28.6 | 422.2 | 421.8 | 15.81 | 15.69 | 33.0 | 1.7 | -6.1 | | 489.5 |
| | M | 10.5 | 24.1 | 78.4 | 34.6 | 421.8 | 421.8 | 15.69 | 15.68 | 33.0 | 2.2 | -0.6 | | 488.8 |
| | A | 5.5 | 22.3 | 118.0 | 27.8 | 421.8 | 421.1 | 15.68 | 15.48 | 35.0 | 2.9 | -10.1 | | 478.8 |
| | M | 4.3 | 21.0 | 172.3 | 25.3 | 421.1 | 419.8 | 15.48 | 15.05 | 43.0 | 3.7 | -21.4 | | 457.4 |
| | I | 1.2 | 12.1 | 215.2 | 13.3 | 419.8 | 417.6 | 15.05 | 14.39 | 42.0 | 4.2 | -32.9 | | 424.5 |
| | I | 0.1 | 3.8 | 233.5 | 3.9 | 417.6 | 414.5 | 14.39 | 13.47 | 44.0 | 4.4 | -44.5 | | 380.0 |
| | A | 0.6 | 9.3 | 208.4 | 9.9 | 414.5 | 411.5 | 13.47 | 12.61 | 46.0 | 3.8 | -39.9 | | 340.1 |
| | Σ | 0.4 | 5.5 | 143.3 | 5.9 | 411.5 | 408.2 | 12.61 | 11.68 | 45.0 | 2.8 | -41.9 | | 298.2 |

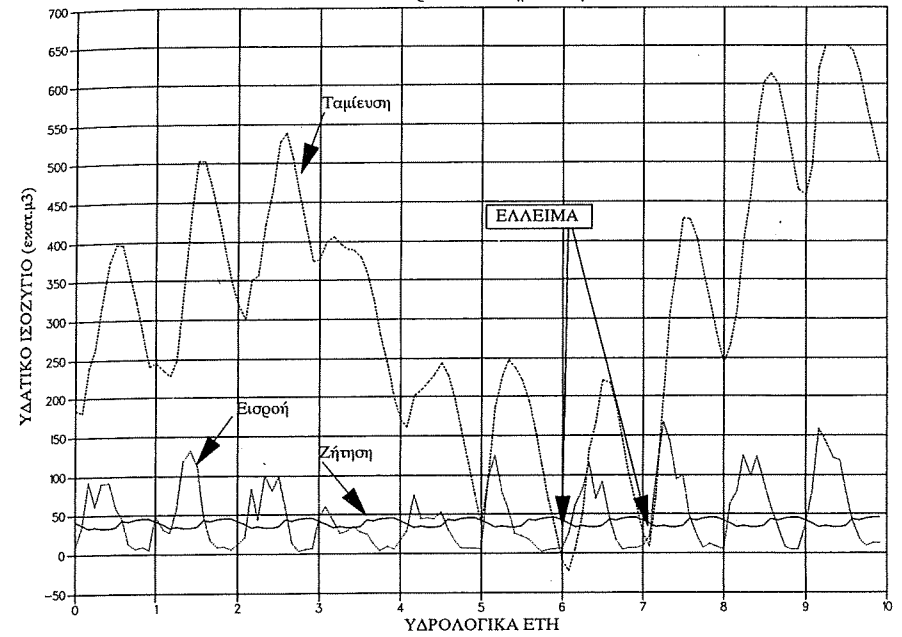
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | |
|---|---|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 5 | O | 5.0 | 11.8 | 70.0 | 16.8 | 408.2 | 405.9 | 11.68 | 11.05 | 42.0 | 1.8 | -27.0 | | 271.2 | |
| | N | 13.1 | 16.1 | 37.9 | 29.2 | 405.9 | 405.0 | 11.05 | 10.80 | 38.0 | 1.4 | -10.2 | | 261.0 | |
| | A | 25.6 | 48.6 | 27.4 | 74.2 | 405.0 | 408.6 | 10.80 | 11.80 | 33.0 | 1.3 | 39.9 | | 300.8 | |
| | I | 18.3 | 25.5 | 31.3 | 43.8 | 408.6 | 409.3 | 11.80 | 11.98 | 35.0 | 1.4 | 7.4 | | 308.2 | |
| | Φ | 16.9 | 28.1 | 42.5 | 45.0 | 409.3 | 410.2 | 11.98 | 12.22 | 33.0 | 1.5 | 10.5 | | 318.7 | |
| | M | 21.0 | 23.6 | 78.4 | 44.6 | 410.2 | 410.9 | 12.22 | 12.45 | 33.0 | 2.0 | 9.6 | | 328.4 | |
| | A | 14.6 | 37.6 | 118.0 | 52.2 | 410.9 | 412.1 | 12.45 | 12.78 | 35.0 | 2.5 | 14.7 | | 343.1 | |
| | M | 6.7 | 24.2 | 172.3 | 30.9 | 412.1 | 410.9 | 12.78 | 12.44 | 43.0 | 3.2 | -15.3 | | 327.8 | |
| | I | 2.1 | 14.1 | 215.2 | 16.2 | 410.9 | 408.6 | 12.44 | 11.78 | 42.0 | 3.7 | -29.5 | | 298.3 | |
| | I | 0.2 | 6.9 | 233.5 | 7.1 | 408.6 | 405.1 | 11.78 | 10.84 | 44.0 | 3.8 | -40.7 | | 257.7 | |
| | A | 1.5 | 5.9 | 208.4 | 7.4 | 405.1 | 401.2 | 10.84 | 9.85 | 46.0 | 3.3 | -41.9 | | 215.8 | |
| | Σ | 1.2 | 5.7 | 143.3 | 6.9 | 401.2 | 397.1 | 9.85 | 8.85 | 45.0 | 2.4 | -40.5 | | 175.3 | |
| | 6 | O | 0.2 | 5.2 | 70.0 | 5.4 | 397.1 | 392.8 | 8.85 | 7.87 | 42.0 | 1.6 | -38.2 | | 137.1 |
| | | N | 35.6 | 62.0 | 37.9 | 97.6 | 392.8 | 400.2 | 7.87 | 9.59 | 38.0 | 1.3 | 58.3 | | 195.4 |
| | | A | 45.3 | 78.8 | 27.4 | 124.1 | 400.2 | 409.6 | 9.59 | 12.06 | 33.0 | 1.3 | 89.8 | | 285.2 |
| I | | 35.6 | 42.0 | 31.3 | 77.6 | 409.6 | 413.0 | 12.06 | 13.04 | 35.0 | 1.4 | 41.2 | | 326.5 | |
| Φ | | 25.2 | 30.4 | 42.5 | 55.6 | 413.0 | 414.6 | 13.04 | 13.51 | 33.0 | 1.6 | 21.0 | | 347.5 | |
| M | | 7.8 | 16.8 | 78.4 | 24.6 | 414.6 | 413.8 | 13.51 | 13.28 | 33.0 | 2.1 | -10.5 | | 337.0 | |
| A | | 3.8 | 19.0 | 118.0 | 22.8 | 413.8 | 412.7 | 13.28 | 12.96 | 35.0 | 2.6 | -14.8 | | 322.3 | |
| M | | 1.8 | 15.8 | 172.3 | 17.6 | 412.7 | 410.5 | 12.96 | 12.33 | 43.0 | 3.2 | -28.6 | | 293.6 | |
| I | | 0.1 | 9.4 | 215.2 | 9.5 | 410.5 | 407.6 | 12.33 | 11.51 | 42.0 | 3.7 | -36.2 | | 257.5 | |
| I | | 1.6 | 0.9 | 233.5 | 2.5 | 407.6 | 403.7 | 11.51 | 10.46 | 44.0 | 3.7 | -45.2 | | 212.3 | |
| A | | 0.9 | 4.2 | 208.4 | 5.1 | 403.7 | 399.4 | 10.46 | 9.40 | 46.0 | 3.2 | -44.1 | | 168.2 | |
| Σ | | 0.5 | 5.8 | 143.3 | 6.3 | 399.4 | 395.1 | 9.40 | 8.37 | 45.0 | 2.3 | -41.0 | | 127.2 | |
| 7 | | O | 1.5 | 5.1 | 70.0 | 6.6 | 395.1 | 390.7 | 8.37 | 7.43 | 42.0 | 1.6 | -37.0 | | 90.2 |
| | | N | 12.5 | 13.7 | 37.9 | 26.2 | 390.7 | 388.9 | 7.43 | 7.08 | 38.0 | 1.3 | -13.1 | | 77.1 |
| | | A | 29.2 | 32.4 | 27.4 | 61.6 | 388.9 | 392.8 | 7.08 | 7.87 | 33.0 | 1.2 | 27.4 | | 104.5 |
| | I | 39.3 | 43.6 | 31.3 | 82.9 | 392.8 | 398.7 | 7.87 | 9.22 | 35.0 | 1.2 | 46.7 | | 151.2 | |
| | Φ | 60.9 | 54.2 | 42.5 | 115.1 | 398.7 | 407.5 | 9.22 | 11.48 | 33.0 | 1.4 | 80.7 | | 231.9 | |
| | M | 43.9 | 25.9 | 78.4 | 69.8 | 407.5 | 410.5 | 11.48 | 12.32 | 33.0 | 1.9 | 34.9 | | 266.8 | |
| | A | 41.0 | 50.1 | 118.0 | 91.1 | 410.5 | 414.9 | 12.32 | 13.58 | 35.0 | 2.5 | 53.6 | | 320.4 | |
| | M | 16.0 | 26.9 | 172.3 | 42.9 | 414.9 | 414.6 | 13.58 | 13.50 | 43.0 | 3.3 | -3.4 | | 317.0 | |
| | I | 2.7 | 13.4 | 215.2 | 16.1 | 414.6 | 412.4 | 13.50 | 12.86 | 42.0 | 3.9 | -29.8 | | 287.2 | |
| | I | 0.9 | 3.6 | 233.5 | 4.5 | 412.4 | 409.0 | 12.86 | 11.90 | 44.0 | 4.0 | -43.5 | | 243.7 | |
| | A | 1.5 | 5.5 | 208.4 | 7.0 | 409.0 | 405.4 | 11.90 | 10.93 | 46.0 | 3.5 | -42.5 | | 201.2 | |
| | Σ | 0.6 | 6.5 | 143.3 | 7.1 | 405.4 | 401.7 | 10.93 | 9.97 | 45.0 | 2.6 | -40.5 | | 160.7 | |
| | 8 | O | 1.3 | 7.6 | 70.0 | 8.9 | 401.7 | 398.2 | 9.97 | 9.11 | 42.0 | 1.7 | -34.8 | | 125.9 |
| | | N | 8.7 | 13.0 | 37.9 | 21.7 | 398.2 | 396.3 | 9.11 | 8.65 | 38.0 | 1.3 | -17.6 | | 108.3 |
| | | A | 51.5 | 45.5 | 27.4 | 97.0 | 396.3 | 403.6 | 8.65 | 10.44 | 33.0 | 1.2 | 62.8 | | 171.0 |
| I | | 74.3 | 92.3 | 31.3 | 166.6 | 403.6 | 416.0 | 10.44 | 13.93 | 35.0 | 1.3 | 130.3 | | 301.3 | |
| Φ | | 69.5 | 71.4 | 42.5 | 140.9 | 416.0 | 423.7 | 13.93 | 16.27 | 33.0 | 1.6 | 106.3 | | 407.6 | |
| M | | 69.3 | 24.1 | 78.4 | 93.4 | 423.7 | 427.2 | 16.27 | 17.42 | 33.0 | 2.3 | 58.1 | | 465.8 | |
| A | | 47.3 | 52.7 | 118.0 | 100.0 | 427.2 | 430.8 | 17.42 | 18.59 | 35.0 | 3.1 | 61.9 | | 527.7 | |
| M | | 18.0 | 28.5 | 172.3 | 46.5 | 430.8 | 430.8 | 18.59 | 18.57 | 43.0 | 4.2 | -0.7 | | 527.0 | |
| I | | 6.2 | 16.5 | 215.2 | 22.7 | 430.8 | 429.5 | 18.57 | 18.14 | 42.0 | 5.0 | -24.3 | | 502.7 | |
| I | | 0.3 | 7.3 | 233.5 | 7.6 | 429.5 | 427.2 | 18.14 | 17.39 | 44.0 | 5.2 | -41.6 | | 461.1 | |
| A | | 2.5 | 8.9 | 208.4 | 11.4 | 427.2 | 424.9 | 17.39 | 16.67 | 46.0 | 4.6 | -39.2 | | 421.8 | |
| Σ | | 1.8 | 6.1 | 143.3 | 7.9 | 424.9 | 422.5 | 16.67 | 15.90 | 45.0 | 3.4 | -40.5 | | 381.3 | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | |
|--------|----|------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 9 | O | 4.6 | 0.3 | 70.0 | 4.9 | 422.5 | 420.0 | 15.90 | 15.13 | 42.0 | 2.1 | -39.2 | | 342.1 | |
| | N | 35.8 | 28.2 | 37.9 | 64.0 | 420.0 | 421.6 | 15.13 | 15.63 | 38.0 | 1.6 | 24.4 | | 366.6 | |
| | A | 21.4 | 56.1 | 27.4 | 77.5 | 421.6 | 424.4 | 15.63 | 16.50 | 33.0 | 1.4 | 43.1 | | 409.6 | |
| | I | 72.0 | 52.3 | 31.3 | 124.3 | 424.4 | 429.7 | 16.50 | 18.22 | 35.0 | 1.5 | 87.8 | | 497.4 | |
| | Φ | 64.8 | 33.5 | 42.5 | 98.3 | 429.7 | 433.2 | 18.22 | 19.39 | 33.0 | 1.8 | 63.5 | | 560.9 | |
| | M | 56.1 | 67.3 | 78.4 | 123.4 | 433.2 | 437.7 | 19.39 | 20.93 | 33.0 | 2.5 | 87.9 | | 648.8 | |
| | A | 52.0 | 40.0 | 118.0 | 92.0 | 437.7 | 440.3 | 20.93 | 21.83 | 35.0 | 3.5 | 53.5 | | 702.4 | |
| | M | 24.0 | 36.2 | 172.3 | 60.2 | 440.3 | 440.8 | 21.83 | 22.03 | 43.0 | 4.8 | 12.4 | | 714.8 | |
| | I | 10.4 | 20.8 | 215.2 | 31.2 | 440.8 | 440.1 | 22.03 | 21.76 | 42.0 | 5.7 | -16.5 | | 698.3 | |
| | I | 1.0 | 7.3 | 233.5 | 8.3 | 440.1 | 438.2 | 21.76 | 21.09 | 44.0 | 6.1 | -41.8 | | 656.5 | |
| | A | 0.0 | 4.6 | 208.4 | 4.6 | 438.2 | 436.0 | 21.09 | 20.33 | 46.0 | 5.4 | -46.8 | | 609.7 | |
| | Σ | 0.1 | 4.3 | 143.3 | 4.4 | 436.0 | 433.8 | 20.33 | 19.58 | 45.0 | 3.9 | -44.5 | | 565.2 | |
| | 10 | O | 10.9 | 27.0 | 70.0 | 37.9 | 433.8 | 433.4 | 19.58 | 19.47 | 42.0 | 2.4 | -6.5 | | 558.7 |
| | | N | 29.7 | 47.6 | 37.9 | 77.3 | 433.4 | 435.4 | 19.47 | 20.13 | 38.0 | 1.7 | 37.6 | | 596.3 |
| | | A | 73.4 | 84.5 | 27.4 | 157.9 | 435.4 | 441.5 | 20.13 | 22.25 | 33.0 | 1.6 | 123.3 | | 719.6 |
| I | | 72.9 | 69.5 | 31.3 | 142.4 | 441.5 | 445.5 | 22.25 | 23.68 | 35.0 | 1.7 | 30.4 | 75.3 | 750.0 | |
| Φ | | 64.2 | 56.6 | 42.5 | 120.8 | 445.0 | 448.7 | 23.50 | 24.83 | 33.0 | 2.0 | 0.0 | 85.8 | 750.0 | |
| M | | 69.9 | 48.8 | 78.4 | 118.7 | 445.0 | 448.5 | 23.50 | 24.78 | 33.0 | 2.8 | 0.0 | 82.9 | 750.0 | |
| A | | 39.9 | 37.4 | 118.0 | 77.3 | 445.0 | 446.6 | 23.50 | 24.10 | 35.0 | 3.8 | 0.0 | 38.5 | 750.0 | |
| M | | 20.0 | 22.1 | 172.3 | 42.1 | 445.0 | 444.7 | 23.50 | 23.41 | 43.0 | 5.0 | -5.9 | | 744.1 | |
| I | | 3.6 | 14.1 | 215.2 | 17.7 | 444.7 | 443.5 | 23.41 | 22.95 | 42.0 | 6.0 | -30.3 | | 713.7 | |
| I | | 0.2 | 9.8 | 233.5 | 10.0 | 443.5 | 441.7 | 22.95 | 22.32 | 44.0 | 6.4 | -40.4 | | 673.4 | |
| A | | 0.6 | 12.7 | 208.4 | 13.3 | 441.7 | 440.0 | 22.32 | 21.72 | 46.0 | 5.7 | -38.4 | | 635.0 | |
| Σ | | 1.5 | 11.2 | 143.3 | 12.7 | 440.0 | 438.3 | 21.72 | 21.13 | 45.0 | 4.1 | -36.4 | | 598.6 | |
| ΣΥΝΟΛΑ | | | 2469.8 | 3116.4 | | 5586.2 | | | | 4690.0 | 335.1 | 278.6 | 282.5 | | |

ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 10 ΕΤΗ
Λειτουργία Ταμιευτήρα T2



ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ T2
Χρονικό Διάστημα 10 έτη



ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Σοφοκλής Τζοβαρίδης , Διπλ.Αγρ.Τοπογράφος Μηχανικός,Dr.Ing. de Toulouse,Διεύθυνση Εγγειο/κών Εργων(Δ7) της Γ.Γ.Δ.Ε.,ΥΠΕΧΩΔΕ

1. Γενικές αρχές για τη σχεδίαση των δικτύων

1.1. Εισαγωγή

Τα υδρολογικά και σχετικά μετεωρολογικά δεδομένα συλλέγονται κυρίως για να παράσχουν πληροφόρηση για την εκτίμηση, ανάπτυξη και διαχείριση των υδατικών πόρων μιας χώρας και του συσχετιζόμενου υδατικού της περιβάλλοντος. Οι πλευρές της διαχείρισης π.χ. απαιτούν, μεταξύ των άλλων, στοιχεία για την πρόβλεψη των πλημμυρών και της στάθμης, των χαμηλών νερών, τις μηνιαίες και, μερικές φορές, ετήσιες παροχές, για τη λειτουργία των ταμιευτήρων, την κατανομή του νερού κ.λπ. Τέτοια δεδομένα εξυπηρετούν επίσης την έρευνα. Εν τούτοις, στην παρούσα θα εξετασθούν κατ'αρχήν τα υδρολογικά και κλιματολογικά δίκτυα για γενικούς σκοπούς.

Η ποικιλία των εδαφών, κλιμάτων και προβλημάτων νερού σ'όλο τον κόσμο και οι απαιτήσεις δεδομένων για σκοπούς, που δεν είναι ακόμα εμφανείς καθιστούν αδύνατον τον καθορισμό ομοιόμορφων κριτηρίων για την πυκνότητα των δικτύων για όλες τις χώρες. Επιπλέον, ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη των υδρολογικών δικτύων εμπλέκει όχι μόνο μελέτη για τη φυσιογραφία και τις κλιματικές συνθήκες μίας περιοχής, αλλά επίσης εξέταση για τους πολιτικούς, πολιτιστικούς και οικονομικούς παράγοντες που μπορεί ν'αλλάξουν σημαντικά ακόμα και για βραχείες χρονικές περιόδους.

1.2. Η έννοια του δικτύου

Η πυκνότητα και η κατανομή των σταθμών ενός δικτύου και το μήκος των καταγραφών, εξαρτώνται από την επιφανειακή και χρονική μεταβλητότητα των υδρολογικών και μετεωρολογικών στοιχείων, τα οποία με τη σειρά τους μπορούν να οριστούν ως ένα σύνολο σταθμών στους οποίους οι υδρολογικές και κλιματολογικές παρατηρήσεις γίνονται ως συνάρτηση

του χρόνου. Ο στόχος ενός δικτύου είναι να παρέχει μία πυκνότητα και κατανομή των σταθμών σε μία περιοχή έτσι ώστε, με παρεμβολή μεταξύ συνόλου δεδομένων σε διάφορους σταθμούς, να καταστεί δυνατός ο χαρακτηριστικός των βασικών υδρολογικών και κλιματολογικών στοιχείων οπουδήποτε στην περιοχή. Με την έννοια αυτή, χαρακτηριστικά είναι όλα τα ποσοτικά δεδομένα, μέσοι όροι και ακραίες τιμές, που καθορίζουν τη στατιστική κατανομή του μελετώμενου στοιχείου.

1.3. Τύποι στοιχείων που εξετάζονται για το σχεδιασμό δικτύου

Τα στοιχεία που θεωρούμε στην παρούσα είναι αυτά που πρέπει να μετρώνται σε μακρές χρονικές περιόδους αφού μόνον αυτά είναι σημαντικά σε μία διερεύνηση για το σχεδιασμό των υδρολογικών δικτύων. Το ζήτημα είναι κρίσιμο για την πρόοδο του κόσμου σ'ότι αφορά την ανάπτυξη των υδατικών πόρων διότι οι υδρολογικές καταγραφές πρέπει ν' αρχίσουν πολλά χρόνια πριν από τις ανάγκες. Απουσία μίας τέτοιας πληροφορίας μπορεί να καθυστερήσει μήνα απαραίτητη βελτίωση υδραυλικών έργων ή διαχείριση υδάτων. Υπάρχουν πολλά διάφορα είδη υδρολογικών και κλιματολογικών δεδομένων.

Στην παρούσα θα εξετάσουμε μόνο τα εξής:

- (α) Βροχή και χιονοκάλυψη
- (β) Στάθμη και παροχή ποταμών και στάθμη λιμνών και ταμιευτήρων.
- (γ) Εξάτμιση και εξατμισοδιαπνοή
- (δ) Μεταφορά φερτών και απόθεση
- (ε) Χημική ποιότητα του νερού
- (στ)Θερμοκρασία νερού
- (ζ) Κάλυψη πάγου σε ποταμούς, λίμνες και ταμιευτήρες
- (η) Πυκνότητα των υδροχαρών στην κοίτη ποταμών
- (θ) Υγρασία εδάφους
- (ι) Υπόγεια νερά.

Ο κύριος τόνος θα δοθεί στην καταγραφή της κατακρήμνισης και της παροχής ποταμών καθόσον τα δύο αυτά στοιχεία συνήθως συνιστούν το

κύριο τμήμα των ειδικών υδρολογικών και κλιματολογικών δικτύων.

Τα δεδομένα που καταγράφηκαν σε σταθμούς, σ'ένα δίκτυο θα εφαρμοστούν συνήθως σε κάποια μορφή υδρολογικού μοντέλου που θα παρέχει την απαραίτητη πληροφόρηση για τη λήψη απόφασης.

1.3.1. Βροχή και χιονοκάλυψη

Παρατηρήσεις βροχόπτωσης, χιονόπτωσης και χιονοκάλυψης χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στην υδρολογία. Στη φάση του σχεδιασμού τέτοια στοιχεία χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση ανεπαρκών καταγραφών παροχής και επιχειρησιακά για την πρόβλεψη στάθμης, παροχής και υδροδότησης. Στην παρούσα εξετάζουμε το πρόβλημα του ελάχιστου αριθμού βροχομέτρων για υδρολογικούς σταθμούς.

1.3.2. Στάθμη και παροχή ποταμών και στάθμη λιμνών και ταμιευτήρων

Στοιχεία για τη στάθμη και παροχή ποταμών είναι βασικά για την επίλυση των περισσότερων προβλημάτων για υδρολογικό σχεδιασμό και λειτουργία. Εφόσον τα στοιχεία ροής προκύπτουν από συνεχείς καταγραφές της παροχής και ευκαιριακές της μετρήσεις, οι δύο τύποι των δεδομένων είναι αδιαχώριστοι και θα πρέπει προφανώς να συλλέγονται και να δημοσιεύονται από τον ίδιο φορέα. Ομοίως η στάθμη της λίμνης ή του ταμιευτήρα χρησιμοποιείται για να συμπεράνουμε τις αλλαγές στην αποθήκευση, που είναι ένας βασικός παράγων στο υδατικό ισοζύγιο μίας λεκάνης.

1.3.3. Εξάτμιση και εξατμισοδιαπνοή

Η εκτίμηση της εξάτμισης από μήνα ανοιχτή επιφάνεια νερού είναι μία εσωτερική φάση του σχεδιασμού ενός ταμιευτήρα, ιδιαίτερα σε ξηρές και ημιξηρές περιοχές και σε μελέτες υδατικού ισοζυγίου λεκανών απορροής. Η εξατμισοδιαπνοή (ή καταναλωτική χρήση), όταν θεωρείται συγχρόνως με τη βροχόπτωση, είναι ένα μέτρο των απαιτήσεων υδροδότησης των αρδευτικών έργων.

1.3.4. Μεταφορά φερτών και απόθεση

Γίνονται παρατηρήσεις αιωρούμενων και συρόμενων υλικών σε ρεύματα με φυσική δίαιτα και σε ρεύματα με διαμορφωμένη δίαιτα λόγω χειριστικών επεμβάσεων, ενώ ο όγκος των αποτιθεμένων φερτών σε λίμνες και ταμιευτήρες εκτιμάται από περιοδικές αποτυπώσεις. Τα στοιχεία είναι

ιδιαίτερα χρήσιμα για την εκτίμηση των διαδικασιών στους ανοιχτούς αγωγούς, για προσδιορισμό φερτών στις θαλάσσιες εκβολές, και το σχεδιασμό ταμιευτήρων, αγωγών και πολλών άλλων κατασκευών που επηρεάζονται από τη δίαιτα και τις αλλαγές της δίαιτας των αγωγών που μπορεί να προκύψει από τις διαχειριστικές δραστηριότητες.

1.3.5. Χημική ποιότητα του νερού

Η ύδρευση, άρδευση και η βιομηχανική χρήση του νερού πρέπει να πληρούν ορισμένα μέτρα ποιότητας. Απαιτούνται παρατηρήσεις όχι μόνο για να εξασφαλιστεί η υδροδότηση, αλλά επίσης σε μία συνεχή βάση για λόγους λειτουργικούς.

1.3.6. Θερμοκρασία υδάτων

Η θερμοκρασία των επιφανειακών και υπογείων υδάτων είναι ένας σημαντικός παράγων για τη βιομηχανική και αρδευτική χρήση. Οι θερμοκρασίες των επιφανειακών νερών μπορούν να δώσουν χρήσιμες ενδείξεις ως προς την προέλευση των νερών και το θερμικό φορτίο.

1.3.7. Πάγος σε ποταμούς και λίμνες

Προβλέψεις για σχηματισμό και θραύση πάγων σε ποταμούς, τύποι σχηματισμού πάγου και πάχους πάγου έχουν μεγάλη πρακτική αξία σε εύκρατες και ψυχρές περιοχές όπου η κάλυψη με πάγο στους ποταμούς, λίμνες και ταμιευτήρες αφορά σε σημαντικά τμήματα της οικονομίας των χωρών αυτών. Ο πάγος στα ποτάμια είναι ένας πολύ σημαντικός παράγων στον προσδιορισμό της καθημερινής παροχής καθόσον η σχέση στάθμης-παροχής μπορεί πρόσκαιρα να θιγεί. Επομένως πρέπει να τηρούνται συστηματικές καταγραφές σε περιοχές που προσβάλλονται από πάγο.

1.3.8 Πυκνότητα υδροχαρών στις κοίτες των ποταμών

Η βλάστηση στις κοίτες των ποταμών επιβραδύνει τη ροή και συνεπώς επιδρά στη σχέση στάθμης-παροχής. Στοιχεία για την πυκνότητα και τις φάσεις ανάπτυξης της βλάστησης στις κοίτες των ποταμών είναι χρήσιμα για την ερμηνεία της μεταβλητότητας που φαίνεται από τις εποχιακές αλλαγές της καμπύλης στάθμης-παροχής. Απαιτούνται επίσης σημειώσεις κατά τις φάσεις ανάπτυξης, δηλ. έναρξη εμφάνισης, περίοδος ανθοφορίας (που συνήθως συμπίπτει με την περίοδο της μέγιστης ανάπτυξης), περίοδος μαρασμού, όταν η δράση στην επιβράδυνση της ροής αρχίζει να

μειούται και τέλος, η πλήρης ατροφία των δεδομένων ομάδων βλάστησης. Πρέπει να γίνουν παρατηρήσεις σε μερικούς τομείς του ποταμού πλησίον του σταθμημετρικού σταθμού.

1.3.9. Εδαφική υγρασία

Οι παρατηρήσεις στους σταθμούς εδαφικής υγρασίας παρέχουν σημαντικά υδρολογικά στοιχεία, χρήσιμα στις μελέτες υδατικού ισοζυγίου και στην ανάλυση των υδρολογικών δεδομένων. Η πυκνότητα των σταθμών παρατήρησης εξαρτάται από μία ποικιλία παραγόντων και δεν διερευνάται στην παρούσα εργασία.

1.3.10. Υπόγεια νερά

Οι δύο κύριοι και συμπληρωματικοί λόγοι ύπαρξης ενός δικτύου φρεάτων παρατήρησης υπόγειων νερών, ως προς τη μέτρηση παραμέτρων υπόγειων νερών, είναι

(α) να παράσχουν κατάλληλα υδρολογικά στατιστικά στοιχεία σχετικά με τις αλλαγές στα υπόγεια νερά, αλλαγές που μπορεί να προέρχονται είτε από φυσική επαναπλήρωση είτε από τεχνητές αιτίες,

(β) να βοηθήσουν στην εκτίμηση του δυναμικού των υπόγειων υδατικών πόρων και στην έρευνα της επίδρασης της ανάπτυξης και διαχείρισης των πόρων αυτών.

Οι έρευνες για τα υπόγεια νερά οδηγούν στον ορισμό του συστήματος ροής στον υδροφορέα και μπορεί να είναι χρήσιμες στην πρόβλεψη των τάσεων ως προς την ποιότητα και την ποσότητα των νερών για τις μελλοντικές ανάγκες σχεδιασμού και λειτουργίας. Επομένως τα δίκτυα μπορεί να διαφέρουν στον σχεδιασμό, πυκνότητα και το πρόγραμμα παρατήρησης από μία περιοχή στην άλλη. Δεν μπορεί να υπάρξει ένα σταθερό γενικό μοντέλο.

Σε περιοχές περιορισμένης ανάπτυξης υπόγειων νερών, απαιτούνται προκαταρκτικές αξιολογήσεις. Οι έρευνες για τα υπόγεια νερά είναι αναγνωριστικής φύσεως, και οδηγούν σε εκτιμήσεις εισροών και εκροών που βασίζονται σε διαθέσιμες κλιματολογικές καταγραφές, σε γενικά γεωλογικά χαρακτηριστικά, σε κύριες υδρογεωτρήσεις και πηγές και σε γνωστή ύπαρξη νερών στους κύριους υδροφορείς.

Σε περιοχές με μέτρια ανάπτυξη των υπόγειων νερών το επίπεδο

γνώσης είναι πιο προχωρημένο. Ο σχεδιασμός της οικιστικής βιομηχανικής και αγροτικής ανάπτυξης απαιτεί πληροφόρηση για την ποσότητα και την ποιότητα του νερού των κυρίων υδροφορέων, την κατεύθυνση της κίνησης των υπόγειων νερών, παροχές εισροών και εκροών, ποσότητες αποθηκευμένου νερού ως αποθέματα υπόγειων νερών. Η πληροφόρηση αυτή βασίζεται σε υδρογεωτρήσεις, σε συστηματική καταγραφή των φρεάτων σε δοκιμές άντλησης και προγράμματα μέτρησης στάθμης νερού.

Σε περιοχές έντονης ανάπτυξης ή, ίσως, υπερανάπτυξης ενός υδροφορέα, απαιτείται ένα αναλογικό ή μαθηματικό μοντέλο που να προβλέπει την ανταπόκριση του συστήματος στη φυσική εκροή και επαναπλήρωση και στην τεχνητή εκκένωση και επαναφόρτιση ή οποιαδήποτε άλλη προσομοίωση στον υδροφορέα για οποιαδήποτε σχεδιαζόμενη χρονική περίοδο.

Τα μοντέλα πρόβλεψης των συστημάτων υπόγειων νερών λαμβάνουν τα στοιχεία εισόδου από τα δίκτυα υπόγειων νερών. Συνεπώς απαιτείται πολύ λεπτομερειακή πληροφόρηση για την επίλυση προβλημάτων ταχεία εκκένωσης των αποθεμάτων υπόγειων νερών, εισροής φτωχής ποιότητας νερών, μόλυνσης και τεχνητής επαναφόρτισης.

1.4. Ποιότητα των συλλεγομένων στοιχείων

Εσφαλμένα στοιχεία μπορεί να οδηγήσουν σε σφάλματα στην κρίση ή να σπείρουν αμφιβολίες σε συμπεράσματα που βγαίνουν από πλέον αξιόπιστα στοιχεία. Επομένως, πρέπει να δοθεί σημασία στα μέσα για την απόκτηση παραδεκτής ποιότητας και ποσότητας στοιχείων που συλλέγονται σ'ένα δίκτυο. Μερικές από τις όψεις που πρέπει να προσεχθούν είναι:

(α) Τα κατάλληλα όργανα: Πρέπει να επιλέγονται αξιόπιστα όργανα που να είναι ικανά για μέτρηση ή καταγραφή των στοιχείων με επαρκή ακρίβεια για τις συνθήκες κάτω από τις οποίες λειτουργούν. Εμφαση πρέπει να δίνεται στην απλότητα και πρέπει να αποφεύγεται η άχρηστη ποικιλία στους τύπους των οργάνων. Εντούτοις, η θέση του σταθμού μπορεί να έχει μία σχέση με τον τύπο του οργάνου που πρέπει να επιλεγεί και μπορεί να απαιτούνται πιο περίπλοκα όργανα για τις απόμακρες θέσεις.

(β) Φροντίδα στις παρατηρήσεις: Η ανάγκη για προσοχή από μέρους του παρατηρητή είναι προφανής. Για το λόγο αυτό να παρέχονται

εγχειρίδια οδηγιών.

(γ) Ελεγχος ποιότητας κατά την επεξεργασία των δεδομένων: Κατάλληλες διαδικασίες ελέγχου ποιότητας κατά την επεξεργασία των δεδομένων είναι ουσιαστικές για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων στις τελικές καταγραφές.

(δ) Χρονοδιάγραμμα επεξεργασίας στοιχείων: Τα στοιχεία πρέπει να υπόκεινται σε επεξεργασία γρήγορα μετά τη συλλογή τους. Όσο αργότερα γίνεται αυτό, τόσο δυσκολότερο είναι ν'ανακαλύψει, να παρακολουθήσει και να ρυθμίσει κανείς τα σφάλματα και τις μικροανωμαλίες στις βασικές παρατηρήσεις.

1.5. Παράγοντες που επιδρούν στην πυκνότητα και τη μορφή του δικτύου.

Κάθε παρατήρηση του είδους που περιγράφηκε παραπάνω υποτίθεται ότι αντιπροσωπεύει μία περιοχή. Π.χ., η μέτρηση μίας βροχόπτωσης με ένα βροχόμετρο είναι χρήσιμη μόνο κατά το μέτρο που αντιπροσωπεύει την πραγματική βροχόπτωση στη γύρω περιοχή. Εντούτοις, έστω και μη αντιπροσωπευτικά, τα παρατηρηθέντα στοιχεία μπορούν να παράσχουν χρήσιμες ενδείξεις.

Η μορφή ενός δικτύου πρέπει να σχεδιαστεί ώστε οι σταθμοί να είναι έτσι τοποθετημένοι που να είναι ενδεικτικοί των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών σε μία περιοχή. Το δίκτυο των σταθμών πρέπει να αναθεωρείται μετά μερικά χρόνια λειτουργίας και, όπου είναι απαραίτητο, να προστίθενται νέοι σταθμοί ή μερικοί υφιστάμενοι σταθμοί να εγκαταλείπονται ή να επανατοποθετούνται για να εξασφαλίζουν αντιπροσωπευτικότητα και ακρίβεια μετρήσεων. Για τη θέση του σταθμού πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη οι τοπικές συνθήκες όπως πρόσβαση, τοπογραφία και γεωλογία που θα αφορούν σε δομικά και λειτουργικά προβλήματα.

Μία μέτρηση παροχής ποταμού αντιπροσωπεύει όχι μόνο την παροχή από τη συγκεκριμένη λεκάνη αλλά, με ορισμένες επιφυλάξεις, επίσης αυτή των γειτονικών ρευμάτων. Υπάρχει ένα όριο σ'αυτή την αντιπροσωπευτικότητα της έκτασης και όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των σταθμών, τόσο ακριβέστερα αποτελέσματα δίνονται από το δίκτυο για

την περιοχή, αρκεί οι σταθμοί να είναι κατάλληλα κατανομημένοι.

Δεν είναι δυνατό να οριστεί μία ομοιόμορφη πυκνότητα δικτύου που θα εφαρμόζεται σ'όλες τις χώρες. Λεπτομερείς μελέτες που αναφέρονταν σε πολλές και διάφορες περιοχές έδειξαν ότι μεταξύ των σημαντικότερων παραγόντων που παίζουν ρόλο στο να επιτύχουμε τη βέλτιστη πυκνότητα είναι: (α) γεωγραφικές και υδρολογικές συνθήκες, ιδιαίτερα οι κατά την έκταση μεταβολές στη δίαιτα των κατακρημνίσεων και στις υδρολογικές δίαιτες, και (β) η φύση της υδρογραφίας, δηλ. πολλά μικρά ρεύματα ή λίγα μεγάλα ποτάμια. Υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επιδρούν στη βέλτιστη πυκνότητα, όπως η ανάγκη για υδρολογικά και μετεωρολογικά δεδομένα για τη σχεδίαση, κατασκευή και λειτουργία των υδραυλικών έργων. Η πυκνότητα του πληθυσμού και η οικονομική δραστηριότητα μίας περιοχής θα επηρέασαν επίσης τη βέλτιστη πυκνότητα του υδρολογικού δικτύου. Μελέτες έχουν δείξει ότι δεν είναι δυνατόν να λάβει κανείς υπόψη όλους αυτούς τους παράγοντες.

1.6. Ανάπτυξη του δικτύου

Η πραγματοποίηση υδρολογικών δικτύων είναι μία εξελικτική διαδικασία και, για το λόγο αυτό, είναι σημαντικό να αναγνωρίζεται κανείς ότι οι σκοποί συλλογής στοιχείων και τα επίπεδα της απαιτούμενης πληροφορίας αλλάζουν με το επίπεδο της ανάπτυξης μίας περιοχής. Κατά την αρχική ανάπτυξη μίας περιοχής, τα υδρολογικά δίκτυα θα έχουν αρχικό στόχο να και απογραφή των υδατικών πόρων στην περιοχή και να παράσχουν έτσι τη βασική πληροφόρηση για το γενικό σχεδιασμό των πόρων και την εκτίμηση των προτάσεων για τη μελλοντική ανάπτυξη. Αυτό το στάδιο ανάπτυξης μπορεί γρήγορα να εκτοπιστεί με την ανάπτυξη των υδατικών πόρων για την εξυπηρέτηση των αναγκών του κόσμου και την τόνωση της οικονομικής μεγέθυνσης της χώρας. Συνεπώς, όσο η υδρολογική δίαιτα των ποταμών στην περιοχή μεταβάλλεται με τις ρυθμίσεις των ταμιευτήρων, τη γεωργική ανάπτυξη, την πολεοδόμηση και άλλες δραστηριότητες, τα δίκτυα θα εξελιχθούν σε σύνθετα συστήματα υποδικτύων σχεδιασμένων να συγκεντρώνουν στοιχεία για ειδικούς λειτουργικούς, νομικούς, διοικητικούς και ερευνητικούς σκοπούς σχετικούς με τις εθνικές, περιφερειακές και τοπικές ανάγκες διαχείρισης υδατικών πόρων.

Το επίπεδο των απαιτήσεων πληροφόρησης για τη λήψη αποφάσεων κατάλληλων για διάφορους σκοπούς μπορεί να διαφέρει σε μεγάλο βαθμό π.χ. η απαιτούμενη πληροφόρηση για την καταγραφή των πόρων θα πρέπει κανονικά να είναι κάθε άλλο παρά κατάλληλη για διατύπωση λεπτομερών σχεδίων ανάπτυξης και για μελετητικούς και κατασκευαστικούς σκοπούς, και εντελώς ακατάλληλη για λειτουργία και διαχείριση σχεδίων υδατικής ανάπτυξης. Για τους τελευταίους στόχους η έμφαση δίνεται σε τρέχοντα και επίκαιρα στοιχεία όπως οι απαιτήσεις για υδρολογική πρόβλεψη.

1.6.1. Χρήση των υφισταμένων σταθμών στην οργάνωση ενός τυπικού δικτύου

Συνήθως ευρίσκεται ότι υπάρχουν μερικοί σταθμοί σε λειτουργία πριν την τυπική οργάνωση ενός δικτύου. Αν τέτοιοι σταθμοί λειτουργούν για μια μακρά χρονική περίοδο και έχουν δώσει αξιόπιστες καταγραφές, πρέπει να συνεχίσουν. Στην πραγματικότητα, τα στοιχεία των υφισταμένων σταθμών παρέχουν πληροφόρηση ουσιαστική για την ανάπτυξη ενός τυπικού δικτύου. Αν οι θέσεις κάποιων απ'αυτούς δεν είναι απολύτως ικανοποιητικές, πρέπει να ξεκινήσει νέος σταθμός στη γειτονιά, με στόχο τη δημιουργία μίας συσχέτισης μεταξύ των δύο καταγραφών για μια συμπίπτουσα περίοδο τουλάχιστον δέκα ετών. Αν είναι επιτυχής, ο παλαιός σταθμός μπορεί να εγκαταλειφθεί. Αν μπορεί να αποδειχθεί ότι δεν υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση, πρέπει να γίνει σκέψη για εγκατάλειψη του παλαιού σταθμού, ιδιαίτερα αν οι καταγραφές του είναι γνωστό ότι είναι ανακριβείς. Εντούτοις, πρέπει προσεκτικά να ζυγιστούν όλες οι ενδείξεις και περιστάσεις που προηγούνται οποιασδήποτε απόφασης για εγκατάλειψη ενός σταθμού με μακρά λειτουργία σε οποιοδήποτε χρόνο στη ζωή ενός δικτύου.

1.6.2. Ελάχιστο ή βασικό δίκτυο

Στα πρώτα στάδια ανάπτυξης ενός υδρολογικού δικτύου, το πρώτο βήμα θα πρέπει να είναι η ίδρυση ενός ελαχίστου ή βασικού δικτύου. Ένα τέτοιο δίκτυο θα αποτελείται από έναν ελάχιστο αριθμό σταθμών που η συλλογική εμπειρία των υδρολογικών υπηρεσιών πολλών χωρών, έδειξε πως είναι απαραίτητος για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό για την οικονομική ανάπτυξη των υδατικών πόρων μιας περιοχής ή χώρας. Το ελάχιστο δίκτυο

είναι αυτό που θα αποφύγει σοβαρά κενά στην ανάπτυξη και διαχείριση των υδατικών πόρων με μια κλίμακα ανάλογη με το όλο επίπεδο της οικονομικής ανάπτυξης της χώρας. Θα πρέπει να αναπτυχθεί όσο το δυνατόν γρηγορότερα, περιλαμβάνοντας υφιστάμενους σταθμούς ως κατάλληλους. Υπογραμμίζεται ότι ένα ελάχιστο δίκτυο δεν θα είναι κατάλληλο για τη διατύπωση λεπτομερών σχεδίων ανάπτυξης και δεν θα ικανοποιεί τις πολυάριθμες απαιτήσεις μίας αναπτυγμένης περιοχής για τη λειτουργία των έργων και τη διαχείριση των υδατικών πόρων.

1.6.3. Επέκταση των δικτύων

Απαξ και το βασικό δίκτυο είναι σε λειτουργία, πρέπει να διατυπωθούν στην περιοχή όλες οι υδρολογικές σχέσεις ή μοντέλα μέσω των οποίων όλα τα κατάλληλα διαθέσιμα στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκτιμηθούν τα γενικά υδρολογικά χαρακτηριστικά που θα καθορίσουν τη στατιστική κατανομή της βροχόπτωσης και απορροής σε οποιαδήποτε θέση σε μια περιοχή. Έχοντας αυτό κατά νου, θα ήταν καλό να ιδρύσουμε μερικούς προσωρινούς υδρομετρικούς σταθμούς που να μη χρειάζονται μεγάλες δαπάνες χρόνου και χρήματος. Αν είναι δυνατόν, οι καταγραφές της στάθμης του νερού θα πρέπει να σχετίζονται με ένα σταθερό σημείο αναφοράς και, όσον η γνώση από το δίκτυο συσσωρεύεται, ο σταθμός μπορεί να αναβαθμισθεί για απροσδιόριστα μακροχρόνια λειτουργία. Η καλή οργάνωση των παρατηρήσεων δεν θα πρέπει, υπό οποιοδήποτε συνθήκες, να θυσιάσει για λόγους ταχύτητας όσον αναπτύσσεται ένα δίκτυο.

Συνεχής λειτουργία μπορεί να είναι δύσκολη ιδιαίτερα για μια μακρά περίοδο - 20 χρόνια ή περισσότερο. Ένα ελάχιστο δίκτυο, στο οποίο οι σταθμοί εγκαταλείπονται ή παρατηρούνται ακανόνιστα, θα έχει μειωμένη την πραγματική του πυκνότητα και δεν είναι πλέον συνεπώς ένα κατάλληλο ελάχιστο δίκτυο. Για το λόγο αυτό, πρέπει να δοθεί προσοχή όχι μόνο στην ίδρυση αλλά επίσης στη φροντίδα για τη συνεχή λειτουργία των σταθμών και τον έλεγχο της αξιοπιστίας και ακρίβειας των καταγραφών.

Εφόσον στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη των δικτύων εμπλέκονται οικονομία και τεχνικά ζητήματα, ο αριθμός των σταθμών που χρειάζονται παρατηρήσεις επ'αόριστον δεν μπορεί να είναι υπερβολικός. Συνεπώς, πρέπει

να υιοθετηθεί μια διαδικασία δειγματοληψίας ώστε να καταστεί δυνατό, με τη βοήθεια υδρολογικών μοντέλων, να προσδιορίσουμε, με ακρίβεια επαρκή για τους σκοπούς τους οποίους εξυπηρετεί, τα στατιστικά χαρακτηριστικά των βασικών υδρολογικών και σχετικών μετεωρολογικών στοιχείων οπουδήποτε σε μια περιοχή. Η προσέγγιση αυτή απαιτεί οι υδρομετρικοί σταθμοί σε ένα δίκτυο να διατηρούνται σε τρεις κατηγορίες: (α) κύριοι ή βασικοί σταθμοί, (β) δευτερεύοντες σταθμοί και (γ) σταθμοί για ειδικούς σκοπούς.

1.6.3.1 Κύριοι υδρομετρικοί σταθμοί

Αυτοί οι σταθμοί, καλούμενοι επίσης βασικοί σταθμοί ή μόνιμοι σταθμοί, παρέχουν τη βάση για στατιστικές μελέτες και επομένως θα πρέπει να παρατηρούνται συνεχώς και απεριόριστα. Στο πλαίσιο αυτό, υποδεικνύεται ότι πρέπει να γίνονται παρατηρήσεις για περίοδο 30 ή 40 ετών ώστε να λάβουμε αξιόπιστες εκτιμήσεις για τις μέσες παροχές σε περιοχές με υγρό κλίμα, ενώ περισσότερα από 70 χρόνια παρατήρησης απαιτούνται σε περιοχές εξαιρετικά μεταβλητής βροχόπτωσης.

Το βασικό δίκτυο υδρομετρικών σταθμών θα συνίσταται από σημεία παρατήρησης σε υδάτινα ρεύματα με φυσική δίαιτα, καθώς και σ'αυτά με δίαιτα που αλλάζει λόγω των δραστηριοτήτων που προκύπτουν από τη διαχείριση. Τα βασικά δίκτυα παρέχουν στοιχεία για την εκτίμηση των τάσεων μέσα στο χρόνο και τη σχέση τέτοιων τάσεων με διάφορες αιτίες. Παρέχουν επίσης τα δεδομένα για τον έλεγχο των στατιστικών χαρακτηριστικών γενικευμένης πληροφόρησης που αναπτύσσεται για θέσεις με ή χωρίς σταθμούς δια της χρήσεως υδρολογικών μοντέλων.

1.6.3.2 Δευτερεύοντες σταθμοί

Οι σταθμοί αυτοί, που μερικές φορές αναφέρονται ως δορυφορικοί σταθμοί, παρέχουν τη βάση για να παρεμβάλουμε τη χωρική μεταβλητότητα των υδρολογικών στοιχείων. Θα πρέπει να λειτουργούν για ένα περιορισμένο αριθμό ετών ή αρκετά για την εδραίωση μίας καλής συσχέτισης μεταξύ αυτών και των βασικών σταθμών ή με τα χαρακτηριστικά του εδάφους.

1.6.3.3 Σταθμοί για ειδικούς σκοπούς

Σταθμοί μπορούν να ιδρυθούν για διάφορους ειδικούς λόγους όπως η έρευνα ή για την επαύξηση των δεδομένων που παρέχει το δίκτυο των

βασικών και δευτερευόντων σταθμών σε μια περιοχή για κάποιους ειδικούς σκοπούς όπως για κάποια λειτουργική απαίτηση. Οι σταθμοί αναφοράς ανήκουν επίσης στην κατηγορία αυτή. Η χρονική έκταση λειτουργίας των ειδικών σταθμών σχετίζεται με το σκοπό για τον οποίο ιδρύθηκαν.

Σε μερικές περιπτώσεις, ο ειδικός σκοπός που πρέπει να εξυπηρετηθεί μπορεί ν'απαιτεί παρατηρήσεις μίας ιδιαίτερης πλευράς ενός στοιχείου μόνο ή να περιορίζεται σε μία εποχή του έτους π.χ. ένας υδρομετρικός σταθμός μπορεί να συνίσταται από ένα υπερχειλιστή μέτρησης για την καταγραφή μόνο της αιχμής της μέγιστης παροχής ή από ένα αθροιστικό βροχόμετρο για τη μέτρηση της ολικής βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια μίας εποχής. Μολονότι τέτοιοι σταθμοί μπορούν να επιτελούν μία αξιόλογη λειτουργία, δεν παρέχουν όλα τα δεδομένα που χρειάζονται για κάποιες στατιστικές αναλύσεις. Συνεπώς, προτάσεις για τέτοιους σταθμούς, πρέπει να εξετάζονται κριτικά, ιδιαίτερα πριν την ίδρυση ενός ικανοποιητικού δικτύου.

1.7. Στοιχεία αναφοράς και αντιπροσωπευτικές λεκάνες ως στοιχεία ενός δικτύου

Σταθμοί αναφοράς και αντιπροσωπευτικές λεκάνες είναι στοιχεία ενός πλήρους δικτύου και η ίδρυσή τους θα πρέπει να εξετάζεται στα αρχικά στάδια του σχεδιασμού του ελάχιστου δικτύου.

1.7.1. Σταθμοί αναφοράς

Κάθε χώρα, και κάθε φυσική περιοχή μεγάλων χωρών, θα πρέπει να περιλαμβάνει ένα σταθμό αναφοράς για την παροχή συνεχών σειρών σταθερών συνεπών παρατηρήσεων υδρολογικών και σχετικών κλιματολογικών δεδομένων. Τα υδρολογικά σημεία αναφοράς πρέπει να ιδρυθούν σε περιοχές σχετικά ανεπηρέαστες από περασμένες ή μελλοντικές τεχνητές αλλαγές. Εφόσον οι μακροχρόνιες καταγραφές είναι η ουσία ενός σταθερού σταθμού αναφοράς, πρέπει να εξεταστεί αν οι υφιστάμενοι σταθμοί πληρούν τις απαιτήσεις.

1.7.2. Αντιπροσωπευτικές λεκάνες

Μία αντιπροσωπευτική λεκάνη είναι επιθυμητή σε κάθε φυσική περιοχή ιδιαίτερα όμως σ'αυτές τις περιοχές όπου αναμένεται μεγάλη οικονομική ανάπτυξη ή όπου τα υδρολογικά προβλήματα είναι ιδιαίτερα

δύσκολα. Αυτές οι αντιπροσωπευτικές λεκάνες δεν χρειάζεται να θεωρούνται σαν πολυτέλεια ή για πλούσιες υδρολογικές υπηρεσίες. Στην απλούστερη μορφή τους επιτρέπουν τη μελέτη ταυτόχρονης βροχόπτωσης και απορροής βοηθώντας έτσι να επανορθωθούν ελλείψεις βραχέων περιόδων παρατήρησης και η χαμηλή πυκνότητα ενός ελαχίστου δικτύου.

Το πρόγραμμα παρατήρησης πρέπει ουσιαστικά να είναι το ίδιο όπως για τους σταθμούς αναφοράς: κατακρημνίσεις (ύψος και ένταση), χιονόπτωση και χιονοκάλυψη, υγρασία και θερμοκρασία εδάφους, παγετός και στάθμη υπόγειων νερών μετρώνται σε έναν αριθμό σημείων στη λεκάνη ώστε να λάβουμε μία εκτίμηση των στοιχείων για τις υδρολογικές μελέτες. Οι σταθμοί του υπόγειου νερού μπορεί να χρειαστεί να ιδρυθούν εκτός της αντιπροσωπευτικής λεκάνης.

1.8. Συντονισμός των δικτύων

Είναι σημαντικό να ιδρύσουμε διάφορα δίκτυα σε μία συντονισμένη βάση, ιδιαίτερα για τη βροχόπτωση, τη μέτρηση παροχής ρευμάτων, την ποιότητα νερών και τα υπόγεια δίκτυα. Π.χ., σχεδιάζοντας μαζί τα δίκτυα βροχόπτωσης και παροχομέτρησης μπορεί να υπάρξει μία αύξηση στην έξοδο της πληροφορίας και για τα δύο με αποτέλεσμα τη βελτίωση στην οικονομία των δικτύων. Για διεθνείς λεκάνες, είναι απαραίτητη η καλή συνεργασία όχι μόνο μεταξύ των φορέων σε κάθε χώρα αλλά επίσης μεταξύ των φορέων των χωρών που μοιράζονται τη λεκάνη.

1.9. Αξιολόγηση της λεκάνης

Βελτιώσεις στην τεχνική της μοντελοποίησης, η χρήση των ραντάρ, οι δορυφόροι και η τεχνολογική ανάπτυξη στην τηλεσκοπία και τις δυνατότητες των υπολογιστών έχουν επιφέρει επανάσταση στην αντίληψη για συλλογή της υδρολογικής και κλιματολογικής πληροφορίας. Επιπλέον, η γνώση του κλίματος και της υδρολογίας μίας περιοχής αυξάνει με την ανάπτυξη στο επίπεδο της πληροφόρησης.

Εφόσον οι ανάγκες μίας χώρας για δεδομένα υδατικών πόρων εντείνονται με την οικονομική της ανάπτυξη, τα δίκτυα πρέπει να θεωρούνται σαν δυναμικά συστήματα. Έτσι, είναι ζωτικό περιοδικά να αναθεωρούμε την αποτελεσματικότητα των δικτύων. Πάρα πολύ συχνά, η συλλογή των στοιχείων γίνεται αυτοσκοπός και δεν σκεπτόμαστε αρκετά τον

σκοπό για τον οποίο συλλέγουμε τα στοιχεία.

1.10. Ενοποιημένος σχεδιασμός των δικτύων

Ενας ικανοποιητικός ολικός σχεδιασμός για ένα υδρολογικό δίκτυο είναι δύσκολος λόγω των διαφόρων στόχων του φορέα, διαφορές δαπανών και τεχνικά προβλήματα μέτρησης. Εντούτοις, θα πρέπει να είναι συντονισμένος στόχος όλων των υπηρεσιών η εξασφάλιση επαρκούς συσχέτισης μεταξύ των σταθμών που μπορούν τα διάφορα στοιχεία που αναφέρονται στο κεφ.1.3, σε αριθμό και θέση, ώστε να ικανοποιούν το σκοπό του δικτύου.

Είναι αδύνατο να είμαστε ακριβείς για τη φύση της σχέσης αυτής, αν και κάποια καθοδήγηση γίνεται στο κεφάλαιο 2.1.1.2 για τους ελάχιστους αριθμούς των σταθμών και τη θέση τους σε σχέση με άλλους σταθμούς, όπως σταθμοί βροχόπτωσης προς σταθμημετρικούς σταθμούς.

2. Πυκνότητα των σταθμών παρατήρησης για ένα ελάχιστο δίκτυο

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1.6.2, το ελάχιστο δίκτυο είναι αυτό που θα μας επιτρέψει να αποφύγουμε ελλείψεις στην ανάπτυξη και διαχείριση των υδατικών πόρων σε μια κλίμακα ανάλογη με το όλο επίπεδο της οικονομικής ανάπτυξης της χώρας. Θα πρέπει να αναπτυχθεί όσο γίνεται ταχύτερα, ενσωματώνοντας τους υφιστάμενους σταθμούς ως κατάλληλους. Με άλλα λόγια, ένα τέτοιο δίκτυο θα παράσχει το βασικό πλαίσιο για επέκταση ώστε να πληρωθούν οι ανάγκες ειδικών σκοπών.

2.1. Ελάχιστη πυκνότητα κλιματολογικών δικτύων

Τα κλιματολογικά δίκτυα συλλέγουν τα ακόλουθα είδη στοιχείων: (α) βροχόπτωση, (β) παρακολούθηση χιόνος και (γ) εξάτμιση. Εδώ εννοείται ότι οι σταθμοί εξάτμισης ή μέτρησης χιόνος, ιδιαίτερα οι πρώτοι, θα μετρούν εν γένει θερμοκρασία, υγρασία και άνεμο καθώς και τα μετεωρολογικά στοιχεία αυτά επιδρούν στην εξάτμιση και την τήξη.

2.1.1. Δίκτυο βροχόπτωσης

2.1.1.1 Πυκνότητα ελαχίστου δικτύου

Ο ελάχιστος αριθμός σταθμών ορίζεται με τη μέθοδο που περιγράφεται κατωτέρω.

Είναι αδύνατο να καθοριστεί ένας επαρκής αριθμός ζωνών για την ορθή περιγραφή της ποικιλίας των φυσικών συνθηκών.

Το απλούστερο και ακριβέστερο κριτήριο για την ταξινόμηση θα βασιζόταν στην μεταβολή της βροχόπτωσης κατά την έκταση. Κάθε χώρα θα παρουσιάζει ένα καλό χάρτη ετήσιας βροχόπτωσης βασισμένο σ'έναν αριθμό ετών παρατηρήσεων και θα μπορούσε εξ'αυτών να αναπτυχθεί ένα ελάχιστο δίκτυο παρατηρήσεων.

Επίσης, μια χαμηλή πυκνότητα πληθυσμού επιδρά στα κριτήρια του δικτύου. Είναι σχεδόν αδύνατο να εγκαταστήσουμε και να λειτουργήσουμε κατά συστηματικό τρόπο έναν αριθμό καλών σταθμών, ανεξάρτητα από τις ανάγκες, όταν ο πληθυσμός είναι αραιός. Π.χ., το να βάλουμε περισσότερους από δύο σταθμούς σε μία λεκάνη 1.000 km² όταν ο πληθυσμός της περιοχής είναι μόνον 100 άτομα είναι σχεδόν αδύνατο, ιδιαίτερα αν αυτός ο πληθυσμός δεν είναι μόνιμος. Αραιοκατοικημένες ζώνες, γενικά συμπίπτουν με διάφορα κλιματικά άκρα: ξηρές και πολικές περιοχές ή τροπικά δάση. Σε τέτοιες περιπτώσεις η χρήση των αθροιστικών βροχομέτρων συνιστάται αφού χρειάζονται μικρή συντήρηση και όχι συχνές επισκέψεις.

Από την εξέταση αυτή υιοθετήθηκαν μερικοί γενικοί κανόνες για τον ορισμό των μέτρων πυκνότητας:

Ορίστηκαν τρεις τύποι περιοχών:

(α) Επίπεδες περιοχές εύκρατων, μεσογειακών και τροπικών ζωνών.

(β) Ορεινές περιοχές των ιδίων ζωνών.

(γ) Ξηρές και πολικές περιοχές.

Για τους πρώτους δύο τύπους περιοχών, είναι απαραίτητο να ομαδοποιούνται μαζί οι περιοχές όπου δεν φαίνεται δυνατό να επιτευχθεί εντελώς παραδεκτή πυκνότητα προς το παρόν λόγω αραιού πληθυσμού, φτωχής ανάπτυξης των μέσων επικοινωνίας ή για άλλους οικονομικούς λόγους.

Οι συνιστώμενοι κανόνες ελάχιστης πυκνότητας για βροχομετρικά δίκτυα από κοινά, καταγραφικά ή ολοκληρωτικά βροχόμετρα δίνονται στον πίνακα 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1
Ελάχιστη πυκνότητα δικτύων βροχόπτωσης

| Τύπος περιοχής | Περιοχή κανόνων για ελάχιστο δίκτυο Επιφάνεια (km ²) ανά σταθμό | Περιοχή προσωρινών κανόνων που επιτρέπονται σε δύσκολες συνθήκες (1) Επιφάνεια (km ²) ανά σταθμό |
|--|---|--|
| I. Επίπεδες επιφάνειες εύκρατων, μεσογειακών και τροπικών ζωνών | 600-900 | 900-3.000 |
| II. Ορεινές περιοχές ως άνω ζωνών | 100-250 | 250-1.000(4) |
| Μικρά ορεινά νησιά με πολύ ακανόνιστες βροχοπτώσεις, πολύ πυκνό υδρογραφικό δίκτυο | 25 | |
| III. Ανυδρες και πολικές ζώνες(2) | 1.500-10.000(3) | |

(1) Το τελευταίο νούμερο θα επιτρέπεται μόνο κάτω από εξαιρετικά δύσκολες συνθήκες.

(2) Δεν περιλαμβάνονται οι μεγάλες έρημοι.

(3) Εξαρτάται από τη δυνατότητα κατασκευής.

(4) Υπό πολύ δύσκολες συνθήκες μπορεί να φθάσει τα 2.000 km²

Αν κάποιος ακολουθήσει ορισμένες αρχές για την εγκατάσταση και χρήση, ο μικρός αριθμός των σταθμών του ελαχίστου δικτύου μπορεί να ανταποκριθεί στις πρώτες άμεσες ανάγκες. Στις ορεινές περιοχές πρέπει να δοθεί προσοχή στην κατακόρυφη διαζώνωση, με τη χρήση αθροιστικών βροχομέτρων προκειμένου να μετρηθεί η βροχόπτωση στα μεγάλα υψόμετρα. Η μέτρηση της χιόνος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συμπληρώνει το δίκτυο, αλλά δεν πρέπει να μετρήσει ως τμήμα του δικτύου.

Το ελάχιστο δίκτυο θα πρέπει να συνίσταται από τριών ειδών βροχόμετρα:

- Απλά βροχόμετρα: Η ανάγνωσή τους γίνεται καθημερινά. Εκτός από το ημερήσιο ύψος βροχής, πρέπει να γίνονται παρατηρήσεις χιονόπτωσης, ύψος χιόνος στο έδαφος και κατάστασης καιρού σε κάθε απλό βροχομετρικό σταθμό.

- Καταγραφικά βροχόμετρα: Συνιστάται να έχουμε σαν στόχο τον εξοπλισμό τουλάχιστον του 10% των σταθμών με καταγραφικά όργανα στα θερμά κλίματα και 5% στα ψυχρά κλίματα. Η μεγαλύτερη πυκνότητα των καταγραφικών σταθμών θα πρέπει να υπάρχει στις περιοχές που υπόκεινται, ή θεωρείται ότι υπόκεινται, σε έντονες, μικράς διάρκειας βροχοπτώσεις. Τέτοιοι σταθμοί θα παρέχουν αξιόλογη πληροφόρηση για την ένταση, κατανομή και διάρκεια της βροχόπτωσης.

Κάνοντας την επιλογή των προτεραιοτήτων των θέσεων για τις εγκαταστάσεις του δικτύου των βροχογράφων, πρέπει να δίνουμε προτεραιότητα στους εξής τύπους περιοχών: αστικές περιοχές (πληθυσμός άνω των 10.000) όπου το αποχετευτικό σύστημα πρόκειται να κατασκευαστεί, λεκάνες ποταμών στις οποίες τα κύρια συστήματα ελέγχου ποταμών έχουν προηγηθεί ή είναι σε λειτουργία, μεγάλες περιοχές που δεν είναι κατάλληλα καλυμμένες από το υφιστάμενο δίκτυο βροχομέτρων και ειδικά προγράμματα έρευνας.

Μεγάλες οικιστικές περιοχές απαιτούν δίκτυα βροχογράφων με πυκνότητα που εξαρτάται από τη μεταβλητότητα στο χώρο για τις μικράς διάρκειας βροχές. Η πυκνότητα του δικτύου για λεκάνες ποταμών όπου οι κύριες δομές ελέγχου του ποταμού είναι σε λειτουργία και για ειδικά ερευνητικά προγράμματα εξαρτάται από τις ειδικές απαιτήσεις της

λειτουργίας ελέγχου ή του ερευνητικού προγράμματος. Π.χ. οι διαδικασίες υδρολογικής πρόβλεψης συνήθως απαιτούν ένα περίπου βροχογράφο κάθε πέντε σταθμούς, ώστε η χρονική κατανομή της βροχής να μπορεί να προσδιοριστεί.

- Αθροιστικά βροχόμετρα: Στις αραιοκατοικημένες ή απομακρυσμένες περιοχές, όπως ερημικά ή ορεινά εδάφη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αθροιστικά βροχόμετρα. Τα βροχόμετρα αυτά τα διαβάζουμε κάθε μήνα, εποχή, ή όταν είναι δυνατό να ενημερωθούν οι σταθμοί.

- Θέση των βροχομετρικών σταθμών ως προς το σταθμημετρικό δίκτυο: Προκειμένου να εξασφαλίσουμε ότι τα δεδομένα της βροχόπτωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επέκταση των παροχομετρήσεων, για λόγους πρόβλεψης ή για ανάλυση υδατικού ισοζυγίου, ο συντονισμός των βροχομετρικών σταθμών με το σταθμημετρικό δίκτυο δεν πρέπει να αφεθεί στην τύχη. Οι βροχομετρικοί σταθμοί πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε να υπάρχουν τουλάχιστον δύο για κάθε σταθμημετρικό σταθμό. Ο ένας από αυτούς θα είναι συνήθως επί ή πλησίον του σταθμημέτρου και ο άλλος στο ανάντη τμήμα της λεκάνης.

Όπου μπορεί να εφαρμοστεί, πρέπει να γίνονται παρατηρήσεις χιονόπτωσης, ισοδύναμου νερού και, σε κανονικά διαστήματα, του ύψους του χιονιού στο έδαφος σε όλους τους βροχομετρικούς σταθμούς στο ελάχιστο δίκτυο. Το ισοδύναμο νερού του χιονιού στο έδαφος κατά το χρόνο της μέγιστης συσσώρευσης είναι μια ένδειξη της ολικής εποχιακής βροχόπτωσης σε περιοχές όπου η τήξη κατά το χειμώνα δεν είναι σημαντική. Τέτοιες παρατηρήσεις χιονοκάλυψης θα παρέχουν επίσης χρήσιμες πληροφορίες για τις προβλέψεις στα ποτάμια και τις μελέτες πλημμυρών.

2.1.3. Σταθμοί εξάτμισης σ'ένα ελάχιστο δίκτυο

Η εξάτμιση μπορεί να εκτιμηθεί έμμεσα στο υδατικό ισοζύγιο, το ενεργειακό ισοζύγιο και την αεροδυναμική προσέγγιση και άμεσα με επέκταση από μετρήσεις με λεκάνη. Ένας σταθμός εξάτμισης συνίσταται από μια λεκάνη πρότυπου εθνικού σχεδιασμού όπου η καθημερινή παρατήρηση εξάτμισης γίνεται, μαζί με καθημερινές παρατηρήσεις βροχόπτωσης, μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες νερού και αέρα, κινήσεις

ανέμου και σχετικής υγρασίας ή θερμοκρασία σημείου δρόσου. Εφόσον η σημασία και ανάγκη για στοιχεία εξάτμισης αυξάνει με το βαθμό ξηρασίας, οι κανόνες που συνιστώνται για ένα ελάχιστο δίκτυο σταθμών, σε περιοχές ομοιόμορφης φυσιογραφίας και όπου εγκαθίστανται οι λεκάνες, δίνονται στον πίνακα 2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

Ελάχιστη πυκνότητα δικτύων εξάτμισης

| Τύπος περιοχής | Συνιστώμενοι κανόνες για ελάχιστο δίκτυο (έκταση σε km^2 ανά σταθμό) |
|--------------------|--|
| Ξηρές περιοχές | 30.000 |
| Υγρές και εύκρατες | 50.000 |
| Ψυχρές περιοχές | 100.000 |

Καθώς το δοχείο Class A των ΗΠΑ έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε δίκτυα για πολλά χρόνια θεωρείται ως αποδεικτικό όργανο μέτρησης της εξάτμισης στα δίκτυα.

Για μακροχρόνια σχέδια μελέτης της δίαιτας των νερών σε λίμνες και ταμιευτήρες και της υδατικής τους διαχείρισης, η εξάτμιση παίζει ένα σημαντικό μέρος στα προγράμματα έρευνας.

2.2. Υδρομετρικό δίκτυο ελάχιστης πυκνότητας

Το υδρομετρικό δίκτυο συλλέγει δεδομένα για μερικά ή όλα από τα ακόλουθα στοιχεία.

- (α) Παροχές ρευμάτων
- (β) Στάθμες ποταμών, λιμνών και ταμιευτήρων
- (γ) Μεταφορά φερτών και ιζηματοπόθεση
- (δ) Χημική ποιότητα
- (ε) Θερμοκρασία νερού
- (στ) Χαρακτηριστικά παγοκάλυψης σε ποτάμια, λίμνες και ταμιευτήρες.

Προτού παρουσιάσουμε τα επιθυμητά όρια για ένα ελάχιστο δίκτυο, είναι διδακτικό να δώσουμε μερικούς ορισμούς και γενικές αρχές.

2.2.1 Παροχομετρήσεις

2.2.1.1 Γενικές σκέψεις που αφορούν τα δίκτυα στάθμης-παροχής

Το κύριο αντικείμενο του δικτύου στάθμης-παροχής είναι να επιτύχουμε την εκτίμηση της διαθεσιμότητας των επιφανειακών υδατικών πόρων, της γεωγραφικής τους κατανομής και της μεταβλητότητάς τους στο χρόνο. Το μέγεθος και η συχνότητα των πλημμυρών και περιόδων ξηρασίας έχουν ιδιαίτερη σημασία από την άποψη αυτή.

Η υδρολογική δίαιτα είναι ένα σύνθετο αντικείμενο και εδώ, όπως και για το δίκτυο βροχόπτωσης, θα εξετάσουμε τρεις κύριες κατηγορίες. Οι τρεις κατηγορίες που ορίστηκαν στο κεφάλαιο 2.1.1.1 ήταν:

- (α) Επίπεδες περιοχές ευκράτων, μεσογειακών και τροπικών ζωνών.
- (β) Ορεινές περιοχές ευκράτων, μεσογειακών και τροπικών ζωνών.
- (γ) Ξηρές και πολικές ζώνες.

Ανεξάρτητα από τις τρεις αυτές κατηγορίες, οι σταθμοί παροχής-στάθμης μπορούν να ταξινομηθούν κατά μέγεθος επιφάνειας λεκάνης. Το υδρομετρικό δίκτυο μπορεί να ταξινομηθεί με δύο τρόπους.

- Δίκτυο-σταθμημετρικοί σταθμοί πρωτευόντων ρευμάτων σε ρεύματα που αποχετεύουν επιφάνειες μεγαλύτερες από το μοναδιαίο μέγεθος A. Η τιμή του A ορίζεται στο κεφ. 2.2.1.2.

- Δίκτυο-σταθμημετρικοί σταθμοί μικρών ρευμάτων ή τοπικό σε ρεύματα που αποχετεύουν επιφάνεια μικρότερη από το A.

Για την εξασφάλιση κατάλληλου δείγματος πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον τόσοι σταθμοί στα μικρά ρεύματα όσοι και στα κύρια ρεύματα.

Οπουδήποτε είναι δυνατό, οι βασικοί σταθμοί πρέπει να βρίσκονται σε ρεύματα με φυσική δίαιτα. Οπου αυτό δεν γίνεται, μπορεί να είναι απαραίτητο να ιδρυθούν πρόσθετοι σταθμοί σε διώρυγες ή ταμιευτήρες προκειμένου να λάβουμε τα απαραίτητα δεδομένα για να επανακατασκευάσουμε τις φυσικές ροές στους βασικούς σταθμούς.

2.2.1.2 Ελάχιστο δίκτυο

Οι κανόνες ελάχιστης πυκνότητας για τους σταθμημετρικούς σταθμούς για τις κατηγορίες που ορίστηκαν στο κεφ. 2.1.1.1 δίνονται περιληπτικά στον πίνακα 3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

Ελάχιστη πυκνότητα των υδρομετρικών δικτύων

| Τύπος περιοχής | Περιοχή κανόνων για ελάχιστο δίκτυο Επιφάνεια (km^2) ανά σταθμό | Περιοχή προσωρινών κανόνων που επιτρέπονται σε δύσκολες συνθήκες (1) Επιφάνεια(km^2) ανά σταθμό |
|--|---|---|
| I. Επίπεδες επιφάνειες ευκρατών, μεσογειακών και τροπικών ζωνών | 1.000-2.500 | 3.000-10.000 |
| II. Ορεινές περιοχές ευκρατών, μεσογειακών και τροπικών ζωνών | 300-1.000 | 1.000-5.000(4) |
| Μικρά ορεινά νησιά με πολύ ακανόνιστες βροχοπτώσεις, πολύ πυκνό υδρογραφικό δίκτυο | 140-300 | |
| III. Ξηρές και πολικές ζώνες(2) | 5.000-20.000(3) | |

- (1) Το τελευταίο νούμερο θα επιτρέπεται μόνο κάτω από εξαιρετικά δύσκολες συνθήκες.
- (2) Δεν περιλαμβάνονται οι μεγάλες έρημοι.
- (3) Εξαρτάται από τη δυνατότητα κατασκευής.
- (4) Υπό πολύ δύσκολες συνθήκες μπορεί να φθάσει τα $10.000 km^2$

Ως προς την προηγούμενη παράγραφο, οι σταθμοί πρέπει να διαιρούνται εξίσου σε δύο κατηγορίες: σταθμοί μεγάλων ποταμών και σταθμοί σε μικρά ρεύματα εκτός από μερικές χώρες που έχουν μόνο μικρούς ποταμούς.

Η τιμή του A, η επιφάνεια της λεκάνης που διαιρεί το δίκτυο του κύριου ρεύματος απ αυτό του μικρού ρεύματος ορίζεται ως ακολούθως:

- Για περιοχές της κατηγορίας I: $A=3.000$ έως $5.000 km^2$
- Για περιοχές της κατηγορίας II: $A=1.000 km^2$
- Για περιοχές της κατηγορίας III: $A=10.000 km^2$

Εν γένει, ένας επαρκής αριθμός παροχομετρικών σταθμών πρέπει να τοποθετηθεί κατά μήκος του κυρίου ρεύματος των μεγάλων ποταμών (αυτών με λεκάνες άνω της A) ώστε να επιτρέπει την παρεμβολή στην παροχή μεταξύ των σταθμών. Οι σταθμοί μέτρησης παροχής μπορούν να διασπαρούν με τους σταθμημετρικούς σταθμούς όπως αναφέρεται στο κεφ.2.2.2.1.

Εφαρμόζοντας τον κανόνα αυτόν, θα μπορούσε να σημειωθεί ότι, όπως το βροχομετρικό δίκτυο, το σταθμημετρικό δίκτυο πρέπει να ικανοποιεί άμεσες ανάγκες μόνο εάν ακολουθούνται ορισμένες αρχές εγκατάστασης και χρήσης.

2.2.1.3. Ανασκόπηση μερικών γενικών οδηγιών για την εγκατάσταση και χρήση των σταθμημετρικών σταθμών.

Οι σταθμοί τοποθετούνται στα κατώτερα τμήματα των κυρίων ποταμών της χώρας, ακριβώς ανάντη από τα στόμια των ποταμών (συνήθως πέραν από την επίδραση των παλιρροιών) ή όπου οι ποταμοί διασχίζουν τα σύνορα. Οι σταθμοί επίσης τοποθετούνται όπου οι ποταμοί βγαίνουν από τα βουνά και ανάντη των σημείων υδροληψίας για αρδευτικό νερό. Οι ακολουθούντες υδρομετρικοί σταθμοί τοποθετούνται σε τέτοια σημεία όπως: εκεί που η παροχή μεταβάλλεται με ευρεία διακύμανση, κάτω από τα σημεία εισόδου των κυρίων συμβαλλόντων και στην έξοδο από τις λίμνες και στις θέσεις αυτές όπου είναι πιθανό να κατασκευαστούν μεγάλα έργα.

Αν η διαφορά παροχής σε δύο σημεία του αυτού ποταμού δεν είναι μεγαλύτερη από το όριο σφάλματος της μέτρησης στο σταθμό, τότε δεν

δικαιολογείται πρόσθετος σταθμός. Το τοπικό ή μικρών ρευμάτων δίκτυο είναι φτιαγμένο από σταθμούς σε ρεύματα μικρότερα από την επιφάνεια λεκάνης Α. Για μικρά ρεύματα, είναι απαραίτητη μια διαδικασία δειγματοληψίας καθόσον είναι πρακτικώς αδύνατο να ιδρύσουμε σταθμούς σε όλα τους.

Η παροχή των μικρών ποταμών επηρεάζεται πολύ από τοπικούς παράγοντες. Σε πολύ ανεπτυγμένες περιοχές, όπου και το μικρότερο νάμα είναι οικονομικά σημαντικό, τα κενά του δικτύου γίνονται έντονα αισθητά ακόμα και για ρεύματα λεκανών της τάξης των 10 km^2 . Οι σταθμοί πρέπει να ιδρύονται για να μετρούν την απορροή σε διαφορετικά γεωγραφικά και τοπογραφικά περιβάλλοντα, περιλαμβανομένων των λιμνών και αποξηραμένων λεκανών.

Εφόσον η κατακόρυφη διαζώνωση εκφράζεται καλά στην κατανομή της απορροής στα βουνά, οι σταθμοί του υδρομετρικού δικτύου πρέπει να τοποθετηθούν έτσι ώστε να μπορούν, κατά τρόπον όσο γίνεται ομοιόμορφο, να εξυπηρετούν όλα τα τμήματα μιας ορεινής έκτασης, από τους πρόποδες μέχρι τις υψηλότερες περιοχές.

Οι σταθμοί πρέπει επίσης να τοποθετούνται σε θέσεις όπου υπάρχει κάποια αλλαγή υδρολογικού χαρακτήρα, όπως π.χ. εκεί όπου τα ρεύματα αφήνουν τα βουνά και μπαίνουν σε αλλουβιακές κοιλάδες ή παράκτιες πεδιάδες.

Μολονότι οι αρχές που διέπουν την εγκατάσταση ειδικών σταθμών δεν τονίζονται ιδιαίτερα στην παρούσα, πρέπει να σημειωθεί η απαίτηση για σταθμούς σε διώρυγες προκειμένου να μετρηθεί η ολική εκτροπή από τα ρεύματα για αρδευτικούς σκοπούς. Τέτοιοι σταθμοί θα πρέπει να εξετάζονται στην αρχή της ανάπτυξης των δικτύων και, όπου είναι δυνατό, πρέπει να ιδρύονται κατά το χρόνο έναρξης της εκτροπής.

2.2.2. Στάθμες σε ποταμούς, λίμνες και ταμιευτήρες.

2.2.2.1. Στάθμες ποταμών.

Η στάθμη (ύψος της επιφάνειας του νερού) παρατηρείται σε όλους τους σταθμημετρικούς σταθμούς για τον προσδιορισμό της παροχής. Υπάρχουν θέσεις όπου χρειάζονται πρόσθετες παρατηρήσεις της στάθμης του νερού, ως μέρος ενός ελάχιστου δικτύου:

(α) Σ'όλες τις κύριες πόλεις κατά μήκους των ποταμών, οι στάθμες χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη των πλημμυρών.

(β) Στους κύριους ποταμούς, σε σημεία μεταξύ σταθμημετρικών σταθμών, η καταγραφή της στάθμης του ποταμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διέλευσή πλημμυριών και για πρόβλεψη.

2.2.2.2. Στάθμες σε λίμνες και ταμιευτήρες.

Στάθμη, θερμοκρασία, κυματισμός, αλατότητα, σχηματισμός πάγου κλπ. πρέπει να παρατηρούνται στους σταθμούς λιμνών και ταμιευτήρων. Σταθμοί πρέπει να ιδρύονται σε λίμνες και ταμιευτήρες με επιφάνεια μεγαλύτερη των 100 km^2 . Όπως και στην περίπτωση των ποταμών, το δίκτυο πρέπει να δειγματοληπτεί επίσης μικρότερες λίμνες και ταμιευτήρες.

3. Υδρολογικά δίκτυα φράγμάτων

3.1 Μελέτη φράγματος σε περιοχή χωρίς πλήρες δίκτυο

Όταν ληφθεί η απόφαση για κατασκευή φράγματος σε μια περιοχή, θα πρέπει :

α) Να εξεταστεί κατά πόσον οι υφιστάμενοι σταθμοί οφείλουν απαραίτητα να συμπληρωθούν με νέους έτσι ώστε να μπορέσουμε να συμπληρώσουμε τα υφιστάμενα υδρολογικά στοιχεία με συσχέτιση παλαιών και νέων δεδομένων. Να σημειωθεί ότι υπάρχουν μοντέλα σύνδεσης με προγενέστερες μετρήσεις.

β) Να δημιουργηθεί αμέσως το ελάχιστο δίκτυο έτσι όπως έχει περιγραφεί στα προηγούμενα κεφάλαια. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στο να υπάρχουν σταθμοί και στα υψηλά μέρη των λεκανών (διαζώνωση). Οι υφιστάμενοι σταθμοί κατά το δυνατό να ενταχθούν στο νέο δίκτυο.

3.2 Πληρότητα δικτύου για μελέτη φράγματος.

Όπως προαναφέρθηκε, στόχος των Υπηρεσιών πρέπει να είναι η

έγκαρη εγκατάσταση υδρολογικού δικτύου στις περιοχές όπου προβλέπεται ή πιθανολογείται η κατασκευή μεγάλων υδραυλικών έργων και δη φραγμάτων. Στην περίπτωση αυτή επιβάλλεται η άμεση ίδρυση ελαχίστου δικτύου, το οποίο στη συνέχεια θα αναπτυχθεί, ανάλογα με τις ανάγκες και την έκταση της λεκάνης.

Το δίκτυο αυτό πρέπει οπωσδήποτε να περιλαμβάνει οπωσδήποτε τους εξής σταθμούς.

α) Υδρομετρικό σταθμό στο σημείο κατασκευής του έργου.

β) Βροχομετρικό σταθμό στο ίδιο σημείο, εφόσον τούτο προσφέρεται. Αν όχι, να βρεθεί το πλησιέστερο δυνατό σημείο, όπου θα μετρώνται επίσης και τα εξής μεγέθη: άνεμος, θερμοκρασία και εξάτμιση.

γ) Βροχομετρικοί σταθμοί σε επιλεγμένα σημεία της λεκάνης με ομοιόμορφη, κατά το δυνατό, κατανομή στο χώρο και στην υψομετρία.

δ) Υδρομετρικοί σταθμοί, όταν κρίνεται απαραίτητο, σε ισχυρούς συμβάλλοντες του κυρίου ρεύματος ή αμέσως κατάντη της συμβολής άλλων ρευμάτων. Με την παρέλευση ετών και τη δυνατότητα συσχέτισης με το κύριο ρεύμα, μερικοί απ' αυτούς μπορούν να μετακινηθούν.

ε) Στην περιοχή του έργου να προβλεφθεί σταθμός μέτρησης αιωρούμενων και, αν υπάρχει δυνατότητα, συρόμενων υλικών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. WMO Guide to hydrological practices .1981, Rep. No 168
2. V. T. CHOW Handbook of applied Hydrology .1964, Mac Graw-Hill

ΤΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ Δ.Ε.Η

Επαιθουλίας Αχιλλέας, Πολ.Μηχανικός, Υδραυλικός - Υδρολόγος Μηχανικός
Τομεάρχης Υδρολογίας Δ.Ε.Η.

Η Διεύθυνση Ανάπτυξης Υδροηλεκτρικών Έργων (ΔΑΥΕ) της ΔΕΗ, στο πλαίσιο της αποστολής της, δηλ. της μελέτης και κατασκευής υδροηλεκτρικών έργων, έχει, από το 1962, δημιουργήσει ένα υψηλής πιστότητας και πληρότητας Υδρολογικό Δίκτυο, το οποίο συνεχώς αναμορφώνεται και συμπληρώνεται, ανάλογα με το πρόγραμμα της, αλλά και με την εξέλιξη της τεχνολογίας.

Είναι γνωστό ότι η Επιστήμη της Υδρολογίας περιλαμβάνει την Υδρομετεωρολογία, την Επιφανειακή Υδρολογία και την Υπόγεια Υδρολογία.

Ο Τομέας Υδρολογίας της ΔΑΥΕ, του οποίου έχω την τιμή να προϊσταμαι - έχοντας ως κύρια αποστολή του τη σύνταξη Υδρολογικών Μελετών (Ημερησίων Παροχών, Πλημμυρών Σχεδιασμού, Φερτών Υλών), με αναφορά στις λεκάνες απορροής των προς μελέτη Υδροηλεκτρικών Έργων (ΥΗΕ) - έχει διαμορφώσει το κατάλληλο Υδρολογικό Δίκτυο (Φωτ. 1) για τη μέτρηση των απαιτούμενων πρωτογενών στοιχείων Υδρομετεωρολογίας και Επιφανειακής Υδρολογίας. Στοιχεία Υδρογεωλογίας συλλέγονται από άλλο Τομέα της ΔΑΥΕ.

Το Δίκτυο συνίσταται από τρεις κατηγορίες οργάνων, μέσω των οποίων επιτυγχάνονται οι ακόλουθες μετρήσεις Υδρολογικών Στοιχείων:

- α. Υδρομετρήσεις (Παροχές ποταμών).
- β. Κατακρημνίσεις (Βροχή, Χιόνι).
- γ. Ατμοσφαιρικά Στοιχεία (Εξάτμιση).

ΥΔΡΟΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Για τον ενεργειακό σχεδιασμό ενός ΥΗΕ απαιτείται η ύπαρξη ικανής χρονοσειράς ημερησίων παροχών του ποταμού, στη θέση υδροενεργειακής εκμετάλλευσης.

Εάν υπήρχε η τεχνική, αλλά κυρίως οικονομική, δυνατότητα συνεχούς καταγραφικής μέτρησης της υγρής διατομής και της ταχύτητας του νερού στην υπόψη θέση του ποταμού, το πρόβλημα της μελέτης ημερησίων παροχών αφ'ενός θα είχε δραστικά αντιμετωπισθεί με μία απλή και σύντομη διαδικασία, αφ'ετέρου θα υπήρχε πολύ υψηλό ποσοστό αξιοπιστίας.

Η πραγματικότητα - ως συνήθως - είναι διαφορετική. Η υφιστάμενη δυνατότητα μέτρησης της υγρής διατομής και της ταχύτητας, σε περισσότερες από 50 θέσεις υποψηφίων ΥΗΕ, επί 29 ποταμών, (διαδικασία διάρκειας 2-6 ωρών, ανάλογα με το μέγεθος της διατομής και τις συνθήκες μέτρησης), περιορίζεται στην μία φορά τον μήνα.

Το μειονέκτημα αυτό αντισταθμίζεται ικανοποιητικά με την εγκατάσταση, σε κάθε θέση, οργάνων μέτρησης στάθμης, τόσο όψεως (Σταθμήμετρα), όσο και καταγραφικών (Σταθμηγράφοι). Σημειώνεται εδώ ότι η σπουδαιότερη λειτουργία των σταθμημέτρων είναι ο καθημερινός έλεγχος και ενδεχόμενη ρύθμιση (καλιμπράρισμα) των σταθμηγράφων, από επιτόπιους αμοιβόμενους παρατηρητές.

Μέτρηση υγρής διατομής και ταχύτητας

Κατ'αρχήν η επιλογή μιάς θέσης υδρομέτρησης στηρίζεται στην κατά το δυνατόν εξασφάλιση τριών προϋποθέσεων:

- Τμήμα ποταμού ευθύγραμμο σε ικανό μήκος.
- Διατομή σταθερή ή προσδευτικά μεταβαλλόμενη, κατά μήκος.
- Κοίτη κατά το δυνατόν μη αλλοιούμενη.

Ανάλογα με το μέγεθος της διατομής (πλάτος-βάθος) και τις συνθήκες ροής, χρησιμοποιούνται εναέριες εγκαταστάσεις (Maritza για πλάτος μικρότερο των 70 m, Wardar για μεγαλύτερα πλάτη), πλωτό μέσο (πλαστική βάρκα), ή απευθείας είσοδος του προσωπικού στο νερό, με υψηλές λαστικένιες μπότες (μερικές φορές με μόνο το μυαλό).

Ενδεχόμενη ύπαρξη χαμηλής γέφυρας (< 4 m), χωρίς μεσόβαρα, και εφόσον το τμήμα αυτό του ποταμού πληρεί τις απαιτούμενες προϋποθέσεις, δίδει τη δυνατότητα εξοικονόμησης εγκατάστασης εναερίου συστήματος, με απευθείας μέτρηση από τη γέφυρα. (Φωτ. 2-6)

Σε μερικές περιπτώσεις η μέτρηση συντελείται μέσω ενός υπερχειλιστού, συνεπικουρούμενου από σταθμημετρικά όργανα.

Σε κάθε περίπτωση, (πλην της τελευταίας), εκείνο που επιδιώκουμε είναι η βύθιση στο νερό της συσκευής μέτρησης, δηλ. του μιλίσκου (Φωτ. 2 και 7).

Στις περιπτώσεις εναερίων συστημάτων, για την υπερνίκηση των τριβών των συρματόσχοινων και τη μείωση της απόκλισης λόγω της ροής, γίνεται χρήση αντίβαρου, με κατάλληλο σχήμα, ώστε ο μεγάλος άξονας του να έχει την κατεύθυνση της ροής. (Φωτ. 2)

Ο μιλίσκος διαθέτει ένα πτερύγιο, του οποίου οι περιστροφές μετρώνται από τον ηλεκτρικά συνδεδεμένο μετρητή στροφών. (Φωτ. 7)

Με αφετηρία ένα σταθερό σημείο επί του εδάφους (με εναέρια συστήματα ευρίσκεται εντός του οικίσκου, Φωτ. 8), οι μετρήσεις γίνονται με βήμα ακεραίου αριθμού, από τη μία όχθη μέχρι την άλλη, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η λήψη στοιχείων στις κατακορύφους, που διέρχονται από τα ίδια πάντα γεωγραφικά σημεία του πυθμένα. Επιπλέον δίδεται η δυνατότητα παρακολούθησης της αλλαγών του πυθμένα, (λαμβάνεται σε κάθε κατακόρυφο το βάθος του νερού), με απλή σχεδίαση της υγρής διατομής.

Ανάλογα με το βάθος του νερού μέχρι τον πυθμένα, εκτελούνται μετρήσεις σε ένα ή τρία βάθη από την επιφάνεια, σε κάθε κατακόρυφο. Με βάθος πυθμένα μέχρι 1.20 m, γίνεται μία μόνο μέτρηση, στο 60 % από την επιφάνεια. Πέραν του 1.20 m, λαμβάνονται τρεις, στο 20 %, στο 60 %, και στο 80 %. Διευκρινίζεται ότι το αντίβαρο εξέχει κάτωθεν του μιλίσκου μέχρι και 30 cm, (Φωτ. 2), οπότε είναι αδύνατη η μέτρηση στο 80 % από την επιφάνεια (δηλ. 20 % από τον πυθμένα), για βάθη < 1.2 m, και κατ'ανάγκη γίνεται μία μέτρηση, στο 60 % (Φωτ. 2).

Μέσω απλών μαθηματικών τύπων, με σταθερές που δίδονται από τον κατασκευαστή, οι στροφές μετροτρέπονται σε ταχύτητα. (Για λόγους μεγαλύτερης ακρίβειας γίνεται διπλή μέτρηση).

Η μέση ταχύτητα ανά κατακόρυφο (με τρεις μετρήσεις) δίδεται από τον τύπο:

$$V_m = \frac{V_0.2 + 2V_0.6 + V_0.8}{4}$$

Η επιφάνεια μεταξύ δύο διαδοχικών κατακορύφων, επί τη μέση ταχύτητα των ιδίων κατακορύφων, δίδει την παροχή που αντιστοιχεί στην επιφάνεια αυτή. Ευνόητο ότι από το άθροισμα όλων των επιμέρους παροχών προκύπτει η (στιγμιαία) παροχή του ποταμού στην υπόψη διατομή.

Να σημειωθεί ακόμη ότι τόσο στην αρχή, όσο και μετά το πέρας των μετρήσεων σε κάθε κατακόρυφο, λαμβάνεται η ένδειξη του Σ/Μ, ιδίως στις περιπτώσεις πλημμυρικών φαινομένων (ασταθής ροή). Είναι προφανές ότι θα προκύψει ένα κλιμακωτό διάγραμμα στάθμης, από το οποίο - ύστερα από σχετική επεξεργασία - υπολογίζεται η μέση στάθμη για όλη τη διατομή.

Για την περίπτωση ύπαρξης ισχυρής ροής, που συνεπάγεται δημιουργία γωνίας απόκλισης του συρματόσχοινου από την κατακόρυφο, το σύστημα είναι εφοδιασμένο με όργανο μέτρησης της γωνίας, η οποία λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό του βάθους. (Φωτ. 2)

Με την πύο πάνω διαδικασία λαμβάνουμε την παροχή που αντιστοιχεί στη στάθμη της χρονικής στιγμής της μέτρησης. Και επειδή οι μετρήσεις γίνονται μία φορά το μήνα, το πρόβλημα μας συνίσταται στον υπολογισμό των (μέσων) ημερησίων παροχών της χρονοσειράς των μετρήσεων.

Μέτρηση στάθμης

Τα όργανα μέτρησης της στάθμης, όπως ελέχθη, είναι τα Σταθμημέτρα και οι Σταθμηγράφοι.

Το σταθμημέτρο (όργανο όψεως, Φωτ. 9) δίδει τη στάθμη, (ως προς ένα συμβατικό μηδέν επί του οργάνου), της στιγμής που γίνεται η ανάγνωση. Πρόκειται για λάμες (εν είδη σταδίας), με ακρίβεια εκατοστού, οι οποίες τοποθετούνται κατά κανόνα κατακόρυφες. Στις περιπτώσεις κεκλιμένης τοποθέτησης (π.χ. δυσκολία προσαρμογής στην όχθη), γίνεται αντίστοιχη τροποποίηση της κλίμακας.

Ο σταθμηγράφος (καταγραφικό όργανο) καταγράφει τις μεταβολές της στάθμης, ως προς το χρόνο, με αναφορά στο μηδέν του σταθμημέτρου.

Κατασκευάζεται ένα μικρό φρέαρ (ηρεμίας), η τοποθετείται ένας σωλήνας (Φωτ. 10), δίπλα στο ποτάμι, και με κατάλληλο μηχανισμό ένας πλατφόρμα παρακολουθεί τις μεταβολές της στάθμης, τις οποίες μία πέννα καταγράφει σε συνεχή καμπύλη πάνω σε ειδικό χαρτί, τυλιγμένο σε ωρολογιακά περιστρεφόμενο τύμπανο. (Φωτ. 11). Το καταγραφικό σύστημα ευρίσκεται μέσα σε οικίσκο (Φωτ. 10) ή σε κλωβό (Φωτ. 12).

Ένα σόβαρο μειονέκτημα είναι η επίδραση των μεταβολών της θερμοκρασίας στην ακρίβεια καταγραφής. Οι Παρατηρητές πηγαίνουν μία φορά την ημέρα και ελέγχουν τη ταύτιση της ένδειξης σταθμηγράφου-σταθμημέτρου, προβαίνοντας αν χρειασθεί σε σχετική διόρθωση. Κατά κανόνα, η αλλαγή της ταινίας γίνεται μία φορά την εβδομάδα.

Χωρίς να υπεισελάω στην τεχνική της μελέτης υπολογισμού των ημερησίων παροχών, περιορίζομαι στη διευκρίνιση ότι με τα διατιθέμενα μετρημένα ζεύγη "στάθμη-παροχή", μιάς ικανής χρονοσειράς (όσο μεγαλύτερη η χρονοσειρά, τόσο μεγαλύτερη και η ακρίβεια), κατασκευάζεται η καμπύλη ή οι καμπύλες στάθμης-παροχής, βάσει των οποίων προσδιορίζονται οι παροχές που αντιστοιχούν στις μέσες ημερησίες στάθμες, όλης της χρονοσειράς, οι οποίες εν τω μεταξύ, ύστερα από σχετική επεξεργασία και πρώτου βαθμού ανάλυση των πρωτογενών στοιχείων στάθμης, έχουν υπολογισθεί. Οι δυνατότητες που προσφέρουν σήμερα οι Η/Υ επιτρέπουν τη χρήση του θεωρήματος Bernoulli, υπό την προϋπόθεση ύπαρξης επαρκών στοιχείων και σε μία θέση κατάντη της προηγούμενης (τουλάχιστον σταθμημέτρο και λήψη υγρής διατομής, με πλωτό μέσο ή με μπότες, δύο-τρεις φορές το χρόνο ή καλλίτερα μετά από πλημμυρικά φαινόμενα). Ηδη έχει αρχίσει η αναμόρφωση του Υδρομετρικού μας Δικτύου προς αυτή την κατεύθυνση.

Ένα σημείο που θα ήθελα να τονίσω ιδιαίτερα είναι ότι τα στοιχεία πρέπει να αναφέρονται στην ίδια θέση. (Μερικές φορές, λόγω κάποιας δυσκολίας τοποθέτησης σταθμηγράφου στη σωστή θέση, αναζητείται άλλη, ανάντη ή κατάντη, και μάλιστα σε μεγάλη απόσταση. Αυτό δεν είναι σωστό. Λύση υπάρχει πάντα. Αν δεν υπάρχει λύση, δεν υπάρχει ούτε πρόβλημα).

Στερεοπαροχή

Με ειδικό όργανο σε σχήμα τορπίλλης (sampler), το οποίο αναρτάται στη θέση του μιλίσκου (προϋπόθεση ύπαρξης εναερίας εγκατάστασης, λόγω μεγάλου βάρους-περί τα 50 kp), λαμβάνεται ποσότητα νερού και στη συνέχεια στο εργαστήριο γίνεται υπολογισμός των αιωρούμενων (στο ποτάμι) φερτών. Δεν έχουμε ακόμη εφοδιασθεί με όργανα μέτρησης ουρομένων στον πυθμένα φερτών.

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

Αρχίζω την παράγραφο αυτή με μία συνοπτική υπενθύμιση του Υδρολογικού Κύκλου.

Η κύρια πηγή νερού είναι οι ωκεανοί, από τους οποίους εξατμίζονται τεράστιες ποσότητες, υπό την επίδραση της ηλιακής

ακτινοβολίας, και ως νέφη υδρατμών μεταφέρονται σε διάφορες περιοχές του πλανήτη, μέχρις ότου για κάποιο λόγο ψυχθούν σε θερμοκρασία μικρότερη εκείνης του σημείου δρόσου (θερμοκρασία κορεσμού, με ψύξη υπό σταθερή πίεση). Η προκαλούμενη κατακρήμνιση (μορφές κατακρήμνισης είναι η ομίχλη, η δρόσος, ο υετός (βροχή), το χαλάζι και το χιόνι), κατανέμεται, με νόμους που η φύση γνωρίζει, και ο Επιστήμονας προσπαθεί να ανακαλύψει - πράγμα που συνιστά την υψηλή αποστολή της Επιστήμης - στα ακόλουθα μέρη: Άμεση εξάτμιση από την επιφάνεια της Γης - Διήθηση, καταμεριζόμενη σε τροφή της κλωρίδας και υπόγεια ροή - Εξάτμιση μέσω του φυλλώματος της κλωρίδας (διαπνοή) - Επιφανειακή απορροφή.

Η υπόγεια ροή, με αργή κίνηση, τροφοδοτεί ποτάμια και λίμνες ή, σε αρκετές περιπτώσεις, καταλήγει απ'ευθείας στη θάλασσα.

Η επιφανειακή απορροφή, μέσω χειμάρρων, οδηγείται σε ποτάμια και λίμνες, υφιστάμενη συνεχώς τη διαδικασία της εξάτμισης.

Οι φάσεις, λοιπόν, του υδρολογικού κύκλου - οι οποίες συνιστούν το βασικό αντικείμενο μελέτης του Υδρολόγου - είναι: Κατακρήμνιση - Εξάτμιση - Επιφανειακή απορροφή - Υπόγεια ροή.

Οι κυριότερες κατακρήμνισεις που ενδιαφέρουν τη ΔΑΥΕ, στα πλαίσια της αποστολής της, είναι η βροχή και το χιόνι, το οποίο όμως μετατρέπεται σε ισοδύναμη βροχόπτωση.

Τα χρησιμοποιούμενα όργανα είναι το δίδυμο Βροχόμετρο-Βροχογράφος (Φωτ. 13) για τη βροχή, και η χιονοτράπεζα για το χιόνι. Σημειώνεται και εδώ ότι η σπουδαιότερη λειτουργία του βροχομέτρου είναι ο έλεγχος και το καλιμπράρισμα του βροχογράφου (κατ'αντιστοιχία του δίδυμου "σταθμήμετρο-σταθμηγράφος").

Στο βροχόμετρο (όργανο όψεως) το νερό, μέσω της κοάνης υποδοχής, καταλήγει σε ένα βαθμονομημένο υάλινο σωλήνα, και η μέτρηση δίδει αθροιστικά το ύψος βροχής. Συγκεκριμένα, μία φορά την ημέρα γίνεται η μέτρηση (ανάγνωση) και στη συνέχεια τοποθετείται η στάθμη στο μηδέν του σωλήνα (μέσω στρόφιγγας εκκενώνεται). Κατά συνέπεια η ένδειξη δίδει το ύψος βροχής του ενδιάμεσου χρονικού διαστήματος.

Σημειώνεται ότι η βαθμονόμηση του σωλήνα είναι στρεβλή, δηλ. ενώ αριθμεί χιλιοστά του μέτρου, στην πραγματικότητα τα διαστήματα είναι μεγαλύτερα, και έχουν σχέση με το λόγο της επιφάνειας της κοάνης και της διατομής του σωλήνα.

Στο βροχογράφο (καταγραφικό όργανο, Φωτ. 14) το νερό, μέσω της κοάνης, καταλήγει σε ένα δοχείο, στο οποίο υπάρχει πλωτήρας συνδεδεμένος κατάλληλα με μία πένα, η οποία καταγράφει την αθροιστική καμπύλη του ύψους βροχής (συνάρτηση του χρόνου), πάνω σε ειδικό χαρτί, τυλιγμένο σε ωρολογιακά περιστρεφόμενο τύμπανο. Για την περίπτωση εξάντλησης της διατιθέμενης από την ταμνία διάστασης καταγραφής ύψους βροχής, υπάρχει η δυνατότητα σιφωνισμού, (δηλ. εκκένωσης του δοχείου με τον πλωτήρα), και η πένα κατεβαίνει στο μηδέν. Σε μερικά όργανα, στη φάση καθόδου η πένα δεν γράφει, προς αποφυγή σύγχυσης.

Και εδώ ο έλεγχος και ο συντονισμός των οργάνων είναι ημερήσιος.

Υπάρχει, στο χώρο των κατακρήμνισεων, ένα ακόμη όργανο, για τη μέτρηση βροχής και χιονιού αθροιστικά, το βροχοχιονόμετρο, σε σχήμα μπουκαλιού. Τοποθετείται σε υψηλές και δυσπρόσιτες περιοχές. Εκεί δυνατότητα αποθήκευσης βροχής μέχρι και ολόκληρου του υδρολογικού έτους (ακόμη και του πύο υγρού). Το μετρούμενο βάθος νερού εντός του οργάνου μετατρέπεται, μέσω συντελεστού, σε ύψος βροχής του αντίστοιχου χρονικού διαστήματος. Οι μετρήσεις γίνονται, κατά περίπτωση, ανά 15νθημερο, ανά μήνα ή ανά τρίμηνο.

Η χιονοτράπεζα είναι μία τετράγωνη πλάκα, πλευράς 0.50 m, επί του εδάφους, μεταλλική ή τοιμεντένια, από την οποία λαμβάνεται ένα καρτό χιονιού με ειδικό κυλινδρικό δοχείο. Μετά την τήξη του, το νερό που

προκύπτει μετρείται με βαθμονομημένο υάλινο σωλήνα, για τη μετατροπή σε ισοδύναμο ύψος βροχής.

Πρόσφατα απεκτήθη ένα σύγχρονο καταγραφικό χιονόμετρο, με ηχητικά κύματα και ανάκτηση των στοιχείων μέσω Η/Υ. Ευρίσκεται στη φάση εγκατάστασης και δοκιμαστικής λειτουργίας του.

Τα πιο πάνω στοιχεία βροχής κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται στις μελέτες πλημμυρών σχεδιασμού των έργων προστασίας των ΥΗΕ (υπερχειλιστές-σπραγγες εκτροπής). Οχι σπάνια όμως χρησιμοποιούνται και στις μελέτες ημερησίων παροχών.

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα συλλεγόμενα ατμοσφαιρικά στοιχεία είναι εκείνα που απαιτούνται για τον υπολογισμό της εξάτμισης, απαραίτητες για το υδατικό ισοζύγιο. Ιδιαίτερη σημασία έχει η εξάτμιση από ταμνευτήρες των ΥΗΕ και η γνώση της, κατά τη φάση του σχεδιασμού του έργου, είναι απαραίτητη για το σωστό ενεργειακό υπολογισμό.

Τα διατιθέμενα αυτή τη στιγμή όργανα είναι δύο κατηγοριών:

α. Άμεσης μέτρησης της εξάτμισης.

β. Έμμεσης μέτρησης, δηλ. συλλογής στοιχείων (Σχετική υγρασία, θερμοκρασία, Άνεμος, Ηλιακή ακτινοβολία), για τον υπολογισμό της εξάτμισης.

Όργανα άμεσης μέτρησης

Εξατμισήμετρο: Πρόκειται για μία λεκάνη διαμέτρου 1,12 m και βάθους 30 cm, στην οποία τοποθετείται νερό και σε ημερήσια βάση εκτελείται μέτρηση του βάθους και της θερμοκρασίας του νερού. Οι διαφορές, σε συνδυασμό και με ενδεχόμενη επισυμβάσα κατακρήμνιση, δίδουν την αντίστοιχη ημερήσια εξάτμιση. (Φωτ. 15)

Εξατμισογράφος: Είναι καταγραφικό όργανο, μέσα σε κλωβό. Δίδει την εξάτμιση υπό συνθήκες προστασίας από άνεμο και ηλιακή ακτινοβολία. Ένας ευαίσθητος μηχανισμός (εν είδη ζυγαριάς) επιτρέπει σε μία πένα να καταγράφει σε ειδική ταμνία, πάνω σε ωρολογιακά περιστρεφόμενο τύμπανο, την επισυμβαίνουσα εξάτμιση στο νερό που περιέχει μία λεκάνη επί του οργάνου. (Φωτ. 16)

Όργανα έμμεσης μέτρησης

Θερμοϋγρογράφος: (Φωτ. 16) Το όργανο αυτό καταγράφει σε ταμνία ένα διπλό γράφημα: της σχετικής υγρασίας και της αντίστοιχης θερμοκρασίας. Τον έλεγχο και καλιμπράρισμα του οργάνου αυτού επιτρέπει το Ψυχόμετρο, το οποίο συνίσταται από ένα θερμόμετρο ακριβείας (ξηρού) και ένα θερμόμετρο υγραινόμενο (υγρού) και ψυχόμενο με μικρό ανεμιστήρα. Τοποθετούνται κατακορύφως σε ειδική βάση (Φωτ. 16).

Η θερμοκρασία που δίδει το θερμόμετρο υγρού είναι εκείνη, στην οποία πρέπει να ψυχθεί ο αέρας, ώστε να κορεσθεί υδρατμών, αποδιδώντας αντίστοιχη θερμότητα (latent heat of evaporation).

Η μέτρηση των θερμοκρασιών ξηρού και υγρού επιτρέπει τον υπολογισμό της σχετικής υγρασίας, με τη βοήθεια του πίνακα που δίδει την πίεση των κεκορεσμένων υδρατμών συναρτήσει της θερμοκρασίας, και γνωστού όντος ότι ο λόγος της διαφοράς των πιέσεων των κεκορεσμένων ατμών (σε mm Hg), προς τη διαφορά των αντίστοιχων θερμοκρασιών, ξηρού-υγρού (°C) είναι 0.485. Η πιο πάνω διαδικασία (με τη βοήθεια όμως απλοποιημένων πινάκων), εκτελείται ημερησίως και ελέγχονται οι αντίστοιχες καταγραφές στο θερμοϋγρογράφο, τόσο της σχετικής υγρασίας, όσο και της θερμοκρασίας, εκείνη τη χρονική στιγμή.

Θερμόμετρα max-min: Πρόκειται για δύο θερμόμετρα ακριβείας, που δίδουν την επισυμβάσα, μέγιστη το ένα και ελάχιστη το άλλο, θερμοκρασία στο ενδιάμεσο χρονικό διάστημα δύο διαδοχικών μετρήσεων (κατά κανόνα 24ωρο). Τοποθετούνται οριζοντίως στην ίδια βάση με το

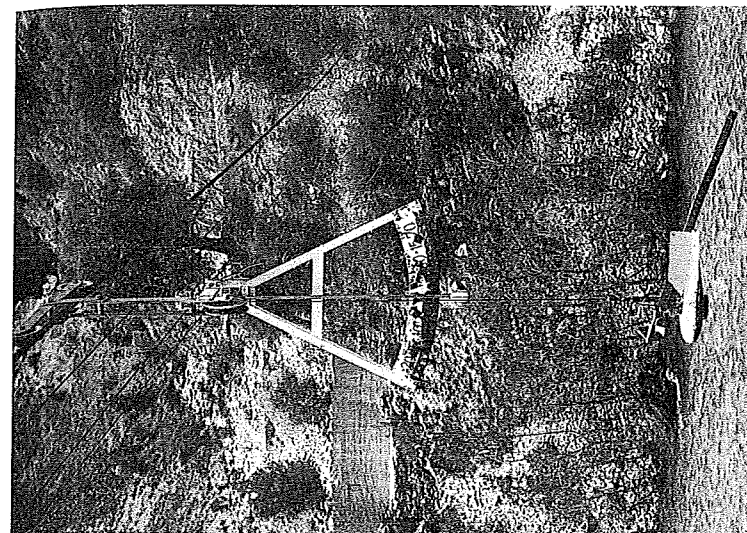
ψυχρόμετρο. (Φωτ. 16).

Ανεμόμετρο: Μετρά απλώς ποσότητα ανέμου (Φωτ. 15 και 17). Δεν δίνει ταχύτητα και κατεύθυνση. Εντός του '94 θα εμπλουτισθεί το δίκτυο μας με ανεμογράφους, όπως επίσης και με όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Να σημειωθεί ότι τα όργανα: Ε/Γ, Θ/Υ, Ψ/Μ και Θ/Μ, ευρίσκονται μέσα σε ένα κλωβό. (Φωτ. 17).



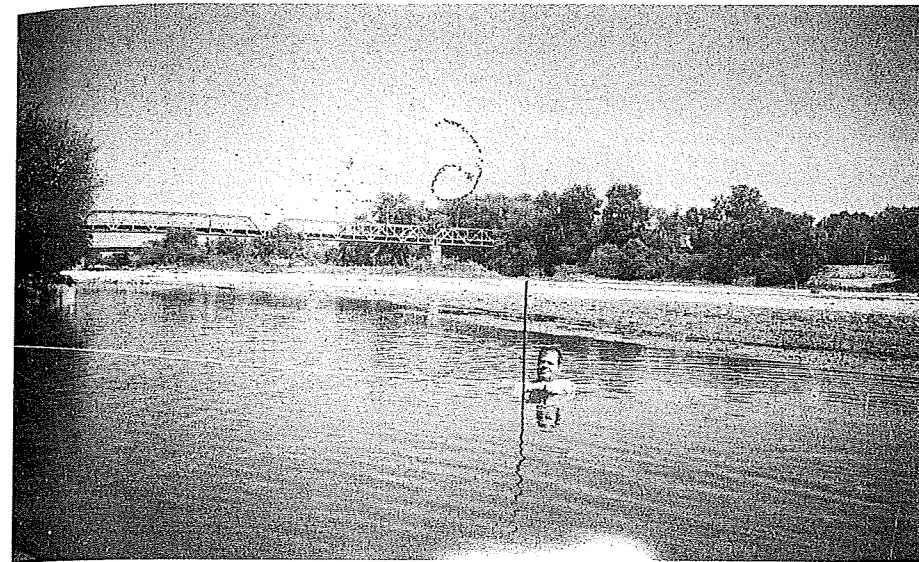
Εικ.1



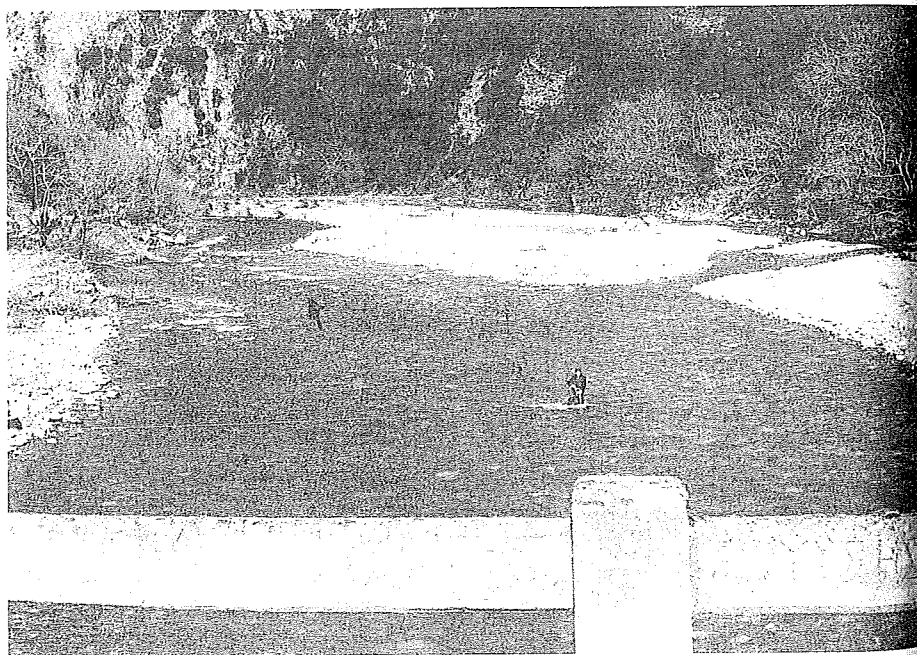
Εικ.2



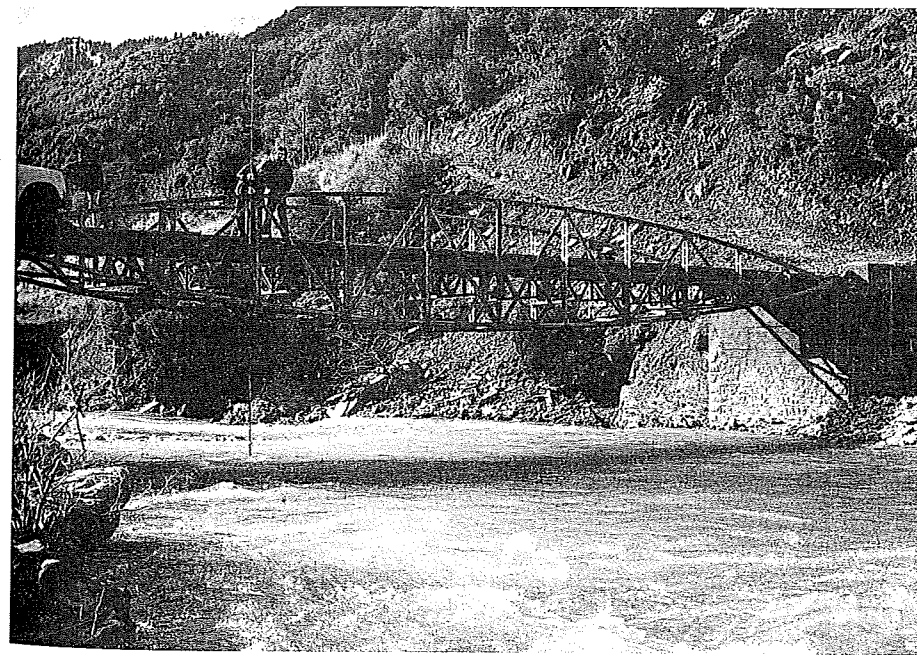
Етк.3



Етк.5



Етк.4



Етк.6

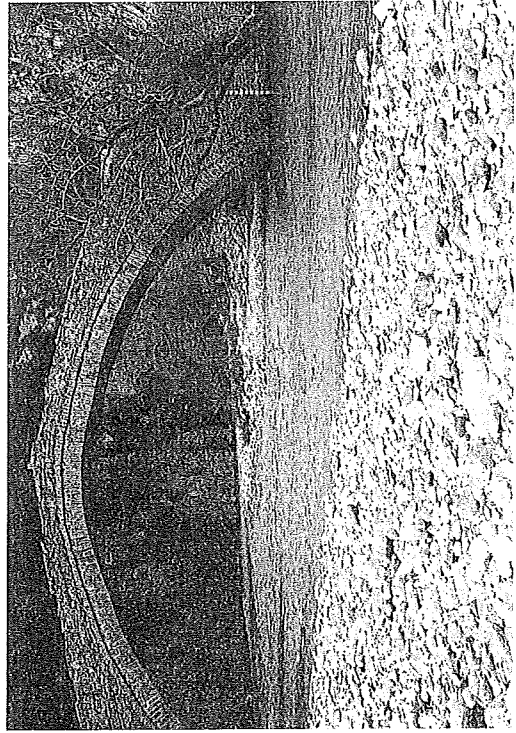
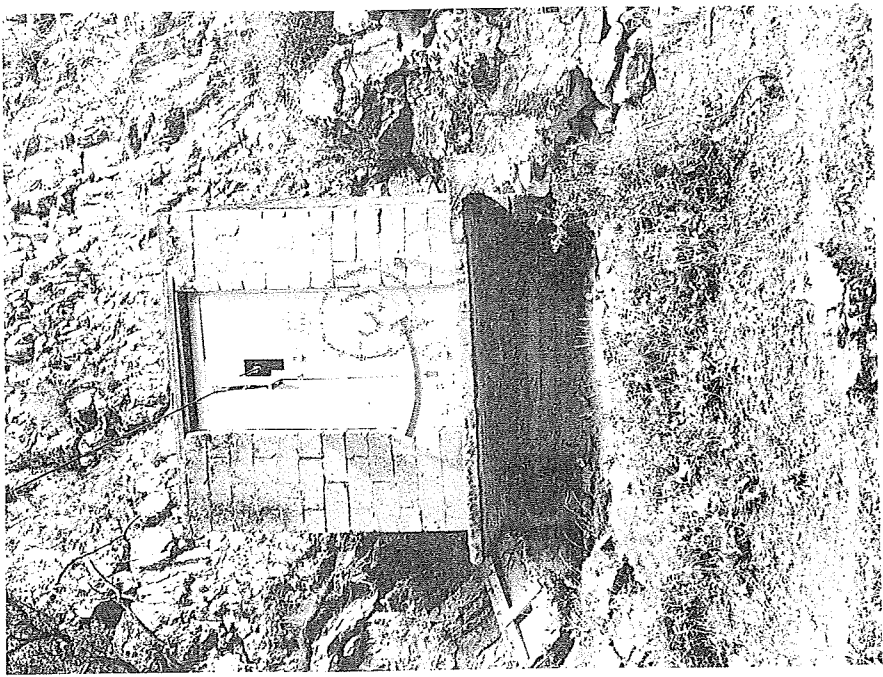
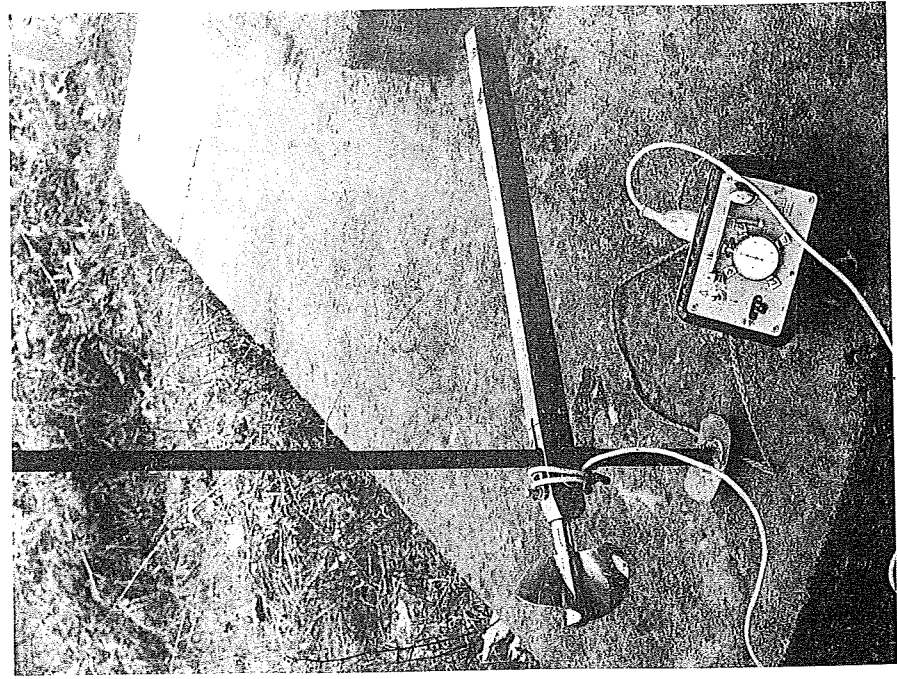


Fig. 9

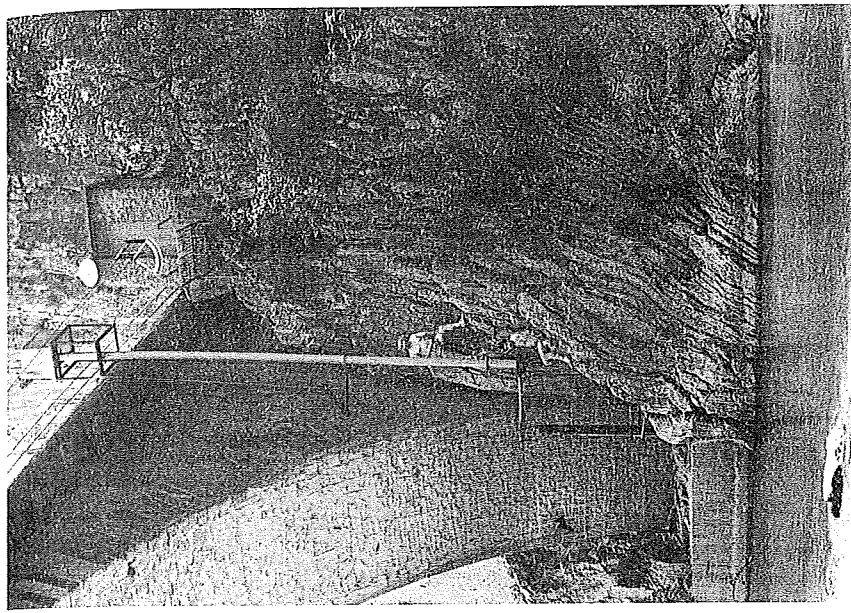


Fig. 10

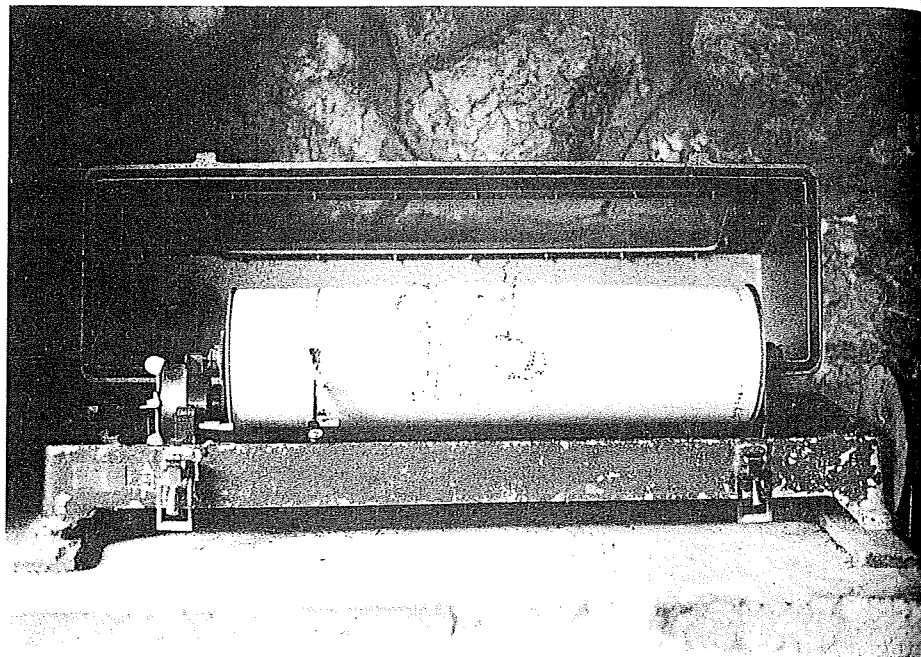


Fig. 11



Fig. 12

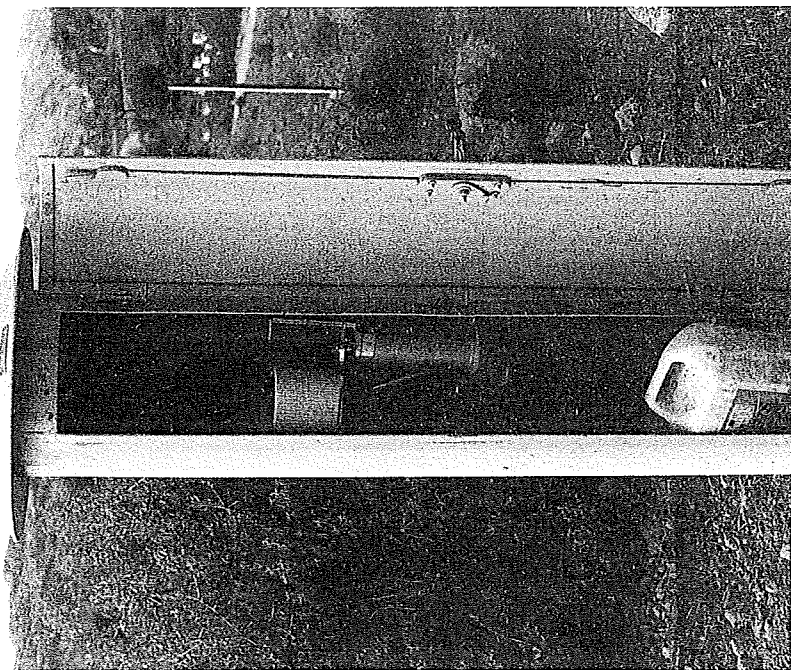


Fig. 14

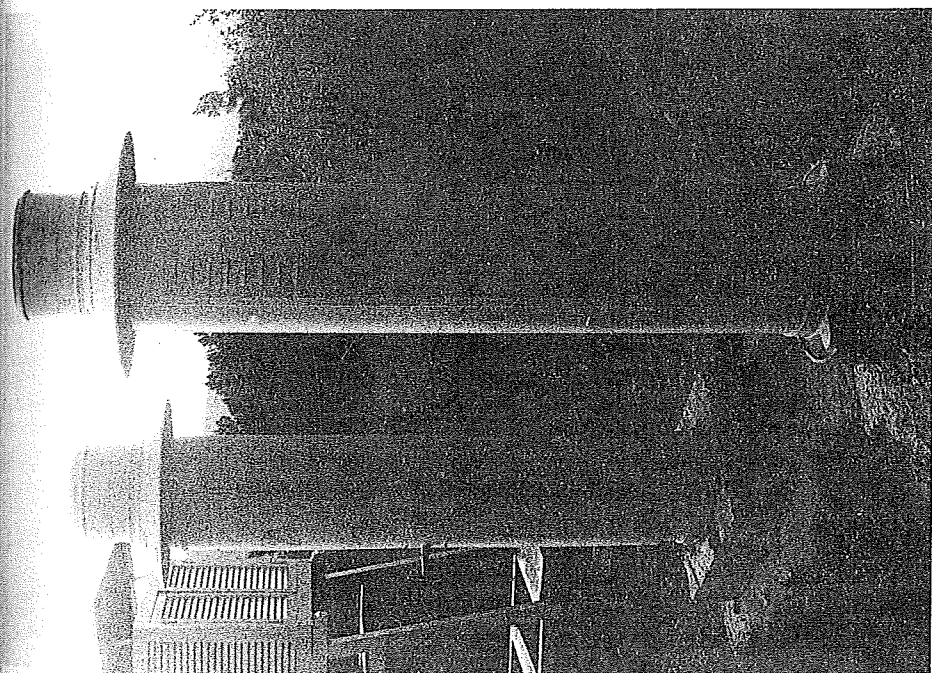
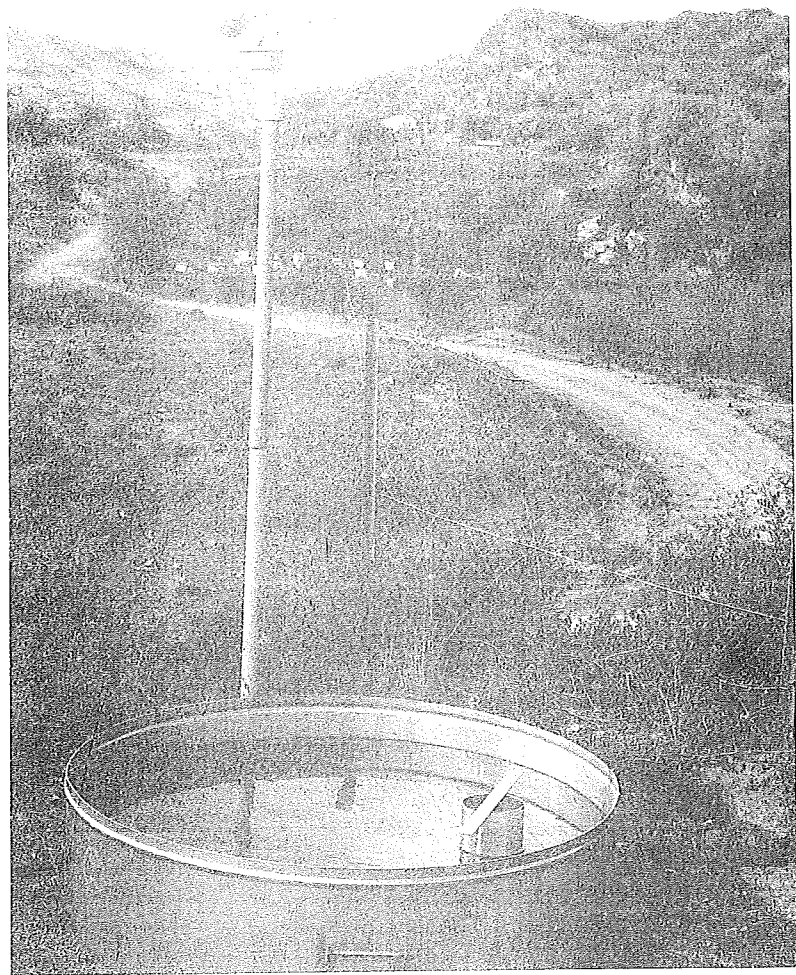


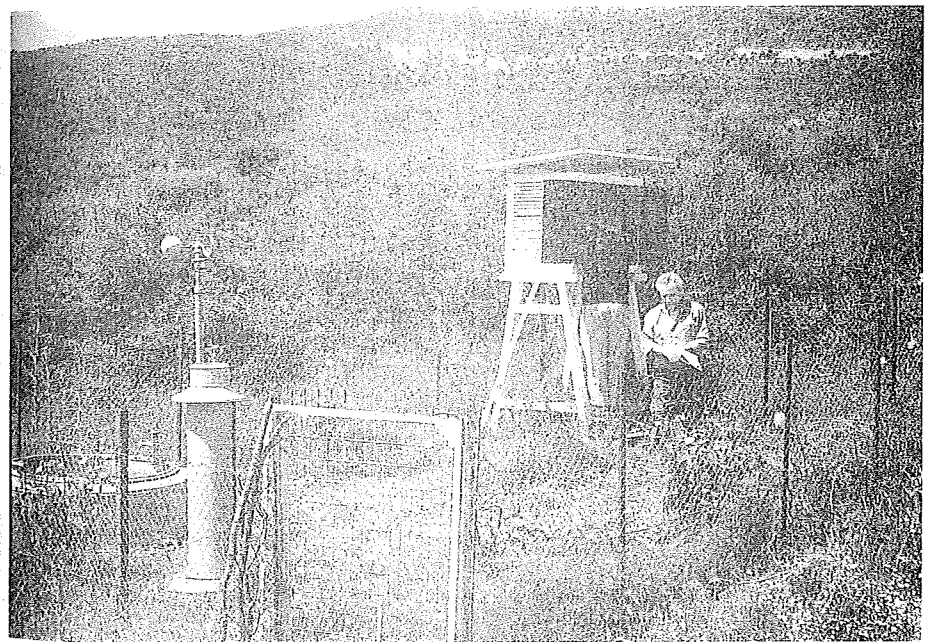
Fig. 13



Euk.15



Euk.16



Euk.17

Η ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕ ΤΗΝ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΒΑΣΙΚΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΤΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ

Τσόγκας Χρήστος, Αγρονόμος-Τοπογράφος Μηχανικός, Καθηγητής Τ.Ε.Ι.
Θεσ/νίκης

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ενεργειακό δυναμικό βασίζεται στις παρακάτω πηγές ενέργειας:

- α.- Πυρηνική ενέργεια
- β.- Θερμοηλεκτρική ενέργεια (στερεά & υγρά καύσιμα)
- γ.- Υδροηλεκτρική ενέργεια
- δ.- Αιολική και ηλιακή ενέργεια.

Πυρηνική ενέργεια ούτε είχε ούτε πρόκειται να αποκτήσει η Ελλάδα στο εγγύς μέλλον τουλάχιστον.

Η θερμοηλεκτρική ενέργεια από στερεά και υγρά καύσιμα αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα στη χώρα μας.

Ο προσδιορισμός του υδροδυναμικού πλούτου σήμερα εκτιμάται σε:

- α.- Θεωρητικά εκμεταλλεύσιμο με 85.000 GWh
- β.- Τεχνικά εκμεταλλεύσιμο με 21.000 "
- γ.- Οικονομικά εκμεταλλεύσιμο με < 20.000 "

Τέλος η Αιολική και ηλιακή ενέργεια αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό και βρίσκονται σε στάδιο μελέτης της συστηματικής αξιοποίησης.

Ο ουσιαστικός εξηλεκτρισμός της Ελλάδας αρχίζει το 1951 με την ίδρυση της ΔΕΗ, ενώ το 1955 σημειώνεται σοβαρή αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και της εγκατεστημένης ισχύος των σταθμών παραγωγής. Στον πίνακα Ι φαίνονται οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί (Υ-Η.Σ.) της Ελλάδας με την αντίστοιχη ισχύ τους και το χρόνο έναρξης της λειτουργίας τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι

Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί της Ελλάδας

| α/α | Όνομασία | Ποταμός | Είδος φράγματος | Υψος σε m | Ισχύς σε MW | Χρόνος λειτουργ |
|-----|--------------|-----------|-----------------|-----------|-------------|-----------------|
| 1. | Λούρος | Λούρος | Βαρ.-Τοξ. | 23 | 10 | 1951 |
| 2. | Αγρας | Αγρας | Χωματινο | 5 | 46 | 1954 |
| 3. | Λάδωνας | Λάδωνας | Βαρ.-Διακ | 56 | 58 | 1955 |
| 4. | Εδεσσαίος | Εδεσσαίος | Βαρυτητας | - | 26 | 1972 |
| 5. | Πλαστήρας | Ταυρωπός | Τοξωτό | 83 | 120 | 1962 |
| 6. | Κρεμαστά | Αχελώος | Χωμάτινο | 160 | 437 | 1966 |
| 7. | Καστράκι | Αχελώος | Χωμάτινο | 96 | 320 | 1969 |
| 8. | Πολύφυτο | Αλιάκμων | Χωμάτινο | 105 | 367 | 1976 |
| 9. | Πουρνάρι Ι | Αραχθος | Χωμάτινο | 107 | 300 | 1980 |
| 10. | Ασώματα | Αλιάκμων | Χωμάτινο | 52 | 108 | 1985 |
| 11. | Σφηκιά | Αλιάκμων | Λιθ.-Πυρ. | 82 | 315 | 1986 |
| 12. | Πηγές Αώου | Αώος | Λιθ.-Πυρ. | 79 | 210 | 1988 |
| 13. | Ετράτος | Αχελώος | Χωμάτινο | 26 | 150 | 1990 |
| 14. | Θησαυρός | Νέστος | Λιθ.-Πυρ. | 172 | 240 | 1996 |
| 15. | Πλατανόβρυση | Νέστος | R.C.C. | 107 | 100 | 1996 |
| 16. | Τέμενος | Νέστος | Βαρύτητας | 45 | 27 | 1998 |
| 17. | Μεσοχώρα | Αχελώος | Λιθόρριπτο | 150 | 140 | 1996 |
| 18. | Γλαρίων | Αλιάκμων | Χωμάτινο | 130 | 180 | 1998 |
| 19. | Συκιά | Αχελώος | Χωμάτινο | | | |
| 20. | Πύλη | Πορταϊκός | Χωμάτινο | | | |
| 21. | Μουζάκι | Πληπούρης | Χωμάτινο | | | |
| 22. | Αγ.Νικόλαος | Αραχθος | Χωμάτινο | | | |
| 23. | Πιστιανά | Αραχθος | Χωμάτινο | | | |
| 24. | Καλαρίτικο | Αραχθος | Τοξωτό | | | |
| 22. | Ελάφη | Αλιάκμων | | | | |
| 23. | Νεστώριο | Αλιάκμων | | | | |
| 24. | Σουλιόπουλο | Καλαμάς | | | | |
| 25. | Γλύσιανη | Καλαμάς | | | | |
| 26. | Βροσίνα | Καλαμάς | | | | |
| 27. | Κληματιά | Καλαμάς | | | | |

2.-ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Η κατασκευή ενός φράγματος δημιουργεί ανάντι μιά συσσώρευση μικρής ή μεγάλης ποσότητας νερού, που ανυψώνει την ελεύθερη στάθμη και δίνει τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της περικλειόμενης ενέργειάς του. Τα έργα που γίνονται για την εκμετάλλευση της ενέργειας του νερού λέγονται υδροδυναμικές εγκαταστάσεις και περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα έργων (φράγμα, υπερχειλιστής, σήραγγα εκτροπής, έργα καταστροφής της ενέργειας, σήραγγες ελέγχου-αποστράγγισης, υδροηλεκτρικό σταθμό δεξαμενές ανάπαλσης, διώρυγες φυγής, κ.ά.)

Η ισχύς και η παραγόμενη ενέργεια εξαρτώνται από την παροχή και το ύψος πτώσης του νερού.

Η ισχύς που δίνει μιά υδατόπτωση είναι

$$P = 9,81 \cdot \eta \cdot Q \cdot H \quad \text{σε} \quad \text{kw}$$

με η την απόδοση των εγκαταστάσεων
 Q την παροχή σε m^3/s
 H το ύψος πτώσης σε m

ενώ η ενέργεια

$$E = \eta \frac{V \cdot H}{367} \quad \text{σε} \quad \text{kwh}$$

με V τον ετήσιο όγκο απορροής σε m^3

3.- ΤΥΠΟΙ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Από ενεργειακή πλευρά οι εγκαταστάσεις διακρίνονται σε:

- Εγκαταστάσεις βάσης
- Εγκαταστάσεις αιχμής
- Εγκαταστάσεις αντιστρεπτής λειτουργίας

Οι εγκαταστάσεις βάσης παράγουν ενέργεια με συνεχή λειτουργία και όπως είναι φυσικό προϋποθέτουν ή ποταμό με μεγάλη και συνεχή παροχή (Ρήνος, Δούναβης, κλπ) ή μεγάλη λεκάνη απορροής και όγκο ταμιευτήρα. Ο συντελεστής εκμετάλλευσης βρίσκεται συνήθως μεταξύ 60-80%. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι υδροδυναμικές εγκαταστάσεις είναι εγκαταστάσεις αιχμής, όπως συμβαίνει στην Ελλάδα. Οι εγκαταστάσεις αιχμής δεν είναι συνεχούς λειτουργίας αλλά δουλεύουν μόνο για να καλύψουν ανάγκες ζήτησης για μικρά χρονικά διαστήματα με ετήσιο συντελεστή εκμετάλλευσης από 20-50% ανάλογα με τις συνθήκες εκμετάλλευσης.

Οι εγκαταστάσεις αντιστρεπτής λειτουργίας δουλεύουν σαν εγκαταστάσεις αιχμής και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για να καλύψουν ανάγκες ζήτησης κατά τη διάρκεια της μέρας, με νερό που αντλείται από τον κατάντι ταμιευτήρα προς τον ανάντι (αντιστροφή) κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν υπάρχει πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια βάσης. Η λειτουργία του αντλητικού σταθμού σε σύγκριση με έναν σταθμό αιχμής παρουσιάζει απώλειες της τάξης του 30%. Έτσι 1 kwh που χρησιμοποιείται από την ενέργεια βάσης (νυχτερινή) δίνει 0,7 kwh (παραγωγή αιχμής). Αν λοιπόν το κόστος της νυχτερινής είναι 10 δρχ/kwh και 25 δρχ/kwh της ημέρας, καταναλώνοντας 10 δρχ για 1 kwh (άντληση) παίρνουμε $0,7 \cdot 25 = 17,50$ δρχ για 1kwh ημερήσια. Άρα έχουμε

$$\text{κέρδος} = 17,50 - 10,00 = 7,50 \text{ δρχ/kwh}$$

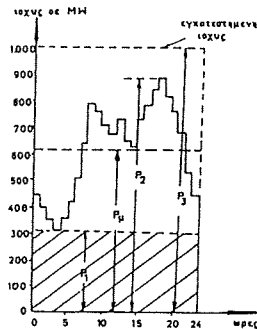
Παρά τη μικρή απόδοση λόγω κόστους άντλησης και απωλειών, οι σταθμοί αντιστρεπτής λειτουργίας έχουν το πλεονέκτημα να λειτουργούν ανεξάρτητα από την παροχή του ρεύματος και 1 m^3 νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί θεωρητικά άπειρες φορές βελτιώνοντας έτσι την οικονομικότητα του συστήματος με τη διατήρηση σε σταθερό επίπεδο του συντελεστή φόρτισης των υδροηλεκτρικών σταθμών. Στην Ελλάδα με τις ξηρές περιόδους και τους διεθνείς ποταμούς, που η παροχή που εισέρχεται στην Ελλάδα εξαρτάται από άλλες χώρες όπως Βουλγαρία (Εβρος, Αρδας, Νέστος, Στρυμόνας), Σερβία (Αξιός) η κατασκευή σταθμών αντιστρεπτής λειτουργίας λύνει πολλά προβλήματα.

4.- ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΜΠΥΛΗ ΦΟΡΤΙΟΥ

Καμπύλη φορτίου λέγεται το διάγραμμα που έχει τεταγμένες τις τιμές του φορτίου σε MW ή KW και τετμημένες τον αντίστοιχο χρόνο. Η καμπύλη αυτή που ακολουθεί την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της μέρας, από μέρα σε μέρα, από μήνα σε μήνα και από χρόνο σε χρόνο. Τυπική μεταβολή της μέσα σε ένα 24ωρο φαίνεται στο σχήμα 1.

Η ελάχιστη ισχύς P_1 λέγεται και βάση ενώ το τμήμα ανάμεσα στη μέση ισχύ P_μ και τη μέγιστη P_2 λέγεται αιχμή. P_3 είναι η μέγιστη οφέλιμη ισχύς όλων των σταθμών αθροιστικά και λέγεται εγκατεστημένη ισχύς. Είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη ισχύ P_2 κατά ένα τμήμα που διατηρείται σαν εφεδρεία για λόγους ασφάλειας. Ο λόγος P_μ/P_2 λέγεται συντελεστής φορτίου και χαρακτηρίζει εκφρασμένος σε εκατοστιαία βάση την οικονομική ευστάθεια των σταθμών παραγωγής, ενώ ο λόγος P_μ/P_3 λέγεται συντελεστής εκμετάλλ-

λευσης και είναι μικρότερος απο τον συντελεστή φορτίου..
 Στην Ελλάδα οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί λειτουργούν σαν εγκαταστάσεις αιχμής, ενώ οι θερμοηλεκτρικοί, που έχουν υψηλότερο συντελεστή φορτίου, σαν εγκαταστάσεις βάσης.



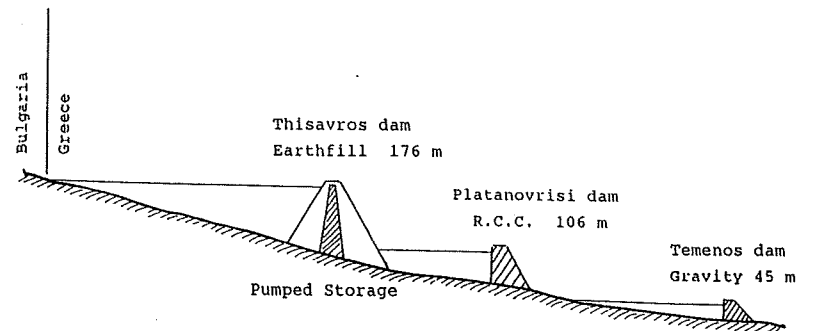
Σχ.1.

Ο προγραμματισμός λειτουργίας ενός διασυνδεδεμένου συστήματος, είναι ευθύνη της Διεύθυνσης Παραγωγής-Εκμετάλλευσης της ΔΕΗ με κύρια αρμοδιότητα την εξασφάλιση επαρκούς λειτουργίας και διασύνδεσης των διαφόρων σταθμών παραγωγής ανά την Ελλάδα για την κάλυψη της ζήτησης. Ο ημερήσιος προγραμματισμός της υπηρεσίας πρέπει να δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού των φορτίων κατά τη διάρκεια ιδιαίτερα των ωρών αιχμής και την αντίστοιχη κάλυψη απο τους υπάρχοντες υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Εδώ βέβαια πρέπει να ειπωθεί ότι σε αντίθεση με τους Θ-Η σταθμούς που απο τη στιγμή της εντολής μέχρι την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται χρόνος 6 - 8 ωρών, οι Υ-Η σταθμοί δίνουν ενέργεια σε 1 - 2 λεπτά της ώρας. Έτσι είναι εύκολη η είσοδος και έξοδος Υ-Η σταθμών στο διασυνδεδεμένο σύστημα. Δίνουν δηλαδή οι Υ-Η σταθμοί την ευχέρεια στο σύστημα να αυξομειώνει την ισχύ του σύμφωνα με τις ανάγκες του δικτύου. Προϋπόθεση βέβαια των εναλλακτικών λύσεων εισόδου - εξόδου των 15 Υ-Η σταθμών αποτελεί η συνεχής επί 24ώρου βάσεως παραγωγή ενέργειας βάσης από τους Θ-Η σταθμούς. Η ενέργεια αυτή είναι συνήθως λίγο μεγαλύτερη απο το ελάχιστο φορτίο, έτσι που να υπάρχει μια χρονική περίοδος (νυχτερινές ώρες), που η παραγόμενη ενέργεια είναι μεγαλύτερη απο τη ζήτηση. Η παύση μιάς ή δύο μονάδων ε-

νός Θ-Η σταθμού δεν συζητείται φυσικά γιατί ο χρόνος που απαιτείται για την επανέναρξή τους είναι πολύ μεγαλύτερος απο το χρονικό περιθώριο της μειωμένης ζήτησης. Έτσι η ΔΕΗ δίνει το ρεύμα αυτό στην κατανάλωση σε μικρότερες τιμές και βέβαια ακολουθώντας την παγκόσμια τακτική, το εκμεταλλεύεται για τη λειτουργία του μοναδικού μέχρι στιγμής αντλητικού Υ-Η σταθμού της Σφηκιάς. Ο δεύτερος σταθμός αντιστρεπτής λειτουργίας θα είναι του Θησαυρού στον ποταμό Νέστο.

5.- ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΝΕΣΤΟΥ

Το πρόγραμμα αξιοποίησης του υδατινικού δυναμικού του ποταμού Νέστου περιλαμβάνει τρεις Υ-Η σταθμούς με την κατασκευή των αντίστοιχων φραγμάτων Θησαυρού, Πλατανόβρυσης και Τεμένους. Αξίζει να αναφερθεί ότι ο Θησαυρός αρχικά μελετήθηκε σαν Υ-Η σταθμός κανονικής λειτουργίας, με βάση τις διακρατικές συμφωνίες που είχαν γίνει στα μέσα του 1970 μεταξύ Ελλάδας και Βουλγαρίας για υποχρέωση της δεύτερης να αφήνει στην Ελλάδα μια συγκεκριμένη ελάχιστη παροχή. Επειδή όμως η συμφωνία αυτή απο τα δεδομένα που υπάρχουν δεν φάνηκε να τηρείται, αποφασίστηκε για λόγους εξασφάλισης της λειτουργίας η αλλαγή του σταθμού παραγωγής και απο απλής λειτουργίας μελετήθηκε σε αντιστρεπτής ή όπως συνήθως λέγεται σαν αντλητικός Υ-Η σταθμός.



Nestos river project

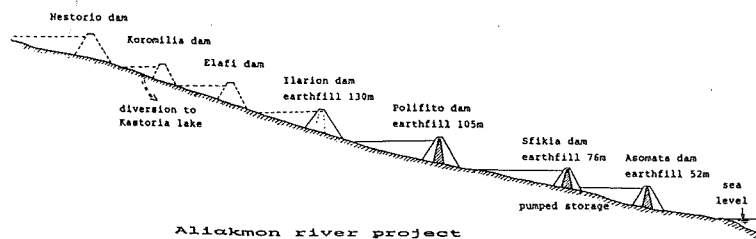
Σχ.2

Για το λόγο αυτό η εργολαβία κατασκευής του Υ-Η σταθμού, που προβλέπεται υπόγειος, δόθηκε μόλις περιου. Η αλλαγή αυτή είχε σαν συνέπεια την αλλαγή των συνθηκών κατάντι και το φράγμα της Πλατανόβρυσης έπρεπε να υψωθεί περισσότερο για να δώσει λίμνη που ο καθρέφτης της θα είχε απόλυτο υψόμετρο μεγαλύτερο από την έξοδο των διωρύγων φυγής. Έτσι άλλαξε και η μελέτη του φράγματος της Πλατανόβρυσης από την ΔΑΥΕ/ΔΕΗ και αποφασίστηκε η κατασκευή ενός πρωτοποριακού έργου από άποψη τεχνολογίας, φράγματος R.C.C. (Rolled Compacted Cement), που η διάρκεια κατασκευής του είναι πολύ μικρότερη από αυτήν των γνωστών χωμάτινων φραγμάτων. Πιστεύεται ότι από τον Μάιο θα αρχίσει η κατασκευή του φράγματος Πλατανόβρυσης και θα τελειώσει μαζί με το έργο του Θησαυρού. Ο Υ-Η σταθμός της Πλατανόβρυσης θα είναι ισχύος 100 MW. Η λειτουργία του συστήματος θα είναι θεωρητικά ανεξάρτητη από την παροχή που θα αφήνει η Βουλγαρία να έρθει στην Ελλάδα μέσω του Νέστου.

Το πρόγραμμα αξιοποίησης του ποταμού Νέστου περιλαμβάνει τέλος κατάντι του φράγματος της Πλατανόβρυσης το φράγμα του Τεμένους που θα είναι σκυρόδετο βαρύτητας, ουσιαστικά για την αναρρόθμιση της παροχής για αρδευτικούς σκοπούς (άρδευση πεδιάδας Καβάλας-Ξάνθης) και παραγωγή δευτερεύουσας ενέργειας ισχύος 27 MW.

6.- ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΑΛΙΑΚΜΩΝΑ

Ο ποταμός Αλιάκμωνας ρέει από δυτικά προς τα ανατολικά και διασχίζοντας τη δυτική-κεντρική Μακεδονία χύνεται στο θερμαϊκό κόλπο με συνολικό μήκος γύρω στα 300 km. Τα Υ-Η έργα Πολυφύτου, Σφηκιάς και Ασωμάτων αποτελούν το βασικό στάδιο υδροηλεκτρικής αξιοποίησης του μέσου ρου του Αλιάκμωνα, ενώ υπάρχει σχεδιασμός για την αξιοποίηση του άνω ρού του ποταμού με τα φράγματα Νεστώριο, Κορομηλιά, Ελάφι, Ι-



Σχ. 3.

λαρίων. Σήμερα έχει αρχίσει η κατασκευή του φράγματος του Ιλαρίωνα που βρίσκεται ανάντι του Πολυφύτου και του μικρού αναρροθμιστικού φράγματος κατάντι των Ασωμάτων.

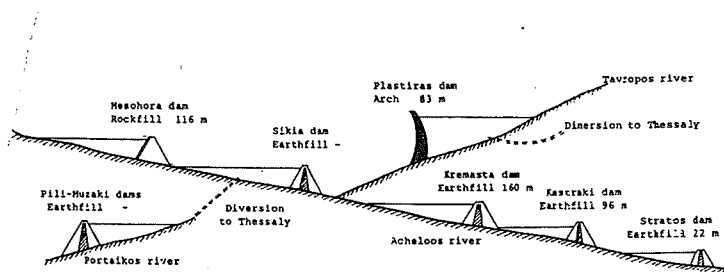
Η αξιοποίηση του Αλιάκμωνα άρχισε το 1972 με το φράγμα του Πολυφύτου, λίγα χιλιόμετρα έξω από την Κοζάνη και του Υ-Η σταθμού του ισχύος 3x120 MW. Κατάντι του Πολυφύτου κατασκευάστηκε το 1980-86 το δίδυμο των φραγμάτων Σφηκιάς και Ασωμάτων. Ο Υ-Η σταθμός της Σφηκιάς εξυπηρετεί την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας με άντληση - αποταμίευση από τον ταμιευτήρα των Ασωμάτων και ονομαστική ισχύ 3x105 MW. Το Υ-Η έργο των Ασωμάτων κατασκευάστηκε στην έξοδο του Αλιάκμωνα από την ορεινή ζώνη στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης και είναι διπλής σκοπιμότητας, ήτοι παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με δύο μονάδες των 54 MW η κάθε μία και άρδευση της πεδιάδας Ημαθίας-Πιερίας-Θεσσαλονίκης.

Στον άνω ρου του Αλιάκμωνα άρχισε ήδη να κατασκευάζεται το φράγμα του Ιλαρίωνα με ύψος 130 m και ισχύ Υ-Η σταθμού 180 MW, που προβλέπεται να τελειώσει το 1998. Στο πρόγραμμα της ΔΕΗ περιλαμβάνονται επίσης τα φράγματα, Νεστωρίου, έργο κεφαλής, η Κορομηλιά μόλις 16 m για την εκτροπή νερού στη λίμνη της Καστοριάς, το Ελάφι και Παληάλωνα, για να φτάσουμε τελικά στον Ιλαρίωνα.

7.- ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΑΧΕΛΩΟΥ

Η αξιοποίηση του υδάτινου δυναμικού του ποταμού Αχελώου άρχισε τη δεκαετία του 60 και η ιδέα ήταν του αείμνηστου καθηγητή του ΕΜΠ Απόστολου Κουτσοκώστα, που από το 1910 μαθητής τότε στην Καρδίτσα αναρωτιόταν γιατί να πηγαίνει χαμένο στη θάλασσα τόσο νερό, τη στιγμή που διψούσε ο κάμπος της Θεσσαλίας. Δική του ιδέα ήταν και η εκτροπή του Αχελώου και ευτύχισε να δει πραγματοποιημένη την πρώτη φάση της εκτροπής με το φράγμα που υλοποίησε ο φίλος και συντοπίτης του στρατηγός Πλαστήρας στον ποταμό Μέγδοβα ή Ταυρωπό, παραπόταμο του Αχελώου. Το έργο αυτό που μελέτησε και κατασκεύασε ένα κονσόρτσιουμ Γαλλικών εταιρειών το 1960 αποτελεί το μοναδικό τοξωτό φράγμα που υπάρχει στην Ελλάδα, ύψους 83 m και Υ-Η σταθμό με 3 τουρμπίνες Pelton συνολικής ισχύος 120 MW. Το νερό από τον Ταυρωπό εκτρέπεται με σήραγγα στην πεδιάδα της Καρδίτσας, όπου αρδεύει περί τα 180.000 στρέμματα, υδρεύει την Καρδίτσα και τις γύρω κοινότητες, ενώ η λίμνη που βρίσκεται σε υψόμετρο 795 m άρχισε ήδη να αξιοποιείται τουριστικά.

Στον κύριο κορμό του ποταμού Αχελώου προβλέπονται συνολικά 5 φράγματα, με πρώτο το φράγμα της Μεσοχώρας, που κατασκευάζεται λιθόρριπτο με μεμβράνη απο σκυρόδεμα (το πρώτο στην Ελλάδα τέτοιου τύπου). Η κατασκευή του άρχισε το 1988 και προβλέπεται να τελειώσει το 1996. Ο Υ-Η σταθμός του θα είναι ισχύος 140 MW και θα βρίσκεται στην έξοδο της σήραγγας μήκους 9 km περίπου στο επίπεδο του ταμιευτήρα της Συκιάς. Παλιότερα πριν αποφασιστεί η εκτροπή παροχής $60 \text{ m}^3/\text{s}$ (αναπροσαρμόζεται και πάλι απο ΥΠΕΧΩΔΕ και ΥΠ.Γεωργίας) απο τον Αχελώο προς τη Θεσσαλία, η ΔΕΗ στον προγραμματισμό της προέβλεπε δύο φράγματα κατάντι της Μεσοχώρας, τη Συκιά και τον Αη-Γιώργη, που όμως τα αντικατέστησε η υψηλή Συκιά, για να διευκολυνθεί η κατασκευή από ευνοϊκότερη θέση της σήραγγας εκτροπής για τη Θεσσαλία. Λόγω της εκτροπής ο Υ-Η σταθμός της Συκιάς έχει μικρή εγκατεστημένη ισχύ 60 MW (αναπροσαρμόζεται). Η κύρια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα γίνεται στην έξοδο της σήραγγας εκτροπής στον Υ-Η σταθμό Πευκόφυτου με εγκατεστημένη ισχύ 160 MW. Απο εκείνο νερο θα διοχετεύεται στο δίδυμο ταμιευτήρα Μουζακίου-Πύλης με δύο αντίστοιχα φράγματα και σήραγγα στον ενδιάμεσο ορεινό όγκο που θα συνδέει τους δύο ταμιευτήρες. Στο Μουζάκι πριν αρχίσει η αναθεώρηση της ποσότητας εκτροπής, προβλέπονταν υψηλό φράγμα και Υ-Η σταθμός ισχύος 270 MW που μάλλον θα περιοριστεί στα 100 MW αφού το ύψος του φράγματος θα μειωθεί αρκετά. Μετά τη Συκιά και μέχρι τις εκβολές του ο Αχελώος έχει ήδη κατασκευασμένα τα φράγματα των Κρεμαστών, Καστρακίου και Στράτου (Σχ.4). Το έργο του Στράτου είναι πολλαπλής σκοπιμότητας και εξυπηρετεί κυρίως λόγους άρδευσης, ενώ ταυτόχρονα παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Στον ταμιευτήρα του προ-



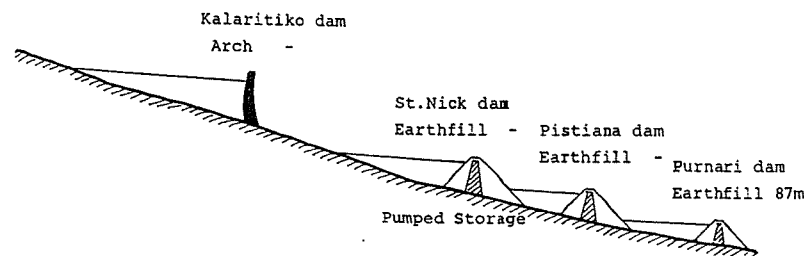
Acheloos river project

Σχ. 4.

βλέπεται να διεξάγονται αγώνες ιστιοπλοίας, κωπηλασίας και άλλων ναυαθλητικών αγωνισμάτων.

8.- ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΑΡΑΧΘΟΥ

Στον ποταμό Αραχθο έχουν μέχρι στιγμής κατασκευαστεί τα έργα του Πουρναρίου (Πουρνάρι Ι και ΙΙ) που ουσιαστικά αποτελούνται απο ένα μεγάλο φράγμα για λόγους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ισχύος 300 MW) και ένα μικρό φράγμα κατάντι για την αναρρύθμιση του νερού για άρδευση, απο το οποίο θα παράγεται μικρή ποσότητα επιπλέον (ισχύς 30 MW). Και στον Αραχθο η σειρά των έργων άρχισε ανάποδα, δηλαδή απο τις εκβολές του ποταμού. Κατά μήκος του ποταμού προβλέπονται πέραν του Πουρναρίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 5 τα φράγματα με τους αντίστοιχους Υ-Η σταθμούς: Πιστιανά, Αγ.Νικόλαος (αντιστρεπτής λειτουργίας) και τα δίδυμα φράγματα Στενό - Καλαρίτικο, που προβλέπονται σκυρόδετα τοξωτά και η κατασκευή τους βρίσκεται υπο συζήτηση, γιατί το κόστος κατασκευής τους είναι υψηλό και η επιβάρυνση στην τιμή της kwh είναι μεγάλη.



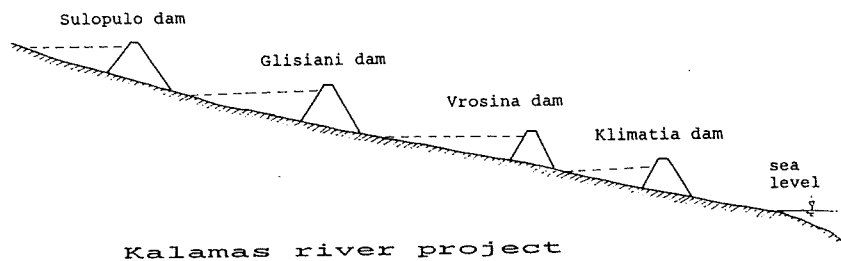
Arachthos River Project

Σχ. 5.

9.- ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΛΛΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ

Εκτός απο τα ολοκληρωμένα σχέδια εκμετάλλευσης που προαναφέρθηκαν υπάρχουν και άλλοι ποταμοί όπως π.χ. ο Καλαμάς στον οποίο δεν έχει κατασκευαστεί ακόμη κανένα φράγμα, προβλέπεται όμως μια σειρά φραγμάτων (σχήμα 6) για την αξιοποίηση του υδατινικού δυναμικού

του. Τα έργα αυτά (Σουλιόπουλο, Γλύζιανη, Βροσίνα, Κληματιά) αξιολογούνται κάτω από τις νέες συνθήκες που διαμορφώνονται στη διεθνή ενεργειακή αγορά.



Σχ. 6.

Στον ποταμό Αώο και κοντά στις πηγές του στο Μέτσοβο, έχουν κατασκευαστεί 5 αυχενικά φράγματα και Υ-Η σταθμός ισχύος 210 MW που εκτρέπει το νερό από τον Αώο στον Μετσοβίτικο ποταμό κοντά στο Βοτονόσι. Πριν ακόμη από την κατασκευή του έργου αμφισβητούνταν η ικανότητα πλήρωσης της λίμνης. Για ενίσχυσή της άρχισε να μελετάται η κατασκευή ταμιευτήρα στη "Βάλλια Κάλντα" που με το θόρυβο που ξεσήκωσαν οικολογικές οργανώσεις και την ευαισθησία της ΔΕΗ σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος, ματαιώθηκε το έργο και αντί αυτού πρόκειται να κατασκευαστεί φράγμα στη Βωβούσα αντλητικό, που θα αντλεί το νερό προς τον ταμιευτήρα των πηγών του Αώου. Τέλος υπάρχουν μεμονωμένες περιπτώσεις φραγμάτων σε μικρότερα ρεύματα κύρια για λόγους αρδευτικούς, που όμως έχουν Υ-Η σταθμούς για παραγωγή δευτερεύουσας ενέργειας (Σμόκοβο).

10.- ΥΔΑΤΙΝΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ

Αναφέρθηκε προηγούμενα ότι τα φράγματα Στενό-Καλαρίτικο στον ποταμό Αραχθο έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής, με αποτέλεσμα το κόστος της kwh που θα παράγουν να είναι απογοητευτικά ψηλό. Αν σκεφθεί κανείς ότι λίγα χιλιόμετρα πιο πέρα βρίσκεται η Αλβανία που μας πουλάει την kwh σε πολύ χαμηλότερη τιμή, τότε γεννιέται το ερώτημα : Γιατί να κατασκευάζουμε έργα υψηλού κόστους και να μην επενδύουμε τα κεφάλαια αυτά σε πιο ποσοδοφόρες επιχειρήσεις;

Το ερώτημα επιδέχεται δύο απαντήσεις εξαρτώμενες από την οπτική γωνία που βλέπει κανείς το θέμα.

Στη ρευστή Βαλκανική πραγματικότητα για να επιβιώσουμε πρέπει να είμαστε ενεργειακά και εθνικά ανεξάρτητοι τουλάχιστον σχετικά με χώρες που αμφισβητούν κυριαρχικά μας δικαιώματα. Ετσι παρόλο που η Αλβανική κίλοβατώρα μας πουλιέται στη μισή τιμή απόσο μας κοστίζει στην Ελλάδα, δεν κρίνεται σκόπιμη η πλήρης εξάρτηση από την Αλβανία. Αυτό μπορεί να γίνει μόνο όμως υπο συνθήκες συνεργασίας και ανταλλαγής τεχνολογίας γεγονός που μειώνει το βαθμό εξάρτησης.

Η άλλη άποψη λέει πως τώρα που δεν υπάρχει ο ψυχρός πόλεμος των μεγάλων, τώρα που πέσανε τα σύνορα (άσχετα ; αν τα δικά μας αμφισβητούνται) είναι αστείο να μιλάμε για εθνική ανεξαρτησία και θα πρέπει να εισάγουμε τη φτηνή ενέργεια αναπτύσσοντας άλλους τομείς τεχνολογίας αιχμής που θα εισάγουν οι άλλες Βαλκανικές χώρες από εμάς. Το θέμα επιδέχεται πολύ συζήτηση και θα είμαι ευτυχής να την κάνουμε μετά το τέλος της εισήγησης.

Το 90% σχεδόν της παραγωγής ενέργειας προέρχεται από τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Οι σταθμοί αυτοί παράγουν ενέργεια καίγοντας είτε στερεά καύσιμα (λιγνίτη και άλλα παράγωγα άνθρακα) που κατά κύριο λόγο προέρχονται από την εξόρυξή τους στην Βόρεια Ελλάδα, είτε υγρά (πετρέλαιο) που εισάγονται και για το λόγο αυτό δαπανώνται εκατομμύρια δολάρια. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ^{με πετρέλαιο} έχει περιοριστεί σημαντικά και στόχος πρέπει να είναι ο μηδενισμός της.

Ο λιγνίτης έχει και θα συνεχίσει να έχει για τα επόμενα χρόνια τεράστια σημασία για την ηλεκτρική οικονομία της χώρας. Το 75 - 80% της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί και πρέπει να παραχθεί με την αξιοποίηση του λιγνίτη έγραψε ο καθηγητής και τώως Γεν Δ/ντής της ΔΕΗ Γ. Γκρός στην Καθημερινή. Τα σημερινά ποσοστά που κατέχει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Θ-Η σταθμούς δείχνουν αυτάρκεια σε ενέργεια βάσης, ανεπάρκεια όμως σε ενέργεια αιχμής. Για την κάλυψη της έλλειψης αυτής, μπορεί προσωρινά να εισάγεται ενέργεια από γειτονικές χώρες με χαμηλή τιμή, μακροπρόθεσμα όμως πρέπει να αναπτυχθεί το εθνικό δίκτυο Υ-Η σταθμών για να καλύπτει, αν όχι επαρκώς, τουλάχιστον όχι ανεπαρκώς τις ανάγκες της Ελληνικής αγοράς. Η εισαγωγή της ενέργειας αιχμής πρέπει να συνδυάζεται με αντίστοιχη εξαγωγή τεχνολογίας αιχμής που κατέχουμε ώστε να μην παρουσιάζονται φαινόμενα εξάρτησης ή οικονομικής αιμορραγίας συναλλάγματος.

Ιδεώδης χώρα για τέτοιου είδους ανταλλαγές είναι η Αλβανία.

Τέλος στην αγορά ενέργειας δεν θα πρέπει να παραβλεφθεί μιά νέα συνιστώσα, που μπήκε στη ζωή μας και είναι η παραγωγή ενέργειας με φυσικό αέριο. Πρέπει δε να τονιστεί ότι οι ανείληπτες υποχρεώσεις κατανάλωσης φυσικού αερίου της χώρας μας, με την έλλειψη υποδομής που υπάρχει για οικιακή και βιομηχανική χρήση δεν αφήνει άλλα περιθώρια παρά μόνο τη χρήση του από τη ΔΕΗ για παραγωγή ενέργειας, μέχρι τουλάχιστον να γίνουν τα απαιτούμενα έργα διανομής και αρχίσει να αυξάνεται η οικιακή και βιομηχανική χρήση του φυσικού αερίου. Η παραγωγή ενέργειας βάσης με φυσικό αέριο οδηγεί στην αναθεώρηση ορισμένων τουλάχιστον Υ-Η σταθμών σε αντιστρεπτής λειτουργίας, ώστε εκμεταλλεύμενοι τη νυχτερινή ενέργεια να δίνεται ενέργεια αιχμής που λείπει.

11.- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάπτυξη των Θ-Η σταθμών με καύση λιγνίτη έχει δώσει ενέργεια βάσης που καλύπτει τις ανάγκες της Ελληνικής αγοράς. Μπορεί όμως με τα νέα στοιχεία της εισαγωγής του φυσικού αερίου να αυξηθεί ακόμη περισσότερο με αυξημένες δυνατότητες παροχής ενέργειας για άντληση νέων Υ-Η σταθμών αντιστρεπτής λειτουργίας και αύξηση έτσι της δυνατότητας κάλυψης των αιχμών. Αυτό προϋποθέτει βέβαια μια νέα ιεράρχηση των προτεραιοτήτων της ΔΕΗ όσον αφορά τους σταθμούς αντιστρεπτής λειτουργίας.

Άμεσης προτεραιότητας κρίνεται η συνέχιση των ιεραρχημένων Υ-Η έργων που ορισμένα είναι ήδη ενταγμένα στα χρηματοδοτούμενα από την Ευρωπαϊκή Ένωση έργα.

Το υδάτινο δυναμικό του ορεινού όγκου της Πίνδου πρέπει να αξιοποιηθεί, ώστε να επιτευχθεί ο στόχος του 25% του θεωρητικά εκμεταλλεύσιμου δυναμικού.

Στο απώτερο μέλλον πιστεύεται ότι θα πρέπει να αξιοποιηθούν όλα τα σημαντικά υδατορεύματα. Βασικό παράγοντα επιτυχίας πιστεύεται ότι θα αποτελέσουν στο μέλλον οι σταθμοί αντιστρεπτής λειτουργίας, ο αριθμός των οποίων πρέπει να αυξηθεί σημαντικά (σε κάθε ποτάμι και ένας).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1.- Γκρός Γ., ΔΕΗ: "Το πρόγραμμα ανάπτυξης" σήμερα... Καθημερινή 19.12.1993
- 2.- Ζηκίδης Θ.-Γιαννούλης Γ. Το φράγμα των Ασωμάτων, πτυχιακή εργασία, ΤΕΙΘ, Θεσ/νίκη 1982
- 3.- Κακουλίδου Ε. "Μη πολιτική" στην ενέργεια, Καθημερινή 19.12.93
- 4.- Μουτάφης Ν. Χωμάτινα φράγματα. Υλικά και θεμελίωσή τους, Μεταπτυχιακό Σεμινάριο Μηχανικής Φραγμάτων, ΤΕΙΘ, Θεσ/νίκη 1989
- 5.- Νικολάου Στ., Μαθήματα Υδροδυναμικών Έργων, Αθήνα 1971
- 6.- Ξανθόπουλος Θ., Ελληνοαλβανική συνεργασία στην ηλεκτρική ενέργεια., Καθημερινή, 19.12.93
- 7.- Σπύρου Γ.-Συμεωνίδης Π., Υδροηλεκτρικό έργο Θησαυρού, πτυχιακή εργασία ΤΕΙΘ, Θεσ/νίκη 1990
- 8.- Στεφανάκος Ι. Ενεργειακός Σχεδιασμός-Λειτουργία Ταμιευτήρων, Σεμινάριο Μηχανικής Φραγμάτων, ΤΕΙΘ, Θεσ/νίκη 1989
- 9.- Τσόγκα Χρ., Φράγματα-Τεχν. Αίτινες, έκδοση ΥΠΕΠΘ, Αθήνα 1982
- 10.- Tsongas C.E., Asomata goes for underground power, International Construction, Vol.22, Nr11, Nov.1983
- 11.- Τσόγκα Χρ., Υδροδυναμικά Έργα, τομος Ι Φράγματα, Εκδ. Ολυμπιάς, Αθήνα 1990
- 12.- Τσόγκα Χρ., Τα φράγματα στην ανάπτυξη του υδάτινου δυναμικού της Ελλάδας, Παν.Ευν. Αγρ.& Τοπ.Μηχ., Θεσ/νίκη 1990

2. ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ

Παρισόπουλος Γεώργιος, Δρ.Πολ.Μηχανικός, Εντεταλμένος Ερευνητής
Ε.Θ.Ι.Α.Γ.Ε., Ι.Γ.Ε.Μ.Κ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι λιμνοδεξαμενές αποτελούν ένα ιδιαίτερο τύπο ταμιευτήρων που κατασκευάζονται εκτός της κοίτης σημαντικών ρεμάτων και σε θέσεις όπου το ανάγλυφο του εδάφους επιτρέπει τη δημιουργία του χώρου ταμίευσης με περιορισμένης έκτασης χωματουργικές εργασίες. Η πλήρωση τους γίνεται με εκτροπή μέρους των απορροών παρα-κειμένων χειμάρρων ή ρεμάτων και μεταφοράς τους στη θέση της λιμνοδεξαμενής. Όταν οι γεωλογικοί σχηματισμοί στη θέση κατασκευής είναι διαπερατοί η στεγανότητα διασφαλίζεται με την τοποθέτηση γεωμεμβράνης. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται ορισμένα κύρια θέματα σχεδιασμού των έργων αυτών που δεν συναντώνται στα μικρά κλασσικά φράγματα και τα οποία αφορούν στον υπολογισμό των ημερήσιων απορροών των ρεμάτων τροφοδοσίας, στη διαστασιολόγηση του τεχνικού υδροληψίας και του αγωγού μεταφοράς και τέλος στη χρήση γεωμεμβράνης και στους ελέγχους ευστάθειας του συστήματος γεωμεμβράνης-εδάφους.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αντιμετώπιση του υδατικού ελλείμματος αποτελεί αναμφίβολα θέμα πρώτης προτεραιότητας σε πολλές περιοχές της χώρας. Μια ενδιαφέρουσα προσπάθεια στην κατεύθυνση αυτή είναι και το πρόγραμμα κατασκευής μικρών εξωποτάμιων ταμιευτήρων ή λιμνοδεξαμενών που έχει αναλάβει το Υπουργείο Γεωργίας, εδώ και τέσσερα περίπου χρόνια, μεταφέροντας στη χώρα μας την αντίστοιχη εμπειρία από την Κύπρο.

Οι βασικές αρχές που διέπουν το σχεδιασμό των έργων αυτών, των οποίων μία τυπική σχηματική διάταξη δίδεται στο Σχ. 1, είναι οι εξής:

α) Συλλέγεται, με μικρής κλίμακας έργο υδροληψίας, η βασική απορροή ρέματος που οδηγείται, με κλειστό συνήθως αγωγό και διά βαρύτητας, στη θέση της λιμνοδεξαμενής. Ο κύριος όγκος των σημαντικών πλημμυρών υπερχειλίζει πάνω από το τεχνικό υδροληψίας και απορρέει κατάντη. Τα παραπάνω καθορίζουν και τη βασική προϋπόθεση για την επιλογή αυτού του τύπου των έργων που είναι η ύπαρξη ρέματος με βασική απορροή ικανής διάρκειας, έστω και μικρής παροχής.

β) Ο χώρος ταμίευσης (λιμνοδεξαμενή) είναι ευνοϊκό να βρίσκεται σε θέσεις που το ανάγλυφο του εδάφους διαμορφώνει φυσικές κοιλότητες, εκτός όμως της κοίτης σημαντικών χειμάρρων ή ρεμάτων, για την αποφυγή κατασκευής δαπανηρών έργων προστασίας. Οι απορροές της λεκάνης ανάντη της θέσης ταμίευσης διοχετεύονται με ανοικτές τάφρους εκτός της λιμνοδεξαμενής. Η εξεύρεση κατάλληλου αναγλύφου έχει ως συνέπεια την επίτευξη καλής σχέσης οφέλιμου όγκου ταμίευσης προς όγκο αναχώματος. Τα γεωλογικά και εδαφοτεχνικά χαρακτηριστικά είναι ευνοϊκά όταν εκτός της απουσίας ρηγμάτων, συνθηκών αστάθειας των φυσικών πρανών κλπ είναι δυνατή η χρησιμοποίηση των προϊόντων εκσκαφής από τη διαμόρφωση του χώρου ταμίευσης, για την κατασκευή του αναχώματος με στόχο την επίτευξη ισοζυγίου ορυγμάτων-επιχωμάτων.

γ) Ο πυθμένας και τα εσωτερικά πρανή των λιμνοδεξαμενών σε θέσεις που οι γεωλογικοί σχηματισμοί δεν διασφαλίζουν την επιθυμητή στεγανότητα επενδύονται με γεωμεμβράνη (πλαστική μεμβράνη υψηλών προδιαγραφών) για τον ουσιαστικό μηδενισμό των απωλειών διήθησης. Η δυνατότητα κατασκευής των λιμνοδεξαμενών σε διαπερατούς σχηματισμούς δίδει μεγάλη ευελξία στο σχεδιασμό τους και επιτρέπει την κατασκευή τους σε περιοχές που παραδοσιακά θεωρούνται απαγορευτικές για την κατασκευή ταμιευτήρων.

Ο τύπος των έργων αυτών προκάλεσε μεγάλο ενδιαφέρον, ενώ από πολλούς θεωρήθηκε πρωτοποριακός. Η ιδέα όμως της κατασκευής μικρών ταμιευτήρων σε λοφώδεις περιοχές, κυρίως για τοπικούς αρδευτικούς σκοπούς, έχει μακρά ιστορία στην Ευρώπη αλλά και στη χώρα μας (Οικονομίδης, 1956; Κωνσταντινίδης, 1984). Τα χαρακτηριστικά και η φιλοσοφία σχεδιασμού

των μικρών τεχνητών λιμνών όπως δίδονται παρακάτω από παλαιότερες εργασίες (Οικονομίδης, 1956) δείχνουν τη συγγένεια αλλά και τις διαφορές τους με τα υπό εξέταση έργα.

"Αι μικραί τεχνηταί λίμναι των λοφωδών εκτάσεων σχηματίζονται δια της κατασκευής χωματινού φράγματος, ύψους 10 μ. περίπου με ευρείαν βάσιν, έχουν χωρητικότητα συνήθως 30.000-60.000 μ³, καταλαμβάνουν έκτασιν 5-15 στρεμμάτων ... Η κυρίως λίμνη έχει πυθμένα σχετικώς επίπεδο, αδιαπέρατο και έδαφος κατάλληλο για την κατασκευή του φράγματος... δεν συνίσταται η κατασκευή τους σε κοίτη φυσικών ρευμάτων που αποτελούν αποδέκτες μεγάλων λεκανών απορροής προς αποφυγή δαπανηρών έργων (υπερχειλιστές κλπ)...είς εδάφη διαπερατά διά την στεγάνωση θα δοκιμασθεί ο μπεντονίτης".

Τα ιδιαίτερα θέματα σχεδιασμού των λιμνοδεξαμενών εκτός από τα συνήθως απαντόμενα σε κάθε είδους φράγμα (καθορισμός μέσης ετήσιας απορροής, πλημμυρικής παροχής σχεδιασμού, υλικά κατασκευής, ευστάθεια πρανών κλπ) είναι:

α) Ο υπολογισμός της δίαιτας των απορροών του ρέματος υδροληψίας.

β) Ο καθορισμός της απολήψιμης ποσότητας.

γ) Η θέση και διαστασιολόγηση του τεχνικού υδροληψίας και του αγωγού μεταφοράς.

δ) Η μορφή και διαστασιολόγηση της λιμνοδεξαμενής που επηρεάζεται σημαντικά από την ευστάθεια του συστήματος γεωμεμβράνη-έδαφος.

Το αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η παρουσίαση και η συνοπτική διερεύνηση των παραπάνω κρίσιμων θεμάτων που καλείται να αντιμετωπίσει ο μελετητής στη φάση σχεδιασμού των έργων αυτών.

2. ΚΡΙΣΙΜΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

2.1 Υδρολογική ανάλυση

Η υδρολογική ανάλυση στοχεύει στον υπολογισμό της δίαιτας των επιφανειακών απορροών του ρέματος υδροληψίας ώστε σε συνδυασμό με τις προβλεπόμενες ανάγκες και την κατανομή της ζήτησης, τις απώλειες εξάτμισης και διήθησης (όταν δεν τοποθετείται γεωμεμβράνη) και τη γεωμορφία της θέσης του έργου, να προκύψει η βέλτιστη αποθηκεύσιμη ποσότητα νερού, αλλά και η βέλτιστη παροχεταιυτικότητα του αγωγού μεταφοράς.

Το γεγονός ότι με τα έργα υδροληψίας δεν συλλέγεται το μεγαλύτερο μέρος του όγκου των πλημμυρικών απορροών του ρέματος αλλά κυρίως η βασική απορροή του είναι ιδιαίτερα σημαντικό. Άμεση συνέπεια αυτού είναι ότι σε περιοχές που είναι γνωστό ή εκτιμάται ότι δεν υπάρχουν αξιόλογες απορροές ικανής διάρκειας (π.χ. μικρά νησιά των Κυκλάδων) οι λιμνοδεξαμενές δε φαίνεται να αποτελούν κατάλληλο τύπο έργων για την αξιοποίηση του επιφανειακού υδατικού δυναμικού των περιοχών αυτών.

Ημερήσιες μετρήσεις απορροών ικανής διάρκειας για την εφαρμογή κάποιου στοχαστικού μοντέλου πρόβλεψης ιδιαίτερα των χαμηλών απορροών δεν αναμένεται να υπάρξουν σε καμία θέση υδροληψίας ενώ στις περισσότερες, αν όχι σε όλες τις περιπτώσεις, δεν θα υπάρχει ούτε μία μέτρηση απορροής. Η χρησιμοποίηση των συνήθων εμπειρικών σχέσεων βροχόπτωσης-απορροής, απλών μοντέλων υδατικού ισοζυγίου ή μεθόδων που βασίζονται στη δημιουργία συνθετικών υδρογραφημάτων απορροής αποτελούν αναπόφευκτα τις προσεγγίσεις που ακολουθούνται στις μελέτες των έργων αν και είναι βέβαιο ότι δεν μπορούν να δώσουν αξιόπιστες προβλέψεις ιδιαίτερα σ' ότι αφορά τη διάρκεια και το μέγεθος των απορροών μικρού μεγέθους.

Είναι ενδιαφέρον να σημειώσουμε επίσης ότι σε άνυδρες περιοχές έχει παρατηρηθεί ότι είναι δύσκολο να υπολογισθούν αποκρίσεις υδρολογικών λεκανών με βάση μετρήσεις απορροών από μεμονωμένα γεγονότα βροχοπτώσεων. Ενδεικτικά μπορεί να αναφερθεί ότι για την εξαγωγή του μοναδιαίου υδρογραφήματος σε περιοχές της Δυτικής Σαουδικής Αραβίας διαπιστώθηκε ότι διαφορετικά γεγονότα βροχόπτωσης οδήγησαν και σε διαφορετικά μοναδιαία υδρογραφήματα (Wheater and Brown, 1989). Στην ίδια έρευνα διαπιστώθηκε διακύμανση του συντελεστή απορροής από 5.9% έως 79.8% για διαφορετικές βροχοπτώσεις. Παρόμοιες υδρολογικές συμπεριφορές είναι πιθανό να υπάρχουν και σε Ελληνικές άνυδρες περιοχές.

Στην Κύπρο από ότι είναι γνωστό (Ιακωβίδης, 1989) για την υδρολογική ανάλυση σε μελέτες αντίστοιχων έργων εφαρμόζουν εδώ και πολλά χρόνια το μοντέλο Mero (Phanartzis, 1972) που είναι μια απλοποιημένη-τροποποιημένη μορφή του Stanford Watershed Model (Linsley et al., 1982) και το οποίο προσομοιώνει τις ημερήσιες απορροές με βάση τις ημερήσιες βροχοπτώσεις. Με την προσέγγιση αυτή επιτυγχάνεται η επέκταση του αρχείου των απορροών για το διάστημα που υπάρχουν

μετρήσεις βροχόπτωσης. Το μοντέλο Mero είναι πολύ καλά ελεγμένο στις συνθήκες της Κύπρου και δίδει αξιόπιστες προβλέψεις για τον ετήσιο όγκο απορροών αλλά και τις ημερήσιες απορροές όταν υπάρχουν μετρήσεις ικανής διάρκειας (10-15 έτη) για την ρύθμιση του.

Η ημερήσια απορροή που υπολογίζεται με βάση το παραπάνω μοντέλο συντίθεται από τέσσερις συνιστώσες. Την επιφανειακή συνιστώσα, τη συνιστώσα του άνω εδαφικού στρώματος (interflow), τη συνιστώσα των πηγών περιοδικής διάρκειας και την συνιστώσα των μονίμων πηγών. Όλες οι συνιστώσες έχουν την μορφή εκροών από αντίστοιχους υποθετικούς "ταμειευτήρες". Η ημερήσια εκκροή από κάθε ταμειευτήρα προκύπτει από αντίστοιχη συναρτήση που έχει συνήθως τη γενική μορφή

$$Q_i = S_i (1 - \exp^{-1/T})$$

όπου Q_i : η εκκροή την ημέρα i

S_i : ο όγκος αποθήκευσης την ημέρα i

T : παράμετρος που η τιμή της προκύπτει από τη ρύθμιση του μοντέλου

Σύμφωνα με το ίδιο μοντέλο, επιφανειακή συνιστώσα απορροής υπάρχει όταν η βροχόπτωση είναι μεγαλύτερη από την εξάτμιση και την μέγιστη δυνατή κατακράτηση από την φυτοκάλυψη και τις εδαφικές ανωμαλίες. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει και η δεύτερη συνιστώσα ενώ ανάλογα με το υπόγειο υδατικό δυναμικό η τρίτη και τέταρτη συνιστώσα. Όταν η βροχόπτωση μείον την εξάτμιση είναι μικρότερη του μέγιστου όγκου κατακράτησης τότε δεν υπάρχει επιφανειακή συνιστώσα ενώ η υπάρχουσα υγρασία καθορίζει την ύπαρξη της απορροής από την άνω εδαφική στρώση. Οι υπόγειοι υδροφορείς αναπληρούνται όταν η εδαφική υγρασία είναι μεγαλύτερη της εδαφοϊκανότητας (field capacity).

Η δόμηση του μοντέλου απαιτεί τη χρησιμοποίηση πολλών παραμέτρων. Η βελτιστοποίηση των τιμών των παραμέτρων γίνεται χωρίς να τίθενται σ' αυτές όρια με φυσική σημασία, επιδιώκοντας αποκλειστικά την καλύτερη σύμπτωση των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων του μοντέλου κατά την περίοδο των βροχοπτώσεων (εξαιρείται η ξηρά περίοδος λόγω των απολήψεων που γίνονται συνήθως την περίοδο αυτή) και σε υπερετήσια βάση. Επιδιώκεται δηλαδή συνολική βελτιστοποίηση για την

περίοδο που υπάρχουν μετρήσεις και όχι σε ετήσια βάση. Συγκεντρωτικά παραδείγματα της συμπεριφοράς του μοντέλου σε μεγάλο αριθμό ταμιευτήρων της Κύπρου δίδονται στην μελέτη του Νότιου Αγωγού Μεταφοράς της Κύπρου (Ministry of Agr. and Natural Resources of Cyprus, 1982). Από τα στοιχεία της μελέτης αυτής προκύπτει μία τάση υπερεκτίμησης των απορροών 2-10 % ενώ σε περιπτώσεις περιορισμένων μετρήσεων οι αποκλίσεις φθάνουν έως και το 50 % παρά την μεγάλη εμπειρία που έχουν στη χρήση του μοντέλου αυτού.

Εφαρμογή του μοντέλου Mero έγινε σε δύο Ελληνικές λεκάνες απορροής (S. Giakoumakis et. al., 1991) αλλά με στοιχεία απορροών περιορισμένης διάρκειας και ελλιπή. Εφαρμογή του Stanford Watershed Model IV με μία μόνο συνιστώσα τροφοδοσίας της απορροής από το υπόγειο δυναμικό έγινε στη λεκάνη απορροής του Ολύνθιου Ν. Χαλκιδικής (εκτάσεως 198.89 Km²) για το υδρολογικό έτος 1972-1973 (Παπαδόπουλος, 1986). Τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά κατά τη φθινοπωρινή εποχή αλλά υπήρξαν σημαντικές αποκλίσεις τις άλλες εποχές. Οι αποκλίσεις του χειμώνα αποδόθηκαν στη μη προσομοίωση της τήξεως του χιονιού, ενώ αυτές της ανοίξεως και του θέρους στο αραιό δίκτυο των βροχομέτρων παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκαν τρεις βροχομετρικοί σταθμοί εντός της λεκάνης και ένας κοντά στα συννορά της. Ο ετήσιος συντελεστής απορροής ήταν 11.6 % βάσει των μετρήσεων και 10.6% βάσει υπολογισθεισών απορροών.

Αποτελέσματα προσομοίωσης απορροών ντετερμινιστικών μοντέλων που βασίζονται σε περιορισμένης διάρκειας στοιχεία και τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη ρύθμιση των παραμέτρων τους θα πρέπει να εκτιμούνται κριτικά. Σημειώνεται ότι επιτυχής προσομοίωση ενός γεγονότος ή σειράς γεγονότων δεν προδικάζει την συνολικά καλή συμπεριφορά κάθε ανάλογου υδρολογικού μοντέλου. Γενικά ο έλεγχος της αξιοπιστίας κάθε μοντέλου πρόβλεψης απορροών απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και την εφαρμογή καθιερωμένων τεχνικών και μεθόδων ελέγχου. Σε αντίθετη περίπτωση είναι αρκετά πιθανόν να υιοθετηθούν αναξιόπιστα αποτελέσματα προσομοιώσεων.

Οι κύριοι περιορισμοί εφαρμογής ανάλογων μοντέλων προέρχονται από τη χαμηλή αξιοπιστία και τη μικρή διάρκεια των μετρήσεων απορροής, εξάτμισης, βροχοπτώσεων και την

πυκνότητα του υδρομετρικού δικτύου. Η δομή και οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως δευτερεύουσας σημασίας περιοριστικοί παράγοντες.

Η εφαρμογή σύγχρονων μοντέλων προσομοίωσης των απορροών με βάση κλιματολογικά και τοπογραφικά στοιχεία της λεκάνης απορροής είναι δυνατό να βοηθήσει, υπό προϋποθέσεις, στη διαστασιολόγηση των έργων ακόμη και στην περίπτωση απουσίας μετρήσεων. Στις περιπτώσεις αυτές η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου από την πληθώρα των διαθέσιμων (Linsley et al., 1982; Shaw, 1983; Ng, 1989) είναι ιδιαίτερα σημαντική. Σε περιοχές που δεν είναι δυνατή η εξεύρεση μετρήσεων η χρησιμοποίηση παραμέτρων από ανάλογες λεκάνες απορροής αποτελεί πολλές φορές αναγκαία προσέγγιση υπό την προϋπόθεση ότι τα αποτελέσματα θα εκτιμηθούν με ιδιαίτερη προσοχή.

Συμπερασματικά είναι δυνατό να υποστηριχθεί ότι στην υδρολογική ανάλυση των έργων υπό εξέταση με δεδομένη την ανυπαρξία μετρήσεων απορροών θα πρέπει να εφαρμόζονται περισσότερες από μία μεθόδους προσδιορισμού των απορροών τα δε τελικά μεγέθη σχεδιασμού να βασίζονται σε μία σύνθεση αυτών μετά από κριτική θεώρηση των επι μέρους αποτελεσμάτων αλλά και στην γενικότερη εμπειρία.

2.2 Έργα Υδροληψίας και Αγωγός Μεταφοράς

Η υδροληψία είναι συνήθως τύπου "Τυρόλου" (E. Razvan, 1989; M. Bouvard, 1992) και αποτελείται από τρία κυρίως μέρη

- α. Υπερχειλιστή
- β. Αγωγό συλλογής
- γ. Δεξαμενή καθίζησης

Τυπικές διατομές ενός έργου υδροληψίας δίδονται στα Σχ. 2α και 2β. Ο σχεδιασμός της υδροληψίας πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά της διαίτας του ρέματος (κατανομή ημερήσιων απορροών, παροχή αιχμής της περιόδου επαναφοράς του σχεδιασμού, στερεοπαροχή) την τοπογραφία και γεωλογία της θέσης, τη συντήρηση των έργων κλπ. Μέτρα προστασίας έναντι διάβρωσης και υποσκαφής ανάντη και κατάντη της υδροληψίας είναι σχεδόν πάντοτε απαραίτητα.

Ένα από τα κρίσιμα θέματα στο σχεδιασμό των έργων αυτών, που καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό την καλή λειτουργία της υδροληψίας, είναι η διαστασιολόγηση της σχάρας του αγωγού συλλογής (διατομή ράβδων, απόσταση μεταξύ τους, μήκος,

κλίση). Τυπικές διατομές σχαρών δίδονται στο Σχ. 3. Ο τύπος (ε) δεν συνίσταται καθότι δεν διευκολύνει τη διέλευση και απομάκρυνση των φερτών. Το μερικό φράξιμο της σχάρας από χαλίκια, κλαδιά, φύλλα και λάσπη είναι όμως αναπόφευκτο σε κάθε έργο αντίστοιχου τύπου. Για το λόγο αυτό συνιστάται να λαμβάνεται μεγάλος συντελεστής ασφαλείας στους υπολογισμούς διαστασιολόγησης της σχάρας αλλά και του αγωγού συλλογής. Η διαστασιολόγηση της δεξαμενής καθίζησης επηρεάζεται από το ελεύθερο άνοιγμα μεταξύ των ράβδων της σχάρας, τα χαρακτηριστικά της στερεοπαροχής, τη συχνότητα καθαρισμού και την επιθυμητή ποιότητα του νερού που μεταφέρεται στη λιμνοδεξαμενή.

Ο αγωγός μεταφοράς του νερού από την υδροληψία στη λιμνοδεξαμενή μπορεί να είναι ανοικτός ή κλειστός, υπό πίεση ή όχι ανάλογα με την γεωμορφία της περιοχής. Τα σενάρια λειτουργίας του πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τόσο τη μέγιστη παροχή όσο και τις μικρές παροχές. Συνήθη προβλήματα στη λειτουργία του σχετίζονται με την απόθεση των λεπτόκοκκων φερτών υλικών στα χαμηλά σημεία της μηκοτομής την εποχή που δεν υπάρχει ροή και τον εγκλωβισμό αέρα. Η μέγιστη παροχή του αγωγού μεταφοράς καθορίζει και τον συντελεστή χρησιμοποίησως της συνολικής απορροής σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά των απορροών.

2.3 Χρήση Γεωμεμβρανών σε Ταμειυτήρες

Ενα ιδιαίτερα ενδιαφέρον μέρος του σχεδιασμού των λιμνοδεξαμενών είναι η χρήση γεωμεμβρανών για τον μηδενισμό (πρακτικά) των απωλειών λόγω διήθησης από τον πυθμένα και τα πρανή της λιμνοδεξαμενής. Η χρήση πλαστικών μεμβρανών σε έργα πολιτικού μηχανικού εμφανίζεται σχετικά πρόσφατα κυρίως στις περιπτώσεις που επιδιώκεται η αποθήκευση υγρών ή στερεών αποβλήτων. Σημαντικό έτος για την ταχύτατη αύξηση της χρήσης γεωμεμβρανών είναι το 1982 όταν ο φορέας περιβαλλοντικής προστασίας (EPA) των ΗΠΑ υιοθετεί την άποψη ότι οι στρώσεις στεγάνωσης στα έργα συγκέντρωσης αποβλήτων πρέπει να "απαγορεύουν" παρά να "ελαχιστοποιούν" την διασπορά των υγρών αποβλήτων. Συνέπεια του γεγονότος αυτού ήταν να αρχίσει η ευρεία χρησιμοποίηση γεωμεμβρανών σε έργα αποθήκευσης υγρών αποβλήτων, χωματερές κλπ.. Σχετικά πρόσφατα γεωμεμβράνες χρησιμοποιούνται και σε φράγματα (Commission Internationale

des Grands Barrages, 1991). Τα θέματα που τίθενται από την χρήση γεωμεμβρανών στις λιμνοδεξαμενές αφορούν κατά συνέπεια περισσότερο στην τεχνοοικονομική ορθότητα της επιλογής και λιγότερο στην τεχνική δυνατότητα εξασφάλισης σχεδόν μηδενικών απωλειών διήθησης.

Για λιμνοδεξαμενές σε σχετικώς αδιαπέρατα εδάφη είναι δυνατόν να κριθεί ότι περιορισμένες απώλειες νερού είναι αποδεκτές. Η εκτίμηση του κόστους κάλυψης των απωλειών διήθησης από άλλες πηγες είναι απαραίτητη στις περιπτώσεις αυτές. Η χρήση μεμβράνης μόνο σε τμήμα του έργου (πχ ανάχωμα) είναι τεχνικά δυνατή. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιείται μία τάφος αγκύρωσης της μεμβράνης στο πόδι του αναχώματος που γεμίζεται με αδιαπέρατο εδαφικό υλικό (Σχ. 4α). Γενικά η χρησιμοποίηση ή μη γεωμεμβράνης πρέπει να εξετάζεται κατά περίπτωση έχοντας πάντοτε υπόψη ότι στα υπό μελέτη έργα δεν γίνεται ταμίευση αποβλήτων. Για παράδειγμα αν θεωρήσουμε ότι μία τεχνική λύση θα συνεπάγετο μια απώλεια 5 % από μιά λιμνοδεξαμενή 500.000 m³ η απώλεια αυτή των 25.000 m³ πιθανόν να είναι αποδεκτή γεγονός που δεν θα ίσχυε με βεβαιότητα αν επρόκειτο για αποθήκευση τοξικών αποβλήτων.

Οι γεωμεμβράνες μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες :

- α) Ημικρυσταλλικές (πχ. HDPE)
- β) Εύκαμπτες (πχ. PVC, VLDPE, CPE, CSPE)
- γ) Οπλισμένες

Η επιλογή του τύπου και των χαρακτηριστικών δεν είναι εύκολη καθώς υπάρχει μεγάλη ποικιλία προϊόντων, εμφανίζονται συνεχώς νέα προϊόντα με καλύτερα χαρακτηριστικά, πλην όμως μη δοκιμασμένα σε έργα, ενώ η εμπειρία των μελετητών και των κατασκευαστών είναι ακόμη περιορισμένη. Γενικά οι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη (Koegner, 1990) είναι τα χαρακτηριστικά του υλικού (χημική σύσταση, αντοχή εφελκυσμού, επιμήκυνση στο όριο διαρροής και θραύσης, αντοχή σε διάτρηση και ψαλιδισμό, γωνία τριβής μεμβράνης-εδάφους κλπ) σε συνδυασμό με τις λοιπές επιλογές σχεδιασμού του έργου όπως η χρήση γεωφασμάτων, η κάλυψη ή μη της μεμβράνης, η κλίση των πρανών, τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος και επιστρώματος, το μέγιστο βάθος νερού κλπ.. Τα θέματα συσκευασίας, διαστάσεων φύλλων, μεταφοράς, τοποθέτησης, συγκολλήσεων, επισκευών είναι επίσης σημαντικά.

Ιδιαίτερα ενδιαφέρον είναι το θέμα του χρόνου ζωής των γεωμεμβρανών. Οι κύριες αιτίες που είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε αστοχία του υλικού με τη πάροδο του χρόνου είναι:

α) Η υπεριώδης ακτινοβολία που καταστρέφει το πολυμερές προκαλώντας ψαθυρότητα και κατά συνέπεια σπασίματα, ρωγμές. Η προσθήκη carbon black σε ποσοστό συνήθως 2-3 % περιορίζει την επίδραση αυτή για όσο χρόνο παραμένει στο υλικό.

β) Αλλοιώσεις από την επίδραση χημικών ουσιών που δεν αναμένονται όμως στα υπο συζήτηση έργα.

γ) Η μεταπήδηση πλαστικοποιητών ή άλλων προσθετικών ουσιών στην ατμόσφαιρα ή το νερό (ισχύει ιδιαίτερα για τις κοινές μεμβράνες PVC).

δ) Η οξείδωση

ε) Η υψηλή θερμοκρασία που αυξάνει την κινητικότητα του πολυμερούς αλλά δημιουργεί και πρόσθετα προβλήματα εντατικών καταπονήσεων με τη συστολή και διαστολή.

στ) Η εντατική καταπόνηση του υλικού σε συνδυασμό με μικροτραυματισμούς.

ζ) Η επίδραση βακτηρίων και μικροοργανισμών.

Ο συνδυασμός των παραπάνω αιτιών και για τις πραγματικές συνθήκες του έργου είναι δύσκολο να προσομοιωθεί στο εργαστήριο με πειράματα γήρανσης. Η εφαρμογή ενός προγράμματος παρακολούθησης της συμπεριφοράς στο χρόνο των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν στα έργα αποτελεί ίσως τον ασφαλέστερο τρόπο προσέγγισης του θέματος αυτού για το μέλλον. Προς το παρόν το θέμα του χρόνου ζωής των γεωμεμβρανών παραμένει στη ουσία του χωρίς απάντηση και η άποψη των R. Koerner et. al. (1991) ότι "γνωρίζουμε τι μπορούν να κάνουν οι γεωμεμβράνες αλλά ακόμη δεν έχουμε μάθει ακριβώς πόσο θα διαρκέσουν" συνοψίζει τους προβληματισμούς στο θέμα αυτό. Εκτιμάται πάντως ότι ο χρόνος ζωής καλής ποιότητας γεωμεμβρανών στα υπόψη έργα θα είναι μεγαλύτερος των 20 ετών.

Αναφερόμενοι στα θέματα του τύπου και των χαρακτηριστικών των γεωμεμβρανών είναι σκόπιμο να επισημάνουμε την ανάγκη ενίσχυσης των κρατικών εργαστηρίων ώστε να είναι δυνατός ένας γρήγορος και αξιόπιστος έλεγχος όλων των ιδιοτήτων των γεωμεμβρανών που τοποθετούνται στα έργα. Η χρήση των υλικών

αυτών σε εγγειοβελτιωτικά έργα αναμένεται να είναι σημαντική στο μέλλον λόγω της λειψυδρίας αλλά και της ανάγκης συντήρησης των παλαιών έργων (διώρυγες, δεξαμενές κλπ).

2.4 Επίδραση των Γεωμεμβρανών στο Σχεδιασμό των Έργων

Η τοποθέτηση της γεωμεμβράνης απαιτεί την κατασκευή υποστρώματος από λεπτόκοκκα υλικά. Η κάλυψη ή όχι της γεωμεμβράνης με εδαφικό υλικό (ελάχιστο πάχος 30cm) κυρίως για την προστασία της από την ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί πολύ σημαντική επιλογή. Οι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι η οικονομία του έργου (αρχικό κόστος, εκτιμώμενος χρόνος ζωής), η ασφάλεια από ηθελημένες ή τυχαίες φθορές και ακραία κλιματικά γεγονότα, η επίδραση στην αισθητική της περιοχής, τα θέματα συντήρησης και παρακολούθησης της λειτουργίας, η επίδραση σε άλλες παραμέτρους σχεδιασμού (κλίση πρανών, συστήματα αγκύρωσης) κλπ. Από τους παραπάνω παράγοντες αρκετοί είναι δύσκολο να προσδιορισθούν ποσοτικά.

Το εδαφικό υπόστρωμα και επίστρωμα απαιτείται να αποτελείται από υλικά που δεν θα προξενήσουν διάτρηση της μεμβράνης. Στο Σχ. 4β δίδεται μία τυπική διατομή του συστήματος στεγάνωσης. Η χρησιμοποίηση γεωμεμβράνης δεν τροποποιεί τους γεωτεχνικούς ελέγχους που επιβάλλονται από τον χαρακτήρα των έργων (αναλύσεις ευσταθείας, υπολογισμός καθιζήσεων κλπ). Στους ελέγχους ευστάθειας έναντι ολίσθησης των πρανών δεν είναι σκόπιμο να λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη της μεμβράνης. Τα σενάρια ελέγχου της ευστάθειας του κυρίως αναχώματος συμπεριλαμβάνουν και την περίπτωση πλήρους αστοχίας της μεμβράνης για τους ίδιους λόγους.

Η ασφάλεια έναντι ολίσθησης της εδαφικής στρώσης (ή στρώσεων) που καλύπτει τη μεμβράνη υπό όλες τις πιθανές συνθήκες (διακύμανση στάθμης νερού, ισχυρή βροχόπτωση) καθορίζει συνήθως την κλίση των εσωτερικών πρανών του έργου. Σε περιπτώσεις που το υλικό του υποστρώματος είναι διαφορετικό από αυτό του επιστρώματος έλεγχος ολίσθησης πρέπει να γίνονται και για την διεπιφάνεια υποστρώματος-γεωμεμβράνης. Η γωνία τριβής μεταξύ εδάφους-γεωμεμβράνης πρέπει να καθορίζεται πειραματικά για τα υλικά κάθε έργου καθώς η σχετική βιβλιογραφία και εμπειρία είναι περιορισμένη. Η επαρκής συμπίεση της στρώσεως επικάλυψης συμβάλλει

αποφασιστικά στην ευσταθείας της (Στυλιανού, 1986). Σε περίπτωση χρήσης γεωϋφάσματος κάτω ή πάνω από την μεμβράνη (Σχ. 5) επιβάλλεται ο υπολογισμός ευστάθειας σε ολίσθηση στην διεπιφάνεια των δύο υλικών.

Η ικανότητα της μεμβράνης στην παραλαβή των διαφορικών καθιζήσεων και τοπικών καθιζήσεων αποτελεί σημαντικό κριτήριο για την επιλογή της. Η ασφάλεια της αγκύρωσης της μεμβράνης στη στέψη του αναχώματος επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση του άκρου της σε τάφρο η οποία γεμίζει στη συνέχεια με εδαφικό υλικό. Η τοποθέτηση πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις διαφορικές καθιζήσεις στην περιοχή των ενώσεων με άκαμπτες κατασκευές και τις συστολές και διαστολές λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών που μπορεί να είναι σημαντικές. Ενδεικτικά μπορεί να αναφερθεί ότι σε ένα πρανές μήκους 30.0 m για θερμοκρασιακή μεταβολή 50 °C η αναμενόμενη μεταβολή είναι της τάξεως των 30cm.

Η επίδραση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα ιδιαίτερα όταν βρίσκεται κοντά ή πάνω από τη στάθμη εκσκαφής πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό του έργου. Στις περιπτώσεις υψηλής υπόγειας στάθμης απαιτείται η κατασκευή συστήματος στράγγισης που να εξασφαλίζει τον έλεγχο της υπόγειας στάθμης (Σχ. 6). Η δυνατότητα εκτόνωσης του αέρα από τα άνω τμήματα των επενδεδυμένων πρανών με ειδικές αλλά απλές συσκευές αποτελεί επίσης στοιχείο ενός καλού σχεδιασμού. Η ελαφρά κλίση του πυθμένα και η παρουσία των στραγγιστηρίων βοηθά στην εκτόνωση του αέρα.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η κατασκευή μικρών εξωποτάμιων ταμειωτήρων αποτελεί μία ενδιαφέρουσα δυνατότητα για την επίλυση υδατικών αναγκών σε τοπική κλίμακα. Ο σχεδιασμός των έργων παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον σ' ό,τι αφορά τον καθορισμό της απολήψιμης ποσότητας από το ρέμα τροφοδοσίας, την διαστασιολόγηση του έργου υδροληψίας και του αγωγού μεταφοράς και τέλος την επίδραση και τους πρόσθετους ελέγχους που επιβάλλει η χρήση γεωμεμβράνης.

Η υδρολογική μελέτη των έργων παρουσιάζει στην πράξη μεγάλα προβλήματα λόγω έλλειψης μετρήσεων απορροών. Σύγχρονες μέθοδοι υπολογισμού των απορροών με χρήση υδρολογικών μοντέλων σε συνδυασμό με τις κλασσικές μεθόδους είναι

επιβεβλημένο να εφαρμοσθούν ώστε τα έργα να μην εξαρτώνται από την "επιτυχή πρόβλεψη" του συντελεστού απορροής και τα αυθαίρετα σενάρια κατανομής των απορροών. Οι μετρήσεις απορροών μικρού μεγέθους πρέπει να τύχουν ιδιαίτερης προσοχής καθώς επίσης και η πυκνότητα του βροχομετρικού δικτύου. Προς το σκοπό αυτό θα ήταν δόκιμο να επιδιωχθεί η συλλογή πλήρων και αξιόπιστων στοιχείων τουλάχιστον για αντιπροσωπευτικές υδρολογικά περιοχές της επικράτειας. Εγκατάσταση υδρομετρικών σταθμών στα υπό κατασκευή έργα υδροληψίας θα δώσει τη δυνατότητα εκτίμησης της λειτουργίας των έργων μετά την κατασκευή τους.

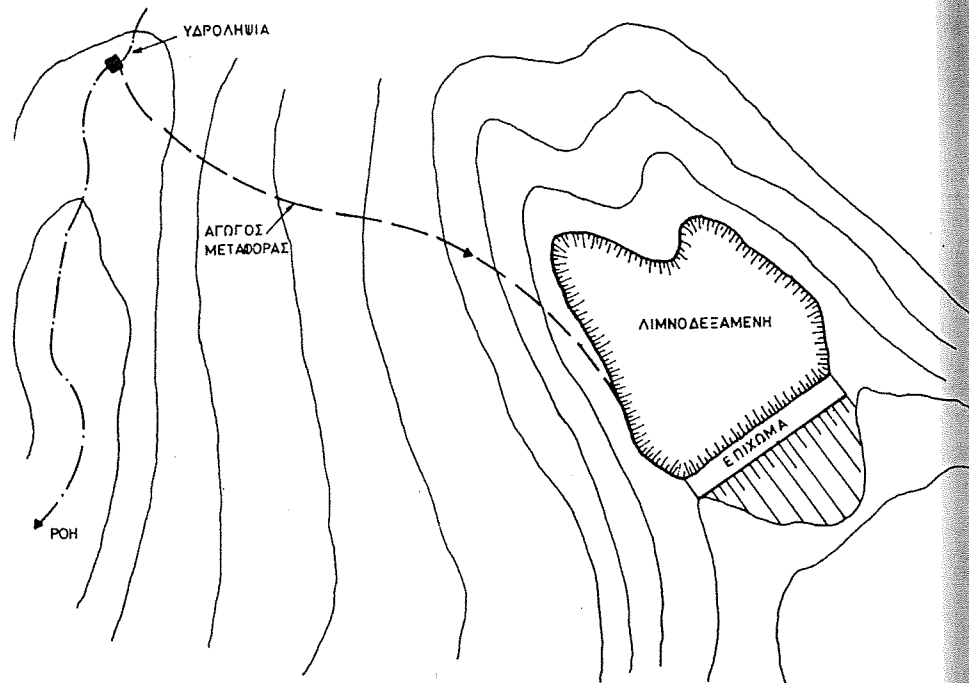
Η συμπεριφορά των γεωμεμβρανών στα έργα απαιτείται να αξιολογείται συνεχώς και με συστηματικό τρόπο. Τα αποτελέσματα μιας ανάλογης προσπάθειας από το Υπουργείο Γεωργίας θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στο μέλλον καθώς υπάρχει μία τάση αύξησης της χρησιμοποίησης των υλικών αυτών και στα εγγειοβελτιωτικά έργα. Το γεγονός ότι χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα γεωμεμβράνες χωρίς ιδιαίτερη εμπειρία τονίζει την ανάγκη να παρακολουθούνται οι εξελίξεις σε υλικά και τεχνικές έγκαιρα.

Γενικά οι λιμνοδεξαμενές παρουσιάζουν ενδιαφέροντα στοιχεία σχεδιασμού και μερικά πλεονεκτήματα έναντι των κλασσικών φραγμάτων. Η κατασκευή τους είναι βέβαιο ότι θα βοηθήσει στην αντιμετώπιση του ελλείμματος υδάτινων πόρων σε τοπική κλίμακα υπό την προϋπόθεση ότι ο σχεδιασμός τους θα αντιμετωπίζει με πληρότητα τα κρίσιμα προβλήματα σχεδιασμού τους.

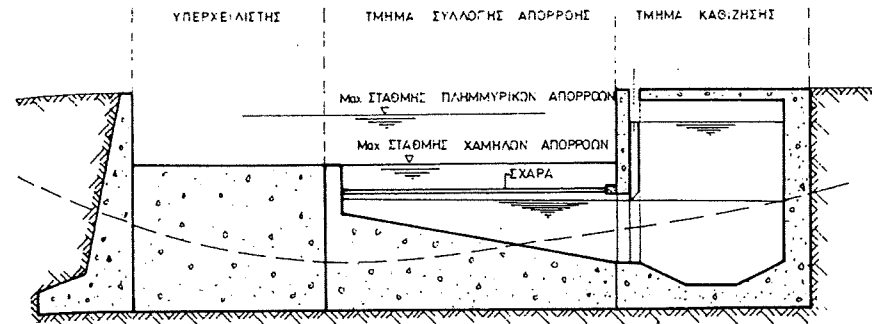
Βιβλιογραφία.

- Ιακωβίδης Ι., 1989, Προσωπική επικοινωνία.
- Κωνσταντινίδης Αγ. Κ., 1984, Λιμνοδεξαμενές Αρδεύσεως σε Λοφώδεις Γεωργικούς Εκμεταλλεύμενες Εκτάσεις, Γεωπονικά, τ. 302, Θεσ/νίκη.
- Οικονομίδης, Π., 1956, Μικράι Τεχνηταί Λιμναι επί Λοφωδών Εκτάσεων, Δελτίο Τεχνικών Πληροφοριών Υπουργείου Γεωργίας, Αθήνα.
- Παπαδόπουλος, Α., 1986, Πρόβλεψη των παροχών του χειμάρρου Ολύθιου Ν. Χαλκιδικής με χρήση υτετερμινιστικού υδρολογικού μοντέλου, Διπλωματική Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας, Σχολή Γεωτεχνικών Επιστημών, Α.Π.Θ., Θεσ/νίκη.
- Στυλιανού, Ν. Π., 1986, Οι χωμάτινες δεξαμενές του σχεδίου ενιαίας αγροτικής ανάπτυξης, Σεμινάριο συνεργασίας Ελλάδας-Κύπρου στο γεωργικό τομέα, Λευκωσία.
- Bouvard, M., 1992, Intakes on Sediment Transporting Rivers, Balkema, Rotterdam.
- Commission Internationale des Grands Barrages, 1991, Watertight Geomembranes for Dams, Bulletin 78, ICOLD, Paris, France.
- Giakoumakis, S., G. Tsakiris and D. Efremides, 1991, On the rainfall-runoff modelling in a mediterranean island environment, Advances in Water Resources Technology, G. Tsakiris (ed.), Balkema, Rotterdam.
- Koerner, R. M., 1990, Designing with Geosynthetics, (2nd ed.), Prentice-Hall Inc., New Jersey, U.S.A.
- Koerner, R. M., Y. Halse-Hsuan and A. E. Lord, 1991, Long-term Durability of Geomembranes, Civil Engineering, April, 56-58.
- Linsley, R. K., M. A. Kohler and J.L.H. Paulhaus, 1982, Hydrology for engineers, pp 339-355, McGraw-Hill, Tokyo.
- Ministry of Agr. and Natural Resources of Cyprus, 1982, Southern conveyor project, Feasibility study, Vol. 2, Surface water resources, Department of water development, Nicosia.
- Ng H.Y.F., 1989, Integration of Hydrologic Models for simulation related to irrigation development, Proc. Int. Conf. "Irrigation theory and practice", Un. of Southampton, Pentech Press, London.

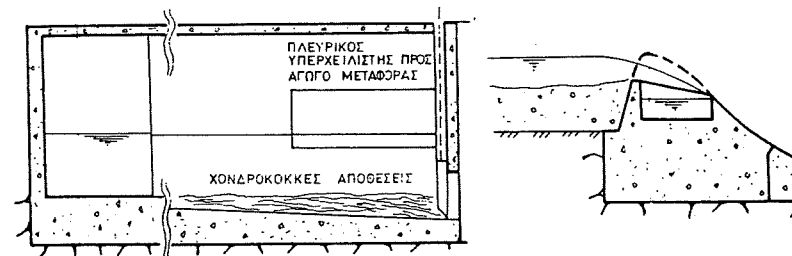
- Phanartzis, G. A., 1972, Simulation of watershed runoff in the Morphou-Tylliria area, A.G.L.S.F./CYP513, Technical Report WDD, Nicosia, Cyprus.
- Razvan, E., 1989, Riner Intakes and Diversion Dams, Elsevier, Amsterdam.
- Shaw, E. M., 1983, Hydrology in Practice, Von Nostrand Reinhold, U.K.
- Wheater, H.S. and R.P.C. Brown, 1989, Limitations of design hydrographs in arid areas - an illustration from south west Saudi Arabia, British Hydrological Society, 2nd National Symposium, Sheffield, U.K.



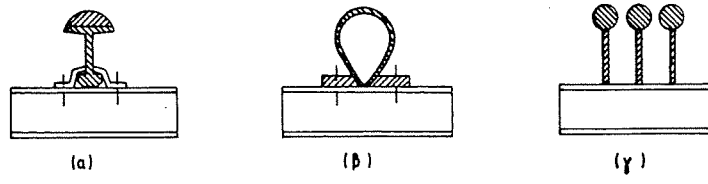
Σχήμα 1. Τυπική σχηματική διάταξη έργων υδροληψίας, αγωγού μεταφοράς και λιμνοδεξαμενής.



Σχήμα 2α. Τυπική κατά πλάτος τομή έργου υδροληψίας (Razvan, 1989).



Σχήμα 2β. Τυπικές τομές υπερχειλιστού (με αγωγό συλλογής) και δεξαμενής καθίζησης (Razvan, 1989).

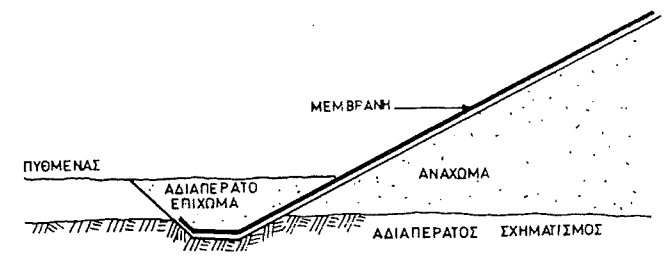


(α) (β) (γ)

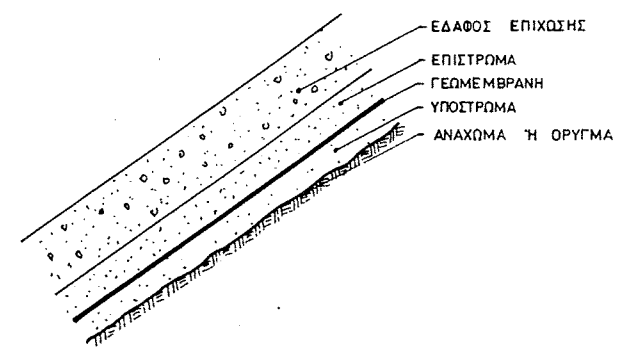


(δ) (ε)

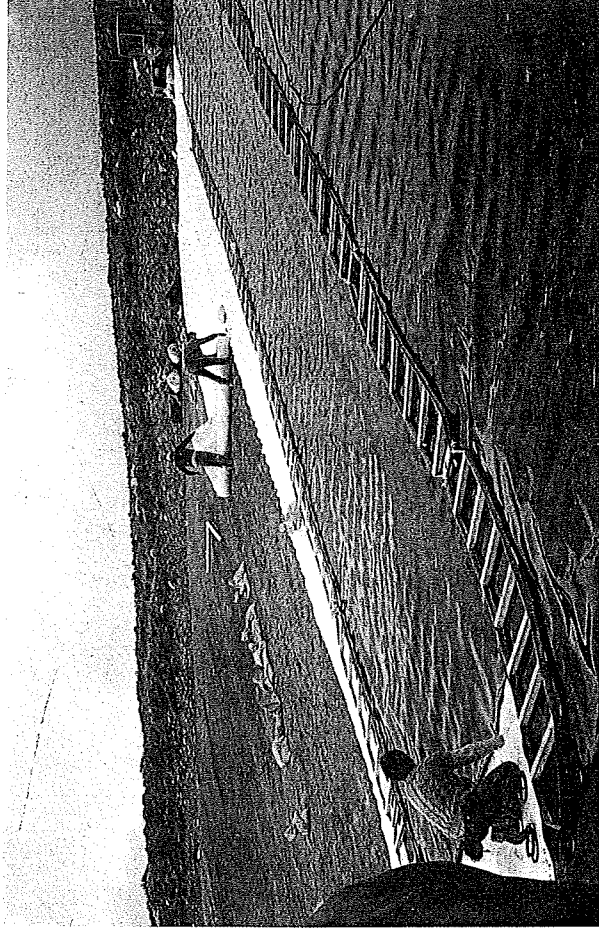
Σχήμα 3. Τυπικές διατομές σχαρών αγωγών συλλογής απορροής.



Σχήμα 4α. Τρόπος αγκύρωσης γεωμεμβράνης στο πόδι αναχώματος.



Σχήμα 4β. Τυπική διάταξη συστήματος στεγάνωσης με μεμβράνη.



Σχήμα 5. Διάστρωση ακάλυπτης γεωμεμβράνης πάνω σε γεώφασμα.



Σχήμα 6. Σύστημα στράγγισης λιμνοδεξαμενής.

ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

Παρισόπουλος Γεώργιος, Δρ.Πολ.Μηχανικός, Εντεταλμένος Ερευνητής
Ε.Θ.Ι.Α.Γ.Ε., Ι.Γ.Ε.Μ.Κ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται εμπειρίες που αποκτήθηκαν από την μέχρι σήμερα μελέτη και κατασκευή των λιμνοδεξαμενών. Η επιλογή της θέσης αποτελεί τον πλέον καθοριστικό παράγοντα για την απρόσκοπτη κατασκευή, λειτουργία και αξιοποίηση κάθε σχετικού έργου. Τα θέματα που αφορούν στη διαμόρφωση του χώρου ταμίευσης δεν παρουσιάζουν ουσιαστικές ιδιαιτερότητες από αντίστοιχα έργα πολιτικού μηχανικού. Η επιλογή του τύπου της γεωμεμβράνης, η τοποθέτηση της και οι ποιοτικοί έλεγχοι στο εργοτάξιο και το εργαστήριο, αποτελούν κρίσιμα θέματα για την επίτευξη της στεγανότητας. Το κόστος ανά μονάδα όγκου αποθήκευσης παρουσιάζει σύμφωνα με τις μελέτες μεγάλο εύρος διακύμανσης.

1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΗΣ

Η ορθή επιλογή της θέσης της λιμνοδεξαμενής, ιδιαίτερα όταν η μελέτη ολοκληρώνεται σε ένα στάδιο, αποτελεί τον πλέον καθοριστικό παράγοντα για την χωρίς προβλήματα ολοκλήρωση του έργου και την επιτυχή αξιοποίησή του. Τα δεδομένα που οφείλονται να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή της θέσης είναι όλα όσα επηρεάζουν το τεχνικό μέρος του έργου αλλά και όσα σχετίζονται με την ένταξη του στο κοινωνικό και φυσικό περιβάλλον της περιοχής. Τα συνήθη προβλήματα που συνδέονται με την επιλογή της θέσης μιας λιμνοδεξαμενής αφορούν:

i) Την γεωμορφία και τα γεωλογικά-εδαφοτεχνικά χαρακτηριστικά της θέσης.

Η εξεύρεση φυσικών κοιλοτήτων κατάλληλων για τη δημιουργία του χώρου ταμίευσης, όπως στην περίπτωση της πρώτης πιλοτικής λιμνοδεξαμενής στους Μυτιληνιούς Ν. Σάμου (Σχ. 1), δεν είναι πάντοτε δυνατή. Η τεχνική δυνατότητα διαμόρφωσης χώρου ταμίευσης σε οποιαδήποτε θέση θεωρητικά, με δεδομένη τη μη απαίτηση ύπαρξης αδιαπέρατων σχηματισμών, είναι δυνατόν να οδηγήσει σε ιδιαίτερα δαπανηρά έργα. Θέσεις ταμίευσης μέσα στην ευρύτερη κοίτη πλημμυρών χειμάρρων παρουσιάζουν πάντοτε την ανάγκη κατασκευής δαπανηρών έργων προστασίας. Στις περιπτώσεις αυτές, που αρκετές φορές περιλαμβάνουν και εκτροπή της κυρίως κοίτης, παρουσιάζεται το παράδοξο φαινόμενο να επιλέγεται ένας τύπος έργου που αποφεύγει δαπανηρές κατασκευές υπερχειλίσης που βασίζονται σε υπολογισμούς ακραίων γεγονότων και ταυτόχρονα να τοποθετείται το έργο αυτό σε θέση που απαιτεί έργα προστασίας σχεδιασμένα για ακραία γεγονότα απορροής.

Η δυνατότητα στεγάνωσης της θέσης ταμίευσης δεν πρέπει να υποβαθμίζει και να περιορίζει τις προσπάθειες για εξεύρεση κατάλληλων θέσεων σε αδιαπέρατους σχηματισμούς. Η δαπάνη των πρόσθετων γεωτεχνικών ερευνών που απαιτούνται στις θέσεις αυτές για την επιβεβαίωση της στεγανότητας αποτελεί μικρό ποσοστό (συνήθως μικρότερο του 10%) του κόστους στεγάνωσης με γεωμεμβράνη. Η καταλληλότητα των προϊόντων εκσκαφών στη θέση ταμίευσης για την κατασκευή του κυρίως αναχώματος αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα για λόγους οικονομίας αλλά και κοινωνικούς-περιβαλλοντικούς καθώς αποφεύγεται ή περιορίζεται η δημιουργία δανειοθαλάμων. Οι προπαρασκευαστικές εργασίες πριν τη δημοπράτηση των έργων για την απαλλοτρίωση των δανειοθαλάμων όταν αυτοί απαιτούνται είναι εξίσου αναγκαίες με αυτές του χώρου κατάκλυσης για την αποφυγή καθυστερήσεων κατά την κατασκευή αλλά και αλλαγών στον προϋπολογισμό του έργου. Το θέμα της εξεύρεσης κατάλληλων και επαρκών υλικών για την κατασκευή του αναχώματος (σώμα και φίλτρα) και των προστατευτικών στρώσεων της μεμβράνης αν και ιδιαίτερα σημαντικό δεν αντιμετωπίζεται πάντα με την ανάλογη προσοχή.

ii) Την ανακατανομή του υφιστάμενου υδάτινου δυναμικού.

Κάθε ταμιευτήρας νερού έχει σαν αποτέλεσμα την αλλαγή του υπάρχοντος καθεστώτος εκμετάλλευσης του υδάτινου δυναμικού της περιοχής του. Οι λιμνοδεξαμενές είναι έργα μικρής

κλίμακας που από άποψη γεωργικής αξιοποίησης αντιστοιχούν σε επίπεδο κοινότητας αφού κατά το πλείστον δύνανται να καλύψουν τις ανάγκες άρδευσης 500-2.000 στρ.. Η αναδιανομή των υδατικών πόρων που συνεπάγεται ένα τέτοιο έργο είναι επιθυμητό να μην προκαλεί αρνητικές μεταβολές σε βάρος μεμονομένων χρηστών. Εντονες αντιθέσεις παρουσιάζονται για τους ίδιους λόγους και μεταξύ μικρών οικισμών που ανήκουν ακόμη και στην ίδια κοινότητα. Η εκπόνηση της προκαταρκτικής μελέτης (κατ' ελάχιστον) του δικτύου άρδευσης ταυτόχρονα με τη μελέτη του ταμιευτήρα δίδει πληρέστερη εικόνα της τελικής αξιοποίησης της περιοχής των έργων και μπορεί να λειτουργήσει με την κατάλληλη διάταξη του δικτύου υπέρ της άρσης τυχόν αντιρρήσεων μέρους των κατοίκων για την κατασκευή του έργου.

iii) Το ανθρωπογενές και φυσικό περιβάλλον

Κατά την επιλογή της θέσης της λιμνοδεξαμενής η προς αξιοποίηση έκταση πρέπει να εξετάζεται όχι μόνο ως προς την γεωργική, τουριστική ή άλλη καταλληλότητα και δυναμική της αλλά και ως προς το ιδιοκτησιακό της καθεστώς. Έργα τα οποία αξιοποιούν εκτάσεις που ανήκουν σε λίγους ιδιοκτήτες δεν συναντούν ευρύτερη κοινωνική αποδοχή. Οι προς απαλλοτρίωση εκτάσεις του χώρου ταμίευσης και των δανειοθαλάμων είναι αξιόλογο ποσοστό της αξιοποιήσιμης γεωργικής έκτασης λόγω του μικρού μέσου οφέλιμου βάθους νερού στις λιμνοδεξαμενές. Κατά συνέπεια η αξία τους είναι σημαντικό να μην είναι υψηλή τόσο για οικονομικούς αλλά και για κοινωνικούς λόγους. Εντονες αντιδράσεις παρουσιάζονται επίσης όταν οι ιδιοκτήτες των περιοχών που απαλλοτριώνονται δεν συμπεριλαμβάνονται μεταξύ αυτών που οφελούνται από την κατασκευή του έργου.

Οι επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον λόγω της μικρής κλίμακας των έργων δεν αποτελούν συνήθως σημαντικό περιοριστικό παράγοντα. Η επιλογή όμως θέσεων κοντά σε οικισμούς έχει αρνητικές ψυχολογικές επιδράσεις που συνδέονται με ζητήματα ασφάλειας. Η μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων όταν εκπονείται έγκαιρα και με σοβαρότητα και δεν αντιμετωπίζεται σαν χωρίς σημασία τυπική διαδικασία, γεγονός που δυστυχώς αποτελεί τον κανόνα στα περισσότερα έργα υποδομής, είναι δυνατόν να βοηθήσει ουσιαστικά στην ομαλή ένταξη των έργων στο ανθρωπογενές και φυσικό περιβάλλον. Σε κάθε περίπτωση καθοριστικός παράγοντας για την κοινωνική

αποδοχή και απόδοση των έργων είναι να υπάρχει πραγματική ανάγκη για ενίσχυση του υφιστάμενου υδάτινου δυναμικού και τα έργα να μην αποτελούν σχεδιασμούς επί χάρτου επιτελικών οργάνων.

2. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΓΕΩΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

Η τοποθέτηση της μεμβράνης απαιτεί την κατασκευή υποστρώματος από λεπτόκοκκο υλικό που να μην περιέχει οργανικά, πάχους συνήθως 15 cm. Η βάση του υποστρώματος πρέπει να είναι καλά συμπυκνωμένη χωρίς απότομες αλλαγές κλίσεων. Οι κλίσεις (συνήθως 1:3 έως 1:4) είναι συνάρτηση του εδαφικού υλικού και του τύπου της γεωμεμβράνης. Στον Πίνακα 1 δίδονται σχετικά βιβλιογραφικά στοιχεία (Koerner, 1990) για διάφορα υλικά και εδάφη. Τα παραπάνω στοιχεία είναι ενδεικτικά και ο τελικός σχεδιασμός πρέπει να βασίζεται σε πειραματικές μετρήσεις. Στον Πίνακα 2 δίδεται η αντιστοιχία διαφόρων κλίσεων και γωνιών τριβής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Γωνία τριβής μεταξύ διαφόρων τύπων γεωμεμβρανών και εδαφών

| Τύπος Εδάφους (c,φ)** | Τύπος Γεωμεμβράνης | | |
|-------------------------|--------------------|-----------|----------------|
| | PVC(c,φ)* | HDPE(c,φ) | HDPE tex.(c,φ) |
| Άμμος Ottawa(0,28) | | (0,18) | |
| Άμμος Σκυροδεμ.(0,30) | (0,25) | (0,18) | |
| Συνεκτικό ML-CL (9,38) | (8.5,39) | (5,26) | (9,35) |
| Συνεκτικό CL-ML (12,34) | (3.7,23) | (2,23) | (11,29) |
| Συνεκτικό CL (20,30) | (14,16) | (14,15) | (18,27) |
| Συνεκτικό SP-CH (25,24) | (7,24) | (3,21) | (15,26) |
| Συνεκτικό CL-SP (28,22) | (12,17) | (14,15) | (16,25) |

** Χαρακτηριστικά εδάφους (c σε kN/m², φ σε μοίρες)

* Μεταξύ εδάφους και γεωμεμβράνης

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Αντιστοιχία κλίσεων πρανών και γωνιών τριβής.

| Κλίση (Οριζ./Κατακ.) | 2.5:1 | 3:1 | 3.5:1 | 4:1 | 5:1 |
|-----------------------|-------|------|-------|-----|------|
| Γωνία τριβής (μοίρες) | 21.8 | 18.4 | 15.9 | 14 | 11.3 |

Οι κλιματικές συνθήκες κατά την διάσπρωση είναι ευνοϊκό να είναι ήπιες. Διάσπρωση σε θερμοκρασία μικρότερη των 5 °C και μεγαλύτερη των 40 °C δεν συνιστάται (NSF 54-1991). Η ένταση του ανέμου δεν θα πρέπει να εμποδίζει τη σωστή διάσπρωση των φύλλων και το καθάρισμα των επιφανειών συγκόλλησης. Ισχυροί άνεμοι είναι δυνατόν να προκαλέσουν εκτεταμένες ζημιές αν ανασηκώσουν και μετατοπίσουν την μεμβράνη. Για την προσωρινή στερέωση χρησιμοποιούνται μικροί σάκκοι άμμου, ελαστικά αυτοκινήτων ή σωροί από το υλικό επίστρωσης. Σε έργα που δεν προβλέπεται επικάλυψη με έδαφος απαιτείται να λαμβάνονται μόνιμα μέτρα προστασίας. Η βροχή επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα της συγκόλλησης που δεν επιτρέπεται να γίνεται όταν οι επιφάνειες προς συγκόλληση είναι βρεγμένες. Σε κάθε περίπτωση κατά την συγκόλληση πρέπει να ακολουθούνται πιστά οι οδηγίες του εργοστασίου κατασκευής της μεμβράνης (π.χ. Gundle, 1993). Εντονες βροχοπτώσεις κατά την διάρκεια τοποθέτησης του εδαφικού επιστρώματος είναι δυνατόν να προκαλέσουν την ολίσθηση του και για το λόγο αυτό συνιστάται η έγκαιρη ολοκλήρωση (συμπεριλαμβανομένης της καλής συμπύκνωσης) των εργασιών επικάλυψης. Προβλήματα από βροχοπτώσεις παρουσιάστηκαν και στο πρώτο πιλοτικό έργο (Ντουνιάς κ.α., 1992).

Η παρεμβολή άκαμπτων κατασκευών, συνήθως από σκυρόδεμα, στην επιφάνεια προς στεγάνωση πρέπει να περιορίζεται κατά το δυνατόν καθώς η στεγανή σύνδεση τους με τη μεμβράνη απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Το έδαφος και το υπόστρωμα κοντά στις κατασκευές αυτές πρέπει να συμπυκνώνεται με επιμέλεια για την αποφυγή σημαντικών διαφορικών καθιζήσεων ενώ και η διατομή των κάτω κατασκευών θα πρέπει να συμβάλλει στον περιορισμό απότομων μεταβολών στις αναμενόμενες καθιζήσεις.

3. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Οι προδιαγραφές της γεωμεμβράνης κάθε έργου πρέπει να είναι συμβατές με τον τύπο του υλικού. Στους Πίνακες 3 και 4 δίδονται ενδεικτικά όρια τιμών διάφορων χαρακτηριστικών των ευρέως χρησιμοποιούμενων υλικών PVC (Χλωριούχο Πολυβινίλιο), HDPE (Πολυαιθυλένιο Υψηλής Πυκνότητας), VLDPE (Πολυαιθυλένιο Πολύ Χαμηλής Πυκνότητας) ενώ παρουσιάζονται επίσης αποκλίσεις μεταξύ προδιαγραφών αναγνωρισμένων οργανισμών των ΗΠΑ. Οι διαφορές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 επισημαίνουν και

την αναγκαιότητα διαμόρφωσης ίδιας άποψης των φορέων εκτέλεσης των έργων. Όπως είναι αναμενόμενο οι προδιαγραφές δεν προτείνουν τις ίδιες δοκιμές για όλα τα υλικά.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Ενδεικτικές διαφορές μεταξύ προδιαγραφών του ASTM D 3083 και του NSF 54 για μεμβράνες από PVC

| Ιδιότητα | ASTM 3083 | | NSF 54 | |
|-----------------------------|-----------|--------|----------|--------|
| | 0.5mm | 0.75mm | 0.5mm | 0.75mm |
| 1. Απόκλιση Πάχους (max) | - 5 % | | - 5 % | |
| 2. Ειδικό βάρος (min) | 1.2 | | | |
| 3. Εφελκυσμός (min, θραύση) | 2000 psi | | 2300 psi | |
| 4. Επιμήκυνση θραύσης(min) | 250 % | | 325 % | |
| 5. Απώλεια στο νερό(max) | 0.35 % | | 0.25 % | |
| 6. Απώλεια πτητικών(max) | 1.0 % | | 0.9 % | 0.7 % |
| 7. Διαστασ. σταθερότητα | ± 5 % | | ± 5 % | |

4. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το σχεδιασμό των δειγματοληψιών για τον ποιοτικό έλεγχο των γεωμεμβρανών είναι το κόστος δειγματοληψίας, η ταχύτητα δειγματοληψίας, ο χρόνος δειγματοληψίας και ο επιθυμητός βαθμός αξιοπιστίας της δειγματοληψίας. Ανάλογα με τους παραπάνω περιοριστικούς παράγοντες διαμορφώνεται το τελικό πρόγραμμα δειγματοληψίας. Τα δείγματα είναι σκόπιμο να λαμβάνονται από τους ρολούς που προσκομίζονται στον τόπο του έργου πριν από την έναρξη των εργασιών τοποθέτησης της μεμβράνης. Η τοποθέτηση πρέπει να αρχίζει μετά τα αποτελέσματα τουλάχιστον των δοκιμών που δεν απαιτούν πολύ χρόνο για την εκτέλεση τους (μηχανικές αντοχές, πάχος, πυκνότητα κλπ).

Το κριτήριο αποδοχής ή απόρριψης ενός υλικού αναφέρεται στον ελάχιστο μέσο όρο ρολού της κάθε μιας παραμέτρου που ελέγχεται. Οι τιμές των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των υλικών που δίδονται από τα ενημερωτικά έντυπα των εταιρειών αναφέρονται σχεδόν πάντα στο μέσο όρο παραγωγής και δεν είναι σκόπιμο να συγκρίνονται με τα όρια των προδιαγραφών ενός έργου για την κατ' αρχήν αποδοχή των υλικών. Αμεση σύγκριση είναι δόκιμη μόνο όταν οι εταιρίες δίδουν αποτελέσματα ελέγχων της παρτίδας που παραδίδουν στο έργο.

Η δειγματοληψία πρέπει να γίνεται από κάθε παρτίδα που προσκομίζεται στον τόπο του έργου. Σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται υλικά από δύο ή περισσότερες παρτίδες θα πρέπει να σημειώνεται το μέγεθος κάθε παρτίδας και η θέση τοποθέτησης της στο έργο. Κάθε δειγματοληψία πρέπει να γίνεται εις διπλούν ώστε να δίδεται η δυνατότητα επανάληψης των δοκιμών σε περίπτωση αμφισβήτησης των αποτελεσμάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Τμήμα των προδιαγραφών του NSF 54 για μεμβράνες από PVC, HDPE και VLDPE πάχους 0.75 mm (30 mils)

| Ιδιότητα | PVC | HDPE | VLDPE |
|--|----------|----------------------|----------|
| 1. Πάχος (min) | - 5 % | - 10 % | - 10% |
| 2. Ειδικό βάρος (min) Πυκνότητα (g/cm ³) | 1.2 | 0.94 | |
| 3. Εφελκυσμός (min, θράυση) Εφελκυσμός (min, διαρροή) | 2300 psi | 3800 psi 2100 psi | 3200 psi |
| 4. Επιμήκυνση θραύσης | 325 % | 560 % | 625 % |
| 5. Απώλεια στο νερό | 0.25 % | | |
| 6. Απώλεια πτητικών | 0.7 % | | |
| 7. Διαστασ. σταθερότητα | ± 5 % | ± 2 % | ± 3 % |
| 8. Περιεκτ. Carbon Black | | 2-3 % | 2-3 % |
| 9. Ρηγμάτωση από περιβαλ- λοντική καταπόνηση (min hrs χωρίς αστοχία) | | 1500 | |
| 10. Αντίσταση ψαλιδισμού(min) | 8 lbs | 20 lbs | 12 lbs |
| 11. Αντοχή διάτρησης(min) | | 36 lbs | 39 lbs |

Ο αριθμός των δειγμάτων που λαμβάνεται ανά έργο είναι συνάρτηση του μεγέθους του. Σύμφωνα με την προδιαγραφή ASTM D4354-89 ο αριθμός των δειγμάτων ανάλογα με το μέγεθος του έργου δίδεται στον Πίνακα 5 ενώ η προδιαγραφή ASTM D-3083 προτείνει να λαμβάνεται ένα δείγμα ανά 10.000 yd² (8.361 m²). Οι δύο προδιαγραφές για τα συνήθη μεγέθη των έργων 40.000 - 80.000 m² δίδουν συγκρίσιμα αποτελέσματα. Για παράδειγμα σε ένα έργο με επιφάνεια κάλυψης 50.000 m² η πρώτη προσέγγιση δίδει 5 δείγματα ενώ η δεύτερη 6.

Κάθε δείγμα πρέπει να έχει πλάτος όσο το πλάτος του ρολού παράδοσης (Barry, 1985) και μήκος 1.00 - 1.50 m ανάλογα με το υλικό και κατά συνέπεια τον αριθμό και είδος των δοκιμών.

Ενδεικτική σχηματική διάταξη των θέσεων λήψης δοκιμών από ένα δείγμα δίδεται στο Σχ. 2. στο οποίο τα διάφορα σχήματα αντιστοιχούν σε διαφορετικό είδος δοκιμής (π.χ ο κύκλος σε έλεγχο εφελκυσμού, το τετράγωνο σε έλεγχο διάτρησης κλπ). Ο αριθμός των επαναλήψεων των δοκιμών ανά δείγμα ανά ελεγχόμενο χαρακτηριστικό όταν δεν προσδιορίζεται από την προδιαγραφή δοκιμής δεν είναι σκόπιμο να είναι μικρότερο από 3 και συνιστάται να είναι μεταξύ 5-10. Σε περιπτώσεις δοκιμής του δεύτερου δείγματος, για τα χαρακτηριστικά που απέτυχε το πρώτο δείγμα, ο αριθμός των επαναλήψεων μίας δοκιμής είναι σκόπιμο να είναι μεγαλύτερος της αρχικής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Αριθμός δειγμάτων ανά επιφάνεια κάλυψης

| Αριθμός μονάδων δείγματος* | Αριθμός δειγμάτων |
|----------------------------|-------------------|
| 1 - 2 | 1 |
| 3 - 8 | 2 |
| 9 - 27 | 3 |
| 28 - 64 | 4 |
| 65 - 125 | 5 |
| 126 - 216 | 6 |
| 217 - 343 | 7 |
| 344 - 512 | 8 |
| 513 - 729 | 9 |
| 730 - 1000 | 10 |

* Αριθμός μονάδων δείγματος = (Επιφάνεια (m²) / 500 m²). Η τιμή των 500 m² μπορεί να διαφέρει εάν ορίζεται διαφορετικά στα συμβατικά τεύχη του έργου.

Ο γενικός τύπος που δίνει τον αριθμό των δειγμάτων είναι:

$$\text{Αριθμός Δειγμάτων} = (\text{Αριθμός μονάδων δείγματος})^{1/3}$$

Μία ορθότερη προσέγγιση για τον καθορισμό του αριθμού των δοκιμών ανά ελεγχόμενο χαρακτηριστικό βασίζεται στη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Εάν είναι επιθυμητό η μέση τιμή των δοκιμών ενός ελεγχόμενου χαρακτηριστικού να είναι ± 5% κοντά στην πραγματική μέση τιμή με όριο εμπιστοσύνης 95% τότε ο αριθμός των δοκιμών (Barry, 1985) δίδεται από την εξίσωση:

$$N = 0.11 v^2$$

όπου N : ο αριθμός των δοκιμών

v : ο συντελεστής παραλλακτικότητας

(v = τυπική απόκλιση/μέσος όρος)

Επειδή ο συντελεστής παραλλακτικότητας δεν είναι εκ των προτέρων γνωστός μπορεί να ακολουθείται η εξής επαναληπτική διαδικασία:

i) Γίνεται αρχικά ένας αριθμός δοκιμών (ελάχιστος 3)

ii) Υπολογίζεται ο συντελεστής παραλλακτικότητας με βάση τα αποτελέσματα.

iii) Υπολογίζεται ο αριθμός N των δοκιμών από την εξίσωση (1). Εάν ο αριθμός αυτός είναι σημαντικά μεγαλύτερος των πραγματοποιηθέντων δοκιμών εκτελείται πρόσθετος αριθμός δοκιμών (έως 10 συνυπολογιζόμενων των αρχικών δοκιμών).

Η λογική της παραπάνω προσέγγισης βασίζεται στο γεγονός ότι τα υλικά που παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις στις τιμές των χαρακτηριστικών τους πρέπει να ελέγχονται με μεγαλύτερο αριθμό δειγμάτων για να υπάρχει αντίστοιχου επιπέδου βεβαιότητα στα αποτελέσματα με υλικά που δεν παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση στις τιμές των χαρακτηριστικών τους.

Οι ενώσεις ελέγχονται κατά κύριο λόγο στο πεδίο σύμφωνα με τις προδιαγραφές του εργοστασίου παραγωγής. Ο αριθμός των δειγμάτων για τον έλεγχο των ενώσεων στο εργαστήριο προκύπτει από το συνολικό μήκος των ενώσεων διά ενός χαρακτηριστικού μήκους (max 1 δείγμα/150 m ένωσης).

5. ΚΟΣΤΟΣ ΕΡΓΩΝ

Το πραγματικό αρχικό κόστος κάθε έργου γίνεται γνωστό μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής και την παραλαβή του. Την περίοδο αυτή δεν έχει ολοκληρωθεί η κατασκευή πολλών λιμνοδεξαμενών και για τον λόγο αυτό τα υπάρχοντα στοιχεία κόστους αφορούν προϋπολογισμούς μελετών. Στο Σχ. 3 δίδονται στοιχεία κόστους, σύμφωνα με προϋπολογισμούς μελετών (Δ/νση Τεχνικών Μελετών & Κατασκευών, Υπ. Γεωργίας, 1993), λιμνοδεξαμενών και μικρών φραγμάτων. Στις τιμές δεν συμπεριλαμβάνεται:

i) Η αμοιβή της μελέτης (Υδραυλική, Γεωτεχνική, Γεωλογική, Περιβαλλοντική, Τοπογραφικών)

ii) Η δαπάνη των απαλλοτριώσεων

iii) Η έκπτωση της δημοπρασίας, οι Συγκριτικοί Πίνακες και οι Νέες Τιμές Μονάδας

Από τα στοιχεία του Σχ. 3 προκύπτει μία σημαντική διακύμανση του κόστους ανά m^3 αποθηκευμένου νερού για έργα ίδιου μεγέθους. Οι διαφορές αυτές οφείλονται σε αντικειμενικούς παράγοντες που σχετίζονται με το κάθε έργο (μήκος και διάμετρος αγωγού μεταφοράς, φύση εδάφους κλπ) αλλά και σε υποκειμενικές επιλογές των μελετητών.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

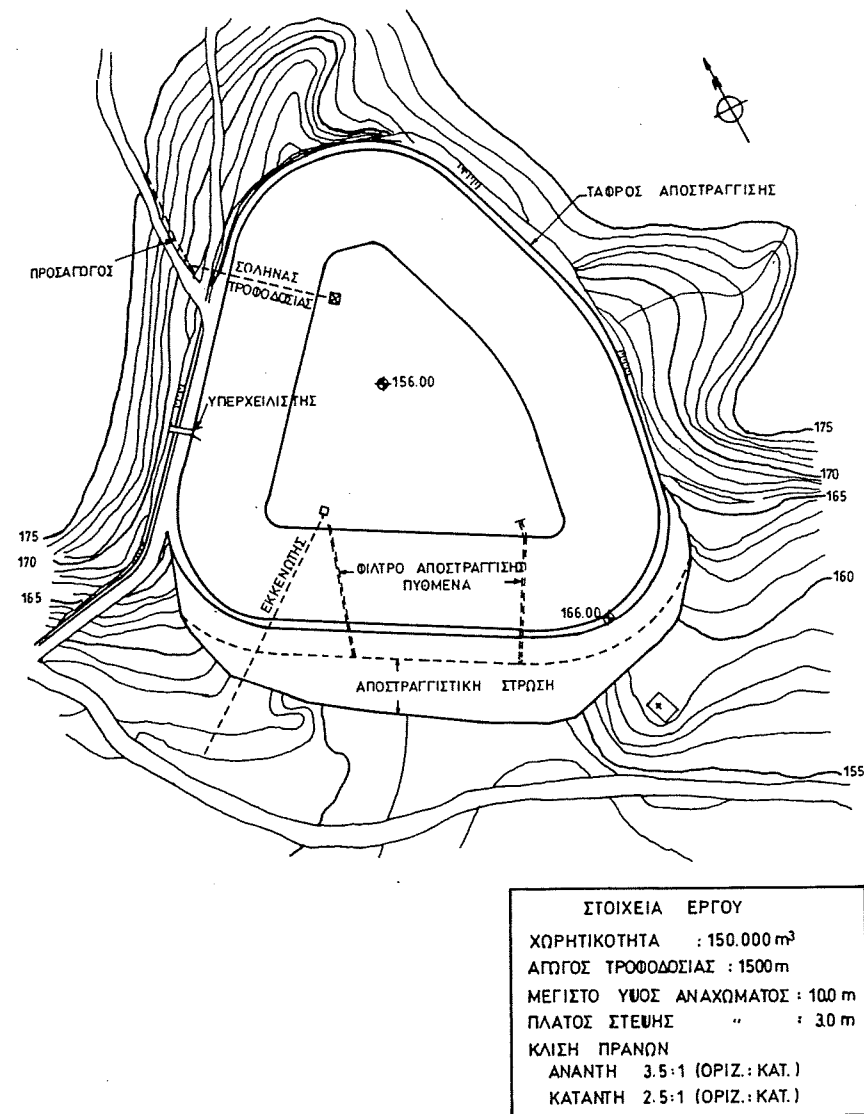
Η πρόοδος του προγράμματος κατασκευής λιμνοδεξαμενών και μικρών φραγμάτων του Υπουργείου Γεωργίας συσσωρεύει πληθώρα πολύτιμων εμπειριών για όλα τα θέματα του σχεδιασμού των έργων αυτών. Με την ολοκλήρωση της κατασκευής και την έναρξη λειτουργίας τους θα υπάρξει πρόσθετη πληροφόρηση σχετική με την συνολική συμπεριφορά των έργων. Η εμπειρίες αυτές είναι σκόπιμο να καταγραφούν και να αξιολογηθούν έγκαιρα. Το όφελος από μία τέτοια προσπάθεια θα είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τον τεχνικό κόσμο που ασχολείται με παρόμοια έργα αλλά και για την χώρα γενικότερα.

Ευχαριστίες

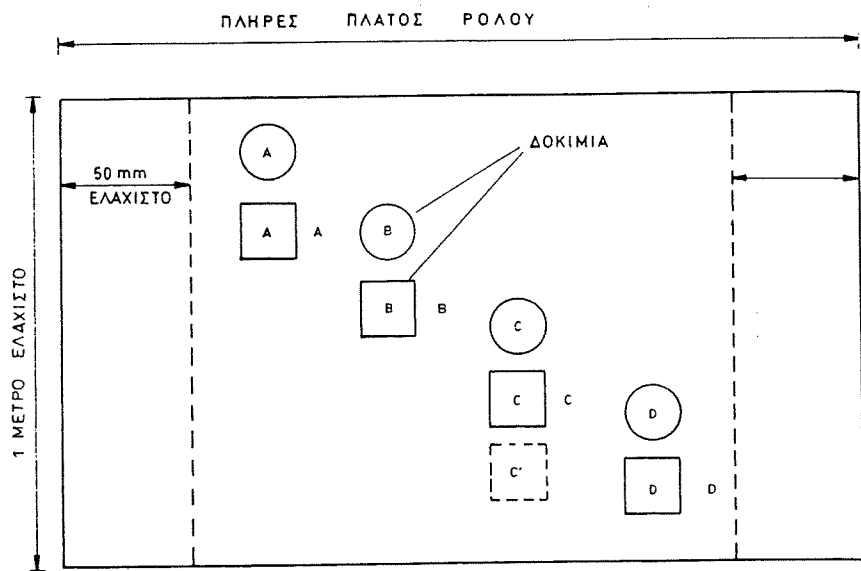
Ο συγγραφέας επιθυμεί να ευχαριστήσει τους συναδέλφους της Δ/νσης Τεχνικών Μελετών & Κατασκευών για την παροχή στοιχείων και τις γόνιμες συζητήσεις σε θέματα μελέτης και κατασκευής των έργων.

Βιβλιογραφία

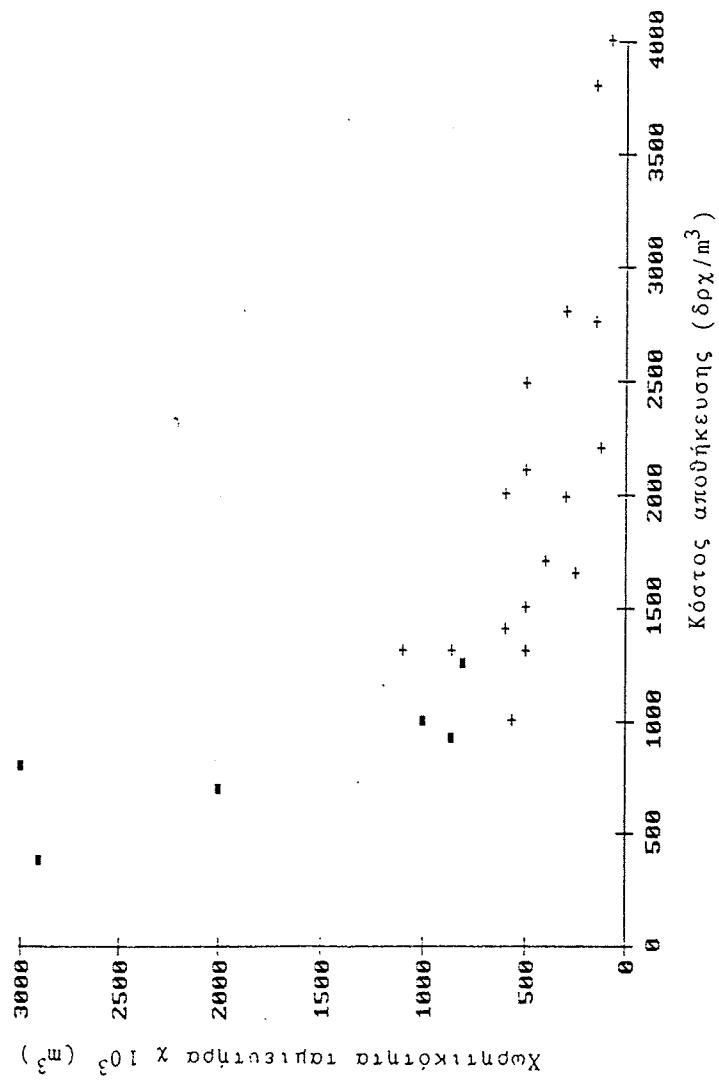
- ASTM D 4354-89 Standard Practice for Sampling of Geosynthetics for Testing.
- ASTM D 3083-89 Standard Specification for Flexible PVC Plastic Sheeting for Pond, Canal and Reservoir Lining.
- Barry R. Christopher and R.D. Holtz, 1985, Geotextile Engineering Manual, Federal Highway Administration, National Highway Institute, Washington D.C., USA.
- Gundle Lining Construction Corp, 1993, Quality Assurance Manual for the Installation of Flexible Membrane Lining Systems.
- Koerner M. Robert, 1990, Designing with Geosynthetics, Prentice-Hall, Englewood, N.J., USA.
- NSF Standard 54, 1991, Flexible Membrane Liners, Ann Arbor, Michigan, USA.
- Δ/ση Τεχνικών Μελετών και Κατασκευών Υπ. Γεωργίας, 1993, Προσωπική επικοινωνία.
- Ντουνιάς Γ., Σ. Κωστόπουλος & Σ. Καβουνίδης, 1992, Γεωτεχνικά Προβλήματα στην Κατασκευή της Εξωποτάμιας Λιμνοδεξαμενής Μυτιληνίων Σάμου, Πρακτ. 2^{ου} Πανελληνίου Συνέδριου Εδαφομηχανικής, Θεσ/νίκη, 93-100.



Σχήμα 1. Γενική διάταξη λιμνοδεξαμενής Μυτιληνίων Σάμου.



Σχήμα 2. Τρόπος λήψης δοκιμίων από δείγμα μεμβράνης.



Σχήμα 3. Αρχικό κόστος αποθήκευσης νερού σε λιμνοδεξαμενές και μικρά φράγματα (στοιχεία από μελέτες Υπ. Γεωργίας).

**3. ΜΟΡΦΕΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ
ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΕΣ**

ΧΩΜΑΤΙΝΑ-ΛΙΘΟΡΡΙΠΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ. ΕΙΔΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ

Θανόπουλος Ιωάννης, Πολ.Μηχανικός ΔΕΗ, Ing. Hydraulicien, Dr.Ing. I.N.P.
Grenoble

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα φράγματα, έργα που έχουν σκοπό την συγκράτηση νερού, είναι σημαντικές κατασκευές με ιδιαίτερες απαιτήσεις στον τομέα της ασφάλειας. Η μελέτη και κατασκευή τους είναι πεδία στα οποία τα τελευταία χρόνια βρίσκουν εφαρμογή νέες μέθοδοι και δοκιμάζονται καινούργια υλικά, πολλά εκ των οποίων δεν έχουν αποδείξει την καλή συμπεριφορά τους σε γήρανση.

Τα αποτελέσματα αστοχίας ενός φράγματος, η οποία συνήθως προκαλείται από έναν ή πολλούς δυσμενείς παράγοντες (έντονες βροχοπτώσεις, σεισμός, γρήγορος καταβιβασμός στάθμης, κ.λ.π.) είναι πάντοτε σοβαρά και συχνά τραγικά. 142 περιπτώσεις αστοχίας σε φράγματα άνω των 12m είχαν καταγραφεί (1) το 1987 από την ειδική Επιτροπή της ICOLD (Διεθνής Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων) οφειλόμενες αιτίες όπως η υπερπήδηση, η εσωτερική διάβρωση, η ολίσθηση πρανούς, κ.α.

Ο μελετητής και ο κατασκευαστής ενός φράγματος άνω των 12m στην Ελλάδα έχει να λάβει σοβαρά υπόψη του όλες τις οικονομικές, τεχνικές και συχνά καταστροφικές συνέπειες από ενδεχόμενη αστοχία που στην περίπτωση μας καθίσταται πιο πιθανή εάν προσθέσει κανείς στους άλλους παράγοντες & αυτούς της σεισμικότητας και της έλλειψης τεχνικής υποδομής - κανονισμών και εμπειρίας από πλευράς των μηχανικών - κατασκευαστών και της πλειονότητας των αρμοδίων φορέων.

Η έντεχνη και οικονομική κατασκευή ενός φράγματος στην χώρα μας είναι μία σύνθετη δραστηριότητα που όπως απεδείχθει μπορεί να πραγματοποιηθεί με τις δυνατότητες που έχουν τα Ελληνικά κατασκευαστικά χέρια, αρκεί προς αποφυγή δυσάρεστων καταστάσεων, να γίνονται σεβαστές μερικές θεμελιώδεις για την πληρότητα της κατασκευής αρχές:

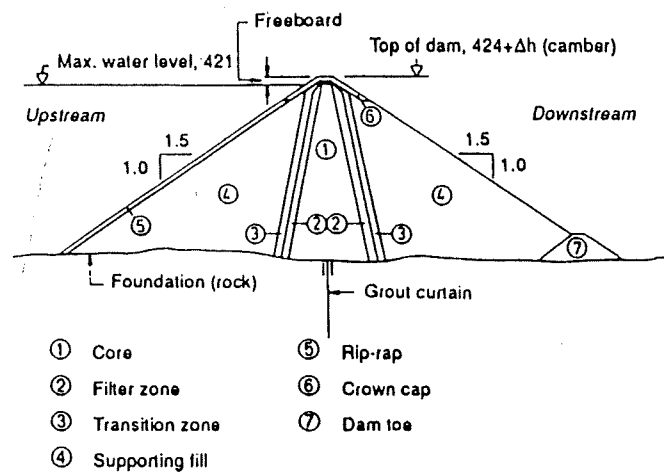
- α) Η μελέτη πρέπει να είναι σύμφωνη προς τα διεθνώς ισχύοντα πρότυπα και κανονισμούς. Ο μελετητής πρέπει να έχει την τεχνική κατάρτιση ώστε να αξιοποιήσει υπεύθυνα την διεθνή και Ελληνική εμπειρία στον τομέα (συνεργασία με συμβούλους, συνέδρια, βιβλιογραφία, κ.λ.π.), παράλληλα δε θα πρέπει να σχεδιάζει το έργο έχοντας κατά νου τις κατασκευστικές δυνατότητες και περιορισμούς στην πράξη.

- β) Η κατασκευή θα πρέπει να γίνεται από ειδικευμένο Εργολάβο, με σχετική εμπειρία, υπό την στενή παρακολούθηση της επίβλεψης. Η τελευταία θα πρέπει να απαρτίζεται από έμπειρους τεχνικούς με συνεχή παρουσία στο έργο, οι οποίοι θα εργάζονται εφαρμόζοντας τις αρχές της μελέτης & τις τεχνικές προδιαγραφές, σε συνεργασία με τον μελετητή.
- γ) Ο οργανισμός που θα παραλάβει το έργο προς εκμετάλλευση πρέπει να ενημερωθεί για την κατασκευή του και κυρίως να μπορεί να παρακολουθεί τα καταγραφικά όργανα που έχουν εγκατασταθεί με σκοπό την ασφαλή λειτουργία του. Θα αναλαμβάνει επίσης την εκτέλεση εργασιών συντήρησης και επισκευής εάν απαιτηθεί.

2. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

2.1. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

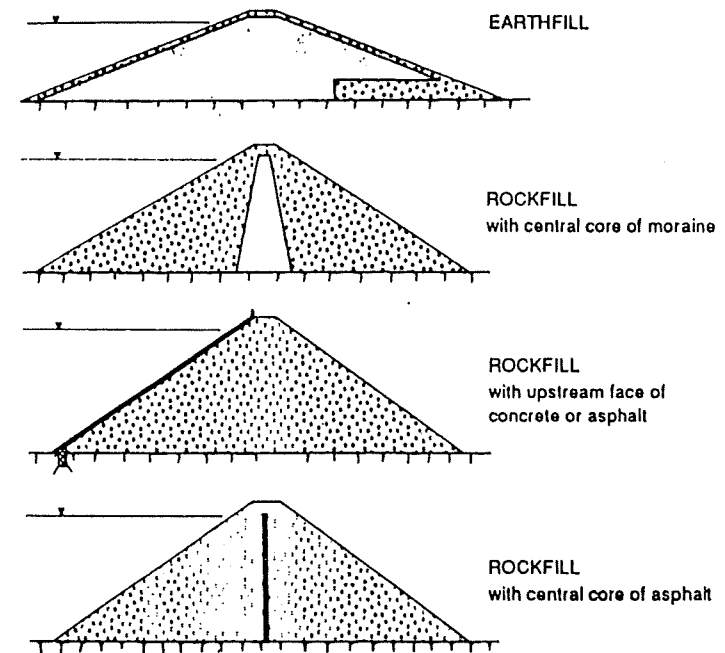
Το αδιαπέρατο στοιχείο, που προφανώς συναντάται σ'όλους τους τύπους φραγμάτων, έχει σαν σκοπό την συγκράτηση του νερού, ακριβέστερα όμως στις περισσότερες των περιπτώσεων π.χ. φράγματα με αργιλικό πυρήνα επιτρέπει την αργή - ελεγχόμενη ροή μέσα από το σώμα του (έχει μικρή διαπερατότητα).



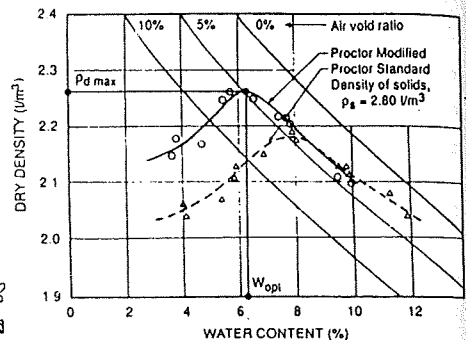
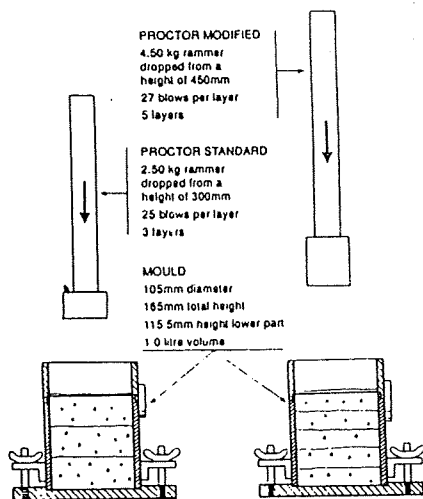
Σχήμα 1. Τυπική διατομή Λιθορριπτού Φράγματος με Αργιλικό πυρήνα (2).

Διαφορετικά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον σχεδιασμό και κατασκευή του αδιαπέρατου στοιχείου όπως άργιλος, αποσαθρωμένος βράχος, μπετόν, ασφαλτικό σκυρόδεμα, άσφαλτος ή ακόμα χάλυβας, ξύλο και τελευταία σε όλο και περισσότερο αυξανόμενη συχνότητα συνθετικές μεμβράνες.

Το Φράγμα που φαίνεται στο σχήμα 1 αποτελείται από: 1) Πυρήνα αδιαπέρατου υλικού, 2) Ζώνες φίλτρου από αμμοχάλικα, 3) Μεταβατική ζώνη από θραυστό-διαβαθμισμένο υλικό λιθορριπής και 4) Σώματα στήριξης από υλικό λιθορριπής.



Σχήμα 2. Τυπικές Διατομές Φραγμάτων από Επίχωμα.



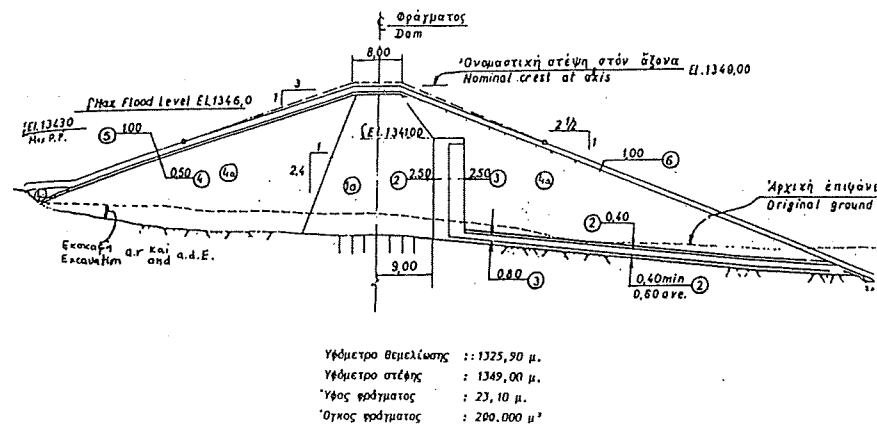
Σχήμα 3. Τυπική Δοκιμή συμπίκνωσης Αργιλικού υλικού.

Η επιλογή του τύπου του αδιαπέρατου στοιχείου εξαρτάται κυρίως από οικονομική ανάλυση της δυνατότητας εκμετάλλευσης φυσικών πηγών απόληψης υλικών κατασκευής. Εάν π.χ. στην περιοχή του φράγματος βρίσκονται υλικά αργιλικής συστάσεως ή αποσαθρωμένου - μαλακού βράχου που η επεξεργασία τους (προώθηση - διάσπρωση - συμπίκνωση) θα δώσει υλικό με περιεκτικότητα άνω του 15% σε λεπτόκοκκα (διερχόμενο του 0,075mm) τότε πιθανότατα η οικονομική επιλογή είναι αυτή του φράγματος με αργιλικό πυρήνα.

Πολλές είναι όμως οι περιπτώσεις εφαρμογής κατασκευαστικών λύσεων στεγάνωσης με λεπτό διάφραγμα ασφαλικού, συνθετικής μεμβράνης ή στην περίπτωση υψηλών φραγμάτων, πλάκας σκυροδέματος στηριζόμενης σε λιθόρριπτο επίχωμα. Παράδειγμα της τελευταίας αυτής λύσεως στον Ελληνικό χώρο αποτελεί το φράγμα της Μεσοχώρας (150m ύψος).

2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ

Οι ζώνες φίλτρου στραγγιστηρίου και κατ'επέκταση οι μεταβατικές ζώνες συναντώνται σ'όλους τους τύπους φράγματος εκτός ίσως από τα φράγματα από σκυρόδεμα ή από δονητικά συμπυκνούμενο σκυρόδεμα (RCC). Ο ρόλος τους είναι θεμελιώδης και σχετίζεται με τον έλεγχο της ροής μέσα στο σώμα του φράγματος.



Σχήμα 4. Ζώνες φράγματος.

- 1 : Πυρήνας (Αποσαθρωμένος ιλυόλιθος)
- 2 : Φίλτρο, Αμμοχάλικο < 12% pass. No 200 Sieve.
> 40% pass. No 4 Sieve.
- 3 : Στραγγιστήριο. < 5% pass. No 40 Sieve.
- 4 : Λιθορριπή μεγίστου κόκκου 40cm.

Το φίλτρο που είναι συνήθως ένα καλά διαβαθμισμένο αμμοχάλικο τοποθετείται αμέσως κατόπιν και συχνά και ανάντη του αδιαπέρατου στοιχείου (σε επαφή). Η κοκκομετρική του διαβάθμιση καθορίζεται πάντοτε σε σχέση με την διαβάθμιση του αδιαπέρατου στοιχείου ώστε όταν αναπτυχθούν συνθήκες ροής να μην υπάρχει μετανάστευση λεπτόκοκκου υλικού από την λεπτόκοκκη ζώνη (base material) προς το φίλτρο και τις άλλες χονδροκόκκες ζώνες που βρίσκονται σε επαφή με το φίλτρο.

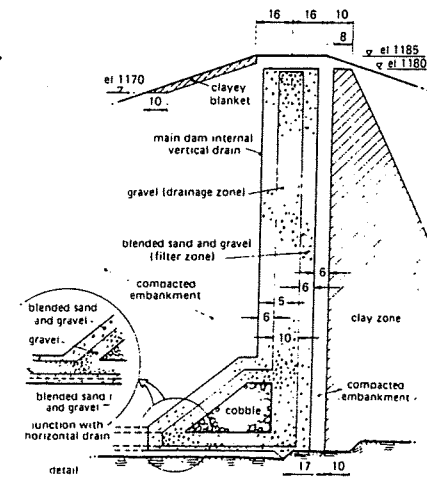
Για τον σχεδιασμό του φίλτρου πρέπει να τηρούνται οι παρακάτω κανόνες:

Πίνακας 1. Κριτήρια Σχεδιασμού Φίλτρου - Κοκκομετρία.

| Υλικό Φίλτρου | Ομοιόμορφο υλικό βάσης $\frac{d_{60}}{d_{10}} < 1,5$ | Καλά διαβαθμισμένο υλικό βάσης $\frac{d_{60}}{d_{10}} > 4$ |
|---|--|---|
| Ομοιόμορφο Φίλτρο $\frac{D_{60}}{D_{10}} < 1,5$ | $5 < \frac{D_{50}}{d_{50}} < 10$ | $5 < \frac{D_{50}}{d_{50}} < 15$ 50 $\frac{D_{15}}{d_{85}} < 5$ |
| Καλά διαβαθμισμένο Φίλτρο $\frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ | $4 < \frac{D_{15}}{d_{15}} < 6$ $\frac{D_{50}}{d_{50}} < 25$ $\frac{D_{15}}{d_{85}} < 5$ | $4 < \frac{D_{15}}{d_{15}} < 40$ $\frac{D_{50}}{d_{50}} < 25$ $\frac{D_{15}}{d_{85}} < 5$ |

Σημειώνεται ότι για την αποφυγή φαινομένου "μετανάστευσης" λεπτόκοκκων από το φίλτρο προς τις μεταβατικές ζώνες, τα κριτήρια του πίνακα 1 θα πρέπει να εφαρμοσθούν και πάλι, μεταξύ του φίλτρου και της επόμενης ζώνης κατ'αντιστοιχία της εφαρμογής μεταξύ του αδιαπέρατου υλικού και της ζώνης φίλτρου.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί ιδιαίτερα η μεγάλη σημασία που έχει ο σωστός σχεδιασμός, η παραγωγή και η τοποθέτηση των μεταβατικών ζωνών στο φράγμα, οι οποίες αποτελούν την σημαντικότερη γραμμή άμυνας απέναντι σε φαινόμενα απρόβλεπτα που μπορεί να παρατηρηθούν κατά την λειτουργία του φράγματος. Τέτοια μπορεί να είναι η σεισμική καταπόνηση και οι συνέπειές της (καθιζήσεις, εσωτερικές μετακινήσεις, ρευστοποίηση κ.λ.π.), η ρηγματώση του αδιαπέρατου στοιχείου του φράγματος, η ύπαρξη διαρροών στην θεμελίωση (ρήγματα κ.λ.π.). Ο σχεδιασμός του φίλτρου και των άλλων μεταβατικών ζωνών πρέπει να είναι τέτοιος ώστε όλες οι πιθανές εμφανίσεις συγκεντρωμένης ροής σε κάποιο σημείο του αδιαπέρατου στοιχείου να προλαμβάνονται (με "μπλοκάρισμα" μετανάστευσης από το κατάντη φίλτρο) ή να "θεραπεύονται", (με γέμισμα του ανοίγματος από το ανάντη φίλτρο).



Σχήμα 5. Σχεδιασμός Μεταβατικών ζωνών σε περίπτωση ρήγματος στη θεμελίωση.

2.3. ΣΩΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Πρόκειται για τις μεγαλύτερου όγκου ζώνες του φράγματος (Σχήμα 1) που πρέπει να έχουν τα καλύτερα δυνατά μηχανικά χαρακτηριστικά ώστε να εξασφαλίζουν την ευστάθεια του φράγματος σε κάθε περίπτωση δυσμενούς φόρτισης (σεισμός, γρήγορος καταβιβασμός της στάθμης κ.λ.π.).

Υλικό ανθεκτικής λιθορριπής είναι η ιδανική λύση για τις ζώνες αυτές. Η χρησιμοποίηση όμως του βαρέως τύπου δονητικού συμπυκνωτού (15ton) κάνει δυνατή την χρήση γεωυλικών με υποδεέστερα μηχανικά χαρακτηριστικά.

Η διαπερατότητα των σωμάτων στήριξης πρέπει να είναι γενικά η μεγαλύτερη δυνατή. Υλικά ημιδιαπερατά μπορούν να χρησιμοποιηθούν με παρεμβολή ζωνών στραγγιστηρίου, μετά από κατάλληλη μελέτη.

2.4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ

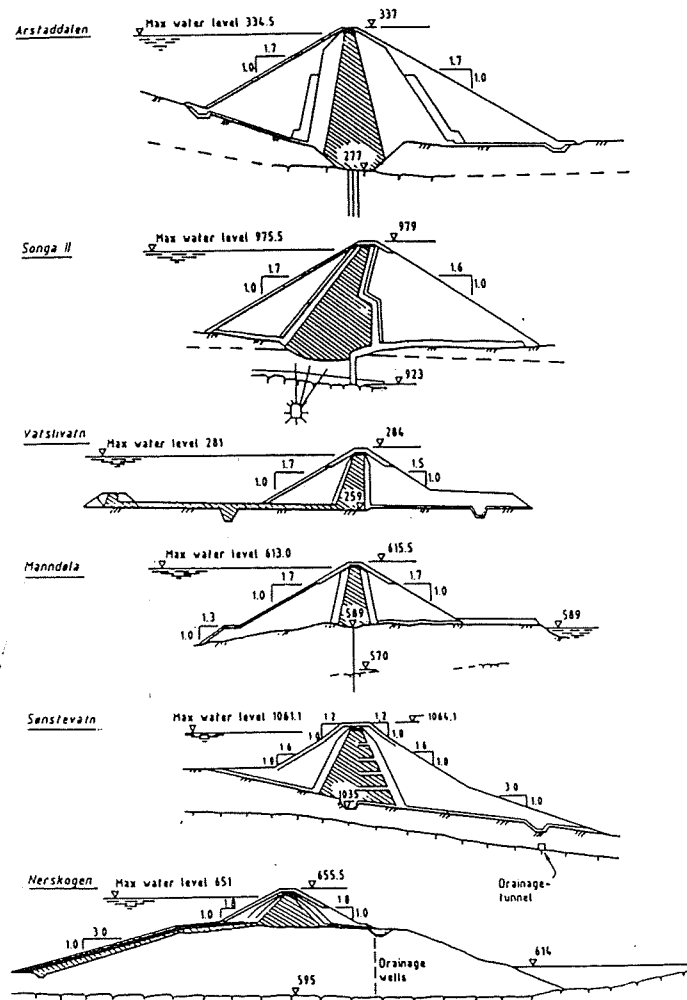
Ανεξάρτητα από τον τύπο του αδιαπέρατου στοιχείου (αργιλικός πυρήνας, πλάκα σκυροδέματος κ.λ.π.) η διαρροή κάτω από το φράγμα, μέσα από τη θεμελίωση, πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή.

Για το σκοπό αυτό το αδιαπέρατο στοιχείο πρέπει να επεκτείνεται μέσα στην θεμελίωση του φράγματος αλλά και πλευρικά, στα αντερείσματα.

Αυτό είναι δυνατόν με την κατασκευή διαφραγμάτων διαφόρων τύπων και με τσιμεντενέσεις του βραχώδους υποστρώματος, αλλά και των άλλων βιακών επικαλύψεων εάν αυτό κριθεί αναγκαίο (εφ' όσον αυτά δεν αφαιρεθούν).

Η έκταση των τοιμεντέσεων καθορίζεται συνήθως μετά από εκτέλεση δοκιμαστικών γεωτρήσεων άντλησης.

Οι τοιμεντέσεις στο πέτρωμα γίνονται συνήθως από τρεις σειρές οπών κατά μήκος του άξονα του φράγματος. Οι οπές της μεσαίας σειράς είναι μεγαλύτερου βάθους από αυτές των άλλων σειρών.



Σχήμα 6. Παράδειγμα φραγμάτων θεμελιωμένων σε υλικά overburden (2).

Αν και το βραχώδες υπόβαθρο χρειάζεται στεγάνωση με εκτέλεση τοιμεντέσεων, αποτελεί σχεδόν πάντα την απλούστερη περίπτωση θεμελίωσης του αδιαπέρατου στοιχείου.

Εάν ο βράχος καλύπτεται από χαλαρούς σχηματισμούς, (π.χ. αλλούβια) μπορεί να είναι επικτό να εκσκαφεί μία τάφος θεμελίωσης έως την επιφάνεια του βραχώδους υποβάθρου προς εξασφάλιση της θεμελίωσης του πυρήνα. (Σχήμα 5, Arstaddalen Dam - Νορβηγία). Τα σώματα στήριξης αντιθέτως μπορούν συχνά να θεμελιωθούν επί του χαλαρού σχηματισμού (over-burden) με ασφάλεια. Στην περίπτωση αυτή η μελέτη ευστάθειας του φράγματος θα πρέπει να λάβει υπόψη της και τα χαρακτηριστικά των υλικών θεμελίωσης, ιδιαίτερα σε περίπτωση δυσμενών φορτίσεων (σεισμός κ.λ.π.).

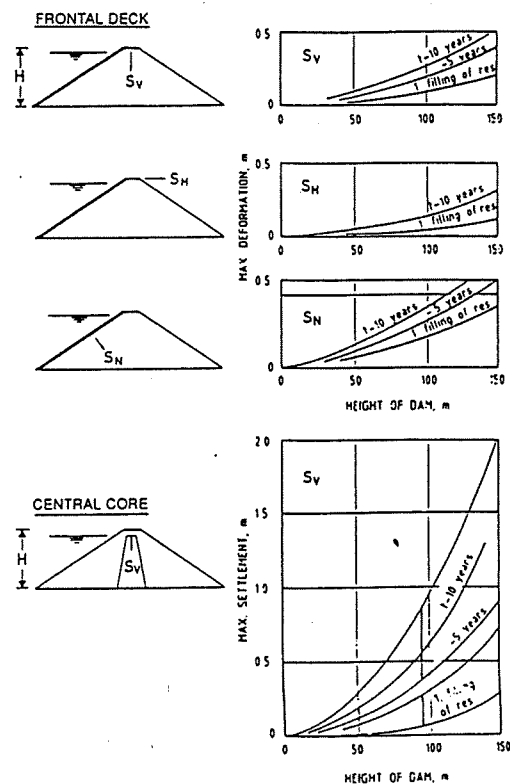
2.5. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Κατά τη διάρκεια της κατασκευής, τα υλικά του φράγματος που έχουν ήδη τοποθετηθεί σ' αυτό και έχουν συμπυκνωθεί θα υποστούν τα αυξανόμενα φορτία από το βάρος των μετέπειτα τοποθετούμενων στρώσεων και θα συμπιεστούν περισσότερο καθώς η κατασκευή του φράγματος προχωρά.

Οι περισσότερες λοιπόν καθιζήσεις λαμβάνουν χώραν κατά την διάρκεια της κατασκευής, αλλά όταν το φράγμα φθάσει στο τελικό ύψος, εξακολουθούν να αυξάνουν με αργότερο ρυθμό. Πρόσθετες καθιζήσεις θα προκύψουν επιπλέον κατά την πλήρωση του ταμιευτήρα με το φορτίο του νερού. Ακόμη η σεισμική καταπόνηση προκαλεί και αυτή καθιζήσεις ανάλογες με την έντασή της, το ύψος του φράγματος, τις ιδιότητες των υλικών κ.λ.π.

Τα υλικά του επιχώματος του φράγματος υπόκεινται σε παραμορφώσεις διαφόρων τύπων: συμπίεση, χαλάρωση, διατμητική παραμόρφωση κ.λ.π. Επειδή η εφελκυστική αντοχή είναι πρακτικά ανύπαρκτη, θα προκληθεί ρηγμάτωση ακόμη και με μικρή εφελκυστική καταπόνηση.

Ακόμη και εάν η παραμόρφωση σε κάποιο σημείο δεν είναι αρκετά μεγάλη, ρηγμάτωση είναι δυνατόν να προκληθεί από υδραυλική θραύση. Εάν η ελάχιστη συνολική κύρια τάση σε κάποιο σημείο του επιχώματος είναι μικρότερη από την πίεση του νερού στο ίδιο σημείο, η υδραυλική πίεση είναι δυνατόν να διαχωρίσει τον πυρήνα. Η ρηγμάτωση αυτή παρουσιάζεται σε περιοχές του πυρήνα όπου οι κύριες τάσεις είναι χαμηλές, ενώ απαιτείται ειδική μέριμνα για τον σχεδιασμό των ζωνών φίλτρου στην περιοχή αυτή για να προληφθεί η επέκταση των φαινομένων ρηγμάτωσης (Κεφ. 2.2.).



Σχήμα 7. Καθιζήσεις λιθόρριπων φραγμάτων μετά το πέρας κατασκευής: εμπειρικές σχέσεις (2).

2.6. ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ - ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

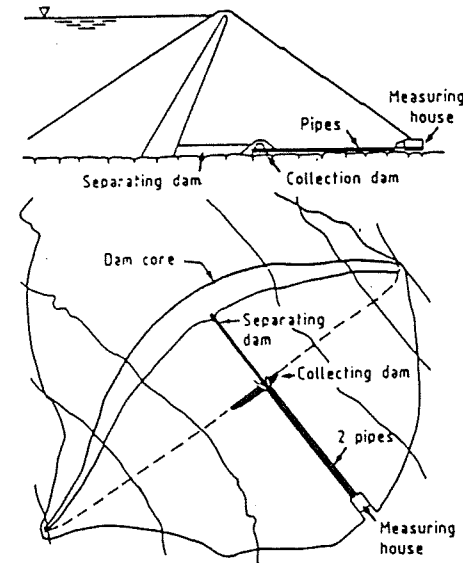
Μία καταγραφή των αιτιών που οδηγούν στην αστοχία των φραγμάτων που έγινε από τον Sowers (1977) έδειξε ότι οι μηχανισμοί είναι πολύπλοκοι. Σε μερικές περιπτώσεις ολόκληρη η κατασκευή παρασύρθηκε από το νερό. Αν και συνήθως δεν υπάρχουν επαρκή αρχεία στοιχείων μελέτης και κατασκευής του φράγματος, φαίνεται ότι πολλές από τις παραπάνω αστοχίες οφείλονται σε υπερπήδηση. Η επόμενη αιτία αστοχιών είναι οι διαρροές που προκαλούν εσωτερική διάβρωση και ολισθήσεις -θραύσεις μέσα στο σώμα του φράγματος, ή διαμέσου χαλαρών υλικών της θεμελίωσης. Τέλος μία τρίτη σοβαρή αιτία αστοχιών είναι η εκδήλωση ολίσθησης στα πρηνή του φράγματος.

Στα 1976 το Teton Dam στις Ηνωμένες Πολιτείες κατέρρευσε στην διάρκεια της πρώτης πλήρωσης του ταμιευτήρα. Το χωμάτινο φράγμα, ύψους

90 m, ήταν κατασκευασμένο από λεπτόκοκκα υλικά αργίλου, ιλύος, άμμου και αμμοχαλίκων με πολύ μικρή ποσότητα λίθων. Η διάβρωση άρχισε κοντά στο δεξιό αντέρεισμα με εμφάνιση διαρροής στο κάτω τμήμα του κατάντη πρηνούς. Στην συνέχεια δημιουργήθηκαν οπές διάβρωσης που διευρύνθηκαν γρήγορα και δημιούργησαν ένα μεγάλο τούνελ το οποίο με τη σειρά του κατέρρευσε σχηματίζοντας μία μεγάλη τάφρο διαμέσου της οποίας ξεπλύθηκε ένα μεγάλο μέρος του φράγματος.

Και άλλες σοβαρές περιπτώσεις αστοχών με ανθρώπινα θύματα έχουν καταγραφεί στο παρελθόν όπως αυτές του Baldwin Hills Reservoir, του Malpasset Dam και της καταστροφικής κατολίσθησης στον ταμιευτήρα του φράγματος Vajont.

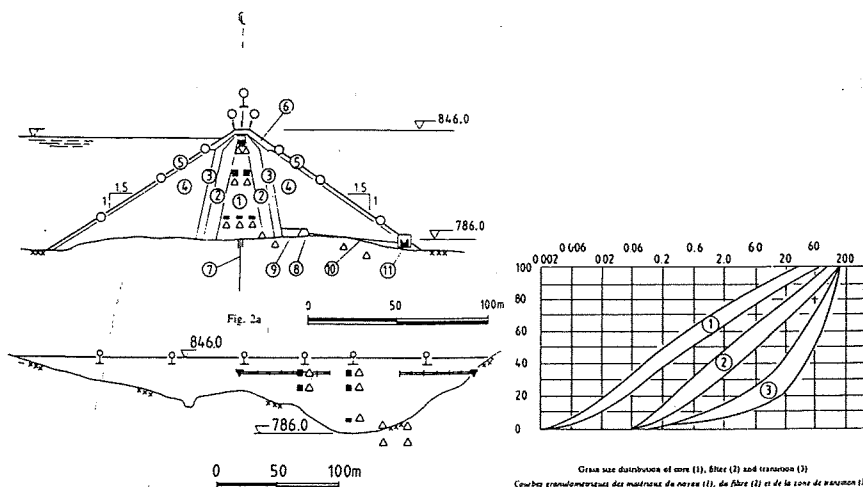
Για να είναι δυνατή η παρακολούθηση - καταγραφή μερικών σημαντικών παραμέτρων της συμπεριφοράς του φράγματος (όπως π.χ. μετακινήσεις - καθιζήσεις, πιέσεις ύδατος πόρων, παροχή διαρροής κ.λπ.) είναι απαραίτητο η μελέτη να περιλαμβάνει έναν σχεδιασμό για την τοποθέτηση και μέτρηση κατάλληλων οργάνων. Η ελάχιστη απαίτηση εξοπλισμού οργάνων πρέπει να περιλαμβάνει εγκαταστάσεις για μέτρηση διαρροών και καθιζήσεων στην στέψη του φράγματος. Επιπλέον όργανα θα τοποθετούνται ανάλογα με την φύση και τις ειδικές απαιτήσεις του Έργου.



Σχήμα 8. Διάταξη συλλογής και μέτρησης παροχής διαρροών στο φράγμα Svartevann-Norβηγία.

Η εγκατάσταση οργάνων στο φράγμα πρέπει να γίνεται συγχρόνως με την πρόοδο της κατασκευής. Διαφορετικοί τύποι οργάνων πρέπει να συνδυάζονται ώστε να είναι δυνατή η επιβεβαίωση των μετρήσεων. Ακόμη και στην περίπτωση ενός περιορισμένου αριθμού οργάνων, η συλλογή των μετρήσεων για πολλά έτη λειτουργίας δημιουργεί απαιτήσεις ηλεκτρονικής ταξινόμησής τους και παρουσιάσής τους σε κατανοητά διαγράμματα ώστε να αξιοποιείται σωστά η πληροφορία.

Μετά την πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα η ευθύνη για την εκμετάλλευση που Έργου, παρακολούθηση των οργάνων και συντήρηση του φράγματος περνάει σε άλλον φορέα διαφορετικό από αυτόν που το μελέτησε και το κατασκεύασε: θα πρέπει να εξασφαλισθεί η συνέχεια της παρακολούθησης της συμπεριφοράς του Έργου.



Σχήμα 9. Τοποθέτηση οργάνων στο φράγμα VATNED - ALSVATIN - - κοκκομετρία ζωνών.

3. ΧΩΜΑΤΙΝΑ-ΛΙΘΟΡΡΙΠΤΑ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΜΕ ΠΥΡΗΝΑ ΑΡΓΙΛΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Αυτός ο τύπος φράγματος είναι ο συχνότερα συναντώμενος στην Ελλάδα αλλά και σε άλλες χώρες. Η οικονομικότητά του εξαρτάται από την δυνατότητα οικονομικής εξόρυξης υλικών για την κατασκευή των ζωνών.

Λιθόρριπτο, σύμφωνα με την ορολογία της ICOLD, ονομάζεται το φράγμα που αποτελείται τουλάχιστον κατά 50% κατ'όγκον από υλικά άδρομερή, προερχόμενα είτε από λατομείο είτε από εκσκαφές βράχου.

Παράδειγμα τέτοιων φραγμάτων στην Ελλάδα αποτελούν τα φράγματα του Σμοκόβου και του Υδροηλεκτρικού Έργου Πηγών Αώου στα οποία εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στην Ελλάδα η μέθοδος παραγωγής υλικού του πυρήνα από αποσαθρωμένο ιλυολιθικό πέτρωμα (Φλύσχη).

3.1. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΠΗΓΕΣ ΑΩΟΥ

3.1.1. Ταμιευτήρας

Ο Ταμιευτήρας του υπόψη Έργου καταλαμβάνει την ευρύτερη περιοχή της κοίτης του ποταμού Αώου και του ρέματος "Παπαναστάση" και περικλείεται από το κυρίως φράγμα, 5 αυχενικά φράγματα και 1 βοηθητικό φράγμα, εκτείνεται δε σε απόσταση 8 περίπου Km ανάντη του κυρίως φράγματος. Έχει μέγιστη χωρητικότητα $262 \times 10^6 \text{ m}^3$ και καλύπτει έκταση $11,5 \text{ Km}^2$. Η στέψη των φραγμάτων βρίσκεται στο υψόμετρο 1349,00 m η μέγιστη στάθμη λειτουργίας στο υψόμετρο 1343,00 m, η ελάχιστη στάθμη λειτουργίας στο υψόμετρο 1315,00 και η μέγιστη γρήγορη πτώση (RAPID DRAW DOWN) στο υψόμετρο 1312,00. Η γενική διάταξη των φραγμάτων και των υπολοίπων έργων (υδροληψία, εκχειλιστής, εκκενωτής πυθμένα, κ.λ.π.) φαίνεται στο σχήμα 8.

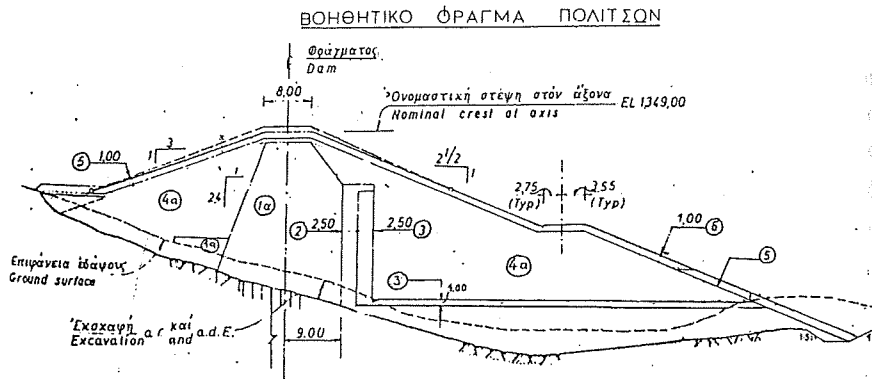
3.1.2. Χαρακτηριστικά των φραγμάτων

Το υλικό που προβλεπόταν αρχικά για την κατασκευή του πυρήνα και των ανάντη και κατάντη σωμάτων στήριξης των φραγμάτων ήταν αποσαθρωμένος φλύσχος. Το υλικό αυτό είναι προϊόν επιφανειακής αποσάθρωσης του πετρώματος της λεκάνης του ταμιευτήρα (βάθος 2-3m) και ευρίσκεται στους λόφους και τις μογάγγειες δεξιά και αριστερά του ρέματος "Παπαναστάση".

Οι κλίσεις των ανάντη και κατάντη πρανών των φραγμάτων είναι αρκετά ήπιες (1:3 ανάντη, 1:2 1/2 κατάντη). Επίσης ενώ αρχικά προβλεπόταν οριζόντια στραγγιστήρια στο ανάντη σώμα στήριξης των φραγμάτων για τον έλεγχο των πιέσεων πόρων του νερού τόσο κατά την διάρκεια κατασκευής των φραγμάτων όσο και κατά την φάση γρήγορης πτώσης της στάθμης του Ταμειυτήρα, αργότερα αυτά καταργήθηκαν.

Οι εκκαφές θεμελίωσης στα αντερείσματα του κυρίως φράγματος (περιδοτικό πέτρωμα) έδειξαν ότι το υλικό αυτό, αρκετά χονδρόκοκκο, και με μηχανικά χαρακτηριστικά καλύτερα από εκείνα του αποσαθρωμένου, φλύσχης ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή των σωμάτων στήριξης των φραγμάτων.

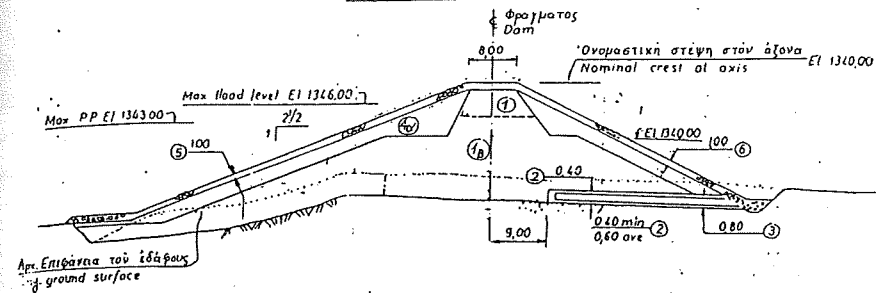
Στα σχήματα 10 έως 12 φαίνονται οι τυπικές διατομές μερικών από τα φράγματα που κατασκευάστηκαν στο Έργο. Τα ύψη τους κυμαίνονται από 11 έως 77 m.



| | |
|--------------------|-----------------------|
| Τύπος φράγματος : | Χωμάτινο |
| Υψόμ. θεμελίωσης : | 1310,00 μ. |
| " στέφης : | 1349,00 μ. |
| Υψος φράγματος : | 39,00 μ. |
| Όγκος φράγματος : | 500,000μ ³ |

Σχήμα 10.

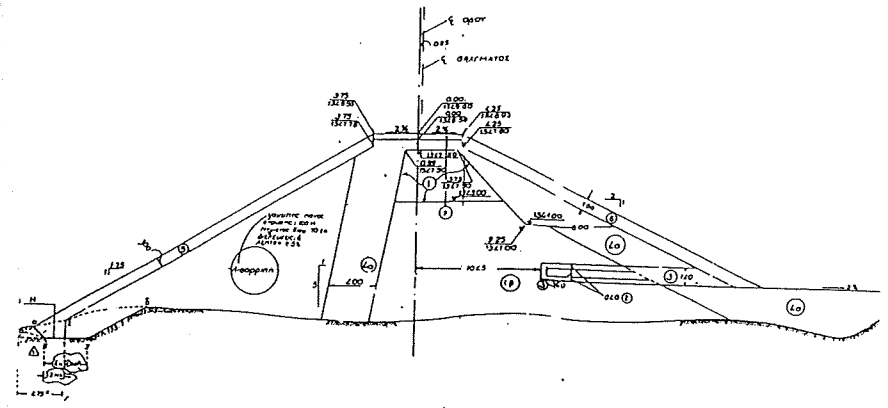
ΑΥΧΕΝΙΚΟ ΠΕΝΤΕ ΑΛΟΝΙΑ Νο2



| | |
|-----------------------|------------------------|
| Τύπος φράγματος : | Χωμάτινο |
| Υψόμετρο θεμελίωσης : | 1329,50 μ |
| Υψόμετρο στέφης : | 1349,00 μ |
| Υψος φράγματος : | 19,50 μ |
| Όγκος φράγματος : | 128.500 μ ³ |

Σχήμα 11.

ΑΥΧΕΝΙΚΟ ΠΟΛΙΤΣΩΝ Νο1



| | |
|-----------------------|-----------------------|
| Τύπος φράγματος : | Χωμάτινο |
| Υψόμετρο θεμελίωσης : | 1333,80 μ |
| Υψόμετρο στέφης : | 1349,00 μ |
| Υψος φράγματος : | 15,20 μ |
| Όγκος φράγματος : | 43.000 μ ³ |

Σχήμα 12.

3.1.3. Διαθέσιμα υλικά και προδιαγραφές των ζωνών των φραγμάτων

Ζώνες 1, 1α και 1β

Το υλικό της ζώνης 1α χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του αδιαπέρατου σώματος (του πυρήνα) των φραγμάτων ενώ το υλικό της ζώνης 1 προβλεπόταν αρχικά για την κατασκευή των ανάντη και κατόντη σωμάτων στήριξης των φραγμάτων.

Το υλικό της ζώνης 1β χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της αδιαπέρατης ζώνης των ομογενών φραγμάτων (φράγμα Νο 1 και Νο 2 Πολιτσών και φράγμα Νο 2 Πέντε Αλωνιών). Τα πιο πάνω υλικά λαμβάνονταν από εγκεκριμένους δανειοθαλάμους επιφανειακά αποασθρωμένου φλύσχη (βάθος 2-3m) με την βοήθεια προωθητών και στη συνέχεια αναμιγνυόταν καλώς με την βοήθεια φορτωτών ώστε να προκύπτει ένα ακετά ομοιογενές υλικό. Η υγρασία του υλικού κυμαινόταν συνήθως από 2% έως 3% προς την ξηρή περιοχή της βέλτιστης (Wopt) και κατά συνέπεια το υλικό διαβρεχόταν κατά την διάστρωση για να αποκτήσει την απαιτούμενη υγρασία.

Οι προδιαγραφές συμπίκνωσης κάθε ζώνης φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα:

| Τύπος ζώνης | Ζώνη 1α | Ζώνη 1 | Ζώνη 1β |
|---------------------------------------|--------------------------|---------------|---------------|
| Μέγιστη διάστ. κόκκου | 7,5 cm | 15 cm | 15 cm |
| Μέγιστο πάχος στρώσης | 20 cm | 30 cm | 20 cm |
| Όριο υγρασίας (% ως προς τη βέλτιστη) | -2 έως +3 | -2 έως +3 | -2 έως +3 |
| Τύπος συμπίκνωσής | Κατασκοπόδαρο | Κατασκοπόδαρο | Κατασκοπόδαρο |
| Ελαχ. αριθμός διελεύσεων | 15 | 10 | 15 |
| Απαιτ. συμπύκν. στρώσης | μέση 98% ελάχιστη 95% | 92% 90% | 98% 95% |

Οι στήλες του πίνακα που αναφέρονται στην συμπίκνωση και υγρασία του υλικού (ως ποσοστό των βέλτιστων παραμέτρων της δοκιμής PROCTOR) παραπέμπουν στην εργαστηριακή δοκιμή συμπίκνωσης που γίνεται στην περίπτωση αυτή (Σχήμα 3).

Για τον έλεγχο του βαθμού συμπίκνωσης του υλικού κάθε στρώσης στο επίχωμα του φράγματος μετράται η επιτόπου πυκνότητα με την πρότυπη δοκιμή

κόνου άμμου (SAND CONE TEST) και συγκρίνεται το αποτέλεσμα με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών PROCTOR στο ίδιο υλικό.

Ζώνες 2 και 3

Οι ζώνες 2 και 3 είναι αντίστοιχα το φίλτρο και στραγγιστήριο που διαστρώνεται κατόντη του πυρήνα του φράγματος είτε σε επαφή με τον βράχο θεμελίωσης είτε σε κατακόρυφες ζώνες μέχρι το υψόμετρο 1341,00 για τον έλεγχο της ροής του νερού μέσα από το φράγμα και μέσα από την θεμελίωσή του. Τα υλικά προέρχονται από δανειοθαλάμους αμμοχάλικου που βρίσκονται στην κοίτη του ποταμού Αώου ανάντη της θέσεως του κυρίως φράγματος.

Το ποσοστό λεπτόκοκκων (διερχόμενο από το κόσκινο Νο 200/0,075mm) για το φίλτρο (ζώνη 2) καθοριζόταν αρχικά σε 5%. Αργότερα όμως το ποσοστό αυτό αυξήθηκε σε 12% για επίτευξη πιο λεπτόκοκκου φίλτρου καταλληλότερου για τον τύπο του αργιλικού υλικού του πυρήνα.

Το ανώτατο επιτρεπόμενο ποσοστό υλικού διερχόμενου από το κόσκινο Νο 40 για το στραγγιστήριο (ζώνη 3) καθοριζόταν σε 5%.

Ζώνη 4α (περιδοτική)

Τα υλικά της ζώνης 4α λαμβάνονταν από Λατομείο που έχει εγκατασταθεί από τον Εργολάβο σε περιοχή περιδοτικού πετρώματος κοντά στο κυρίως φράγμα και μέσα στην περιοχή του Ταμιευτήρα.

Οι προδιαγραφές διάστρωσης και συμπίκνωσης της ζώνης 4α είναι οι πιο κάτω:

| | |
|--|-----------------------------|
| Μέγιστη επιτρεπόμενη διάσταση | : 40 cm |
| Μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό λεπτόκοκκου | : 5% (διερχ. από το Νο 200) |
| Πάχος στρώσης | : 40 cm. |
| Τρόπος συμπίκνωσης | : 4 διελεύσεις δονητ. συμπ. |
| Ελάχιστη απαιτούμενη ξηρή επιτόπου πυκν. | : 1,95 t/m ³ |

Ζώνη 4 (Μεταβατική ζώνη)

Το υλικό της μεταβατικής ζώνης 4 αποτελείται από καλά διαβαθμισμένο αμμοχάλικο με μέγιστη διάσταση κόκκου 20 cm.

Ζώνες 5 και 6

Οι ζώνες 5 και 6 είναι οι εξωτερικές ζώνες προστασίας των πρανών των φραγμάτων. Η ζώνη 5 που τοποθετείται ανάντη αποτελείται από ψαμμιτική λιθορριπή (50% του υλικού τεμάχια βράχου άνω των 3/4 του τόννου), ενώ η ζώνη 6 που τοποθετείται κατάντη αποτελείται από υλικό προερχόμενο από το "OVER" των υλικών ζωνών 2 και 3 με κοσκίνισμα (90% του υλικού έχει κόκκους μεγέθους από 8 έως 60 cm).

Ψαμμιτική λιθορριπή

Πρόκειται για τη ζώνη κατασκευής του ανάντη σώματος του αυχενικού φράγματος Πολιτών Νο 1. Οι προδιαγραφές συμπύκνωσης της ζώνης αυτής είναι οι παρακάτω:

| | |
|--|--------------------------------------|
| Πάχος στρώσης | : 1,00 m |
| Μέγιστη διάσταση λίθου | : 70 cm |
| Μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό λεπτόκοκκου | : 5% (διερχ. από το Νο 200) |
| Τρόπος συμπύκνωσης | : 4 διελεύσεις δονητικού συμπυκνωτή. |

3.1.4. Ποιοτικός έλεγχος - Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Ο ποιοτικός έλεγχος κατά την διάρκεια της κατασκευής των φραγμάτων γινόταν με την εκτέλεση δοκιμών τόσο επιτόπου όσο και στο Εργαστήριο από υπεύθυνο προσωπικό του Εργαστηρίου της Επιχείρησης.

Κάθε συμπυκνούμενη στρώση των επιχωμάτων υποβαλλόταν σε συγκεκριμένες δοκιμές. Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα συμπύκνωσης μιας στρώσης ήταν χαμηλότερα των προβλεπομένων από την Σύμβαση δινόταν εντολή στον Εργολάβο για επανασυμπύκνωση μέχρι να επιτευχθεί ο απαιτούμενος βαθμός συμπύκνωσης.

Αναλυτικότερα ο ποιοτικός έλεγχος των διαφόρων ζωνών περιλάμβανε τις πιο κάτω δοκιμές:

Επιτόπου δοκιμές

Προσδιορισμός της επιτόπου πυκνότητας του αναχώματος με την μέθοδο της άμμου

(SAND CONE TEST).

Εργαστηριακές δοκιμές

Κοκκομέτρηση υλικού μετά την διάστρωση και συμπύκνωση της στρώσης.

Προσδιορισμός υγρασίας αναχώματος.

Προσδιορισμός του βαθμού συμπύκνωσης και της απόκλισης από την βέλτιστη υγρασία με την μέθοδο PROCTOR.

Καθορισμός ορίων ATTERBERG.

Αποτελέσματα δοκιμών - Αξιολόγηση

Μετά την στατιστική επεξεργασία των τιμών ξηρής επιτόπου πυκνότητας, υγρασίας και βαθμού συμπύκνωσης των ζωνών αργιλικού υλικού προέκυψαν τα πιο κάτω αποτελέσματα για κάθε φράγμα:

| Ζώνη 1 | Κυρίως Φράγμα | Αυχενικό Φράγμα Πέντε Αλώνια Νο 1 |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Μέση ξηρή επιτόπου πυκνότητα | 1,74 t/m ³ | 1,82 t/m ³ |
| Μέση υγρασία επιτόπου | 14,5% | 13,1% |
| Μέσος βαθμός συμπύκνωσης | 95,04% | 95,3% |
| Ελαχ. απαιτούμ. βαθμός συμπύκνωσης | 92% | 92% |

| Ζώνη 1α | Κύριο Φράγμα | Αυχενικό Φράγμα Πέντε Αλώνια Νο1 | Αυχενικό Φράγμα Πολιτών Νο3 | Βοηθητικό Φράγμα Πολιτ. |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Μέση ξηρή πυκνότητα | 1,73 t/m ³ | 1,83 t/m ³ | 1,76 t/m ³ | 1,81 t/m ³ |
| Μέση υγρασία επιχ. | 16,8% | 14,2% | 15,0% | 13,6% |
| Μέσος βαθμός συμπ. | 98,10% | 98,15% | 98,28% | 98,03% |
| Ελαχ. απαιτ. βαθμός συμπ. στρώσης | 98% | 98% | 98% | 98% |

| Ζώνη 1β | Αυχενικό Φράγμα Πέντε Αλώνια Νο 2 | Αυχενικό Φράγμα Πολιτσών Νο 1 | Αυχενικό Φράγμα Πολιτσών Νο 2 |
|--------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Μέση ξηρή επιτόπου πυκ. | 1,84 t/m ³ | 1,73 t/m ³ | 1,78 t/m ³ |
| Μέση υγρασία επιχ. επιτόπ. | 13,6% | 14,2% | 13,6% |
| Μέσος βαθμός συμπυκ. | 97,5% | 97,6% | 97,2% |
| Ελάχισ. απαιτ. βαθμός συμπ. | 98% | 98% | 98% |

Ζώνη 2

Επιτόπου δοκιμές

Προσδιορισμός διαπερατότητας φίλτρου επιτόπου.

Εργαστηριακές δοκιμές

Κοκκομέτρηση υλικού μετά την διάστρωση.

Προσδιορισμός του ποσοστού λεπτόκοκκου (υλικού διερχόμενου από το κόσκινο Νο 200).

Έλεγχος διαβάθμισης του υλικού (φίλτρο) βάσει των προβλεπομένων από τις Τεχνικές Προδιαγραφές ορίων διαβάθμισης.

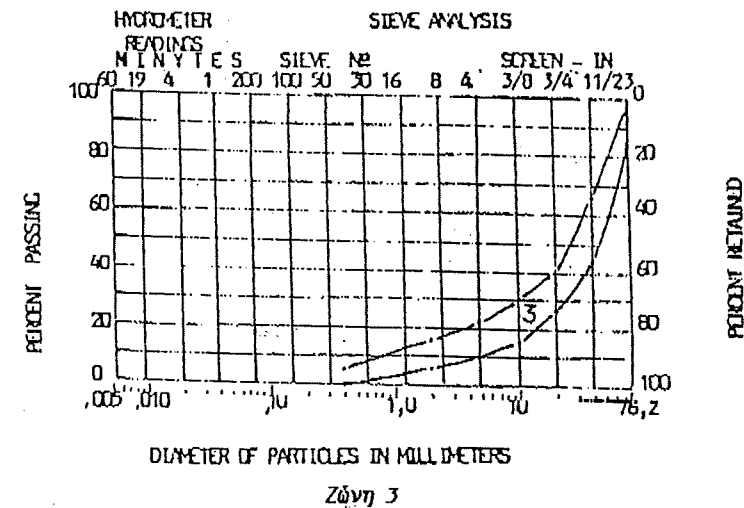
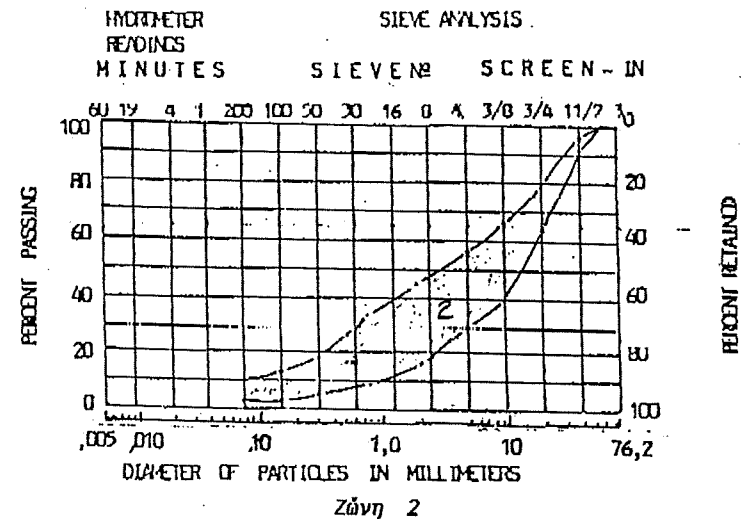
Αποτελέσματα δοκιμών

Η περιβάλλουσα των υλικών ζώνης 2 (φίλτρο) που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των φραγμάτων φαίνεται σε συνημμένο διάγραμμα (Σχήμα 13).

Ζώνη 3

Επιτόπου δοκιμές

Προσδιορισμός διαπερατότητας στραγγιστηρίου επιτόπου.



Σχήμα 13. Περιβάλλουσα κοκκομετρικών καμπυλών υλικών ζώνης 2 και ζώνης 3.

Εργαστηριακές δοκιμές

Κοκκομέτρηση υλικού μετά την διάστρωση.

Προσδιορισμός ποσοστού υλικού διαρχόμενου από το κόσκινο Νο 40.

Ελεγχος διαβάθμισης του υλικού (στραγγιστήριο) βάσει των προβλεπομένων από τις Τεχνικές Προδιαγραφές ορίων διαβάθμισης.

Αποτελέσματα δοκιμών

Η περιβάλλουσα των υλικών ζώνης 3 (στραγγιστήρια) που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των φραγμάτων φαίνεται στο συνημμένο διάγραμμα (Σχήμα 13).

Ζώνη 4α

Επιτόπου δοκιμές

Προσδιορισμός της επιτόπου πυκνότητας αναχώματος με την μέθοδο της άμμου (μεγάλης κλίμακας δοκιμή συμπίκνωσης).

Εργαστηριακές δοκιμές

Κοκκομέτρηση υλικού μετά την διάστρωση και συμπίκνωση της στρώσης.

Προσδιορισμός υγρασίας αναχώματος.

Ελεγχος της σχετικής πυκνότητας με την μέθοδο της Δονητικής Τράπεζας (RELATIVE - DENSITY TEST).

Καθορισμός ορίων ATTERBERG.

Αποτελέσματα δοκιμών

Μετά την στατιστική ανάλυση των τιμών ξηρής επιτόπου πυκνότητας, υγρασίας και βαθμού συμπίκνωσης της ζώνης 4α προέκυψαν τα πιο κάτω αποτελέσματα:

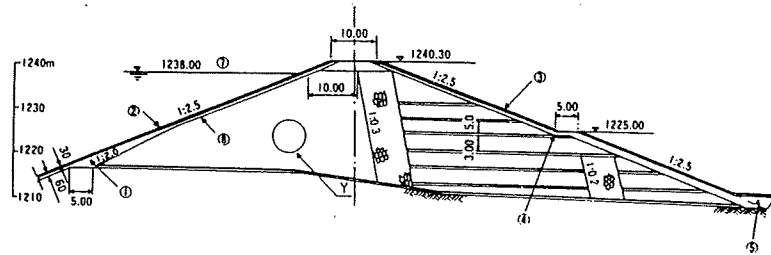
| Ζώνη 4α | Κύριο Φράγμα | Αυχενικό Φράγμα Πολιτών Νο 3 | Βοηθητικό Φράγμα Πολιτών |
|---------------------------------|-----------------------|------------------------------|--------------------------|
| Μέση επιτόπου ξηρή πυκνότητα | 2,04 t/m ³ | | |
| Μέση υγρασία επιτόπου | 4,7% | | |
| Μέση σχετική πυκνότητα | 78,8% | | |
| Ελαχ. επιτρεπ. σχετική πυκνότη. | 70% | 70% | 70% |

4. ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΜΕ ΛΕΠΤΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ

Μεγάλος αριθμός φραγμάτων από επίχωμα με λεπτό στοιχείο στεγάνωσης, κυρίως από σκυρόδεμα, κατασκευάστηκαν πρόσφατα με αυξανόμενο ρυθμό. Τα πλεονεκτήματα του τύπου αυτού είναι προφανή στην περίπτωση που δεν είναι δυνατή η εξεύρεση φυσικής απόληψης αργιλικού υλικού για κατασκευή πυρήνα. Τα χρησιμοποιούμενα κυρίως υλικά κατασκευής στεγανού διαφράγματος περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω:

4.1. ΑΣΦΑΛΤΟΣ - ΑΣΦΑΛΤΟΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Αρκετά φράγματα ύψους έως 55m έχουν κατασκευασθεί (ICOLD BUL. No 63) με ασφαλική μεμβράνη στεγάνωσης στην ανάντη παρειά. Η μέθοδος εφαρμογής της ασφάλτου δεν διαφέρει βασικά από αυτή που χρησιμοποιείται στα οδοστρώματα. Χρειάζεται βεβαίως ειδικός εξοπλισμός συμπίκνωσης, αυστηρός έλεγχος ποιότητας και πάνω απ'όλα εξειδικευμένο προσωπικό. Το κύριο πλεονέκτημα είναι ότι η ασφαλτομεμβράνη μπορεί να παρακολουθήσει τις καθιζήσεις του φράγματος χωρίς να διακοπεί η συνέχειά της, η κατασκευή της όμως χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή σε πολλές σημαντικές λεπτομέρειες ώστε να εξασφαλίζεται η απαίτηση της υδατοστεγάνωσης χωρίς προβλήματα.



Σχήμα 14. Φράγμα Numappara (Ιαπωνία) Ανάντη Μembrάνη από Ασφαλτοσκυρόδεμα.

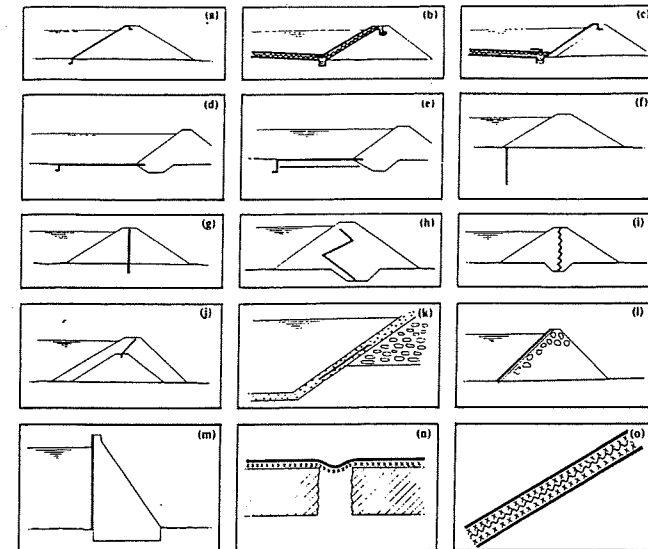
Γενικά, η χρησιμοποίηση αυτοματοποιημένου εξοπλισμού κατασκευής κάνει την λύση αυτή οικονομική κυρίως για φράγματα μέσου ύψους, με μεγάλο μήκος στέψης.

4.2. ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΜΕΜΒΑΝΩΝ

Υλικά συνθετικού τύπου (γεωφάσματα, γεωμεμβράνες, geonets, geogrids, geocells, κ.λ.π.) χρησιμοποιούνται με ολοένα αυξανόμενο ρυθμό στην κατασκευή φραγμάτων ύψους έως 30,0 m, λιμνοδεξαμενών κ.α. Η πρώτη εφαρμογή τους ανάγεται σε 25 περίπου χρόνια πριν, ενώ στις σημερινές εφαρμογές πολλές είναι οι λειτουργίες που εκπληρώνουν στο σώμα του φράγματος:

α) Συγκράτηση νερού

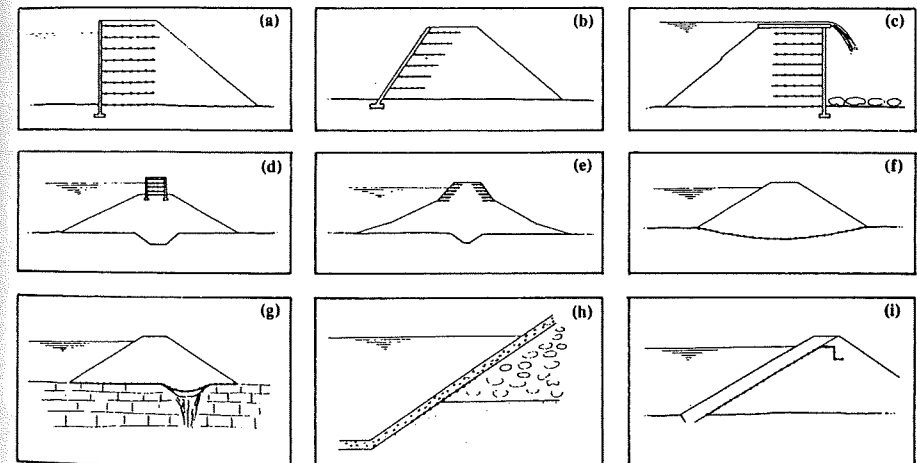
Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται γεωμεμβράνες διαφορετικής συστάσεως (ελαστομερή, πλαστομερή, εποξειδικές ρητίνες, ασφαλτομεμβράνες, κ.λ.π.) που είναι "αδιαπέρατες" ή πιο σωστά έχουν πολύ χαμηλή διαπερατότητα ($<10^{-10} \text{ s}^{-1}$).



Σχήμα 15. Χρησιμοποίηση Γεωμεμβρανών σαν στοιχείο στεγάνωσης - (Water Power JUNE 1990 - Άρθρο J.P.Giroud).

β) Λειτουργία Φίλτρου

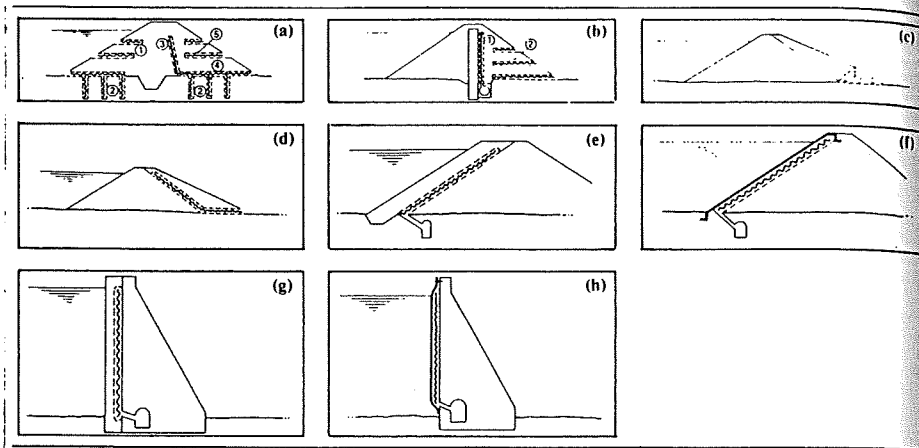
Ένα γεωφάσμα τοποθετημένο σε ένα έδαφος και ένα "ανοικτό" υλικό στραγγιστηρίου (π.χ. χάλικες, διαπερατό γεωσυνθετικό, κ.λ.π.) επιτρέπει την διέοδο του νερού ενώ παράλληλα εμποδίζει την μετανάστευση των λεπτόκοκκων του εδάφους.



Σχήμα 16. Τοποθέτηση γεωσυνθετικού φίλτρου (μεταβατικές ζώνες).

γ) Αποστράγγιση

Ένα παχύ και διαπερατό γεωσυνθετικό (geonet, geomat, κ.λ.π.) εξασφαλίζει την κυκλοφορία του νερού μέσα στο επίπεδό του.



Σχήμα 17. Εφαρμογές γεωσυνθετικών στην αποστράγγιση των φραγμάτων.

δ) Διαχωρισμό - προστασία διαφορετικών ζωνών, οπλισμό εδάφους, κ.λ.π.

4.3. ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΜΕ ΑΝΑΝΤΗ ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (CONCRETE-FACED ROCKFILL DAMS)

Πρόκειται για κατασκευές επιχωμάτων (συνήθως από λιθορριπή) επί των οποίων εδράζεται μια πλάκα σκυροδέματος στην ανάντη παρειά, κατασκευασμένη με ειδικό εξοπλισμό.

Όλο και υψηλότερα φράγματα του τύπου αυτού κατασκευάζονται παγκοσμίως (έως 190 m) με παράδειγμα στην Ελλάδα το φράγμα Μεσοχώρας.

Οι προϋποθέσεις εξέτασης της λύσεως κατασκευής ενός φράγματος με ανάντη πλάκα σκυροδέματος είναι οι παρακάτω (A.N.C.O.L.D. 1991):

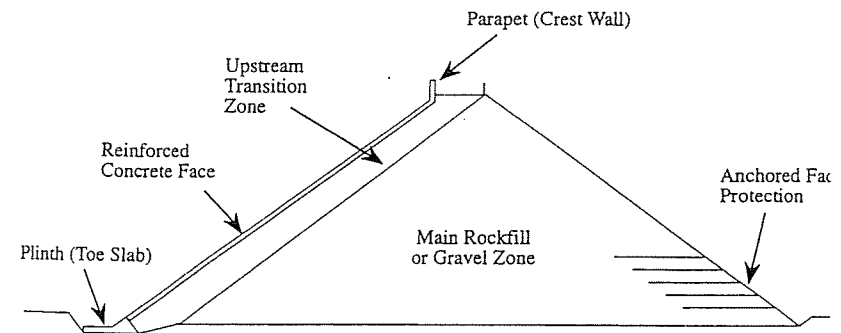
- Υπαρξη βραχώδους θεμελίωσης καλής ποιότητας για την έδραση της πλίνθου (του θεμελίου της πλάκας σκυροδέματος στα αντερείσματα και στην κοίτη).
- Δυνατότητα εξόρυξης υλικού λιθορριπής υγιούς συστάσεως ή αμμοχαλικού για την κατασκευή του επιχώματος.

Μη ύπαρξη υλικού για κατασκευή αργιλικού πυρήνα.

Δυνατότητα οικονομοτεχνικής λύσεως τοποθέτησης του Εκχειλιστού στο αντέρεισμα.

Τα πλεονεκτήματα των C.F.R.D. είναι πολλά :

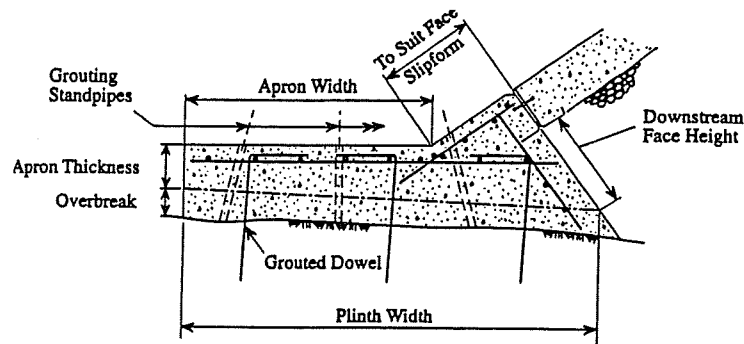
- Δυνατότητα κατασκευής κατά στάδια του επιχώματος και της πλάκας.
- Μικρότερο μήκος συναφών έργων (σήραγγες εκτροπής, προσαγωγής, Εκχειλιστές) λόγω απότομης κλίσεως των πρανών του επιχώματος.
- Η παροχή σχεδιασμού της εκτροπής μπορεί να μειωθεί: η υπερπήδηση του λιθόρριπτου επιχώματος κατά τη φάση κατασκευής του δεν προκαλεί ζημιές μεγάλης έκτασης.
- Το επίχωμα μπορεί να κατασκευάζεται και με υγρό καιρό χωρίς να απαιτείται ειδικός εξοπλισμός μεταφοράς και διάστροφης.
- Ο καθαρισμός της θεμελίωσης δεν απαιτεί χειρωνακτική εργασία, παρά μόνον κάτω από την έδραση της πλίνθου.
- Οι εργασίες τσιμεντέσεων μπορούν να γίνονται ταυτόχρονα με την κατασκευή του αναχώματος.
- Η πλάκα σκυροδέματος κατασκευάζεται με ανερχόμενο μεταλλότυπο ειδικής μορφής.



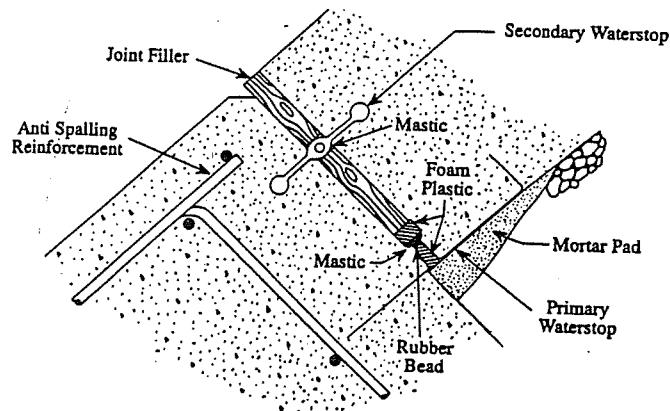
Σχήμα 18. Τυπική διατομή φράγματος με ανάντη πλάκα σκυροδέματος.

Ιδιαίτερα σημεία που πρέπει να τονισθούν και έχουν σημασία για τη σωστή κατασκευή του φράγματος είναι τα παρακάτω:

- Η προετοιμασία για την θεμελίωση της πλίνθου και την σκυροδέτησή της στα αντερείσματα είναι επίπονη και απαιτεί αρκετή χειρωνακτική εργασία.
- Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην κατασκευή του περιμετρικού αρμού στεγάνωσης μεταξύ πλίνθου και πλάκας σκυροδέματος.



Σχήμα 19. Τυπική διατομή Πλίνθου.



Σχήμα 20. Τυπική διατομή Περιμετρικού Αρμού.

ΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΤΗΣ ΜΕΣΟΧΩΡΑΣ

Το υδροηλεκτρικό έργο της Μεσοχώρας άρχισε να κατασκευάζεται το 1985 στον ποταμό Αχελώο. Πρόκειται για το πρώτο κατά την ροή του ποταμού έργο ταμίευσης και αξιοποίησης των νερών του, η κατασκευή του οποίου περιλαμβάνεται ένα λιθόρριπτο φράγμα με ανάντη πλάκα σκυροδέματος (Concrete Faced Rockfill Dam) ύψους 150m, έναν εκχειλιστή δυνατότητας 3000m³/sec, σήραγγα προσαγωγής μήκους 7,4 Km και σταθμό παραγωγής 2 x 70 MW.

Η επιλογή του συγκεκριμένου τύπου φράγματος, μοναδικού παραδείγματος στην Ελλάδα, στην θέση της Μεσοχώρας υπαγορεύτηκε από τεχνικοοικονομικά κριτήρια ένα από τα οποία είναι η ανυπαρξία εκμεταλλεύσιμου αργιλικού υλικού στην κοντινή περιοχή του έργου. Το μεγάλο ύψος του επιχώματος, πολύ κοντά στο μέγιστο παγκόσμια κατασκευασθέν έως σήμερα (160,0 m) και η πρωτοτυπία της στεγάνωσής του είναι στοιχεία που προκαλούν το ενδιαφέρον για την περαιτέρω εμβάθυνση στις ιδιαιτερότητες της μελέτης και της κατασκευής.

Σε όλα τα CFRD συναντώνται τα παρακάτω τυποποιημένα στοιχεία σχεδιασμού:

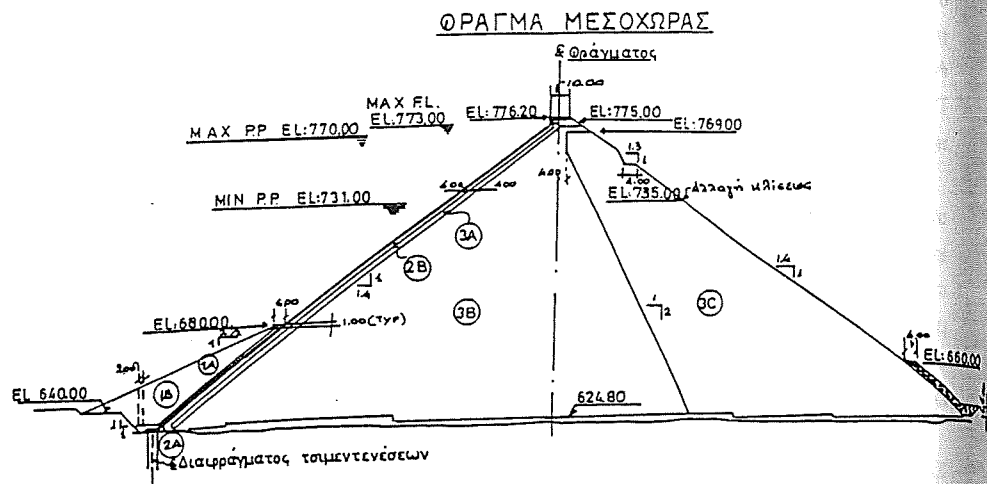
- Το λιθόρριπτο επίχωμα ως φέρων οργανισμός με μεταβαλλόμενη διαβάθμιση.
- Τα στεγανά στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος: η ανάντη λεπτή μονολιθική πλάκα καθ' ύψος, με στεγανωτικούς αρμούς (water stops), η θεμελίωσή της στα αντερείσματα σε σύστημα πεδιλοδοκών (πλίνθος) και ο τοίχος στέψης (parapet wall).
- Ο ειδικά σχεδιασμένος περιμετρικός αρμός πλάκας - πλίνθου ο οποίος στεγανώνεται με εύκαμπτα υλικά και στεγανωτική ταινία χαλκού.

Τα ανωτέρω στοιχεία σχεδιασμού εφαρμόζονται και στο φράγμα Μεσοχώρας, η τυπική διατομή του οποίου δίδεται στο σχήμα 21.

Το μήκος της στέψης είναι 300m και ο συνολικός όγκος του επιχώματος περίπου 5x10⁶ m³. Η ανάντη πλάκα από σκυρόδεμα έχει πάχος 0,3+0,003H (m), όπου H το υδραυλικό φορτίο σε μέτρα νερού και οπλίζεται με 0,4% της διατομής σκυροδέματος. Η πλάκα κατασκευάζεται μετά την ολοκλήρωση του επιχώματος και έχει κατακόρυφους κατασκευαστικούς αρμούς με στεγανωτικές ταινίες χαλκού, χωρίς συνέχεια οπλισμού.

Το σώμα του επιχώματος και οι περιμετρικοί αρμοί της πλάκας είναι πλήρως εξοπλισμένα με όργανα μέτρησης ώστε να παρακολουθείται η συμπεριφορά

του φράγματος και να καταγράφονται οι καθιζήσεις - παραμορφώσεις σε κάθε φάση της κατασκευής και λειτουργίας.



| ΥΛΙΚΟ | ΠΗΓΗ | ΣΩΗ | ΑΠΙΠΤΗΣΕ ΚΟΜΜΕ- ΤΡΙΜΕ | | ΠΡΟΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ | ΑΠΙΠΤΗΣΕ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ | | |
|--------------------------------|---|-----|--------------------------|--|----------------|--|--------------------------------------|---|
| | | | ΜΕΤΕΒΟΙ ΤΕΡΑΤΟΥ | ΠΟΣΙΤΟ ΑΕΤΙΟΚΟΚΚΩΝ | | ΕΣΤΙΜΩΜΕ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ | ΑΠΙΠΤΕ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΝΑ ΕΠΙΣΤΡΩΗ | ΔΙΑΦΟΡΗ ΜΕ ΝΕΦΟ |
| ΥΛΙΚΑ ΣΩΜΗΝΣ | Αδρανήτα υλικά από άμεση βλάβους | 1A | 80K < 4.75 | Διατεταμένο # 200 > 20K | 30 | Εξοικονομική διάταξη | - | - |
| | Υλικά υλικά προϊόντα ομο- γενών ή υλικά από άμεση βλάβους | 1B | 300 | - | 30 | Καλιφόρνιας δομητής | 4 | - |
| ΦΙΑΤΡΑ (Σώη 2) | Επιλεγμένο υλικό πλήρως ετε- ρογενή, από αμοχάλ- α κ. κ. κ. | 2A | 19.5 | Διατεταμένο # 200 < 3K | 40 | Καλιφόρνιας και ε- κλεκτικής δομητής και δομητής και δομητής | 4 | - |
| | Αμοχάλια κοκκώδη διάβα- τα μέγιστο και αμμοκαλαμιό | 2B | 75 | Διατεταμένο # 4 > 20K # 200 < 3K | 40 | Καλιφόρνιας δο- μητής και δομητής καλιφόρνιας και | 4 | - |
| ΑΠΟΤΥΠΗ (Σώη 1) | Επιλεγμένο υλικό λεπτο- πυλινό από λατιμέλια ή ομο- γενών ομογενών υλικών υλικών κ. κ. κ. ομογενών | 3A | 400 | Διατεταμένο 1" < 30K # 200 < 3K | 40 | Καλιφόρνιας δομητής | 4 | ΕΚ του ομο- γενών υλικών α. δ. ε. |
| | Υλικά λεπτοπυλινά από λατιμέ- λια ή ομογενών ομογενών υλικών κ. κ. κ. ομογενών | 3B | 1000 | Διατεταμένο 1" < 40K # 200 < 3K | 100 | Καλιφόρνιας δομητής | 4 | " " |
| | " " | 3C | 1500 | Διατεταμένο 1" < 40K # 200 < 3K | 150 | Καλιφόρνιας δομητής | 4 | " " |
| ΑΠΟΤΥΠΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ (Σώη 4) | Επιλεγμένο υλικό λεπτο- πυλινό από λατιμέλια ή ομο- γενών ομογενών υλικών υλικών | 4 | 1500 | Ελάχιστη διάσταση τεμαχίων 2-300 μ.μ. | - | - | - | - |

Σχήμα 21. Τυπική Διατομή του φράγματος Μεσοχώρας.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μικρής εκτάσεως αναφορά στις αρχές σχεδιασμού και κατασκευής των φραγμάτων από επίχωμα που παρουσιάστηκε, πλαισιώθηκε με παραδείγματα από τον Ελληνικό χώρο όπως είναι τα φράγματα από αποσαθρωμένο φλύσχη των πηγών Αώου, το λιθόρριπτο φράγμα Σμοκόβου και το λιθόρριπτο φράγμα με πλάκα σκυροδέματος της Μεσοχώρας, ενός από τα υψηλότερα στον κόσμο στο είδος του (150 m).

Η αυξανόμενη ανάγκη για κατασκευή πολλών φραγμάτων ύψους άνω των 15 m στη χώρα μας, πολλά εκ των οποίων σχεδιάζονται με πρωτότυπο τρόπο, νέα υλικά και μεθόδους αποτελεί την πρόκληση για τον Έλληνα μηχανικό στην οποία αυτός καλείται άμεσα να απαντήσει συνεκτιμώντας την απαίτηση για ασφαλή λειτουργία των κατασκευών. Η κατανόηση της λειτουργίας του φράγματος, η απόκτηση εμπειρίας από την κατασκευή, η θεσμοθέτηση προδιαγραφών στη χώρα μας για τη σύνταξη μελετών, την επίβλεψη αλλά και την παρακολούθηση της συμπεριφοράς των έργων θα βοηθήσουν τον μηχανικό που ασχολείται με τα φράγματα να κάνει ορθές επιλογές πράγμα σημαντικό για την αρτιότητα των κατασκευών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

(1) Laginha Serafim and Coutinho - Rodrigues 1989. "Statistics of Dam Failures : a preliminary report. Water Power and Dam Construction APRIL 1989.

(2) Kjaernsli, Vaistad and Hoeg 1992. Rockfill Dams. Norwegian Institute of Technology Hydropower Development, Volume No 10.

J.P. Giroud 1990. "Functions and applications of geosynthetics in dams". Water Power and Dam Construction June 1990.

"Use of thin Membranes on Fill Dams". I.C.L.D. Bulletin 38 1981.

"GUIDELINES ON CONCRETE - FACED ROCKFILL DAMS" Australian National Committee on Large Dams 1991.

"Dam safety, Guidelines" I.C.O.L.D. Bulletin 59.

"New Construction Methods, State of the Art" I.C.O.L.D. Bulletin 63.

Ι.Θανόπουλος, Ν.Καζίλης, Σ.Φελέκος 1992. "Το επίχωμα του λιθόρριπτου φράγματος με πλάκα σκυροδέματος της Μεσοχώρας 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής Μηχανικής Θεσσαλονίκη 21-23 Οκτ.'92".

ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΕΣ

Τζιμόπουλος Χρήστος, Καθηγητής Α.Π.Θ. Τομέας Συγκοινωνιακών και Υδραυλικών Έργων. Τμήμα Αγρονόμων - Τοπογράφων Μηχανικών

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι υπερχειλιστές αποτελούν ειδικές κατασκευές, οι οποίες τοποθετούνται στα φράγματα αποθήκευσης με σκοπό να παροχετεύουν την πλεονάζουσα ποσότητα του νερού σε περίπτωση πλημμυρών και όταν ο ταμιευτήρας έχει φθάσει σε βαθμό πληρότητας. Η πλεονάζουσα ποσότητα του νερού καθοδηγείται με ειδικό αγωγό στην παλαιά κοίτη του ποταμού, κατάντη του φράγματος.

Ο σωστός υπολογισμός των διαστάσεων ενός υπερχειλιστή, αποτελεί βασική προτεραιότητα για την ασφάλεια των φραγμάτων, ειδικότερα για τις περιπτώσεις φραγμάτων από λιθορριπή ή χωματινών. Το ίδιο ισχύει και για τη σωστή κατασκευή του υπερχειλιστή. Πολλές καταστροφές φραγμάτων οφείλονται είτε στην κακή μελέτη των διαστάσεων του υπερχειλιστή, είτε στην εσφαλμένη κατασκευή τους.

Ο ρόλος του υπερχειλιστή εξαρτιέται σε μεγάλο βαθμό και από τις διαστάσεις του φράγματος και της τεχνητής λίμνης, που σχηματίζεται πίσω από το φράγμα. Έτσι για την περίπτωση φραγμάτων με μεγάλη δυνατότητα αποθήκευσης νερού στην τεχνητή λίμνη, το νερό για συνηθισμένες πλημμυρικές απορροές, εισρέει στον ταμιευτήρα και ένα μέρος του πηγαίνει προς την κατανάλωση, ενώ ο υπερχειλιστής μένει αχρησιμοποίητος. Θα ενεργοποιηθεί μόνο για την περίπτωση εξαιρετικών πλημμυρών. Απεναντίας στην περίπτωση φραγμάτων με μικρούς ταμιευτήρες, ο υπερχειλιστής λειτουργεί και για συνηθισμένες παροχές με μικρή περίοδο επαναφοράς.

Η επιλογή των διαστάσεων ενός υπερχειλιστή γίνεται με κριτήρια οικονομικά και ασφαλείας. Συνήθως οι μελετητές δέχονται ότι υπάρχει μια ορισμένη πιθανότητα για μια εξαιρετική πλημμύρα, να μην περάσει πάνω από τον υπερχειλιστή, δέχονται δηλαδή όπως επιστημονικά διατυπώνεται έναν ορισμένο **βαθμό επικινδυνότητας**. Ο **βαθμός επικινδυνότητας** ορίζει και το μέγεθος της αποδεκτής πλημμυρικής απορροής και σύμφωνα με το Bureau of Reclamation διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

-Όταν η καταστροφή ενός φράγματος δημιουργεί κινδύνους για ανθρώπινες ζωές, τότε ο υπερχειλιστής πρέπει να υπολογιστεί για την μέγιστη πιθανή πλημμύρα.

-Όταν δεν υπάρχει περίπτωση κινδύνου για ανθρώπινες ζωές, τότε ο μελετητής μπορεί να υποθέσει ένα βαθμό επικινδυνότητας.

Για την χώρα μας ισχύει το Π.Δ. 696/1974, που καθορίζει στο άρθρο 77 ότι η παροχή που περνά από τον υπερχειλιστή ασφαλείας του φράγματος, θα πρέπει να

εξετάζεται για περίοδο επαναφοράς της πλημμύρας $T = 500, 1000$ ή και περισσότερα έτη.

Μεγάλη σημασία πρέπει επίσης να δίνεται στις συνθήκες προσέγγισης. Συνήθως ανάντη του υπερχειλιστή κατασκευάζεται ένα κανάλι που καθοδηγεί το νερό του ταμειυτήρα στον υπερχειλιστή. Οι υδραυλικές ιδιότητες αυτού του καναλιού συνιστούν τις συνθήκες προσέγγισης. Οι συνθήκες προσέγγισης υπολογίζονται αφενός στο μελετητικό γραφείο και αφετέρου στο Υδραυλικό Εργαστήριο. Σύμφωνα με τους Bauer & Beck [2] θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

- Η μέγιστη ταχύτητα προσέγγισης του νερού, στη δυσμενέστερη περίπτωση πλημμύρας, δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την ταχύτητα αντίστασης σε τριβή του υλικού κατασκευής.
- Η καμπυλότητα της ροής σε οριζόντιο επίπεδο θα πρέπει να αυξάνει βαθμιαία.
- Οι πλαϊνοί καθοδηγητικοί περυγότοιχοι του υπερχειλιστή, θα πρέπει να εκτείνονται προς τα ανάντη σε ικανοποιητικό μήκος για να αποφεύγονται στροβιλισμοί.
- Το βάθος του αγωγού προσαγωγής θα πρέπει να υπολογίζεται σε συνδιασμό με τον υπερχειλιστή, για να επιτευχθεί ο οικονομικότερος συνδυασμός της χωρητικότητας του υπερχειλιστή.

ΔΙΟΔΕΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Όταν συμβαίνει μια πλημμύρα, το νερό εισέρχεται στον ταμειυτήρα του φράγματος και η παροχή πλημμύρας (πάνω από την κανονική ροή) παρουσιάζεται υπό μορφή ενός πλημμυρικού υδρογραφήματος I (σχ. 1.) που καλείται υδρογράφημα εισροής I .

Μετά από ορισμένο χρόνο T_2 και εφόσον το νερό στο ταμειυτήρα βρίσκεται στην ανώτατη στάθμη, αρχίζει η εκροή του νερού από τον υπερχειλιστή ασφαλείας του φράγματος O . Ο ολικός όγκος που εισέρευσε στον ταμειυτήρα δίνεται από το ολοκλήρωμα:

$$V_1 = \int_0^{T_1} I dt. \quad (1)$$

Η εκροή από τον υπερχειλιστή του φράγματος, αρχίζει στο χρόνο T_2 και τελειώνει στον χρόνο T_3 , η δε εκρέουσα ποσότητα νερού είναι:

$$V_2 = \int_{T_2}^{T_3} O dt \quad (2)$$

και σύμφωνα με την αρχή της συνεχείας έχουμε:

$$V_1 = V_2 \quad (3)$$

Σε κάποιο ενδιάμεσο χρόνο T^* , ένας όγκος νερού $V_1^* = \int_0^{T^*} I dt$ έχει εισρεύσει στον ταμειυτήρα, ενώ ένας όγκος νερού $V_2^* = \int_{T_2}^{T^*} O dt = \int_0^{T^*} O dt$, έχει εκρεύσει πάνω από τον υπερχειλιστή ασφαλείας του φράγματος. Η διαφορά των δύο όγκων είναι ίση με :

$$S = \int_0^{T^*} (I - O) dt \quad (4)$$

και αποθηκεύεται προσωρινά μέσα στον ταμειυτήρα, αποδίδεται δε (εκρέει) αργότερα από τον υπερχειλιστή ασφαλείας του φράγματος.

Η εξίσωση (4) γράφεται και υπό την μορφή [4, 7] :

$$\frac{\partial S}{\partial t} = I - O \quad (5)$$

Η παραπάνω εξίσωση (5) γράφεται υπό μορφή πεπερασμένων διαφορών, με χρονικό διάστημα Δt , ως εξής:

$$\frac{(S_2 - S_1)}{\Delta t} = (I_1 + I_2)/2 - (O_1 + O_2)/2 \quad (6)$$

Συνήθως αναδιατάσσουμε την παραπάνω εξίσωση :

$$\left(\frac{S_2}{\Delta t} + \frac{O_2}{2}\right) = \left(\frac{S_1}{\Delta t} + \frac{O_1}{2}\right) + \frac{I_1 + I_2}{2} - O_1 \quad (7)$$

ή θέτοντας

$$G = [(S/\Delta t) + (O/2)],$$

$$I_m = (I_1 + I_2)/2,$$

παίρνουμε:

$$G_2 = G_1 + I_m - O_1 \quad (8)$$

Συνήθως η χωρητικότητα του ταμιευτήρα εκφράζεται σαν συνάρτηση του ύψους του νερού H, πάνω από την ανωτάτη στάθμη του νερού

$$S = S(H),$$

και το ίδιο ισχύει και για την εκροή O, πάνω από τον υπερχειλιστή

$$O = O(H).$$

Έτσι η νέα συνάρτηση G εκφράζεται και αυτή σαν συνάρτηση του H,

$$G = G(H).$$

Είναι δυνατόν λοιπόν η O(H) να εκφραστεί σαν συνάρτηση της G, δηλαδή:

$$O = O(G),$$

εφόσον έχουμε επιλέξει το χρονικό διάστημα Δt , όπως φαίνεται στο σχ. 3.

Με τον τρόπο αυτό προχωρούμε στην επίλυση της εξίσωσης (8) βήμα προς βήμα. Στην αρχή του χρόνου δίδονται τα G_1 και O_1 , ενώ το I_m είναι γνωστό, από το υδρογράφημα εισόδου. Έτσι υπολογίζουμε την τιμή της G_2 και από το σχ. 3 υπολογίζουμε την τιμή της συνάρτησης O_2 στην νέα χρονική στιγμή $t = t_0 + \Delta t$. Με τον τρόπο αυτό, βήμα προς βήμα, υπολογίζουμε το υδρογράφημα εξόδου O.

ΜΟΡΦΕΣ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΩΝ

Σύμφωνα με το Bureau of Reclamation [1] και τους Davis & Sorensen [2] διακρίνουμε τις εξής μορφές υπερχειλιστών:

Κατακόρυφοι υπερχειλιστές ελεύθερης ροής (Σχ. 4)

Υπερχειλιστές ελεύθερης πτώσης τύπου S (ogee) (Σχ. 5)

Πλαϊνοί υπερχειλιστές (Σχ. 6)

Υπερχειλιστές με θυρόφραγμα (Σχ. 7)

Φρεατοειδείς υπερχειλιστές (Σχ. 8)

Σιφωνοειδείς υπερχειλιστές (Σχ. 9)

Οι κατακόρυφοι υπερχειλιστές ελεύθερης ροής διακρίνονται από τα εξής χαρακτηριστικά στοιχεία (Σχ. 4)

- Έχουν λεπτή στέψη με οξεία χείλη
- Το κατάντη της στέψης μέρος τους είναι κατακόρυφο.
- Χρησιμοποιούνται για μικρού ύψους φράγματα (< 20 feet).

Υπερχειλιστές ελεύθερης πτώσης τύπου S (ogee). Είναι από τους πιο διεδεδομένους υπερχειλιστές (φράγμα Μόρνου, φράγμα Λούρου κ.λπ.).

Τα κύρια χαρακτηριστικά τους γνωρίσματα είναι:

- Η στέψη του υπερχειλιστή έχει μιá καμπύλη επιφάνεια τύπου S.
- Η ανάντη παρεία του υπερχειλιστή είναι είτε κατακόρυφη είτε κεκλιμένη.
- Στο ανάντη μέρος και μέσα στον ταμιευτήρα διαμορφώνεται συνήθως ένα κανάλι εισόδου.
- Η ροή πάνω από τη στέψη, προσφύεται στην κατάντη πλευρά του υπερχειλιστή, εμποδίζοντας τον αέρα στη διεπιφάνεια νερού - κατάντη πλευράς υπερχειλιστή. Στο σχ. 10 φαίνονται οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες του υπερχειλιστή του φράγματος Dartmouth (Αυστραλία) (Thomas, 1976).

Πλαϊνοί υπερχειλιστές

Ο πλαϊνός υπερχειλιστής έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά στοιχεία:

- Υπάρχει ένα κανάλι εισόδου που τοποθετείται στη μία ακραία πλευρά του φράγματος, κάθετα προς τον κυρίως όγκο του φράγματος.
- Ο υπερχειλιστής είναι περίπου παράλληλος με το κανάλι εισόδου.
- Το κανάλι εισόδου έχει μικρή και βαθειά διατομή και πολλές φορές φέρει στο κατάντη τμήμα του μιá διατομή ελέγχου όπου δημιουργείται ένα κρίσιμο βάθος, επιτρέποντας έτσι τον υπολογισμό της ροής ανάντη της διατομής ελέγχου.
- Η ροή κατάντη της διατομής ελέγχου οδηγείται σε ένα ανοικτό κανάλι, συνήθως ορθογωνικής διατομής, ή σε ένα κλειστό αγωγό.
- Ο τύπος αυτός προτιμάται στις περιπτώσεις που το μήκος της στέψεως του κυρίως φράγματος είναι μικρό και οι πλευρές του φράγματος είναι απότομες. Στο σχ. 11 φαίνεται ο πλαϊνός υπερχειλιστής του φράγματος Καστρακίου με μέγιστη διερχόμενη παροχή $Q = 3.200 \text{ m}^3/\text{s}$.

Υπερχειλιστές με θυροφράγμα

Οι υπερχειλιστές αυτοί με κλειστά θυροφράγματα επιτρέπουν την κατασκευή της στέψης του υπερχειλιστή σε χαμηλά υψόμετρα, και για μικρό άνοιγμα των θυροφραγμάτων λειτουργούν σαν στόμια υπό πίεση. Για την περίπτωση μεγάλης πλημμύρας τα θυροφράγματα ανοίγουν εντελώς για να περάσει η μέγιστη πλημμυρική παροχή.

Υπερχειλιστές με θυροφράγματα έχουν κατασκευαστεί από την ΔΕΗ στα φράγματα Σφηκιάς και Ασωμάτων. Η συνήθης μορφή είναι τα κυκλικά θυροφράγματα όπως φαίνεται στα σχήματα 12 και 13. Στο σχ. 13 φαίνονται και οι λεπτομέρειες:

- Έδρασης του θυροφραγματος πάνω στη στέψη του υποκείμενου υπερχειλιστή, που συνήθως είναι υπερχειλιστής τύπου S.
- Κύλισης του θυροφραγματος στα πλευρικά τοιχώματα των μεσοβάθρων.
- Μηχανισμών ανύψωσης
- Κατασκευαστικές λεπτομέρειες του σιδηρού σκελετού.

Φρεατοειδείς υπερχειλιστές [6]

Στην περίπτωση αυτή το νερό εισέρχεται από οριζόντια κυκλική στέψη, πέφτει στη συνέχεια σε ένα κατακόρυφο ή κεκλιμένο φρέαρ και ακολούθως οδηγείται προς το κατάντη μέρος του ποταμού με ένα οριζόντιο ή σχεδόν οριζόντιο αγωγό.

Η μορφή αυτή χρησιμοποιείται για τις περιπτώσεις κατασκευής φραγμάτων σε στενά φαράγγια, όπου ήδη έχει κατασκευαστεί μιά σήραγγα εκτροπής, η οποία χρησιμεύει σαν το τελευταίο μέρος του υπερχειλιστή.

Χαρακτηριστικό γνώρισμα των υπερχειλιστών αυτών είναι ότι η μέγιστη παροχρητική ικανότητα τους φθάνει με σχετικά χαμηλά φορτία. Έτσι για περιπτώσεις μικρών πλημμυρικών παροχών λειτουργεί ικανοποιητικά, ενώ δημιουργείται πρόβλημα όταν η πλημμυρική παροχή υπερβεί την τιμή της υπολογισθείσης. Στη στέψη του υπερχειλιστή κατασκευάζονται καθοδηγητικά τοιχεία για αποφυγή στροβιλισμών. Πολλές φορές χρησιμοποιείται σαν κανονικός υπερχειλιστής σε συνδιασμό με έναν βοηθητικό υπερχειλιστή.

Σιφωνοειδείς υπερχειλιστές

Οι σιφωνοειδείς υπερχειλιστές σχηματίζουν ένα σύστημα κλειστών αγωγών με τη μορφή ενός ανεστραμμένου U. Οι σιφωνοειδείς υπερχειλιστές όπως φαίνονται στο σχ. 9 αποτελούνται από τα εξής μέρη:

- Μία είσοδο.
- Ανάντη σκέλος.
- Ένα λαιμό ή διατομή ελέγχου.
- Κατάντη σκέλος.

- Μία έξοδο.

Στο μέρος του λαιμού είναι εφοδιασμένοι (σχ. 9) με μιά οπή εισόδου αέρα (siphon - breaker air vent) για τον έλεγχο της σιφωνοειδούς δράσης του υπερχειλιστή. Έτσι όταν το επίπεδο της στάθμης του νερού στον ταμιευτήρα, κατέβει κάτω από το κανονικό επίπεδο, εισέρχεται αέρας στο σίφωνα και διακόπτεται η σιφωνοειδής λειτουργία.

Η είσοδος του σίφωνα τοποθετείται αρκετά κάτω από το κανονικό επίπεδο της στάθμης του νερού, για να αποφεύγεται εισαγωγή πάγου, κορμιών δέντρων, και η δημιουργία στροβίλων που διακόπτουν την λειτουργία του σίφωνα.

ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΩΝ

Υπερχειλιστές ελεύθερης ροής τύπου S.

Η μορφή της κατάντη επιφάνειας ενός τέτοιου υπερχειλιστή δίνεται από τη σχέση:

$$y = K \cdot x^n \quad (9)$$

Στα σχ. 14 και 15 φαίνονται η επιφάνεια του υπερχειλιστή και η ελεύθερη επιφάνεια του νερού :

για διάφορες κλίσεις ανάντη

για κλίση ανάντη κατακόρυφο.

Και στις δύο περιπτώσεις το φορτίο στη στέψη, είναι ίσο με 1. Για διαφορετικά φορτία στη στέψη οι τιμές αυτές πολλαπλασιάζονται με την αντίστοιχη τιμή του φορτίου. Στους πίνακες I και II δίνονται υπο αριθμητική μορφή οι συντεταγμένες της επιφάνειας ενός υπερχειλιστή για διάφορες κλίσεις της ανάντη επιφάνειας (κατακόρυφη, 1:3, 2:3, 1:1, 2:1, 4:1) και για φορτίο στη στέψη ίσο προς $h = 1$.

- Η παροχή που διέρχεται πάνω από τον υπερχειλιστή δίνεται από τον τύπο:

$$Q = C \cdot L \cdot H_e^{3/2} \quad (10)$$

όπου Q = η παροχή (m^3/s) [$L^3 \cdot T^{-1}$]

L = το αποτελεσματικό μήκος της στέψης του υπερχειλιστή (m) [L]

H_e = Ολικό φορτίο στη στέψη του υπερχειλιστή, περιλαμβάνοντας και το ύψος της ταχύτητας προσελεύσεως h_a (m) [L]

C = μεταβλητός συντελεστής παροχής [$L^{1/2} \cdot T^{-1}$]

Συνήθως στο ολικό φορτίο H_e δεν περιλαμβάνονται μειώσεις που οφείλονται σε τριβές στον αγωγό εισόδου ή άλλες απώλειες οφειλόμενες στην καμπυλότητα του αγωγού εισόδου; απώλειες εισόδου κ.λπ. Για την περίπτωση κατά την οποία προκύπτουν σοβαρές απώλειες από τα παραπάνω εκτεθέντα, θα πρέπει να προστίθενται στο φορτίο H_e .

- Το αποτελεσματικό μήκος στη στέψη του υπερχειλιστή ασφαλείας L δίνεται από την παρακάτω μορφή:

$$L = L' - 2(N \cdot K_p + K_a) H_e \quad (11)$$

όπου

- L = το αποτελεσματικό μήκος στη στέψη του υπερχειλιστή,
- L' = το ολικό μήκος της στέψης,
- N = ο αριθμός των μεσοβάθρων,
- K_p = συντελεστής συστολής των μεσοβάθρων,
- K_a = συντελεστής συστολής από τα ακρόβαθρα,
- H_e = Ολικό φορτίο στη στέψη.

Το παραπάνω αποτελεσματικό μήκος δίνεται για τις περιπτώσεις εκείνες, κατά τις οποίες επάνω από τον υπερχειλιστή τοποθετείται μια γέφυρα με μεσοβάθρα (όπως στο σχ. 16). και ακρόβαθρα.

Στο σχ. 16 δίνονται οι τρεις κυριότεροι τύποι ακροβάθρων, η δε διατομή τους δίνεται σαν συνάρτηση του φορτίου στη στέψη του υπερχειλιστή h σύμφωνα με τους Bauer & Beck [2]. Ο συντελεστής k_p δίνεται ως εξής:

| | |
|---------|--------------|
| Τύπος 1 | $k_p = 0.02$ |
| Τύπος 2 | $k_p = 0.01$ |
| Τύπος 3 | $k_p = 0$ |

Για την περίπτωση ακροβάθρων, ο συντελεστής K_a δίδεται ως εξής:

Για τετραγωνικά ακρόβαθρα με πτερυγότοιχους προσανατολισμένους κατά 90° κατά τη διεύθυνση της ροής $K_a = 0.20$

Για στρογγυλεμένα ακρόβαθρα με πτερυγότοιχους προσανατολισμένους κατά 90° κατά τη διεύθυνση της ροής και με ακτίνα καμπυλότητας των στρογγυλεμένων ακροβάθρων r , που ικανοποιεί την παρακάτω σχέση:

$$0.5H_o > r > 0.15 H_o, \quad K_a = 0.10.$$

(H_o είναι το φορτίο υπολογισμού στη στέψη).

Για στρογγυλεμένα ακρόβαθρα με ακτίνα καμπυλότητας $r > 0.5 H_o$ και πτερυγότοιχους προσανατολισμένους κατά τη διεύθυνση της ροής σε γωνία μικρότερη των 45° , $K_a = 0$.

- Ο συντελεστής παροχής C εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:
Το βάθος στον αγωγό προσέγγισης
Από το ύψος υπολογισμού και το πραγματικό φορτίο στη στέψη του υπερχειλιστή.

Από την κλίση του πρανούς του υπερχειλιστή ανάντη.

Από τις υδραυλικές συνθήκες κατάντη του υπερχειλιστή, που είναι δυνατόν να δημιουργήσουν υποκρίσιμη ή υπερκρίσιμη ροή.

Στα σχήματα 17, 18, 19 και 20 δίνονται από το Bureau of Reclamation [1] οι επιρροές των παραπάνω παραγόντων στον υπολογισμό του συντελεστή παροχής C , ο οποίος αναφέρεται στα σχήματα αυτά στο Αγγλοσαξωνικό σύστημα μονάδων. Για να το μετατρέψουμε στο μετρικό σύστημα παίρνουμε τη σχέση:

$$C_m = 0.552 C_A \quad (12)$$

όπου C_m αναφέρεται στο μετρικό σύστημα μονάδων και C_A αναφέρεται στο αγγλοσαξωνικό σύστημα μονάδων.

Αριθμητική εφαρμογή

Θέλουμε να μελετήσουμε την μορφή ενός υπερχειλιστή τύπου S με μέγιστη παροχή $Q_{max} = 1500 \text{ m}^3/\text{s}$ και φορτίο στη στέψη $H_e = 8 \text{ m}$.

Θεωρούμε καταρχή ότι το ύψος ή φορτίο υπολογισμού H_o ισούται με το αποτελεσματικό φορτίο H_e και δεν παίρνουμε υπόψη μας ενδεχόμενες τριβές, τοπικές απώλειες κ.λπ., $H_o = H_e = 8 \text{ m}$. Επιλέγουμε καταρχήν ένα βάθος ανάντη του υπερχειλιστή $P = 2.5 \text{ m}$, και κλίση ανάντη 1:1. Κατάντη θεωρούμε το ίδιο βάθος και μικρές απώλειες φορτίου. Έτσι παίρνουμε :

$$h_d + d = 10.5 \text{ m} \quad \text{ή}$$

$$(h_d + d) / H_e = 1,3125$$

Από το σχ. 19 και για υπερκρίσιμη ροή βρίσκουμε:

$$\frac{h_d}{H_c} = 0,82, \quad h_d = 6,56 \text{ m}$$

Άρα $d = 10,5 - 6,56 = 3,94 \text{ m}$.

Επιλέγουμε ένα συντελεστή παροχής $C = 3,7$ και για το μετρικό σύστημα:

$$0,552 \times 3,7 = 2,042$$

Η παροχή ανά μονάδα πλάτους είναι:

$$q = \frac{Q}{C' \cdot H^{3/2}} = \frac{1500}{2,042 \times 8^{3/2}} = 46,214 \text{ m}^3/\text{s/m}$$

Άρα η ταχύτητα κατάντη του υπερχειλιστή είναι :

$$U = \frac{46,214}{3,94} = 11,72 \text{ m/s}, \quad \text{και} \quad \frac{U^2}{2g} = 7,01 \text{ m}$$

Επομένως το ύψος ταχύτητας είναι πολύ πλησίον της τιμής $h_d = 6,56 \text{ m}$ και σωστά θεωρήσαμε στο σχ. 19 την περιοχή της υπερκρίσιμης ροής. Από το σχ. 20 και εφόσον η παρειά ανάντη έχει κλίση 1:1 παίρνουμε:

$$C_1 = 1,023 \times 3,7 = 3,785$$

Από το σχήμα όμως 19 προκύπτει μείωση του συντελεστή παροχής κατά 6%, δηλαδή ο τελικός συντελεστής παροχής είναι:

$$C = 3,785 \times 0,94 = 3,558$$

Υπολογισμός του απαιτούμενου μήκους στέψεως

Από τη σχέση

$$Q = C' \cdot L \cdot H^{3/2}$$

$$L = \frac{Q}{C' \cdot H^{3/2}} = \frac{1500}{44,36} = 33,81 \text{ m}$$

Για το απαιτούμενο μήκος της στέψης χρησιμοποιούμε τον τύπο του Bureau of Reclamation:

$$L + 2(N \cdot k_p + k_a) \cdot H_o$$

όπου $N = 0$ αριθμός των μεσοβάθρων, που εν προκειμένω λαμβάνεται ίσος με 2. Συγχρόνως επιλέγουμε τον τύπο μεσοβάθρων με ημικυκλική μορφή μεσοβάθρων, ενώ τα ακρόβαθρα της πεζογέφυρας θεωρούνται κεκλιμένα ως προς τον άξονα (ροή) του υπερχειλιστή κατά 30° . Σύμφωνα με τα προηγούμενα παίρνουμε:

$$K_p = 0,01, \quad K_a = 0$$

Επομένως έχουμε:

$$33,81 + 2(2 \cdot 0,01) \cdot 8 = 34,13 \text{ m}$$

Το πλάτος των μεσοβάθρων εκλέγεται σύμφωνα με το σχ. 16

$$b_1 = 0,267 \times H_o = 2,136, \quad \text{εκλέγουμε} \quad b_1 = 2,10.$$

Τελικά επιλέγουμε τρία ανοίγματα με $l = 11,40$ και το ολικό μήκος του υπερχειλιστή είναι:

$$L_{\text{τελικό}} = 3 \times 11,40 + 2 \times 2,10 = 38,40 \text{ m}$$

Το καθαρό βέβαια μήκος είναι:

$$L_{\text{net}} = 3 \times 11,40 = 34,20 \text{ m}$$

ενώ το αποτελεσματικό μήκος που υπεισέρχεται στους υπολογισμούς είναι:

$$L = 34,20 - 2 \times 2 \times 0,01 \times 8 = 33,88 \text{ m}$$

Η παροχή του υπερχειλιστή υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q = C' \cdot L \cdot H^{3/2} = 1,964 \times 33,88 H^{3/2} = 66,54 \cdot H^{3/2}$$

Για φορτίο στη στέψη $H_0 = 8\text{m}$, η παροχή είναι ίση με:

$$Q_{\max} = 66,54 \cdot 8^{3/2} = 1505,6 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Στο σχ. 21 φαίνεται η τομή και η κάτοψη του υπερχειλιστή. Η τομή με την ελεύθερη επιφάνεια του νερού σχεδιάστηκαν με βάση τον πίνακα I.

Πλαϊνοί υπερχειλιστές

Θεωρούμε την κατά μήκος τομή ενός πλαϊνού υπερχειλιστή στο σχ. 22, και τις δύο διατομές A - A, και B - B που απέχουν απόσταση Δx .

Εφαρμόζουμε στο υγρό στοιχείο που περικλείεται από τις διατομές αυτές και από τον πυθμένα του αγωγού τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα:

$$\begin{aligned} & (\text{Ορμή εισερχόμενη}) - (\text{Ορμή εξερχόμενη}) + \\ & (\text{Αθροισμα δυνάμεων που δρουν στο σύστημα}) = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

- Η εισερχόμενη ορμή στη διατομή A-A είναι:

$$M_1 = \frac{\gamma}{g} Q \cdot V$$

- Η εξερχόμενη ορμή από τη διατομή B - B είναι:

$$M_2 = \frac{\gamma}{g} (Q+dQ) (V + dV)$$

και

$$M_1 - M_2 = - \frac{\gamma}{g} [QdV + (V+dV) dQ]$$

Οι δυνάμεις που δρουν στο στοιχείο αυτό είναι:

Υδροστατικές

$F_1 = \gamma y A$, όπου y είναι η απόσταση του κέντρου βάρους της διατομής A - A από την ελεύθερη επιφάνεια.

$$F_2 = \gamma y A + \gamma A dy \quad \text{και} \quad F_1 - F_2 = - \gamma A dy.$$

Βαρύτητα

$$W \cdot \sin \theta = \gamma A dx \cdot S_0, \quad S_0 \text{ είναι η κλίση του πυθμένα.}$$

Τριβές

$$F_f = - \gamma A dx \cdot S_f, \quad S_f \text{ είναι η κλίση της γραμμής ενεργείας.}$$

Εξισώνοντας τα παραπάνω παίρνουμε:

$$\frac{\gamma}{g} [Q dV + (V + dV) dQ] = - \gamma A dy + \gamma A S_0 dx - \gamma A dx S_f \quad (14)$$

Θέτουμε τώρα την εξίσωση (14) υπό μορφή πεπερασμένων διαφορών:

$$\frac{\gamma}{g} [Q \Delta V + (V + \Delta V) \Delta Q] = - \gamma A \Delta y + \gamma S_0 A \Delta x - \gamma S_f A \Delta x, \quad (15)$$

Θέτουμε :

$$A = \frac{Q_1 + Q_2}{V_1 + V_2}, \quad Q = Q_1, \quad V + \Delta V = V_2, \quad (16)$$

και η εξίσωση (15) γίνεται:

$$\Delta y = - \frac{Q_1(V_1 + V_2)}{g(Q_1 + Q_2)} \left[(V_2 - V_1) + \frac{V_2(Q_2 - Q_1)}{Q_1} \right] + \Delta x (S_0 - S_f)$$

Εάν θέσουμε : $\Delta y' = S_0 \Delta x - \Delta y$ η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$\Delta y' = \frac{Q_1(V_1+V_2)}{g(Q_1+Q_2)} \left[(V_2 - V_1) + \frac{V_2(Q_2 - Q_1)}{Q_1} \right] + S_f \Delta x \quad (17)$$

Με τη μορφή αυτή δίδεται από το Bureau of Reclamation [1] χωρίς τον τελευταίο όρο στο δεξιό μέλος, θεωρώντας δηλαδή αμελητέες τις τριβές.

Με τη βοήθεια της εξίσωσης (17) οι υπολογισμοί της ελεύθερης επιφάνειας του νερού γίνονται ως εξής:

Απο την διατομή ελέγχου κατάντη υπολογίζουμε όλα τα χαρακτηριστικά της πρώτης διατομής (V_1, Q_1, y_1, A_1).

Εκλέγουμε ένα Δx και ένα $\Delta y'$ (θέση 2).

Στη θέση 2 ανάντη της διατομής ελέγχου υπολογίζουμε όλα τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της ροής (V_2, Q_2, A_2, S_f).

Από τον τύπο (17) υπολογίζουμε ένα $\Delta y'$ και το συγκρίνουμε με αυτό που έχουμε επιλέξει.

Εαν η διαφορά είναι μικρή, συνεχίζουμε του υπολογισμούς μας για νέα διατομή στη θέση 3. Ειδάλλως χρησιμοποιούμε την καινούργια τιμή $\Delta y'$ και κάνουμε νέο κύκλο υπολογισμών. Συνήθως δύο επαναλήψεις είναι ικανοποιητικές.

Υπερχειλιστές με θυροφράγματα.

Όπως ήδη αναφέρθηκε συνήθως χρησιμοποιούμε θυροφράγματα πάνω από υπερχειλιστές τύπου S. Όταν τα θυροφράγματα είναι μερικώς ανοικτά η παροχή του δίνεται από τον τύπο

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot C.L(H_1^{3/2} - H_2^{3/2}) \quad (18)$$

όπου

H_1 = το ολικό φορτίο απο τη στέψη του υπερχειλιστή μέχρι την ελεύθερη επιφάνεια, περιλαμβάνοντας και το ύψος της ταχύτητας προσελεύσεως.

H_2 = το φορτίο του νερού απο την κάτω ακμή του θυροφράγματος μέχρι την ελεύθερη επιφάνεια, περιλαμβάνοντας και το ύψος της ταχύτητας προσελεύσεως.

Ο συντελεστής C διαφέρει για διαφορετικά ανοίγματα και μορφές στέψης. Στο σχ. 23 δίνεται απο το Bureau of Reclamation [1] η μορφή του C για υπερχειλιστή τύπου S με

κατακόρυφη ανάντη παρεία και μεταβλητό άνοιγμα θυροφραγμάτων. Σε ορισμένες περιπτώσεις αντί του όρου $Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot C$ χρησιμοποιείται ο όρος m και η (18) γίνεται

$$Q = m.L(h_1^{3/2} - h_2^{3/2}).$$

Ο υπολογισμός των συντελεστών C ή m, γίνεται πάντοτε με μετρήσεις είτε στο Εργαστήριο, είτε κατευθείαν στο φράγμα.

Φρεατοειδείς υπερχειλιστές

Οι συνθήκες λειτουργίας των φρεατοειδών υπερχειλιστών φαίνονται στο σχ. 24. Όπως φαίνεται από το σχήμα αυτό υπάρχουν τρεις συνθήκες λειτουργίας.

- **Συνθήκη 1.** Υπάρχει καθαρή δράση του υπερχειλιστή και η παροχή δίνεται απο την εξίσωση:

$$Q = C_o (2\pi R_s) H_o^{3/2}$$

όπου R_s = η ακτίνα του κυκλικού υπερχειλιστή στη στέψη (σχ. 25)

H_o = Το φορτίο στη στέψη του υπερχειλιστή

C_o = Συντελεστής παροχής.

Στο σχ. 26 δίνονται οι τιμές του συντελεστή C_o για διάφορες τιμές του λόγου H_o/R_s και για τρεις τιμές του λόγου P/R_s . Σημειώνουμε εδώ ότι για τιμές του λόγου (H_o/R_s) μικρότερες από 0.45 η ροή κυριαρχείται από συνθήκες υπερχειλιστή. Όσο ο λόγος (H_o/R_s) αυξάνει πάνω από την τιμή 0.45, ο υπερχειλιστής λειτουργεί σαν βυθισμένος. Όταν ο λόγος (H_o/R_s) πλησιάζει την τιμή 1, η επιφάνεια του νερού πάνω από τον υπερχειλιστή έχει καλύψει πλήρως το κυκλικό άνοιγμα (πλήρως βυθισμένος υπερχειλιστής) και για μεγαλύτερες ακόμη τιμές του H_o/R_s έχουμε φαινόμενα ροής δια μέσου διαφράγματος.

Για την περίπτωση της συνθήκης 1 (συνθήκες ελεύθερου υπερχειλιστή) η μορφή της ελεύθερης επιφάνειας δίνεται απο το Bureau of Reclamation σε ειδικούς πίνακες. **Συνθήκη 2.** Όπως αναφέρθηκε για τιμές του λόγου (H_o/R_s) μεγαλύτερες του 1, ο υπερχειλιστής είναι βυθισμένος και υπάρχει ένα βάθος ορισμένο κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια, όπου η διατομή ελέγχει τη ροή σαν διάφραγμα. Είτε όμως πρόκειται για ροή ελεύθερου υπερχειλιστή, είτε ροής βυθισμένου υπερχειλιστή, η ροή σε ορισμένο βάθος δίδεται σύμφωνα με το Bureau of Reclamation [1] από τον τύπο:

$$Q = 4,902 \cdot R^2 \sqrt{H_a}$$

όπου H_a = η διαφορά μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας και του υπό θεώρηση υψομέτρου.

R = η ακτίνα του jet (για περίπτωση ελεύθερης ροής), ή του φρέατος για περίπτωση βυθισμένου υπερχειλιστή. Οι μονάδες δίνονται στο αγγλοσαξωνικό σύστημα, δηλαδή το R και H_a εκφράζονται σε feet, ενώ το Q σε ft^3/s .

Σύμφωνα με την συνθήκη 2, ενώ πάνω από τη διατομή ελέγχου, η ροή είναι υπό πίεση, κάτω από τη διατομή αυτή, η ροή είναι δυνατό να βρίσκεται υπό συνθήκες ελεύθερης επιφάνειας.

Συνθήκη 3 Όλος ο αγωγός βρίσκεται υπό πίεση.

Στη πράξη συνήθως δεν επιζητούμε την τρίτη περίπτωση, ούτε την μετάβαση από την δεύτερη στην τρίτη, διότι δημιουργούνται δυσάρεστες καταστάσεις (κραδαμοί, εμφράξεις κ.λπ.) Για το σκοπό αυτό η διατομή κατάντη της διατομής ελέγχου εκλέγεται αρκετά μεγαλύτερη έτσι ώστε να είναι γεμάτη μόνο κατά 75% για τη μέγιστη παροχή. Με τον περιορισμό αυτό υπάρχει πάντοτε αέρας από το κατάντη άκρο και η ροή κάτω από τη διατομή ελέγχου γίνεται με συνθήκες ελεύθερης επιφάνειας.

Σιφωνοειδείς υπερχειλιστές.

Στο σχ. 27 φαίνεται μία τυπική μορφή σιφωνοειδούς υπερχειλιστή με χαμηλό φορτίο. Στην κορυφή του λαϊμού δημιουργούνται στροβιλισμοί και η παροχή σύμφωνα με το Bureau of Reclamation δίνεται από τον τύπο:

$$Q = 8.02 \cdot B \sqrt{h_{us}} \cdot R_s \ln \frac{R_s}{R_c} \quad (21)$$

Στην εξίσωση (21):

B = το πλάτος της διατομής του λαϊμού

h_{us} = το ύψος ταχύτητας στην κορυφή του λαϊμού

R_s = η ακτίνα καμπυλότητας του άξονα της διατομής

R_c = η ακτίνα καμπυλότητας της κάτω επιφάνειας της διατομής

Συνήθως το ύψος της ταχύτητας παίρνεται ίσο με

$$h_{us} = 0.7 h_{AT}$$

όπου h_{AT} είναι η ελάχιστη ατμοσφαιρική πίεση. Έτσι η εξίσωση (21) παίρνει τη μορφή:

$$Q = 8,02 B \sqrt{0.7 h_{AT}} \cdot R_c \cdot \ln \frac{R_s}{R_c} \quad (22)$$

και όλα τα μεγέθη εκφράζονται στο αγγλοσαξωνικό σύστημα μονάδων.

Για τον υπολογισμό της παροχής του σίφωνα παίρνονται υπόψη:

- Οι απώλειες λόγω εισόδου και σύγκλισης
- Οι απώλειες λόγω τριβών
- Οι απώλειες λόγω καμπυλότητας στο άνω και κάτω σκέλος.
- Οι απώλειες εξόδου

Συνήθως εισάγουμε έναν συντελεστή παροχής C , όπως φαίνεται στο σχ. 27 και η παροχή ανά μονάδα πλάτους του σίφωνα γράφεται ως εξής:

$$q = C \cdot D \cdot \sqrt{2g \cdot H_T} \quad (23)$$

όπου C = ο συντελεστής παροχής που παίρνεται από το σχ. 27

D = το ύψος στη θέση του λαϊμού

H_T = η υψομετρική διαφορά μεταξύ της στέψης του λαϊμού και της κατάντη επιφάνειας.

Οι μονάδες εκφράζονται όλες στο αγγλοσαξωνικό σύστημα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω η διαδικασία υπολογισμού ενός σίφωνα χαμηλού φορτίου γίνεται ως εξής:

Προσδιορίζεται το υψόμετρο της στέψης του λαϊμού.

Προσδιορίζεται το διαθέσιμο φορτίο, ως διαφορά μεταξύ υψομέτρου στέψης και υψομέτρου κατάντη επιφάνειας.

Επιλέγονται αρχικές τιμές για το ύψος του λαϊμού D και για την ακτίνα καμπυλότητας

R_s και υπολογίζεται η μέγιστη επιτρεπόμενη παροχή από τον τύπο (22). Το

Bureau of Reclamation συνιστά $D = 2' \text{ min}$ και $R_s/D = 2,5$.

Επιλέγονται τιμές για το βάθος ροής κατάντη d και για την υψομετρική διαφορά H_T

και από το νομογράφημα του σχ. 27 παίρνεται η τιμή του C . Η τιμή του q

παίρνεται από την εξίσωση (23) και θα πρέπει να ισχύει:

$$q < \frac{Q}{B} = 8.02 \sqrt{0.7 \cdot h_{AT}} \cdot R_c \cdot \ln \frac{R_s}{R_c} \quad (24)$$

Από τη σχέση $B = \frac{Q}{q}$ βρίσκεται το αναγκαίο πλάτος του υπερχειλιστή και ο αναγκαίος αριθμός των σιφώνων.

Επαναλαμβάνονται οι διαδικασίες (3) και (4) έως ότου επιτευχθεί η συνθήκη (24).

Προσδιορίζεται η διατομή του σωλήνα εισόδου αέρα στην κορυφή του σίφωνα (Siphon breaker) από τον τύπο:

(Διατομή siphon breaker) = Διατομή σίφωνα στο λαιμό / 24.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bureau of Reclamation: "Design of small dams", United States Government Printing office Washington 1960. pp. 611.

Davis C.V. - Sorensen K.E: "Handbook of Applied Hydraulics" Mc Graw - Hill book Company N.Y. 1969.

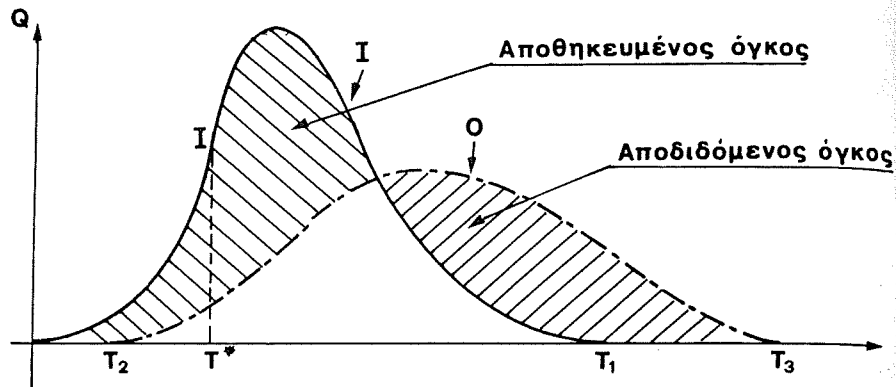
Razvan E. "River Intakes and Diversion Dams" Elsevier, Amsterdam - Oxford - N.Y. - Tokyo 1989. p.p. 508.

Shaw E.M: "Hydrology in Practice" Van Nostram Reinhold Co Ltd, 1983, p.p. 569.

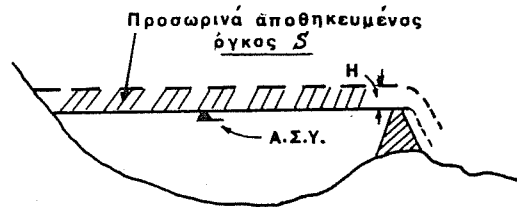
Thomas H: "The Engineering of Large Dams" A Wiley interscience Publication, 1976, pp. 374.

Τριανταφυλλίδου Σ. : "Γενικά Υδραυλικά Έργα - Υδρεύσεις" ΑΘΗΝΑ 1974, σελ. 648.

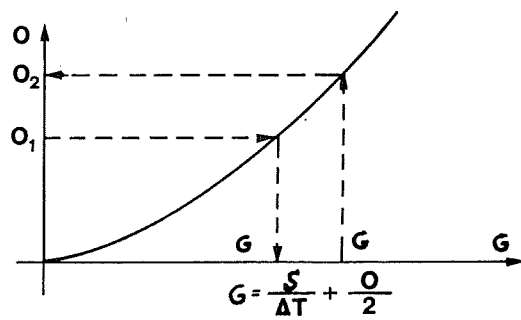
Ven te Chow: "Open - Channel Hydraulics" McGraw Hill Book Co Inc. - N.Y. London - Toronto - Tokyo. 1959, pp 680.



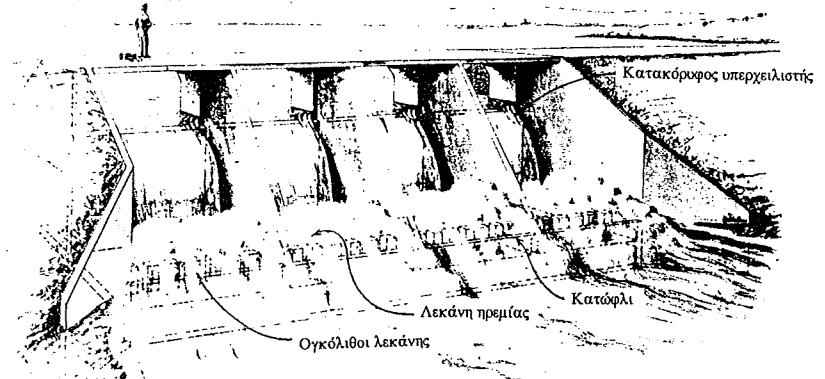
Σχ.1 Υδρογραφήματα εισόδου I και εξόδου O



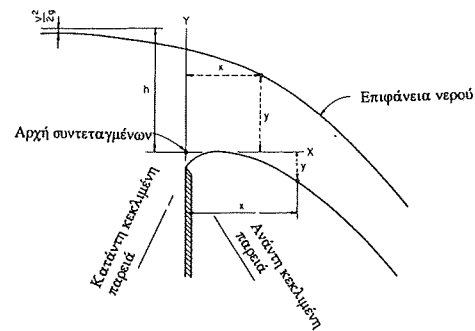
Σχ.2 Προσωρινά αποθηκευμένος όγκος S κατά τη διάρκεια πλημμύρας



Σχ.3 Γραφική παράσταση υπολογισμού υδρογραφήματος εκροής O

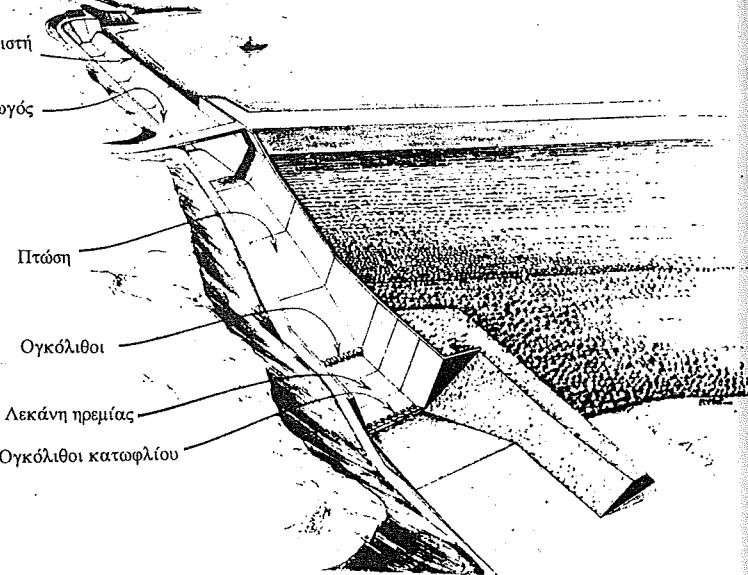


Σχ.4 Τοπική μορφή κατακόρυφου υπερχειλιστή

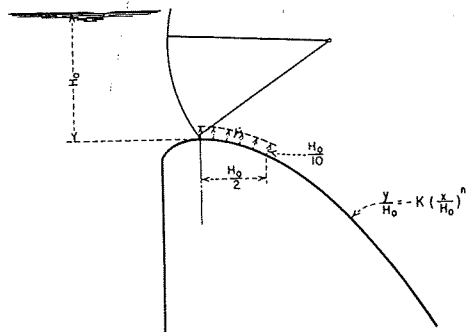


Σχ.5 Περίπτωση υπερχειλιστή ελεύθερης πτώσης τύπου S

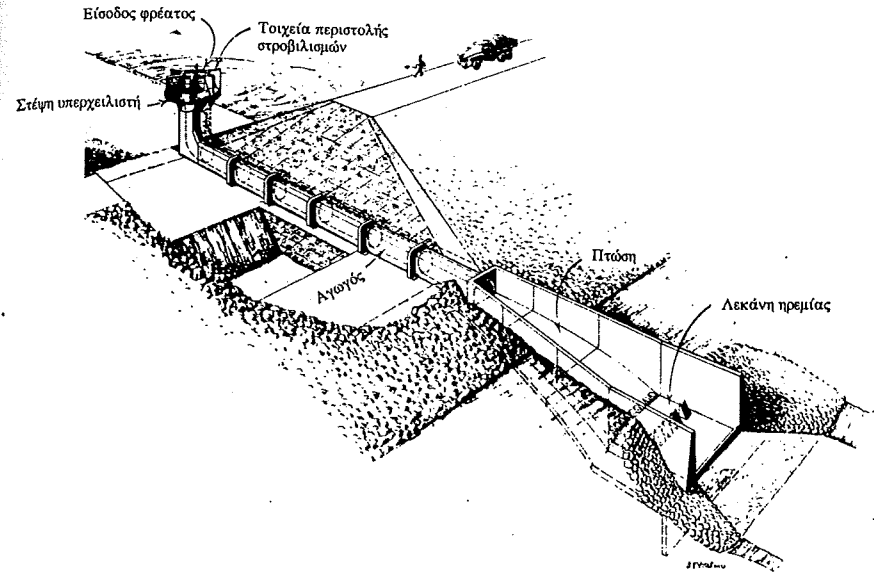
Στέψη υπερχειλιστή
 Πλαϊνός αγωγός
 Πτώση
 Ογκόλιθοι
 Λεκάνη ηρεμίας
 Ογκόλιθοι καταφλίου



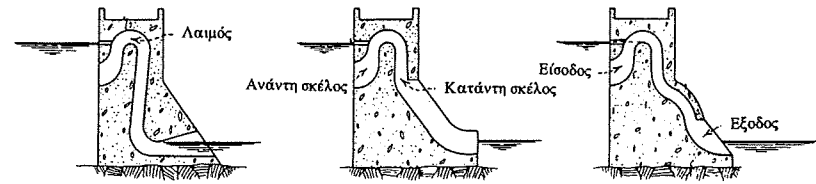
Σχ 6 Τυπική μορφή πλαϊνού υπερχειλιστή



Σχ. 7 Τύπος υπερχειλιστή με θυρόφραγμα

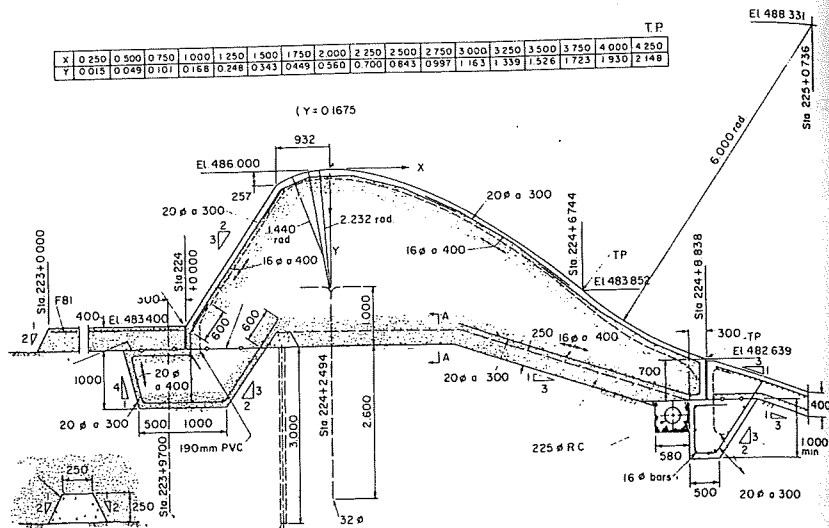


Σχ. 8 Τυπική μορφή φρεατοειδούς υπερχειλιστή

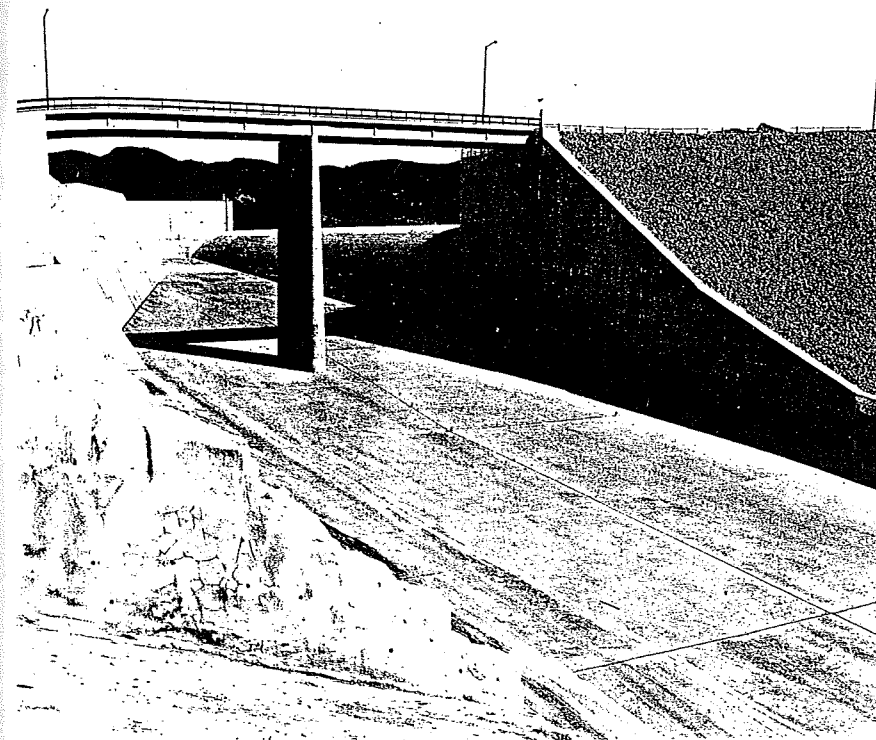


- α) Κατακόρυφο κάτω σκέλος με αποκλίνουσα έξοδο
- β) Μη ελεγχόμενη έξοδος
- γ) Κεκλιμένο κάτω σκέλος με μη ελεγχόμενη έξοδο

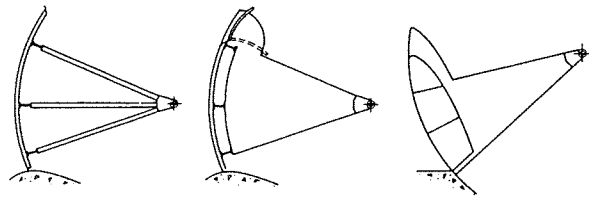
Σχ. 9 Μορφή σιφωνοειδών υπερχειλιστών



Σχ. 10 Υπερχειλιστής τύπου S του φράγματος Dartmouth(Αυστραλία)
Κατασκευαστικές λεπτομέρειες.

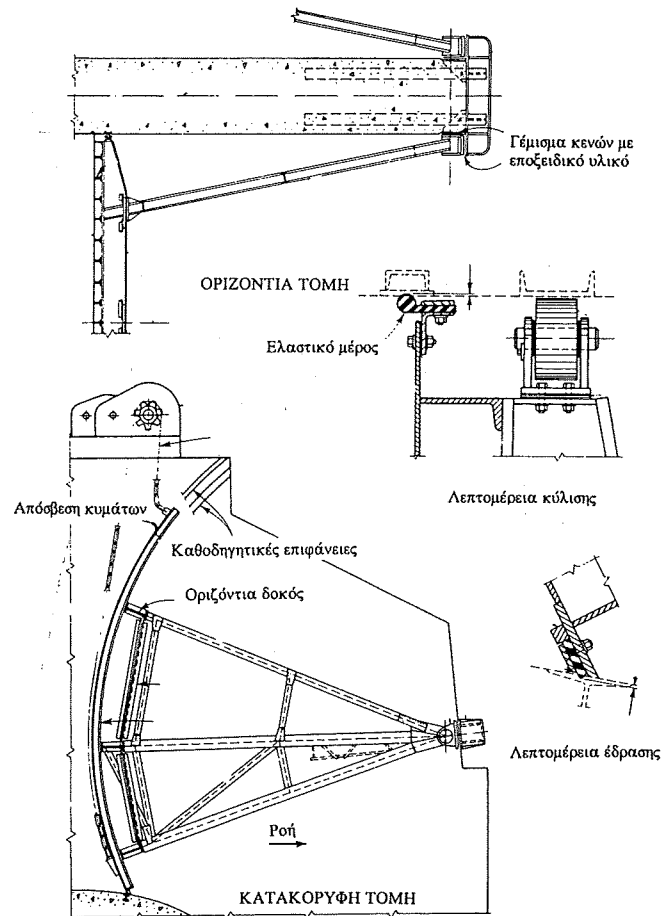


Σχ. 11 Πλαϊνός υπερχειλιστής του φράγματος Καστρακίου.Μέγιστη διερχόμενη
παροχή $Q = 3\,200 \text{ m}^3/\text{s}$

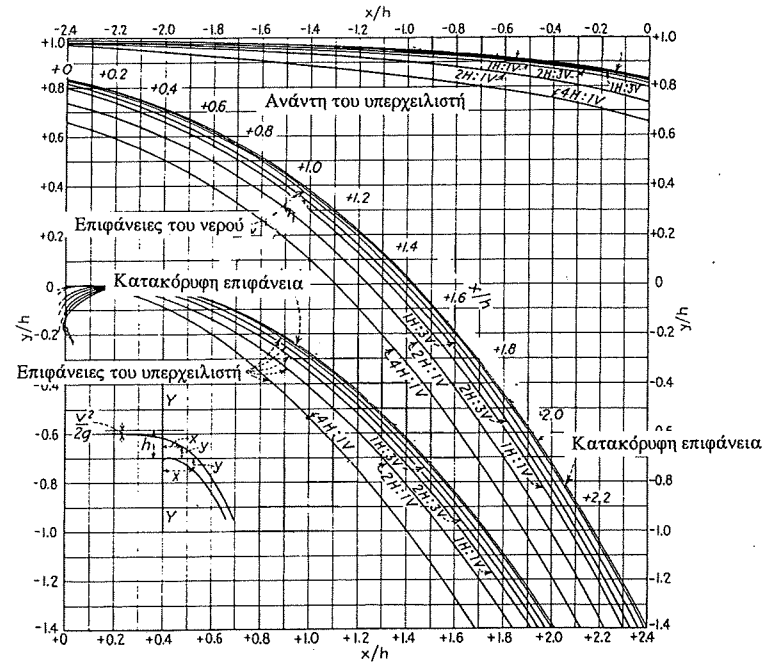


α) Κανονικό θυρόφραγμα β) Θυρόφραγμα με πτερόγια γ) Βυθισμένο θυρόφραγμα

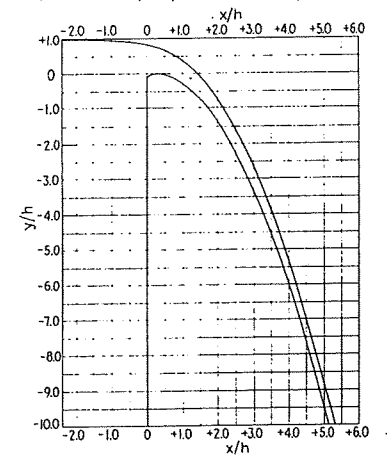
Σχ. 12 Μορφές θυροφραγμάτων



Σχ. 13. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες ενός θυροφράγματος



Σχ. 14 Μορφές της επιφάνειας του υπερχειλιστή και της επιφάνειας του νερού για διάφορες κλίσεις ανάντη. (Φορτίο στη στέψη ίσο με 1)



Σχ. 15 Μορφή της επιφάνειας του υπερχειλιστή και της ελεύθερης επιφάνειας του νερού με ανάντη κλίση κατακόρυφη. (Φορτίο στη στέψη ίσο με 1)

Πίνακας Ι. Συντεταγμένες της επιφάνειας ενός υπερχειλιστή.
Κάτω στρώση.

| z/h | y/h | | | | | | | | |
|------|------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Κατακόρυφη | Κλίση υπερχειλιστή | | | | | | | |
| | | κατάντη | | | | ανάτη | | | |
| | | 1H:3V | 2H:3V | 1H:1V | 2H:1V | 4H:1V | 1H:3V | 2H:3V | 1H:1V |
| 0.0 | -0.125 | -0.098 | -0.066 | -0.045 | -0.012 | -0.004 | -0.159 | -0.176 | -0.191 |
| 0.05 | -0.066 | -0.051 | -0.032 | -0.021 | -0.002 | -0.000 | -0.136 | -0.136 | -0.136 |
| 0.10 | -0.033 | -0.026 | -0.015 | -0.008 | -0.000 | -0.003 | -0.080 | -0.080 | -0.080 |
| 0.15 | -0.014 | -0.011 | -0.005 | -0.001 | -0.002 | -0.010 | -0.022 | -0.022 | -0.022 |
| 0.20 | -0.004 | -0.003 | -0.001 | -0.000 | -0.007 | -0.020 | -0.009 | -0.009 | -0.009 |
| 0.25 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 0.014 | 0.033 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| 0.30 | 0.000 | -0.001 | 0.004 | 0.009 | 0.023 | 0.049 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 0.35 | -0.004 | -0.005 | 0.010 | 0.018 | 0.038 | 0.068 | 0.003 | 0.003 | 0.003 |
| 0.40 | -0.011 | -0.012 | 0.019 | 0.030 | 0.053 | 0.090 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
| 0.45 | -0.021 | -0.022 | 0.031 | 0.045 | 0.072 | 0.115 | 0.020 | 0.020 | 0.020 |
| 0.50 | -0.034 | -0.035 | 0.046 | 0.062 | 0.093 | 0.143 | 0.033 | 0.033 | 0.033 |
| 0.55 | -0.049 | -0.051 | 0.064 | 0.082 | 0.117 | 0.173 | 0.048 | 0.048 | 0.048 |
| 0.60 | -0.066 | -0.069 | 0.084 | 0.104 | 0.141 | 0.206 | 0.065 | 0.065 | 0.065 |
| 0.65 | -0.085 | -0.090 | 0.106 | 0.128 | 0.168 | 0.240 | 0.084 | 0.084 | 0.084 |
| 0.70 | -0.106 | -0.113 | 0.131 | 0.154 | 0.197 | 0.277 | 0.105 | 0.105 | 0.105 |
| 0.75 | -0.129 | -0.138 | 0.158 | 0.182 | 0.228 | 0.315 | 0.128 | 0.128 | 0.128 |
| 0.80 | -0.157 | -0.165 | 0.187 | 0.212 | 0.261 | 0.356 | 0.153 | 0.153 | 0.153 |
| 0.85 | -0.185 | -0.195 | 0.218 | 0.244 | 0.297 | 0.400 | 0.180 | 0.180 | 0.180 |
| 0.90 | -0.216 | -0.227 | 0.251 | 0.278 | 0.333 | 0.443 | 0.210 | 0.210 | 0.210 |
| 0.95 | -0.249 | -0.261 | 0.286 | 0.314 | 0.373 | 0.490 | 0.242 | 0.242 | 0.242 |
| 1.0 | -0.283 | -0.297 | 0.323 | 0.352 | 0.413 | 0.538 | 0.277 | 0.277 | 0.277 |
| 1.1 | -0.358 | -0.375 | 0.403 | 0.434 | 0.501 | 0.641 | 0.351 | 0.351 | 0.351 |
| 1.2 | -0.441 | -0.461 | 0.491 | 0.524 | 0.597 | 0.752 | 0.433 | 0.433 | 0.433 |
| 1.3 | -0.532 | -0.555 | 0.587 | 0.622 | 0.701 | 0.871 | 0.523 | 0.523 | 0.523 |
| 1.4 | -0.631 | -0.657 | 0.691 | 0.728 | 0.813 | 0.998 | 0.621 | 0.621 | 0.621 |
| 1.5 | -0.738 | -0.767 | 0.803 | 0.842 | 0.933 | 1.133 | 0.727 | 0.727 | 0.727 |
| 1.6 | -0.853 | -0.885 | 0.923 | 0.964 | 1.061 | 1.276 | 0.841 | 0.841 | 0.841 |
| 1.7 | -0.976 | -1.011 | 1.051 | 1.094 | 1.197 | 1.427 | 0.963 | 0.963 | 0.963 |
| 1.8 | -1.107 | -1.145 | 1.187 | 1.232 | 1.341 | 1.586 | 1.093 | 1.093 | 1.093 |
| 1.9 | -1.246 | -1.287 | 1.331 | 1.378 | 1.493 | 1.753 | 1.231 | 1.231 | 1.231 |
| 2.0 | -1.393 | -1.437 | 1.483 | 1.532 | 1.653 | 1.928 | 1.377 | 1.377 | 1.377 |
| 2.2 | -1.711 | -1.761 | 1.811 | 1.864 | 1.997 | 2.302 | 1.693 | 1.693 | 1.693 |
| 2.4 | -2.061 | -2.117 | 2.171 | 2.228 | 2.373 | 2.708 | 2.041 | 2.041 | 2.041 |
| 2.6 | -2.443 | -2.505 | 2.563 | 2.624 | 2.781 | 3.146 | 2.421 | 2.421 | 2.421 |
| 2.8 | -2.857 | -2.925 | 2.987 | 3.052 | 3.221 | 3.616 | 2.833 | 2.833 | 2.833 |
| 3.0 | -3.303 | -3.377 | 3.443 | 3.512 | 3.693 | 4.118 | 3.277 | 3.277 | 3.277 |
| 3.2 | -3.781 | -3.861 | 3.931 | 4.004 | 4.197 | 4.652 | 3.753 | 3.753 | 3.753 |
| 3.4 | -4.291 | -4.377 | 4.451 | 4.528 | 4.733 | 5.218 | 4.261 | 4.261 | 4.261 |
| 3.6 | -4.833 | -4.925 | 5.003 | 5.084 | 5.301 | 5.816 | 4.801 | 4.801 | 4.801 |
| 3.8 | -5.407 | -5.505 | 5.587 | 5.672 | 5.901 | 6.446 | 5.373 | 5.373 | 5.373 |
| 4.0 | -6.013 | -6.117 | 6.203 | 6.292 | 6.533 | 7.108 | 5.977 | 5.977 | 5.977 |
| 4.2 | -6.651 | -6.761 | 6.851 | 6.944 | 7.197 | 7.802 | 6.613 | 6.613 | 6.613 |
| 4.4 | -7.321 | -7.437 | 7.531 | 7.628 | 7.893 | 8.528 | 7.281 | 7.281 | 7.281 |
| 4.6 | -8.023 | -8.145 | 8.243 | 8.344 | 8.621 | 9.286 | 7.981 | 7.981 | 7.981 |
| 4.8 | -8.757 | -8.885 | 8.987 | 9.092 | 9.381 | 10.076 | 8.713 | 8.713 | 8.713 |
| 5.0 | -9.523 | -9.657 | 9.763 | 9.872 | 10.173 | 10.898 | 9.477 | 9.477 | 9.477 |
| 5.2 | -10.321 | -10.461 | 10.571 | 10.684 | 10.907 | 11.752 | 10.273 | 10.273 | 10.273 |
| 5.4 | -11.151 | -11.297 | 11.411 | 11.528 | 11.853 | 12.638 | 11.101 | 11.101 | 11.101 |

Όμοια όπας 1:3

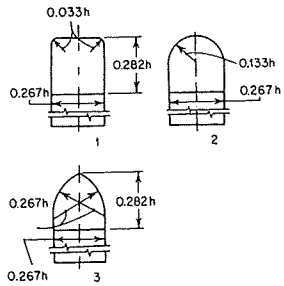
Όμοια όπας 1:3

Πίνακας ΙΙ. Συντεταγμένες της επιφάνειας ενός υπερχειλιστή.
Ανω στρώση(νερό)

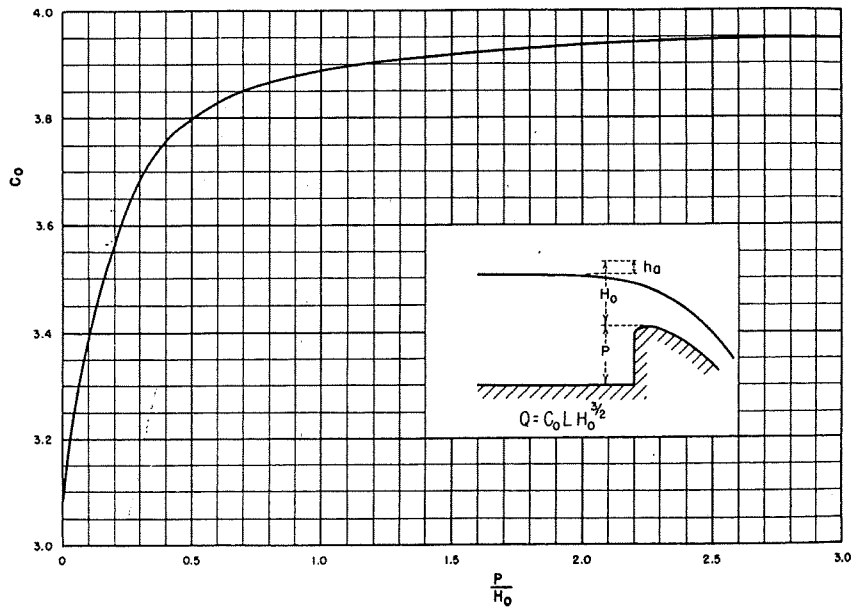
| z/h | y/h | | | | | | | | |
|------|------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Κατακόρυφη | Κλίση υπερχειλιστή | | | | | | | |
| | | κατάντη | | | | ανάτη | | | |
| | | 1H:3V | 2H:3V | 1H:1V | 2H:1V | 4H:1V | 1H:3V | 2H:3V | 1H:1V |
| -2.4 | 0.989 | 0.988 | 0.985 | 0.983 | 0.980 | 0.973 | 0.990 | 0.990 | 0.990 |
| -2.2 | 0.987 | 0.986 | 0.981 | 0.977 | 0.972 | 0.957 | 0.988 | 0.988 | 0.988 |
| -2.0 | 0.984 | 0.983 | 0.977 | 0.971 | 0.964 | 0.940 | 0.985 | 0.985 | 0.985 |
| -1.8 | 0.980 | 0.979 | 0.971 | 0.964 | 0.955 | 0.922 | 0.981 | 0.981 | 0.981 |
| -1.6 | 0.975 | 0.974 | 0.965 | 0.957 | 0.945 | 0.904 | 0.976 | 0.976 | 0.976 |
| -1.4 | 0.969 | 0.968 | 0.958 | 0.949 | 0.934 | 0.885 | 0.970 | 0.970 | 0.970 |
| -1.2 | 0.961 | 0.959 | 0.950 | 0.941 | 0.921 | 0.865 | 0.962 | 0.962 | 0.962 |
| -1.0 | 0.951 | 0.948 | 0.939 | 0.930 | 0.904 | 0.842 | 0.953 | 0.953 | 0.953 |
| -0.8 | 0.938 | 0.935 | 0.926 | 0.917 | 0.888 | 0.817 | 0.940 | 0.940 | 0.940 |
| -0.6 | 0.921 | 0.918 | 0.908 | 0.899 | 0.858 | 0.788 | 0.923 | 0.923 | 0.923 |
| -0.4 | 0.898 | 0.895 | 0.885 | 0.875 | 0.826 | 0.754 | 0.900 | 0.900 | 0.900 |
| -0.2 | 0.870 | 0.865 | 0.853 | 0.841 | 0.786 | 0.712 | 0.872 | 0.872 | 0.872 |
| 0.0 | 0.831 | 0.826 | 0.811 | 0.796 | 0.737 | 0.659 | 0.833 | 0.833 | 0.833 |
| 0.05 | 0.819 | 0.814 | 0.798 | 0.783 | 0.723 | 0.643 | 0.822 | 0.822 | 0.822 |
| 0.10 | 0.807 | 0.802 | 0.785 | 0.768 | 0.708 | 0.627 | 0.810 | 0.810 | 0.810 |
| 0.15 | 0.793 | 0.788 | 0.770 | 0.752 | 0.692 | 0.610 | 0.796 | 0.796 | 0.796 |
| 0.20 | 0.779 | 0.774 | 0.755 | 0.736 | 0.675 | 0.591 | 0.782 | 0.782 | 0.782 |
| 0.25 | 0.763 | 0.758 | 0.739 | 0.719 | 0.657 | 0.572 | 0.766 | 0.766 | 0.766 |
| 0.30 | 0.747 | 0.742 | 0.721 | 0.700 | 0.638 | 0.550 | 0.750 | 0.750 | 0.750 |
| 0.35 | 0.730 | 0.724 | 0.702 | 0.680 | 0.617 | 0.528 | 0.733 | 0.733 | 0.733 |
| 0.40 | 0.710 | 0.704 | 0.681 | 0.659 | 0.596 | 0.504 | 0.713 | 0.713 | 0.713 |
| 0.45 | 0.690 | 0.683 | 0.659 | 0.636 | 0.572 | 0.480 | 0.693 | 0.693 | 0.693 |
| 0.50 | 0.668 | 0.661 | 0.637 | 0.613 | 0.549 | 0.452 | 0.671 | 0.671 | 0.671 |
| 0.55 | 0.646 | 0.638 | 0.613 | 0.588 | 0.523 | 0.424 | 0.650 | 0.650 | 0.650 |
| 0.60 | 0.621 | 0.612 | 0.587 | 0.562 | 0.497 | 0.394 | 0.625 | 0.625 | 0.625 |
| 0.65 | 0.596 | 0.586 | 0.560 | 0.535 | 0.470 | 0.363 | 0.600 | 0.600 | 0.600 |
| 0.70 | 0.568 | 0.558 | 0.531 | 0.505 | 0.439 | 0.330 | 0.572 | 0.572 | 0.572 |
| 0.75 | 0.539 | 0.529 | 0.501 | 0.475 | 0.408 | 0.298 | 0.543 | 0.543 | 0.543 |
| 0.80 | 0.509 | 0.498 | 0.470 | 0.442 | 0.375 | 0.261 | 0.513 | 0.513 | 0.513 |
| 0.85 | 0.478 | 0.466 | 0.438 | 0.409 | 0.340 | 0.223 | 0.482 | 0.482 | 0.482 |
| 0.90 | 0.444 | 0.431 | 0.402 | 0.373 | 0.303 | 0.183 | 0.449 | 0.449 | 0.449 |
| 0.95 | 0.410 | 0.395 | 0.366 | 0.337 | 0.264 | 0.141 | 0.415 | 0.415 | 0.415 |
| 1.0 | 0.373 | 0.358 | 0.327 | 0.297 | 0.223 | 0.098 | 0.379 | 0.379 | 0.379 |
| 1.1 | 0.295 | 0.278 | 0.245 | 0.214 | 0.135 | 0.005 | 0.302 | 0.302 | 0.302 |
| 1.2 | 0.210 | 0.191 | 0.156 | 0.124 | 0.039 | -0.096 | 0.218 | 0.218 | 0.218 |
| 1.3 | 0.118 | 0.097 | 0.060 | 0.026 | -0.065 | -0.205 | 0.127 | 0.127 | 0.127 |
| 1.4 | -0.019 | -0.005 | -0.044 | -0.080 | -0.177 | -0.322 | 0.029 | 0.029 | 0.029 |
| 1.5 | -0.088 | -0.115 | -0.156 | -0.194 | -0.297 | -0.447 | -0.077 | -0.077 | -0.077 |
| 1.6 | -0.203 | -0.233 | -0.276 | -0.316 | -0.425 | -0.580 | -0.191 | -0.191 | -0.191 |
| 1.7 | -0.326 | -0.359 | -0.404 | -0.446 | -0.561 | -0.721 | -0.313 | -0.313 | -0.313 |
| 1.8 | -0.457 | -0.493 | -0.540 | -0.584 | -0.705 | -0.870 | -0.443 | -0.443 | -0.443 |
| 1.9 | -0.596 | -0.635 | -0.684 | -0.730 | -0.857 | -1.027 | -0.581 | -0.581 | -0.581 |
| 2.0 | -0.743 | -0.785 | -0.836 | -0.884 | -1.017 | -1.192 | -0.727 | -0.727 | -0.727 |
| 2.2 | -1.061 | -1.109 | -1.164 | -1.216 | -1.361 | -1.546 | -1.043 | -1.043 | -1.043 |
| 2.4 | -1.411 | -1.465 | -1.524 | -1.580 | -1.737 | -1.932 | -1.391 | -1.391 | -1.391 |
| 2.6 | -1.793 | -1.853 | -1.916 | -1.976 | -2.145 | -2.350 | -1.771 | -1.771 | -1.771 |
| 2.8 | -2.207 | -2.273 | -2.340 | -2.404 | -2.585 | -2.809 | -2.183 | -2.183 | -2.183 |
| 3.0 | -2.653 | -2.725 | -2.796 | -2.864 | -3.057 | -3.282 | -2.627 | -2.627 | -2.627 |
| 3.2 | -3.131 | -3.209 | -3.284 | -3.356 | -3.561 | -3.796 | -3.103 | -3.103 | -3.103 |
| 3.4 | -3.641 | -3.725 | -3.804 | -3.880 | -4.097 | -4.342 | -3.611 | -3.611 | -3.611 |
| 3.6 | -4.183 | -4.273 | -4.356 | -4.436 | -4.665 | -4.920 | -4.151 | -4.151 | -4.151 |
| 3.8 | -4.757 | -4.853 | -4.940 | -5.024 | -5.265 | -5.530 | -4.723 | -4.723 | -4.723 |
| 4.0 | -5.363 | -5.465 | -5.556 | -5.644 | -5.897 | -6.172 | -5.327 | -5.327 | -5.327 |
| 4.2 | -6.001 | -6.109 | -6.204 | -6.296 | -6.561 | -6.845 | -5.963 | -5.963 | -5.963 |
| 4.4 | -6.671 | -6.783 | -6.884 | -6.980 | -7.257 | -7.552 | -6.631 | -6.631 | -6.631 |
| 4.6 | -7.373 | -7.493 | -7.596 | -7.696 | -7.985 | -8.290 | -7.331 | -7.331 | -7.331 |
| 4.8 | -8.107 | -8.233 | -8.340 | -8.444 | -8.745 | -9.060 | -8.063 | -8.063 | -8.063 |
| 5.0 | -8.873 | -9.005 | -9.116 | -9.224 | -9.537 | -9.862 | -8.827 | -8.827 | -8.827 |
| 5.2 | -9.671 | -9.809 | -9.924 | -10.036 | -10.361 | -10.696 | -9.623 | -9.623 | -9.623 |
| 5.4 | -10.501 | -10.645 | -10.764 | -10.880 | -11.217 | -11.562 | -10.451 | -10.451 | -10.451 |

Όμοια όπας 1:3

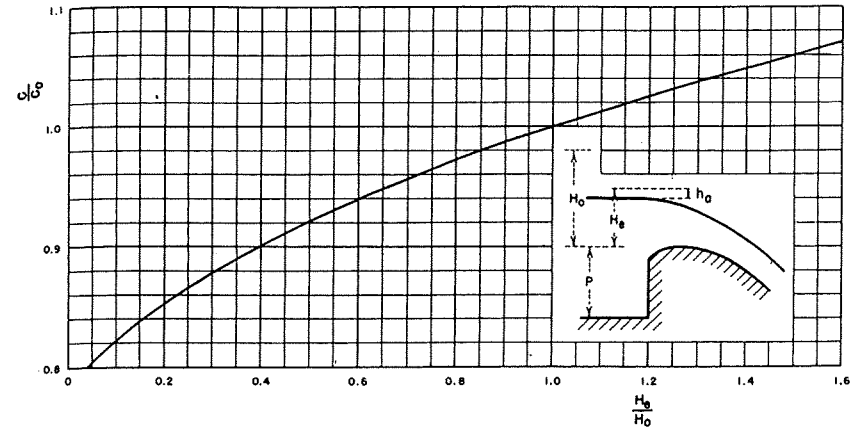
Όμοια όπας 1:3



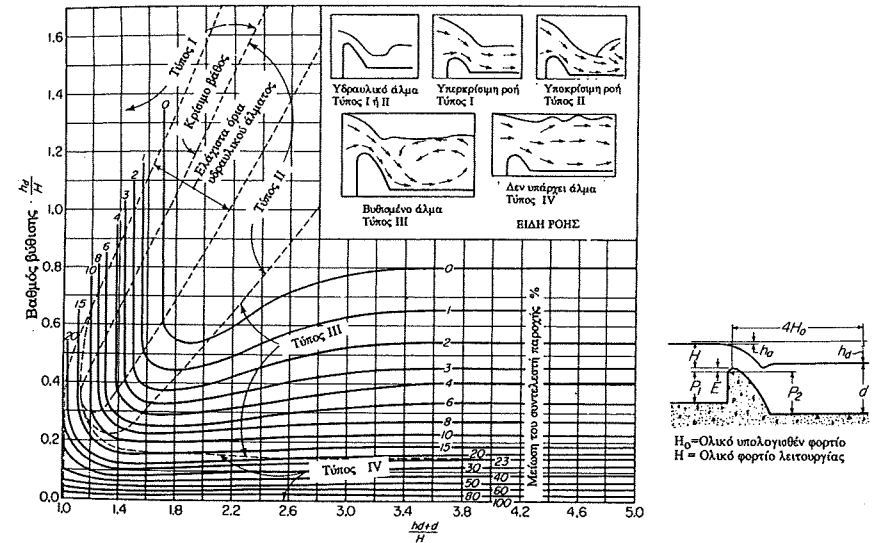
Σχ. 16 Μορφές μεσοβάθρων.



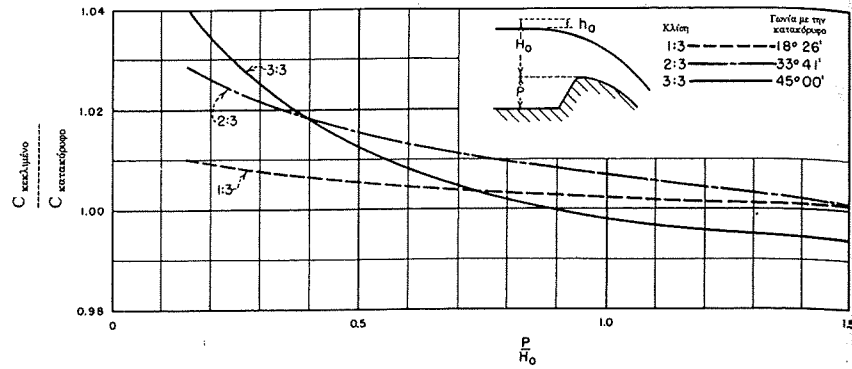
Σχ.17 Συντελεστής παροχής για ανάντη παρειά κατακόρυφη. Επίδραση του βάθους προσέγγισης.



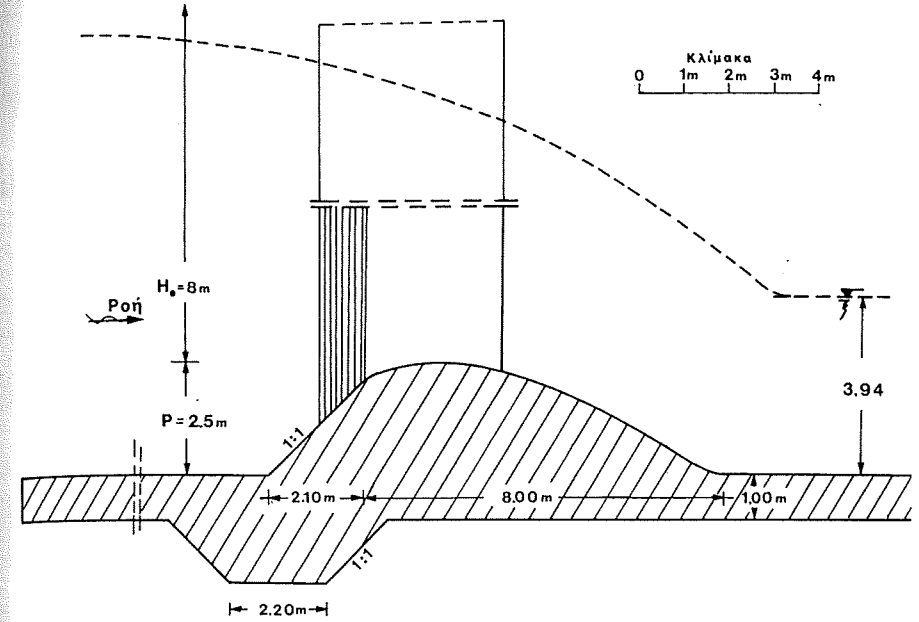
Σχ. 18 Συντελεστής παροχής για την περίπτωση φορτίου H_e διαφορετικού από το υπολογισθέν H_0 .



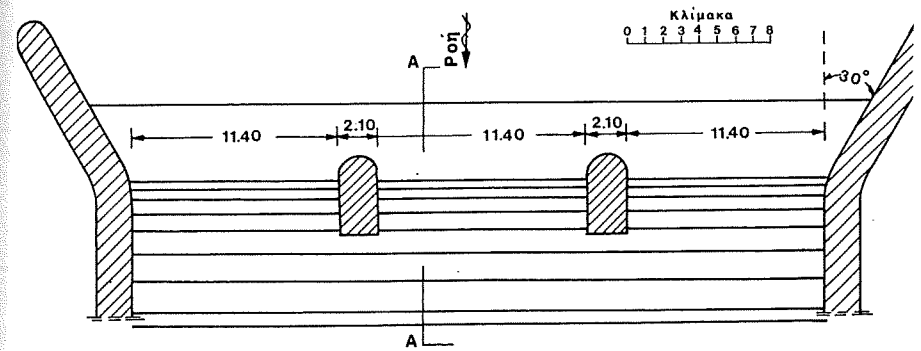
Σχ. 19 Συντελεστής παροχής για διάφορα βάθη προσέγγισης του βαθμού βύθισης h_0/H .



Σχ. 20 Συντελεστής παροχής για κεκλιμένη ανάντη παρειά.

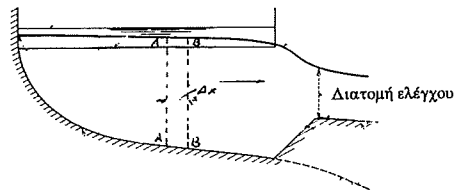


α. Τομή A-A

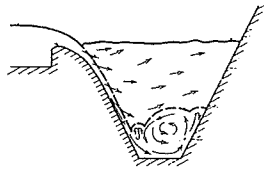


β. Κάτοψη

Σχ.21 Μορφή υπερχειλιστή τύπου S με διερχόμενη παροχή $Q=1500 \text{ m}^3/\text{s}$ και φορτίο στη στέψη του $H_0=8 \text{ m}$.

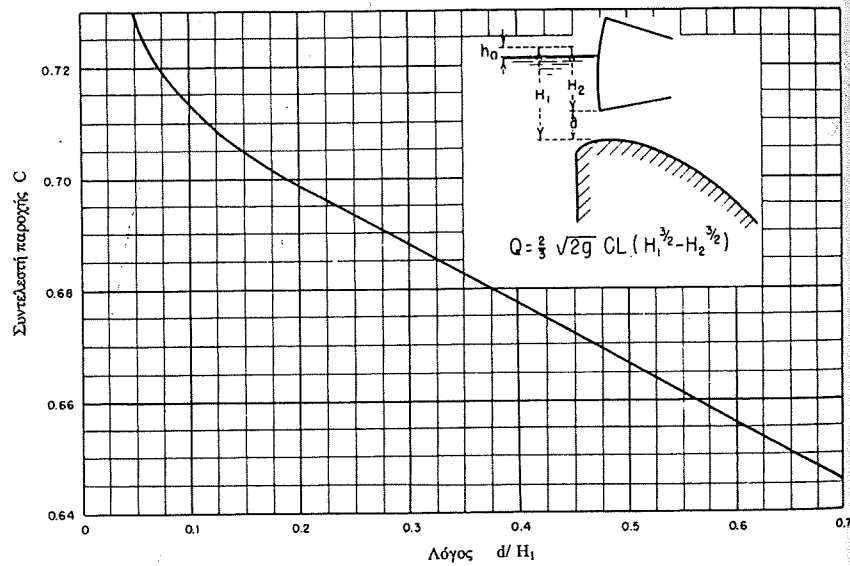


Κατά μήκος τομή

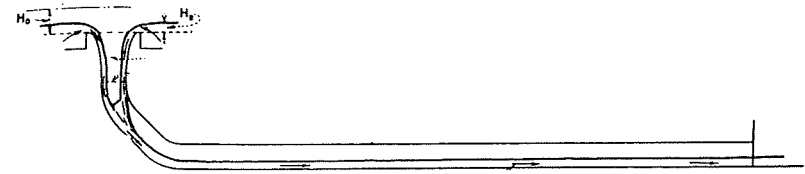


Διατομή

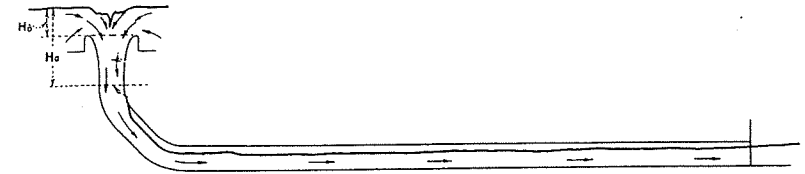
Σχ. 22 Υδραυλικά χαρακτηριστικά πλαινού υπερχειλιστή.



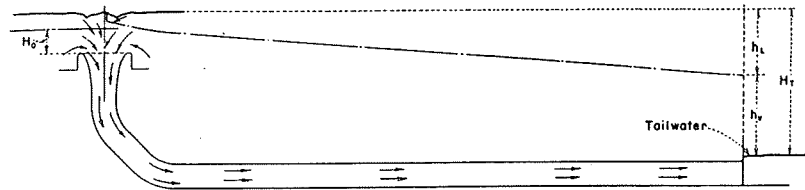
Σχ. 23 Συντελεστής παροχής C για την περίπτωση μερικών ανοικτών θυροφραγμάτων.



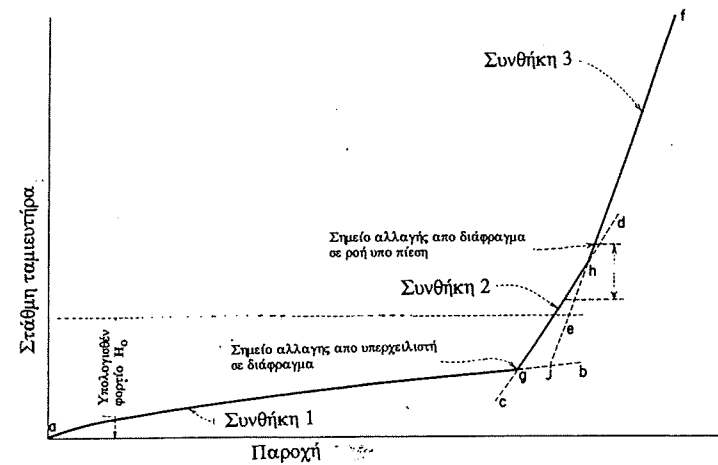
Συνθήκη 1. Έλεγχος υπερχειλιστή



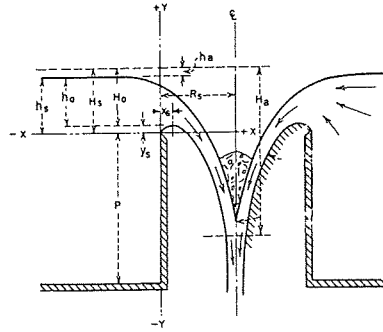
Συνθήκη 2. Έλεγχος διαφράγματος



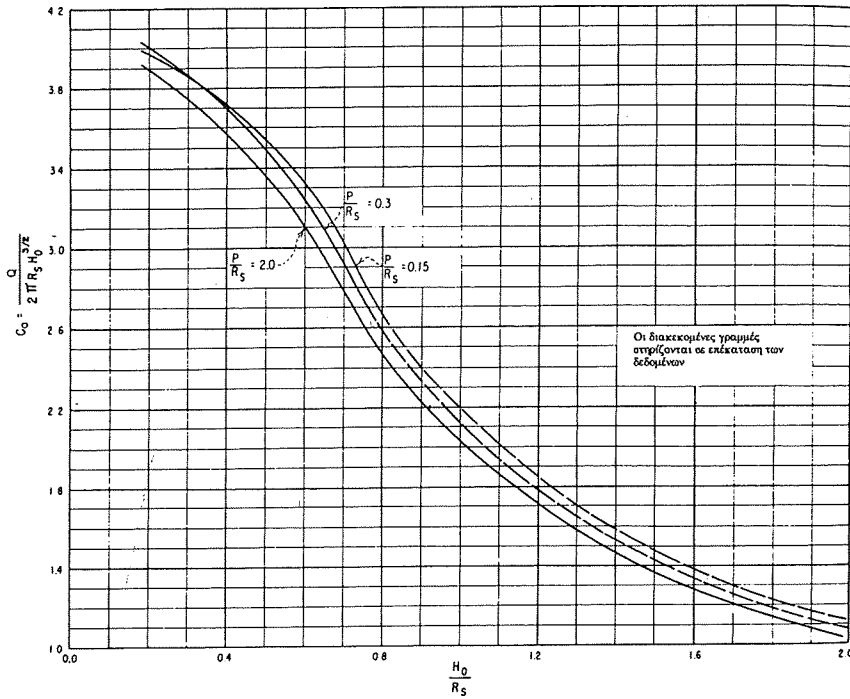
Συνθήκη 3. Ροή υπό πίεση



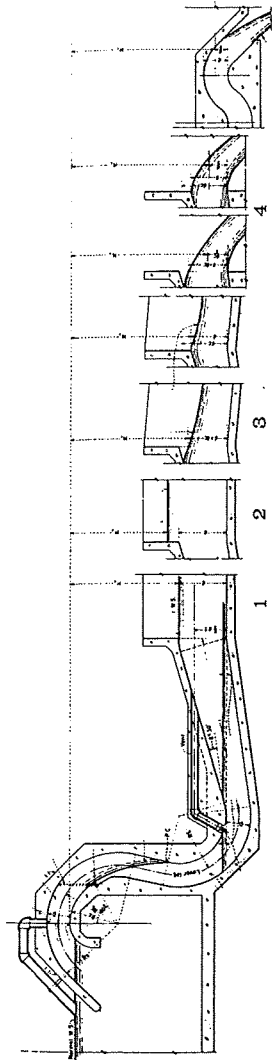
Σχ. 24 Χαρακτηριστικές συνθήκες ροής σε φρεατοειδείς υπερχειλιστές.



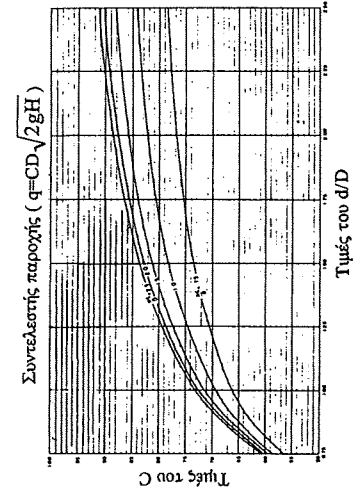
Σχ. 25 Ροή σε φρεατοειδή υπερχειλιστή με καθαρή μορφή υπερχειλιστή.



Σχ. 26 Σχέση του συντελεστή C_o και του λόγου H_0/R_s



1. Κανονική έξοδος
2. Βυθισμένη έξοδος
3. Έξοδος προς κεκλιμένο αγωγό
4. Έξοδος με ελεύθερη πτώση
5. Υπο πίεση έξοδος



Σχ.27 Τυπική μορφή σιφονοειδούς υπερχειλιστή με χαμηλό φορτίο

ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΟΥ ΜΕ ΤΡΑΠΕΖΟΕΙΔΗ
ΔΙΑΤΟΜΗ (ΒΑΛΙΑ ΚΑΛΑΝΤΑ)

Εανθουλάς Αχχιλάς, Πολ.Μηχανικός, Υδραυλικός - Υδρολόγος Μηχανικός
Τομέαρχης Υδρολογίας Δ.Ε.Η.

Σημειώνω αμέσως ότι το έργο - παρ' ότι είχε οδηγηθεί σε δημοπράτηση - δεν κατασκευάστηκε, λόγω σφοδρής αντίδρασης των περιβαλλοντολόγων, όχι μόνο της Ελλάδος. Κατά την γνώμη μου είναι λάθος, διότι η μελέτη όχι μόνο δεν αγνοούσε την ισορροπία εν γένει της φύσης, αλλά την βελτιώνει, με ένα πολύ μικρό ταμιευτήρα - υγροβιότοπο, ο οποίος στις πρόσφατες πυρκαγιές απεδείχθη ότι θα ήταν χρήσιμος.

1. ΠΑΡΟΧΗ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΟΥ

Όπως φαίνεται στο Σχ. 1 θεωρείται μία οπή υπό φορτίο (φανταστική), οπότε η διερχόμενη παροχή είναι:

$$dQ = \mu \cdot dA \cdot (2gz)^{1/2}, \quad \text{με } dA = [a+2n(H-z)] \cdot dz$$

Μετά την ολοκλήρωση από 0 ως $10H/9$, προκύπτει εύκολα ο τύπος:

$$Q = 2,18 \cdot (a+2nH/3) \cdot H^{3/2}$$

Το H είναι το φορτίο μελέτης. Για διαφορετικά φορτία έχει ληφθεί διορθωτικός συντελεστής (Design of Small Dams, V. T. Chow κλπ).

2. ΠΡΟΦΙΛ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΟΥ (Σχ. 2)

Μετά την ανάσχεση πλημμύρας (εισορές από το υπολογισθέν υδρογράφημα πλημμύρας μείον εκροές υπερχειλιστού και σήραγγας προσαγωγής), προέκυψε η παροχή πλημμύρας (σχεδιασμός υπερχειλιστού), και στη συνέχεια, από τον τύπο του υπερχειλιστή, το φορτίο σχεδιασμού $H = H_d$. Εξετάστηκαν τρία προφίλ, με βάση την γνωστή σχέση:

$$y/H_d = k \cdot (x/H_d)^n$$

| | <u>U.S.B.R.</u> | <u>W.E.S.</u> | <u>Scimemi - Greager</u> |
|----|-----------------|---------------|--------------------------|
| k: | 0.50 | 0.50 | 0.47 |
| n: | 1.87 | 1.85 | 1.80 |

Τελικά, με την υιοθέτηση κλίσης στο ανάντη τμήμα του υπερχειλιστή, εφαρμόστηκε ένα μέσο προφίλ, που συνιστά και ο V. T. Chow (Open Channel Hydraulics), με $k = 0.53$ και $n = 1.78$.

Στο προφίλ αυτό, μετά ένα τμήμα, έγινε προσαρμογή ενός κυκλικού τόξου, με αντίστροφη καμπυλότητα ως προς το προφίλ, έτσι ώστε να έχει αφ' ενός κοινή εφαπτόμενη με το προφίλ (στο άνω άκρο) και να εφαπτεται αφ' ετέρου της κλίσης του πυθμένα του καναλιού που ακολουθούσε.

Απλά σημειώνεται ότι η εργασία υπολογισμού του τμήματος συναρμογής, είναι αρκετά επίπονη, με σημαντικό όγκο γεωμετρικών υπολογισμών.

3. ΟΓΕΕ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΟΥ (Σχ. 3)

Λόγω μεταβολής του πλάτους του πυθμένα κατά μήκος του αγωγού, καθώς και λόγω ύπαρξης προφίλ, η κάτοψη του πυθμένα λαμβάνει ιδιαίτερη μορφή, και πρέπει να υπολογισθεί. Και εδώ ο υπολογισμός είναι αρκετά επίπονος.

4. ΠΡΟΦΙΛ ΡΟΗΣ

α. Βάθος νερού στον πόδα: Με τη βοήθεια του θεωρήματος Bernoulli,

υπολογίστηκε το βάθος του νερού στην έξοδο (πόδα) του υπερχειλιστού. Χρειάστηκε trial and error.

β. Κρίσιμα βάθη: Από την γνωστή σχέση του κρίσιμου βάθους $Q^2/g = A^3/b$, όπου $b =$ πλάτος ελεύθερης επιφάνειας, και με trial and error, υπολογίστηκαν τα κρίσιμα βάθη σε όλο το μήκος του υπερχειλιστού.

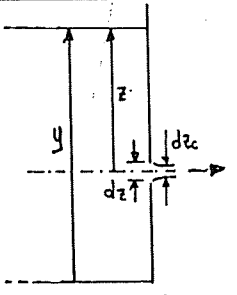
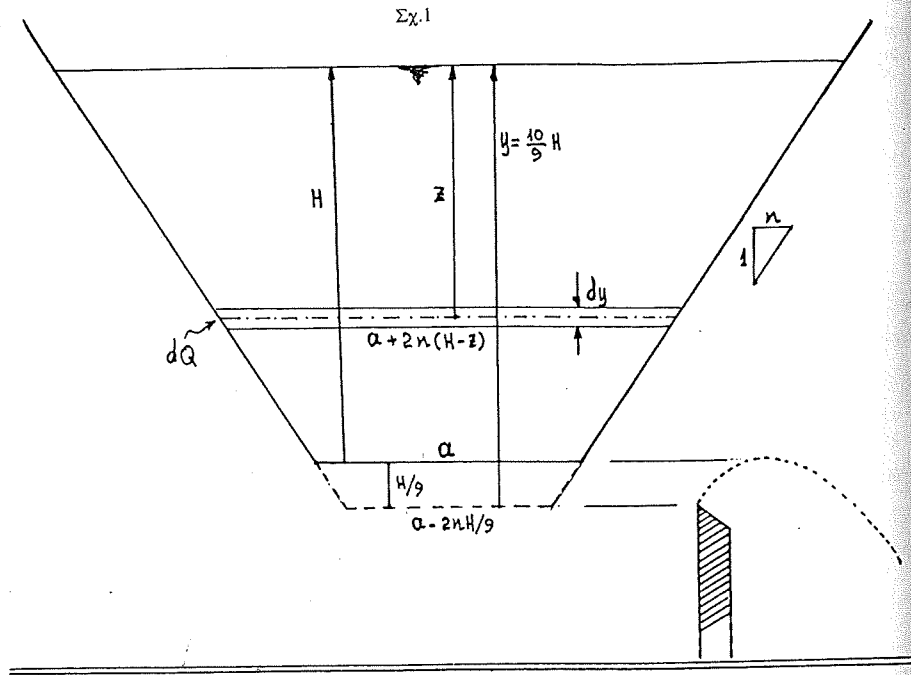
γ. Ομοιόμορφη ροή: Στο τμήμα με συγκλίνοντα πυθμένα, υπελογίσθησαν τα βάθη της σχεδόν ομοιόμορφης ροής (quasi-uniform flow). Στο υπόλοιπο πρισματικό τμήμα, το βάθος είναι ενιαίο, με απλό υπολογισμό (τύπος Chezy).

δ. Προφίλ ροής: Με μικρούς βηματισμούς και εφαρμογή του θεωρήματος του Bernoulli, υπολογίστηκε το προφίλ (κανονικά βάθη) σε όλο το μήκος (περίπου 80m).

ε. Freeboard: Τέλος, με την βοήθεια στοιχείων που δίνει ο V.T. Chow, υπολογίστηκε και το περιθώριο ασφαλείας, για την κατασκευή των τοιχωμάτων του υπερχειλιστού.

$$Q = 2.18 \left(a + \frac{2}{3} nH \right) \cdot H^{1.5}$$

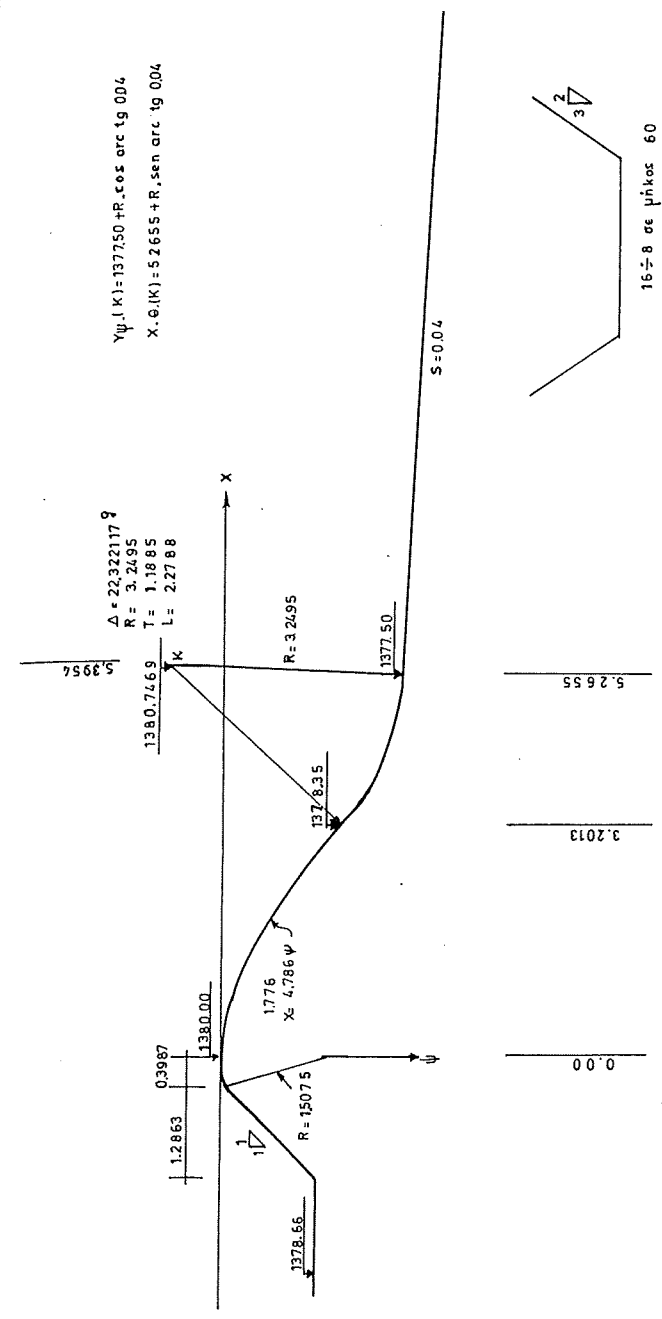
ΠΑΡΟΥΧΗ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΟΥ



$$\frac{dz}{dz} \approx 0.64 \approx \frac{dA_c}{dA}, \quad dA = [a + 2n(H-z)] \cdot dz$$

$$z = (1.48) \frac{V^2}{2g} \rightarrow V = \frac{1}{1.48} \sqrt{2gz} \approx 0.98 \sqrt{2gz}$$

$$dQ \approx 0.63 \cdot dA \cdot \sqrt{2gz} = \mu \cdot dA \cdot \sqrt{2gz}$$

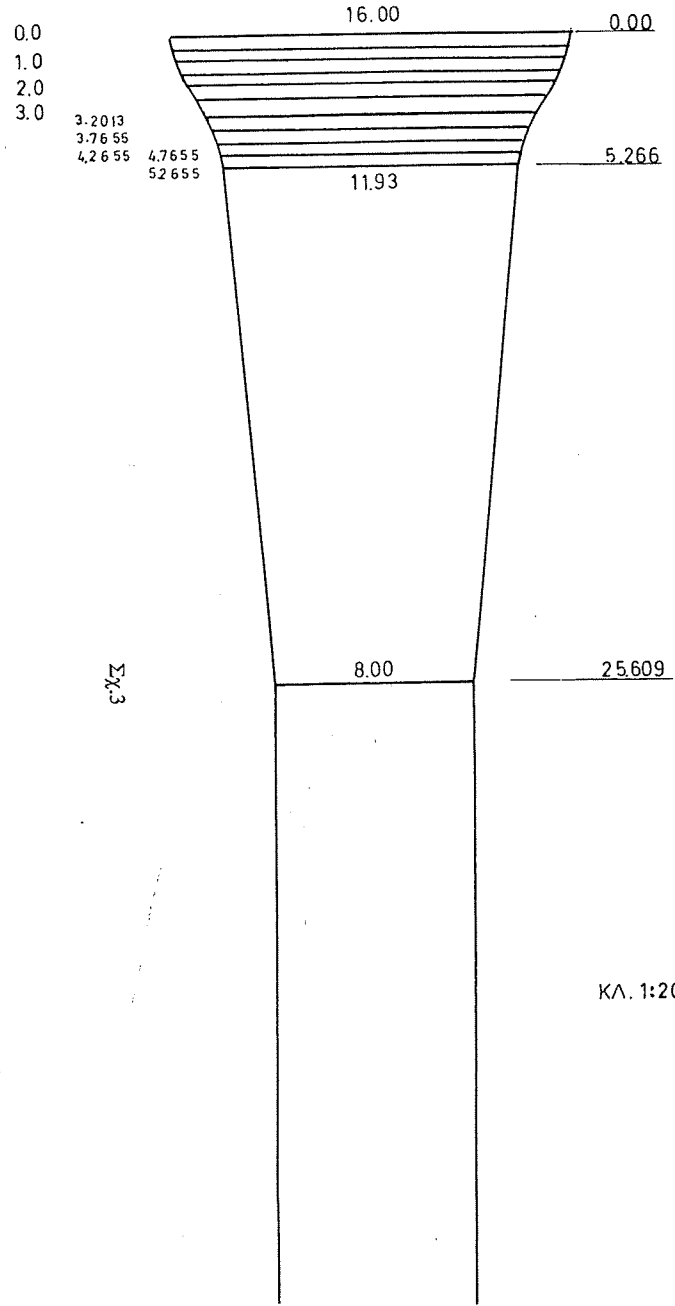


$\Psi_{\mu,1}(K) = 1377.50 + R \cdot \cos \text{arc } 19.004$
 $X_{\mu,1}(K) = 5.2655 + R \cdot \sin \text{arc } 19.004$

$\Delta = 22.322117^\circ$
 $R = 3.2495$
 $T = 1.1885$
 $L = 2.2788$

ΣΧ.2 ΠΡΟΪΓΙΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΟΥ

Κ.Λ. 1:50



3.2013
3.7655
4.2655

Σχ.3

ΟΓΕΕ (ΠΥΘΩΝΑΣ)

ΚΛ. 1:200

4. ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τηλιγάδας Ελεήμων, Αγρονόμος-Τοπογράφος Μηχανικός, ΥΠΕΧΩΔΕ, Δ/ση
Εγγ/κών Έργων (Δ7), Dr.Ing. de l'Universite de Paris VI.

1.1 Γενικά

Στον πόδα υδραυλικών κατασκευών όπως οι αναβαθμοί και οι διαφόρων τύπων εκχειλιστές, η ροή κατά κανόνα αποκτά μεγάλες ταχύτητες που θα οδηγούσαν σε ανεπιθύμητες διαβρώσεις των κατάντη αγωγών (φυσικών ή και τεχνητών). Για αυτό το λόγο, επιδιώκεται η καταστροφή μέρους της διαθέσιμης ενέργειας με τη δημιουργία υδραυλικού άλματος υπό ελεγχόμενες συνθήκες στις λεγόμενες λεκάνες αποσβέσεως ενέργειας. Πρόκειται για κατασκευές κατάλληλων διαστάσεων και ενισχυμένη επένδυσης ώστε να αντιμετωπίζουν τις καταπονήσεις που συνοδεύουν το φαινόμενο του υδραυλικού άλματος. Η διαμόρφωση τους συχνά αποτελεί αντικείμενο μελέτης σε εργαστηριακά ομοιώματα αφού η θεωρία μόνο κατά προσέγγιση μπορεί να περιγράψει τη συμπεριφορά τους και μάλιστα για την απλή περίπτωση της ορθγωνικής διατομής.

Στη συνέχεια θα γίνουν κατ' αρχήν ωρισμένες υπομνήσεις από την θεωρία του υδραυλικού άλματος οι οποίες κρίνονται απαραίτητες για την καλύτερη κατανόηση των κανόνων σχεδιασμού των λεκανών αποσβέσεως ενεργείας που θα αναπτυχθούν στη συνέχεια.

2. ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΑΛΜΑ

Με το υδραυλικό άλμα γίνεται απότομη μετάβαση της ροής από υπερκρίσιμη σε υποκρίσιμη. Το φαινόμενο χαρακτηρίζεται από στροβιλισμούς και τύρβη μεγάλης κλίμακας και έχει ως κύρια συνέπεια τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε θερμότητα (τοπικές απώλειες). Αξιοποιείται για την καταστροφή πλεονάζουσας ενέργειας (π.χ στον πόδα υδραυλικών κατασκευών) και για μείωση της ταχύτητας ροής ούτως ώστε να αποφεύγονται διαβρώσεις κατάντη. Μπορεί ακόμη να αξιοποιηθεί για την ανάμιξη ουσιών στη ροή ή και αερισμό του νερού λόγω της έντονης τύρβης.

2.1 Βασικά χαρακτηριστικά άλματος

Τα σύμβολα που θα χρησιμοποιηθούν στις παρακάτω σχέσεις ,δηλαδή βάρη ροής, ταχύτητες, αριθμοί Froude, ειδικές ενέργειες παρουσιάζονται στο

σχήμα 1. Η διατομή 1 είναι πάντοτε ανάντη (υπερκρίσιμη ροή) και η διατομή 2 κατάντη (υποκρίσιμη ροή).

2.2 Σχέση συζυγών βαθών

Η θεωρητική ανάλυση του υδραυλικού άλματος γίνεται με την μονοδιάστατη εξίσωση ποσότητας κίνησης η οποία καταλήγει στην ισότητα των ειδικών δυνάμεων $M_1 = M_2$. Σε ορθογωνικό αγωγό η σχέση των συζυγών βαθών D_1, D_2 εκατέρωθεν του άλματος δίδεται από την κατωτέρω σχέση (σχ 2):

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{1}{2}(\sqrt{8F_1^2 + 1} - 1)$$

Όπως φαίνεται και από το σχήμα 2 η συμφωνία μεταξύ θεωρητικής σχέσης και πειραματικών αποτελεσμάτων είναι εξαιρετική.

2.3 Απόλεια ενέργειας.

Η απόλεια ενέργειας στο υδραυλικό άλμα ισούται με την διαφορά των ειδικών ενεργειών πριν και μετά το άλμα. Αποδεικνύεται εύκολα ότι δίνεται από την σχέση:

$$\Delta E = E_1 - E_2 = \frac{(D_2 - D_1)^3}{4D_2D_1}$$

ο λόγος $\frac{\Delta E}{E_1}$ λέγεται **σχετική απόλεια**.

2.4 Αποτελεσματικότητα

Ο λόγος της ειδικής ενέργειας μετά το άλμα προς την ειδική ενέργεια πριν από το άλμα ορίζεται ως αποτελεσματικότητα του άλματος.

Δίνεται από την σχέση:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{(8F_1^2 + 1)^{\frac{3}{2}} - 4F_1^2 + 1}{8F_1^2(F_1^2 + 2)}$$

Η εξίσωση αυτή δείχνει ότι η αποτελεσματικότητα του άλματος είναι αδιάστατος αριθμός εξαρτώμενος μόνον από τον αριθμόν Froude F_1 .

2.5 Ύψος του άλματος

Ός ύψος άλματος ορίζεται η διαφορά μεταξύ των βαθών μετά και πριν από το άλμα δηλαδή $h_j = D_2 - D_1$. Εκφράζοντας κάθε όρο ως κλάσμα προς αρχική ειδική ενέργεια έχουμε:

$$\frac{h_j}{E_1} = \frac{D_2}{E_1} - \frac{D_1}{E_1}$$

2.6 Μήκος του άλματος

Ός μήκος του άλματος ορίζεται η οριζόντια απόσταση από την αρχή του έως το σημείο του αμέσως κατάντη του στροβίλου. Το μήκος δεν μπορεί να προσδιορισθεί θεωρητικά, αλλά έχει τύχει εκτεταμένης πειραματικής διερεύνησης. Κατά κανόνα τα πειραματικά αποτελέσματα σχεδιάζονται σε διάγραμμα ορθογωνίων αξόνων όπου στον άξονα των τεταγμένων τοποθετούνται οι τιμές του λόγου $\frac{L}{D_1}$ και στον άξονα των τετμημένων οι

τιμές του αριθμού Froude της προσερχομένης ροής δηλαδή $F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gD_1}}$.

Η καμπύλη του σχήματος 3 βασίζεται σε πειραματικά αποτελέσματα από έξι ορθογωνικά κανάλια που διεξήχθησαν από το U.S.B.R. Θεωρείται η πλέον αξιόπιστη διεθνώς και συνιστάται για γενική χρήση. Αν συγκρίνουμε την καμπύλη αυτή με την γνωστή καμπύλη Bakhmeteff - Matzke, που φαίνεται επίσης στο διάγραμμα, είναι φανερό ότι υπάρχει απόκλιση των δύο καμπύλων για τιμές του F_1 μεγαλύτερες του 2.5. Η απόκλιση αυτή οφείλεται στο "φαινόμενο κλίμακας" που υπάρχει στα πειραματικά αποτελέσματα των Bakhmeteff - Matzke. Αυτό το φαινόμενο κλίμακας σημαίνει ότι η λειτουργία του πρωτοτύπου δεν αναπαράχθηκε σωστά στο μοντέλο. Η καμπύλη του σχήματος 4 αναπτύχθηκε αρχικά για άλματα που συμβαίνουν σε ορθογωνικά κανάλια. Εάν δεν υπάρχουν κατάλληλα δεδομένα, η καμπύλη αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά προσέγγιση και για τραπεζοειδείς διάρρυγες.

2.7 Τύποι Υδραυλικού Άλματος

Σύμφωνα με τις έρευνες του U.S.B.R. οι διάφοροι τύποι του υδραυλικού άλματος μπορεί να καταταγούν σε πέντε κατηγορίες, σύμφωνα με τον αριθμό Froude F_1 της προσερχόμενης ροής όπως κατωτέρω (σχ 4):

Για $F_1 = 1$ η ροή είναι κρίσιμος και δεν δύναται να δημιουργηθεί άλμα.

Για $F_1 = 1$ έως 1.7 η επιφάνεια του άλματος σχηματίζει κυματισμούς και το άλμα λέγεται **κυματοειδές άλμα (undular jump)**.

Για $F_1 = 1.7$ έως 2.5 στην επιφάνεια του νερού σχηματίζεται μια σειρά μικρών στροβιλισμών, αλλά η κατάντη επιφάνεια του νερού παραμένει

αδιατάρακτη. Η ταχύτητα είναι αρκετά ομοιόμορφη και η απώλεια ενεργείας μικρή. Το άλμα λέγεται **ασθενές (weak jump)**.

Για $F_1=2.5$ έως 4.5 παρατηρείται μια μη περιοδική ταλάντωση της μάζας του νερού από τον πυθμένα προς την επιφάνεια. Κάθε ταλάντωση παράγει ένα κύμα ακανόνιστης περιόδου που ταξιδεύει κατάντη επί χιλιόμετρα και προκαλεί καταστροφές στα αναχώματα. Τότε το άλμα λέγεται **ταλαντευόμενο (oscillating jump)**.

Για $F_1=4.5$ έως 9 το κατάντη άκρο του επιφανειακού στροβίλου και το σημείο μεταβολής της ταχύτητας συμπίπτουν στην αυτή διατομή. Η θέση του άλματος επηρεάζεται ελάχιστα από τη μεταβολή του κατάντη βάθους. Η τύρβη περιορίζεται στην κυρίως περιοχή του άλματος και η κατάντη επιφάνεια του νερού παραμένει σχετικώς λεία. Η απόδοση του άλματος ευρίσκεται στο μέγιστό της. Η καταστροφή ενέργειας κυμαίνεται από $45-70\%$. Το άλμα αυτό λέγεται **σταθερό άλμα (steady jump)**.

Για F_1 μεγαλύτερο ή ίσο του 9 η τύρβη στο άλμα και ο επιφανειακός στρόβιλος αυξάνονται συνεχώς δημιουργώντας ανώμαλη επιφάνεια νερού με δυνατά επιφανειακά κύματα κατάντη του άλματος. Η αποτελεσματικότητα του άλματος αυξάνεται αφού η καταστροφή ενεργείας μπορεί να φθάσει το 85% . Το άλμα καλείται **ισχυρό άλμα (strong jump)**.

Σημειώνεται ότι τα όρια του αριθμού του Froude στα οποία κυμαίνονται οι διάφοροι τύποι του υδραυλικού άλματος είναι ευρέα.

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ FROUDE

Ο σχεδιασμός των Λεκάνης αποσβέσεως ενέργειας για τις διάφορες μορφές του υδραυλικού άλματος περιγράφεται ως ακολούθως:

3.1. Λεκάνη αποσβέσεως ενέργειας για αριθμούς Froude < 1.7

Για αριθμό Froude F_1 μικρότερο του 1.7 , το συζυγές βάθος D_2 είναι περίπου διπλάσιο του αρχικού βάθους D_1 , ή περίπου κατά 40% μεγαλύτερο του κρίσιμου βάθους. Η ταχύτητα εξόδου V_2 είναι περίπου κατά 30% μικρότερη της κρίσιμης ταχύτητας. Για αριθμούς Froude F_1 μικρότερους του 1.7 δεν υπάρχει ανάγκη κατασκευής λεκάνης αποσβέσεως

ενέργειας, εκτός από την πρόβλεψη ότι το μήκος του καναλιού πέραν του σημείου αλλαγής του βάθους ροής πρέπει να είναι μεγαλύτερο του $4D_1$.

3.2. Λεκάνη αποσβέσεως ενέργειας για αριθμούς Froude $1.7 < F_1 < 2.5$

Για τις τιμές του αριθμού Froude F_1 μεγαλύτερες του 1.7 και μικρότερες του 2.5 το υδραυλικό άλμα είναι του τύπου "ασθενές άλμα". Επειδή η ροή αυτή δεν συνοδεύεται από ενεργό τύρβη δεν απαιτούνται οδόντες. Η λεκάνη αποσβέσεως ενέργειας πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ούτως ώστε να περιέχει τη ροή.

Το μήκος της λεκάνης θα ληφθεί από την καμπύλη για τον τύπο I του διαγράμματος 5.

3.3. Λεκάνη αποσβέσεως ενέργειας για αριθμούς Froude $2.5 < F_1 < 4.5$

Όπως προαναφέρθηκε στην περίπτωση αυτή (ταλαντευόμενο άλμα) το κυριώτερο πρόβλημα είναι τα παραγόμενα κύματα τα οποία δεν μπορούν να ελεγχθούν εύκολα με τις συνήθεις λεκάνες αποσβέσεως ενέργειας. Η λεκάνη αποσβέσεως ενέργειας που χρησιμοποιείται στην περίπτωση αυτή είναι του τύπου IV (σχήμα 6) που απεδείχθη αρκούτως ικανοποιητική για την καταστροφή του μεγαλύτερου μέρους της ενέργειας της ροής.

Οι οδόντες πρσανούς έχουν ως σκοπό να κατευθύνουν την φλέβα ροής στη βάση του στροβίλου με αποτέλεσμα να τον δυναμώνουν και, κατά συνέπεια, να σταθεροποιούν το άλμα. Το μέγιστο συνιστώμενο πλάτος των οδόντων είναι ίσο προς D_1 . Από υδραυλικής απόψεως είναι προτιμώτερο οι οδόντες να είναι στενότεροι από ό,τι στο σχήμα, δηλ. $0.75 D_1$.

Ο λόγος πλάτους οδόντος προς ισαποχή είναι $1 : 2.5$. Η επιφάνεια των ακραίων οδόντων απέχει $2 D_1$ από τον πυθμένα της λεκάνης. Το ελάχιστο μήκος της στέψης των ογκολίθων είναι $2 D_1$ και έχουν κλίση 5% κατά την κατεύθυνση ροής.

Εντούτοις, η δράση του κύματος που οφείλεται στην ταλαντευόμενη ροή δεν μπορεί να αποσβεσθεί εντελώς. Μερικές φορές πρέπει να χρησιμοποιηθούν διατάξεις απόσβεσης των κυμάτων για να επιτύχουμε μια κατάντη λεία επιφάνεια.

Λόγω της τάσης του άλματος να εκφεύγει των ορίων της λεκάνης και για να αποσβεσθεί η δράση του κύματος συνιστάται να λαμβάνεται το κατάντη βάθος ροής στην λεκάνη μεγαλύτερο κατά 10% του υπολογιζόμενου συζυγούς βάθους, δηλ. $1.1 D_2$.

Το μήκος του άλματος δίνεται από την καμπύλη για τον τύπο I του διαγράμματος 5.

Μπορούμε επίσης να αποφύγουμε να χρησιμοποιήσουμε αυτόν τον τύπο λεκάνης τροποποιώντας τις διαστάσεις της λεκάνης αποσβέσεως ενεργείας ούτως ώστε οι συνθήκες ροής να μην αντιστοιχούν στο ταλαντευόμενο άλμα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί αυξάνοντας το πλάτος της λεκάνης.

3.4. Λεκάνη αποσβέσεως ενέργειας για αριθμούς Froude $F_1 > 4.5$

Στην περίπτωση αυτή έχουμε ισχυρό άλμα.

Η εγκατάσταση διατάξεων στη λεκάνη αποσβέσεως, όπως οδόντων και καταωφλίων έχουν σταθεροποιητική επίδραση στο άλμα, η οποία, αφ'ενός μεν επιτρέπει την μείωση του μήκους της λεκάνης, αφ'ετέρου δε αποτελεί παράγοντα ασφαλείας έναντι ενδεχόμενης μετακίνησης του άλματος που θα οφείλεται σε ακατάλληλο κατάντη βάθος.

3.4.1. Λεκάνη τύπου III

Η λεκάνη αποσβέσεως ενέργειας (τύπου III) που φαίνεται στο σχήμα 7 χρησιμοποιείται όταν η ταχύτητα εισόδου είναι μικρότερη των 15 m/sec. Η λεκάνη αυτή είναι εφοδιασμένη με οδόντες πτώσης, οδόντες λεκάνης και κατάντη κατώφλιο, ούτως ώστε να μειώσει το μήκος του άλματος και να καταστρέψει την ενέργεια της ροής στο μειωμένο μήκος. Λόγω των μεγάλων δυνάμεων που ασκούνται στους οδόντες λεκάνης από την πρόσκρουση των φλεβών ροής, και επειδή υπάρχει ο κίνδυνος σπηλαίωσης κατά μήκος των επιφανειών των ογκολίθων και του πυθμένα της λεκάνης, η χρήση αυτού του τύπου λεκάνης πρέπει να περιορίζεται σε υδραυλικά φορτία που προκαλούν ταχύτητες εισόδου μικρότερες των 15 m/sec.

Πρέπει να ληφθεί ιδιαίτερη μέριμνα για τα πρόσθετα φορτία που ασκούνται στον πυθμένα της λεκάνης λόγω της πρόσκρουσης των φλεβών στην ανάντη επιφάνεια των οδόντων της λεκάνης.

Η δύναμη αυτή μπορεί να εκφραστεί από τον κατωτέρω τύπο :

$$\text{Force} = 2 w A E_1$$

όπου :

- w : το ειδικό βάρος του νερού,
- A : η ανάντη επιφάνεια του οδόντος,
- E_1 : η ειδική ενέργεια της προσερχομένης ροής στη λεκάνη.

Οι παρακάτω κανόνες συνιστώνται για τον σχεδιασμό των λεκανών αποσβέσεως ενέργειας τύπου III:

1. Η λεκάνη αποσβέσεως ενέργειας αποδίδει καλύτερα όταν το κατάντη βάθος ισούται με το συζυγές βάθος D_2 (σχήμα 8). Συνιστάται δε να μη μειώνεται περαιτέρω το κατάντη βάθος για λόγους ασφαλείας.
2. Το μήκος της λεκάνης που είναι περίπου το ήμισυ του μήκους του φυσικού άλματος, μπορεί να ευρεθεί από την κάτω καμπύλη του σχήματος 5. Υπενθυμίζεται ότι η αύξηση του κατάντη βάθους δεν μπορεί να υποκαταστήσει το μήκος της λεκάνης και αντίστροφα.
3. Η λεκάνη αποσβέσεως ενέργειας τύπου III μπορεί να είναι αποτελεσματική και για τιμές του αριθμού Froude μικρότερες του 4.5 έως 4.0, αλλά καλύτερα να αποφεύγεται η χρήση του τύπου αυτού για τις τιμές αυτές.
4. Το ύψος, το πλάτος, και η ισαποχή των οδόντων πτώσεως ισούνται προς το βάθος της εισερχομένης ροής στη λεκάνη D_1 . Το πλάτος των οδόντων μπορεί να μειωθεί, αρκεί να μειωθεί εξ ίσου η ισαποχή τους. Το ελάχιστο ύψος πρέπει να είναι 8 ίντσες (20 cm).
5. Το ύψος των οδόντων λεκάνης μεταβάλλεται συναρτήσει του αριθμού Froude και δίνεται από το σχήμα 9. Οι οδόντες μπορεί να είναι κύβοι η να έχουν την διατομή του σχήματος 9 και η ανάντη επιφάνειά τους πρέπει να είναι οπωσδήποτε κατακόρυφη. Το πλάτος και η ισαποχή των οδόντων λεκάνης δίνονται στο σχήμα 7. Στην περίπτωση που το πλάτος της λεκάνης είναι μικρό και η κατασκευή δεν είναι πραγματοποιήσιμη λόγω των διαστάσεων των οδόντων, το πλάτος και η ισαποχή τους μπορούν να μειωθούν εξ ίσου. Η απόσταση από τους τοίχους της λεκάνης των πλησιέστερων οδόντων ισούται με $0,5 D_1$.
6. Η ανάντη επιφάνεια των οδόντων λεκάνης πρέπει να απέχει κατά 0,8 D_2 από την κατάντη επιφάνεια των οδόντων πτώσεως. Η τήρηση αυτής της απόστασης είναι ιδιαίτερα σημαντική.
7. Το ύψος του κατάντη κατώφλιου στο τέλος της λεκάνης δίνεται από το σχήμα 9, η δε κλίση είναι 2:1.
8. Δεν επιτρέπεται το στρογγύλεμα των ακμών των οδόντων η του κατώφλιου γιατί η ενέργεια αυτή θα οδηγήσει σε απώλεια του 50 % της αποτελεσματικότητάς τους.
9. Συνιστάται η χρησιμοποίηση καμπύλης συναρμογής στην τομή της πτώσης και της ποδιάς της λεκάνης για κλίσεις μεγαλύτερες των 45.

10. Εν γένει η κλίση της υδατόπτωσης έχει μικρή επίδραση στο υδραυλικό άλμα εκτός αν πρόκειται για σχεδόν οριζόντιες κλίσεις.

Επειδή η λεκάνη αποσβέσεως ενεργείας τύπου III είναι μια μικρή και συμπαγής κατασκευή οι παραπάνω κανόνες πρέπει να τηρούνται όσο το δυνατόν πιστότερα. Τα όρια χρήσης της λεκάνης αποσβέσεως ενεργείας τύπου III είναι μέγιστη παροχή $19 \text{ m}^3/\text{sec}$ ανά μέτρο πλάτους της λεκάνης και μέγιστη ταχύτητα προσερχομένης ροής $15 \text{ m}/\text{sec}$. Για μεγαλύτερα ύψη η παροχές συνιστάται η μελέτη της λεκάνης αποσβέσεως σε εργαστηριακό ομοίωμα (μοντέλο).

3.4.2 Λεκάνη τύπου II

Όταν η ταχύτητα της προσερχομένης ροής υπερβαίνει τα $15 \text{ m}/\text{sec}$, ή όταν δεν χρησιμοποιούνται οδόντες λεκάνης, χρησιμοποιείται η λεκάνη αποσβέσεως ενέργειας τύπου II (σχήμα 10).

Επειδή η καταστροφή της ενέργειας πραγματοποιείται κυρίως με τη δράση του υδραυλικού άλματος, το μήκος της λεκάνης θα είναι μεγαλύτερο από το μήκος της λεκάνης αποσβέσεως ενέργειας τύπου III. Εντούτοις, οι οδόντες πτώσεως και το οδοντωτό κατώφλιο επιτυγχάνουν να μειώσουν το μήκος σε σχέση με αυτό που θα ήταν αναγκαίο αν δεν υπήρχαν.

Οι παρακάτω κανόνες συνιστώνται για τον σχεδιασμό των λεκανών αποσβέσεως ενέργειας τύπου II (σχήμα 10):

1. Το υψόμετρο της ποδιάς της λεκάνης πρέπει να υπολογισθεί ούτως ώστε το κατάντη βάθος να ισούται με το συζυγές βάθος D_2 αυξημένο κατά ένα ποσοστό ασφαλείας. Το ποσοστό αυτό συνιστάται για τις μικρές και για τις μεγάλες τιμές του αριθμού Froude. Το ελάχιστο συνιστώμενο ποσοστό ασφαλείας είναι 5% του βάθους D_2 (σχ. 8)
2. Η λεκάνη αποσβέσεως ενέργειας τύπου II μπορεί να είναι αποτελεσματική και για τιμές του αριθμού Froude μικρότερες του 4.5 έως 4.0, αλλά καλύτερα να αποφεύγεται η χρήση του τύπου αυτού για τις τιμές αυτές.
3. Το μήκος της λεκάνης μπορεί να ευρεθεί από την μεσαία καμπύλη του σχήματος 5.
4. Το ύψος των οδόντων πτώσεως ισούται προς το βάθος της εισερχομένης ροής στη λεκάνη D_1 . Το πλάτος και η ισαποχή των οδόντων πτώσεως ισούνται κατά προσέγγιση με D_1 αλλά μπορεί να μεταβάλλονται για

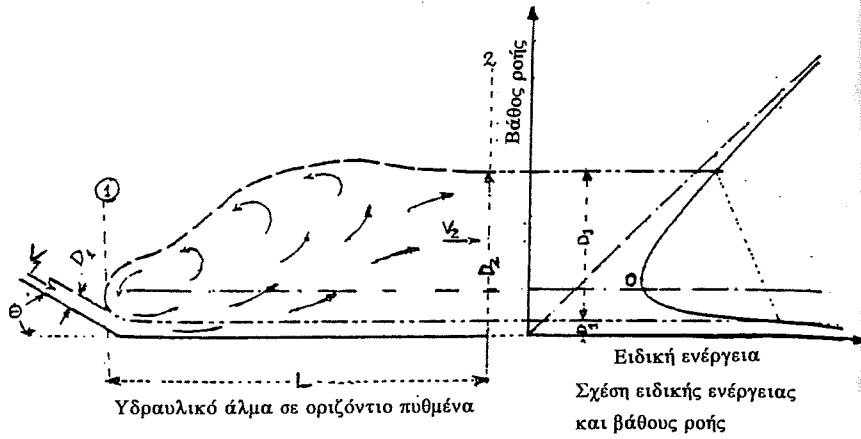
να ικανοποιηθούν κατασκευαστικοί περιορισμοί. Η απόσταση από τους τοίχους της λεκάνης των πλησιέστερων οδόντων ισούται με $0,5 D_1$.

5. Το ύψος του κατάντη οδοντωτού κατωφλίου ισούται με $0,2 D_2$, το δε μέγιστο πλάτος και η ισαποχή των οδόντων είναι κατά προσέγγιση $0,15 D_2$, η δε κλίση είναι 2:1. Συνιστάται όπως οι πρώτοι οδόντες του κατωφλίου βρίσκονται σε επαφή με τους πλευρικούς τοίχους της λεκάνης. Για λεκάνες αποσβέσεως ενεργείας μικρού πλάτους όπου, σύμφωνα με τους παραπάνω κανόνες, προκύπτει μικρός αριθμός οδόντων συνιστάται η μείωση του πλάτους και της ισαποχής των οδόντων κατά ίσα μεγέθη.
6. Δεν είναι υποχρεωτικό να εναλλάσσονται οι οδοντώσεις της πτώσης με τις οδοντώσεις του κατωφλίου, δηλαδή μπορούν να συμπίπτουν.
7. Τα πειράματα στη λεκάνη αποσβέσεως ενεργείας τύπου II έδειξαν ότι δεν υπάρχει αισθητή μεταβολή στη λειτουργία της λεκάνης όταν μεταβάλλεται η κλίση της υδατόπτωσης με την προϋπόθεση ότι η κλίση λαμβάνει τιμές από 0,6:1 έως 2:1. Όταν όμως η υδατόπτωση είναι σχεδόν οριζόντια η κλίση της επιδρά στο υδραυλικό άλμα. Συνιστάται η χρησιμοποίηση καμπύλης συναρμογής στην τομή της πτώσης και της ποδιάς της λεκάνης για κλίσεις μεγαλύτερες των 45.

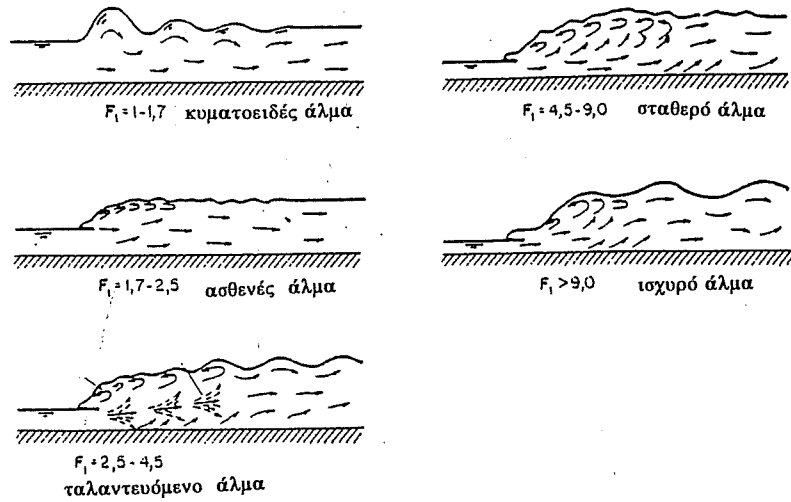
Η τήρηση των παραπάνω κανόνων επιτρέπει τον σχεδιασμό ασφαλών λεκανών αποσβέσεως ενεργείας για υπερχειλιστές με μέγιστο ύψος **70 μέτρα** και μέγιστη παροχή **$46 \text{ m}^3/\text{sec}$** ανά μέτρο πλάτους της λεκάνης. Για μεγαλύτερα ύψη ή παροχές συνιστάται η μελέτη της λεκάνης αποσβέσεως σε εργαστηριακό ομοίωμα (μοντέλο).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

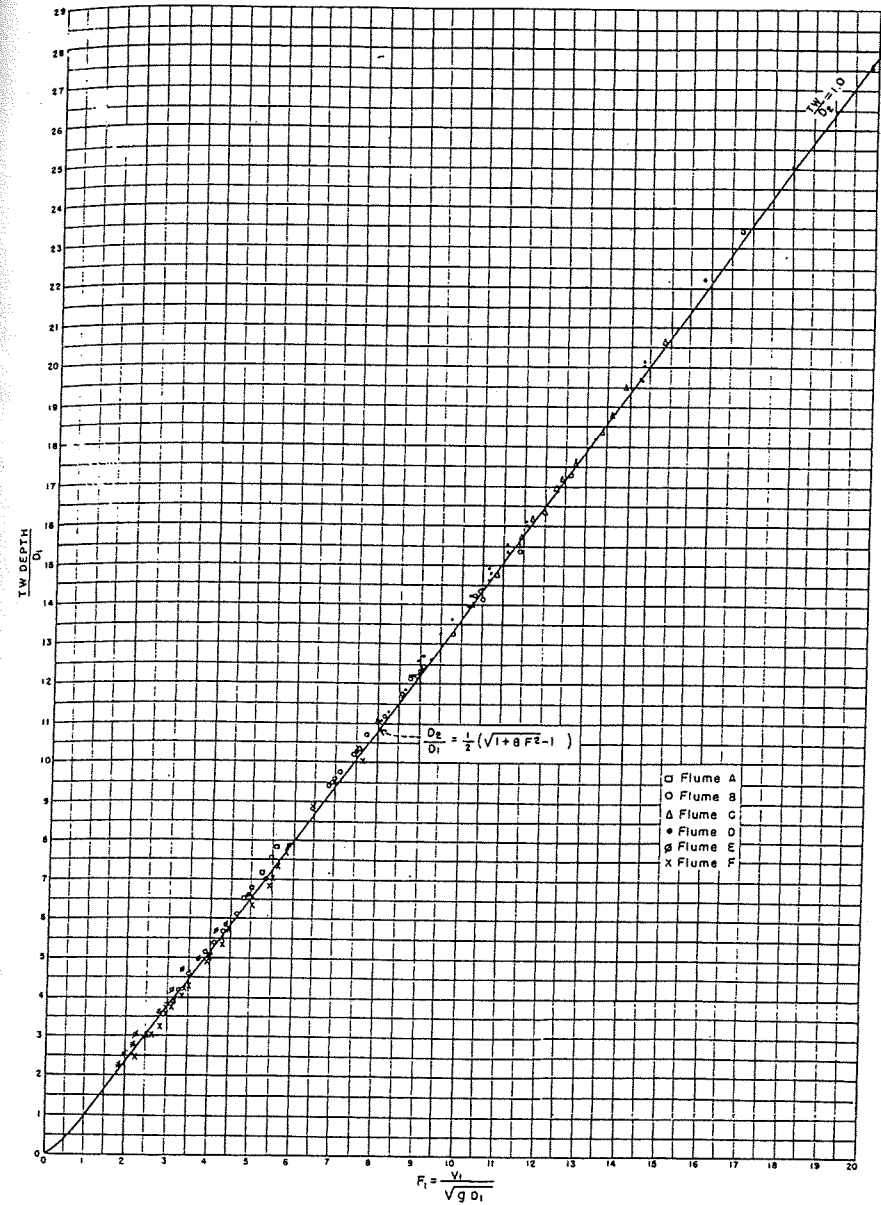
Peterka, A. J., 1964, Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators, U. S. Bureau of Reclamation, U. S. G. P. O., Washington.
Chow, Ven Te, 1960, Open Channel Hydraulics



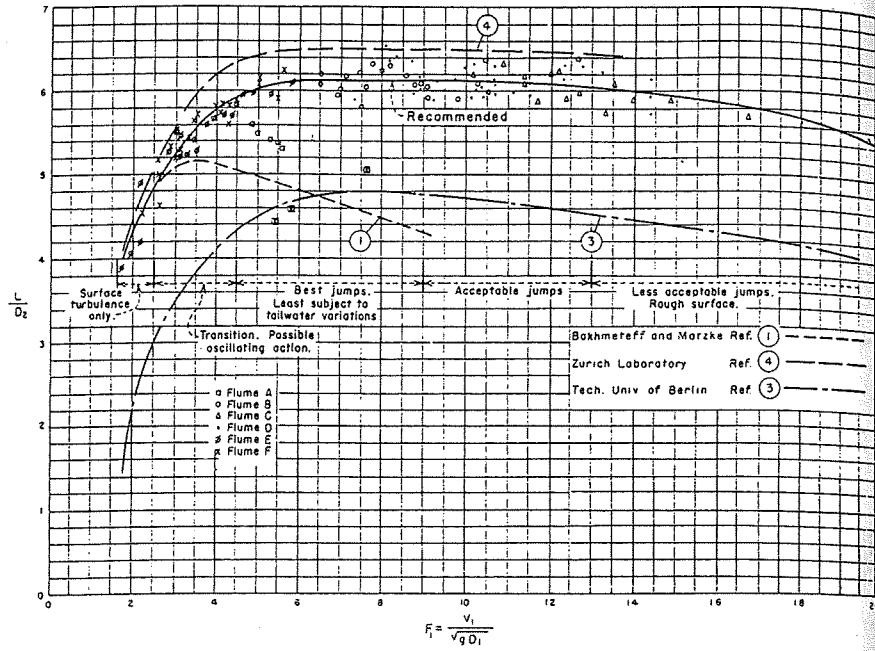
Σχ. 1 Ορισμός των συμβόλων υδραυλικού άλματος



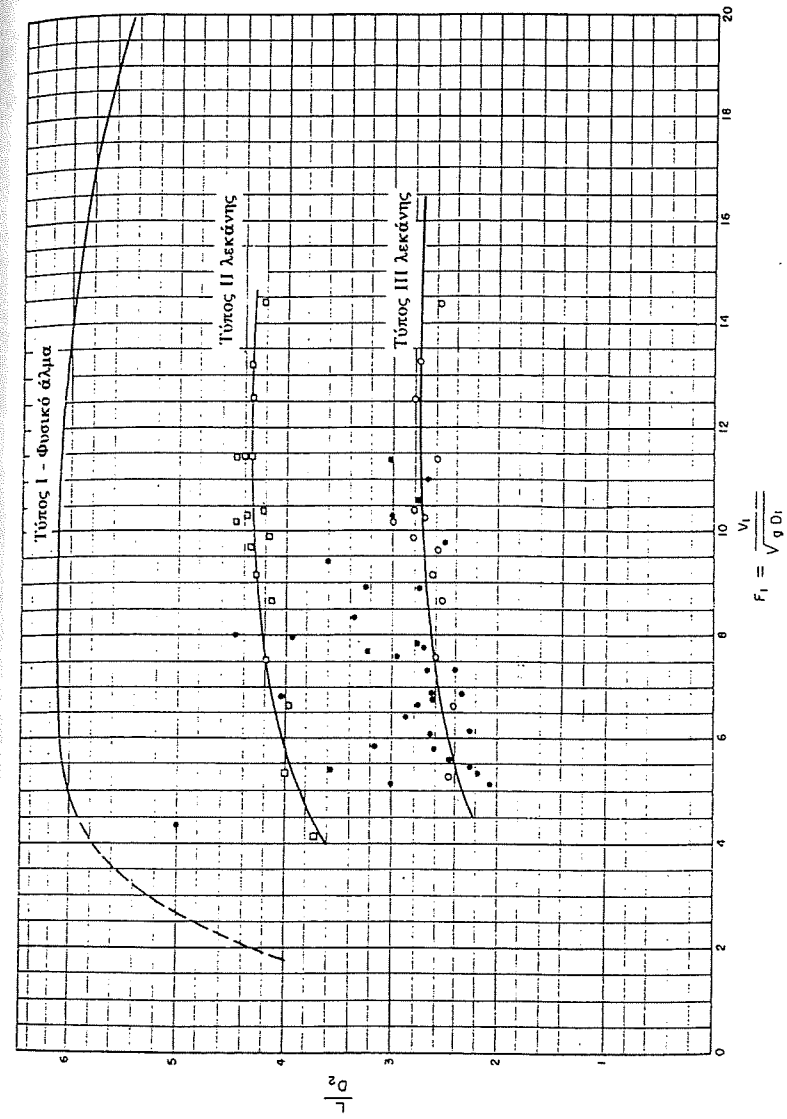
Σχ.4 Διάφοροι τύποι υδραυλικού άλματος.



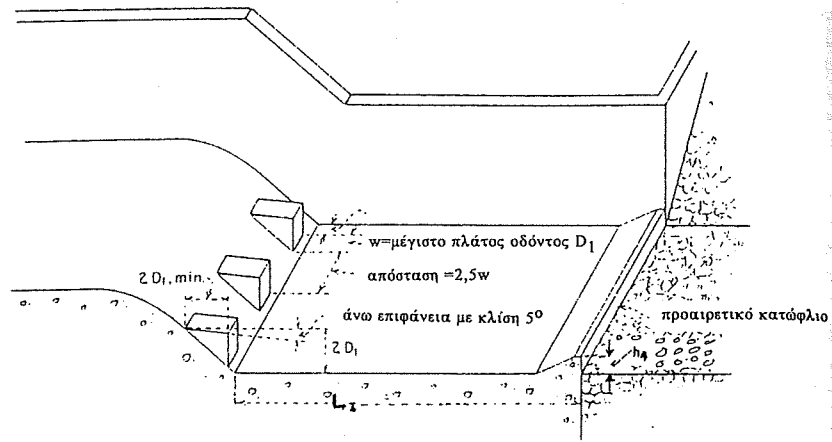
Σχ. 2 Σχέση συζυγών βαθών



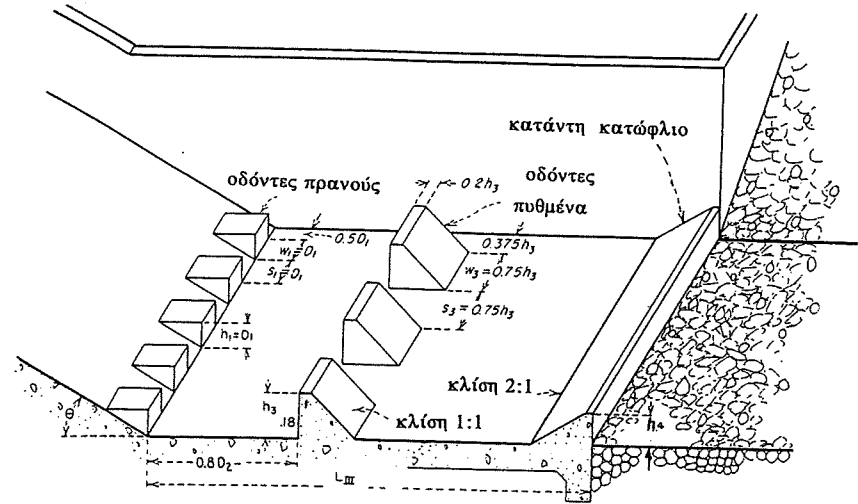
Σχ. 3 Μήκος Υδραυλικού Αλματος



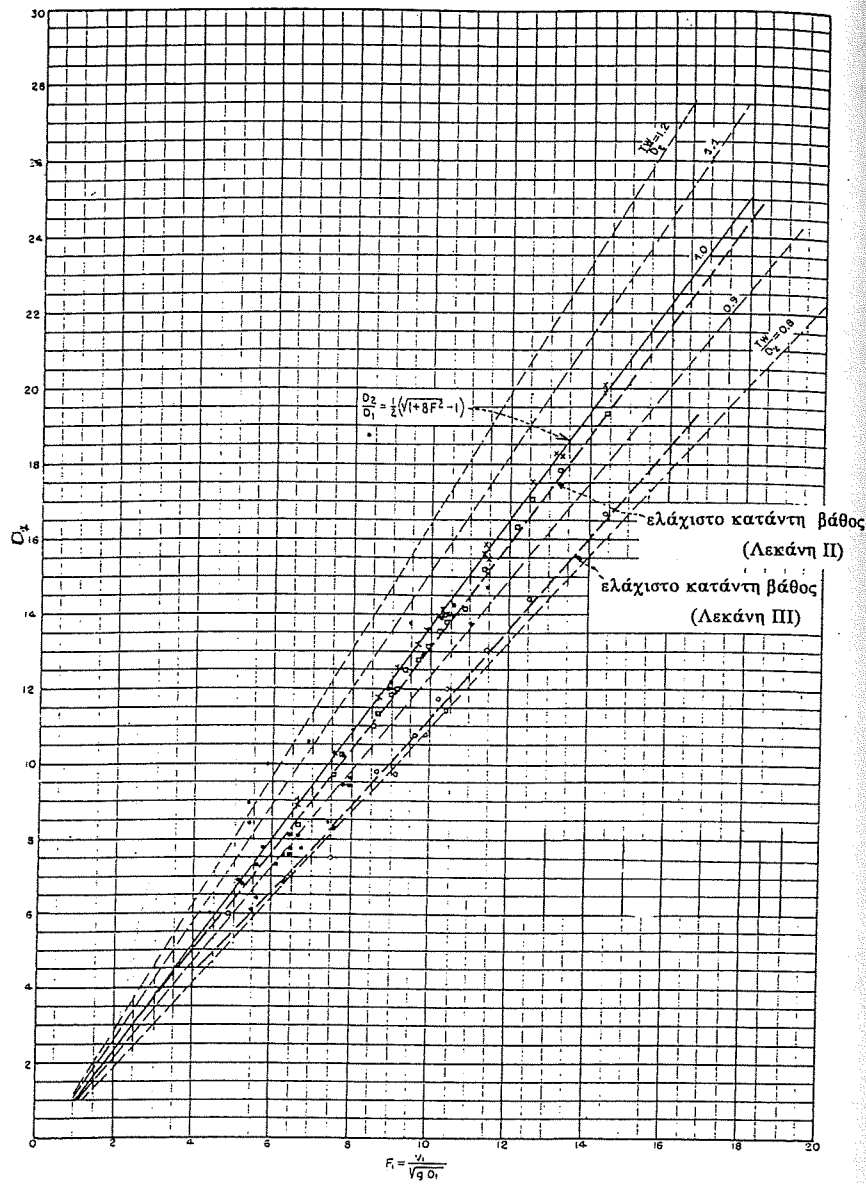
Σχήμα 5 Μήκος άλματος σε λεκάνη με οριζόντιο πυθμένα (Λεκάνες I, II, III)



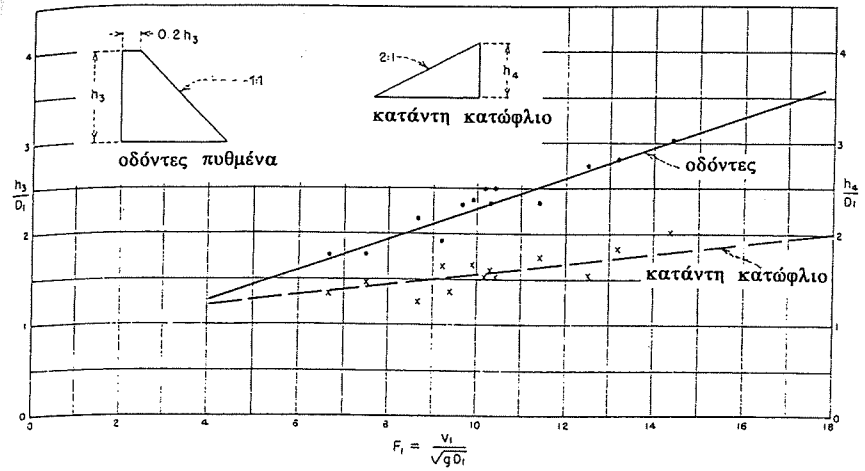
Σχήμα 6 Διαστάσεις για αριθμούς Froude από 2,5 ως 4,5 (Λεκάνη IV)



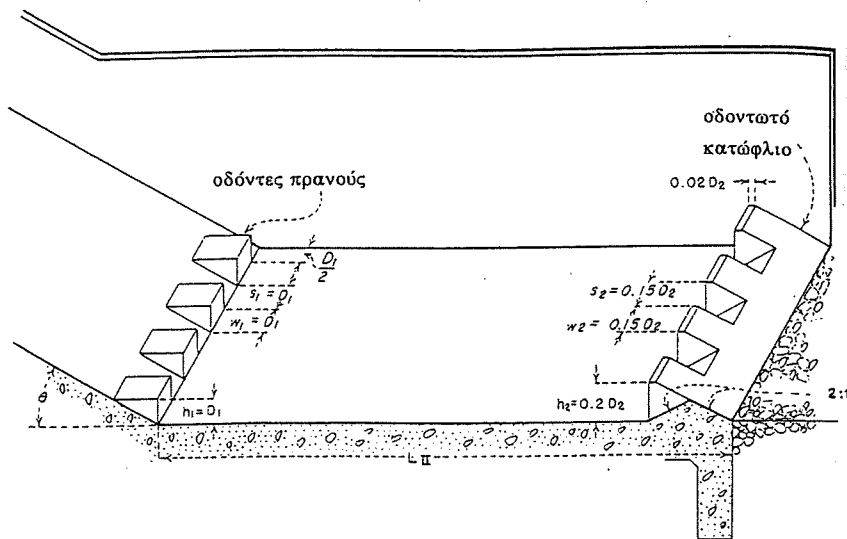
Σχήμα 7 Συνιστώμενες αναλογίες (Λεκάνη III)



Σχήμα 8 Ελάχιστα κατάντη βάθη (Λεκάνες I, II, III)



Σχήμα 9 Ύψος οδόντων πυθμένα και κατάντη κατώφλιου (Λεκάνη III)



Σχήμα 10 Συνιστώμενες αναλογίες (Λεκάνη II)

ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΗΡΕΜΙΑΣ

Ξανθουλίας Αχχιλέας, Πολ.Μηχανικός, Υδραυλικός - Υδρολόγος Μηχανικός
Τομέαρχης Υδρολογίας Δ.Ε.Η.

Υπό την πίεση των οικολόγων, άλλαξε η αρχική μελέτη, και αντί ενός μεσαίου μεγέθους χωμάτινου φράγματος μελετήθηκε ένα χαμηλό υπερχειλιζόμενο από σκυρόδεμα. Κατά συνέπεια ήταν απαραίτητη η ύπαρξη λεκάνης ηρεμίας.

1. ΔΙΑΤΟΜΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ (Σκ. 1)

Με το ίδιο υδρογράφημα πλημμύρας, έγινε ανάλυση πλημμύρας (με τη νέα πλέον κατάσταση πραγμάτων), και ευρέθη η παροχή πλημμύρας σχεδιασμού (ήταν μεγαλύτερη από την προηγούμενη).

Εδώ η διατομή είναι ορθογωνική, οπότε η παροχή του υπερχειλιζομένου δίδεται από την απλή σχέση $Q = c.a.H^{3/2}$, όπου $c \approx 2,2 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$, και από αυτή προκύπτει το φορτίο σχεδιασμού $H = H_d$.

Στο υπερχειλιζόμενο αυτό φράγμα εφαρμόστηκε το προφίλ Scimemi - Greager, ως το συντηρητικότερο από τα τρία: U.S.B.R, W.E.S. και Scimemi - Greager.

Στη συνέχεια, με κριτήριο ευστάθειας του φράγματος (ανατροπή - ολίσηση) και στατικής επάρκειας, υπολογίσθηκε η κλίση της κατάντη πλευράς του φράγματος.

Εθεωρήθησαν οι δυνάμεις: υδροστατικές (οριζόντιες και κατακόρυφες) - ίδιο βάρος - κυματισμοί - πάγος - σεισμοί - τριβές και συνοχή (cohesion) και τέλος φερτών (λάσπες).

2. ΛΕΚΑΝΗ ΗΡΕΜΙΑΣ (Σκ. 2)

Διαμορφώθηκε ένα σύστημα τριών μη γραμμικών εξισώσεων, και η επίλυση έγινε με computer. Με αναφορά σε μοναδιαίο πλάτος της ορθογωνικής λεκάνης ηρεμίας, έχουμε:

α. Παροχή στον πόδα του φράγματος

Προκύπτει εύκολα, από το θεώρημα Bernoulli, μεταξύ των θέσεων 0 και 1:

$$q = m.y_1.[2g.(h_3+a-y_1)]^{1/2}, \text{ με } m \approx 0,93$$

β. Υδραυλικό άλμα, μεταξύ των θέσεων 1 και 2

Με βάση το θεώρημα ποσότητας κινήσεως, προκύπτει η (γνωστή) σχέση των δύο βαθών (ανάντη - κατάντη του άλματος):

$$y_2 = (y_1/2) \cdot \left[1 + \frac{8q^2}{gy_1^3} \right]^{1/2} - 1$$

γ. Έξοδος λεκάνης

Στην έξοδο της λεκάνης θα έχουμε $Y_3 = Y_c$, δηλ. κρίσιμο βάθος, εφ' όσον η στάθμη στη θέση 4 είναι το πολύ ίση με τη στάθμη στην 3, και το φορτίο στη θέση 2, δηλ. το $H_2 = h_2 + V_2^2/2g$, είναι εκείνο που αντιστοιχεί στο κρίσιμο βάθος, οπότε $H_2 = H_c = 1,5 Y_c$.

Το κρίσιμο βάθος δίνεται από την γνωστή σχέση:

$$Y_c = V_c^2/g = (q^2/g)^{1/3}$$

Προκύπτει συνεπώς η εξίσωση: $h_2 + V_2^2/2g = 1,5 Y_c$

δηλαδή: $y_2 - a + (q/y_2)^2/2g = 1,5 (q^2/g)^{1/3}$

Το υψόμετρο του αναβαθμού στην έξοδο της λεκάνης (υπερχειλιστής πλατειάς παρειάς) καθορίστηκε με δύο κριτήρια:

α. Η θεμελίωση της λεκάνης θα γίνει σε υγιές έδαφος (αφαίρεση δηλαδή λίγων μέτρων επιφανειακού εδάφους).

β. Η στάθμη στη θέση 4 να μην υπερβεί την κρίσιμη στη θέση 3, για να αποφευχθεί σημαντικό ύψος πλευρικών καθοδηγητικών τοίχων της λεκάνης.

Με τον καθορισμό του υψομέτρου αυτού, και γνωστού όντος του υψομέτρου της στάθμης ανάντη του φράγματος, έχουμε το μέγεθος h_3 .

Έτσι στο πιο πάνω σύστημα τα μόνα άγνωστα είναι τα μεγέθη Y_1 , Y_2 και a .

Με αυτό το a , μπορούν να εμφανιστούν στην πράξη οι ακόλουθες περιπτώσεις:

1. Το βάθος στη θέση 2 να είναι:

α. Μεγαλύτερο του y_2 (συζυγούς του y_1). Η επιπλέον ενέργεια (από την απαιτούμενη για να διέλθει η παροχή), θα προκαλέσει έξοδο του άλματος από τη λεκάνη (sweep out). Γι αυτό στην πράξη θα αυξηθεί κατάλληλα το a .

β. Μικρότερο του y_2 (πάντως μεγαλύτερο του y_C). Η ενέργεια δεν είναι επαρκής για να διέλθει η παροχή, οπότε η στάθμη θα ανέλθει, μέχρι να δημιουργηθεί το κρίσιμο φορτίο, με αποτέλεσμα να έχουμε άλμα πνιγμένο (φαινόμενο επιθυμητό).

2. Η στάθμη στη θέση 4 να υπερβεί τη στάθμη στη θέση 3. Θα προκύψει $y_3 > y_C$ και το απαιτούμενο φορτίο για να διέλθει η παροχή είναι μεγαλύτερο του H_C . Θα έχουμε άλμα πνιγμένο.

Από τα πιο πάνω συνάγεται ότι ευρισκόμεθα από την πλευρά της ασφαλείας, αν το υπολογιζόμενο (από το πιο πάνω σύστημα) a , αυξηθεί κατά εύλογο ποσοστό.

δ. Μήκος λεκάνης (Σχ. 3)

Υπάρχει πληθώρα εμπειρικών τύπων (Rigel, Beebe, Bakmeteff, Matzke, Smetana, Kinney, Aravin, Safranez, Cetussov, Foster, Skrinde κ.λ.π). Εφαρμόστηκε η σχέση:

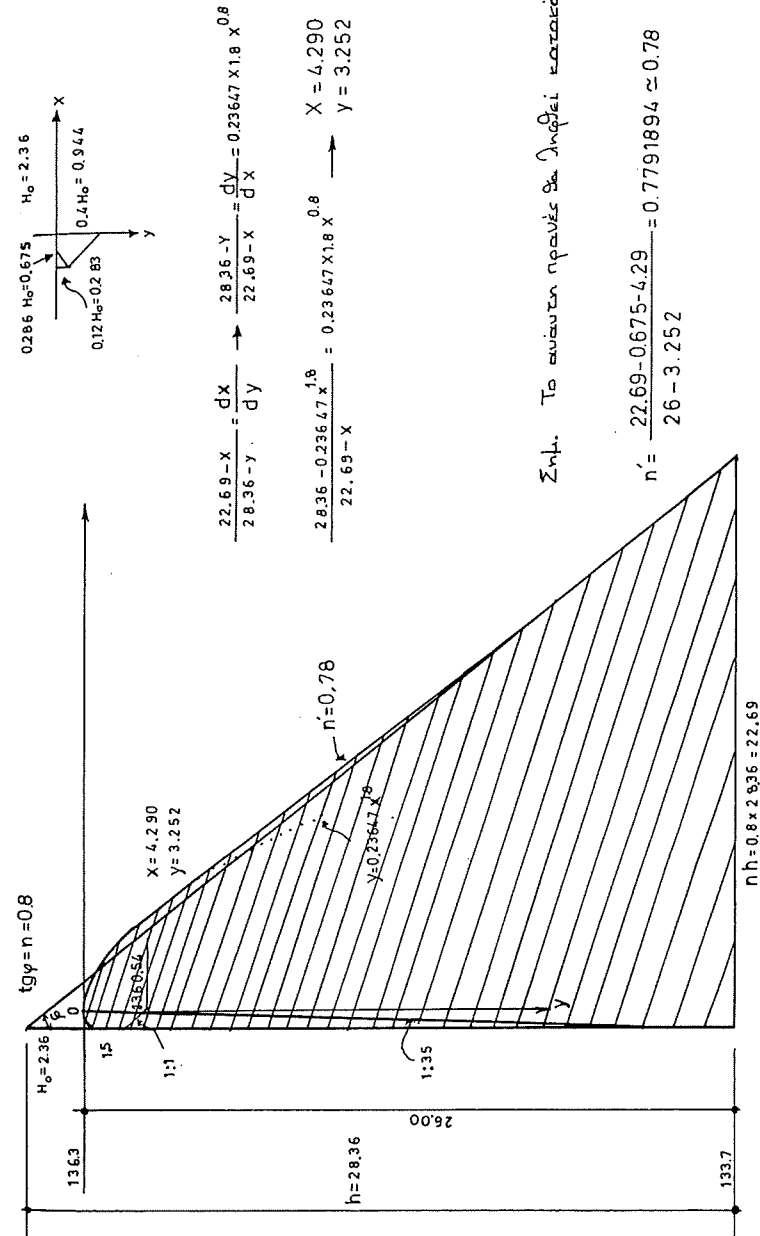
$$L = 5(y_2 - y_1)$$

που συνιστά μια μέση τιμή των πιο πάνω.

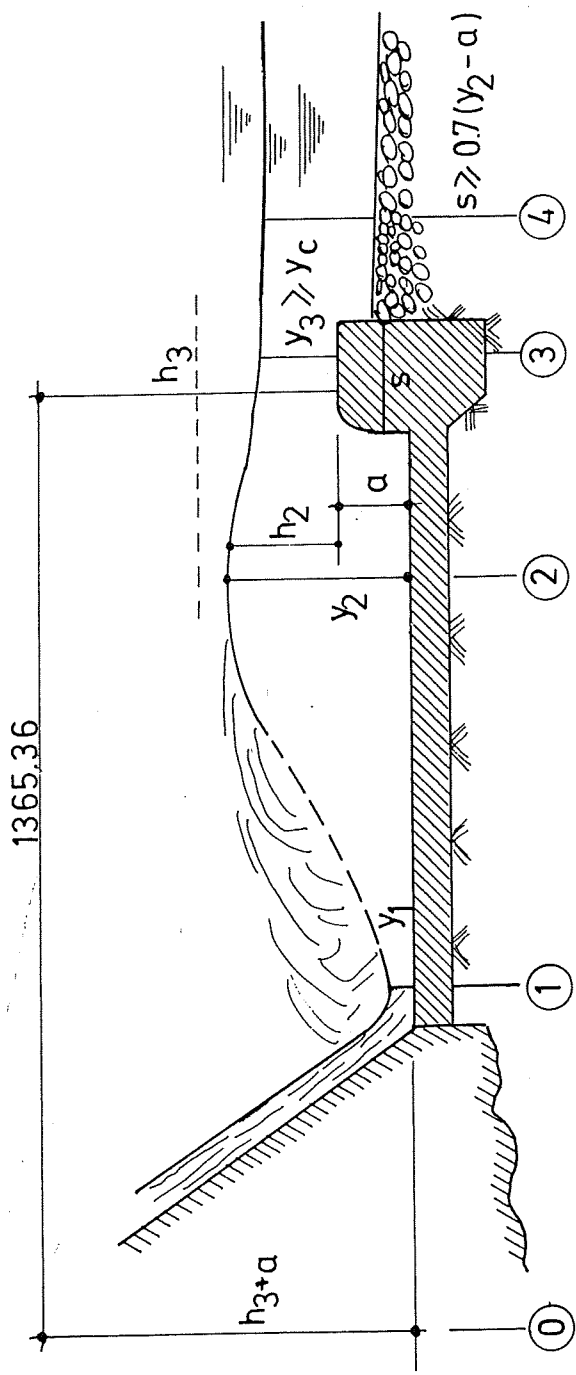
Το πλάτος του αναβαθμού στην έξοδο ελήφθη λίγο μεγαλύτερο του $0,7 h_2$ (ώστε να επιτρέψει τη δημιουργία κρίσιμου βάθους επί του αναβαθμού).

Τέλος, έγινε έλεγχος του άλματος για διάφορες παροχές, από τη μικρότερη μέχρι εκείνη της πλημμύρας σχεδιασμού.

Από στατικής πλευράς, με ύπαρξη ανάντη και κατάντη διαφραγμάτων και οπών πυθμένων (well holes), δεν αναμένονται υποπίεσεις.



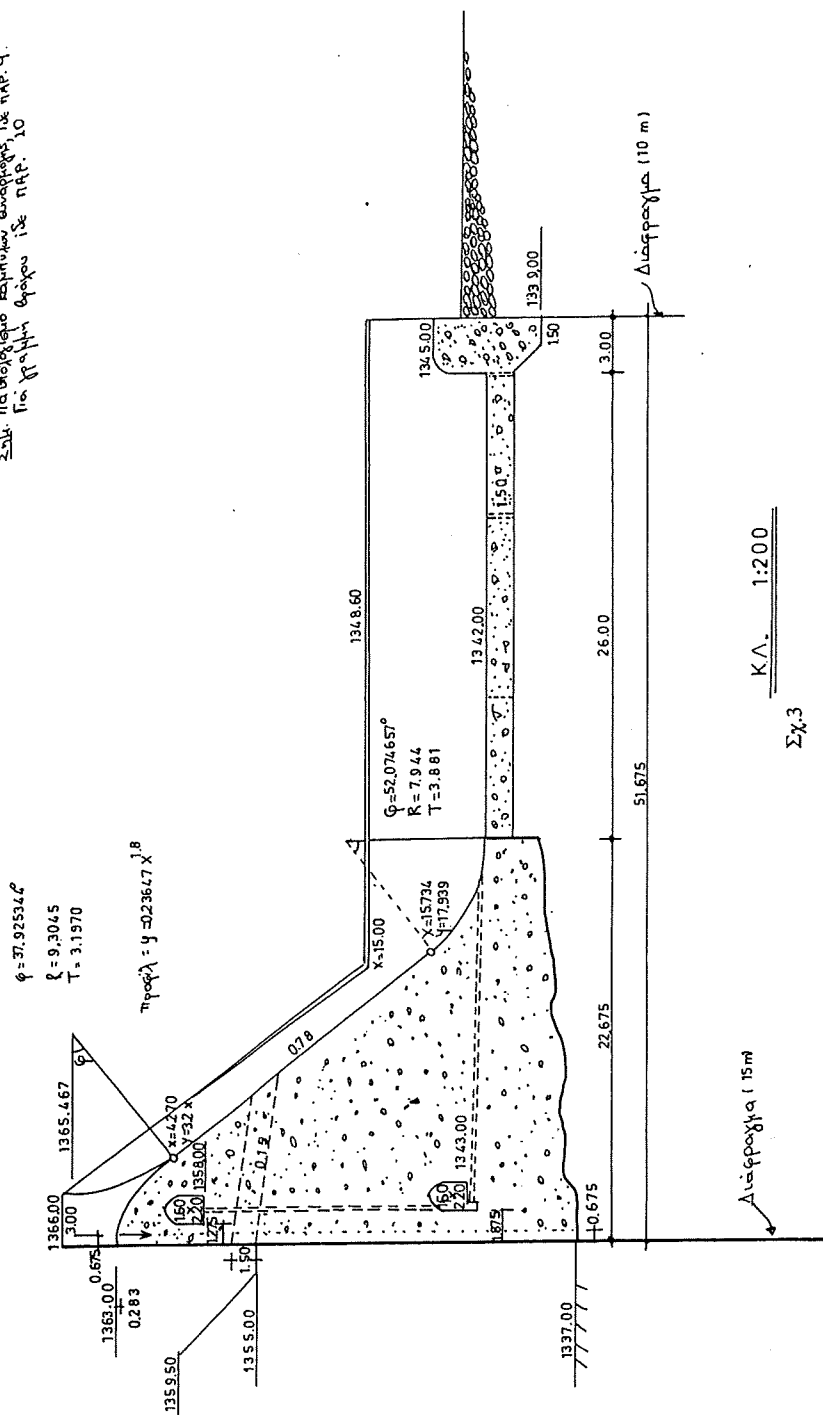
4./ ΛΕΚΑΝΗ ΗΡΕΜΙΑΣ (πλάτος $b = 28 \text{ m}$, $Q = 280 \text{ m}^3/\text{sec}$)



$$q = Q/b = y \cdot U = 10 \quad , \quad y_c = U^2 c/g = \sqrt[3]{q^2/g} = 2.1683 \approx 2.17$$

Σχ.2

Σημ: Για υπολογισμό καθιόντων αναφέρεται, δε π.α.φ. 9.
 Για π.α.φ. 10 αναφέρεται δε π.α.φ. 10



ΚΛ. 1:200
 Σχ.3

**5. ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ**

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΔΡΟΛΗΨΙΩΝ ΚΑΙ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΕΚΤΡΟΠΗΣ

Χρήστος Τζιμόπουλος-Ευαγγελία Παπαδοπούλου-Άνθιμος Σπυρίδης

Τμήμα Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών

Τομέας Συγκοινωνιακών-Υδραυλικών Έργων

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο **Υδροληψία** εννοούμε εκείνο το έργο εξόδου το οποίο μας παρέχει την δυνατότητα ρυθμιζόμενης παροχής στα κατάντη μετά την κατασκευή του φράγματος. Η παροχή αυτή θα πρέπει να ικανοποιεί πάγιες και λειτουργικές ανάγκες που καθορίζονται από τις κατάντη συνθήκες. Τέτοιες ανάγκες μπορεί να είναι:

- α) Η ύδρευση.
- β) Η άρδευση.
- γ) Η βιομηχανία.
- δ) Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- ε) Η διατήρηση ενός υγιούς από πλευράς μόλυνσης ποταμού.
- στ) Η διάσωση της υδρόβιας ζωής και
- ζ) Η ικανοποίηση των επιμέρους πολιτικών διαχείρισης υδάτινων πόρων.

Πριν από την κατασκευή του κυρίως σώματος του φράγματος, κατασκευάζεται ένα έργο με σκοπό να εκτρέψει τα νερά από τον φυσικό ρου του ποταμού έτσι ώστε να εκτελεστούν "εν ξηρώ" τα περαιτέρω έργα. Το έργο αυτό πρωταρχικού ενδιαφέροντος στην ομαλή κατασκευή του φράγματος, ονομάζεται **Σήραγγα Εκτροπής**.

Τα δύο παραπάνω τεχνικά έργα είναι από τις θεμελιώδεις κατασκευές ενός φράγματος και αποτελούν βασικά Έργα Εξόδου αυτού.

- **Λειτουργικότητα.** Τα έργα εξόδου λειτουργούν με σκοπό να ρυθμίζουν ή να παροχετεύουν το νερό που συγκρατείται από ένα φράγμα, δηλαδή:

- α) Να παροχετεύουν την εισερχόμενη παροχή, δίνοντας κάποιο μέρος αυτής.
- β) Να εκτρέπουν την εισερχόμενη παροχή
- γ) Να παροχετεύουν κάποια αποθηκευμένη ποσότητα νερού σε ποσοστά τα οποία καθορίζονται από τις κατάντη ανάγκες.

Τα έργα αυτά έχουν την ικανότητα να παροχετεύουν το νερό στον ρου του ποταμού ή σε ανοικτό αγωγό ή σε ένα σύστημα κλειστών αγωγών. Μπορούν επίσης

να ταξινομηθούν σύμφωνα με την υδραυλική τους λειτουργία δηλαδή την ύπαρξη ή όχι κάποιου οργάνου ελέγχου της ροής (θυρόφραγμα - δικλείδα). Αν ο αγωγός είναι κλειστός μπορεί να λειτουργεί εν μέρει ή ολόκληρος υπό πίεση ή απλώς σαν ανοικτός αγωγός. Τυπικές κατασκευές τέτοιων έργων φαίνονται στα σχήματα 1 έως 6.

Σε ορισμένες περιπτώσεις τα έργα εξόδου μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπερχειλιστές, σε συνδιασμό με κάποιο δευτερεύοντα ή βοηθητικό υπερχειλιστή. Σ'αυτήν την περίπτωση η συνήθης εγκατάσταση των έργων εξόδου μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να περιλαμβάνει έναν παρακαμπτήριο αγωγό υπερχειλίσης.

- **Χωρητικότητα.** Οι θεμελιώδεις μεταβλητές απόφασης, που καθορίζουν την ελάχιστη χωρητικότητα των έργων εξόδου είναι ο όγκος του νερού που θα παροχετευθεί ή θα εκτραπεί στα κατάντη του φράγματος και η χρονική διάρκεια στην οποία γίνεται. Επίσης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη οποιαδήποτε εισροή νερού κατά την διάρκεια της περιόδου εκτροπής ή εκκένωσης.

Εάν τα έργα εξόδου καταλήγουν στον ποταμό και όχι σε κάποιο ανοικτό αγωγό, τότε είναι δυνατόν να συνδιαστεί η διοχέτευση των πλημμυρών διαμέσου ενός τέτοιου έργου. Κατά τον συνδιασμό αυτό, ο συνολικός όγκος του νερού δεν πρέπει να υπερβαίνει την χωρητικότητα του ποταμού κατάντη και να λαμβάνει υπόψη τυχόν επιπλέον εισροές κατάντη του φράγματος. Οι εισροές αυτές μπορεί να προέρχονται από φυσική απορροή, από παροχετεύσεις άλλων έργων αποθήκευσης κατά μήκος του ποταμού και από κατάλληλα έργα που ρυθμίζουν την ροή παραποτάμων που εκβάλλουν στον ποταμό.

- **Θέση.** Ο καθορισμός της θέσης (στάθμη υδροληψίας, υψόμετρα τεχνικών έργων κ.α.) και η εύκολη διαφυγή του νερού επηρεάζονται από πολλές παραμέτρους.

Πρωταρχικά και με σκοπό να επιτευχθεί η απαιτούμενη παροχετευτική ικανότητα, το έργο εξόδου θα πρέπει να τοποθετηθεί σημαντικά χαμηλότερα από την κατώτατη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα, με σκοπό να δώσει το απαιτούμενο ύψος νερού ώστε να υπάρχει ικανοποιητική ροή.

Στα μικρά φράγματα αποθήκευσης, η κατασκευή των έργων αυτών γίνεται συνήθως κοντά στον πυθμένα του ποταμού. Σ'αυτά τα έργα η ροή μπορεί να ελέγχεται ή να μην ελέγχεται ανάλογα με το αν έχει σκοπό να επιβραδύνει την απορροή, όταν ο ταμιευτήρας παροδικά αποθηκεύει το κύριο μέρος της πλημμυρικής απορροής.

Στα φράγματα εκείνα που σκοπό έχουν να εκτρέψουν ή να αυξήσουν μόνο τις εισερχόμενες παροχές, τα κύρια μέρη των έργων εξόδου αυτών τοποθετούνται σε κάποια υψηλή στάθμη.

Στα φράγματα που συγκρατούν το νερό για άρδευση, βασικές χρήσεις ή για άλλους σκοπούς, τα έργα εξόδου τοποθετούνται αρκετά χαμηλά έτσι ώστε να μπορούν να υποβιάσουν την στάθμη του νερού κοντά στον πυθμένα του χώρου αποθήκευσης.

Στην πράξη γίνεται η παραδοχή ενός νεκρού όγκου του ταμιευτήρα ο οποίος χρησιμοποιείται για την καθίζηση των αιωρούμενων και μεταφερόμενων σωμάτων, την προστασία της υδρόβιας ζωής και την αναψυχή.

Η θέση του κατωφλίου της υδροληψίας θα πρέπει να επιλεγεί έτσι ώστε να είναι αρκετά ψηλά για να αποφεύγεται η επίδραση των αιωρούμενων και μεταφερόμενων σωμάτων, αλλά συγχρόνως να είναι τόσο χαμηλά, έτσι ώστε να επιτρέπει είτε την μερική είτε την ολική ταχεία υποβίαση της στάθμης του νερού.

- **Σχεδιασμός.** Ο σχεδιασμός των έργων εξόδου επηρεάζεται από πολλές συνθήκες που σχετίζονται με τις υδραυλικές απαιτήσεις, την καταλληλότητα της θέσης, την αλληλεξάρτηση των επιμέρους τεχνικών έργων, τις διαδικασίες κατασκευής και τα άλλα εξαρτήματα του κατασκευαστικού μέρους. Σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται συνδιασμός των έργων εξόδου, όπως στην περίπτωση του σχήματος 7, όπου ο φρεατοειδής υπερχειλιστής συμβάλλει στον ίδιο αγωγό κατάντη με την υδροληψία.

Η τοπογραφία και η γεωλογία της περιοχής έχουν επίσης σημαντική επίδραση στην επιλογή και σχεδίαση του έργου. Θα μπορούσε να αναφερθεί σαν παράδειγμα ότι εάν το γεωλογικό υπόβαθρο δεν είναι καλής ποιότητας, τότε δεν γίνεται η επιλογή της σήραγγας σαν έργου εκτροπής, ενώ σε θέσεις με στενές χαραδρώσεις και στενά αντερίσματα είναι επιβεβλημένη η χρήση αυτής.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το σχεδιασμό είναι οι λεγόμενοι παράγοντες καταστροφής. Η ονομασία παράγοντες καταστροφής δίνεται για να δηλώσει ότι αν δεν ληφθεί μέριμνα κατά την εκπόνηση της μελέτης, να αποφευχθούν οι επιδράσεις τους, μπορούν μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα να καταστήσουν τα τεχνικά αυτά έργα ανενεργά από υδραυλικής και λειτουργικής άποψης. Τέτοιοι παράγοντες είναι:

- α) Η μεταφερόμενη ιλύς και οι αποθέσεις της
- β) Οι θέσεις που το νερό λιμνάζει και βοηθά στην ανάπτυξη πλούσιας υδρόβιας ζωής και
- γ) Ο άνεμος που μπορεί να μεταφέρει ποσότητες λυμμάτων και σκουπιδιών στην θέση της υδροληψίας.

2. ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΕΞΟΔΟΥ

Για τα χαμηλά φράγματα που σαν σκοπό έχουν να εκτρέψουν το νερό, η συνηθέστερη κατασκευή είναι ένας τυπικός ανοικτός αγωγός που κατασκευάζεται στα αντερίσματα του φράγματος. Η κατασκευή αυτή μπορεί να αποτελείται από ένα σύστημα ανοικτών αγωγών με όργανα ελέγχου της ροής (θυροφράγματα) όμοια με εκείνα που τοποθετούνται στους υπερχειλιστές. Όταν όμως τα έργα εξόδου πρέπει να τοποθετηθούν στο κυρίως σώμα του φράγματος, τότε χρησιμοποιείται ένα κλειστό σύστημα αγωγών. Η ροή για την περίπτωση αυτή ρυθμίζεται με θυροφράγματα, που μπορούν να τοποθετηθούν: α) στην είσοδο και β) σε ενδιάμεσο σημείο του αγωγού. Στην β' περίπτωση το σημείο τοποθέτησης εκλέγεται έτσι ώστε να μπορούμε να κατασκευάσουμε στην κορυφή του αναχώματος ένα φρεάτιο για τον έλεγχο, παρατήρηση και ρύθμιση της ροής. Στα κατάντη ο αγωγός αυτός μπορεί να συνεχίζει ως ανοικτός ή να καταλήγει στον ποταμό. Εάν οι ταχύτητες εξόδου είναι μεγάλες τότε θα πρέπει να ληφθεί ειδική μέριμνα για την διάχυση της ενέργειας αυτής, με την τοποθέτηση λεκάνης απόσβεσης ενεργείας. Στο σχήμα 1 φαίνονται τυπικές τέτοιες διατάξεις.

Για τα υψηλότερα χωμάτινα φράγματα όπου η κατασκευή εξόδου μέσα ανοικτό αγωγό δεν είναι δυνατή, το έργο εξόδου μπορεί να έχει την μορφή αγωγού και να κατασκευάζεται διαμέσου του φράγματος, κάτω ή και γύρω από αυτό. Ακόμη είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν σαν οδοί διεξόδου και τα αντερίσματα του φράγματος με την κατασκευή κάποιας σήραγγας. Ανάλογα με την θέση της κατασκευής εξόδου ο αγωγός ή και η σήραγγα μπορούν να λειτουργούν είτε με ελεύθερη επιφάνεια είτε υπό πίεση για όλο ή για κάποιο τμήμα τους. Η κατάλληλη αυτών των έργων εξόδου είναι συνήθως η λεκάνη ηρεμίας όπου γίνεται και η διάχυση της ενέργειας. Ανάλογα με την μέθοδο ρύθμισης και τις συνθήκες ροής, η είσοδος-επίσκεψη σ'αυτά τα έργα γίνεται:

- α) Με την βοήθεια γέφυρας, για την περίπτωση υπερυψωμένου πύργου υδροληψίας και
- β) Με την βοήθεια σήραγγας ή κλειστού αγωγού.

Τυπικές τέτοιες κατασκευές παρουσιάζονται στα σχήματα 1 έως 4.

Για τα φράγματα από σκυρόδεμα τα έργα εξόδου κατασκευάζονται διαμέσου του φράγματος με τη βοήθεια κάποιου κλειστού υπό πίεση αγωγού πακτωμένου στην μάζα του φράγματος. Η υδροληψία και το τέλος των έργων εξόδου μπορεί να είναι "κολλημένα" ανάντη και κατάντη των πλευρών του φράγματος. Συνήθως η έξοδος συνδιάζεται με τα έργα εξόδου του υπερχειλιστή

ασφαλείας [6]. Τυπικές κατασκευές έργων εξόδου για φράγματα από σκυρόδεμα φαίνονται στο σχήμα 5. Όταν χρησιμοποιείται μία σήραγγα εκτροπής κατά την διάρκεια της κατασκευής του φράγματος από μπετόν, συνήθως η σήραγγα αυτή μετατρέπεται σε μόνιμο έργο εξόδου αφού πρώτα κλειστεί η είσοδος της.

3. ΟΡΓΑΝΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΡΟΗΣ

3.1. ΓΕΝΙΚΟΤΗΤΕΣ

Τα όργανα ελέγχου κεφαλής διακρίνονται σε εφεδρικά θυροφράγματα κεφαλής, κανονικά θυροφράγματα και δικλείδες. Ο σκοπός τους είναι να ελέγχουν την παροχρετούμενη παροχή προκειμένου να εξυπηρετηθούν οι διάφορες ανάγκες (Υδρευση, Άρδευση, Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κ.α.) Σύμφωνα με τους Kohler και Ball [2] πάντοτε σ'έναν αγωγό παρεμβάλλονται δύο όργανα ελέγχου από τα οποία το ένα καλείται όργανο ασφαλείας και το δεύτερο κανονικό όργανο ελέγχου.

Τα θυροφράγματα (Gates) και οι δικλείδες (Valves) αποτελούν τα κύρια όργανα ελέγχου της ροής στα έργα εξόδου. Τα παραπάνω όργανα ελέγχου κατατάσσονται σύμφωνα με την λειτουργία που επιτελούν στην όλη κατασκευή.

Τα θυροφράγματα και οι δικλείδες ρύθμισης χρησιμοποιούνται και σχεδιάζονται έτσι ώστε να μπορούν να πάρουν όλες τις θέσεις μεταξύ στεγανού κλεισίματος έως πλήρους ανοίγματος. Στις περισσότερες φορές τοποθετούνται όργανα ασφαλείας με σκοπό να χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση αποτυχίας στην λειτουργία των κανονικών θυροφραγμάτων ή όταν υπάρχει η επιθυμία για απουσία του νερού με σκοπό την επισκευή ή συντήρηση κάποιων τμημάτων.

- Έλεγχος από ανάντη. Ο έλεγχος αυτός της ροής γίνεται όταν το νερό παροχετεύεται σε αγωγό ελεύθερης ροής. Στην αρχή (ανάντη) του αγωγού εξόδου τοποθετούνται, τα διάφορα όργανα ελέγχου. Μαζί μ'αυτά μπορούν να σχεδιαστούν σε μια απλή κατασκευή υδροληψίας οι εσχάρωσης σκουπιδιών-ψαριών, τα εφεδρικά θυροφράγματα και οι ρυθμιστικές δικλείδες. Η καλή λειτουργικότητα σ'αυτήν την περίπτωση οφείλεται στο ότι σ'ένα σημείο του έργου εξόδου βρίσκονται όλα τα όργανα ελέγχου. Η διάταξη αυτή των έργων βρίσκεται στα ανάντη του φράγματος, και η επίσκεψη στον χώρο αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με βάρκα, είτε με μια γέφυρα που θα κατασκευαστεί έτσι ώστε να υπάρχει βατή οδός μεταξύ της υδροληψίας και του κυρίως όγκου του φράγματος. Η υδροληψία αποτελείται από ένα υπερυψωμένο πύργο, που έχει σαν κατάληξη τον αγωγό εξόδου. Το επίπεδο

εργασίας της υδροληψίας τοποθετείται πάνω από την μέγιστη στάθμη αποθήκευσης και η θέση αυτού του πύργου υδροληψίας είναι ανάντη του φράγματος και σε θέση που συνήθως καθορίζεται από τον πόδα του πρानού. (Τυπική διάταξη πύργου εισόδου υδροληψίας σχήμα 8)

- Έλεγχος σε ενδιάμεσο σημείο. Ο έλεγχος αυτός της ροής γίνεται σε σημείο τέτοιο ώστε το σημείο ελέγχου να βρίσκεται οριζοντιογραφικά κατάντη της στέψης του φράγματος, ή λίγο ανάντη αυτής. Σ'αυτήν την περίπτωση το ανάντη τμήμα του αγωγού λειτουργεί συνήθως υπό πίεση, ενώ το κατάντη με ελεύθερη ροή και εν μέρει υπό πίεση. Στο ανάντη τμήμα η υδατοστεγανότητα δεν παίζει σημαντικό ρόλο γιατί οι εξωτερικές και εσωτερικές πιέσεις αλληλοεξουδετερώνονται, ενώ στο κατάντη υπό πίεση τμήμα παρουσιάζεται κάποια υπέρβαση των εσωτερικών πιέσεων με αποτέλεσμα κάποιες διαρροές από τις συνδέσεις και τις τυχόν ρωγμές. Εάν λοιπόν ένας υπό πίεση αγωγός βρίσκεται σε ένα από τα αναχώματα του φράγματος και παρουσιαστούν τέτοιες διαρροές, εμφανίζονται φαινόμενα διασωλήνωσης με τελικό-πιθανό αποτέλεσμα την καταστροφή του φράγματος, ενώ αν ο αγωγός είναι μια σήραγγα τότε μπορεί οι διαρροές διαμέσου αυτής να καταστήσουν κορεσμένη την πλευρά του αντερίσματος, προκαλώντας κατολισθήσεις. Για να μειώσουμε τις πιθανότητες αστοχίας στα τμήματα που είναι υπό πίεση στην κατάντη πλευρά, χρησιμοποιούνται ειδικές συνδέσεις και τύποι αγωγών. Η επίσκεψη στον τόπο των οργάνων ελέγχου με σκοπό την επιθεώρηση ή την επισκευή τους, γίνεται με την βοήθεια κάποιου φρεατίου παρατήρησης που κατασκευάζεται από την στέψη του φράγματος έως το σημείο των οργάνων (σχήμα 2).

3.2. ΕΦΕΔΡΙΚΑ ΘΥΡΟΦΡΑΓΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΗΣ (BULKHEAD GATES & STOPLOGS)

Τα εφεδρικά αυτά θυροφράγματα όπως φαίνεται και στο σχήμα 9 τοποθετούνται πάντοτε στην αρχή της υδροληψίας μέσα σε ειδικές εγκοπές και σε ειδικό έργο εισόδου και διακρίνονται είτε σε εφεδρικά θυροφράγματα χαμηλού φορτίου (bulkhead gates) είτε σε εφεδρικά θυροφράγματα υψηλού φορτίου (stoplogs). Ο στόχος τους είναι να στεγανοποιήσουν τον αγωγό υδροληψίας πριν από τα κανονικά θυροφράγματα ή δικλείδες για την περίπτωση που χρειάζεται να γίνει κάποια συντήρηση στα όργανα ελέγχου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε παλαιότερες εποχές τα εφεδρικά αυτά θυροφράγματα αποτελούνταν από σανίδες ή κορμούς δέντρων εξού και το όνομα stoplogs, ενώ σήμερα κατασκευάζονται από μεταλλικά πλαίσια τα οποία οδηγούνται στο ειδικό αυτό έργο εισόδου με την

βοήθεια γερανών. Στα σχήματα 10 και 11 φαίνονται σύγχρονες εγκαταστάσεις από τα παραπάνω εφεδρικά θυροφράγματα και όλες οι λεπτομέρειες κατασκευής και λειτουργίας αυτών των θυροφραγμάτων.

3.3. ΘΥΡΟΦΡΑΓΜΑΤΑ (GATES)

3.3.1. Ολισθαίνοντα θυροφράγματα (Slides gates)

Τα ολισθαίνοντα θυροφράγματα ονομάζονταν παλιά και θυροφράγματα υψηλών πιέσεων και υπήρξαν το κλασικό μέσο για την ρύθμιση και απόφραξη της ροής στα έργα υδροληψίας των φραγμάτων. Η διατομή τους όπως φαίνεται στο σχήμα 12 είναι ορθογωνική, το δε θυροφράγμα ολισθαίνει κατά μήκος ειδικών εγκοπών και κατασκευάζεται από ειδική πλαισιωτή κατασκευή επενδεδυμένη με λαμαρίνα ικανού πάχους. Χρησιμοποιούνται για μέσα έως υψηλά φορτία.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 12 το θυροφράγμα είναι συνδεδεμένο με μεταλλικό κυλινδρικό χαλύβδινο στέλεχος το οποίο ανεβοκατεβαίνει με την βοήθεια ειδικού υδραυλικού μηχανισμού. Το θυροφράγμα είναι επενδεδυμένο με ανωξειδωτο χάλυβα και το έργο υποδοχής του κατασκευάζεται συνήθως από ισχυρό οπλισμένο σκυρόδεμα ή και από ολόσωμη μεταλλική κατασκευή, πάντοτε δε δημιουργείται μια συναρμογή μεταξύ της ορθογωνικής διατομής και της κυκλικής διατομής του αγωγού.

3.3.2. Δακτυλιοειδή θυροφράγματα (Ring-follower Gates)

Σε αντίθεση με τα ολισθαίνοντα θυροφράγματα, τα δακτυλιοειδή θυροφράγματα έχουν κυκλική διατομή και ως εκ τούτου προσαρμόζονται στον κυκλικό αγωγό της υδροληψίας χωρίς να δημιουργηθεί μήκος συναρμογής. Επιπλέον στη θέση ακριβώς του θυροφράγματος οι απώλειες φορτίου είναι ελάχιστες και αυτό δρα θετικά στη διατήρηση του ολικού φορτίου.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 13 το δακτυλιοειδές θυροφράγμα φέρει στο κάτω από τον αγωγό μέρος μια ειδική υποδοχή όπου ακουμπάει η άκρη του θυροφράγματος, όταν αυτό είναι κλειστό. Όταν το θυροφράγμα φτάσει στην άνω υποδοχή το άκρο του έρχεται και προσαρμόζεται στην κυκλική διατομή του αγωγού οπότε η ροή συνεχίζει να κυλά κανονικά μέσα στον αγωγό. Τα θυροφράγματα αυτά δεν είναι κατάλληλα για την εκτέλεση μερικών ανοιγμάτων για την ρύθμιση της ροής, διότι είναι ενδεχόμενο εάν χρησιμοποιηθούν για τέτοιο

σκοπό να παρουσιάσουν σοβαρά προβλήματα σπηλαιώσης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται μόνο ως θυροφράγματα ασφαλείας. Μια βελτίωση αυτών των θυροφραγμάτων αποτελούν τα δακτυλιοειδή θυροφράγματα με ειδική στεγάνωση (Ring-Seal Gates) τα οποία πέρα από ειδική κατασκευή στεγάνωσης που φέρουν στην περίμετρο του θυροφράγματος, έχουν στα άκρα τους και μικρούς δακτυλούς που επιτρέπουν την κύλιση μέσα στις ειδικές σχισμές και επομένως την ελάττωση των τριβών.

3.3.3. Θυροφράγματα με ροή Jet (Jet-Flow Gates)

Τα θυροφράγματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά στην δεκαετία του 1940 και το κύριο χαρακτηριστικό τους όπως φαίνεται και στο σχήμα 14 είναι ένα διάφραγμα κυκλικό το οποίο είναι σταθερό και τοποθετείται στην είσοδο της ροής αναγκάζοντας έτσι την ροή να εκρυσταλλωθεί προς τα κατάντη υπό μορφή εκτοξευόμενης υδάτινης φλέβας. Μεταξύ του κυρίως αγωγού και του κυκλικού διαφράγματος παρεμβάλλεται ένα μεταλλικό κωνικό τμήμα συναρμογής. Τα διαφράγματα τύπου jet μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεγάλα φορτία και σαν ρυθμιστικά θυροφράγματα, ενώ ανάντη αυτών μπορεί να τοποθετηθεί άλλο θυροφράγμα (π.χ. δακτυλιοειδές) σαν θυροφράγμα ασφαλείας. Μια τέτοια διάταξη δίνεται στο σχήμα 15 και είναι η περίπτωση του φράγματος Trinity Dam στην California [1].

Θα μπορούσε να αναφέρει κανείς και άλλες μορφές θυροφραγμάτων όπως τα κυλιόμενα θυροφράγματα (Wheel and Roller - Mounted Gates) ή τα κυλινδρικού τύπου θυροφράγματα (Cylinder Gates), των οποίων όμως η περιγραφή ξεφεύγει από το σκοπό του άρθρου αυτού.

3.4. ΔΙΚΛΕΙΔΕΣ

3.4.1. Γενικότητες

Οι δικλείδες σε αντίθεση με τα θυροφράγματα χρησιμοποιήθηκαν από την κατασκευή τους σαν ρυθμιστικά όργανα της παροχετευόμενης παροχής, ανεξάρτητα από το σύστημα λειτουργίας τους (μηχανικού ή υδραυλικού συστήματος). Οι διάφοροι τύποι δικλείδων που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα είναι οι εξής:

α) Βελονοειδείς δικλείδες (Needle Valves)

- β) Σωληνοειδείς δικλείδες (Tube Valves)
- γ) Σφαιρικές δικλείδες (Sphere Valves)
- δ) Δικλείδες τύπου πεταλούδας (Butterfly Valves) και
- ε) Άλλα είδη δικλείδων όπως π.χ. σταθερού κώνου δικλείδες (Fixed-cone Valves), και συνδιασμός σταθερού κώνου και σωληνοειδούς τύπου δικλείδες (Sleeve-Valves)

3.4.2. Βελονοειδείς δικλείδες

Οι βελονοειδείς δικλείδες έχουν πάρει το όνομα τους από την μορφή τους, η οποία τόσο στο ανάντη όσο και στο κατάντη μέρος τους φέρει βελονοειδές άκρο. Χρησιμοποιούνται με εξαιρετικά αποτελέσματα στις περιπτώσεις ροών με υψηλή ταχύτητα. Στο σχήμα 16 φαίνονται οι λεπτομέρειες λειτουργίας μιας τέτοιας δικλείδας, με σταθερό και κινητό μέρος. Το σταθερό μέρος βρίσκεται προς το κατάντη τμήμα της ροής, ενώ το κινητό μέρος, που και αυτό είναι βελονοειδούς μορφής, στο ανάντη. Το κάτω μέρος της δικλείδας έχει ένα σύστημα ελέγχου που καλείται paradox control. Αξιοσημείωτο είναι ότι η γεωμετρία κατασκευής της βελονοειδούς δικλείδας επιτρέπει την καλή λειτουργία χωρίς την δημιουργία φαινομένων σπηλαιώσης.

3.4.3. Σωληνοειδείς δικλείδες

Στο σχήμα 17 φαίνονται οι λεπτομέρειες λειτουργίας μιας σωληνοειδούς δικλείδας, η οποία μοιάζει στην κατασκευή με την βελονοειδή τουλάχιστον ως προς το κατάντη τμήμα, αλλά το ανάντη τμήμα της έχει αντικατασταθεί με μια σωληνοειδή διάταξη. Η αντικατάσταση αυτή έγινε για την πλήρη εξάλειψη του προβλήματος της σπηλαιώσης. Επισημαίνουμε το γεγονός ότι οι σωληνοειδείς δικλείδες χρησιμοποιούνται και σε περιπτώσεις βυθισμένης ροής στην έξοδο.

3.4.4. Δικλείδες τύπου πεταλούδας

Οι δικλείδες τύπου πεταλούδας είναι καλές και εύρωστες στην κατασκευή τους, οικονομικές και κλασικές, χρησιμοποιούνται κυρίως σαν δικλείδες ασφαλείας για τουρμπίνες, σε εξόδους υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων και συχνά σαν δικλείδες ασφαλείας για ρυθμιζόμενα θυροφράγματα ή δικλείδες σε έργα εξόδου. Επιπλέον έχουν χρησιμοποιηθεί σαν ρυθμιστικά όργανα σε έργα εξόδου για

την περίπτωση εκροής με ελεύθερη επιφάνεια. Επίσης έχουν ευρέως χρησιμοποιηθεί σε δίκτυα διανομής νερού και σε έργα εξόδου. Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που παρουσιάζονται στο σχεδιασμό και στη λειτουργία της δικλείδας τύπου πεταλούδας είναι η στεγάνωση. Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει για να εξαλειφθούν τα φαινόμενα διαρροής. Στο σχήμα 18 και στην τομή E-E φαίνεται ο ειδικός τρόπος προσαρμογής του κινητού πτερυγίου στην σταθερή περιφέρεια με τη βοήθεια ειδικών δακτυλίων προσαρμογής τα οποία φέρουν στο άκρο τους ελαστικά παρεμβύσματα. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται και ο μηχανισμός λειτουργίας της στη διατομή B-B.

3.4.5. Σφαιρικές δικλείδες

Οι σφαιρικές δικλείδες φαίνονται στο σχήμα 19 όπου υπάρχει ένα περιστρεφόμενο τύμπανο μέσα σε μία σφαιρική υποδοχή, η οποία προσαρμόζεται με φλάντζα στον αγωγό. Το τύμπανο αυτό έχει δύο θέσεις, ανοικτή και κλειστή. Οι δικλείδες αυτές έχουν καλά αποτελέσματα ως προς την στεγάνωση και κατασκευάζονται κυρίως από μέταλλα που αντέχουν στην διάβρωση όπως ορείχαλκος ή ανοξείδωτος χάλυβας.

4. ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ-ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

4.1. ΓΕΝΙΚΟΤΗΤΕΣ

Τα υδραυλικά στοιχεία των έργων εξόδου περιλαμβάνουν συνήθως είτε συνθήκες ροής ανοικτών αγωγών (ελεύθερη ροή) είτε συνθήκες ροής κλειστών αγωγών (ροή υπό πίεση).

Η ροή στους ανοικτούς αγωγούς, είτε αυτοί θεωρούνται ως συστήματα ελεύθερης ροής είτε ως αγωγοί με μερική πλήρωση, θεωρείται σταθερή ανομοιόμορφη.

Η ροή στους κλειστούς αγωγούς, οι οποίοι είναι πλήρως γεμάτοι, θεωρείται υπό πίεση, και περιλαμβάνει τη μελέτη των υδραυλικών απωλειών για τον προσδιορισμό των ολικών φορτίων που απαιτούνται για να δημιουργηθούν οι αναγκαίες παροχές.

Οι λεκάνες απόσβεσης ενέργειας, οι ογκόλιθοι πρόσκρουσης του νερού και τα άλλα μέρη της λεκάνης απόσβεσης ενέργειας, συνήθως χρησιμοποιούνται για την

απόσβεση της ενέργειας του νερού στο κατάντη μέρος των έργων εξόδου. Πολλά από αυτά τα μέρη σχεδιάζονται με βάση το αξίωμα διατήρησης της ορμής.

4.2. ΡΟΗ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟ ΑΓΩΓΟ ΕΝΟΣ ΕΡΓΟΥ ΕΞΟΔΟΥ

Η ροή σε έναν ανοικτό αγωγό ενός έργου εξόδου, είναι η ίδια με αυτή σε έναν ανοικτό αγωγό ενός υπερχειλιστή. Η παροχή στη θέση ελέγχου, όταν υπάρχουν θυροφράγματα ή άλλες κατασκευές οι οποίες ελέγχουν τη ροή του νερού που όμως είναι τελείως ανοικτές, δίνεται από τη σχέση :

$$Q = CLH^{3/2} \quad , \quad (1)$$

όπου : Q = η παροχή,

C = συντελεστής παροχής,

L = το πλάτος του αγωγού και

H = το ολικό ύψος νερού.

Η παροχή σε έναν ανοικτό αγωγό ενός έργου εξόδου, όταν στη θέση ελέγχου υπάρχει κάποια κατασκευή η οποία ελέγχει τη ροή και η οποία είναι μερικώς ανοικτή ή βυθισμένη, δίνεται από τη σχέση :

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} CL (H_1^{3/2} - H_2^{3/2}) \quad , \quad (2)$$

Οι κατασκευές οι οποίες ελέγχουν τη ροή μπορεί να είναι μερικώς ή τελείως βυθισμένες. Για τις συνθήκες αυτές η παροχή η οποία περνάει από τη θέση ελέγχου, δίνεται από τη σχέση :

$$Q = CA \sqrt{2gH} \quad , \quad (3)$$

όπου : A = η επιφάνεια του ανοίγματος (ft),

H = η διαφορά μεταξύ ανάντη και κατάντη στάθμης νερού (ft) και

C = συντελεστής παροχής για βυθισμένη οπή ή για ροή σε σωληνωτό αγωγό.

Ο συντελεστής C (για το Αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων) για διάφορες συνθήκες και ανάλογα με τη γεωμετρία του σωληνωτού αγωγού δίδεται σύμφωνα με το Bureau of Reclamation [1] στο σχήμα 20.

Η ροή σε έναν ανοικτό αγωγό κατάντη των έργων κεφαλής θα είναι είτε υποκρίσιμη είτε υπερκρίσιμη ανάλογα με τις συνθήκες ροής διαμέσου της κατασκευής ελέγχου. Σε οποιαδήποτε περίπτωση όμως, τα βάθη ροής και οι ταχύτητες μέσα στον αγωγό μπορούν να προσδιοριστούν από την εξίσωση Bernoulli.

Οι παράγοντες οι οποίοι προσδιορίζουν το είδος της ροής μέσα σε έναν αγωγό είναι η κλίση, το μέγεθος, το σχήμα, το μήκος, η τραχύτητα του αγωγού, καθώς επίσης και η γεωμετρία της εισόδου και εξόδου. Ο συνδυασμός αυτών των παραγόντων προσδιορίζει τη θέση ελέγχου, η οποία με τη σειρά της καθορίζει τα χαρακτηριστικά της παροχής του αγωγού. Η θέση ελέγχου υποδεικνύει εάν ο αγωγός θα λειτουργεί μερικώς ή πλήρως γεμάτος και έτσι στη συνέχεια καθορίζεται η σχέση ύψους-παροχής.

Στο σχήμα 21 δίνονται οι συνθήκες ροής μέσα σε έναν αγωγό, καθώς επίσης και οι θέσεις ελέγχου της ροής, ανάλογα με την κλίση του αγωγού (ήπια, απότομη) και για τις περιπτώσεις αγωγών :

- α) με ελεύθερη ροή,
- β) υπό πίεση.

4.3. ΡΟΗ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ

4.3.1. Αγωγοί με μερική πλήρωση

Οι υδραυλικοί υπολογισμοί σε έναν κλειστό αγωγό ο οποίος έχει μερική πλήρωση, γίνονται όμοια όπως στους ανοικτούς αγωγούς. Οι υδραυλικές ιδιότητες για διαφορετικά βάθη ροής, για κυκλικό και πεταλοειδή αγωγό, φαίνονται στους πίνακες I έως IV [1].

Για την περίπτωση της κρίσιμης ροής από την εξίσωση συνέχειας έχουμε :

$$\frac{Q_c^2}{g} = \frac{\alpha_c^3}{T} \quad (4)$$

όπου : α_c = η επιφάνεια στην κρίσιμη ροή,

Q_c = η κρίσιμη παροχή και

T = το πλάτος της ελεύθερης επιφάνειας του νερού.

Εάν θέσουμε όπου $\alpha_c = k_1 D^2$ και όπου $T = k_2 D$, τότε η παραπάνω εξίσωση γίνεται :

$$\frac{Q_c^2}{g} = \frac{(k_1 D)^6}{k_2 D} \Rightarrow Q_c = k_3 D^{5/2} \quad (5)$$

όπου οι τιμές του όρου k_3 φαίνονται στη στήλη 3 του πίνακα I.

Εάν θέσουμε $A = k_6 (\pi D^2 / 4)$ και $r = k_7 D$ στην εξίσωση του Manning έχουμε :

$$Q = \frac{1,486}{n} \left(k_6 \frac{\pi D^2}{4} \right) (k_7 D)^{2/3} s^{1/2} \Rightarrow$$

$$\frac{Qn}{D^{8/3} s^{1/2}} = k_6 \frac{1,486\pi}{4} (k_7)^{2/3} = k_8 \quad (6)$$

Οι τιμές του όρου k_8 για διάφορα βάθη φαίνονται στη στήλη 4 του πίνακα II.

Εάν $D = k_9 d$ η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφεί :

$$\frac{Qn}{d^{8/3} s^{1/2}} = \frac{1,486\pi}{4} k_6 (k_7)^{2/3} (k_9)^{8/3} = k_{10} \quad (7)$$

Οι τιμές του όρου k_{10} για διάφορα βάθη φαίνονται στη στήλη 5 του πίνακα IV.

4.3.2. Αγωγοί με ολική πλήρωση

Εάν τοποθετηθεί κάποια κατασκευή ελέγχου της ροής του νερού (π.χ. θυροφράγματα) σε κάποια θέση κατάντη από την είσοδο του αγωγού, το τμήμα του αγωγού πριν από την κατασκευή ελέγχου θα λειτουργεί υπό πίεση. Επίσης και ένας αγωγός στον οποίο δεν υπάρχει κάποια κατασκευή ελέγχου της ροής μπορεί να λειτουργεί υπό πίεση, ανάλογα με τη γεωμετρία της εισόδου.

Για ροή σε ένα κλειστό σύστημα αγωγών, όπως φαίνεται στο σχήμα 22, η εξίσωση Bernoulli μπορεί να γραφεί ως εξής :

$$H_T = h_L + h_{v_2} \quad (8)$$

όπου : H_T = το ολικό φορτίο που απαιτείται,

h_L = οι ολικές απώλειες και

h_{v_2} = τοπικές απώλειες εξόδου.

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να αναπτυχθεί ως εξής :

$$H_T = h_i + h_e + h_b + h_{f_1} + h_{e_{(1-4)}} + h_{f_2} + h_{e_{(4-7)}} + h_{f_3} + h_{e_{(7-9)}} + h_{f_4} + h_{b_1} + h_{e_{(1-2)}} + h_{f_5} + h_{v_2} \quad (9)$$

όπου : h_i = απώλειες εσχάρας,

h_e = απώλειες εισόδου,

h_b = απώλειες λόγω καμπύλης,

h_{f_1} = απώλειες λόγω συστολής του αγωγού,

$h_{e_{(1-4)}}$ = απώλειες λόγω διαστολής του αγωγού,

h_{f_2} = απώλειες βαλβίδων ή θυροφραγμάτων,

h_{f_3} = απώλειες τριβής και

h_{v_2} τοπικές απώλειες εξόδου.

Η παραπάνω εξίσωση γίνεται :

$$H_T = K_i \frac{v_6^2}{2g} + K_e \frac{v_5^2}{2g} + K_{b_1} \frac{v_5^2}{2g} + f \frac{L_5 v_5^2}{D_5 2g} + K_{e_{(1-4)}} \left(\frac{v_5^2}{2g} - \frac{v_4^2}{2g} \right) + f \frac{L_4 v_4^2}{D_4 2g} + K_e \left(\frac{v_3^2}{2g} - \frac{v_4^2}{2g} \right) + K_{f_1} \frac{v_3^2}{2g} + K_{e_{(4-7)}} \left(\frac{v_3^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right) + f \frac{L_1 v_1^2}{D_1 2g} + K_{b_1} \frac{v_1^2}{2g} + K_e \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right) + K_{f_2} \frac{v_2^2}{2g} + K_{v_2} \frac{v_2^2}{2g} \quad (10)$$

όπου : K_i = συν/στής απωλειών εσχάρας,

K_e = συν/στής απωλειών εισόδου,

K_{b_1} = συν/στής απωλειών λόγω καμπύλης του αγωγού,

f = συν/στής τριβών της εξίσωσης Darcy-Weisbach για ροή υπό πίεση,

$K_{e_{(1-4)}}$ = συν/στής απωλειών λόγω διαστολής του αγωγού,

K_e = συν/στής απωλειών λόγω συστολής του αγωγού,

K_{f_1} = συν/στής απωλειών θυροφραγμάτων και

K_{f_2} = συν/στής απωλειών εξόδου του αγωγού.

Εφαρμόζοντας την εξίσωση συνεχείας ανάμεσα σε μία τυχαία θέση (x) και στη θέση (1), έχουμε :

$$Q = \alpha_1 v_1 = \alpha_x v_x \Rightarrow \alpha_1^2 v_1^2 = \alpha_x^2 v_x^2 \Rightarrow$$

$$\frac{v_x^2}{2g} = \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_x} \right)^2 \frac{v_1^2}{2g} \quad (11)$$

Αντικαθιστώντας την παραπάνω σχέση στην εξίσωση (10) έχουμε :

$$H_T = \frac{v_1^2}{2g} \left[\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_6} \right)^2 K_i + \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_5} \right)^2 (K_e + K_{b_1} + \frac{fL_5}{D_5} + K_{e_{(1-4)}}) + \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_4} \right)^2 \left(\frac{fL_4}{D_4} - K_{e_{(4-7)}} - K_e \right) + \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_3} \right)^2 (K_e + K_{e_{(4-7)}} + K_{f_1}) + \left(f \frac{L_1}{D_1} - K_{e_{(1-4)}} + K_{b_1} - K_e \right) + \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right)^2 (K_e + K_{f_2} + K_{v_2}) \right] \quad (12)$$

Εάν ονομάσουμε K_L τους όρους στην αγκύλη η παραπάνω εξίσωση γράφεται:

$$H_T = K_L \frac{v_1^2}{2g} \quad (13)$$

- Απώλειες λόγω τριβής

Οι απώλειες λόγω τριβής εκφράζονται από τη σχέση Darcy-Weisbach :

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g} \quad (14)$$

όπου : f = συντελεστής τριβής, ο οποίος εξαρτάται από την τραχύτητα του αγωγού και από τον αριθμό του Reynolds.

Στην πράξη πολλές φορές χρησιμοποιείται ο συντελεστής τραχύτητας του Manning n , ο οποίος συνδέεται με το συντελεστή f με την παρακάτω σχέση (σε μονάδες Αγγλοσαξωνικού συστήματος) :

$$f = \frac{116,5n^2}{r^{1/3}} = \frac{185n^2}{D^{1/3}} \quad (15)$$

Όταν η διατομή είναι πεταλοειδής ή έχει ορθογώνιο σχήμα δεν μπορεί να εφαρμοστεί η σχέση του Darcy-Weisbach, η οποία εφαρμόζεται σε κυκλικούς αγωγούς και οι απώλειες τριβής υπολογίζονται από την εξίσωση Manning (σε μονάδες Αγγλοσαξωνικού συστήματος) :

$$h_f = 29,1n^2 \frac{L v^2}{r^{4/3} 2g} \quad (16)$$

Οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές του συντελεστή n , δίνονται ως εξής (σε μονάδες Αγγλοσαξωνικού συστήματος) [1] :

| | Μέγιστη τιμή n | Ελάχιστη τιμή n |
|--------------------------------|------------------|-------------------|
| Αγωγός από σκυρόδεμα | 0,014 | 0,008 |
| Χαλυβδοσωλήνας | 0,012 | 0,008 |
| Μη ευθύγραμμη σήραγγα σε βράχο | 0,035 | 0,020 |

- Απώλειες εσχάρας

$$K_t = 1,45 - 0,45 \frac{\alpha_n}{\alpha_g} - \left(\frac{\alpha_n}{\alpha_g} \right)^2 \quad (17)$$

όπου : K_t = συντελεστής απωλειών εσχάρας,

α_n = η καθαρή επιφάνεια των οδοντωτών ράβδων,

α_g = η ολική επιφάνεια της εσχάρας και των βοηθητικών μερών.

- Απώλειες εισόδου

Τιμές του συντελεστή απωλειών εισόδου δίνονται στον πίνακα V.

- Απώλειες λόγω καμπύλης του αγωγού

Στο σχήμα 23A δίνεται ο συντελεστής K_b για καμπύλη 90° ως συνάρτηση του λόγου της ακτίνας της καμπύλης ως προς τη διάμετρο του αγωγού (R_b/D). Στο σχήμα 23B δίνεται ο συντελεστής διόρθωσης για την περίπτωση που η καμπύλη δεν είναι 90°.

- Απώλειες λόγω συστολής και διαστολής του αγωγού

Οι απώλειες λόγω συστολής δίνονται από τη σχέση :

$$h_c = K_c \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right) \quad (18)$$

όπου ο συντελεστής K_c μεταβάλλεται από 0.1 έως 0.5.

Οι απώλειες λόγω διαστολής δίνονται από τη σχέση :

$$h_{ex} = K_{ex} \left(\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right) \quad (19)$$

όπου ο συντελεστής K_{ex} δίνεται στον ακόλουθο πίνακα, ανάλογα με τη γωνία διεύρυνσης (α) [1] :

| Γωνία διεύρυνσης (α) | 2° | 5° | 10° | 12° | 15° | 20° | 25° | 30° | 40° | 50° | 60° |
|-------------------------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|
| K_{ex} [3] | 0.03 | 0.04 | 0.08 | 0.10 | 0.16 | 0.31 | 0.40 | 0.49 | 0.60 | 0.67 | 0.72 |
| K_{ex} [5] | 0.02 | 0.12 | 0.16 | ----- | 0.27 | 0.40 | 0.55 | 0.66 | 0.90 | 1.00 | ----- |

- Απώλειες λόγω δικλείδων ή θυροφραγμάτων

Στην περίπτωση που οι δικλείδες ή τα θυροφράγματα είναι τελείως ανοικτά, ο συντελεστής K_s λαμβάνεται ίσος με 0.19.

Για τα υπόλοιπα ανοίγματα έχουμε :

$$3/4 \quad K_s = 1.15$$

$$1/2 \quad K_s = 5.6$$

$$1/4 \quad K_s = 24.$$

Μία μέση τιμή του συντελεστή K_s για δικλείδες τύπου πεταλούδας είναι 0.15, ενώ οι απώλειες στις σφαιρικές δικλείδες είναι αμελητέες.

- Απώλειες εξόδου.

Ο συντελεστής $K_v = 1.00$.

5. ΣΗΡΑΓΓΑ ΕΚΤΡΟΠΗΣ

5.1. ΓΕΝΙΚΟΤΗΤΕΣ

Κατά τη σχεδίαση ενός φράγματος, το οποίο πρόκειται να κατασκευαστεί σε έναν ποταμό, θα πρέπει να υπάρχει μέριμνα για την εκτροπή των νερών του ποταμού, είτε διαμέσου του σώματος του φράγματος, είτε γύρω από τη θέση του, κατά την περίοδο κατασκευής του.

Η έκταση και το μέγεθος του έργου αυτού εξαρτάται από τις πλημμυρικές απορροές συγκεκριμένης περιόδου επαναφοράς (π.χ. $T=10$ χρόνια).

Το πρόβλημα της εκτροπής συναντάται σε όλες τις θέσεις κατασκευής φραγμάτων στον υφιστάμενο ρου του ποταμού, ενώ παρακάμπτεται όταν η κατασκευή του φράγματος είναι εκτός αυτού.

Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη κατά τη σχεδίαση της σήραγγας εκτροπής είναι οι παρακάτω :

- Τα χαρακτηριστικά της ροής του ποταμού.
- Το μέγεθος και η συχνότητα της πλημμυρικής παροχής σχεδιασμού (1:10) και
- Οι μέθοδοι εκτροπής.

5.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΡΟΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ

Οι μετρήσεις και όλα γενικά τα διαθέσιμα στοιχεία που αφορούν ή διαμορφώνουν τη ροή του ποταμού πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη και να αποτελούν τα βασικά υπόβαθρο μελέτης ενός έργου εκτροπής. Η γενικότερη πολιτική για τη σχεδίαση-κατασκευή ενός φράγματος θα πρέπει να προγραμματίζεται και να εκτελεί (αν αυτό είναι δυνατό) μετρήσεις υπαίθρου στην περιοχή μελέτης.

Το κυριότερο χαρακτηριστικό της ροής ενός ποταμού είναι η πλημμυρική παροχή, η οποία λειτουργεί ως μεταβλητή απόφασης για την επιλογή του τύπου εκτροπής. Η πλημμυρική αυτή παροχή είναι αποτέλεσμα του λιώσιμου του χιονιού, των εποχιακών βροχοπτώσεων και γενικότερα όλων των δυνατών κατακρημνισμάτων, τα οποία εμφανίζουν μέγιστες και ελάχιστες τιμές σε διαφορετικές περιόδους του χρόνου.

5.3. ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Κατά την κατασκευή του φράγματος δεν είναι οικονομικά εφικτό να σχεδιαστεί μία σήραγγα εκτροπής με τη μέγιστη δυνατή πλημμυρική παροχή.

Στην πράξη συνήθως στη σχεδίαση φραγμάτων εκλέγεται πλημμυρική παροχή με συχνότητα εμφάνισης 1:5 και για να μειωθούν οι πιθανότητες καταστροφής εκλέγεται ως περίοδος επαναφοράς $T=10$ χρόνια.

5.4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΡΟΠΗΣ

5.4.1. Σήραγγα

Σε στενές χαράδρες η εκτροπή των νερών του ποταμού, γίνεται με τη βοήθεια μίας σήραγγας. Η λύση αυτή είναι η καλύτερη δυνατή είτε για ένα φράγμα βαρύτητας είτε για ένα χωμάτινο φράγμα. Η ροή του ποταμού παρακάμπτεται με τη βοήθεια της σήραγγας διαμέσου του ενός ή και των δύο αντρευσμάτων.

Πολλές φορές στην είσοδο της σήραγγας, τοποθετούνται εφεδρικά θυροφράγματα κεφαλής με σκοπό τη ρύθμιση της παροχетеυόμενης παροχής στα κατάντη. Μετά το πέρας κατασκευής του φράγματος, η είσοδος της σήραγγας φράσσεται οριστικά με τη βοήθεια ενός σκυροδετημένου πώματος (σχήμα 24). Το υπόλοιπο κομμάτι της σήραγγας συναρμόζεται με την υδροληψία και στη συνέχεια λειτουργεί σαν ενιαίο έργο εξόδου.

5.4.2. Κλειστοί αγωγοί

Η χρησιμοποίηση κλειστών αγωγών για την εκτροπή του ποταμού είναι μία οικονομική κατασκευή, ειδικά αν το μέγεθος του αγωγού που απαιτείται είναι δυνατόν να μεταφέρει στα κατάντη τα νερά της εκτροπής. Η θέση του κλειστού αυτού αγωγού είναι είτε διαμέσου του σώματος του φράγματος είτε κάτω από αυτό. Το φράξιμο της εισόδου, μετά την κατασκευή του φράγματος γίνεται όμοια με την περίπτωση της σήραγγας.

5.4.3. Προσωρινοί αγωγοί εκτροπής

Σε περιπτώσεις όπου απαιτούνται μεγάλες διατομές σπράγγων ή κλειστών αγωγών, που καθιστούν το έργο αντιοικονομικό, η εκτροπή των νερών του ποταμού γίνεται με προσωρινό αγωγό, ο οποίος περνά από το κυρίως σώμα του φράγματος, ενώ το ανάχωμα κατασκευάζεται παράλληλα. Αυτή η μέθοδος εκτροπής ενδείκνυται για φράγματα χωμάτινα μικρού ύψους, με παροχές εκτροπής αρκετά μεγάλες.

6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ-ΣΗΡΑΓΓΑ ΕΚΤΡΟΠΗΣ

Εξετάστηκε η περίπτωση του φράγματος του ποταμού Χιονόρεμα, περιοχής Κομοτηνής, το οποίο μελετήθηκε σε στάδιο Προμελέτης.

Η διάμετρος της σήραγγας εκτροπής επιλέχτηκε με κυκλική διατομή $D=4\text{m}$. Η σήραγγα μελετήθηκε να διανοιχτεί μέσα σε βραχώδη πετρώματα και με επένδυση από οπλισμένο σκυρόδεμα B225.

Η διαστασιολόγηση της σήραγγας εκτροπής, έγινε για πλημμύρα περιόδου επαναφοράς $T=10$ χρόνια.

6.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΕΤΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΕΚΤΡΟΠΗΣ

Σύμφωνα με το Bureau of Reclamation για φορτίο στην είσοδο της σήραγγας εκτροπής μικρότερο του $1,2D$, η ροή είναι ελεύθερη.

Στο σχήμα 25, παρουσιάζεται η μηκοτομή της σήραγγας εκτροπής, εκκενώσεως και υδροληψίας του φράγματος του ποταμού Χιονόρεμα.

Όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο 4.3. για την περίπτωση κυκλικής διατομής με ελεύθερη ροή ισχύει η σχέση [1] :

$$Q_n / (D^{8/3} S_o^{1/2}) = K_s$$

όπου : Q = παροχή, K_s = παράμετρος, D = διάμετρος,

S_o = κλίση πυθμένα της σήραγγας και

n = συν/στής τριβών κατά Manning = 0,018.

Με βάση τη σχέση αυτή και με τη βοήθεια των πινάκων III και IV κατασκευάστηκε ο πίνακας VI ο οποίος δίνει σχέσεις μεταξύ παροχής και φορτίου μέχρι μιας τιμής της παροχής $Q=1412,535\text{ft}^3/\text{s}$ ή $Q=40\text{m}^3/\text{s}$ και για μια πληρότητα της διατομής δηλαδή λόγο $d/D=0,818$. Πέραν από την τιμή αυτή θεωρούμε ότι η σήραγγα τελεί υπό πίεση και επομένως η εξίσωση ενεργείας για κυκλική υπό πίεση διατομή δίδεται από την παρακάτω σχέση :

$$131 + 0,2 \frac{v^2}{2g} + 0,2 \frac{v^2}{2g} + \frac{v^2}{2g} + f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = H$$

όπου : $v = Q/A$,

A = εμβαδόν κυκλικής διατομής = $12,57\text{m}^2$,

f = συντελεστής τριβών = 0,018,

L = μήκος αγωγού = 300m,

D = διάμετρος αγωγού = 4m και

H = φορτίο νερού ανάντη.

Στην παραπάνω σχέση ο όρος 131 είναι το μέσο υψόμετρο του αγωγού στην έξοδο και οι επόμενοι τρεις όροι αναφέρονται σε απώλειες εισόδου, θυροφραγμάτων και εξόδου ενώ ο τελευταίος όρος αναφέρεται στις γραμμικές απώλειες λόγω τριβών, στα τοιχώματα της σήραγγας. Στον όρο αυτό η τιμή του συντελεστή τριβών f ελήφθη ίση με 0,018, θεωρώντας για ασφάλεια περίπτωση τραχέως σκυροδέματος. Τέλος στο δεξί μέλος ο όρος H δίδει το ολικό φορτίο.

Εάν θέσουμε στην παραπάνω σχέση $v = Q/12,57$ παίρνουμε την εξίσωση :

$$Q = 33,58(H - 131)^{1/2}$$

Η παραπάνω εξίσωση εκφράζει τη σχέση Στάθμης-Παροχής. Θέτοντας διάφορες τιμές παροχής Q κατασκευάζεται ο πίνακας VII, όπου φαίνεται η καμπύλη Στάθμης-Παροχής για την περίπτωση της ροής υπό πίεση. Στο σχήμα 26 απεικονίζεται η καμπύλη Στάθμης-Παροχής.

6.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΕΤΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΚΕΝΩΤΗ

Για τον εκκενωτή πρέπει να παρατηρήσουμε ότι το κατακόρυφο τμήμα του έχει υπολογιστεί με διάμετρο $D_1 = 2\text{m}$ και μήκος $L_1 = 20\text{m}$.

Η εξίσωση ενεργείας για την περίπτωση του εκκενωτή δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$H = 131 + K_e \frac{v_1^2}{2g} + K_{\sigma\kappa} \frac{v_1^2}{2g} + K_{\kappa\alpha\mu} \frac{v_1^2}{2g} + f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{v_1^2}{2g} + K_0 \frac{v_2^2}{2g} + K_0 \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v^2}{2g} \right) + K_0 \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v^2}{2g} \right) + f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad , \quad \Rightarrow$$

όπου : K_e = απώλειες εισόδου, $K_{\sigma\kappa}$ = απώλειες σχάρας, $K_{\kappa\alpha\mu}$ = απώλειες καμπύλης, K_0 = απώλειες θυροφραγμάτων, K_0 = απώλειες συστολής και K_0 = απώλειες διαστολής,

$$H = 131 + 0,2 \frac{v_1^2}{2g} + 0,2 \frac{v_1^2}{2g} + 0,2 \frac{v_1^2}{2g} + f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{v_1^2}{2g} + 0,2 \frac{v_2^2}{2g} + 0,4 \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v^2}{2g} \right) + f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} + \frac{v^2}{2g} \quad ,$$

όπου : $v_1 = Q/A_1$, $f_1 = 0,02$, $L_1 = 20\text{m}$, $D_1 = 2\text{m}$, $A_1 = 3,14\text{m}^2$,
 $v^2 = Q/A_2$, $A_2 = 0,6 \times 0,8 = 0,48\text{m}^2$,
 $v = Q/A$, $f = 0,018$, $L = 295\text{m}$, $D = 4\text{m}$, $A = 12,57\text{m}^2$

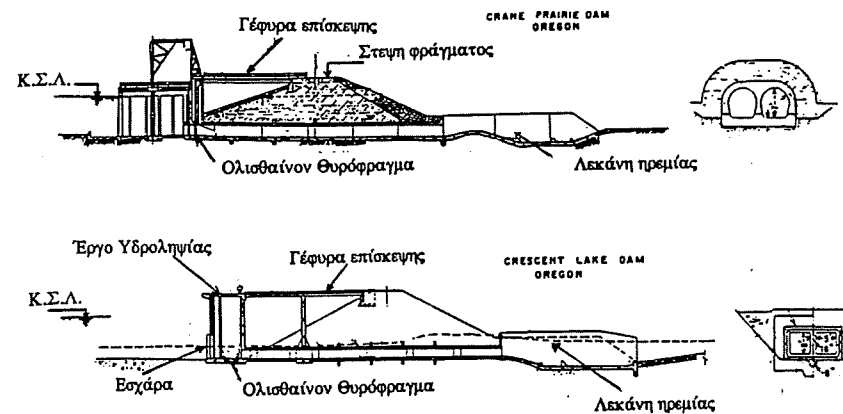
Αντικαθιστώντας στην παραπάνω εξίσωση έχουμε :

$$Q = 2,708(H - 131)^{1/2}$$

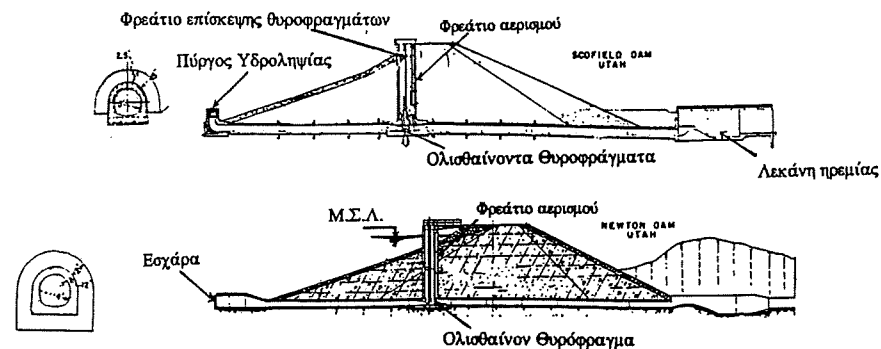
Η παραπάνω εξίσωση εκφράζει τη σχέση Στάθμης-Παροχής. Για διάφορες στάθμες H υπολογίζουμε την παροχή Q εκκένωσης και στη συνέχεια βρίσκουμε το χρόνο εκκένωσης του ταμιευτήρα. Στον πίνακα VIII φαίνονται οι υπολογισμοί αυτοί, οι οποίοι έγιναν με τη βοήθεια του σχήματος 27. Η εκκένωση του όγκου του ταμιευτήρα θα πραγματοποιηθεί σε περίπου 6 ημέρες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

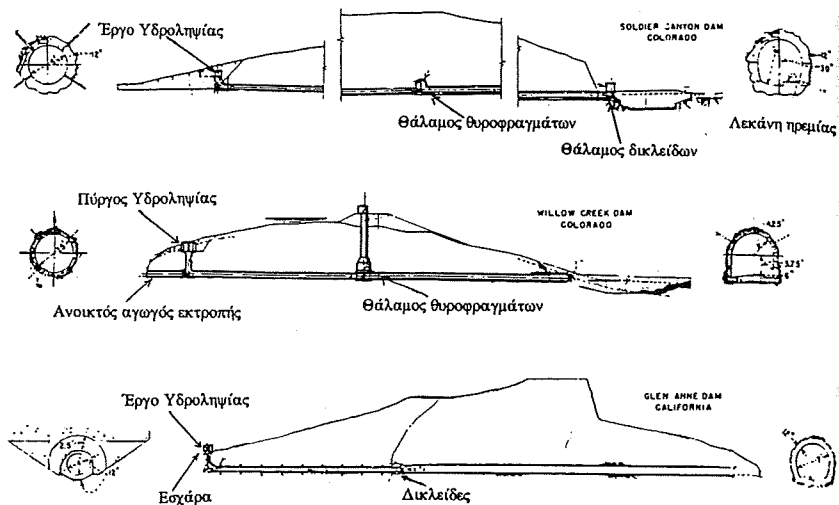
- [1] Bureau of Reclamation: "Design of small dams", United States Government Printing office Washington 1960. pp.611.
- [2] Davis C.V.-Sorensen K.E.: "Handbook of Applied Hydraulics", McGraw-Hill Book Company N.Y. 1969.
- [3] King W.H.: "Handbook of Hydraulics", McGraw-Hill Book Co. Inc. N.Y. 1954.
- [4] Razvan E.: "River Intakes and Diversion Dams", Elsevier, Amsterdam-Oxford-N.Y.-Tokyo 1989. pp.508.
- [5] Rouse Hunter: "Engineering Hydraulics", John Wiley & Sons, Inc, N.Y., 1950
- [6] Thomas H: "The Engineering of Large Dams", A Willey interscience Publication, 1976, pp.374



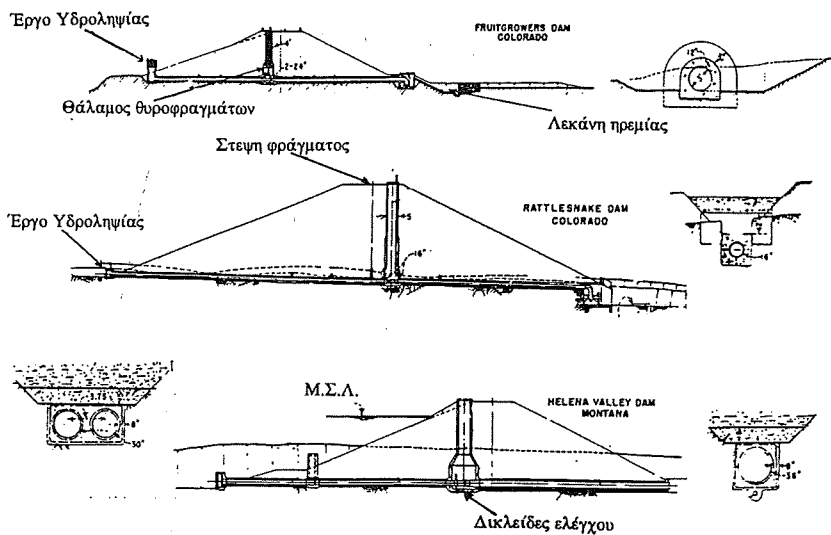
Σχήμα 1. Τυπική διάταξη έργων εξόδου σε αγωγή ελεύθερης ροής.



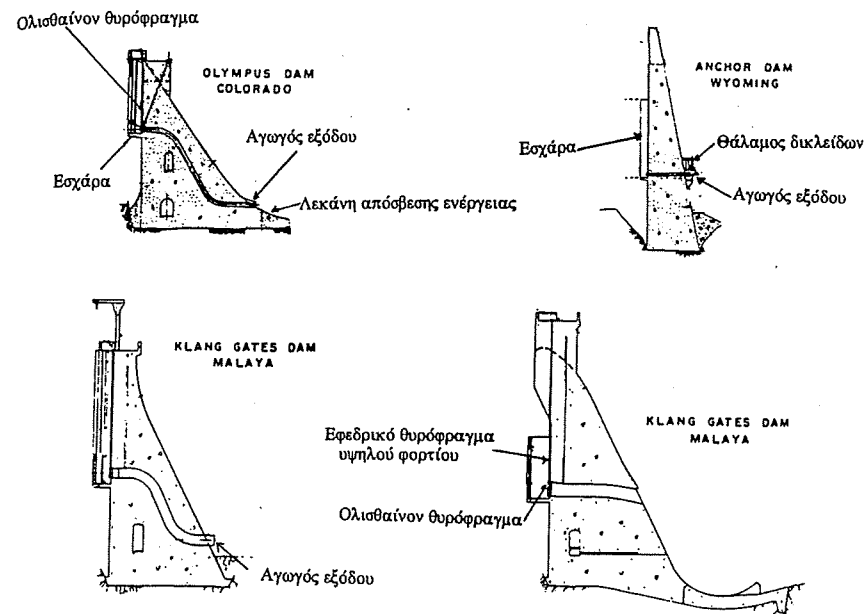
Σχήμα 2. Τυπική διάταξη έργων εξόδου σε αγωγή υπό πίεση και ελεύθερης ροής.



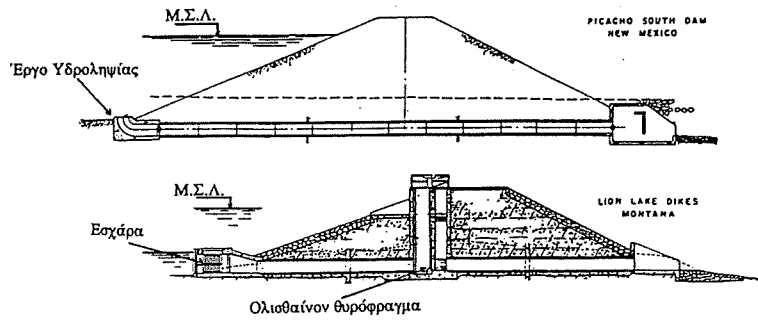
Σχήμα 3. Τυπική διάταξη έργων εξόδου σε κλειστό αγωγό.



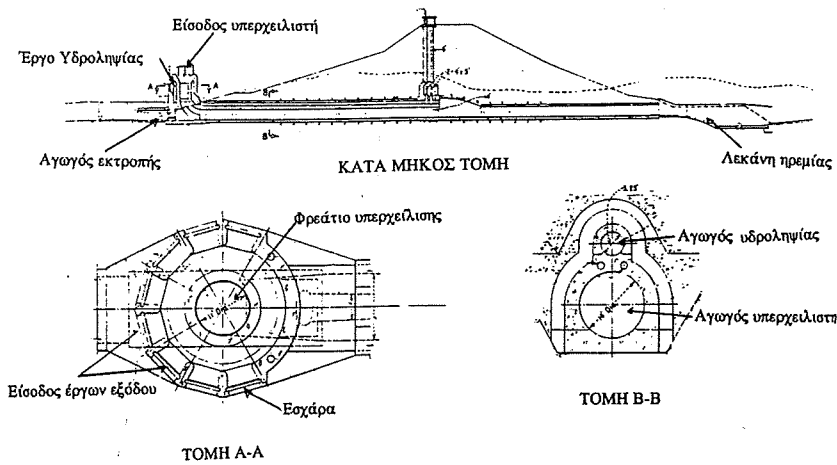
Σχήμα 4. Τυπική διάταξη έργων εξόδου σε αγωγό υπό πίεση.



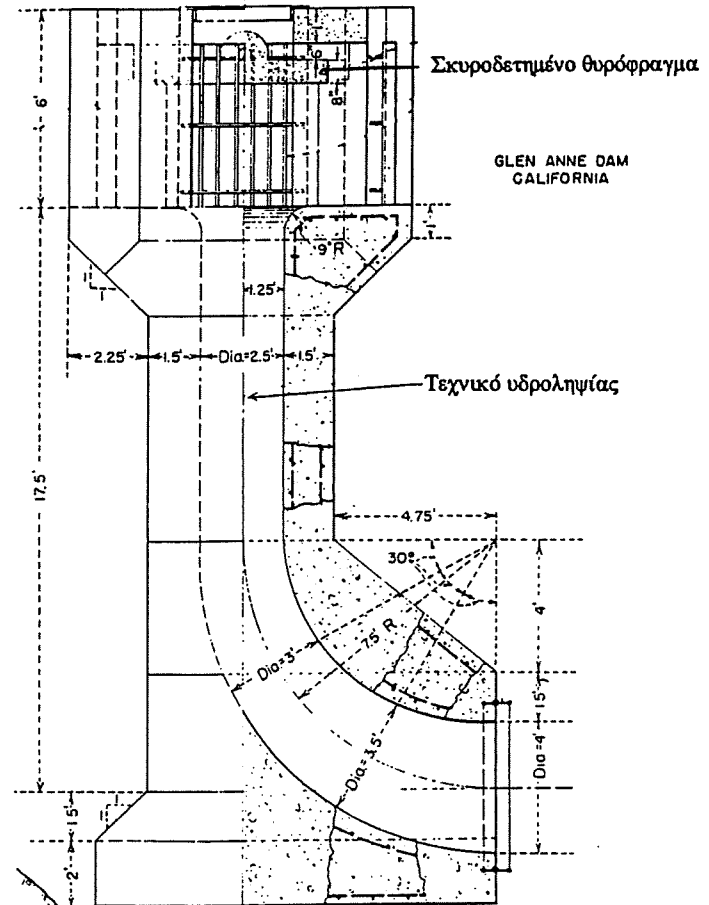
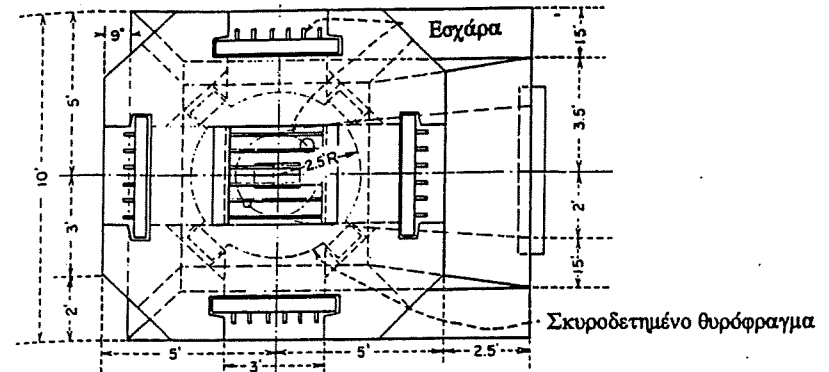
Σχήμα 5. Τυπική διάταξη έργων εξόδου σε φράγματα από σκυρόδεμα.



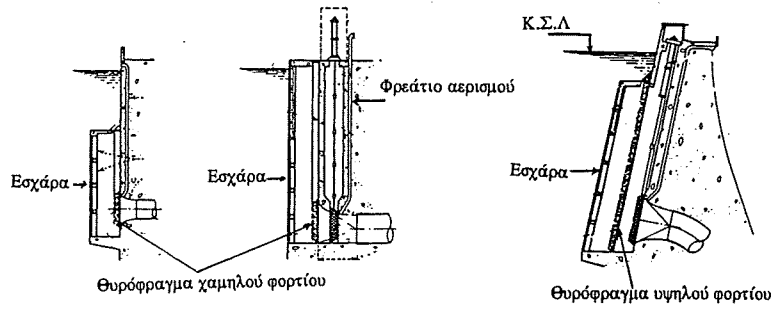
Σχήμα 6. Τυπική διάταξη έργων εξόδου με προκατασκευασμένους αγωγούς.



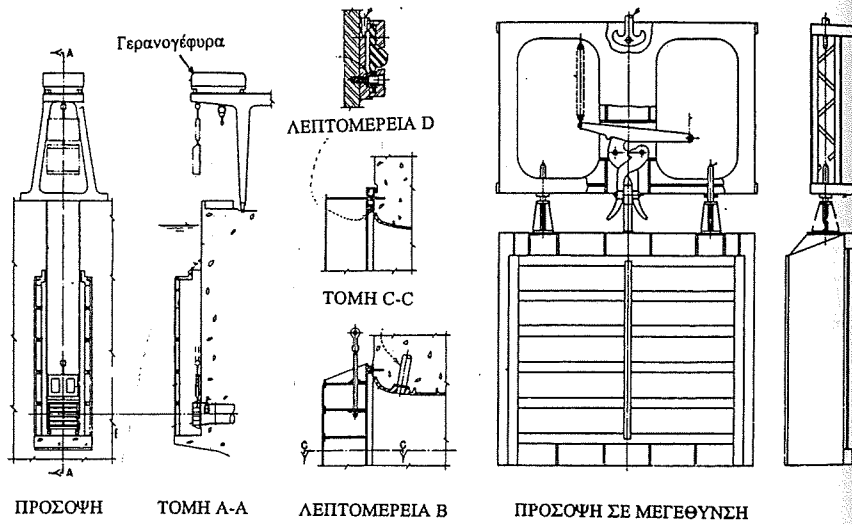
Σχήμα 7. Συνδιασμός έργου υδροληψίας και υπερχειλιστή.



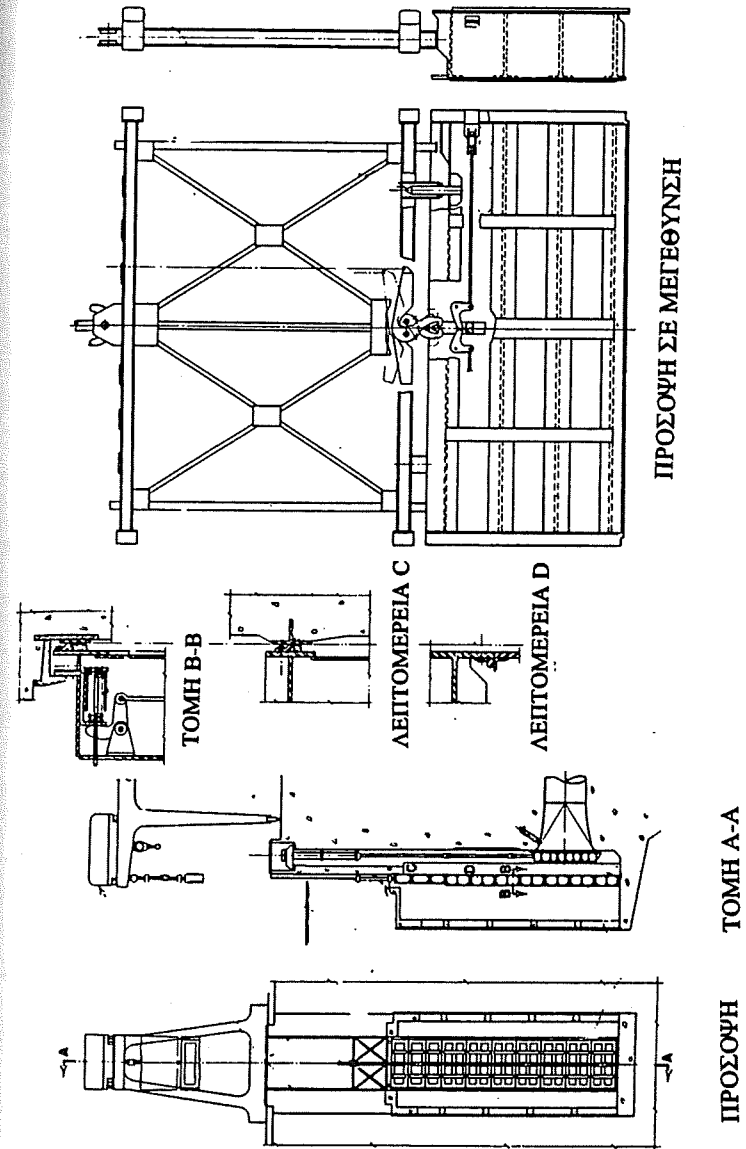
Σχήμα 8. Τυπική διάταξη έργου εισόδου υδροληψίας.



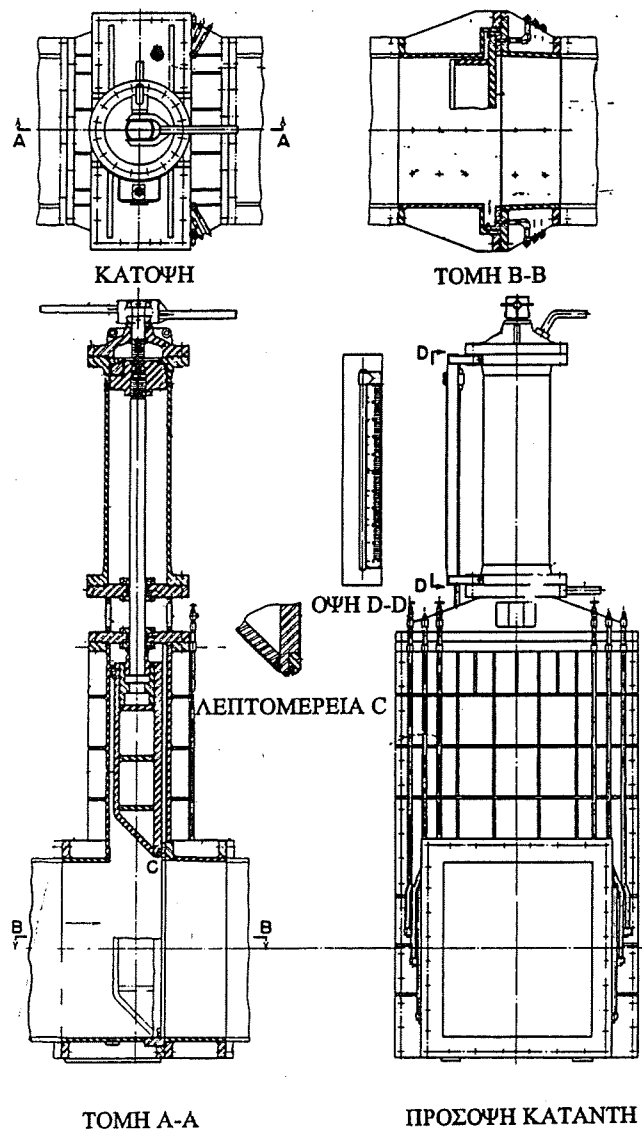
Σχήμα 9. Τυπική μορφή εφεδρικών θυροφραγμάτων κεφαλής.



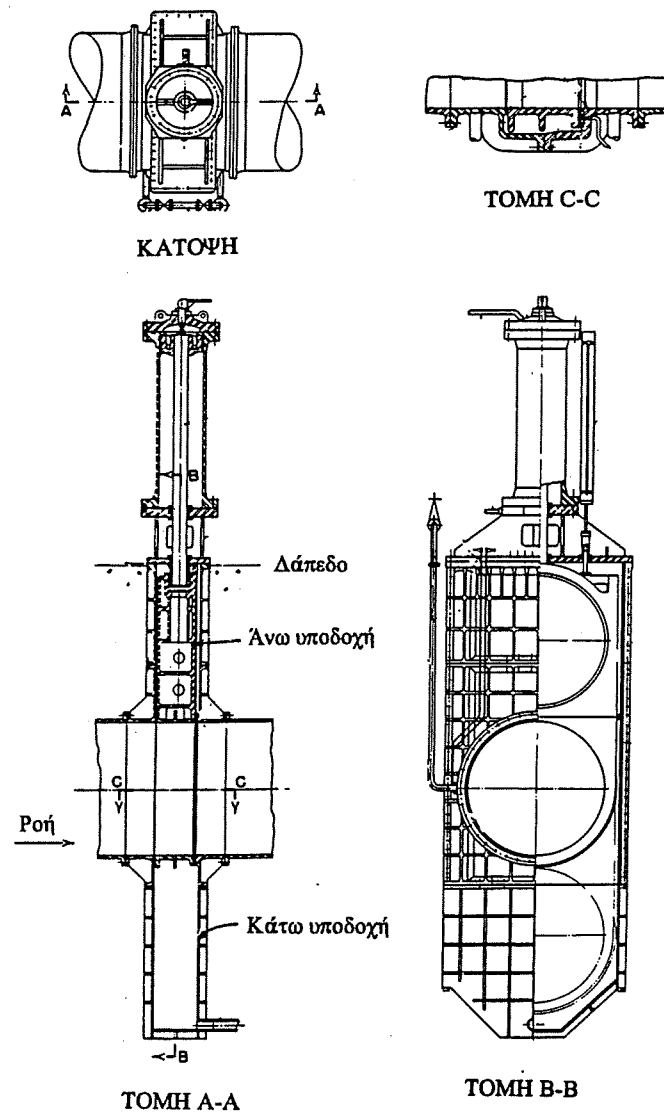
Σχήμα 10. Τυπική μορφή εφεδρικών θυροφραγμάτων μεταλλικής κατασκευής, χαμηλού φορτίου (bulkhead).



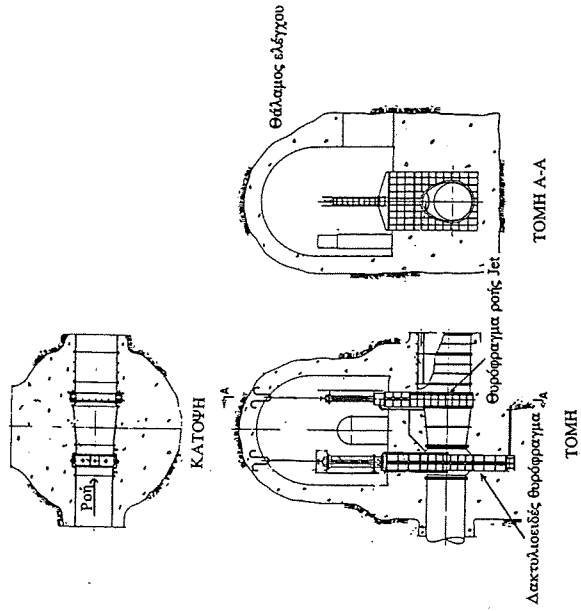
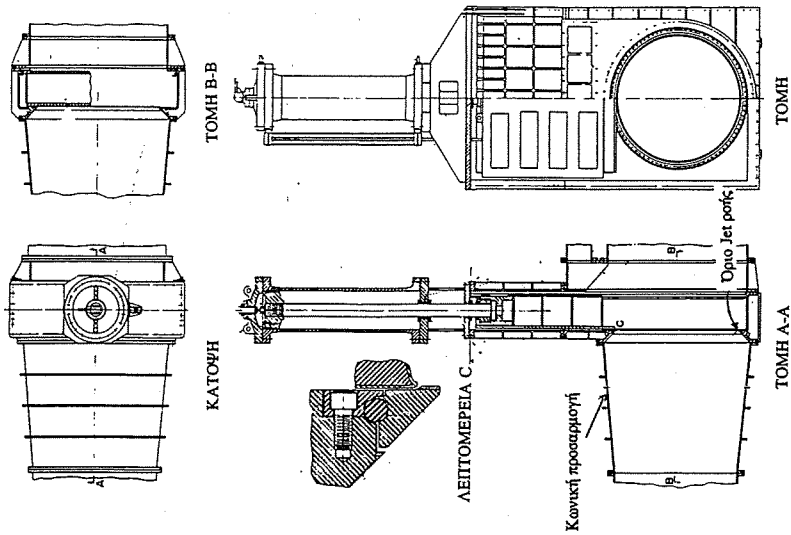
Σχήμα 11. Τυπική μορφή εφεδρικών θυροφραγμάτων μεταλλικής κατασκευής, υψηλού φορτίου (stoplogs).



Σχήμα 12. Τυπικό λεπτομερειακό σχέδιο ολισθαίνοντων θυροφραγμάτων.

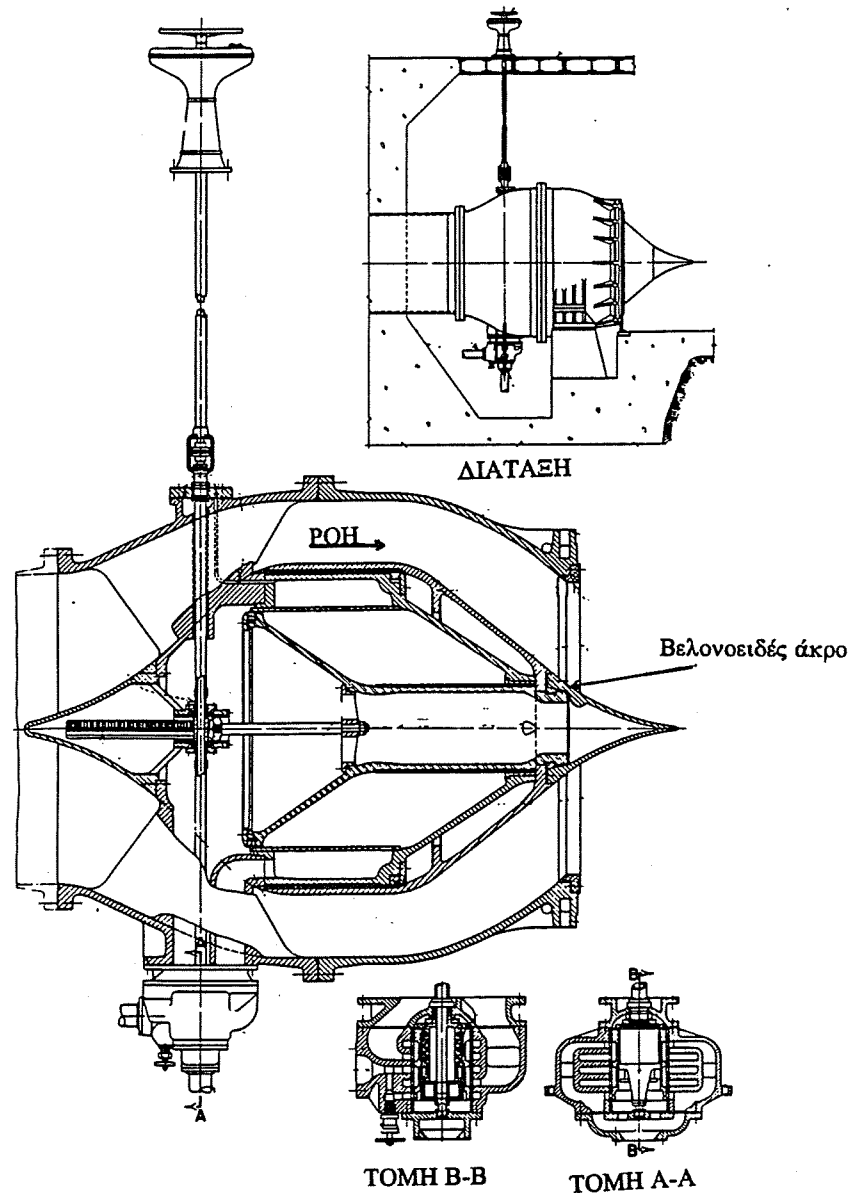


Σχήμα 13. Τυπικό λεπτομερειακό σχέδιο δακτυλοειδών θυροφραγμάτων.

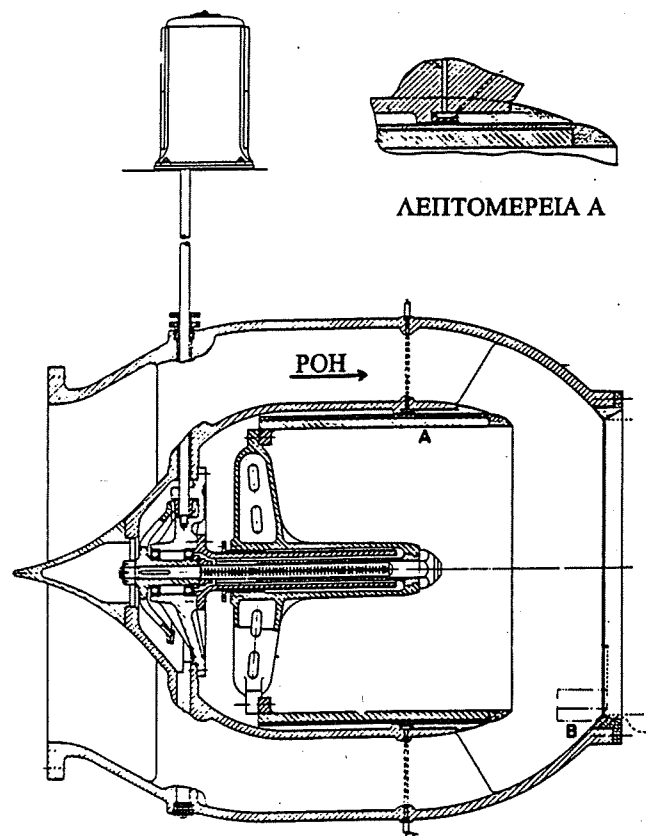


Σχήμα 15. Συνδυασμός διακυλιωτικών θυροφραγμάτων με θυρόφραγμα ροής Jet.

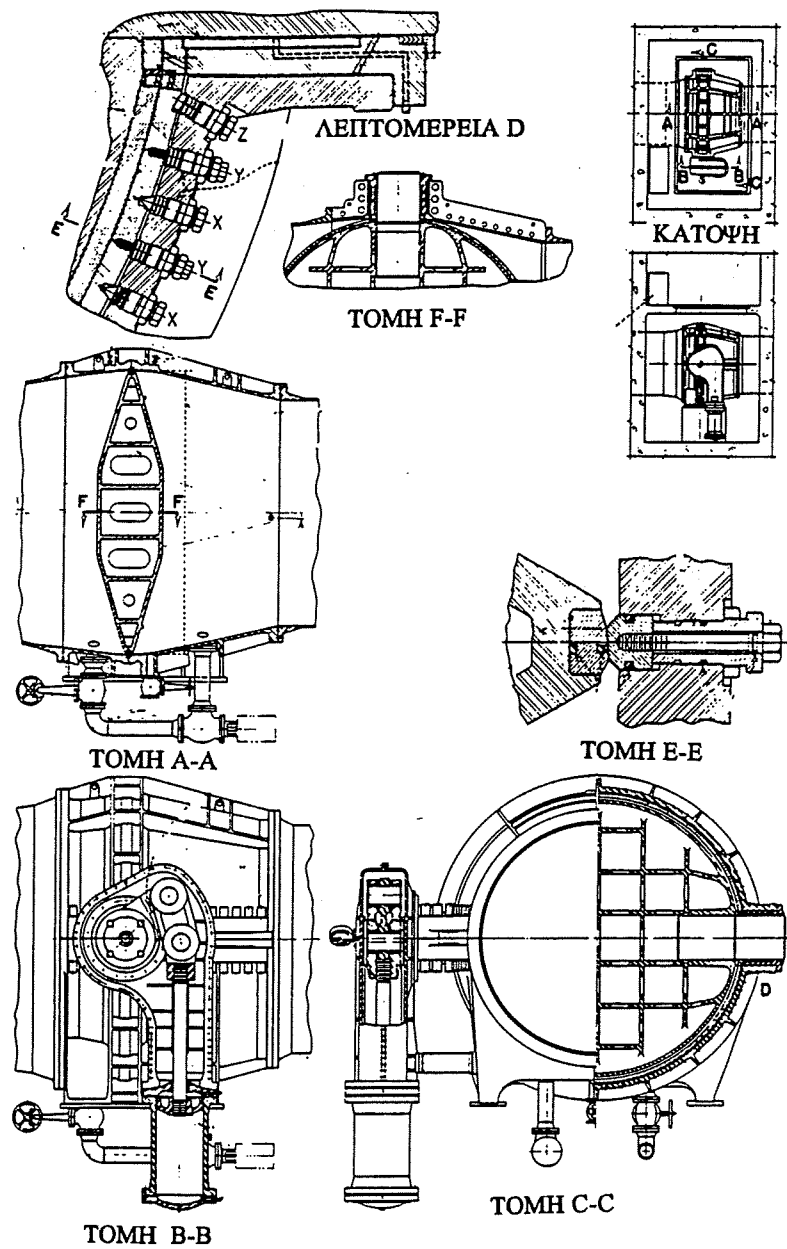
Σχήμα 14. Τυπικό λεπτομερειακό σχέδιο θυροφραγμάτων ροής Jet.



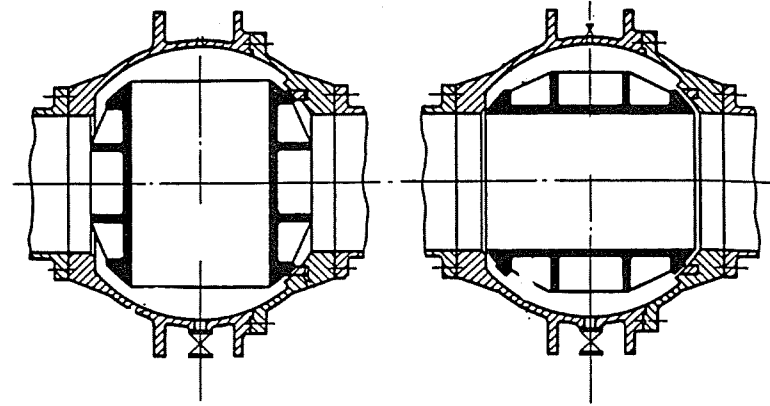
Σχήμα 16. Τυπική βελονοειδής δικλείδα.



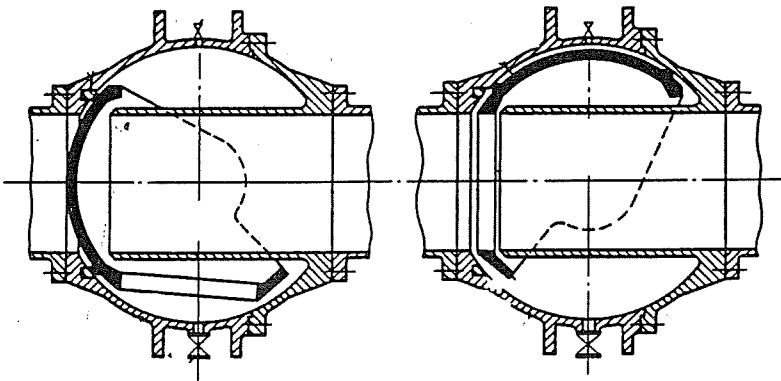
Σχήμα 17. Τυπική σωληνοειδής δικλείδα.



Σχήμα 18. Τυπική δικλείδα τύπου πεταλούδας.



ΤΥΠΟΣ Α

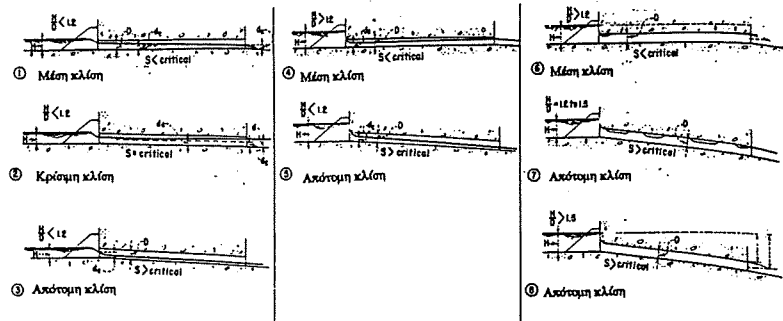


ΤΥΠΟΣ Β

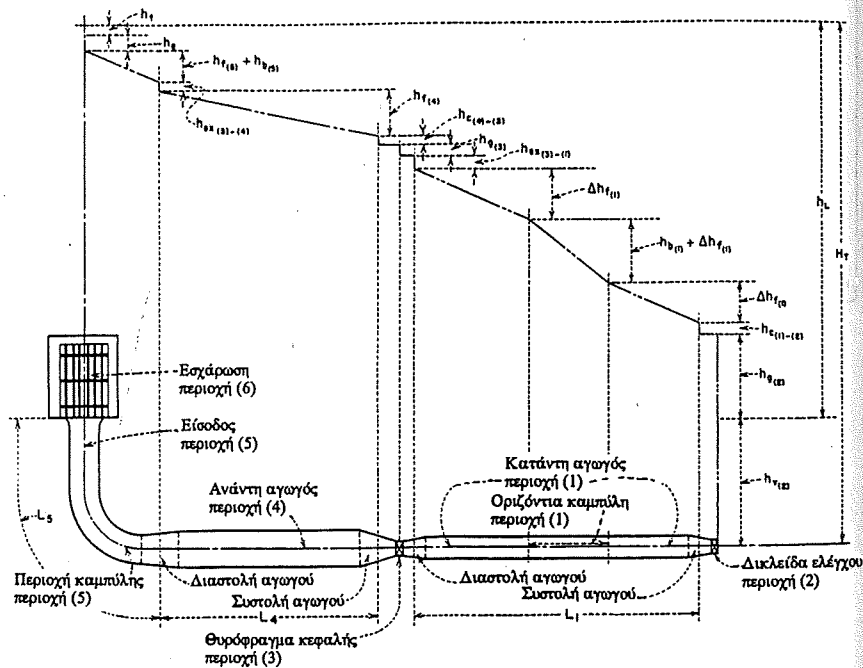
Σχήμα 19. Τυπική σφαιρική δικλείδα.

| Συνθήκες εισόδου | Σειρά 1 | Σειρά 2 | Σειρά 3 | Σειρά 4 | Σειρά 5 | Σειρά 6 | Σειρά 7 |
|------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | $K_e=1.60$ $C=0.62$ | $K_e=1.44$ $C=0.64$ | $K_e=1.37$ $C=0.65$ | $K_e=0.93$ $C=0.72$ | $K_e=0.69$ $C=0.77$ | $K_e=0.56$ $C=0.80$ | $K_e=0.52$ $C=0.81$ |
| | $K_e=1.44$ $C=0.64$ | Ελλειμοειδής είσοδος | | $K_e=1.04$ $C=0.70$ | $K_e=0.64$ $C=0.78$ | | $K_e=0.49$ $C=0.82$ |
| | $K_e=1.16$ $C=0.68$ | | | $K_e=0.93$ $C=0.72$ | $K_e=0.52$ $C=0.81$ | | $K_e=0.45$ $C=0.83$ |
| | $K_e=0.64$ $C=0.78$ | | | $K_e=0.88$ $C=0.73$ | $K_e=0.38$ $C=0.85$ | | $K_e=0.38$ $C=0.85$ |
| | | | | | | | $K_e=0.35$ $C=0.86$ |
| | $K_e=0.08$ $C=0.96$ | | | $K_e=0.18$ $C=0.92$ | $K_e=0.16$ $C=0.93$ | $K_e=0.23$ $C=0.90$ | $K_e=0.29$ $C=0.88$ |

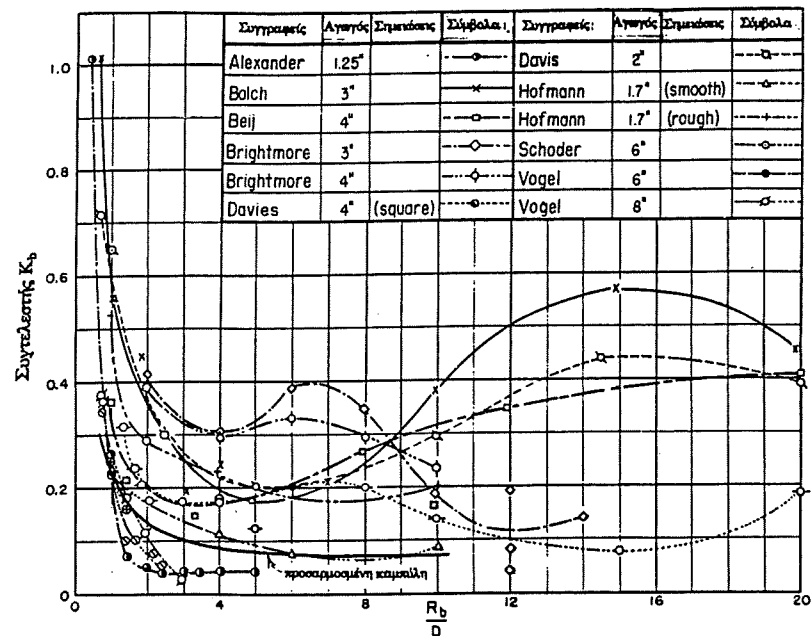
Σχήμα 20. Τιμές των K_e και C για διάφορες συνθήκες εισόδου



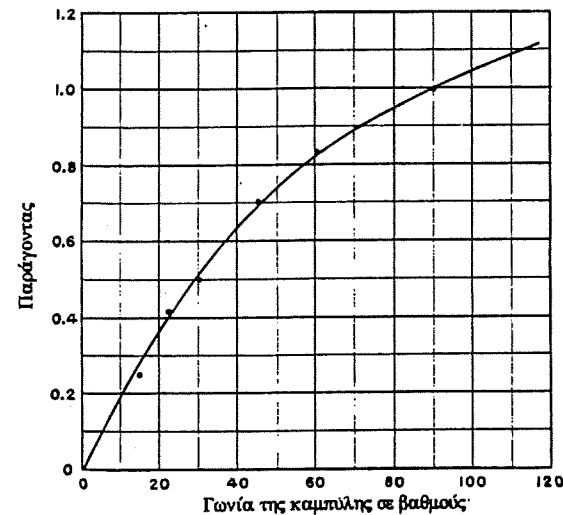
Σχήμα 21. Συνθήκες ροής σε αγωγό



Σχήμα 22. Απώλειες φορτίου σε αγωγούς υπό πίεση

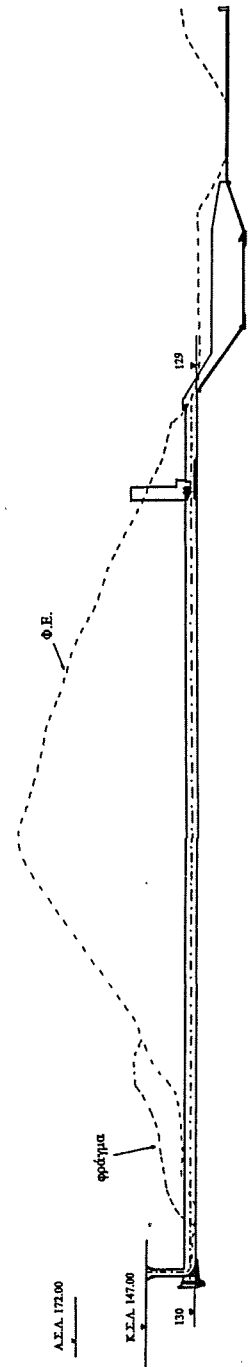
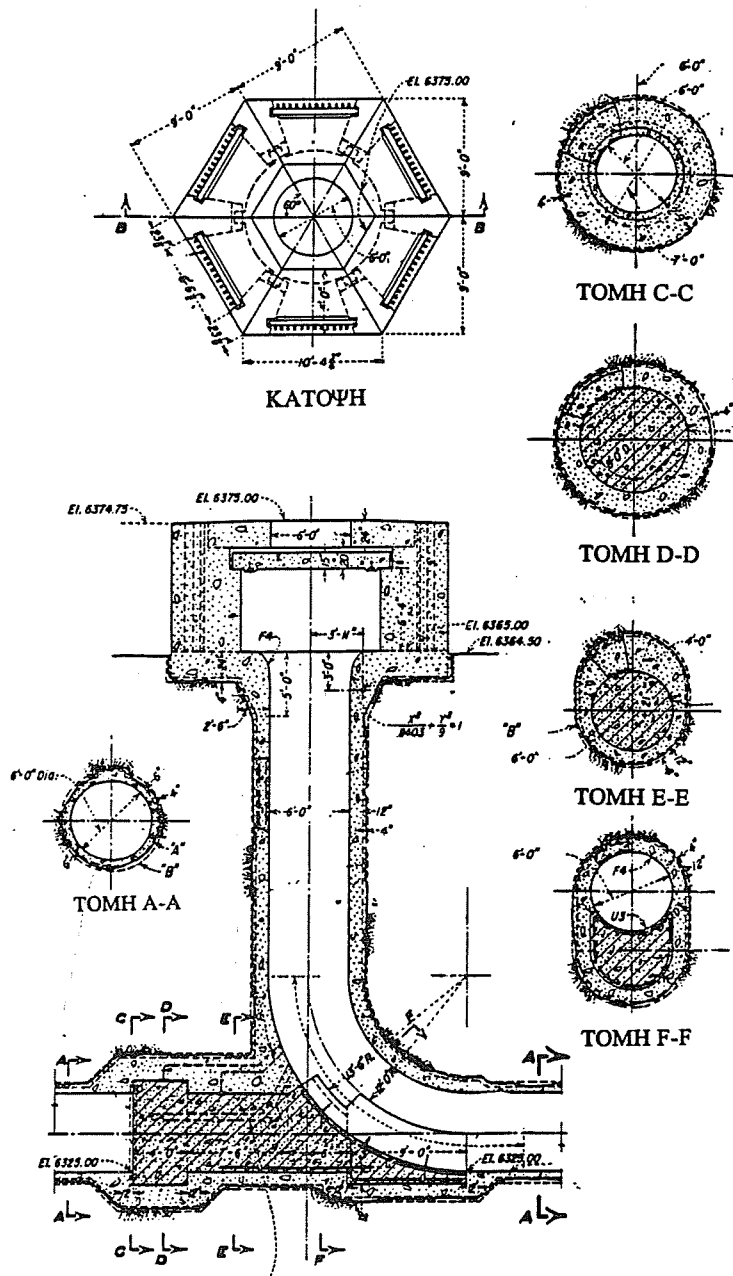


(Α) Μεταβολή του συντελεστή απωλειών για καμπύλη 90° σε κυκλικούς αγωγούς όπως μετρήθηκε από διάφορους ερευνητές

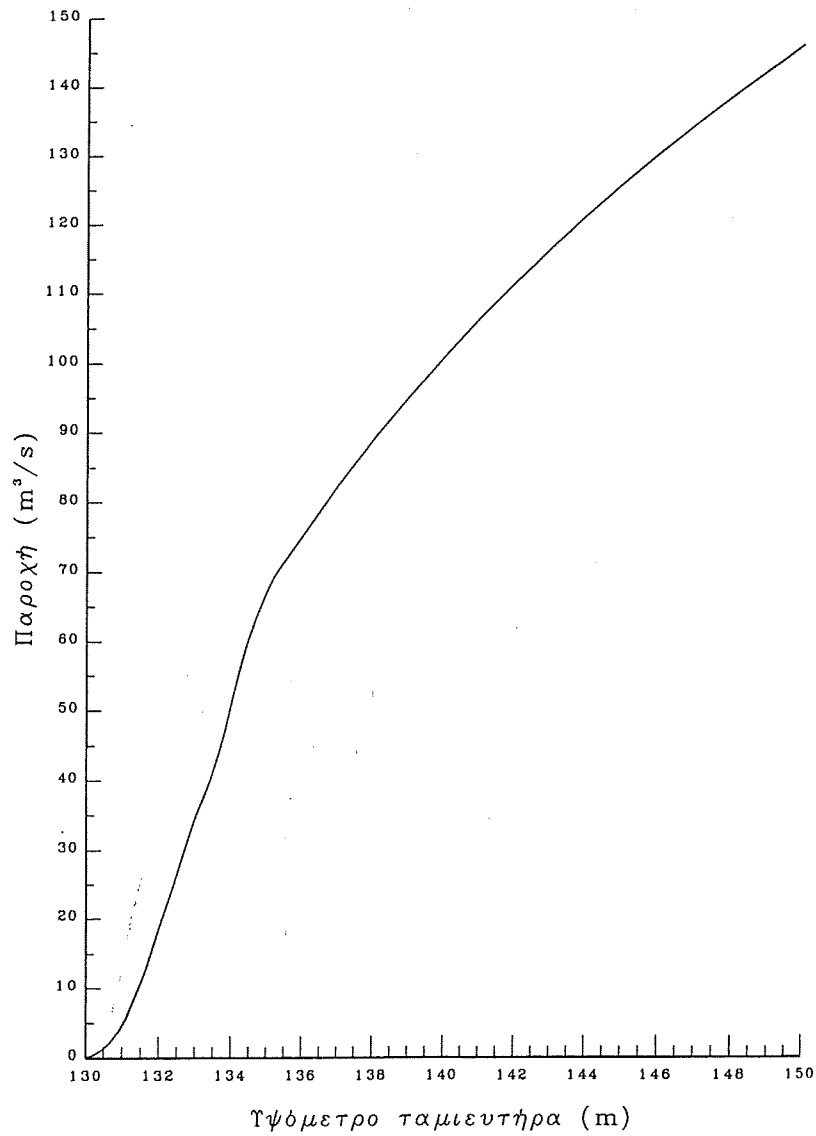


(Β) Συντελεστές για περιπτώσεις που η καμπύλη δεν είναι 90°

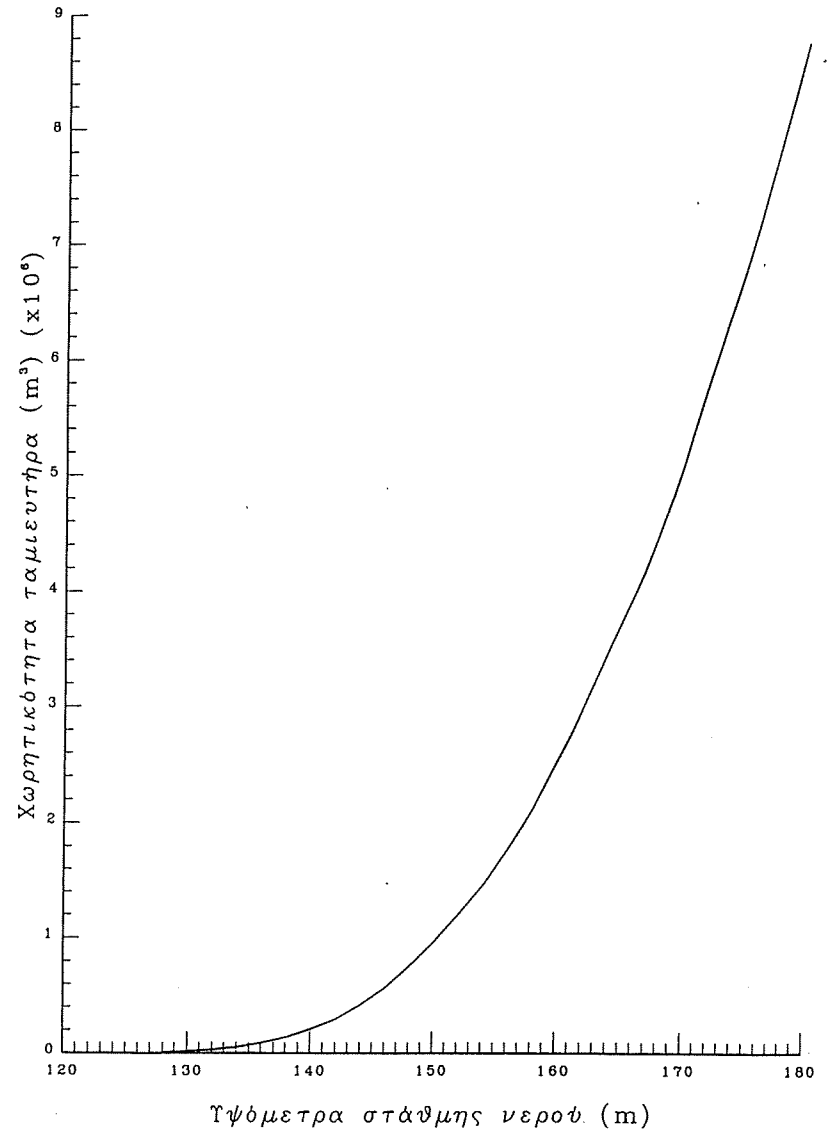
Σχήμα 23. Συντελεστές απωλειών λόγω καμπύλης του αγωγού



Σχήμα 25: Μικροτομή σήραγγας εκτροπής εκκενώσεως και υδροληψίας



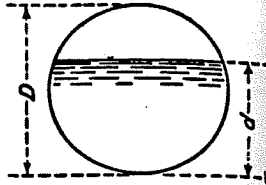
Σχήμα 26. Καμπύλη Στάθμης-Παροχής σήραγγας εκτροπής



Σχήμα 27. Καμπύλη Στάθμης-Χωρητικότητας ταμιευτήρα

Πίνακας Ι. Ύψος ταχύτητας και παροχή για κρίσιμο βάθος και σχετικές πιέσεις για κυκλικούς αγωγούς με μερική πλήρωση

D= διάμετρος του αγωγού (ft)
 d= βάθος ροής (ft)
 h_{v_c} = ύψος ταχύτητας για το κρίσιμο βάθος d (ft)
 Q_c = παροχή για το κρίσιμο βάθος d (ft^3/s)
 P = υδροστατική πίεση ($\times 62,5$ pounds/ ft^2)



| $\frac{d}{D}$ | $\frac{h_{v_c}}{D}$ | $\frac{Q_c}{D^{3/2}}$ | $\frac{P}{D^2}$ | $\frac{d}{D}$ | $\frac{h_{v_c}}{D}$ | $\frac{Q_c}{D^{3/2}}$ | $\frac{P}{D^2}$ | $\frac{d}{D}$ | $\frac{h_{v_c}}{D}$ | $\frac{Q_c}{D^{3/2}}$ | $\frac{P}{D^2}$ |
|---------------|---------------------|-----------------------|-----------------|---------------|---------------------|-----------------------|-----------------|---------------|---------------------|-----------------------|-----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 0.01 | 0.0033 | 0.0006 | 0.0000 | 0.24 | 0.1243 | 0.6657 | 0.332 | 0.67 | 0.2974 | 2.4464 | 0.1644 |
| 0.02 | 0.0067 | 0.0025 | 0.0000 | 0.35 | 0.1284 | 0.7040 | 0.356 | 0.68 | 0.3048 | 2.5182 | 0.1700 |
| 0.03 | 0.0101 | 0.0055 | 0.0001 | 0.36 | 0.1326 | 0.7433 | 0.381 | 0.69 | 0.3125 | 2.5912 | 0.1758 |
| 0.04 | 0.0134 | 0.0098 | 0.0002 | 0.37 | 0.1368 | 0.7836 | 0.407 | 0.70 | 0.3204 | 2.6656 | 0.1816 |
| 0.05 | 0.0168 | 0.0153 | 0.0003 | 0.38 | 0.1411 | 0.8249 | 0.434 | 0.71 | 0.3286 | 2.7414 | 0.1876 |
| 0.06 | 0.0203 | 0.0220 | 0.0005 | 0.39 | 0.1454 | 0.8671 | 0.462 | 0.72 | 0.3371 | 2.8188 | 0.1938 |
| 0.07 | 0.0237 | 0.0298 | 0.0007 | 0.40 | 0.1497 | 0.9103 | 0.491 | 0.73 | 0.3459 | 2.8977 | 0.1998 |
| 0.08 | 0.0271 | 0.0389 | 0.0010 | 0.41 | 0.1541 | 0.9546 | 0.520 | 0.74 | 0.3552 | 2.9783 | 0.2058 |
| 0.09 | 0.0306 | 0.0491 | 0.0013 | 0.42 | 0.1586 | 0.9998 | 0.551 | 0.75 | 0.3648 | 3.0607 | 0.2121 |
| 0.10 | 0.0341 | 0.0605 | 0.0017 | 0.43 | 0.1631 | 1.0468 | 0.583 | 0.76 | 0.3749 | 3.1460 | 0.2185 |
| 0.11 | 0.0376 | 0.0731 | 0.0021 | 0.44 | 0.1676 | 1.0929 | 0.616 | 0.77 | 0.3855 | 3.2314 | 0.2249 |
| 0.12 | 0.0411 | 0.0868 | 0.0026 | 0.45 | 0.1723 | 1.1410 | 0.650 | 0.78 | 0.3967 | 3.3200 | 0.2316 |
| 0.13 | 0.0446 | 0.1016 | 0.0032 | 0.46 | 0.1769 | 1.1899 | 0.684 | 0.79 | 0.4085 | 3.4112 | 0.2384 |
| 0.14 | 0.0482 | 0.1176 | 0.0038 | 0.47 | 0.1817 | 1.2399 | 0.720 | 0.80 | 0.4210 | 3.5050 | 0.2447 |
| 0.15 | 0.0517 | 0.1347 | 0.0045 | 0.48 | 0.1865 | 1.2908 | 0.757 | 0.81 | 0.4343 | 3.6019 | 0.2515 |
| 0.16 | 0.0553 | 0.1530 | 0.0053 | 0.49 | 0.1914 | 1.3427 | 0.795 | 0.82 | 0.4485 | 3.7021 | 0.2584 |
| 0.17 | 0.0589 | 0.1724 | 0.0061 | 0.50 | 0.1964 | 1.3955 | 0.833 | 0.83 | 0.4638 | 3.8061 | 0.2653 |
| 0.18 | 0.0626 | 0.1928 | 0.0070 | 0.51 | 0.2014 | 1.4493 | 0.873 | 0.84 | 0.4803 | 3.9144 | 0.2723 |
| 0.19 | 0.0662 | 0.2144 | 0.0080 | 0.52 | 0.2065 | 1.5041 | 0.914 | 0.85 | 0.4982 | 4.0276 | 0.2794 |
| 0.20 | 0.0699 | 0.2371 | 0.0091 | 0.53 | 0.2117 | 1.5598 | 0.956 | 0.86 | 0.5177 | 4.1465 | 0.2865 |
| 0.21 | 0.0736 | 0.2609 | 0.0103 | 0.54 | 0.2170 | 1.6164 | 0.998 | 0.87 | 0.5392 | 4.2721 | 0.2938 |
| 0.22 | 0.0773 | 0.2857 | 0.0115 | 0.55 | 0.2224 | 1.6735 | 1.042 | 0.88 | 0.5632 | 4.4056 | 0.3011 |
| 0.23 | 0.0811 | 0.3116 | 0.0128 | 0.56 | 0.2279 | 1.7327 | 1.087 | 0.89 | 0.5900 | 4.5486 | 0.3084 |
| 0.24 | 0.0848 | 0.3386 | 0.0143 | 0.57 | 0.2335 | 1.7923 | 1.133 | 0.90 | 0.6204 | 4.7033 | 0.3168 |
| 0.25 | 0.0887 | 0.3667 | 0.0157 | 0.58 | 0.2393 | 1.8530 | 1.179 | 0.91 | 0.6535 | 4.8725 | 0.3253 |
| 0.26 | 0.0925 | 0.3957 | 0.0173 | 0.59 | 0.2451 | 1.9146 | 1.227 | 0.92 | 0.6906 | 5.0603 | 0.3338 |
| 0.27 | 0.0963 | 0.4259 | 0.0190 | 0.60 | 0.2511 | 1.9773 | 1.276 | 0.93 | 0.7319 | 5.2726 | 0.3434 |
| 0.28 | 0.1002 | 0.4571 | 0.0207 | 0.61 | 0.2572 | 2.0409 | 1.326 | 0.94 | 0.8065 | 5.5183 | 0.3460 |
| 0.29 | 0.1042 | 0.4893 | 0.0226 | 0.62 | 0.2635 | 2.1057 | 1.376 | 0.95 | 0.8841 | 5.8118 | 0.3537 |
| 0.30 | 0.1081 | 0.5225 | 0.0245 | 0.63 | 0.2699 | 2.1716 | 1.428 | 0.96 | 0.9855 | 6.1787 | 0.3615 |
| 0.31 | 0.1121 | 0.5568 | 0.0266 | 0.64 | 0.2765 | 2.2386 | 1.481 | 0.97 | 1.1100 | 6.6692 | 0.3692 |
| 0.32 | 0.1161 | 0.5921 | 0.0287 | 0.65 | 0.2833 | 2.3067 | 1.534 | 0.98 | 1.2588 | 7.2963 | 0.3770 |
| 0.33 | 0.1202 | 0.6284 | 0.0309 | 0.66 | 0.2902 | 2.3760 | 1.589 | 0.99 | 1.4300 | 8.0203 | 0.3848 |
| 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

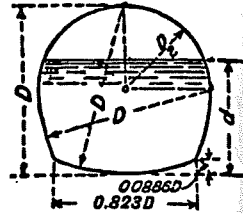
Πίνακας ΙΙ. Ομοιόμορφη ροή σε κυκλικούς αγωγούς με μερική πλήρωση

D= διάμετρος του αγωγού (ft)
 d= βάθος ροής (ft)
 Q = παροχή (ft^3/s)
 A = επιφάνεια ροής (ft^2)
 r = υδραυλική ακτίνα (ft)
 n = συντελεστής Manning
 ϵ = κλίση του πυθμένα του αγωγού και της επιφάνειας του νερού

| $\frac{d}{D}$ | $\frac{A}{D^2}$ | $\frac{r}{D}$ | $\frac{Q_n}{D^{5/3}n^{2/3}}$ | $\frac{Q_n}{d^{5/3}n^{2/3}}$ | $\frac{d}{D}$ | $\frac{A}{D^2}$ | $\frac{r}{D}$ | $\frac{Q_n}{D^{5/3}n^{2/3}}$ | $\frac{Q_n}{d^{5/3}n^{2/3}}$ |
|---------------|-----------------|---------------|------------------------------|------------------------------|---------------|-----------------|---------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 0.01 | 0.0013 | 0.0066 | 0.0007 | 15.04 | 0.61 | 0.4027 | 0.2531 | 0.239 | 1.442 |
| 0.02 | 0.0037 | 0.0132 | 0.0031 | 10.57 | 0.62 | 0.4127 | 0.2602 | 0.247 | 1.415 |
| 0.03 | 0.0067 | 0.0197 | 0.0074 | 8.56 | 0.63 | 0.4227 | 0.2672 | 0.255 | 1.388 |
| 0.04 | 0.0103 | 0.0262 | 0.0138 | 7.38 | 0.64 | 0.4327 | 0.2742 | 0.263 | 1.362 |
| 0.05 | 0.0147 | 0.0325 | 0.0222 | 6.65 | 0.65 | 0.4428 | 0.2810 | 0.271 | 1.336 |
| 0.06 | 0.0192 | 0.0389 | 0.0328 | 5.95 | 0.66 | 0.4528 | 0.2878 | 0.279 | 1.311 |
| 0.07 | 0.0242 | 0.0461 | 0.0455 | 5.47 | 0.67 | 0.4625 | 0.2945 | 0.287 | 1.286 |
| 0.08 | 0.0294 | 0.0513 | 0.0604 | 5.09 | 0.68 | 0.4724 | 0.3012 | 0.295 | 1.262 |
| 0.09 | 0.0350 | 0.0575 | 0.0775 | 4.78 | 0.69 | 0.4822 | 0.3078 | 0.303 | 1.238 |
| 0.10 | 0.0409 | 0.0635 | 0.0967 | 4.49 | 0.70 | 0.4920 | 0.3144 | 0.311 | 1.215 |
| 0.11 | 0.0470 | 0.0695 | 0.1181 | 4.25 | 0.71 | 0.5018 | 0.3209 | 0.319 | 1.192 |
| 0.12 | 0.0534 | 0.0755 | 0.1417 | 4.04 | 0.72 | 0.5115 | 0.3272 | 0.327 | 1.170 |
| 0.13 | 0.0600 | 0.0813 | 0.1674 | 3.86 | 0.73 | 0.5212 | 0.3334 | 0.335 | 1.148 |
| 0.14 | 0.0668 | 0.0871 | 0.1952 | 3.69 | 0.74 | 0.5308 | 0.3394 | 0.343 | 1.126 |
| 0.15 | 0.0739 | 0.0929 | 0.225 | 3.54 | 0.75 | 0.5404 | 0.3452 | 0.350 | 1.105 |
| 0.16 | 0.0811 | 0.0985 | 0.257 | 3.41 | 0.76 | 0.5499 | 0.3509 | 0.358 | 1.084 |
| 0.17 | 0.0885 | 0.1042 | 0.291 | 3.28 | 0.77 | 0.5594 | 0.3564 | 0.366 | 1.064 |
| 0.18 | 0.0961 | 0.1097 | 0.327 | 3.17 | 0.78 | 0.5687 | 0.3618 | 0.373 | 1.044 |
| 0.19 | 0.1039 | 0.1152 | 0.365 | 3.06 | 0.79 | 0.5780 | 0.3670 | 0.380 | 1.024 |
| 0.20 | 0.1118 | 0.1206 | 0.406 | 2.96 | 0.80 | 0.5872 | 0.3721 | 0.388 | 1.004 |
| 0.21 | 0.1199 | 0.1259 | 0.448 | 2.87 | 0.71 | 0.5964 | 0.3771 | 0.395 | 0.985 |
| 0.22 | 0.1281 | 0.1312 | 0.492 | 2.79 | 0.72 | 0.6054 | 0.3820 | 0.402 | 0.966 |
| 0.23 | 0.1365 | 0.1364 | 0.537 | 2.71 | 0.73 | 0.6143 | 0.3868 | 0.409 | 0.947 |
| 0.24 | 0.1449 | 0.1416 | 0.585 | 2.63 | 0.74 | 0.6231 | 0.3916 | 0.416 | 0.928 |
| 0.25 | 0.1535 | 0.1466 | 0.634 | 2.56 | 0.75 | 0.6319 | 0.3963 | 0.422 | 0.910 |
| 0.26 | 0.1623 | 0.1516 | 0.686 | 2.49 | 0.76 | 0.6405 | 0.4009 | 0.429 | 0.891 |
| 0.27 | 0.1711 | 0.1566 | 0.739 | 2.42 | 0.77 | 0.6489 | 0.4054 | 0.435 | 0.873 |
| 0.28 | 0.1800 | 0.1614 | 0.793 | 2.36 | 0.78 | 0.6573 | 0.4098 | 0.441 | 0.856 |
| 0.29 | 0.1890 | 0.1662 | 0.849 | 2.30 | 0.79 | 0.6655 | 0.4141 | 0.447 | 0.838 |
| 0.30 | 0.1982 | 0.1709 | 0.907 | 2.25 | 0.80 | 0.6736 | 0.4183 | 0.453 | 0.821 |
| 0.31 | 0.2074 | 0.1756 | 0.966 | 2.20 | 0.81 | 0.6816 | 0.4224 | 0.458 | 0.804 |
| 0.32 | 0.2167 | 0.1802 | 1.027 | 2.14 | 0.82 | 0.6895 | 0.4264 | 0.463 | 0.787 |
| 0.33 | 0.2260 | 0.1847 | 1.089 | 2.09 | 0.83 | 0.6973 | 0.4303 | 0.468 | 0.770 |
| 0.34 | 0.2355 | 0.1891 | 1.153 | 2.05 | 0.84 | 0.7049 | 0.4341 | 0.473 | 0.753 |
| 0.35 | 0.2450 | 0.1935 | 1.218 | 2.00 | 0.85 | 0.7124 | 0.4378 | 0.477 | 0.736 |
| 0.36 | 0.2546 | 0.1978 | 1.284 | 1.958 | 0.86 | 0.7198 | 0.4414 | 0.481 | 0.720 |
| 0.37 | 0.2642 | 0.2020 | 1.351 | 1.915 | 0.87 | 0.7271 | 0.4449 | 0.485 | 0.703 |
| 0.38 | 0.2739 | 0.2062 | 1.420 | 1.875 | 0.88 | 0.7342 | 0.4483 | 0.488 | 0.687 |
| 0.39 | 0.2836 | 0.2102 | 1.490 | 1.835 | 0.89 | 0.7412 | 0.4516 | 0.491 | 0.670 |
| 0.40 | 0.2934 | 0.2142 | 1.561 | 1.797 | 0.90 | 0.7481 | 0.4548 | 0.494 | 0.654 |
| 0.41 | 0.3032 | 0.2182 | 1.633 | 1.760 | 0.91 | 0.7549 | 0.4579 | 0.496 | 0.637 |
| 0.42 | 0.3130 | 0.2220 | 1.705 | 1.724 | 0.92 | 0.7616 | 0.4609 | 0.497 | 0.621 |
| 0.43 | 0.3229 | 0.2258 | 1.779 | 1.689 | 0.93 | 0.7681 | 0.4638 | 0.498 | 0.604 |
| 0.44 | 0.3328 | 0.2295 | 1.854 | 1.655 | 0.94 | 0.7745 | 0.4666 | 0.498 | 0.588 |
| 0.45 | 0.3428 | 0.2331 | 1.929 | 1.622 | 0.95 | 0.7807 | 0.4693 | 0.498 | 0.571 |
| 0.46 | 0.3527 | 0.2366 | 2.001 | 1.590 | 0.96 | 0.7868 | 0.4719 | 0.499 | 0.555 |
| 0.47 | 0.3627 | 0.2401 | 2.078 | 1.559 | 0.97 | 0.7928 | 0.4744 | 0.499 | 0.538 |
| 0.48 | 0.3727 | 0.2435 | 2.156 | 1.530 | 0.98 | 0.7987 | 0.4768 | 0.499 | 0.517 |
| 0.49 | 0.3827 | 0.2468 | 2.234 | 1.500 | 0.99 | 0.8045 | 0.4791 | 0.499 | 0.499 |
| 0.50 | 0.3927 | 0.2500 | 2.312 | 1.471 | 1.00 | 0.8102 | 0.4813 | 0.499 | 0.483 |

Πίνακας III. Ύψος ταχύτητας και παροχή για κρίσιμο βάθος και σχετικές πιέσεις για πεταλοειδείς αγωγούς με μερική πλήρωση

D= διάμετρος του πεταλοειδούς αγωγού (ft)
 d= βάθος ροής (ft)
 h_v = ύψος ταχύτητας για το κρίσιμο βάθος d (ft)
 Q_c = παροχή για το κρίσιμο βάθος d (ft³/s)
 P= υδροστατική πίεση (x62,5 pounds/ft²)



| $\frac{d}{D}$ | $\frac{h_v}{D}$ | $\frac{Q_c}{D^3}$ | $\frac{P}{D^2}$ | $\frac{d}{D}$ | $\frac{h_v}{D}$ | $\frac{Q_c}{D^3}$ | $\frac{P}{D^2}$ | $\frac{d}{D}$ | $\frac{h_v}{D}$ | $\frac{Q_c}{D^3}$ | $\frac{P}{D^2}$ |
|---------------|-----------------|-------------------|-----------------|---------------|-----------------|-------------------|-----------------|---------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 0.01 | 0.0033 | 0.0009 | 0.0000 | 0.35 | 0.1472 | 0.8854 | 0.0449 | 0.69 | 0.3362 | 2.8922 | 0.1990 |
| 0.02 | 0.0067 | 0.0035 | 0.0000 | 0.36 | 0.1518 | 0.9295 | 0.0478 | 0.70 | 0.3443 | 2.9702 | 0.2032 |
| 0.03 | 0.0100 | 0.0079 | 0.0001 | 0.37 | 0.1563 | 0.9746 | 0.0508 | 0.71 | 0.3528 | 3.0499 | 0.2125 |
| 0.04 | 0.0134 | 0.0139 | 0.0002 | 0.38 | 0.1609 | 1.0205 | 0.0540 | 0.72 | 0.3616 | 3.1311 | 0.2190 |
| 0.05 | 0.0168 | 0.0217 | 0.0004 | 0.39 | 0.1655 | 1.0673 | 0.0572 | 0.73 | 0.3707 | 3.2140 | 0.2255 |
| 0.06 | 0.0201 | 0.0312 | 0.0007 | 0.40 | 0.1702 | 1.1148 | 0.0605 | 0.74 | 0.3802 | 3.2987 | 0.2321 |
| 0.07 | 0.0235 | 0.0425 | 0.0010 | 0.41 | 0.1749 | 1.1633 | 0.0639 | 0.75 | 0.3902 | 3.3853 | 0.2388 |
| 0.08 | 0.0269 | 0.0554 | 0.0014 | 0.42 | 0.1795 | 1.2125 | 0.0675 | 0.76 | 0.4006 | 3.4740 | 0.2457 |
| 0.09 | 0.0303 | 0.0703 | 0.0018 | 0.43 | 0.1843 | 1.2626 | 0.0711 | 0.77 | 0.4116 | 3.5650 | 0.2526 |
| 0.10 | 0.0337 | 0.0879 | 0.0024 | 0.44 | 0.1890 | 1.3135 | 0.0748 | 0.78 | 0.4232 | 3.6584 | 0.2596 |
| 0.11 | 0.0371 | 0.1069 | 0.0030 | 0.45 | 0.1938 | 1.3652 | 0.0786 | 0.79 | 0.4354 | 3.7544 | 0.2666 |
| 0.12 | 0.0404 | 0.1272 | 0.0037 | 0.46 | 0.1986 | 1.4178 | 0.0825 | 0.80 | 0.4484 | 3.8534 | 0.2737 |
| 0.13 | 0.0438 | 0.1487 | 0.0045 | 0.47 | 0.2035 | 1.4712 | 0.0865 | 0.81 | 0.4623 | 3.9557 | 0.2809 |
| 0.14 | 0.0472 | 0.1714 | 0.0054 | 0.48 | 0.2084 | 1.5253 | 0.0907 | 0.82 | 0.4771 | 4.0616 | 0.2882 |
| 0.15 | 0.0507 | 0.1953 | 0.0063 | 0.49 | 0.2133 | 1.5803 | 0.0949 | 0.83 | 0.4930 | 4.1716 | 0.2956 |
| 0.16 | 0.0541 | 0.2203 | 0.0074 | 0.50 | 0.2183 | 1.6361 | 0.0992 | 0.84 | 0.5102 | 4.2863 | 0.3030 |
| 0.17 | 0.0575 | 0.2465 | 0.0085 | 0.51 | 0.2234 | 1.6928 | 0.1036 | 0.85 | 0.5289 | 4.4053 | 0.3105 |
| 0.18 | 0.0609 | 0.2736 | 0.0098 | 0.52 | 0.2285 | 1.7505 | 0.1081 | 0.86 | 0.5484 | 4.5295 | 0.3181 |
| 0.19 | 0.0643 | 0.3019 | 0.0111 | 0.53 | 0.2337 | 1.8092 | 0.1127 | 0.87 | 0.5710 | 4.6590 | 0.3258 |
| 0.20 | 0.0677 | 0.3312 | 0.0125 | 0.54 | 0.2391 | 1.8688 | 0.1174 | 0.88 | 0.5969 | 4.7930 | 0.3335 |
| 0.21 | 0.0711 | 0.3615 | 0.0140 | 0.55 | 0.2445 | 1.9294 | 0.1223 | 0.89 | 0.6251 | 4.9325 | 0.3413 |
| 0.22 | 0.0745 | 0.3928 | 0.0156 | 0.56 | 0.2500 | 1.9911 | 0.1272 | 0.90 | 0.6570 | 5.0776 | 0.3492 |
| 0.23 | 0.0779 | 0.4251 | 0.0173 | 0.57 | 0.2557 | 2.0537 | 0.1322 | 0.91 | 0.6939 | 5.2285 | 0.3572 |
| 0.24 | 0.0813 | 0.4583 | 0.0191 | 0.58 | 0.2615 | 2.1174 | 0.1373 | 0.92 | 0.7371 | 5.3853 | 0.3653 |
| 0.25 | 0.0847 | 0.4926 | 0.0210 | 0.59 | 0.2674 | 2.1821 | 0.1425 | 0.93 | 0.7889 | 5.5484 | 0.3733 |
| 0.26 | 0.0881 | 0.5277 | 0.0229 | 0.60 | 0.2735 | 2.2479 | 0.1478 | 0.94 | 0.8528 | 5.7196 | 0.3813 |
| 0.27 | 0.0915 | 0.5638 | 0.0250 | 0.61 | 0.2797 | 2.3148 | 0.1532 | 0.95 | 0.9245 | 5.8984 | 0.3894 |
| 0.28 | 0.0949 | 0.6009 | 0.0271 | 0.62 | 0.2861 | 2.3828 | 0.1587 | 0.96 | 1.0046 | 6.0857 | 0.3976 |
| 0.29 | 0.0983 | 0.6389 | 0.0294 | 0.63 | 0.2926 | 2.4519 | 0.1643 | 0.97 | 1.0933 | 6.2817 | 0.4058 |
| 0.30 | 0.1017 | 0.6777 | 0.0317 | 0.64 | 0.2994 | 2.5221 | 0.1700 | 0.98 | 1.1912 | 6.4862 | 0.4140 |
| 0.31 | 0.1051 | 0.7175 | 0.0342 | 0.65 | 0.3063 | 2.5936 | 0.1758 | 0.99 | 1.2984 | 6.7002 | 0.4223 |
| 0.32 | 0.1085 | 0.7582 | 0.0367 | 0.66 | 0.3134 | 2.6663 | 0.1817 | 1.00 | 1.4160 | 6.9247 | 0.4306 |
| 0.33 | 0.1119 | 0.7997 | 0.0393 | 0.67 | 0.3208 | 2.7402 | 0.1877 | | | | |
| 0.34 | 0.1153 | 0.8421 | 0.0421 | 0.68 | 0.3283 | 2.8155 | 0.1937 | | | | |

Πίνακας IV. Ομοιόμορφη ροή σε πεταλοειδείς αγωγούς με μερική πλήρωση

D= διάμετρος του αγωγού (ft)
 d= βάθος ροής (ft)
 Q = παροχή (ft³/s)
 A = επιφάνεια ροής (ft²)
 r = υδραυλική ακτίνα (ft)
 n = συντελεστής Manning
 s = κλίση του πυθμένα του αγωγού και της επιφάνειας του νερού

| $\frac{d}{D}$ | $\frac{A}{D^2}$ | $\frac{r}{D}$ | $\frac{Q_n}{D^3 \sqrt{s}}$ | $\frac{Q_n}{d^3 \sqrt{s}}$ | $\frac{d}{D}$ | $\frac{A}{D^2}$ | $\frac{r}{D}$ | $\frac{Q_n}{D^3 \sqrt{s}}$ | $\frac{Q_n}{d^3 \sqrt{s}}$ |
|---------------|-----------------|---------------|----------------------------|----------------------------|---------------|-----------------|---------------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 0.01 | 0.0019 | 0.0066 | 0.00010 | 21.40 | 0.51 | 0.4666 | 0.2602 | 0.2705 | 1.429 |
| 0.02 | 0.0033 | 0.0132 | 0.00044 | 14.93 | 0.52 | 0.4666 | 0.2630 | 0.2785 | 1.493 |
| 0.03 | 0.0047 | 0.0198 | 0.00105 | 12.14 | 0.53 | 0.4666 | 0.2657 | 0.2866 | 1.558 |
| 0.04 | 0.0060 | 0.0264 | 0.00198 | 10.26 | 0.54 | 0.4758 | 0.2683 | 0.2946 | 1.624 |
| 0.05 | 0.0073 | 0.0329 | 0.00319 | 9.40 | 0.55 | 0.4856 | 0.2707 | 0.303 | 1.690 |
| 0.06 | 0.0087 | 0.0394 | 0.00473 | 8.58 | 0.56 | 0.4955 | 0.2733 | 0.311 | 1.758 |
| 0.07 | 0.0100 | 0.0459 | 0.00659 | 7.92 | 0.57 | 0.5054 | 0.2757 | 0.319 | 1.827 |
| 0.08 | 0.0113 | 0.0524 | 0.00876 | 7.37 | 0.58 | 0.5153 | 0.2781 | 0.327 | 1.897 |
| 0.09 | 0.0126 | 0.0589 | 0.01131 | 6.95 | 0.59 | 0.5251 | 0.2804 | 0.335 | 1.968 |
| 0.10 | 0.0139 | 0.0654 | 0.01434 | 6.66 | 0.60 | 0.5350 | 0.2824 | 0.343 | 2.039 |
| 0.11 | 0.0152 | 0.0719 | 0.01768 | 6.36 | 0.61 | 0.5448 | 0.2844 | 0.351 | 2.110 |
| 0.12 | 0.0165 | 0.0784 | 0.02117 | 6.04 | 0.62 | 0.5545 | 0.2864 | 0.359 | 2.183 |
| 0.13 | 0.0178 | 0.0849 | 0.02490 | 5.75 | 0.63 | 0.5641 | 0.2884 | 0.367 | 2.257 |
| 0.14 | 0.0191 | 0.0914 | 0.02890 | 5.47 | 0.64 | 0.5738 | 0.2902 | 0.374 | 2.331 |
| 0.15 | 0.0204 | 0.0979 | 0.0331 | 5.21 | 0.65 | 0.5834 | 0.2920 | 0.382 | 2.406 |
| 0.16 | 0.0217 | 0.1044 | 0.0375 | 4.96 | 0.66 | 0.5930 | 0.2937 | 0.390 | 2.481 |
| 0.17 | 0.0230 | 0.1109 | 0.0420 | 4.74 | 0.67 | 0.6026 | 0.2953 | 0.398 | 2.558 |
| 0.18 | 0.0243 | 0.1174 | 0.0467 | 4.52 | 0.68 | 0.6121 | 0.2969 | 0.405 | 2.633 |
| 0.19 | 0.0256 | 0.1239 | 0.0516 | 4.33 | 0.69 | 0.6216 | 0.2981 | 0.412 | 2.709 |
| 0.20 | 0.0269 | 0.1304 | 0.0567 | 4.15 | 0.70 | 0.6312 | 0.2994 | 0.420 | 2.787 |
| 0.21 | 0.0282 | 0.1369 | 0.0620 | 3.98 | 0.71 | 0.6408 | 0.3006 | 0.427 | 2.864 |
| 0.22 | 0.0295 | 0.1434 | 0.0674 | 3.82 | 0.72 | 0.6503 | 0.3018 | 0.434 | 2.942 |
| 0.23 | 0.0308 | 0.1500 | 0.0730 | 3.68 | 0.73 | 0.6598 | 0.3028 | 0.441 | 3.021 |
| 0.24 | 0.0321 | 0.1565 | 0.0786 | 3.53 | 0.74 | 0.6693 | 0.3038 | 0.448 | 3.100 |
| 0.25 | 0.0334 | 0.1631 | 0.0844 | 3.40 | 0.75 | 0.6788 | 0.3044 | 0.454 | 3.179 |
| 0.26 | 0.0347 | 0.1696 | 0.0904 | 3.28 | 0.76 | 0.6884 | 0.3050 | 0.461 | 3.258 |
| 0.27 | 0.0360 | 0.1762 | 0.0965 | 3.17 | 0.77 | 0.6979 | 0.3055 | 0.467 | 3.337 |
| 0.28 | 0.0373 | 0.1828 | 0.1027 | 3.06 | 0.78 | 0.7074 | 0.3060 | 0.473 | 3.417 |
| 0.29 | 0.0386 | 0.1894 | 0.1090 | 2.96 | 0.79 | 0.7169 | 0.3064 | 0.479 | 3.497 |
| 0.30 | 0.0399 | 0.1960 | 0.1155 | 2.86 | 0.80 | 0.7264 | 0.3067 | 0.485 | 3.577 |
| 0.31 | 0.0412 | 0.2026 | 0.1220 | 2.77 | 0.81 | 0.7359 | 0.3071 | 0.490 | 3.657 |
| 0.32 | 0.0425 | 0.2092 | 0.1287 | 2.69 | 0.82 | 0.7454 | 0.3074 | 0.495 | 3.737 |
| 0.33 | 0.0438 | 0.2158 | 0.1355 | 2.61 | 0.83 | 0.7549 | 0.3078 | 0.500 | 3.817 |
| 0.34 | 0.0451 | 0.2224 | 0.1424 | 2.53 | 0.84 | 0.7644 | 0.3081 | 0.505 | 3.897 |
| 0.35 | 0.0464 | 0.2290 | 0.1493 | 2.45 | 0.85 | 0.7739 | 0.3084 | 0.509 | 3.977 |
| 0.36 | 0.0477 | 0.2356 | 0.1563 | 2.38 | 0.86 | 0.7834 | 0.3088 | 0.514 | 4.057 |
| 0.37 | 0.0490 | 0.2422 | 0.1633 | 2.32 | 0.87 | 0.7929 | 0.3091 | 0.517 | 4.137 |
| 0.38 | 0.0503 | 0.2488 | 0.1704 | 2.25 | 0.88 | 0.8024 | 0.3094 | 0.520 | 4.217 |
| 0.39 | 0.0516 | 0.2554 | 0.1775 | 2.19 | 0.89 | 0.8119 | 0.3097 | 0.523 | 4.297 |
| 0.40 | 0.0529 | 0.2620 | 0.1846 | 2.13 | 0.90 | 0.8214 | 0.3099 | 0.526 | 4.377 |
| 0.41 | 0.0542 | 0.2686 | 0.1918 | 2.06 | 0.91 | 0.8309 | 0.3102 | 0.528 | 4.457 |
| 0.42 | 0.0555 | 0.2752 | 0.1991 | 2.02 | 0.92 | 0.8404 | 0.3104 | 0.529 | 4.537 |
| 0.43 | 0.0568 | 0.2818 | 0.2064 | 1.973 | 0.93 | 0.8499 | 0.3107 | 0.530 | 4.617 |
| 0.44 | 0.0581 | 0.2884 | 0.2138 | 1.925 | 0.94 | 0.8594 | 0.3109 | 0.531 | 4.697 |
| 0.45 | 0.0594 | 0.2950 | 0.2212 | 1.878 | 0.95 | 0.8689 | 0.3111 | 0.532 | 4.777 |
| 0.46 | 0.0607 | 0.3016 | 0.2287 | 1.832 | 0.96 | 0.8784 | 0.3113 | 0.533 | 4.857 |
| 0.47 | 0.0620 | 0.3082 | 0.2362 | 1.788 | 0.97 | 0.8879 | 0.3115 | 0.534 | 4.937 |
| 0.48 | 0.0633 | 0.3148 | 0.2438 | 1.746 | 0.98 | 0.8974 | 0.3117 | 0.535 | 5.017 |
| 0.49 | 0.0646 | 0.3214 | 0.2514 | 1.703 | 0.99 | 0.9069 | 0.3119 | 0.536 | 5.097 |
| 0.50 | 0.0659 | 0.3280 | 0.2591 | 1.667 | 1.00 | 0.9164 | 0.3121 | 0.537 | 5.177 |

Πίνακας V. Συντελεστές παροχής και απωλειών στην είσοδο των αγωγών

| Συντελεστής C | | | Συντελεστής απωλειών K_s | | |
|---------------|----------|------|----------------------------|----------|------|
| Μέγιστη | Ελάχιστη | Μέση | Μέγιστη | Ελάχιστη | Μέση |
| 0.70 | 0.60 | 0.63 | 1.80 | 1.00 | 1.50 |
| .81 | .68 | .70 | 1.20 | 0.60 | 1.00 |
| .95 | .71 | .82 | 1.00 | .10 | 0.60 |
| .85 | .77 | .82 | .70 | .40 | .50 |
| .92 | .79 | .90 | .60 | .18 | .23 |
| .96 | .88 | .95 | .27 | .08 | .10 |
| .98 | .95 | .98 | .10 | .04 | .08 |
| .97 | .91 | .93 | .20 | .07 | .16 |
| .80 | .72 | .76 | .68 | .56 | .80 |

ΠΙΝΑΚΑΣ VI

| Q (ft ³ /s) | K_s | d/D | d (ft) | A/D ² | A (ft ²) | v (ft ² /s) | d (m) | v (m ² /s) | h (m) | H=130+d+0,27h+h (m) |
|---------------------------|--------|--------|-----------|------------------|-------------------------|---------------------------|----------|--------------------------|----------|------------------------|
| 70,627 | 0,0231 | 0,1519 | 1,993 | 0,0753 | 12,9680 | 5,4463 | 0,6075 | 0,5060 | 0,013 | 130,64 |
| 353,134 | 0,1155 | 0,3403 | 4,466 | 0,2358 | 40,6091 | 8,6959 | 1,3612 | 0,8079 | 0,0333 | 131,44 |
| 529,701 | 0,1732 | 0,4236 | 5,559 | 0,3166 | 54,5243 | 9,7150 | 1,6944 | 0,9026 | 0,0415 | 131,79 |
| 706,268 | 0,231 | 0,4988 | 6,546 | 0,3915 | 67,4235 | 10,4751 | 1,9952 | 0,9732 | 0,0483 | 132,10 |
| 882,834 | 0,289 | 0,5725 | 7,513 | 0,4650 | 80,0816 | 11,0242 | 2,2900 | 1,0242 | 0,0535 | 132,41 |
| 1059,401 | 0,346 | 0,6443 | 8,455 | 0,5349 | 92,1196 | 11,5003 | 2,5772 | 1,0684 | 0,0582 | 132,71 |
| 1235,968 | 0,404 | 0,7229 | 9,487 | 0,6079 | 104,6916 | 11,8058 | 2,8916 | 1,0968 | 0,0613 | 133,03 |
| 1412,535 | 0,462 | 0,8180 | 10,735 | 0,6877 | 118,4346 | 11,9267 | 3,2720 | 1,1080 | 0,0626 | 133,41 |

Όπου $0,27h = 0,27v^2/2g =$ τοπικές απώλειες εισόδου.

ΠΙΝΑΚΑΣ VII

| Q (m ³ /s) | H (m) |
|--------------------------|----------|
| 58,16 | 134 |
| 67,16 | 135 |
| 67,16 | 135 |
| 75,09 | 136 |
| 82,25 | 137 |
| 88,84 | 138 |
| 94,98 | 139 |
| 100,74 | 140 |
| 106,19 | 141 |
| 111,37 | 142 |
| 116,32 | 143 |
| 121,07 | 144 |
| 125,64 | 145 |
| 130,05 | 146 |
| 134,32 | 147 |
| 138,45 | 148 |
| 142,47 | 149 |
| 146,37 | 150 |

ΠΙΝΑΚΑΣ VIII

| H (m) | V (m ³) | ΔV (m ³) | Q (m ³ /s) | T (h) |
|------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|----------|
| 172 | 5782658 | | | |
| 171 | 5450000 | 332658 | 17,13 | 5,39 |
| 165 | 3700000 | 1750000 | 15,79 | 30,79 |
| 159 | 2400000 | 1300000 | 14,33 | 25,20 |
| 153 | 1300000 | 1100000 | 12,70 | 24,06 |
| 147 | 600000 | 700000 | 10,83 | 17,95 |
| ΣΤ=123,72 | | | | |

ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΧΩΣΗΣ ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΤΗΣ ΚΕΡΚΙΝΗΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΦΕΡΤΕΣ ΥΛΕΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΣΤΡΥΜΟΝΑ

Ψιλοβίκος Αντώνιος - Αλμπάνης Κώστας - Παπαφίλιππου-Μπένου Ε., Τομέας Γεωλογίας & Φυσικής Γεωγραφίας, Τμήμα Γεωλογίας

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο χρόνος ζωής και λειτουργίας των φραγμάτων-ταμιευτήρων νερού, αποτελεί μια παράμετρο αποφασιστικής σημασίας για την κατασκευή τους.

Η παράμετρος αυτή μπορεί να υπολογιστεί, εφόσον μελετηθούν οι ρυθμοί διάβρωσης των εδαφών στο χώρο της λεκάνης απορροής των φραγμάτων, καθώς επίσης και οι ρυθμοί μεταφοράς και απόδσης φερτών υλών στον πυθμένα των ταμιευτήρων.

Συνήθως οι υπολογισμοί αυτοί βασίζονται σε εμπειρικούς τύπους οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη (Jansen & Painter 1974, Janson 1982)

Τα υδρολογικά δεδομένα

Τα κλιματικά δεδομένα

Τα τοπογραφικά δεδομένα (ανάγλυφο)

Τα δεδομένα της φυτοκάλυψης και των χρήσεων γης

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών, εφόσον είναι ακριβή, οδηγούν σε ορθές προτάσεις για την αντιμετώπιση τόσο της διάβρωσης και της παγίδευσης των φερτών υλών μέσα στη λεκάνη απορροής, όσο και για τη διάθεση νεκρού όγκου μέσα στους ταμιευτήρες, ώστε να αποθηκεύονται οι φερτές ύλες χωρίς να μειώνεται ο ωφέλιμος όγκος τους. Πιθανόν επίσης να γίνονται προβλέψεις για την περιοδική απομάκρυνση των φερτών υλών από τους ταμιευτήρες, καθώς επίσης και για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκύπτουν από την κατασκευή και τη λειτουργία τους.

Η ερευνητική μας ομάδα είχε την ευκαιρία να μελετήσει τα φαινόμενα αυτά στον ταμιευτήρα της Κερκίνης, επί μίαν τριετίαν περίπου και να παρουσιάσει σήμερα με συνοπτικό τρόπο τα αποτελέσματα της προσπάθειας αυτής (Ψιλοβίκος, κ.ά., 1992).

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η έρευνα του προβλήματος περιελάμβανε τρία επίμερους προγράμματα:

Πρόγραμμα 1ο. Έρευνα της διάβρωσης των εδαφών στο χώρο της λεκάνης απορροής του Στρυμόνα, μέσα στη Βουλγαρία, της μεταφοράς, παγίδευσης και εξόδου των φερτών υλών, προς την κοίτη του Στρυμόνα στο Ρούπελ.

Πρόγραμμα 2ο. Έρευνα της μεταφοράς και της απόθεσης των φερτών υλών από το Στρυμόνα στη φυσική του (Ρούπελ-Φάρος) και στην τεχνητή του (Βυρώνεια) κοίτη, είτε ως αιωρούμενο, είτε ως πυθμένο φορτίο. Έγιναν καθημερινές μετρήσεις παροχής, ταχύτητας, στερεομεταφοράς του Στρυμόνα σε δύο σταθμούς της κοίτης του.

Πρόγραμμα 3ο. Έρευνα της απόθεσης των φερτών υλών μέσα στον ταμιευτήρα της Κερκίνης τόσο πριν, όσο και μετά την ανακατασκευή της (1984).

Τα τρία αυτά προγράμματα έγιναν κατά τρόπο ανεξάρτητο μεταξύ τους, ώστε να μην αλληλοεπηρεάζονται και ακολούθησε η συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων τους και η διαμόρφωση προτάσεων αντιμετώπισης των σχετικών προβλημάτων.

Τα προγράμματα αυτά χρηματοδοτήθηκαν από το Νομαρχιακό Ταμείο Σερρών και διεξήχθησαν μέσω της Επιτροπής Ερευνών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, με επιβλέπουσα Υπηρεσία τη Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων του Νομού Σερρών.

3. ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Η εκτέλεση των μεγάλων εγχειοβελτιωτικών έργων της πεδιάδας των Σερρών κατά το 1930-33, περιελάμβανε:

- Την αποξήρανση της λίμνης του Αχινού
- Την αποστράγγιση των ελωδών εκτάσεων του Στρυμόνα
- Τη διευθέτηση της κοίτης του Στρυμόνα
- Την κατασκευή τού αντιπλημμυρικού και αρδευτικού ταμιευτήρα της Κερκίνης.
- Την κατασκευήν αρδευτικών έργων στην πεδιάδα των Σερρών.

Ο αρχικός ταμιευτήρας της Κερκίνης, κατασκευής 1933, για μέγιστη στάθμη +32 m είχε έκταση 42 km² και χωρητικότητα 289*10⁶ m³. Κατά την μελετήτρια εταιρία Monks & Ulen (1929) ο όγκος της ετησίως μεταφερόμενης υπό του Στρυμόνος ιλύος υπολογίστηκε σε 3386*10³ m³, ενώ οι όγκοι της αποτιθεμένης εντός της λίμνης Κερκίνης ιλύος υπολογίστηκαν σε 1693-2451*10³ m³. Με βάση τα στοιχεία αυτά, σε συνδυασμό και προς την ετήσια απορροή του Στρυμόνα η οποία υπολογίστηκε σε 2257*10⁶ m³, η μελετήτρια εταιρία οδηγήθηκε στην πρόβλεψη ότι, "άνευ ουδεμιάς, οιασδήποτε μεταβολής εις την λίμνην ή εις τα έργα αποχετεύσεως εξ αυτής, η λίμνη θα επαρκεί δια μεγίστας καταϊγίδας επί 40 μέχρι 60 έτη, αναλόγως της ποσότητος της ετησίως κατατιθεμένης ιλύος. Κρίθηκε μάλιστα αναγκαία η εγκατάσταση πλωτού αντλιοφόρου βυθοκόρου, ο οποίος απεμάκρυνε περιοδικά την ιλύ από την κοίτη και το στόμιο του Στρυμόνα στην Κερκίνη.

Η πραγματικότητα, όπως αυτή διαπιστώθηκε από σειρά τοπογραφικών αποτυπώσεων (Αλτηγός 1962, Δαούλας 1989), έδειξε ότι οι υπολογισμοί της Monks & Ulen δεν ήσαν ακριβείς στα ακόλουθα τρία σημεία:

- Στην εκτίμηση του ετήσιου όγκου των φερτών υλών του Στρυμόνα που κατέληγε στην Κερκίνη, ο οποίος ήταν 5500 * 10³ m³ μεταξύ των ετών 1933 και 1955, αντί του υπολογισθέντος 1963 * 10³ έως 2451 * 10³ m³.
- Στην παγιδευτική ικανότητα του φράγματος, η οποία ήταν μεγαλύτερη από 90% αντί της υπολογισθείσης 50-72%.
- Στους μηχανισμούς απόθεσης των φερτών υλών στον πυθμένα της Κερκίνης, οι οποίοι ακολούθησαν το μοντέλο δελταϊκής ανάπτυξης

τύπου "πέλματος πτηνού" με συνέπεια τον κίνδυνο χωρισμού της Κερκίνης σε δύο επιμέρους λίμνες.

Με βάση τα στοιχεία αυτά η διάρκεια ζωής του ταμιευτήρα της Κερκίνης, σε πραγματικές καταστάσεις λειτουργίας του, ήταν 25-35 έτη, αντί της υπολογισθείσας 40-60 έτη.

Τον κίνδυνο αχρήστευσης του αρχικού ταμιευτήρα της Κερκίνης σε τόσο μικρό χρονικό διάστημα, απεσόβησε η εκτέλεση μεγάλων δασοτεχνικών και αντιδιαβρωτικών έργων στη Βουλγαρία, στο χώρο των ταφρολεκάνων κυρίως Σαντάνσκι-Μέλνικ και Στρουμέσιτσιας-Πετριτσίου, αμέσως μετά το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Στα έργα αυτά, τα οποία δεν ολοκληρώθηκαν μέχρι σήμερα, περιλαμβάνονται:

- Η αντιδιαβρωτική προστασία 3.830.000 στρ. καλλιεργουμένων εκτάσεων.
- Η αναδάσωση 380.000 στρ. στις πλαγιές των ορεινών όγκων.
- Η κατασκευή αντιδιαβρωτικών έργων σε 239 χειμάρρους του Στρυμόνα.

Σήμερα το 25% της επιφάνειας της λεκάνης απορροής του Στρυμόνα στη Βουλγαρία καλύπτεται από χαμηλούς θάμνους, δάση πεύκης, δάση δρυός και μεικτά δάση. Στις ταφρολεκάνες Σαντάνσκι-Μέλνικ, Στρουμέσιτσιας-Πετριτσίου, Σιμιτλί και Ρίλας-Μπλαγκόεβγκραντ (Νεοστρυμόνας) το ποσοστό της φυτοκάλυψης ανέρχεται σε 35-40%.

Οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις στη Βουλγαρία είχαν εντυπωσιακά ευεργετικά αποτελέσματα στην πρόσχωση της Κερκίνης, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.1, αφού ο αρχικός ρυθμός πρόσχωσης των $5500 * 10^3 m^3$ την περίοδο 1933-55 μειώθηκε σε $1300 * 10^3 m^3$, την περίοδο 1977-84, δηλαδή υποτετραπλασιάστηκε.

Πίνακας 3.1. Ρυθμοί πρόσχωσης και απώλειες όγκου του αρχικού ταμιευτήρα της Κερκίνης (1933-1984) * $10^3 m^3$.

| ΠΕΡΙΟΔΟΣ | ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΝΤΕΣ (MONKS & ULEN) | | | | ΜΕΤΡΗΘΕΝΤΕΣ | | ΔΙΑΦΟΡΕΣ | |
|----------|-------------------------------|------|----------|--------|-------------|----------|------------|-------|
| | ΡΥΘΜΟΙ | | ΑΠΩΛΕΙΕΣ | | ΡΥΘΜΟΙ | ΑΠΩΛΕΙΕΣ | ΑΠΩΛΕΙΩΝ % | |
| | min | max | min | max | | | min | max |
| 1933-55 | | | 37246 | 55902 | 5500 | 121000 | + 220 | + 116 |
| 1955-62 | 1963 | 2541 | 11851 | 17787 | 4000 | 28000 | + 136 | + 57 |
| 1962-77 | | | 25395 | 38115 | 1700 | 25500 | 0 | - 49 |
| 1977-84 | | | 11851 | 17787 | 1300 | 9100 | - 30 | - 95 |
| 51-ΕΤΗ | | | 86343 | 129591 | | 183600 | | |

[Είναι βέβαιο ότι ο αρχικός ρυθμός πρόσχωσης της Κερκίνης κατά την προ του 1940 περίοδο ήταν μεγαλύτερος από $5500 * 10^3 m^3$ ετησίως.]

Όμως παρά τη θεαματική αυτή εξέλιξη, ο ωφέλιμος όγκος του ταμιευτήρα της Κερκίνης μέχρι το 1982-84 είχε πλέον απωλεσθεί, λόγω της πρόσχωσής του από τις φερτές ύλες του Στρυμόνα και για το λόγο αυτό ακολούθησε η ανακατασκευή του, στη σημερινή της μορφή. Τα έργα ανακατασκευής της πρώτης φάσης περιλάμβαναν:

- Την ανύψωση του ανατολικού αναχώματος στα 39 m
- Την κατασκευή του δυτικού αναχώματος της Κερκίνης.
- Την κατασκευή της τεχνητής κοίτης του Στρυμόνα ανάντη, της Κερκίνης και μέχρι τη γέφυρα Σιδηροκάστρου.
- Την κατασκευή νέου ρουφράχτη στο Λιθότοπο.
- Την κατασκευή των υδροληπιών Υ₁, Υ₂ και Υ₃
- Την μετατόπιση της κοίτης του Στρυμόνα στον κεντρικό τομέα του δέλτα.

Η ολοκλήρωση της πρώτης φάσης των έργων αυτών έγινε το 1984, οπότε και δημιουργήθηκε ο νέος ταμιευτήρας της Κερκίνης, ο οποίος για μέγιστη στάθμη αρδεύσεως 36.50 m έχει έκταση 73 km² και συνολικό όγκο $411.361 * 10^3 m^3$. Για ελάχιστη στάθμη αρδεύσεως 31.80 m ο ταμιευτήρας έχει έκταση 51 km² και όγκο $90 * 10^6 m^3$ (νεκρός όγκος).

Ο νέος ταμιευτήρας της Κερκίνης εξακολουθεί να απειλείται με πρόσχωσή του από τις φερτές ύλες του Στρυμόνα και η απειλή αυτή πρέπει να τύχει άμεσης αντιμετώπισης.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

4.1. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ 1. Η ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΣΤΡΥΜΟΝΑ ΒΟΡΕΙΩΣ ΤΟΥ ΡΟΥΠΕΛ.

Στο χώρο της λεκάνης αυτής μελετήθηκαν, σε συνεργασία με τους Βούλγαρους συναδέλφους, τα ακόλουθα στοιχεία:

- Η γεωμορφολογική κατάσταση (τοπογραφία)
- Η γεωλογική και τεκτονική δομή
- Το υδρογραφικό δίκτυο
- Τα κλιματικά στοιχεία
- Τα υδρολογικά στοιχεία του Στρυμόνα
- Τα έργα δέσμευσης ύδατος
- Τα στοιχεία της φυτοκάλυψης και οι ζώνες διάθρωσης
- Οι διεργασίες διάθρωσης, μεταφοράς, απόθεσης φερτών υλών.

Συνοπτικά για κάθε ένα από τα στοιχεία αυτά μπορούν να αναφερθούν τα ακόλουθα:

- Η λεκάνη απορροής του Στρυμόνα βορείως του Ρούπελ έχει σχήμα επίμηκες, Β/ΒΔ-Ν/ΝΑ προσανατολισμό και οριοθετείται από μεγάλους ορεινούς όγκους. Από γεωμορφολογική άποψη το ανώτερο τμήμα της ονομάζεται λεκάνη του Παλαιοστρυμόνα και το κατώτερο τμήμα της ονομάζεται λεκάνη του Νεοστρυμόνα. Μέσα στις λεκάνες αυτές έχουν σχηματιστεί εννέα (9) επιμέρους βυθίσματα ή ταφρολεκάνες οι οποίες χωρίζονται από εξάρματα και επικοινωνούν μεταξύ τους από στενές κοιλάδες και φαράγγια. Στον πίνακα 2 και στο σχήμα 4.1.1. & 4.1.2 δίνονται όλα τα απαραίτητα γεωμορφολογικά στοιχεία γι' αυτά.

- Γεωλογικά η περιοχή αποτελείται από τις ακόλουδες κύριες ομάδες πετρωμάτων.

Την ομάδα των μεταμορφωμένων σχηματισμών του Παλαιοζωϊκού, η οποία κυριαρχεί στη λεκάνη του Νεοστρυμόνα (γνεύσιοι, σχιστόλιθοι, αμφιβολίτες).

Την ομάδα των μαγματικών διεισδύσεων, με σημαντικές εμφανίσεις στην ανατολική πλευρά της λεκάνης (διορίτες, γρανίτες, γάββροι).

Πίνακας 4.1.1. Στοιχεία γεωμορφολογίας, υδρογραφίας και υδρολογίας στις επιμέρους ταφρολεκάνες του ποταμού Στρυμόνα, στο χώρο της Βουλγαρίας

| ΤΑΦΡΟ-ΛΕΚΑΝΕΣ | Au km ² | Ap km ² | H m | φ ‰ | D km/km ² | Q m ³ /s | F lt/s/km ² |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|--------|--------|-------------------------|------------------------|---------------------------|
| 1. ΠΕΡΝΙΚ | 760 | 204 | 750 | 5.3 | 1-2 | 2 | 6.83 |
| 2.ΡΑΔΟΜΙΡ | 744 | 248 | 670 | 1.4 | 1-2 | 6 | 4.75 |
| 3. ΚΙΟΣΤΕΝΤΙΑ | 2.760 | 288 | 580 | 1.2 | 2 | 31 | 8.20 |
| 4.ΜΠΟΜΠΟΜΠΤΟΛ | 228 | 76 | 540 | - | - | - | - |
| 5. ΣΤΑΝΚΕ | | | | | | 7.5 | 7.62 |
| ΔΗΜΗΤΡΟΦ | 540 | 140 | 620 | - | - | - | - |
| 6.ΡΙΛΑ/ΜΠΛΑΓΚΟ-ΕΒΓΚΡΑΝΤ | 1.172 | 160 | 520 | 1.4 | 2 | 42 | 7.69 |
| 7. ΣΙΜΙΤΛΙ-ΚΡΟΥΠΝΙΚ | 536 | 48 | 380 | 0.9 | 2 | 47 | 7.00 |
| 8. ΣΑΝΤΑΝΕΚΙ-ΜΕΛΝΙΚ | 2.157 | 260 | 250 | 1.6 | 2 | 68 | 7.50 |
| 9. ΣΤΡΟΥΜΕΣΝΙΤΣΑ-ΠΕΤΡΙΤΣΙ | 1.900 | 588 | 250 | 1.4 | 2 | 10 | 7.15 |
| | 10.797 | 2.012 | | | | | |

Au=λεκάνες απορροής, Ap=πεδινές ζώνες, H=μέσο υψόμετρο πεδινών ζωνών, φ=κλίση της κοίτης του Στρυμόνα. D=πυκνότητα δικτύου, Q=παροχή, F=ειδική παροχή

Την ομάδα των αλπικών σχηματισμών του Μεσοζωϊκού, η οποία κυριαρχεί στη λεκάνη του Παλαιοστρυμόνα (ασβεστόλιθοι, γαμμίτες, φλύσχης, ηφαιστειοϊζήματα).

Την ομάδα των μεταλλικών σχηματισμών του Καινοζωϊκού, με μολασικά ιζήματα του Παλαιογενούς στη λεκάνη του Παλαιοστρυμόνα και αργιλογαμμικά-μαργαϊκά ιζήματα του Νεοτεταρτογενούς στη λεκάνη του Νεοστρυμόνα.

Τεκτονικά η περιοχή του Στρυμόνα αποτελεί το όριο δύο μεγάλων γεωτεκτονικών ζωνών της Βαλκανικής. Της Ροδόπης (Ρίλα) ανατολικά και της Σερβομακεδονικής ή ζώνης των Κραιϊστίδων δυτικά. Αποτελεί επίσης μια ζώνη διάρρηξης και ενεργού βύθισης με έκδηλα τα φαινόμενα της σεισμικότητας, της γεωθερμίας και της ηφαιστειότητας (Zagorcen, 1992).

Το υδρογραφικό δίκτυο του Στρυμόνα αποτελείται από τον κεντρικό κλάδο του ποταμού με ημικυκλική πορεία στη λεκάνη του Παλαιοστρυμόνα και ευθύγραμμη πορεία στη λεκάνη του Νεοστρυμόνα. Η ανάπτυξη των πλευρικών κλάδων του Στρυμόνα εμφανίζει σαφή ασυμμετρία, αφού οι ανατολικοί κλάδοι αποστραγγίζουν το 38.28% της έκτασης της λεκάνης, ενώ οι δυτικοί κλάδοι αποστραγγίζουν το 61.72% αυτής.

Η κοίτη του ποταμού έχει χαρακτήρες πλεξοειδούς (αναστομωμένου) ποταμού. Στα 290 km περίπου του μήκους της παρουσιάζει εντυπωσιακές αλλαγές της μορφολογίας της. Είναι στενή (10-50 m), έχει μεγάλη κλίση (3-6%) μαιανδρίζει και μεταφέρει μεγάλου μεγέθους φερτές ύλες στα εννέα (9) φαράγγια που διαρρέει. Αντίθετα, μέσα στις πεδινές ζώνες των εννέα (9) ταφρολεκανών η κοίτη του ποταμού είναι πλατειά (100-200 m), έχει μικρή κλίση (1-2%), διακλαδίζει τη ροή της λόγω των αμμωδών φραγμάτων και μεταφέρει μικρού μεγέθους φερτές ύλες. Οι μεγαλύτερες ποσότητες των φερτών υλών του Στρυμόνα παγιδεύονται στον πεδινό χώρο των εννέα ταφρολεκανών και δεν φθάνουν στο Ρούπελ.

Από κλιματική άποψη και ιδιαίτερα από πλευράς ετήσιας κατανομής των κατακρημνισμάτων, η λεκάνη απορροής του Στρυμόνα βορείως του Ρούπελ δέχεται περίπου 700 mm/y κατά μέσο όρο, δηλαδή συνολικά $7.5 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{y}$. Από αυτά, ποσοστό 65-70% αποτελούν προϊόν εξατμήσιδιαπνοής, ενώ ποσοστό 30-35% αποτελεί την επιφανειακή απορροή του Στρυμόνα ($2.2-2.6 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{y}$).

Τα υδρολογικά στοιχεία του Στρυμόνα, όπως αυτά προέκυαν από μετρήσεις του Υδρολογικού Ινστιτούτου της Ακαδημίας Επιστημών της Σόφιας σε 11 υδρομετρικούς σταθμούς, λειτουργίας 40-60 ετών είναι τα ακόλουθα:

Μέση υπερετήσια παροχή $83.4 \text{ m}^3/\text{s}$ προ του Ρούπελ

Μέση υπερετήσια απορροή $2.61 \cdot 10^3 \text{ m}^3$

Μέσο υπερετήσιο ύψος απορροής 240-250 mm

Μέση ειδική παροχή 7-8 l/s/km²

Μέγιστη μετρηθείσα πλημμυρική παροχή $1080 \text{ m}^3/\text{s}$ (6-1-1955)

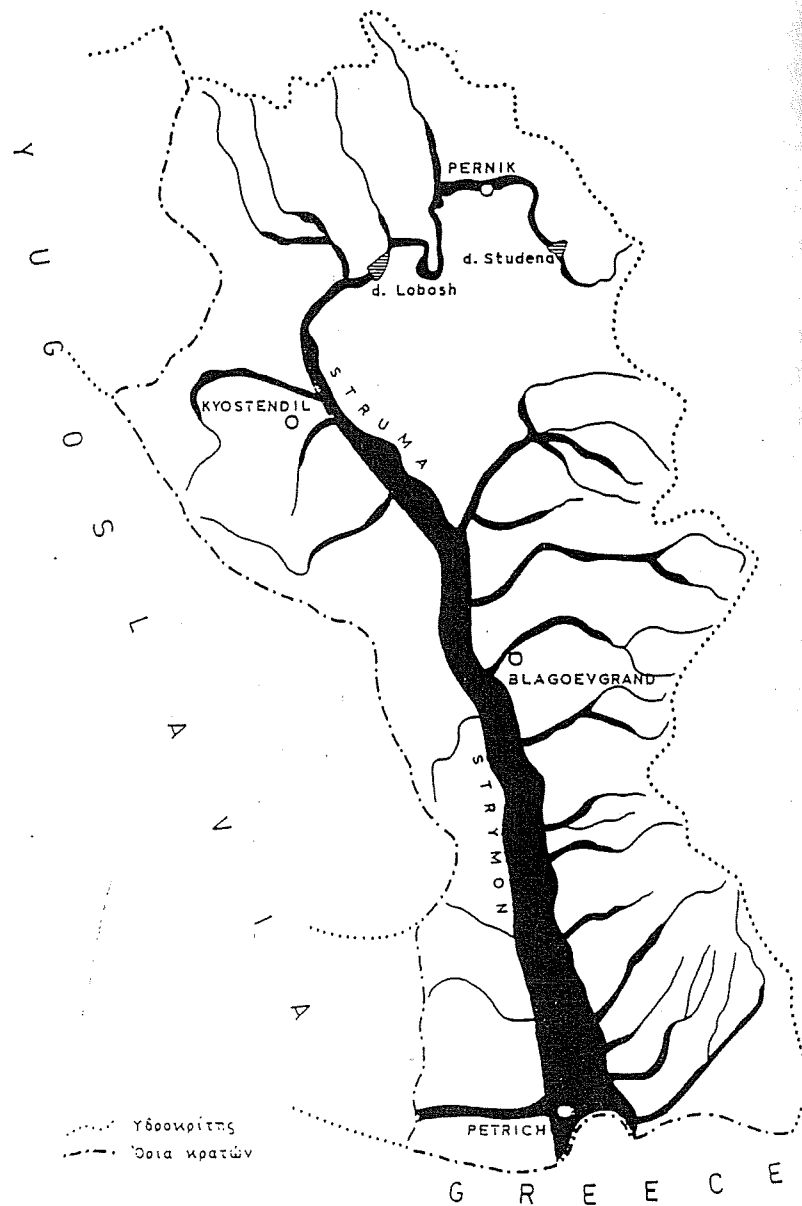
Μέγιστος όγκος μετρηθείσης πλημμύρας $292 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Η απορροή του Στρυμόνα εμφανίζει διπλή κύμανση κατά τη διάρκεια του έτους με ένα κύριο μέγιστο την άνοιξη (Μάρτιος-Ιούνιος) ένα δευτερεύον μέγιστο στα όρια του φθινοπώρου και του χειμώνα (Νοέμβριος-Φεβρουάριος) και ένα ελάχιστο το θέρος και το φθινόπωρο (Ιούλιος-Οκτώβριος).

Ο Στρυμόνας είναι ένας "χιονοβρόχινος" τύπος ποταμού.

Η παροχή του Στρυμόνα παρουσιάζει εντυπωσιακές μεταβολές κατά μήκος της κοίτης του (σχ. 4.1.1.). Στις πηγές του Στρυμόνα στο όρος Βίτοσα η παροχή είναι $0.95 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ προ του Ρούπελ φθάνει στα $82.4 \text{ m}^3/\text{s}$. Αν επιχειρήσουμε να συσχετίσουμε τα γεωμορφολογικά, τα υδρογραφικά και τα υδρολογικά στοιχεία του Στρυμόνα θα καταλήξουμε σε αξιόλογα συμπεράσματα.

Σύμφωνα με αυτά, η λεκάνη του Παλαιοστρυμόνα αντιπροσωπεύει το 39.49% της έκτασης και το 31.50% της παροχής του ποταμού,



Σχήμα 4.1.1. Αύξηση της ροής του Στρυμόνα κατά μήκος της κοίτης του, στην περιοχή βορείως του Ρούπελ (Βουλγαρία). Τα 2.00mm πλάτους της κοίτης αντιστοιχούν σε παροχή 10m³/s περίπου.

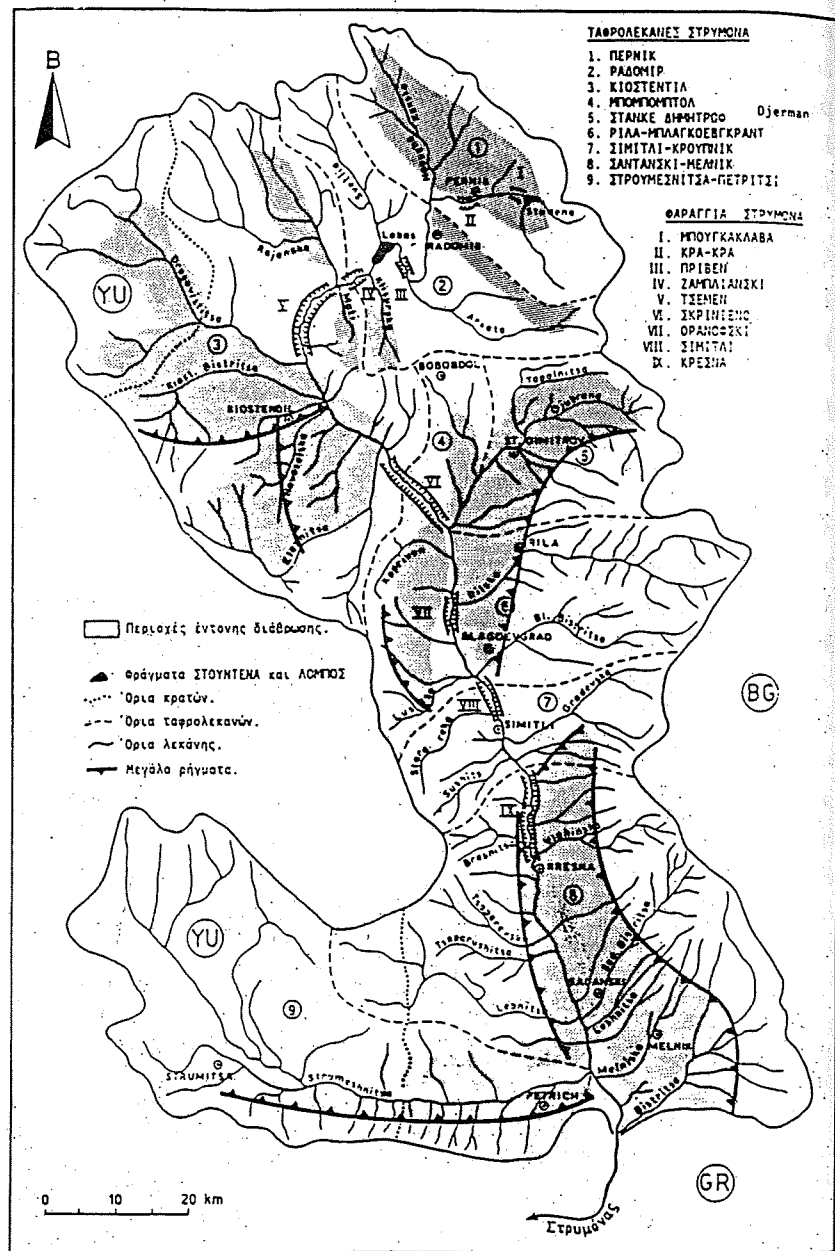
ενώ η λεκάνη του Νεοστρυμόνα αντιπροσωπεύει το 60.51% της έκτασης και το 68.5% της παροχής του ποταμού. Το τμήμα της μεταξύ Κρέσνας και Ρούπελ, δηλαδή των ταφρολεκανών Σαντάνσκι-Μέλνικ και Στρουμέσιτσας-Πετριτσίου, αντιπροσωπεύει το 37.57% της έκτασης και το 43.3% της παροχής του Στρυμόνα.

Τα έργα δέσμησης και χρήσης του νερού στη λεκάνη του Στρυμόνα στο χώρο της Βουλγαρίας είναι πολλά, έχουν μικρό μέγεθος, έχουν κατασκευαστεί σε πλευρικούς κλάδους

(παραποτάμους) και εξυπηρετούν πολλαπλούς σκοπούς (ηλεκτροπαραγωγή, ιχθυοκαλλιέργεια, ύδρευση, άρδευση). Συγκεκριμένα έχουν κατασκευαστεί 56 φράγματα-ταμιευτήρες νερού συνολικής χωρητικότητας 140*10⁶ m³ και εννέα (9) υδροηλεκτρικοί σταθμοί ισχύος 29 Μεγαβάτ, ενώ αρδεύονται 630.000 στρέμματα. Μόνο δύο φράγματα έχουν κατασκευαστεί στην κοίτη του Στρυμόνα (λεκάνη Παλαιοστρυμόνα), σε απόσταση περίπου 200 και 250 km από το Ρούπελ. Πρόκειται για το Λόμπος, κατασκευής 1975-1978, χωμάτινο, μήκους 700 m και ύψους 22 m, με χωρητικότητα 55*10⁶ m³ και το Στουτένα, κατασκευής 1950/53 με οπλισμένο σκυρόδεμα, μήκους 254 m και ύψους 53 m με χωρητικότητα 20*10⁶ m³ περίπου.

Η ετήσια δέσμηση νερού από τη λειτουργία των έργων αυτών υπολογίστηκε σε 10-25% του συνόλου της απορροής του ποταμού. Αλλά κατά τη θερινή περίοδο η δέσμηση του νερού του Στρυμόνα φθάνει στο 70-100% της παροχής του σε υγρά ή ξηρά έτη αντίστοιχα.

Τα στοιχεία της φυτοκάλυψης και των ζωνών διάβρωσης στη λεκάνη του Στρυμόνα βορείως του Ρούπελ, προέκυγαν από τη μελέτη δορυφορικών εικόνων, αεροφωτογραφιών και χαρτογραφίσεων υπαίθρου. Κατασκευάστηκαν μάλιστα δύο χάρτες με όλα τα συναφή στοιχεία της έρευνας. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ζώνες διάβρωσης που χαρτογραφήθηκαν όπως



Σχήμα 4.1.2. Ζώνες διάβρωσης και παραγωγής φερτών υλών στη λεκάνη απορροής του Στρυμόνα, ανάντη του Ρούπελ.

φαίνεται στο σχήμα 4.1.2. Στις ζώνες αυτές έχουν κατασκευαστεί και τα μεγαλύτερα αντιδιαβρωτικά έργα.

Αν συνδυαστούν τα γεωμορφολογικά, τα γεωλογικά, τα υδρογραφικά και τα υδρολογικά στοιχεία, με τις ζώνες διάβρωσης, τότε θα καταλήξουμε στο συμπέρασμα, ότι οι ταφρολεκάνες Σαντάνσκι-Μέλνικ και Στρουμέσιτσα-Πετριτσιού φιλοξενούν τις σημαντικότερες περιοχές διάβρωσης και άμεσης τροφοδοσίας σε υλικά του Στρυμόνα προς το Ρούπελ.

Η έρευνα της συνολικής διάβρωσης (Y), της ιζηματομεταφοράς (T) και της απόδοσης των φερτών υλών, βασίστηκε τόσο σε θεωρητικά και βιβλιογραφικά δεδομένα, όσο και σε επιτόπιες μετρήσεις και συσχετίσεις.

Υπολογίστηκαν αρχικά οι τιμές της συνολικής διάβρωσης (T σε tn/y) από τις τιμές της ιζηματομεταφοράς (Y σε tn/km²/y) και οι τιμές του Λόγου D(Y/T) ως ποσοστό %. Οι τελικοί υπολογισμοί εκφράζονται σε m³ αντί σε tn.

Από μετρήσεις των Jovanovic & Vuckovic (1957) στο γειτονικό προς το Στρυμόνα χώρο της Γιουγκοσλαβίας προέκυαν τιμές Y=400-500 tn/km²/y με επιμέρους ζώνες σχεδόν διπλάσιας ιζηματομεταφοράς.

Από τα στοιχεία των Walling & Webb (1987) για τους ποταμούς της νότιας Βαλκανικής, προέκυαν τιμές Y ≥ 500 tn/km²/y

Από μετρήσεις βουλγάρων ερευνητών της Ακαδημίας Επιστημών της Σόφιας προέκυαν για τη δεκαετία μέσες τιμές Y = 390 tn/km²/y και μέγιστες τιμές Y = 663 tn/km²/y.

Από μετρήσεις των Ευμορφόπουλου (1961) και Kotoulas (1984) για την ιζηματομεταφορά στη γειτονική λεκάνη απορροής του Αξιού ποταμού, προέκυγε τιμή Y = 876 tn/km²/y.

Από μετρήσεις της ερευνητικής μας ομάδας προέκυγε ότι υπάρχουν διαφορές της ιζηματομεταφοράς για κάθε μια επιμέρους

ταφρολεκάνη του Στρυμόνα (πίνακας 4.1.2). Η συνολική όμως διάβρωση παράγει $5.25-7.41 \cdot 10^6$ tn/y φερτών υλών, δηλαδή η μέση ιζηματομεταφορά $Y = 480-673$ tn/km²/y.

Το σοβαρότερο όμως ζήτημα είναι να υπολογιστεί η παγιδευτική ικανότητα των επιμέρους ταφρολεκανών του Στρυμόνα, έτσι ώστε να προκύψει ο λόγος $D=Y/T$, ο οποίος καθορίζει το ποσοστό του συνόλου των φερτών υλών που φθάνουν στο Ρούπελ.

Οι υπολογισμοί αυτοί κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μέσα στις ταφρολεκάνες του Στρυμόνα βορείως της Κρέσνας κατακρατείται σχεδόν το σύνολο του υλικού διάβρωσης (πλευρικές αποδέσεις, αποδέσεις πεδίων πλημμυρών και κοίτης). Αντίθετα, νοτίως της Κρέσνας οι φερτές ύλες που παράγονται στις ζώνες διάβρωσης έχουν τη δυνατότητα μεταφοράς τους προς το Ρούπελ σε ποσοστό περίπου 50%. Με βάση τους υπολογισμούς αυτούς, από τον όγκο της συνολικής διάβρωσης $T=1580-2204 \cdot 10^3$ m³/y, περίπου τα $800-1200 \cdot 10^3$ m³/y έχουν τη δυνατότητα να μεταφερθούν από το Στρυμόνα δια του Ρούπελ στη λεκάνη των Σερρών.

Πίνακας 4.1.2. Στοιχεία ιζηματομεταφοράς (Y) και συνολικής διάβρωσης (T) των επιμέρους ταφρολεκανών του ποταμού Στρυμόνα στο χώρο της Βουλγαρίας.

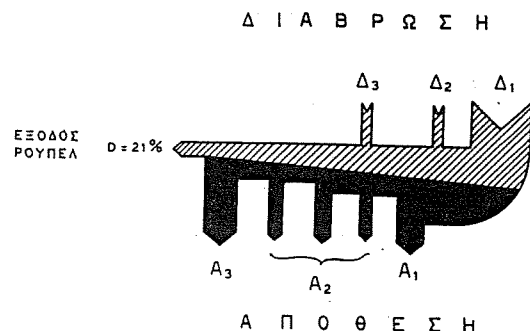
| ΤΑΦΡΟ-ΛΕΚΑΝΕΣ | Au km ² | Y tn/km ² /y | T tn/y * 10 ³ |
|---------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1. ΠΕΡΝΙΚ | 760 | 400 - 600 | 304 - 456 |
| 2.ΡΑΔΟΜΙΡ | 744 | 200 - 400 | 148 - 297 |
| 3. ΚΙΟΣΤΕΝΤΙΑ | 2.760 | 600 - 800 | 1.656 - 2.208 |
| 4.ΜΠΟΜΠΟΜΠΤΟΛ | 228 | 400 - 600 | 91 - 136 |
| 5. ΣΤΑΝΚΕΔΗΜΗΤΡΟΦ | 540 | 600 - 800 | 324 - 432 |
| 6.ΡΙΛΑ/ΜΠΛΑΓΚΟΕΒΓΚΡΑΝΤ | 1.172 | 400 - 600 | 468 - 703 |
| 7. ΣΙΜΙΤΛΙ-ΚΡΟΥΠΝΙΚ | 536 | 400 - 600 | 214 - 321 |
| 8. ΣΑΝΤΑΝΕΚΙ-ΜΕΛΝΙΚ | 2.157 | 600 - 800 | 1.294 - 1.725 |
| 9. ΣΤΡΟΥΜΕΣΝΙΤΣΑ-ΠΕΤΡΙΤΣΙ | 1.900 | 400 - 600 | 760 - 1.140 |
| | | | 5.259 - 7.418 |
| | | m ³ /y * 10 ³ | 4.045 - 5.706 |

Au=λεκάνες απορροής, Y=ιζηματομεταφορά, T=συνολική διάβρωση

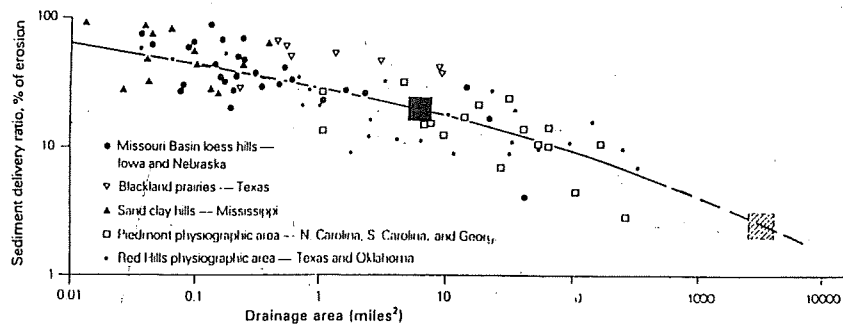
Σχηματικά για το σύνολο της λεκάνης απορροής του Στρυμόνα βορείως του Ρούπελ τα στοιχεία της διάβρωσης, απόθεσης και του λόγου D αποδίδονται στην εικόνα 4.1.3.

Για το Στρυμόνα ο λόγος $D=21\%$, ενώ με τους υπολογισμούς του διαγράμματος του Βουσε (1975) θα έπρεπε να έχει τιμές $D=3-6\%$ (σχήμα 4.1.4). Η σύγκριση των δύο ποσοστών δείχνει με σαφήνεια την ανανεωτική δράση και το χειμαρρικό χαρακτήρα των διαβρωτικών φαινομένων του Στρυμόνα.

Από πλευράς κατανομής μεγέθους των φερτών υλών που φθάνουν στο Ρούπελ, οι μετρήσεις έδειξαν ότι το 7% είναι κροκάλες, το 34.4% είναι άμμος και το 58.6% ιλύς και άργιλλος.



Σχήμα 4.1.3. Παραστατική εικόνα για τις διεργασίες διάβρωσης (Δ₁ Επιφανειακής, Δ₂ Χαραδρωτικής, Δ₃ Χειμάρρειας) και απόθεσης (Α₁ Κολλουβίου, Α₂ Κοιλάδων, Α₃ Στρυμόνα) στη λεκάνη απορροής του Στρυμόνα ανάντη του Ρούπελ. Ο λόγος Δ/Α είναι 21%.



Σχήμα 4.1.4. Συσχέτιση του λόγου διάβρωσης-μεταφοράς υλικών λεκανών απορροής, προς το εμβαδόν των λεκανών αυτών (κατά Boyce, 1975). Τα αντίστροφα ποσοστά % αντιπροσωπεύουν την αποθηκευτική ικανότητα των λεκανών.

- ▨ Θεωρητικά αναμενόμενο D του Στρυμόνα
- Πραγματικά μετρημένο D του Στρυμόνα

4.2. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ 2. Η ΚΟΙΤΗ ΡΟΗΣ ΤΟΥ ΣΤΡΥΜΟΝΑ ΜΕΤΑΞΥ ΡΟΥΠΕΛ-ΚΕΡΚΙΝΗΣ

Η κοίτη ροής του Στρυμόνα στο Ρούπελ είναι φυσική, με μήκος 8,5 km, πλάτος 100-220 m, κλίση 1‰, ελαφρά μαιανδρική με πλεξοειδή μορφή, ενώ από την έξοδο του Ρούπελ (γέφυρα Σιδηροκάστρου) μέχρι την Κερκίνη είναι τεχνητή, με μήκος 15,5 km, πλάτος 165m, κλίση 0,8‰, γραμμική με κάμψη 120°, με ευρεία ζώνη πλημμυρών και υψλά αναχώματα κατασκευής 1982-94.

Σε δυο υδρομετρικούς σταθμούς (Φάρος στο Ρούπελ και Γέφυρα της Βυρώνειας) έγιναν επί 2 1/2 έτη καθημερινές μετρήσεις στάθμης, παροχής, στερεοπαροχής, θερμοκρασίας, ΡΗ, αγωγιμότητας του νερού του Στρυμόνα. Από τις μετρήσεις αυτές ενδιαφέρον για την έρευνα των φερτών υλών παρουσιάζουν:

- Οι παροχές του Στρυμόνα σε σχέση με τις στερεοπαροχές, τόσο σε κανονικές, όσο και σε πλημμυρικές καταστάσεις.
- Ο ρυθμός μεταφοράς φερτών υλών δια της κοίτης του Στρυμόνα προς την Κερκίνη (αιωρούμενο φορτίο).
- Ο ρυθμός απόθεσης φερτών υλών μέσα στην κοίτη του Στρυμόνα (πυθμένο φορτίο).
- Η λειτουργία της κοίτης του Στρυμόνα ως παροχευτικού αγωγού. Συνοπτικά, για τα ανωτέρω ζητήματα μπορούν να αναφερθούν τα εξής:
- Είναι αξιόλογο το γεγονός ότι ο Στρυμόνας σε παροχές μικρές, που κυμαίνονται γύρω στις τιμές της βασικής απορροής του, έχει ελάχιστες αιωρούμενες φερτές ύλες.

Από το σύνολο των μετρήσεων και των συσχετισμών παροχής (Q σε m³/s) - στερεοπαροχής (V_S σε m³/24ωρο) προέκυψε η σχέση (1)

$$(1) \quad V_S = 0,0175 \cdot Q^{2,2706} \quad \text{με } R=0,91$$

Στη σχέση (1) περιλαμβάνονται και τα στοιχεία των πλημμυρικών φαινομένων που μετρήθηκαν.

Το μεγαλύτερο αιωρούμενο φορτίο (85%) το μεταφέρει ο Στρυμόνας κατά τη διάρκεια των πλημμυρικών του επεισοδίων. Μελετώντας τα στοιχεία 16 πλημμυρικών φαινομένων που μετρήθηκαν (Πίνακας 4.2.1) και συσχετίζοντας τις παροχές αιχμής

των πλημμυρών (Q σε m³/s) και το σύνολο του εν αιωρήσει φορτίου ολόκληρων των πλημμυρικών φαινομένων ΣVs (m³/πλημ), προέκυψε η σχέση (2).

$$(2) \quad \Sigma Vs = 0.237 * Q^{2.1038} \text{ με } R=0.92$$

Πίνακας 4.2.1. Σχέσεις παροχής αιχμής, συνολικής μετρηθείσης στερεοπαροχής των εν αιωρήσει φερτών κάθε πλημμύρας και υπολογισθείσης στερεοπαροχής αιχμής, κατά την εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων στον ποταμό Στρυμόνα, κατά τη διάρκεια της έρευνας.

| Α/Α | ΠΕΡΙΟΔΟΣ-ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ | ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ | ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΡΗΘΕΙΣΑ ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΗ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ | ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑ ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ |
|-----|-----------------------------|-----------------------------|--|---|
| | | Q(m ³ /s) | ΣVs(m ³ /fl) | Vs(m ³ /d) |
| 1 | 21-29/12/89 | 150 | 7720 | 1527 |
| 2 | 13-21/5/91 | 152 | 12434 | 1574 |
| 3 | 16-22/7/91 | 160 | 17439 | 1768 |
| 4 | 19-24/11/91 | 180 | 7423 | 2311 |
| 5 | 23-29/4/91 | 195 | 15559 | 2771 |
| 6 | 30/4-5/5/91 | 210 | 12639 | 3279 |
| 7 | 6-12/5/91 | 210 | 27106 | 3279 |
| 8 | 11-19/4/92 | 240 | 27767 | 4441 |
| 9 | 9-15/4/90 | 250 | 14490 | 4873 |
| 10 | 1-8/6/91 | 250 | 27172 | 4873 |
| 11 | 19-27/4/92 | 275 | 34912 | 6050 |
| 12 | 12-23/12/90 | 370 | 47841 | 11868 |
| 13 | 22-29/10/91 | 370 | 63309 | 11868 |
| 14 | 26-31/5/91 | 400 | 73279 | 14166 |
| 15 | 9-22/6/91 | 400 | 79148 | 14166 |
| 16 | 25-29/11/91 | 430 | 102439 | 16695 |

Προκειμένου να υπολογίσουμε τους ρυθμούς μεταφοράς των εν αιωρήσει φερτών υλών του Στρυμόνα, χρησιμοποιήσαμε τα στοιχεία των πλημμυρικών παροχών του ποταμού που καταγράφηκαν σε περίοδο 22 ετών, σύμφωνα με τον Αλτηγό (1962). Όπως φαίνεται στον πίνακα 4.2.2 έγινε η ταξινόμηση των 105 πλημμυρικών φαινομένων και ακολούθησε ο υπολογισμός του αιωρούμενου φορτίου κάθε πλημμύρας με εφαρμογή της σχέσης (2). Τελικά υπολογίστηκε το σύνολο του φορτίου που θα μετέφερε ο Στρυμόνας κατά τις πλημμυρικές εκδηλώσεις του σε περίοδο 22 ετών. Έτσι, προέκυψε ότι ο ετήσιος ρυθμός των αιωρήσει φερτών υλών του Στρυμόνα θα ήταν 840.376 m³ (18.482.282 m³ : 22 έτη).

Πίνακας 4.2.2 Σχέσεις στοιχείων πλημμυρών ≥300 m³/s που καταγράφηκαν στο Στρυμόνα κατά τη διάρκεια 22 ετών μετρήσεων (Αλτηγός, 1962) και στοιχεία που θα προέκυπταν για τη μεταφορά των εν αιωρήσει φερτών κατά όγκο αν οι πλημμύρες αυτές συνέβαιναν σήμερα, σύμφωνα με τη σχέση (4).

| ΚΛΑΣΕΙΣ ΑΙΧΜΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ | ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ | ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ | ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΦΕΡΤΩΝ ΑΝΑ ΠΛΗΜΜΥΡΑ | ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΦΕΡΤΩΝ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ |
|--------------------------|-----------------------|-------------------|--|--|
| Q (m ³ /s) | Q (m ³ /s) | N | ΣVs | N*ΣVs |
| 300- 400 | 350 | 45 | 53328 | 2.400.000 |
| 400- 500 | 450 | 30 | 90485 | 2.715.000 |
| 500- 600 | 550 | 5 | 138014 | 690.070 |
| 600- 700 | 650 | 10 | 196135 | 1.961.350 |
| 700- 800 | 750 | 6 | 265037 | 1.590.222 |
| 800- 900 | 850 | 1 | 344882 | 344.882 |
| 900-1000 | 950 | - | 435795 | - |
| 1000-1200 | 1100 | 3 | 593234 | 1.788.702 |
| 1200-1400 | 1300 | 1 | 843056 | 843.056 |
| 1400-1600 | 1500 | 1 | 1139000 | 1.139.000 |
| 1600-2000 | 1800 | 3 | 1672000 | 5.016.000 |
| | | 105 | | 18.488.282 |

18.488.282 m³ : 22 ΕΤΗ ==> 840.376 m³ ΑΝΑ ΕΤΟΣ

Αν στο εν αιωρήσει φορτίο των πλημμυρικών παροχών συνυπολογιστεί και το φορτίο των κανονικών παροχών (περίπου 15% του συνόλου των πλημμυρικών παροχών), τότε προκύπτει ότι, το συνολικό εν αιωρήσει φορτίο του Στρυμόνα πλησιάζει το $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$ (966.432 m^3 για την ακρίβεια). Το φορτίο αυτό είναι ιλύς (50-80%), άργιλλος (15-40%) και λεπτόκοκκη άμμος (< 10%).

Προκειμένου να γίνει υπολογισμός της μεταφοράς και της απόθεσης του πυθμένου φορτίου του Στρυμόνα, έγιναν αποτυπώσεις 18 διατομών της τεχνητής κοίτης του (1991) και ακολούθησε σύγκριση αυτών με τις αντίστοιχες 18 διατομές της αρχικής τεχνητής κοίτης (1984). Έγινε επίσης πυκνή δειγματοληψία και ανάλυση του υλικού σε κάθε μια διατομή.

Από την επεξεργασία των στοιχείων αυτών έγινε φανερό ότι: Μεγάλες ποσότητες υλικών έχουν αποτεθεί μέσα στον πυθμένα της τεχνητής κοίτης του Στρυμόνα, από τότε που αυτή κατασκευάστηκε (1984) για να παροχετεύει μέγιστες πλημμύρες με αιχμή $3000 \text{ m}^3/\text{s}$. Οι ποσότητες αυτές αντιστοιχούν σε ετήσιο ρυθμό απόθεσης $130.000-170.000 \text{ m}^3/\text{y}$ για την τεχνητή κοίτη του ποταμού.

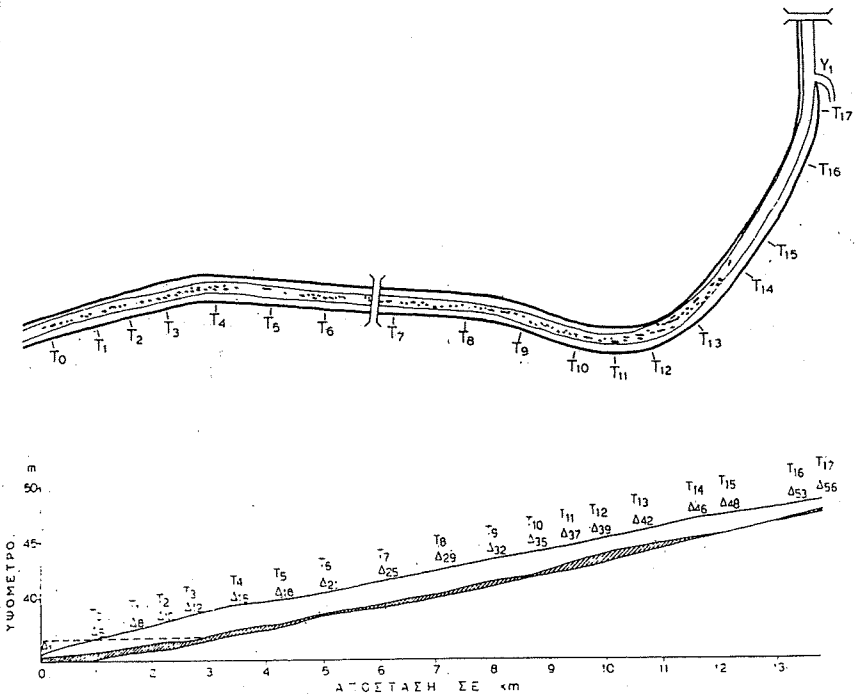
Το πυθμένο υλικό δεν είναι κανονικά κατανεμημένο κατά μήκος της τεχνητής κοίτης, αλλά παρατηρείται μεγάλη συσσώρευση στο τμήμα της κάμψης και στο χαμηλότερο τμήμα προ της Κερκίνης και μικρότερη συσσώρευση στο ενδιάμεσο διάστημα και στο υψηλότερο τμήμα κοντά στην Υ₁ (σχήμα 4.2.1).

Η απόθεση του υλικού γίνεται υπό μορφήν μεγάλων θινών και μικροτέρων ρητίδων, πλευρικών φραγμάτων και κεντρικών φραγμάτων (νησίδων).

Η ροή του Στρυμόνα διασπείρεται (πλεξοειδώς), κυρίως στις μεταξύ των θινών και των φραγμάτων αύλακες, όπου αποκτά μεγάλη ταχύτητα, ενώ επάνω από τις θίνες έχει πολύ μικρή ταχύτητα.

Το υλικό είναι άμμος, χονδρόκοκκη έως μεσόκοκκη, με κακή-μέτρια ταξινόμηση, χωρίς τη συμμετοχή λεπτόκοκκου υλικού (ιλύς) λόγω απόπλυσης. Η άμμος αυτή αποτελείται από αστρίους (38.2%), χαλαζία (36.0%), φεμικά ορυκτά (23.1%) και ασβεστίτικα ορυκτά (2.7%). Είναι καλής ποιότητας και έτοιμη για εκμετάλλευση.

Η απόθεση της άμμου και η πρόσχωση της τεχνητής κοίτης του Στρυμόνα, έχουν μεταβάλλει σημαντικά τόσο την παροχετευτική



Σχήμα 4.2.1. Τεχνητή κοίτη του Στρυμόνα ανάντη της Κερκίνης σε κάτοψη (άνω) και σε επιμήκη διατομή (κάτω). Τ₀-Τ₁₇ εγκάρσιες διατομές 1991, Δ₅-Δ₅₆ εγκάρσιες διατομές 1984.

της ικανότητα, όσο και τις συνθήκες ροής. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η απομάκρυνση της άμμου και ο καθαρισμός της κοίτης. Αντίστοιχες ενέργειες πρέπει να γίνουν και στη φυσική κοίτη του Ρούπελ, όπου η απόθεση άμμου στον πυθμένα έχει προσχώσει σημαντικά την κοίτη ροής και για το λόγο αυτό δημιουργεί κινδύνους σε περίπτωση εκδήλωσης μεγάλων πλημμυρών.

Αν συνυπολογίσουμε το αιωρούμενο φορτίο ($966.432 \text{ m}^3/\text{y}$) και το πυθμενίο φορτίο ($130.000-170.000 \text{ m}^3/\text{y}$), τότε προκύπτει ότι, το σύνολο των φερτών υλών του Στρυμόνα - μετρημένο στην κοίτη - είναι $1.096.432-1.136.432 \text{ m}^3/\text{y}$.

4.3. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ 3. ΕΡΕΥΝΑ ΤΗΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΦΕΡΤΩΝ ΥΛΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΤΗΣ ΚΕΡΚΙΝΗΣ

Ο σημερινός ταμιευτήρας της Κερκίνης, όπως ανακατασκευάστηκε το 1984 αποτελείται από δύο τμήματα:

Το νότιο τμήμα, όπου βρίσκεται η κυρίως λίμνη. Για στάθμη $+31.80 \text{ m}$ έχει έκταση 51 km^2 και όγκο $90 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, που αποτελεί το νεκρό όγκο του ταμιευτήρα. Τοπογραφικά αποτελείται από μια μεγάλη λεκάνη ανατολικά και μια μικρότερη λεκάνη δυτικά (σχήμα 4.3.1) που χωρίζονται από το ύψωμα του παλαιού δελταϊκού πρίσματος.

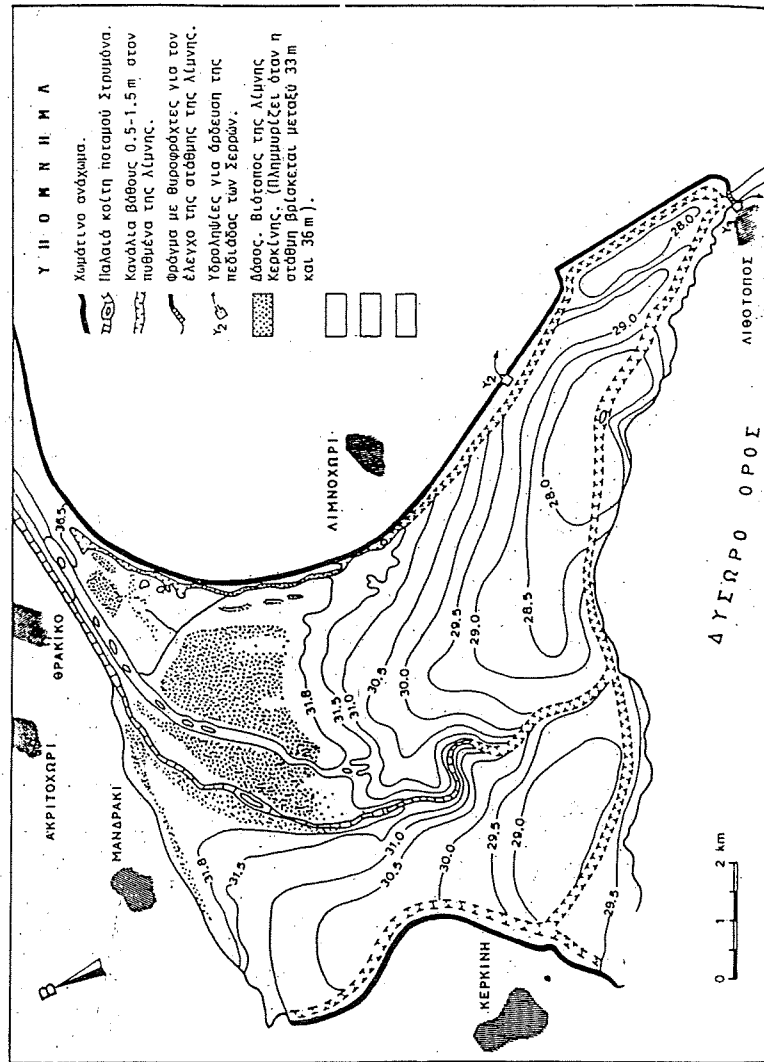
Το βόρειο τμήμα, όπου βρίσκεται η δελταϊκή πλατφόρμα του Στρυμόνα, με έκταση 22 km^2 περίπου έχει μια παλαιά κοίτη αδρανής και τη σημερινή ενεργή κοίτη του ποταμού, ο οποίος εκβάλλει στο μέσον περίπου της λίμνης. Χαρακτηριστικός είναι ένας κεντρικός πυρήνας δελταϊκού δάσους με ιτιές και ακακίες.

Στο χώρο των δύο αυτών τμημάτων του ταμιευτήρα ερευνήθηκαν τα ακόλουθα:

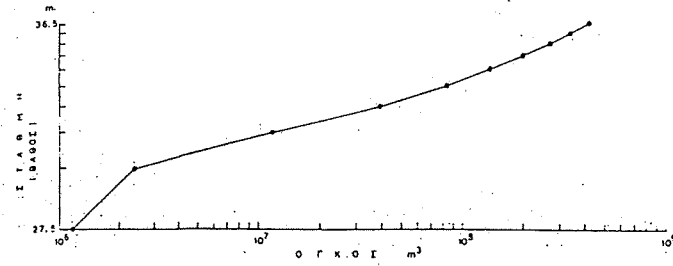
- Ο τύπος του ταμιευτήρα και η παγιδευτική του ικανότητα
- Ο τύπος της δελταϊκής ανάπτυξης και απόθεσης υλικών
- Ο τρόπος λειτουργίας της λίμνης κατά τη διάρκεια του έτους
- Η απόθεση φερτών υλών στα δύο τμήματα της λίμνης μετά το 1984
- Η ποιότητα των υλικών και ο τρόπος απόθεσης αυτών.

Για κάθε ένα από τα θέματα που ερευνήθηκαν, μπορούν να διατυπωθούν με σύντομο τρόπο τα εξής σχόλια:

- Ο ταμιευτήρας της Κερκίνης σύμφωνα με την ταξινόμηση των τεχνητών ταμιευτήρων των Borland & Miller (1958) μπορεί να θεωρηθεί ως τύπος πεδίου πλημμυρών προπόδων (σχήμα 4.3.2). Αυτό προκύπτει από τη σχέση μεταξύ βάθους (στάθμης) και όγκου νερού και δείχνει με σαφήνεια ότι δεν έχει η Κερκίνη τα χαρακτηριστικά μιας τυπικής λίμνης, αλλά ενός πεδίου πλημμυρών. Η % παγιδευτική ικανότητα του ταμιευτήρα της Κερκίνης, σύμφωνα με τη σχέση του Brune (1953) κυμαίνεται μεταξύ 85% και 98% με μέσο όρο το 91% περίπου (σχήμα 4.3.3). Άρα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι σχεδόν το σύνολο των φερτών υλών που



Σχήμα 4.3.1. Πανοραμική απόπληξη του πυθμένα της Κερκίνης από την ερευνητική μας ομάδα 1991 (ψευδοχρ. κ.α. 1992).



Σχήμα 4.3.2. Ταξινόμηση του ταμειυτήρα της Κερκίνης σύμφωνα με τους Borland & Miller (1958). Τύπος ΙΙ. Πεδίο Πλημμυρών Προτόδων

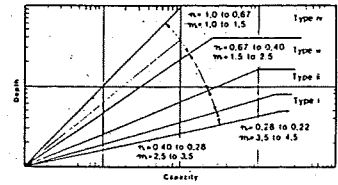
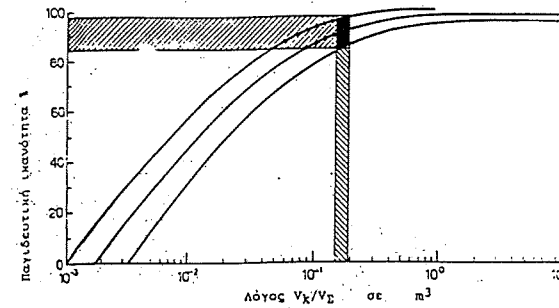


Fig. 7.1 Classification of weirs in terms of volume-depth relationships Borland and Miller, 1958.

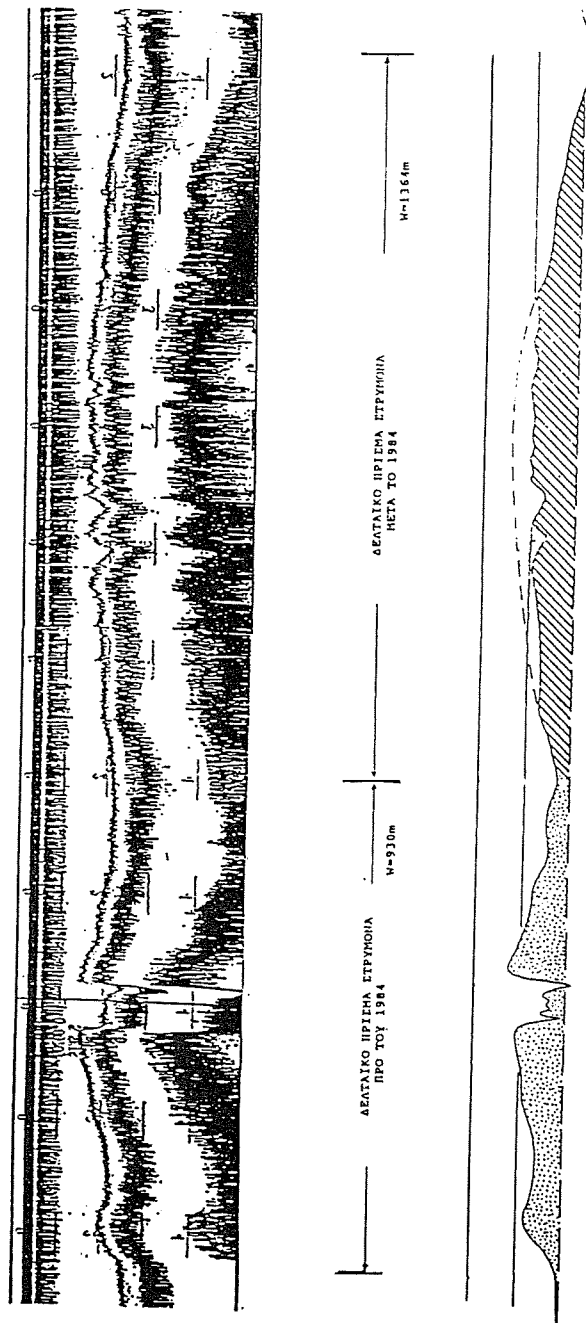


Σχήμα 4.3.3. Παγιδευτική ικανότητα του φράγματος της Κερκίνης, σύμφωνα με τη σχέση του Brune (1953). V_k = χωρητικότητα Κερκίνης V_a = ετήσια απορροή Στριμόνα

μεταφέρονται από το Στρυμόνα στην Κερκίνη κατακρατείται μέσα στον πυθμένα του ταμιευτήρα.

Όπως έδειξαν τα προ του 1984 στοιχεία της δελταϊκής ανάπτυξης, ο Στρυμόνας είχε μια κύρια κοίτη μέσα από την οποία παροχέτευε νερό και φερτές ύλες προς τον κεντρικό τομέα του παλαιού ταμιευτήρα. Κατά τη διάρκεια πλημμυρικών επεισοδίων, πριν ακόμα ο Στρυμόνας προσεγγίσει την Κερκίνη, διέσπειρε τη ροή και τα υλικά του σε πλοκαμοειδείς κοίτες, στο χώρο της δελταϊκής πλατφόρμας. Έτσι δημιουργήθηκε στον βόρειο τομέα του παλαιού ταμιευτήρα ένα δέλτα τύπου πέλματος πτηνού. Η δελταϊκή του πλατφόρμα αποτελούσε το πεδίο πλημμυρών και το δελταϊκό μέτωπο με την προδελταϊκή πλατφόρμα, αποτελούσαν το υπολιμναίο τμήμα του δέλτα μέσα στην Κερκίνη. Εκεί γίνονταν η απόθεση των φερτών υλών, κυρίως μπροστά από την εκβολή του Στρυμόνα και δημιουργούνταν ένα υπολιμναίο ύβωμα (σχήμα 4.3.4) το οποίο απειλούσε να χωρίσει τον ταμιευτήρα σε δύο τμήματα. Αυτός ο τύπος του δέλτα, πέλματος πτηνού, διατηρήθηκε και μετά την ανακατασκευή του ταμιευτήρα της Κερκίνης, με ορισμένες βέβαια μεταβολές όσον αφορά στη λειτουργία της δελταϊκής πλατφόρμας.

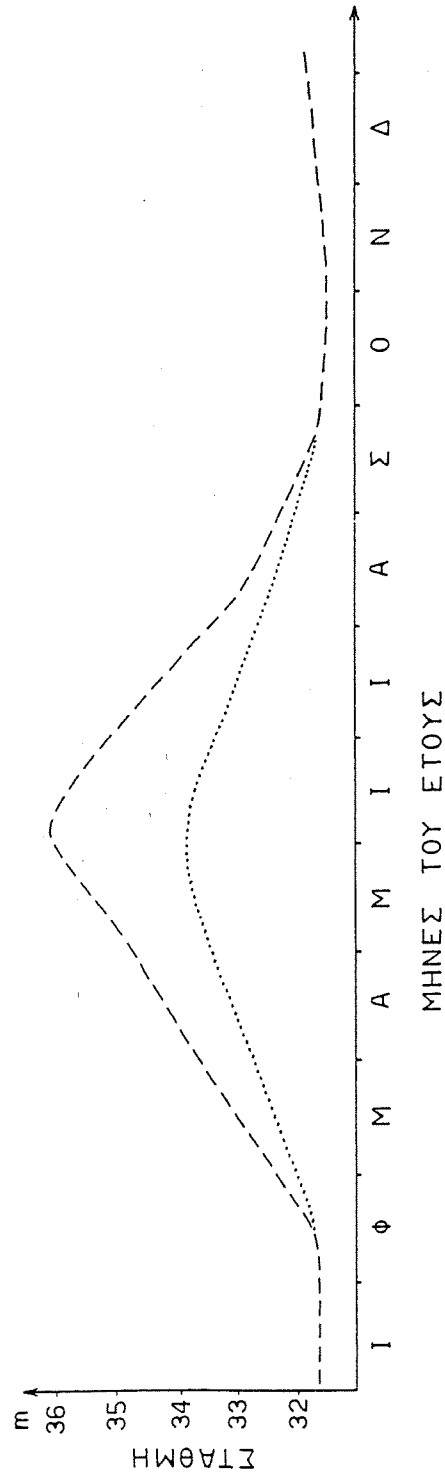
Η σημερινή λειτουργία του ταμιευτήρα της Κερκίνης στηρίζεται κυρίως στην εξυπηρέτηση των αρδευτικών αναγκών της πεδιάδας των Σερρών. Η στάθμη της λίμνης κυμαίνεται μεταξύ του κατώτατου υψομετρικού ορίου των 31.80 m (στάθμη του νεκρού όγκου) και του ανωτάτου υψομετρικού ορίου των 36.50 m (ανωτάτη στάθμη αρδύσεως). Η μεταβολή της στάθμης παρουσιάζει απλή κύμανση (σχήμα 4.3.5) με το μέγιστο αυτής κατά τις αρχές Ιουνίου και το ελάχιστο αυτής μεταξύ Οκτωβρίου και Φεβρουαρίου. Η ανύψωση της στάθμης της λίμνης κατά 4.0 m περίπου εξασφαλίζει ωφέλιμο όγκο $321 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ περίπου, αλλά ταυτόχρονα προκαλεί πλημμυρισμό της δελταϊκής πλατφόρμας κατά την άνοιξη και το



Σχήμα 4.3.4. Ηχοβολιστική αποτύπωση του παλαιού (προ του 1984) και του νέου (μετά το 1984) δελταϊκών προσαμάτων του Στρυμόνα μέσα στο νεκρό όγκο του ταμιευτήρα της Κερκίνης (άνω) και ερμηνεία των καταγραφών (κάτω).

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΤΗΝΩΝ
+++++

ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ



Σχήμα 4.3.5. Διακύμανση της στάθμης της λίμνης Κερκίνας κατά τη διάρκεια του έτους. Μετά το 1984 (από +32m μέχρι +36.5m).

Για τη διατήρηση των οικοσυστημάτων (από +32m μέχρι +34.5m).

θέρους, γεγονός που επηρεάζει τη λειτουργία του βιότοπου αυτού και ιδιαίτερα του δελταϊκού δάσους.

Οι μεταβολές της στάθμης της λίμνης, ανοδικές και καθοδικές, προκαλούν αντίστοιχες μεταβολές των εκβολών του Στρυμόνα, οι οποίες μετατοπίζονται ανάλογα. Κατά το φθινόπωρο και το χειμώνα βρίσκονται στο κέντρο περίπου της λίμνης (31.80 m) και ο Στρυμόνας εκβάλλει μέσα στο νεκρό όγκο της, αφού διασχίσει τη δελταϊκή πλατφόρμα. Αντίθετα κατά την άνοιξη και μέρος του θέρους, οι εκβολές βρίσκονται στην είσοδο του ταμειυτήρα (36.50 m) και ο Στρυμόνας εκβάλλει μέσα στο χώρο της δελταϊκής πλατφόρμας (ωφέλιμος όγκος).

Η ερευνητική μας ομάδα παρακολούθησε τις μετατοπίσεις των εκβολών κατά τις φάσεις πλημμυρισμού και απόσυρσης των υδάτων από το χώρο της δελταϊκής πλατφόρμας, καθώς επίσης και τα συνοδά φαινόμενα της απόθεσης φερτών υλών τόσο στο χώρο της δελταϊκής πλατφόρμας, όσο και στο χώρο του νεκρού όγκου.

Με μια σειρά γεωτρήσεων που πραγματοποίησε στο χώρο της δελταϊκής πλατφόρμας και αντιστοιχών παρατηρήσεων και δειγματοληπιών, οδηγήθηκε σε συμπεράσματα σχετικά με τις φερτές ύλες του Στρυμόνα που έχουν αποτεθεί στην επιφάνεια της δελταϊκής πλατφόρμας από το 1984 μέχρι το 1991. Οι φερτές ύλες έχουν αποτεθεί σε λεπτά στρώματα είτε ως αποθέσεις της κοίτης και των όχθων αυτής, είτε ως ένα στρώμα-κάλυμμα σε όλο το χώρο της δελταϊκής πλατφόρμας.

Επίσης, με μια σειρά ηχοβολιστικών αποτυπώσεων του πυθμένα του νεκρού όγκου, έγινε δυνατή η αποτύπωση και η οριοθέτηση του παλαιού και του νέου (1984-1991) υπολιμναίου τμήματος του δέλτα (σχήμ. 4.3.4), με ταυτόχρονη δειγματοληψία των υλικών αιώρησης και απόθεσης στον πυθμένα. Με βάση τις αποτυπώσεις του 1984 και τα νέα στοιχεία, έγινε δυνατός ο υπολογισμός του όγκου των φερτών υλών που έχουν αποτεθεί στο δελταϊκό μέτωπο (μπροστά από το στόμιο του Στρυμόνα) και στην προδελταϊκή πλατφόρμα (μακριά από το στόμιο του Στρυμόνα).

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών της απόδωσης φερτών υλών από το Στρυμόνα στην Κερκίνη για περίοδο επτά (7) ετών (1984-1991) είναι τα εξής:

| | | |
|---|--|------|
| Κατακλυζόμενο τμήμα του δέλτα (δελταϊκή πλατφόρμα) | 2775*10 ³ m ³ , ΩΦΕΛΙΜΟΣ ΟΓΚΟΣ 41% | |
| Υπολιμναίο τμήμα του δέλτα (μέτωπο και προδέλτα) | 4002*10 ³ m ³ , ΝΕΚΡΟΣ ΟΓΚΟΣ 59% | |
| | ----- | |
| Σύνολο | 6777*10 ³ m ³ | 100% |

Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει το συμπέρασμα ότι μετά την ανακατασκευή της Κερκίνης ο ετήσιος ρυθμός πρόσχωσης αυτής είναι περίπου 1*10⁶ m³ (968.000 m³/y για την ακρίβεια)

Το πρώτο στοιχείο που πρέπει να μας προβληματίσει, αφορά στην απόδοση των φερτών υλών κατά 41% στο χώρο του ωφέλιμου όγκου (με αντίστοιχη απώλεια αρδευτικού νερού ανά έτος) και κατά 59% στο χώρο του νεκρού όγκου, του οποίου ο ρόλος είναι να απορροφά όλο τον όγκο των φερτών υλών.

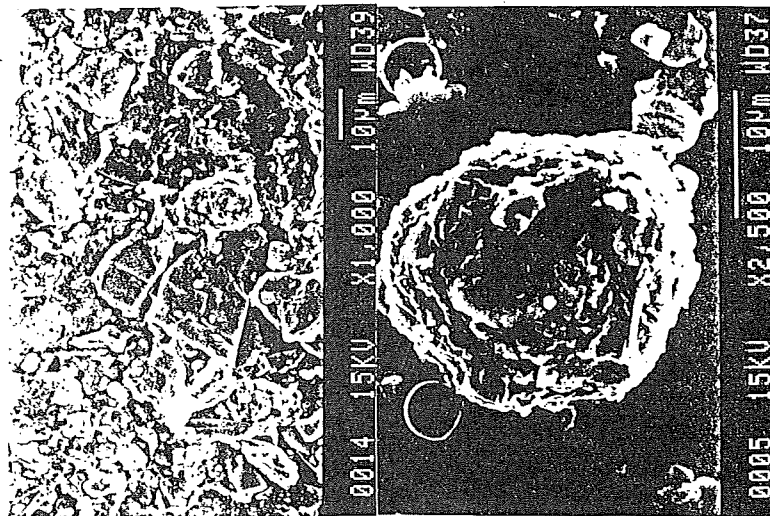
Το δεύτερο στοιχείο που πρέπει επίσης να μας προβληματίσει, αφορά στην ανάπτυξη του υπολιμναίου τμήματος του δέλτα μέσα στο χώρο του νεκρού όγκου. Η δημιουργία ενός υβάματος και η ταχύτατη προώδησή του προς το κέντρο της λίμνης, δημιουργούν τις προϋποθέσεις κυκλοφοριακών ανωμαλιών αρχικά και διχοτόμησης της λίμνης σε τελική φάση.

Από τη μελέτη των εν αιωρήσει φερτών υλών του Στρυμόνα μέσα στην κοίτη, στο στόμιο αυτής και μέσα στη λίμνη, με τη βοήθεια Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σαρώσεως (ΗΜΣ) προέκυαν τα ακόλουθα σημαντικά στοιχεία:

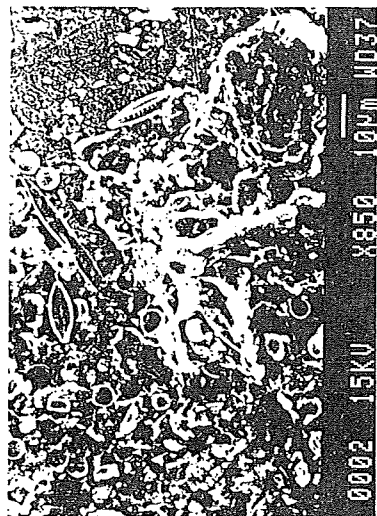
Οι φερτές ύλες μέσα στην κοίτη του Στρυμόνα στο χώρο της δελταϊκής πλατφόρμας αποτελούνται μόνο από κλαστικό υλικό, ιλύ και άργιλλο (φωτ. 4.3.1).

Στις εκβολές του Στρυμόνα μέσα στην Κερκίνη παρατηρείται ανάμειξη του κλαστικού με βιογενές υλικό (पुरितικά κελύφη), με ταυτόχρονη συσσωμάτωση των κόκκων του κλαστικού υλικού και άμεση καθίζησή του στον πυθμένα (φωτ. 4.3.2 και φωτ. 4.3.3).

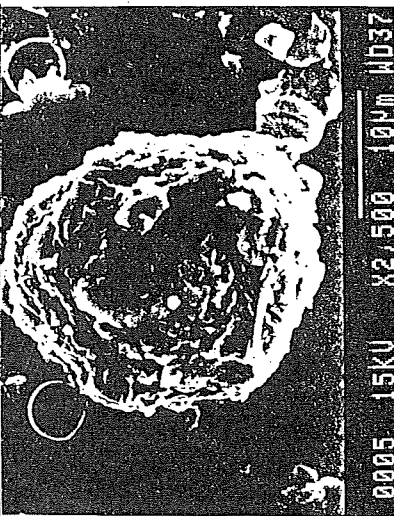
Στο χώρο της λίμνης (νεκρό όγκο) μακριά από την εκβολή του Στρυμόνα, σχεδόν το σύνολο του υλικού έχει βιογενή προέλευση (κυρίως पुरितικά κελύφη διατόμων), ενώ η συμμετοχή του κλαστικού υλικού είναι ελάχιστη (φωτ. 4.3.4).



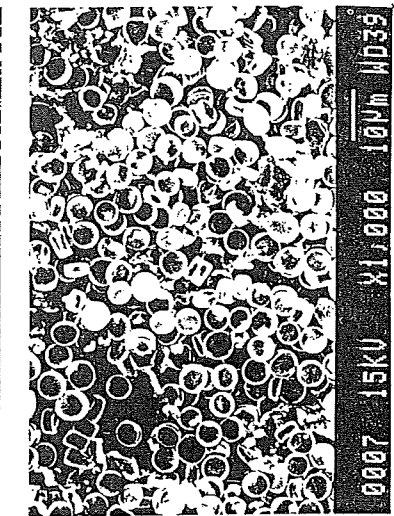
Φωτ.
4.3.1.



Φωτ.
4.3.2.



Φωτ.
4.3.3.



Φωτ.
4.3.4.

Φωτογραφίες των φερτών υλών στην κοίτη του Στρυμόνα (4.3.1.), στις εκβολές του στη λίμνη Κερκίνη (4.3.2.), όπου και συσσωματώνεται (4.3.3.) και μέσα στη λίμνη Κερκίνη σε απόσταση από τις εκβολές του ποταμού (4.3.4.).

5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τη συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων των τριών επιμέρους προγραμμάτων έρευνας, προκύπτει μια εκπληκτική σύμπτωση ως προς τους ρυθμούς τροφοδοσίας, μεταφοράς και απόδοσης των φερτών υλών από το Στρυμόνα στον ταμιευτήρα της Κερκίνης.

Για τη λεκάνη απορροής του Στρυμόνα βορείως του Ρούπελ προέκυψε ότι, έχει αποθηκευτική ικανότητα 79% των φερτών υλών, ενώ τροφοδοτεί τη λεκάνη των Σερρών δια του Ρούπελ με το 21% των φερτών υλών, δηλαδή $800-1200 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{y}$.

Το σύνολο σχεδόν του υλικού αυτού προέρχεται από τις γειτονικές προς το Ρούπελ ταφρολεκάνες Σαντάνσκι-Μέλνικ και Στρουμένιτσα-Πετριτσίου.

Για την κοίτη ροής του Στρυμόνα, φυσική (Ρούπελ) και τεχνητή (Βυρώνειας), προέκυψε ότι ο ρυθμός μεταφοράς φερτών υλών είναι περίπου $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$ ως αιωρούμενο φορτίο, ενώ έχει την ικανότητα της αποθήκευσης $130-170 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{y}$ πυθμένιου φορτίου (άμμου) μέσα στην κοίτη. Το υλικό αυτό μειώνει την παροχευτική ικανότητα της κοίτης του ποταμού και αλλοιώνει τους χαρακτήρες ροής του. Το 70-80% περίπου των εν αιωρήσει φερτών υλών μεταφέρεται κατά τις πλημμυρικές παροχές.

Για την απόδοση των φερτών υλών στον ταμιευτήρα της Κερκίνης υπολογίστηκε ότι ο ετήσιος ρυθμός της είναι περίπου $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Το 41% του φορτίου αυτού αποτίθεται στο χώρο της δελταικής πλατφόρμας και μειώνει τον ωφέλιμο όγκο του ταμιευτήρα. Το 59% του φορτίου αυτού αποτίθεται στο νεκρό όγκο της Κερκίνης με τη μορφή ενός υπολιμναιού δέλτα, το οποίο σε βάθος χρόνου απειλεί με διχοτόμηση τον ταμιευτήρα.

Για να αποτραπεί η πρόσχωση του νέου ταμιευτήρα της Κερκίνης από τις φερτές ύλες του Στρυμόνα και να επιμκυνθεί η ζωή και η λειτουργία του ταμιευτήρα προς όφελος της αντιπλημμυρικής προστασίας και της αγροτικής ανάπτυξης της Σερραϊκής πεδιάδας, είναι απαραίτητη η εκτέλεση των εξής έργων προστασίας:

Ολοκλήρωση του προγράμματος αντιδιαβρωτικής προστασίας στις ταφρολεκάνες Σαντάνσκι-Μέλνικ και Στρουμέσνιτσας Πετριτσίου και συντήρηση των ήδη υφισταμένων έργων με στόχο τη μείωση του λόγου D από 21% σε 6% που έπρεπε να είναι. Δηλαδή είναι εφικτός στόχος η μείωση της τροφοδοσίας του Στρομόνα με φερτές ύλες από τα $800-1200 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ που είναι σήμερα σε $200-400 \cdot 10^3 \text{ m}^3$.

Κατασκευή τριών (3) χαμηλών αναβαθμών προσωρινής παγίδευσης του πυθμένου φορτίου του Στρομόνα στη φυσική κοίτη του Ρούπελ, με ταυτόχρονη εγκατάσταση συστημάτων απομάκρυνσης και αξιοποίησης του υλικού αυτού. Άμεση επίσης προβάλλει η ανάγκη να απομακρυνθεί το αποτιθεμένο υλικό από την τεχνητή κοίτη του Στρομόνα, έτσι ώστε αυτή να ανταποκριθεί στο σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκε.

Μετατόπιση της κοίτης του Στρομόνα προς το βόρειο τμήμα της δελταϊκής πλατφόρμας, έτσι ώστε οι εκβολές να τοποθετηθούν στο νεκρό όγκο του ΒΔ τομέα (περιοχή με νούφαρα) νότια από το Μανδράκι. Έτσι θα είναι δυνατή η απομάκρυνση και αξιοποίηση της αργιλλοίλλυος κατά το φθινόπωρο για εδαφοβελτιώσεις και η απομάκρυνση του κινδύνου διχοτόμησης της Κερκίνης. Επίσης θα βελτιωθούν σημαντικά οι συνθήκες κυκλοφορίας και οξυγόνωσης του νερού στο χώρο του νεκρού όγκου, ενώ η νέα κοίτη θα αποτελέσει ένα φυσικό φράγμα για τους καταστροφείς του βιότοπου, οι οποίοι σήμερα εισέρχονται ελεύθερα και καταστρέφουν ότι μπορούν (δάσος, πτηνά, γάρια κλπ.).

Εάν κατασκευαστούν όλα τα προτεινόμενα ανωτέρω έργα, είναι βέβαιο ότι η ζωή και η λειτουργία της Κερκίνης μπορούν να παραταθούν σημαντικά και να αποτραπούν οι κίνδυνοι που απειλούν τον ταμιευτήρα.

Κρίνεται επίσης σκόπιμη και η εκτέλεση των έργων της β' φάσης του αρχικού προγράμματος (1982/84), έτσι ώστε να ενισχυθεί η ασφάλεια των αναχωμάτων του ταμιευτήρα, να αυξηθεί η παροχρητική ικανότητα της κοίτης του Στρομόνα κατάντη του φράγματος (περιοχές Αχινού και Αμφίπολης) και να εξασφαλιστεί η αντιπλημμυρική προστασία της Σερραϊκής πεδιάδας

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αλτηγός, Ν., 1962. Προμελέτη πεδιάδος Σερρών. Υδρολογία. Υπηρ. Υδρ. Έργων, Υπουργ. Δημ. Έργων. Αθήνα, τ. Α', 108 p.
- Borland, W.M. and Miller, C.R., 1958. Distribution of sediment in large reservoirs. *Jur. Hydr. Div., ASCE*, 84, HYZ.
- Boyce, R.C., 1975. Sediment routing and sediment delivery ratios. U.S. Dept. of Agr., Agr. Res. Serv., A.R.S.-40, 61-5.
- Brune, G.M., 1953. Trap efficiency of reservoirs. *Trans. Am. Geoph. Union*, 34,3.
- Bulgarian Academy of Sciences: Catalog of the Hydro-Meteorological Service. *Yearbooks 1930-1990*.
- Δαούλας, Ε. & Σια., 1989. Μελέτη αναθεώρησης υδατικού ισοζυγίου λίμνης Κερκίνης. Δ/ση Υδρ. Έργων τέως 14ης ΠΥΔΕ, Αθήνα, 57 p.
- Ευμορφόπουλος, Λ., 1961. Αλλαγές στον κόλπο της Θεσσαλονίκης. *Τεχνικά Χρονικά*, 205-208.
- Jansen, J.M.L. and Painter, R.B., 1974. Predicting sediment yield from climate and topography. *Jour. Hydrol.*, 21, 371-80.
- Jansson, M.B., 1982. Land erosion by water in different climates. U.N.G.I. Rapport, 57. Uppsala Univ. Dept. Physical Geog.
- Jovanovic, S. and Vukcevic, M., 1957. Suspended sediment regimes on some watercourses in Yugoslavia and analysis of erosion processes. *Int. Ass. Sci. Hydr. Publ.* 43, 337-59.
- Kotoulas, D., 1984. Bodenabtrag und Ablagerungen in Griechenland am Beispiel das Gebirgsland und der Ebene von Thessaloniki. *Interpr. Vilach*.
- Monks, J. & Sons - Ulen & CO., 1929. Υδραυλικά Έργα πεδιάδων Σερρών και Δράμας. Προμελέτη. Αθήνα 126 p.
- Walling, D.E. & Webb, B.W., 1987. Material transport by the world's rivers: Evolving perspectives. *Hydrology in Perspective. Int. Ass. Sci. Hydrology, publ.* 164, 313-329.
- Φιλοβίκος, Α., Αλμπανάκης, Κ. και Παπαφιλίππου-Πέννου, Ε., 1992. Έρευνα του προβλήματος της πρόσχωσης της λίμνης Κερκίνης και της κοίτης του ποταμού Στρομόνα και προτάσεις αντιμετώπισης αυτού. *Επιτρ. Ερευνών Α.Π.Θ.* 205 p.
- Zagorcev, I.S., 1992. Neotectonic development of the Struma (Kraistid) Lineament, SW. Bulgaria and N. Greece. *Geol. Mag.* 129 (2), 197-222.

ΤΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΡΗΞΕΩΣ ΕΝΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Σακκάς Ιωάννης, Καθηγητής Πολυτεχνικής Σχολής Δ.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σημαντικός αριθμός φραγμάτων, μικρών και μεγάλων, έχουν κατασκευασθεί κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Η κατασκευή παρομοίων έργων θα συνεχισθεί και στο μέλλον για την κάλυψη των διαρκώς αυξανόμενων αναγκών του ανθρώπου σε νερό για ύδρευση, άρδευση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και για αντιπλημμυρική προστασία. Ο κίνδυνος καταστροφής ενός φράγματος, καίτοι θεωρητικώς πολύ μικρός, εξακολουθεί να υφίσταται. Η δυνάμενη να δημιουργηθεί πλημμύρα από την καταστροφή ενός φράγματος αποθηκείσεως ύδατος σε ένα ρεύμα είναι ασυγκρίτως μεγαλύτερη από τις συνήθεις φυσικές πλημμύρες του ρεύματος. Απαιτείται ως εκ τούτου η εκτίμηση του μεγέθους της πλημμύρας αυτής και η λήψη εκ των προτέρων των αναγκαίων μέτρων για την αποφυγή ή ελάττωση των δυσμενών επιπτώσεών της. Στην παρούσα εργασία αναπτύσσεται μια μεθοδολογία για την εκτίμηση των κυρίων χαρακτηριστικών της δυνάμενης να προκύψει πλημμύρας από την στιγμιαία και ολοκληρωτική καταστροφή ενός φράγματος αποθηκείσεως ύδατος σ' έναν αγωγό πρισματικής μορφής ή δυνάμενο να μετασχηματισθεί σε τέτοιο. Δίδεται δε ένα πλήρες παράδειγμα εφαρμογής της μεθοδολογίας αυτής.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Δεν αποτελεί σπάνιο γεγονός η αναγραφή στον καθημερινό τύπο ειδήσεων που αναφέρονται στην καταστροφή ενός φράγματος αποθηκείσεως ύδατος και στις συνέπειες της καταστροφής αυτής. Σε αρκετές περιπτώσεις οι τελευταίες πλησιάζουν, τόσο από απόψεως ανθρωπίνων θυμάτων όσο και υλικών ζημιών, τις αντίστοιχες συνέπειες ενός καταστρεπτικού σεισμού. Ως παραδείγματα μπορεί να αναφερθούν αφ' ενός η καταστροφή του φράγματος Malpasset της Γαλλίας το 1959, που προκάλεσε ζημιές ύψους $1.5 \cdot 10^9$ δραχμών της εποχής εκείνης (Gruneir, 1963), και αφ' ετέρου η καταστροφή του φράγματος Teton στο Idaho των ΗΠΑ το έτος 1976, οι υλικές ζημιές της οποίας υπολογίσθηκαν σε $40 \cdot 10^9$ δραχμές (ENR, 1976). Αλλ' ενώ τα ανθρώπινα θύματα στην δεύτερη περίπτωση ανήλθαν μόνον σε 10, στην πρώτη περίπτωση έφθασαν τα 300.

Τα φράγματα, επομένως, όπως και κάθε τεχνικό έργο του ανθρώπου, ιδίως δε όσα διαταράσσουν την υπάρχουσα ισορροπία στην φύση, υπόκεινται στον κίνδυνο καταστροφής. Από τα 9000 περίπου φράγματα ύψους άνω των 15 m που έχουν κατασκευασθεί από το 1800 μέχρι το 1965, περισσότερα από 500 παρουσίασαν σοβαρές βλάβες και 200 τουλάχιστον έχουν καταστραφή, δηλαδή σε ποσοστό 5.5% και 2.2% αντιστοίχως (ICOL, 1974, p.10). Με την ανάπτυξη της τεχνικής του υπολογισμού και της αρτιότερης κατασκευής των φραγμάτων, το ποσοστό των καταστροφών για τα φράγματα που κατασκευάσθηκαν κατά την περίοδο 1930-1965 δεν υπερβαίνει το 0.5% (ICOL, 1974, p.153).

Παρ' όλα αυτά ο κίνδυνος εξακολουθεί να υπάρχει και ίσως γίνεται μεγαλύτερος καθώς με την πρόοδο της τεχνικής αυξάνει το μέγεθος των κατασκευαζομένων φραγμάτων και αναπτύσσονται γεωργικώς, βιομηχανικώς και οικιστικώς οι κατάντη των φραγμάτων πεδινές εκτάσεις, οι οποίες αποτελούν τον κυριώτερο χώρο εκδηλώσεως της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η αντιμετώπιση του δημιουργούμενου κινδύνου δεν συνίσταται στην αποφυγή κατασκευής φραγμάτων, η σημασία και αναγκαιότητα των οποίων είναι προφανής, αλλά στην λήψη εκ των προτέρων ωρισμένων μέτρων τα οποία αποσκοπούν στην ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων που είναι δυνατόν να προκύψουν από πιθανή καταστροφή ενός φράγματος αποθηκείσεως ύδατος. Τα μέτρα αυτά πρέπει να βασίζονται σε επαρκή γνώση της εκτάσεως και του μεγέθους της πλημμύρας η οποία είναι δυνατόν να προκύψει από τυχούσα καταστροφή του φράγματος. Συνίστανται δε αφ' ενός στην ορθολογιστική κατανομή σε ζώνες της κατάντη του φράγματος περιοχής αναλόγως του βαθμού του κινδύνου στον οποίο υπόκειται κάθε τμήμα της όλης περιοχής και αφ' ετέρου στην προετοιμασία σχεδίων έκτακτης ανάγκης για την έγκαιρη

εκκένωση των επικινδύνων περιοχών. Η ετοιμασία των σχεδίων αυτών προβλέπεται υποχρεωτικά και από την νομοθεσία πολλών κρατών [βλ. π.χ. State of California, 1972].

Ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών της ροής, η οποία προκύπτει από την μερική ή ολική καταστροφή ενός φράγματος αποθηκεύσεως ύδατος, αποτελεί ένα ιδιαίτερο και εξόχως ενδιαφέρον πρόβλημα τόσο από θεωρητικής όσο και από πρακτικής απόψεως. Το πρόβλημα αυτό είναι γνωστό στην Υδραυλική με την ονομασία "Πρόβλημα της ρήξεως ενός φράγματος" (the dam-break problem).

Κύριο χαρακτηριστικό του προβλήματος, σε αντίθεση με άλλα προβλήματα ασταθούς ή μη μόνιμης ροής, αποτελεί η, λόγω της ρήξεως, δημιουργία στην θέση του φράγματος ενός υδρογραφήματος παροχής με αποτόμωσ ανερχόμενο σε υψηλές τιμές ανιόν σκέλος και περαιτέρω την εμφάνιση ενός ισχυρού πλημμυρικού κύματος με αποτόμο μέτωπο το οποίο προωθείται προς τα κατάντη με μεγάλη ταχύτητα.

Αποτέλεσμα των υψηλών ταχυτήτων και του μεγάλου βάθους ροής είναι η ταχεία επέκταση και η ευρεία εξάπλωση της πλημμύρας με επακόλουθο τις εκτεταμένες υλικές και άλλες ζημιές.

Το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε αρχικώς επί θεωρητικής βάσεως από τον Ritter (1892) και επί πειραματικής βάσεως από τον Schoklitsch (1917). Αναλυτικές λύσεις, με σημαντικές απλοποιητικές παραδοχές, έχουν δοθεί από τους Dressler (1952), Whitham (1955), Su (1970) and Hunt (1984a, b). Αριθμητικές λύσεις έχουν δοθεί μεταξύ άλλων από τους Faure et Nahas (1961), Dracos, (1970), Chervet and Dalles (1970), Sakkas and Strelkoff (1973, 1976), Fread (1977), Katopodes and Strelkoff (1978), Chen and Armbruster (1980), Katopodes (1980), Schamber and Katopodes (1984), Bellos and Sakkas (1987), Fennema and Chaudhry (1987, 1989), Di Monaco and Molinaro (1988) and Bellos et al. (1991).

Λόγω της σπουδαιότητας αλλά και της πολυπλοκότητας του προβλήματος ωρισμένα γραφεία Μελετών, ειδικευόμενα στην ανάπτυξη ειδικών προγραμμάτων ηλεκτρονικού υπολογιστή, έχουν ασχοληθεί με το πρόβλημα της ρήξεως ενός φράγματος και έχουν αναπτύξει παρόμοια προγράμματα κατάλληλα και για προσωπικούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές (PC) με κάποια επαρκή μνήμη (Heastadt 1988, USBR 1981).

Τα προγράμματα αυτά, τροφοδοτούμενα με τα κατάλληλα δεδομένα, παρέχουν την λύση του προβλήματος. Τα διατιθέμενα στο εμπόριο προγράμματα δίδονται συνήθως υπό εκτελέσιμη μορφή (EXE) και ουδεμία παρέμβαση στην λειτουργία τους ή τροποποίηση, πέραν εκείνης που καθορίζεται από τα δεδομένα, είναι δυνατή.

2. ΦΥΣΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Για την κατά το δυνατόν ευκολότερη περιγραφή του φυσικού φαινομένου της ρήξεως ενός φράγματος αποθηκεύσεως ύδατος θεωρείται ότι το φράγμα ευρίσκεται σ' έναν πρισματικό αγωγό, η δε καταστροφή του είναι στιγμιαία και ολική (βλ. Σχ. 1).

Η εκροή του ύδατος από τον ταμειυτήρα, λόγω της αφαιρέσεως του φράγματος, δημιουργεί ένα αρνητικό επιφανειακό κύμα (πτώση της στάθμης) το μέτωπο του οποίου μεταδίδεται προς τα ανάντη με ταχύτητα η οποία εξαρτάται από το αρχικό βάθος του ύδατος στο εκάστοτε σημείο. Ανάντη του μετώπου αυτού η μάζα του ύδατος παραμένει αδιατάρακτη ενώ στη διαταραχθείσα περιοχή η ροή είναι γενικώς υποκρίσιμη.

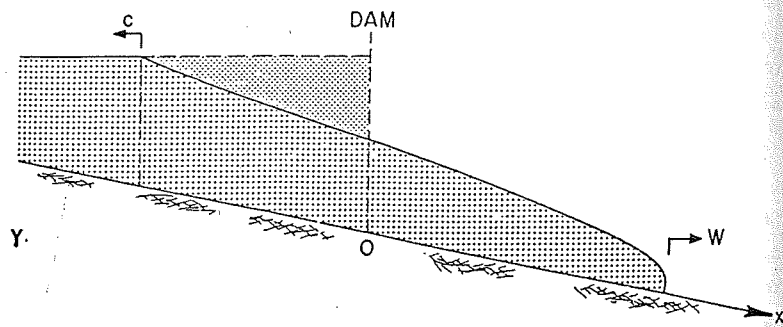
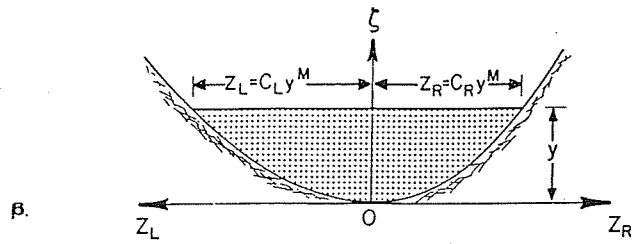
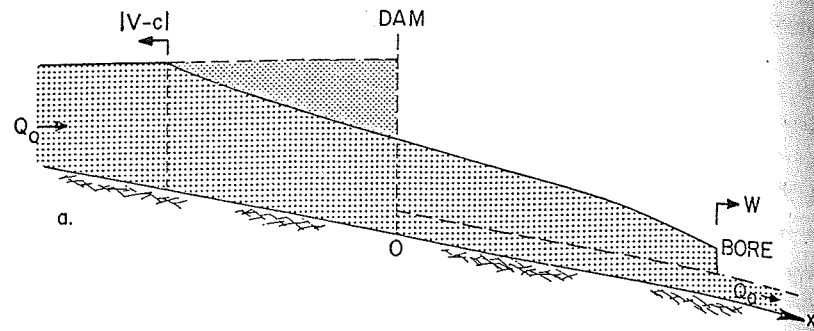
Στην θέση του φράγματος η ροή είναι αρχικώς κρίσιμη. Η εκρέουσα παροχή εξαρτάται από το βάθος του ύδατος όπισθεν του φράγματος και το μέγεθος του ορήματος.

Η εκρέουσα παροχή ύδατος δημιουργεί ένα θετικό κύμα το οποίο προελαύνει προς τα κατάντη με ταχύτητα εξαρτώμενη από το αρχικό βάθος του ύδατος όπισθεν του φράγματος και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της κοιλάδας. Η ροή είναι αρχικώς υπερκρίσιμη, με την πάροδο όμως του χρόνου και την επίδραση της αντιστάσεως των τοιχωμάτων του αγωγού ενδέχεται να καταστή υποκρίσιμη στο μεγαλύτερο μέρος του θετικού κύματος. Το βάθος ροής στην περιοχή του μετώπου του κύματος ελαττούται μάλλον αποτόμωσ κατά την διεύθυνση της ροής και καθίσταται μηδενικό στην θέση του μετώπου όπου η εφαπτόμενη της επιφάνειας του νερού καθίσταται κατακόρυφη.

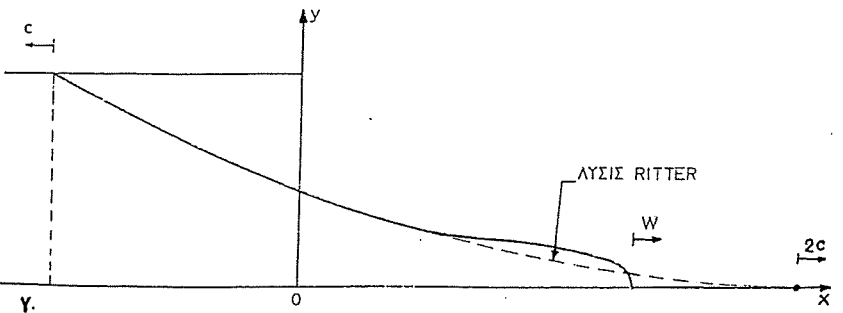
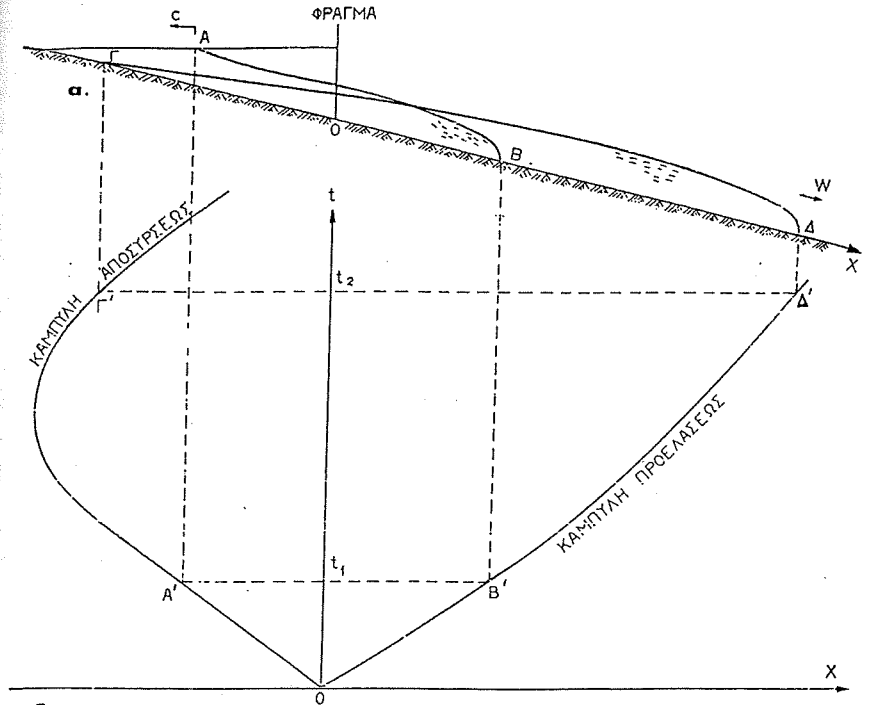
Μετά την άφιξη του αρνητικού κύματος στο ανάντη άκρο του ταμειυτήρα, όπου το βάθος του ύδατος είναι μηδενικό, αρχίζει η φάση αποσύρσεως. Κατά την φάση αυτή δημιουργείται το ανάντη κινητό όριο του πεδίου ροής, όπου το βάθος του ύδατος ελαττούται επίσης στο μηδέν με επιφάνεια ύδατος η οποία εφάπτεται στον πυθμένα. Στο Σχ. 2 δίδεται ποιοτικώς η εξέλιξη του φαινομένου και η σχηματική παράσταση του πεδίου ροής στο επίπεδο $x-t$.

Δεδομένου ότι η επιφάνεια του αγωγού εντός του οποίου διαδίδεται το θετικό κύμα είναι διαπερατή, η μάζα του ύδατος στην επιφανειακή αποθήκευση βαθμιαίως ελαττούται μέχρις ότου (θεωρητικώς) εξαφανισθεί δια διηθήσεως εντός του εδάφους καθ' ον χρόνον μετακινείται προς τα κατάντη. Από πρακτικής όμως απόψεως η διηθούμενη ποσότητα ύδατος είναι τόσο μικρή σε σχέση με την επιφανειακή ροή ώστε μπορεί να παραλειφθή χωρίς σημαντικό σφάλμα.

Στην γενική του όμως περίπτωση και όπως είναι δυνατόν να παρουσιασθή



Σχ. 1. Σχηματική παράσταση πλημμυρικού κύματος από την ρήξη ενός φράγματος αποθηκεύσεως ύδατος σε πρισματικό αγωγό: α) προέλαση του κύματος σε προϋπάρχουσα ροή, β) εγκάρσια τομή του αγωγού και γ) προέλαση του κύματος σε ξηρό πυθμένα



Σχ. 2. Ποιοτική εξέλιξη πλημμυρικού κύματος από ρήξη φράγματος: α) το φυσικό πρόβλημα σε κεκλιμένο αγωγό, β) χρονική εξέλιξη των ορίων του κύματος στο επίπεδο $x-t$, γ) το φυσικό πρόβλημα σε οριζόντιο αγωγό μαζί με την λύση Ritter

στην πράξη, το πρόβλημα της ρήξεως ενός φράγματος αποθηκεύσεως ύδατος εμφανίζεται υπό ποικιλία μορφών και είναι ακούντως περίπλοκο.

Το πεδίο ροής δεν είναι σταθερό εφ' όσον το κατάντη όριο του είναι συνεχώς μεταβαλλόμενο λόγω της μετακινήσεως του προελαύνοντος μετώπου του δημιουργούμενου από την ρήξη πλημμυρικού κύματος. Ανάλογη κατάσταση υφίσταται και στο ανάντη όριο κατά την φάση της αποσύρσεως του ύδατος.

Η ροή είναι κατ' ουσίαν διδιάστατη, στην περιοχή δε του φράγματος, και κυρίως κατά την αρχική φάση της ροής, αυτή είναι τρισδιάστατη. Για λόγους όμως απλοποιήσεως του υπολογισμού χρησιμοποιείται κατά κανόνα η μονοδιάστατη μέθοδος περιγραφής και αναλύσεως του φαινομένου.

Ο αγωγός μέσα στον οποίο εκτυλίσσεται το φαινόμενο είναι γενικώς μη πρισματικός, για λόγους όμως απλοποιήσεως είναι δυνατή η αντικατάσταση του μη πρισματικού με έναν ισοδύναμο πρισματικό αγωγό.

Την μεγαλύτερη όμως δυνατότητα διακυμάνσεως παρουσιάζει ο παράγοντας "ρήγμα". Η μεταβλητότητα του παράγοντα αυτού οφείλεται στις σημαντικές διακυμάνσεις που μπορούν να παρουσιάσουν τα τρία κύρια χαρακτηριστικά του:

- α) Η έκταση του ρήγματος: μερική έως ολική καταστροφή του φράγματος.
- β) Το σχήμα του ρήγματος: Η διατομή του ρήγματος ποικίλει από ορθογωνική ή τριγωνική σε τραπεζοειδή ή παραβολική.
- γ) Ο χρόνος αναπτύξεως του ρήγματος: στιγμιαία καταστροφή ή βαθμιαία, ποικίλουσας εντάσεως ή διάρκειας.

Αξιόπιστα αντικειμενικά κριτήρια για την εκτίμηση των ανωτέρω χαρακτηριστικών του ρήγματος που μπορεί να αναπτυχθή σε ένα, κυρίως χωμάτινο, φράγμα δεν έχουν ακόμη διατυπωθή. Ο μηχανισμός αναπτύξεως του ρήγματος δεν είναι πλήρως γνωστός είτε πρόκειται για φράγματα σκυροδέματος ή για χωμάτινα. Ως εκ τούτου καθίσταται αναγκαία η προσφυγή σε υποθέσεις και στην υποκειμενική κρίση του μελετητή.

Η ροή στον αγωγό κατάντη του φράγματος και πριν από την ρήξη του τελευταίου είναι κατά κανόνα σχετικώς πολύ μικρή με αποτέλεσμα η προέλαση του μετώπου του δημιουργούμενου από την ρήξη πλημμυρικού κύματος να γίνεται κατ' ουσίαν πάνω σε "ξηρή" επιφάνεια (βλ. Σχ. 1α). Διακρίνεται έτσι το ειδικότερο πρόβλημα "της ρήξεως ενός φράγματος σε ξηρό πυθμένα" (Dry-bed dam-break problem). Όταν η αρχική ροή στον κατάντη αγωγό είναι σημαντική και η προέλαση του μετώπου του πλημμυρικού κύματος γίνεται κατά το μεγαλύτερο μέρος επάνω σε υφιστάμενη υδάτινη επιφάνεια τότε προκύπτει "το πρόβλημα της ρήξεως ενός φράγματος σε υγρό πυθμένα" (Wet-bed dam-break problem (βλ. Σχ. 1γ)). Ενώ δε στην πρώτη περίπτωση (του ξηρού πυθμένα) το βάθος ροής ελαττώνεται συνεχώς

μέχρι του μηδενός στην άκρη του προελαύνοντος μετώπου, στην δεύτερη περίπτωση (του υγρού πυθμένα) το μέτωπο του προελαύνοντος κύματος συνίσταται από ένα κινούμενο υδραυλικό άλμα το οποίο αποτελεί και την διαχωριστική ζώνη μεταξύ της αρχικής και της νέας ροής.

Η διαφοροποίηση αυτή του κατάντη ορίου του πλημμυρικού κύματος ενέχει ιδιαίτερη σημασία για τον υπολογισμό της ροής.

3. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

3.1 Εξισώσεις de Saint Venant

Η ασταθής ροή, η οποία παρουσιάζεται στην μετάδοση ενός πλημμυρικού κύματος σε έναν μη πρισματικό αγωγό, περιγράφεται από τις εξισώσεις de Saint Venant (Strelkoff 1970, Σακκάς 1980, Τερζίδης 1982) οι οποίες για την περίπτωση μηδενικής πλευρικής εισροής ή εκροής έχουν ως ακολούθως:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2V \frac{\partial Q}{\partial x} + gA(1 - F^2) \frac{\partial y}{\partial x} = gA(S_0 - S_f) + V^2 A \frac{\partial y}{\partial x} \quad (2)$$

όπου x = απόσταση, θετική κατά την διεύθυνση της ροής, t = χρόνος, $y(x, t)$ = βάθος ροής, $A[y(x, t), x]$ = επιφάνεια υγρής διατομής, $Q(x, t)$ = παροχή, $V(x, t) = Q/A$ = μέση ταχύτητα ροής σε μια διατομή, g = η επιτάχυνση της βαρύτητας, F = ο τοπικός αριθμός Froude, διδόμενος από την σχέση

$$F = \frac{V}{\sqrt{gA/B}} \quad (3)$$

S_0 = η κλίση του πυθμένα του αγωγού, S_f = η κλίση λόγω αντιστάσεων τριβής ή απώλεια φορτίου ανά μονάδα μήκους του αγωγού και

$$A \frac{\partial y}{\partial x} = \left[\frac{\partial A}{\partial x} \right]_{y=\text{σταθερό}} \quad (4)$$

αντιπροσωπεύει την μεταβολή της διατομής του αγωγού λόγω της μη πρισματικότητάς του.

Βασικές παραδοχές ισχύος των Εξ. 1-2 είναι ότι η ροή είναι μονοδιάστατη και βαθμιαίως μεταβαλλόμενη, η κλίση του πυθμένα του αγωγού S_0 είναι επαρκώς μικρή, η κατανομή των πιέσεων σε κάθε διατομή ακολουθεί τον υδροστατικό νόμο

(γραμμική μεταβολή με το βάθος) και η κατανομή της ταχύτητας σε κάθε διατομή είναι αισθητά ομοιόμορφη και αντιπροσωπεύεται από την μέση ταχύτητα V .

Η αντίσταση λόγω τριβών και τυρβώδους εκφράζεται με τον ίδιο τρόπο όπως και στην ομοιόμορφη ροή για την αυτή τιμή των στοιχείων ροής Q και A . Ητοι χρησιμοποιείται η εξίσωση Manning

$$V = \frac{C_u}{n} R^{2/3} S_f^{1/2} \quad (5)$$

όπου C_u = συντελεστής με τιμή εξαρτώμενη από το χρησιμοποιούμενο σύστημα μονάδων μετρήσεως ($C_u = 1.0$ στο Μετρικό και $C_u = 1.486$ στο Βρετανικό σύστημα), n = συντελεστής τραχύτητας κατά Manning και $R = A / P$ = υδραυλική ακτίνα όπου P = βρεχόμενη περίμετρος της διατομής του αγωγού.

3.2 Αρχικές και οριακές συνθήκες

Η λύση των Εξ. 1-2 προϋποθέτει κατ' αρχήν τον ορισμό των αρχικών και οριακών συνθηκών με τις οποίες καθορίζεται επακριβώς το προς επίλυση πρόβλημα.

Η μορφή των χρησιμοποιούμενων συνθηκών εξαρτάται και από την χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία επιλύσεως του προβλήματος. Για τον λόγον αυτόν η μαθηματική διατύπωση των αρχικών και οριακών συνθηκών θα γίνει στα επόμενα σε συνδυασμό με την μεθοδολογία αυτή.

3.3 Μεθοδολογία επιλύσεως

Η χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία επιλύσεως είναι δυνατόν να ακολουθήσει διάφορες κατευθύνσεις όπως:

- την μέθοδο των χαρακτηριστικών είτε με την κατασκευή του δικτύου των χαρακτηριστικών γραμμών ή με την χρήση ενός ορθογωνικού καννάβου στο επίπεδο $x - t$.
- την χρήση μεθόδων πεπερασμένων διαφορών σε ορθογωνικό κάρναβο είτε των αρχικών εξισώσεων ή κάποιας μετασχηματισμένης μορφής των και
- την χρήση πεπερασμένων στοιχείων ή όγκων.

Στην παρούσα εργασία θα αναπτυχθεί η λύση που επιτεύχθηκε με την μέθοδο των χαρακτηριστικών στο δίκτυο των χαρακτηριστικών γραμμών.

4. ΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

4.1 Εξισώσεις de Saint - Venant για πρισματικό αγωγό.

Με την ανάπτυξη των παραγών οι Εξ. 1-2 λαμβάνουν την πλέον συνήθη μορφή των εξισώσεων de Saint Venant για ασταθή ροή σ' έναν πρισματικό αγωγό

$$\bar{A} \frac{\partial \bar{V}}{\partial x} + \bar{B} \bar{V} \frac{\partial \bar{y}}{\partial x} + \bar{B} \frac{\partial \bar{y}}{\partial t} = 0 \quad (6a)$$

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + \bar{V} \frac{\partial \bar{V}}{\partial x} + \bar{g} \frac{\partial \bar{y}}{\partial x} = \bar{g} (S_0 - S_f) \quad (6b)$$

Στην παράγραφο 4 η επιγραμμή σε μια μεταβλητή υποδηλώνει διαστατική μεταβλητή, έλλειψη επιγραμμής χαρακτηρίζει αδιάστατη μεταβλητή. Στην Εξ. 6a \bar{B} = το πλάτος της υγρής διατομής στην επιφάνεια του νερού.

4.2 Αδιαστατοποίηση των εξισώσεων de Saint Venant

Για να καταστή δυνατή η σύνταξη περιορισμένης εκτάσεως νομογραφημάτων της λύσεως του προβλήματος της ρήξεως ενός φράγματος σε πρισματικό αγωγό είναι αναγκαία η εισαγωγή αδιαστάτων μεταβλητών με τις οποίες ελαχιστοποιείται ο αριθμός των υπεισερχομένων στο πρόβλημα παραμέτρων.

Λαμβάνοντας ως χαρακτηριστικά μεγέθη αδιαστατοποιήσεως: \bar{L}_0 για τις κατά μήκος αποστάσεις, \bar{V}_0 για τα μήκη της διατομής (βάθος, περίμετρος κλπ.), \bar{T}_0 για τον χρόνο και \bar{V}_0 για την ταχύτητα, οι ακόλουθες αδιάστατες μεταβλητές είναι δυνατόν να ορισθούν:

$$x = \bar{x} / \bar{L}_0, \quad t = \bar{t} / \bar{T}_0, \quad y = \bar{y} / \bar{V}_0, \quad v = \bar{v} / \bar{V}_0$$

$$A = \bar{A} / \bar{V}_0^2, \quad B = \bar{B} / \bar{V}_0, \quad P = \bar{P} / \bar{V}_0, \quad R = \bar{R} / \bar{V}_0$$

Εισάγοντες τις ανωτέρω μεταβλητές στις Εξ. 6a-β και ορίζοντες

$$\bar{L}_0 = \bar{T}_0 \bar{V}_0, \quad \bar{V}_0 = \bar{L}_0 S_0 \quad (7a, \beta)$$

$$\bar{V}_0 = \frac{\bar{C}u}{n} R_0^{2/3} S_0^{1/2}, \quad F_0 = \frac{\bar{V}_0}{\sqrt{g \bar{y}_0}} \quad (7\gamma, \delta)$$

Οι Εξ. 6α-β λαμβάνουν την αδιάστατη μορφή

$$\frac{A}{B} \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (8\alpha)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{F_0^2} \frac{\partial y}{\partial x} = \frac{1}{F_0^2} \left[1 - V^2 \left(\frac{R_0}{R} \right)^{4/3} \right] \quad (8\beta)$$

όπου $R_0 = \eta$ αδιάστατη υδραυλική ακτίνα η οποία αντιστοιχεί στο βάθος $\bar{y} = \bar{y}_0$ ήτοι σε αδιάστατο βάθος ίσο προς την μονάδα.

Για απλούστευση, το \bar{V}_0 λαμβάνεται ίσον προς την μέγιστη τιμή του βάθους του νερού αμέσως ανάντη του φράγματος. Στην περίπτωση αυτή το \bar{L}_0 παριστάνει το μήκος του ταμιευτήρα (βλ. Σχ. 3α), η δε ανωτέρω αδιαστατοποίηση μετασχηματίζει την γεωμετρία του ταμιευτήρα από την μορφή του Σχ. 3α σε αυτήν του Σχ. 3β. Στην συνέχεια, για μια ωρισμένη γεωμετρική μορφή της διατομής του αγωγού και δεδομένες τιμές της κλίσεως του πυθμένα S_0 και του συντελεστή τραχύτητας n , προκύπτουν οι τιμές των \bar{V}_0 , \bar{L}_0 , \bar{T}_0 και F_0 με την βοήθεια των Εξ. 7.

Οι Εξ. 8 ισχύουν για αγωγούς με μη μηδενική κλίση πυθμένα.

4.3 Γεωμετρία της Διατομής

Στην παρούσα εργασία ο αγωγός υποτίθεται πρισματικός και το πλάτος \bar{B} συνδέεται με το βάθος \bar{y} με μια σχέση της μορφής (βλ. Σχ. 1β).

$$\bar{B} = \bar{C} \bar{y}^M \quad (9)$$

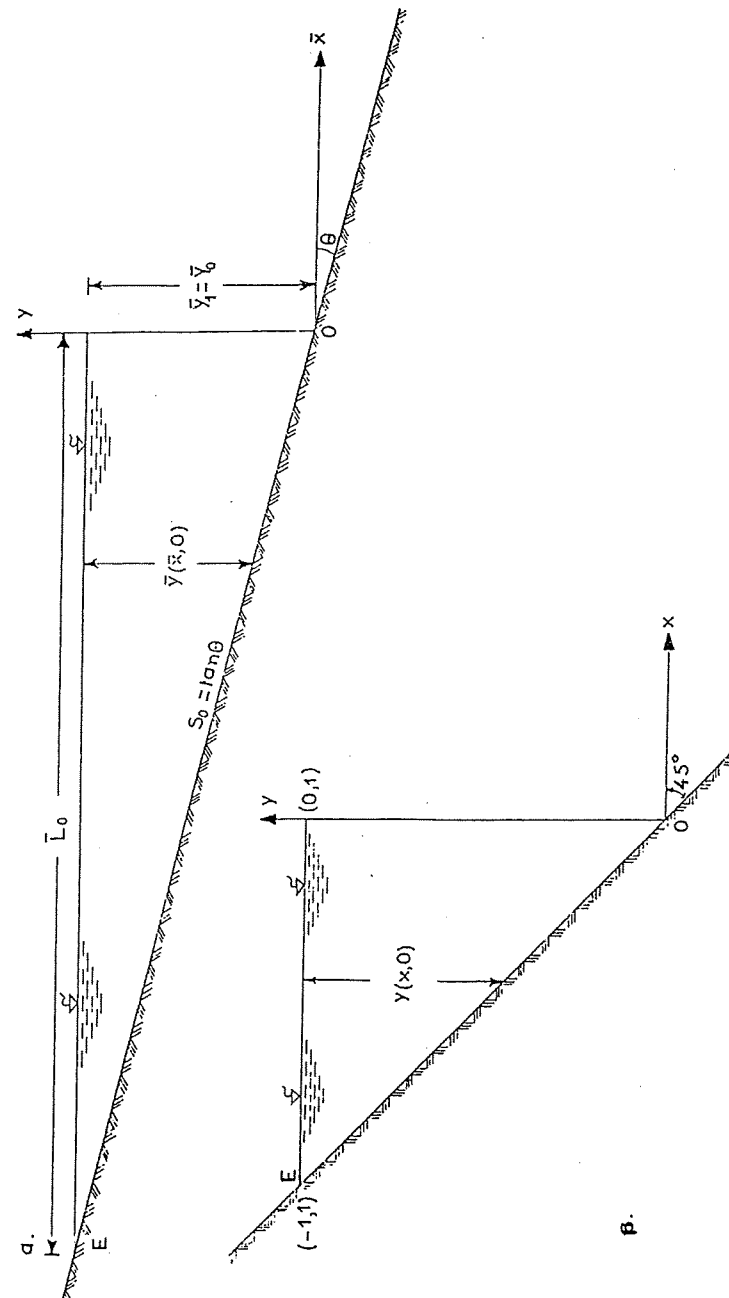
όπου \bar{C} και M είναι σταθερές ποσότητες. Αδιαστατοποίηση της Εξ. 9 παρέχει

$$B = C y^M \quad (10)$$

όπου

$$C = \bar{C} \bar{y}_0^{M-1} \quad (11)$$

Εάν \bar{B}_0 παριστάνει το εύρος της διατομής που αντιστοιχεί στο βάθος $\bar{y} = \bar{y}_0$,



Σχ. 3. Σχηματική παράσταση της γεωμετρίας του ταμιευτήρα: α) φυσική κατάσταση, β) μετά τον μετασχηματισμό

τότε είναι προφανές ότι $C = \bar{B}_0/\bar{V}_0$ είναι το σχετικό πλάτος της υγρής διατομής στην θέση του φράγματος. Σημειωτέον ότι η Εξ. 9 για $M = 0$ περιγράφει την ορθογωνική διατομή, για $M=1$ την τριγωνική, για $M = 0.5$ την συνήθη παραβολική και για άλλες τιμές του M μεταξύ 0 και 1 την γενική παραβολική διατομή.

4.4 Λύση των εξισώσεων

Για τις λεπτομέρειες λύσεως των Εξ. 8α-β, για τις αρχικές συνθήκες και για τις ανάντη και κατόντη οριακές συνθήκες, ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης παραπέμπεται στα δημοσιεύματα (Sakkas 1972, Sakkas and Strelkoff 1973, 1976).

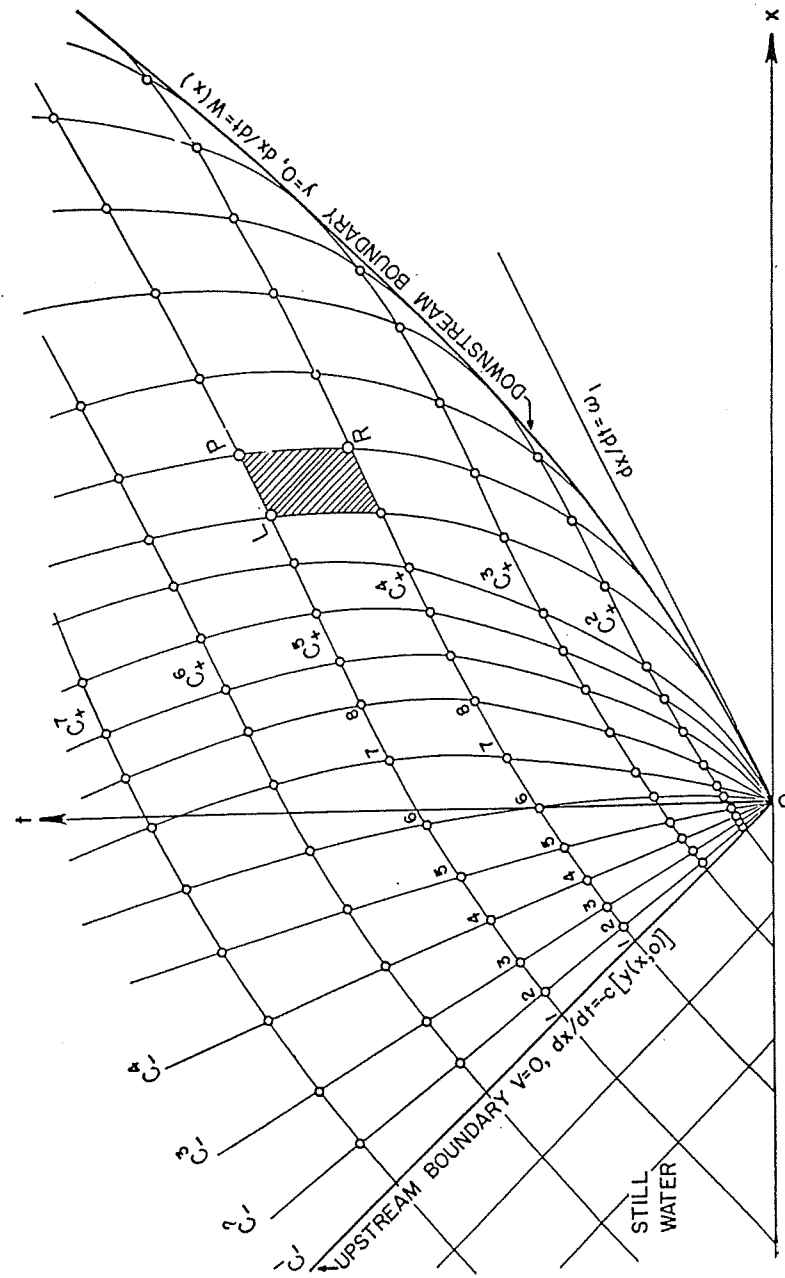
Εν περιλήψει, οι Εξ. 8 μετασχηματίζονται στην χαρακτηριστική τους μορφή και επιλύονται με αριθμητική μέθοδο πεπερασμένων διαφορών επάνω στο ανάμало δίκτυο των χαρακτηριστικών γραμμών στο επίπεδο $x-t$ χρησιμοποιώντας ένα αριθμητικό σχήμα προβλέψεως-διορθώσεως (predictor - corrector). Στο Σχ. 4 δείχνεται ποιοτικώς το θεωρητικό δίκτυο των χαρακτηριστικών γραμμών ενώ στο Σχ. 5 δείχνεται ένα τυπικό δίκτυο χαρακτηριστικών γραμμών όπως έχει χρησιμοποιηθεί κατά τον υπολογισμό.

Το νερό στον ταμιευτήρα θεωρείται ότι ευρίσκεται σε ηρεμία προ της ρήξεως του φράγματος και ο κατόντη αγωγός είναι άνευ ροής. Η ρήξη του φράγματος θεωρείται στιγμιαία και ολική. Μια γενικευμένη λύση Ritter (Sakkas 1972, Sakkas and Strelkoff 1973) θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει τις αρχικές συνθήκες κατά μήκος μιας πρόσω χαρακτηριστικής γραμμής η οποία έχει συρρικνωθεί στο σημείο $x=0, t=0$ στο επίπεδο $x-t$.

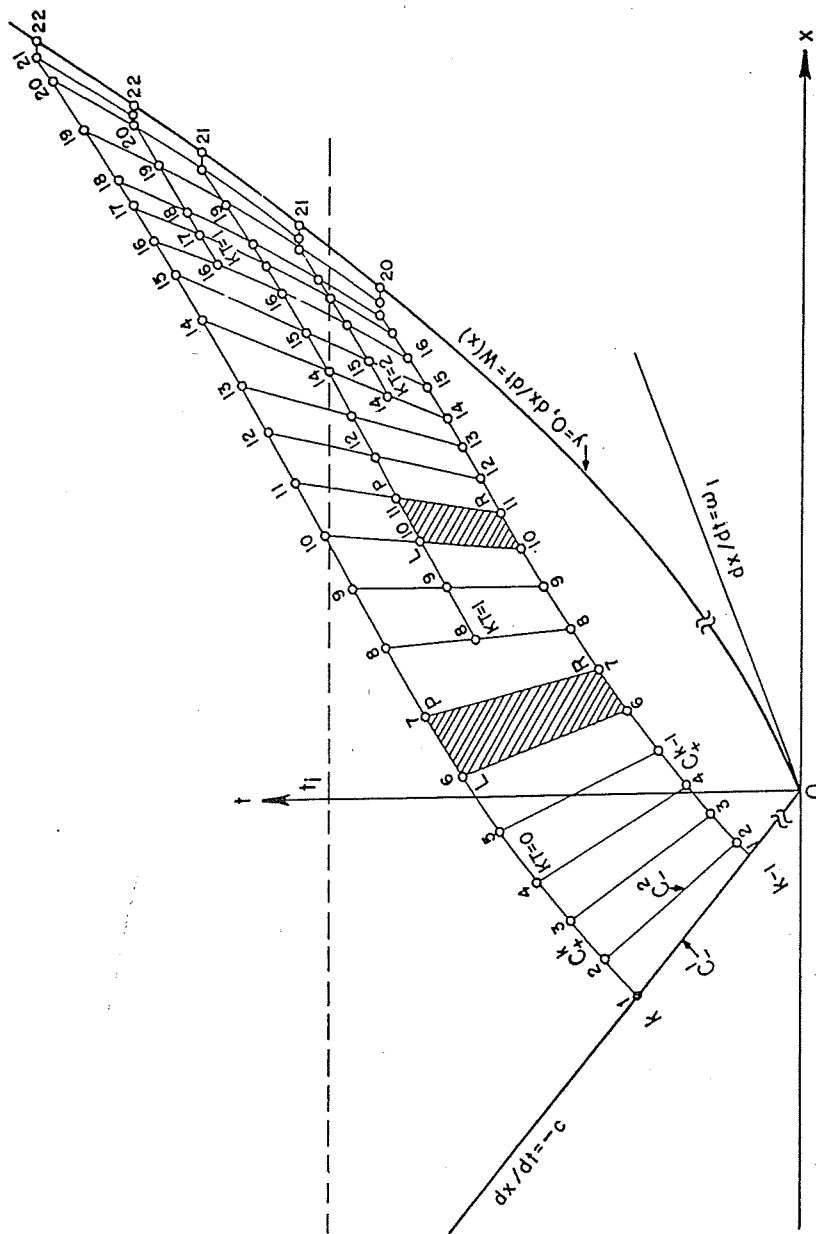
Το μέτωπο του αρνητικού κύματος, διαδιδόμενο προς τα ανάντη μέσα στο εν ηρεμία ευρισκόμενο νερό του ταμιευτήρα, αποτελεί το ανάντη όριο του πεδίου ροής όπου οι ισχύουσες συνθήκες είναι αυτές της αρχικής (μηδενικής) ροής. Οι ανάντη οριακές συνθήκες προσδιορίζονται κατ' αυτόν τον τρόπο μέχρις ότου το μέτωπο του αρνητικού κύματος εγγίσει το ανάντη άκρο του ταμιευτήρα σε χρόνο t_E ο οποίος δίδεται από την σχέση

$$t_E = 2 F_0 \sqrt{M + 1} \quad (12)$$

Μετά την χρονική αυτή στιγμή ένα υποθετικό ρεύμα, με βάθος ροής ίσο προς μια ελάχιστη προδιαγεγραμμένη τιμή y_m , θεωρείται ότι αρχίζει την εισροή του στον ταμιευτήρα. Τούτο δε προς τον σκοπό καλύψεως της ανάντη οριακής συνθήκης η οποία είτε πράγματι υφίσταται υπό ανάλογη μορφή ή αντιστοιχεί σε μηδενικό βάθος (ελλείψει εισροής) το οποίο όμως δεν γίνεται αποδεκτό από το μαθηματικό ομοίωμα.



Σχ. 4. Ποιοτική παράσταση του θεωρητικού δικτύου των χαρακτηριστικών γραμμών στο πρόβλημα της ρήξεως φράγματος σε ξηρό πυθμένα



Σχ. 5. Τυπικό δίκτυο χαρακτηριστικών γραμμών όπως χρησιμοποιήθηκε στην λύση του προβλήματος

Στην άμεση περιοχή του προελαύνοντος προς τα κατάντη μετώπου, όπου το βάθος ροής y τείνει προς το μηδέν και η παράγωγος $dy/dx \rightarrow -\infty$, η εφαρμογή της αριθμητικής λύσεως είναι πρακτικώς ανέφικτη. Για τον λόγο αυτό η κατατομή του ύδατος (profile) προσδιορίζεται κατ' αναλυτικό τρόπο χρησιμοποιώντας μια απλοποιημένη μορφή της Εξ. 8β, όπως έχει προταθή από τον Whitham (1955), και η οποία βασίζεται στις συνθήκες ροής που κατά ικανοποιητική προσέγγιση ισχύουν στην περιοχή του μετώπου. Τυπικές τιμές του βάθους μέχρι του οποίου εφαρμόζεται η τυπική λύση είναι της τάξεως του 0.04.

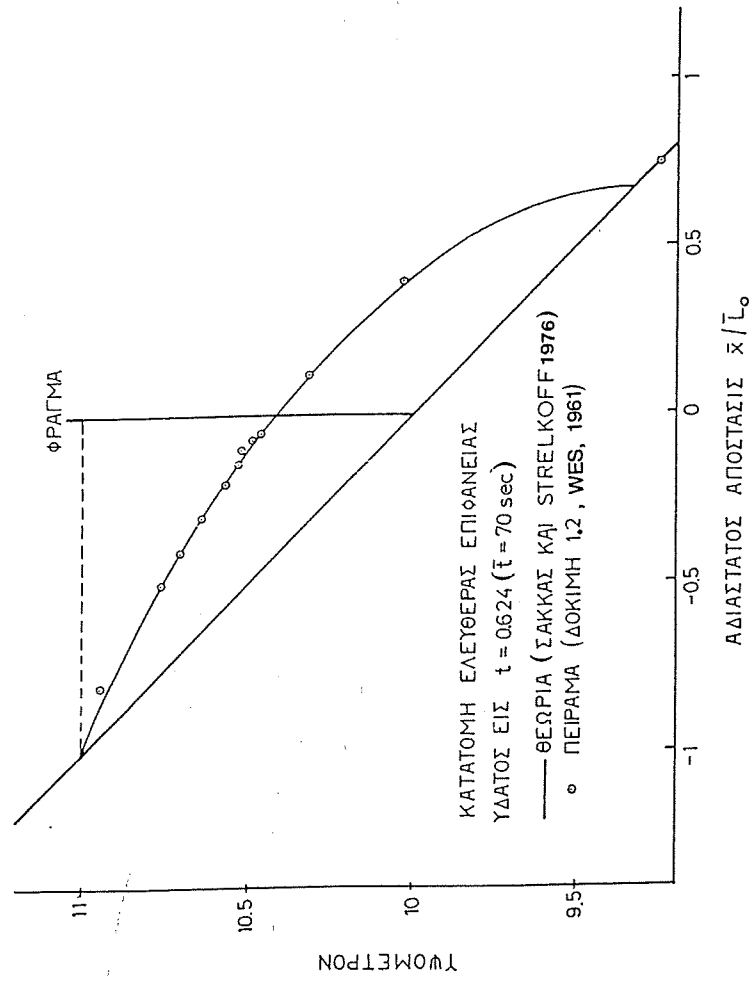
Η λύση των Εξ. 8 παρέχει τιμές του βάθους και της ταχύτητας ροής στους κόμβους του δικτύου των χαρακτηριστικών γραμμών. Αποτελέσματα που αναφέρονται σε υδρογραφήματα στάθμης και παροχής σε διάφορες θέσεις κατά μήκος του αγωγού προσδιορίζονται με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών των μεταβλητών στους κόμβους του δικτύου.

Στα Σχ. 6 και 7 γίνεται σύγκριση της επιτευχθείσας με την παρούσα μεθοδολογία λύσεως με πειραματικά δεδομένα του Waterways Experiment Station (WES 1961). Στο Σχ. 6 συγκρίνεται η κατατομή της επιφάνειας του ύδατος και στο Σχ. 7 το υδρογράφημα της στάθμης του ύδατος στην θέση του φράγματος.

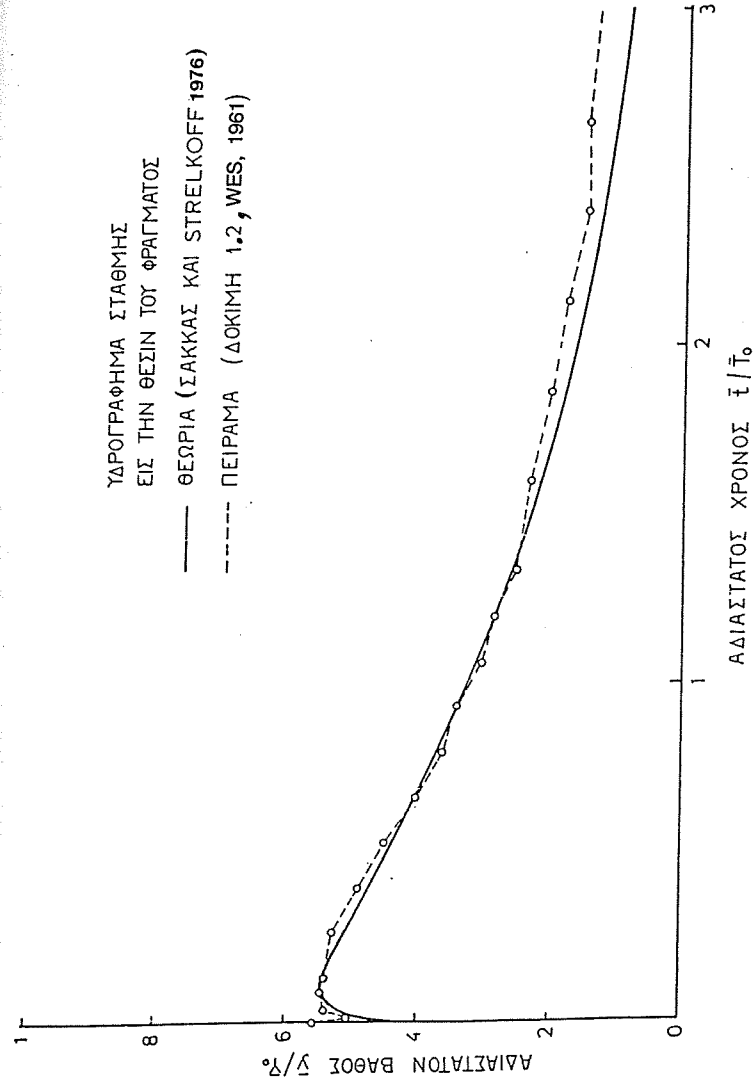
4.5 Αξιοποίηση της επιτευχθείσας λύσεως

Η λύση του προβλήματος της μεταδόσεως ενός πλημμυρικού κύματος προερχομένου από τη ρήξη ενός φράγματος αποθηκεύσεως ύδατος, η οποία επιτυγχάνεται με την χρήση του μαθηματικού ομοιώματος που αναπτύχθηκε ανωτέρω, μπορεί να δώσει τα στοιχεία ροής (ταχύτητα και βάθος ροής) σε οποιαδήποτε θέση κατάντη και για οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Από πρακτικής όμως απόψεως είναι χρήσιμο και αρκετό να γνωρίζουμε για κάθε θέση κατάντη του φράγματος την χρονική στιγμή αφίξεως του μετώπου του κύματος από την στιγμή της ρήξεως καθώς και το μέγιστο πραγματοποιούμενο βάθος ροής στην θεωρούμενη θέση. Ο χρόνος πραγματοποιήσεως του μέγιστου βάθους καίτοι είναι δευτερεύουσας σημασίας μπορεί να δώσει ενδεικτικά στοιχεία για την εξέλιξη του φαινομένου. Για την ταχεία εκτίμηση της τιμής των ανωτέρω παραγόντων, χωρίς την ανάγκη προσφυγής στον ηλεκτρονικό υπολογιστή για πλήρη λύση του προβλήματος, θα ήταν επιθυμητή η ύπαρξη απλών διαγραμμάτων τα οποία να παρέχουν τις ζητούμενες τιμές συναρτήσει ωρισμένων ευκόλως υπολογιζομένων παραμέτρων.

Με βάση την παραδοχή ενός πρισματικού αγωγού γενικής παραβολικής διατομής, όπως ωρίσθηκε με την Εξ. 9, οι γενικές εξισώσεις ροής, Εξ. 8, περιέχουν τρεις παραμέτρους F_0 , M και C επί πλέον των εξηρημένων μεταβλητών y και V και των ανεξαρτήτων μεταβλητών x και t . Επομένως οι μεταβλητές y και



ΣΧ. 6. Κατατομή της επιφάνειας του νερού στην χρονική στιγμή $t = 0.624$ ($\bar{t} = 70 \text{ s}$)



ΣΧ. 7. Υδρογράφημα στάθμης στην θέση του φράγματος

Υ είναι συναρτήσεις πέντε μεταβλητών, δηλαδή

$$y = f_1 (x, t, F_0, M, C) \quad (13)$$

$$V = f_2 (x, t, F_0, M, C) \quad (14)$$

Για δεδομένες τιμές των x , F_0 , M και C οι Εξ. 13 και 14 αντιπροσωπεύουν αντιστοίχως τα υδρογραφήματα στάθμης και ταχύτητας ροής.

Για τον προσδιορισμό της μέγιστης τιμής του βάθους ροής y_M , το οποίο επισυμβαίνει στην χρονική στιγμή t_M , η Εξ. 13 γράφεται

$$\frac{\partial y}{\partial t} \Big|_{t=t_M} = 0 \quad (15)$$

από την λύση της οποίας λαμβάνεται

$$t_M = f_3 (x, F_0, M, C) \quad (16)$$

και δι' αντικατάστασης στην Εξ. 13 $t = t_M$ λαμβάνεται

$$y_M = f_4 (x, F_0, M, C) \quad (17)$$

Η ταχύτητα μεταδόσεως του μετώπου του κύματος, W , ισούται προς την ταχύτητα ροής στην θέση του μετώπου και δίδεται από την Εξ. 14 για $x = x_w$ και $t = t_w$. Λαμβάνοντας υπόψη και τον ορισμό της ταχύτητας μπορούμε να γράψουμε

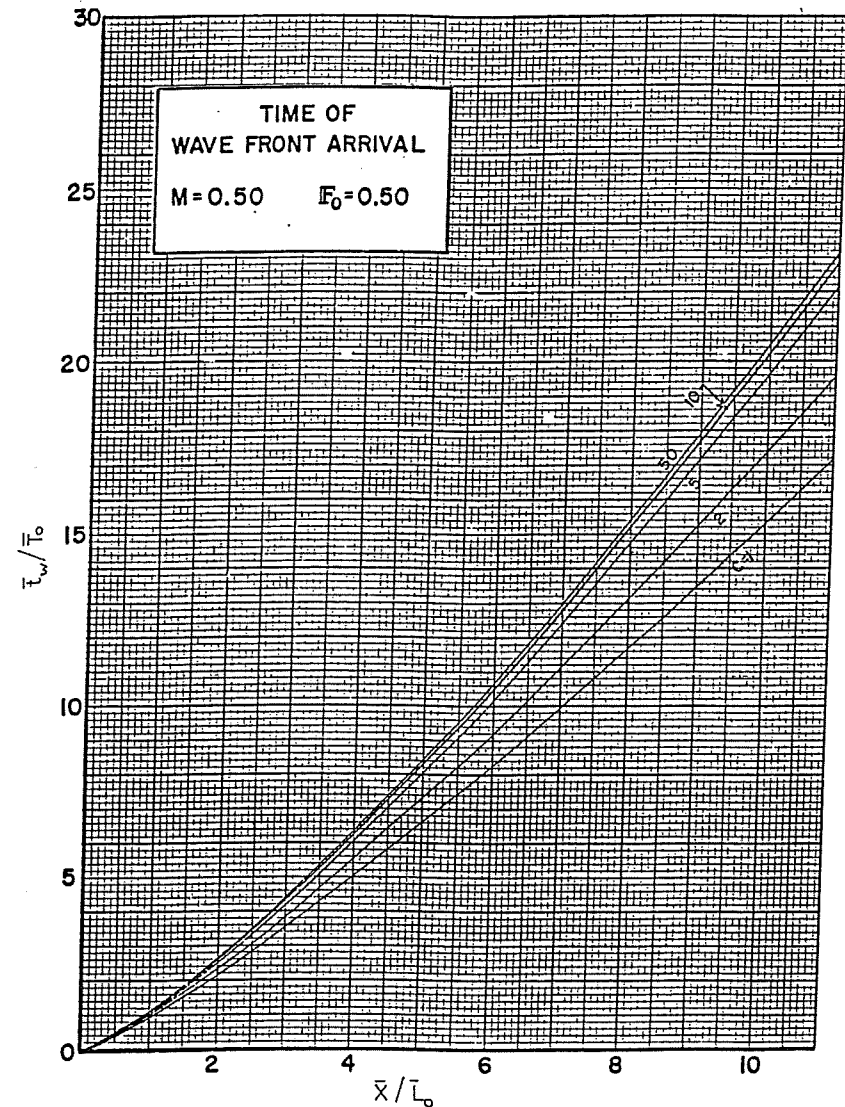
$$W = \frac{dx_w}{dt_w} = f_2 (x_w, t_w, F_0, M, C) \quad (18)$$

από τη λύση δε της διαφορικής εξίσωσης λαμβάνομε

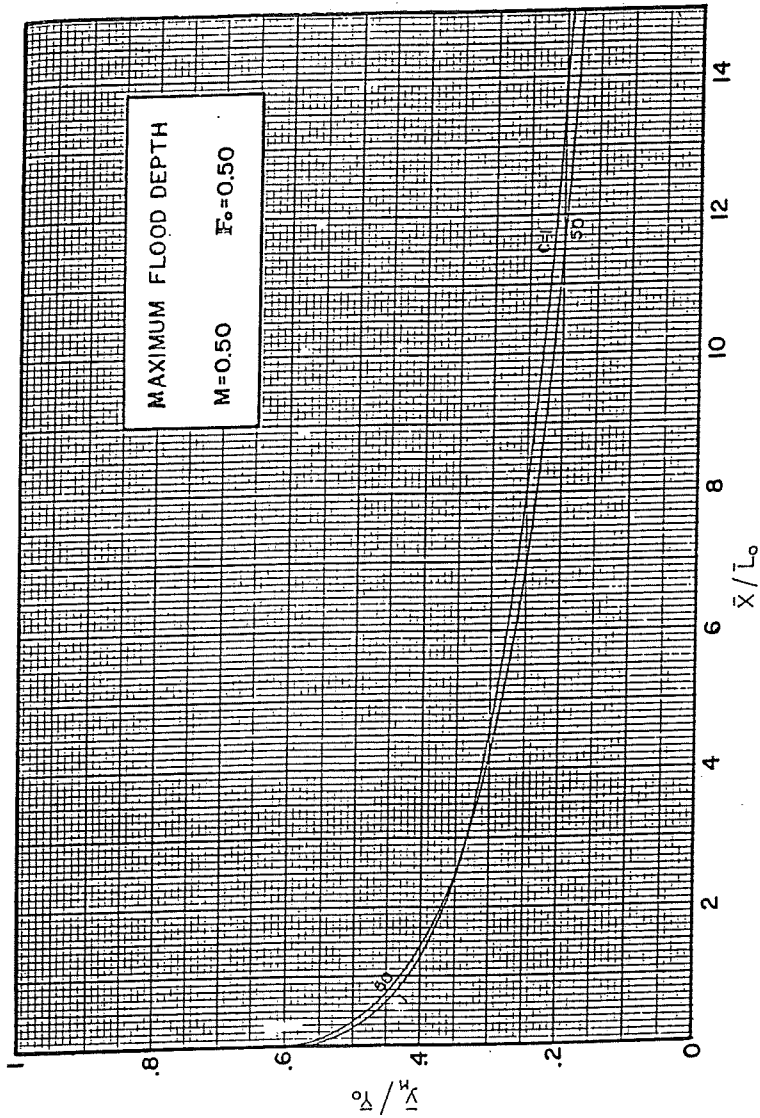
$$t_w = f_5 (x_w, F_0, M, C) \quad (19)$$

Από τις Εξ. 16, 17 και 19 προκύπτει ότι τα διαγράμματα των πρακτικώς χρήσιμων μεταβλητών του πλημμυρικού κύματος t_w , y_M και t_M συναρτήσει της αποστάσεως x αποτελούν οικογένειες καμπυλών με παραμέτρους τις τιμές των F_0 , M και C (βλ. Σχ. 8-10).

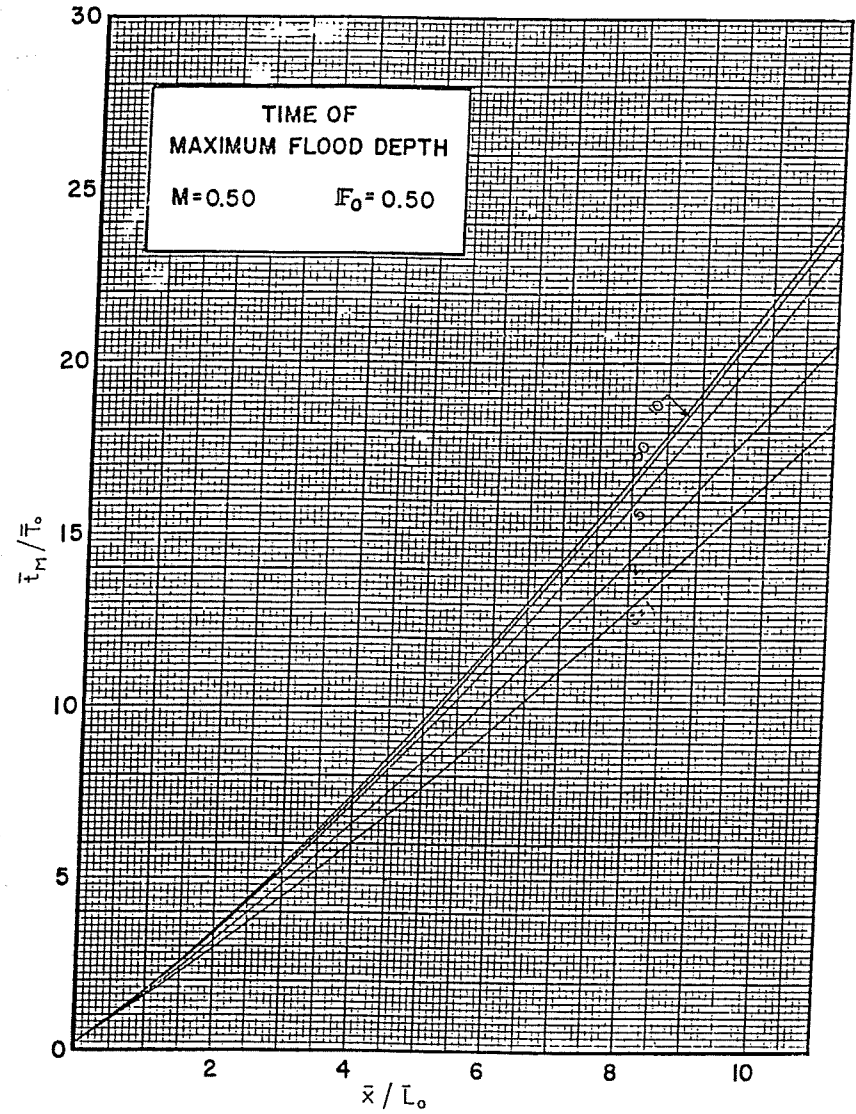
Διαγράμματα ως τα ανωτέρω έχουν κατασκευασθή για όλους τους συνδυασμούς των κατωτέρω τιμών των παραμέτρων (Sakkas 1974)



Σχ. 8. Χρόνος αφίξεως, του μετώπου του πλημμυρικού κύματος για $M = 0.50$, $F_0 = 0.50$



Σχ. 9. Μέγιστο βάθος πλημμυρικού κύματος για M = 0.50, F₀ = 0.50



Σχ. 10. Χρόνος εμφάνισης του μέγιστου βάθους του πλημμυρικού κύματος για M = 0.50, F₀ = 0.50

| | | | | | | |
|------------------|-------|------|------|----|----|---|
| M = | 0 | 0.50 | 1 | | | |
| C = | 1 | 2 | 5 | 10 | 50 | |
| F ₀ = | 0.025 | 0.10 | 0.50 | 1 | 2 | 5 |

Οι τιμές αυτές αντιπροσωπεύουν τιμές των πραγματικών συνθηκών οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ των κατωτέρω ακραίων τιμών:

| Συνθήκη | Ελάχιστη τιμή | Μέγιστη τιμή |
|---|---------------|--------------|
| Βάθος ύδατος όπισθεν φράγματος \bar{Y}_0 | 10 m | 200 m |
| Κλίση πυθμένα αγωγού, S_0 | 0.0005 | 0.010 |
| Συντελεστής τραχύτητας Manning, n | 0.015 | 0.150 |
| Εκθέτης εξισώσεως διατομής αγωγού, M | 0 | 1 |
| Σχετικό πλάτος διατομής \bar{B}_0 / \bar{Y}_0 | 1 | 50 |

Χρονικώς η λύση των εξισώσεων προχώρησε μέχρι του σημείου κατά το οποίο επιτεύχθηκε το μέγιστο βάθος ροής σε μια διατομή ευρισκόμενη σε απόσταση τουλάχιστον $1000 \cdot \bar{Y}_0$.

4.6 Παράδειγμα εφαρμογής

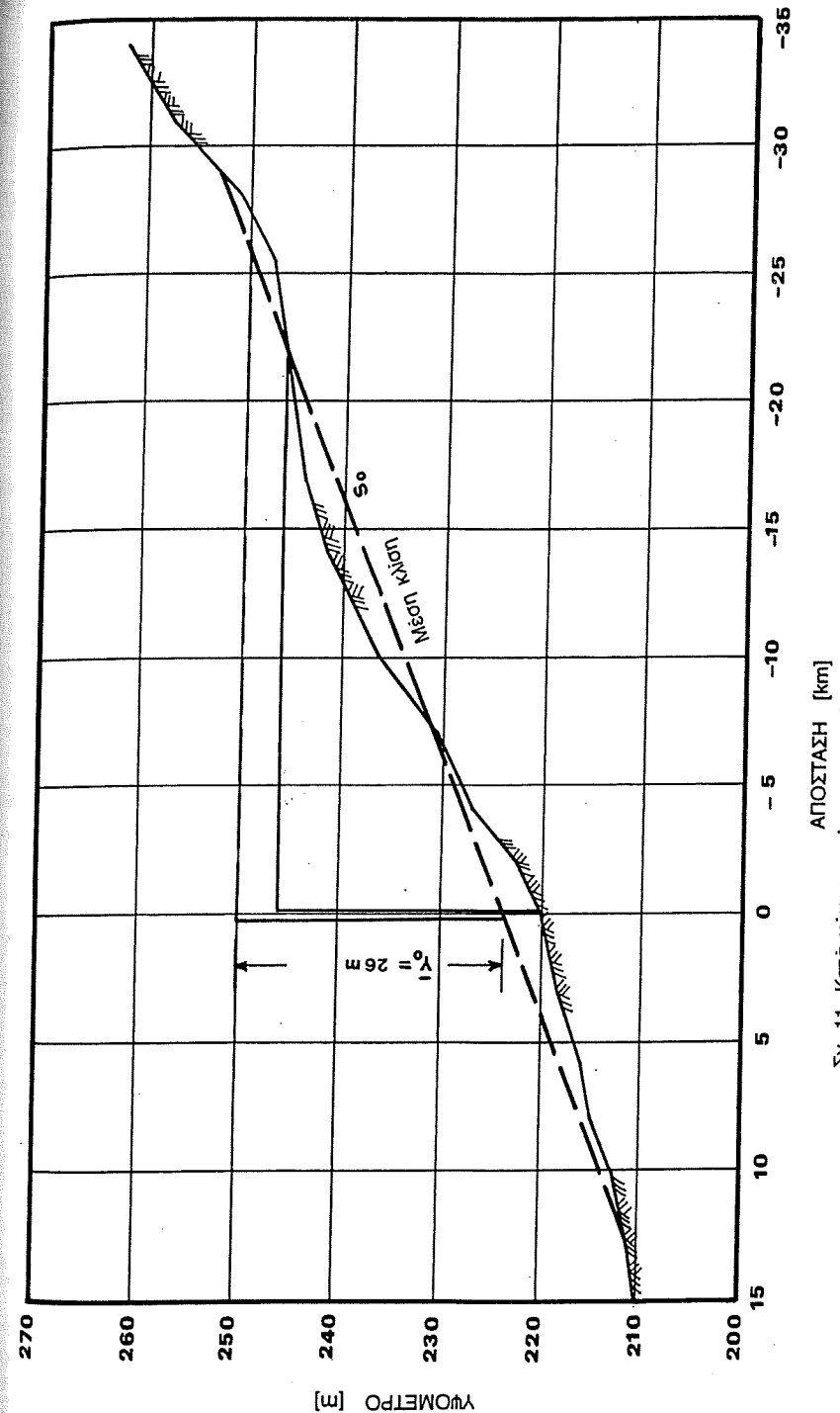
Για ένα φράγμα αποθηκεύσεως ύδατος ύψους 26 m δίδεται η κατά μήκος τομή του πυθμένα του ρεύματος (Σχ. 11) καθώς και η σχέση στάθμης όγκου του ταμιευτήρα. Για την διατομή που ευρίσκεται σε απόσταση 13 km κατάντη του φράγματος ζητείται να προσδιορισθούν τα στοιχεία της πλημμύρας η οποία μπορεί να προκύψει από την στιγμιαία και ολοκληρωτική καταστροφή του φράγματος όταν ο ταμιευτήρας είναι πλήρης, ήτοι $\bar{Y} = 26$ m. Συντελεστής τραχύτητας $n = 0.070$.

Ο προσδιορισμός των ζητούμενων στοιχείων της πλημμύρας αποτελεί μια διαδικασία τριών σταδίων:

- Μετασχηματισμός της ανώμαλης φυσικής τοπογραφίας σε έναν αντιπροσωπευτικό πρισματικό αγωγό,
- προσδιορισμός των απαιτούμενων χαρακτηριστικών μεγεθών αδιαστατοποιήσεως και των αδιαστάτων παραμέτρων, και
- προσδιορισμός των στοιχείων της πλημμύρας με βάση τα διατιθέμενα διαγράμματα.

4.6.1 Προσδιορισμός του αντιπροσωπευτικού πρισματικού αγωγού

Κατά τον μετασχηματισμό του φυσικού αγωγού σε έναν αντιπροσωπευτικό πρισματικό αγωγό επιδιώκεται όπως διατηρηθούν η υψιστάμενη μέση ενεργειακή



Σχ. 11. Κατά μήκος τομή του αγωγού του παραδείγματος εφαρμογής

κλίση, το ύψος του ύδατος όπισθεν του φράγματος, ο όγκος του αποθηκευμένου ύδατος και η απόσταση του φράγματος από την θεωρούμενη διατομή.

Η διατήρηση της μέσης ενεργειακής κλίσεως γίνεται με την χάραξη στην κατά μήκος τομή του πυθμένα του αγωγού, από την θεωρούμενη διατομή μέχρι το ανάντη άκρο του ταμιευτήρα, της καλύτερα προσαρμοζόμενης ευθείας γραμμής. Η γραμμή αυτή αποτελεί τον πυθμένα του ιδεατού πρισματικού αγωγού. Η κλίση της αποτελεί την παράμετρο S_0 . Από το Σχ. 11 προκύπτει $S_0 = 0.001$.

Στην θέση του φράγματος σημειούται η νέα στάθμη του ταμιευτήρα σε απόσταση από τον ιδεατό πυθμένα ίση με το δεδομένο ύψος του φράγματος, ήτοι \bar{Y}_0 .

Το μήκος του ταμιευτήρα \bar{L}_0 προσδιορίζεται από την Εξ. 7β, ήτοι $\bar{L}_0 = \bar{Y}_0 / S_0 = 26 \text{ km}$.

Στον ιδεατό πρισματικό αγωγό ο όγκος του ύδατος του ταμιευτήρα που αντιστοιχεί σε βάθος \bar{y} δίδεται κατά προσέγγιση από την σχέση

$$\bar{V} = \frac{1}{3} \bar{A} \bar{L} \quad (20)$$

όπου \bar{A} = η υγρή διατομή στην θέση του φράγματος και \bar{L} = το μήκος του ταμιευτήρα για βάθος \bar{y} όπισθεν του φράγματος.

Για την γενικευμένη διατομή του αγωγού που περιγράφεται από την Εξ. 9 προκύπτει κατόπιν ολοκλήρωσης

$$\bar{A} = \frac{\bar{C}}{M+1} \bar{y}^{-M+1} \quad (21)$$

Επειδή δε

$$\bar{L} = \bar{y} / S_0 \quad (22)$$

η Εξ. 20 γίνεται

$$\bar{V} = \frac{\bar{C}}{3S_0(M+1)} \bar{y}^{-M+2} \quad (23)$$

Για τον προσδιορισμό της τιμής των παραμέτρων \bar{C} και M λαμβάνονται από την καμπύλη στάθμης - όγκου του ταμιευτήρα δύο ζεύγη τιμών \bar{V}_1, \bar{y}_1 και \bar{V}_2, \bar{y}_2 κατά προτίμηση $\bar{y}_1 = \bar{Y}_0$ και $\bar{y}_2 = \frac{4}{9} \bar{Y}_0$. Εισάγοντες τις τιμές αυτές στην Εξ. 23 προκύπτει σύστημα δύο εξισώσεων με αγνώστους \bar{C} και M . Διαιρούντες κατά μέλη και λογαριθμίζοντας προκύπτει κατ' αρχήν η τιμή του M ως

$$M = -2 + \frac{\log [\bar{V}_1 / \bar{V}_2]}{\log [\bar{y}_1 / \bar{y}_2]} \quad (24)$$

στη συνέχεια δε λαμβάνεται

$$\bar{C} = \frac{3S_0 (M+1) \bar{V}_1}{\bar{y}_1^{-M+2}} \quad (25)$$

Για $\bar{y}_1 = 26 \text{ m}$, $\bar{V}_1 = 32.08 \text{ hm}^3$ ($1 \text{ hm}^3 = 10^6 \text{ m}^3$) και για $\bar{y}_2 = \frac{4}{9} \bar{y}_1 = 11.5 \text{ m}$, $\bar{V}_2 = 5.0 \text{ hm}^3$ (από την καμπύλη στάθμης - όγκου του ταμιευτήρα). Εισάγοντες τις τιμές αυτές στις Εξ. 24-25 προκύπτει

$$M = 0.278, \quad \bar{C} = 73.55 \text{ m}^{0.722}$$

4.6.2 Προσδιορισμός χαρακτηριστικών μεγεθών και αδιαστάτων παραμέτρων

Ο αδιάστατος συντελεστής C προκύπτει από την Εξ. 11 ήτοι θα είναι $C = 73.55 * 26^{(0.278-1)} = 7.0$.

Ο προσδιορισμός της υδραυλικής ακτίνας για την γενική περίπτωση της παραβολικής διατομής, $0 < M < 1$ (εκτός της ειδικής περιπτώσεως $M = 0.5$), παρουσιάζει σημαντικές δυσχέρειες. Για τούτο γίνεται προσφυγή στο Σχ.12 από το οποίο, για $M = 0.278$ και $C = 7$, προκύπτει $R_0 = 0.725$ και $\bar{R}_0 = R_0 \bar{Y}_0 = 18.85 \text{ m}$.

Από τις Εξ. 7 προκύπτει

$$\bar{V}_0 = \frac{1}{0.070} 18.85^{2/3} \sqrt{0.001} = 3.20 \text{ m/s}$$

$$F_0 = 3.20 / \sqrt{9.81 * 26} = 0.20$$

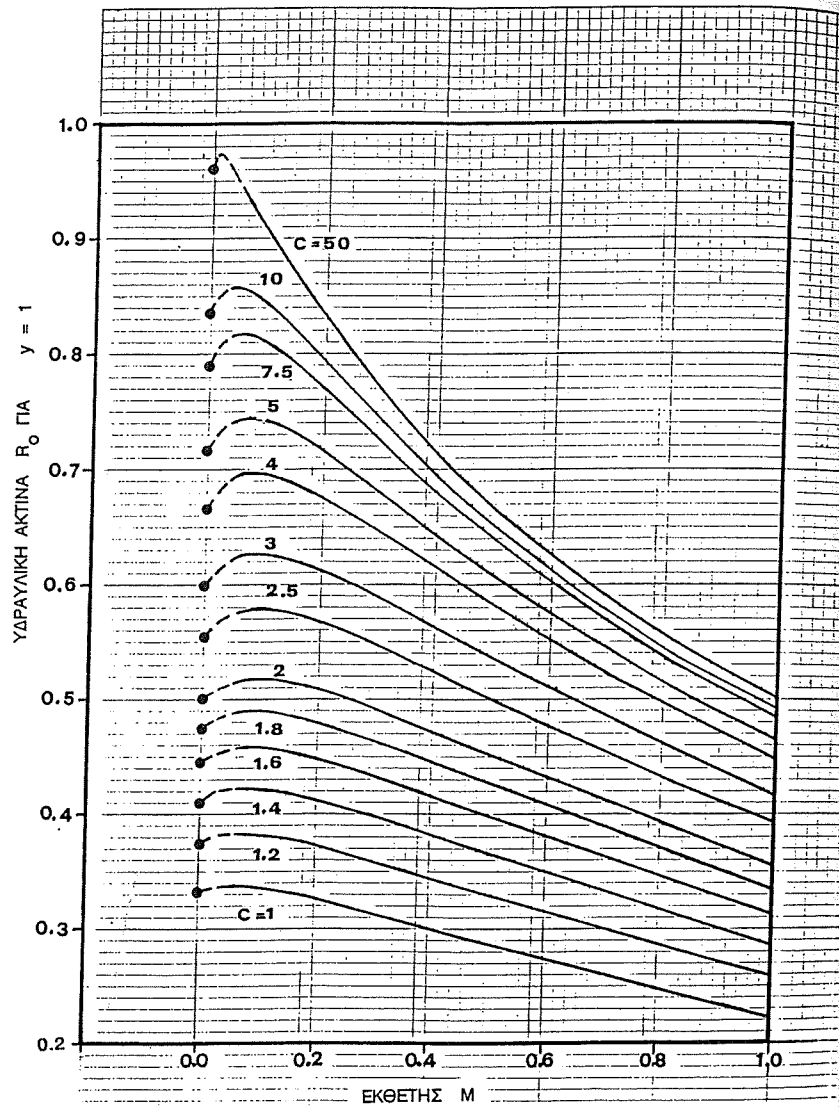
$$\bar{T}_0 = \bar{L}_0 / \bar{V}_0 = 26000 / (3.20 * 3600) = 2.257 \text{ hr}$$

Τελικώς οι ζητούμενες παράμετροι είναι

$$M = 0.278, \quad C = 7, \quad F_0 = 0.20$$

4.6.3 Προσδιορισμός των στοιχείων της πλημμύρας

Για την θεωρούμενη διατομή είναι $\bar{x} = 13 \text{ km}$ και συνεπώς



Σχ. 12. Υδραυλική ακτίνα R_0 για $y = 1$

$$x = \bar{x} / \bar{L}_0 = 13 / 26 = 0.50$$

Με την χρησιμοποίηση των διαγραμμάτων που περιέχονται στην βιβλιογραφική αναφορά (Sakkas 1974) προσδιορίζονται οι τιμές των t_w , y_M και t_M οι οποίες αντιστοιχούν σε $M = 0$ και $M = 0.50$ για $F_0 = 0.10$ και $F_0 = 0.50$. Με την κατάλληλη παρεμβολή για κάθε τιμή του M προσδιορίζονται οι τιμές των ανωτέρω μεταβλητών που αντιστοιχούν σε $F_0 = 0.20$. Με περαιτέρω παρεμβολή μεταξύ των τελευταίων τιμών προσδιορίζονται εκείνες που αντιστοιχούν σε $M = 0.278$ (και $F_0 = 0.20$). Με χρήση των χαρακτηριστικών τιμών οι ανωτέρω αδιάστατες τιμές μετατρέπονται σε διαστατικές. Η όλη διαδικασία δείχνεται στον Πίνακα 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ $x = 0.50$

| Στοιχείο πλημμύρας | M = 0 | | | M = 0.50 | | | M = 0.278 | |
|-----------------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|-------|-----------------------|--------------------|
| | F ₀ | | | F ₀ | | | F ₀ = 0.20 | |
| | 0.10 | 0.50 | 0.20 | 0.10 | 0.50 | 0.20 | Αδιάστατη τιμή | Διαστατική τιμή |
| t_w | 0.400 | 0.500 | 0.425 | 0.360 | 0.400 | 0.370 | 0.395 | 0.90 hr |
| y_M | 0.408 | 0.378 | 0.400 | 0.500 | 0.470 | 0.492 | 0.451 | 11.73 m |
| t_M | 0.780 | 0.900 | 0.810 | 0.750 | 0.900 | 0.788 | 0.798 | 1.80 hr |

- Bellos, C. V., and Sakkas, J. G. (1987). "1-D Dam-break flood-wave propagation on dry bed", *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 113(12), 1510-1524.
- Bellos, C. V., Soulis, J. V., and Sakkas, J. G. (1991). "Computation of Two-Dimensional Dam-Break Induced Flows". *Advances in Water Resources*, 14(1), 31-41.
- Chen, C., and Armbruster, J. T. (1980). "Dam-break wave model: Formulation and verification". *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 106(5), 747-767.
- Chervet, A., and Dallèves, P. (1970). "Calcul de l'onde de submersion consécutive à la rupture d'un barrage." *Schweizerische Bauzeitung*, Zurich, Switzerland, 88(19), 22/1-22/12.
- Di Monaco, A., and Molinaro, P. (1988). "Finite-element two-dimensional model of free surface flows: Verification against experimental data for the problem of the emptying of a reservoir due to dam-breaking". *Proceedings, First International Conference on Computer Methods and Water Resources*, 2, 301-312.
- Dracos, Th. (1970). "Die Berechnung instationärer Abflüsse in offenen Gerinnen beliebiger Geometrie." *Schweizerische Bauzeitung*, Zurich, Switzerland, 88(19), 21/1-21/8.
- Dressler, R. F. (1952). "Hydraulic resistance effect upon the dam-break functions". *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 49(3), 217-225.
- ENR, (1976). "Preliminary Report Faults Grout Curtain in Teton Dam Failure". *Engineering News Record*, June 17, pp. 9-10.
- Faure, J., et Nahas, N. (1961). "Etude numérique et expérimentale d'intumescences à forte courbure du front". *La Houille Blanche*, 16(5), 576-587.
- Fennema, R. J., and Chaudhry, M. H. (1987). "Simulation of one-dimensional dam-break flows". *Journal of Hydraulic Research*, 25(1), 41-51.
- Fennema, R. J., and Chaudhry, M. H. (1989). "Implicit methods for two-dimensional unsteady free-surface flows". *Journal of Hydraulic Research*, 27(3), 321-332.
- Fread, D. L. (1977). "The Development and Testing of a Dam-Break Flood Forecasting Model", *Proceedings of Dam-Break Flood Routing Model Workshop*, held in Bethesda, Md., U.S. Dept. of Commerce, National Technical Information Service, PB-275 437, pp. 164-197.
- Gruner, E. (1963). "Dam Disasters". *Proceedings, Institution of Civil Engineers*, 24(1), 47-60.
- HAESTAD (1988). "DAMBRK: Dam breach flood forecasting". Heastad Methods Inc., 37 Brookside Road, Waterbury, Connecticut 06708, USA.
- Hunt, B. (1984a). "Dam-Break Solution". *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(6), 675-686.
- Hunt, B. (1984b). "Perturbation Solution for Dam-Break Floods". *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(8), 1058-1071.
- ICOLD, (1974). "*Lessons from Dam Incidents*". International Commission on Large Dams, Paris.
- Katopodes, N. D. (1980). "Finite element model for open-channel flow near critical conditions". S. Y. Wang et al. (eds). in: *Finite elements in water resources III*, Univ. of Mississippi Press, University, Miss., 5.37-5.46.
- Katopodes, N. D., and Strelkoff, T. (1978). "Computing two-dimensional dam-break flood waves". *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 104(9), 1269-1288.
- Ritter, A. (1892). "Die Fortpflanzung der Wasserwellen". *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 36(33), 947-954.
- Sakkas, J. G. (1972) "Analysis of Surge Propagation in a Dry Channel," Thesis presented to the University of California, at Davis, Calif., in 1972, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.
- Sakkas, J. G. (1974). "Dimensionless Graphs of Floods from Ruptured Dams". Report to the Hydrologic Engineering Center, Contract DAC WO5-74-C-0029, United States Corps of Engineers, Davis, California.
- Σακκάς, Ι. Γ. (1980). "Υπολογισμός πλημμυρικού κύματος σε φυσικούς αγωγούς". Πρακτικά, Β' Πανελλήνιο Σεμινάριο Υδρολογίας, Αθήνα.
- Sakkas, J. G., and Strelkoff, T. (1973). "Dam-break flood in a prismatic dry channel". *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 99(12), 2195-2216.
- Sakkas, J. G., and Strelkoff, T. (1976). "Dimensionless solution of dam-break flood waves". *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 10 (2), 171-184.
- Schamber, D. R., and Katopodes, N. D. (1984). "One-dimensional models for partially breached dams". *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 110(8), 1086-1102.
- Schoklitsch, A. (1917). "Über Dambruchwellen". *Sitzungsberichte der k. Akademie der Wissenschaften, Vienna, Austria*, 126(IIa), 1489-1514.

State of California (1972). "Senate Bill No. 896". State of California, August 11, 1972.

Strelkoff, T., (1970). "Numerical Solution of Saint-Venant Equations". *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, Proc. Paper 7043, 96(HY1), 223-252.

Su, Shih-Tun, (1970). "Dry - Bed Wave Due to Sudden Water Releases". Thesis presented to Colorado State University, at Fort Collins, Colorado, in 1970, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.

Τερζιδης, Γ. Α. (1982). Μαθήματα Υδραυλικής, 3. Ανοικτοί Αγωγοί. Θεσσαλονίκη, USBR (1981). "BRDAM : Flood routing and Dam-breaching analysis". United States Bureau of Reclamation, Engineering and Research Center, P.O. Box 25007, Denver, CO. 80225-007, USA.

WES (1961). "Floods Resulting from Suddenly Breached Dams-Conditions of High Resistance". *Miscellaneous Paper No. 2-374, Report 2*, United States Army Engineer Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi, USA.

Whitham, G. B. (1955). "The effects of hydraulic resistance in the dam-break problem". *Proceedings, Royal Society of London, Series A*, 227, 399-407.

ΘΡΑΥΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΔΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τσάρας Ιωάννης,Αγρονόμος-Τοπογράφος Μηχανικός,Ph.D.University of Michigan,Ann Arbor,Γενικός Δ/ντής Κ.Ε.Π.Α.

ΓΕΝΙΚΑ

Η μελέτη των καταστροφικών πλημμυρικών κυμάτων που προκύπτουν από την μερική ή ολική θραύση φράγματος αποτελεί αντικείμενο ευρύτατου ενδιαφέροντος εξ αιτίας του μεγάλου ρίσκου για τις ανθρώπινες ζωές και τις ιδιοκτησίες στις περιοχές αμέσως κατάντι του φράγματος. Υπάρχουν δυστυχώς αρκετά ατυχή παραδείγματα αστοχίας φραγμάτων που στοιχίσαν τη ζωή ανθρώπων αλλά και τη καταστροφή εκτάσεων και ιδιοκτησιών.

Από την άλλη πλευρά η λήψη μέτρων με την κατασκευή διαφόρων τεχνικών έργων που θα μπορούσαν να μειώσουν την επικείμενη καταστροφή, απαιτεί πολλά χρήματα. Ετσι θα πρέπει να προβλεφθούν οι πιθανές καταστροφικές συνέπειες για να προσδιορισθεί και το μέγεθος της επένδυσης που απαιτείται για την ελαχιστοποίηση της καταστροφής.

Ετσι σε διάφορα εργαστήρια πανεπιστημίων και ερευνητικών ιδρυμάτων έγιναν αρκετά πειράματα με ομοιώματα φραγμάτων και καναλιών ή ποταμών και συνελέγησαν δεδομένα πειραματικά αναφορικά με την συμπεριφορά του συνολικού φαινομένου.

Στο σχήμα 1 διακρίνεται μερικώς η πειραματική διάταξη για την εξέταση του φαινομένου της διάδοσης των πλημμυρικών κυμάτων από φράγμα που υπέστη μερική θραύση.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Κατά τη στιγμή της θραύσεως και για μερικά δευτερόλεπτα αμέσως μετά, αναπτύσσονται μεγάλες επιταχύνσεις κατά την κατακόρυφη διεύθυνση που προέρχονται από τη μεγάλη κλίση της ελεύθερης επιφάνειας. Αυτό έχει σαν συνέπεια η πίεση να μην είναι υδροστατική. Στην περίπτωση μάλιστα που υπάρχει απότομη μεταβολή στο πλάτος της κοιλάδος κατάντι ή στην περίπτωση μερικής αστοχίας στο φράγμα, η ροή που προκύπτει είναι σαφώς διδιάστατη, με την ύπαρξη δευτερευόντων κυμάτων κρούσης μέσα στη περιοχή ροής καθώς και ανακλάσεις κυμάτων στα πλευρά του καναλιού.

Στο σχ. 2 παρατηρούμε σχηματικά την διάδοση του μετώπου κύματος από ένα φράγμα που έχει υποστεί μερική θραύση. Πρώτα παρατηρούμε ένα αρνητικό κύμα να διαδίδεται μέσα στην ήρεμη τεχνητή λίμνη ανάντι. Το μέτωπο συνεχίζει την κίνηση του έως ότου συναντήσει τα πλευρά της τεχνητής λίμνης ανακλασθεί και αρχίσει να επιστρέφει προς τον άξονα μετάδοσης των κυμάτων. Συγχρόνως το πρώτο κύμα προχωρεί κατά τη διεύθυνση του καναλιού έως ότου φθάσει στο πλέον ανάντι όριο της λίμνης, ανακλασθεί και αρχίσει να επιστρέφει. Αυτή η διεργασία συνεχίζεται μέχρις ότου η λίμνη αδειάσει. Αυτό το αρνητικό κύμα βεβαίως δεν είναι που προκαλεί το ενδιαφέρον από άποψης μελέτης καθόσον δεν προκαλεί καταστροφές.

Προς την κατάντι διεύθυνση του φράγματος, όπου το νερό απελευθερώνεται με ορμή προς την κοιλάδα, δημιουργείται το πλημμυρικό κύμα που προχωρεί προς τα κατάντι με ταχύτητα που εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την κλίση και την τραχύτητα του καναλιού. Το κύμα εξέρχεται του φράγματος υπό την μορφή "jet" που καθώς προχωρεί εξαπλούται κατά πλάτος με ρυθμό που εξαρτάται από τον αριθμό του Froude στο σημείο θραύσεως (δηλ. από τις δυνάμεις αδρανείας), έως ότου καλύψει στο πλάτος όλο το κανάλι.

Μόλις το μέτωπο κύματος φθάσει στα όρια του καναλιού, μειώνεται απότομα η κινητική ενέργεια της ροής και δημιουργούνται "standing waves" (μη μετακινούμενα κύματα). Έτσι μεταξύ της κυρίας ροής "jet flow" του φράγματος και του τοιχώματος του καναλιού, γερμίζει νερό που στροβιλίζεται σχετικά αργά (lazy eddies) χωρίς μάλλον να επηρεάζει την κύρια ροή.

Η περιγραφή αυτή είναι μάλλον απλουστευτική καθόσον είναι δυνατό να συμβούν και άλλα υδροδυναμικά φαινόμενα, όπως π.χ. αν η τραχύτης είναι αρκετά μεγάλη πιθανώς να δημιουργηθεί υδραυλικό άλμα που κινούμενο προς τα ανάντι να "σκεπάσει" το σημείο θραύσεως. Αυτά τα φαινόμενα πάντως είναι αρκετά δύσκολα να μοντελοποιηθούν και για το λόγο αυτό χρειάζεται αρκετή θεωρητική γνώση του θέματος από πλευράς του μελετητού ώστε να προβλέψει κατ' αρχήν ποιοτικά τι πρόκειται να συμβεί και σε ποιές περιπτώσεις.

Κατ' αρχήν απλουστεύοντας το φαινόμενο, ας σταθούμε στην μαθηματική περιγραφή της μονοδιάστατης ροής. Οι διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν την ασταθή μονοδιάστατη ροή του νερού μέσα σε ανοικτούς αγωγούς με τραχεία και σταθερά τοιχώματα είναι γνωστές σαν εξισώσεις του Saint-Venant ή εξισώσεις του αβαθους νερού. Από μαθηματική άποψη οι εξισώσεις αυτές είναι ένα σύστημα δυο σχεδών γραμμικών μερικών διαφορικών εξισώσεων πρώτης τάξεως υπερβολικού τύπου και στη γενική περίπτωση η μορφή των ορίων της περιοχής λύσεως τους είναι άγνωστοι και αν εκφρασθούν με ορισμένο τρόπο είναι δυνατό να επιτρέψουν και ασυνεχείς λύσεις.

Το μαθηματικό μοντέλο αποτελείται από την εξίσωση της συνέχειας και της εξίσωσης της κινήσεως.

Σε μια από τις μορφές τους οι εξισώσεις αυτές γράφονται αντίστοιχα:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{A}{B} \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{V}{B} A_x' = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{όπου} \quad S_f = \frac{n^2 V^2}{c_u^2 R^{4/3}} \quad \dots\dots\dots(3)$$

- και $y =$ βάθος ροής
- $V =$ ταχύτητα ροής
- $t =$ χρόνος
- $x =$ απόσταση κατά μήκος του καναλιού
- $S_0, S_f =$ κλίσεις πυθμένα και τριβών
- $A =$ διατομή του καναλιού
- $B =$ πλάτος στην επιφάνεια του καναλιού
- $n =$ συντελεστής κατά Manning
- $R =$ υδραυλική ακτίνα
- $A_x' =$ μεταβολή της διατομής με την απόσταση σε σταθερό βάθος

Η βασική παραδοχή για την εξαγωγή των εξισώσεων αυτών είναι η ύπαρξη υδροστατικής πίεσης και ομοιόμορφης μέσης ταχύτητας για κάθε διατομή. Επίσης η κλίση της ελεύθερης επιφάνειας διέπεται από την εμπειρική εξίσωση του Manning.

Οι παραπάνω εξισώσεις ισχύουν για μη πρισματικούς αγωγούς οποιασδήποτε διατομής, με το βάθος ροής και την ταχύτητα της διατομής να είναι οι εξαρτημένες μεταβλητές. Είναι δυνατόν οι εξισώσεις αυτές να γραφούν και με άλλη μορφή είτε ως προς διαφορετικές εξαρτημένες μεταβλητές, είτε με συντηρητική μορφή, όπως θα δούμε παρακάτω, ώστε να ισχύουν και σε περιπτώσεις προβλημάτων ασταθούς ροής με ασυνέχεις.

Στη περιοχή μεγάλων ασυνεχειών, όπως συμβαίνει σε ένα κινούμενο υδραυλικό άλμα, ή στις περιπτώσεις της κίνησης του μετώπου κύματος που προήλθε από θραύση φράγματος, σημαντική ποσότητα μηχανικής ενέργειας μετατρέπεται σε τυρβώδες και θερμότητα. Ετσι οι παραδοχές στις οποίες στηρίζεται η εξαγωγή των εξισώσεων Saint-Venant παύουν να ισχύουν και απαιτείται σύστημα ολοκληρωματικών εξισώσεων που διατηρούν την μάζα και την ορμή κατά μήκος του μετώπου.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Οι εξισώσεις Saint-Venant δεν επιδέχονται στην γενική τους μορφή αναλυτικές λύσεις και κατά συνέπεια απαιτούν αριθμητικές μεθόδους επίλυσης. Σε κάθε περίπτωση οι λύσεις αυτές εμπίπτουν στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Αριθμητικές λύσεις των εξισώσεων διαφορών, που προκύπτουν από τις χαρακτηριστικές εξισώσεις και από τις εξισώσεις των χαρακτηριστικών καμπυλών, σε κόμβους που βρίσκονται επάνω σε χαρακτηριστικές καμπύλες.
2. Ρητές αριθμητικές λύσεις των εξισώσεων διαφορών, που προκύπτουν από τις χαρακτηριστικές εξισώσεις, αλλά λύνονται σε ορθογώνιο υπολογιστικό δίκτυο.
3. Ρητές ή πεπλεγμένες λύσεις των εξισώσεων διαφορών που προκύπτουν από τις εξισώσεις Saint Venant πάνω σε ορθογώνιο υπολογιστικό δίκτυο.

Τέλος αναπτύχθηκε και η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων ως προς την χωρική διακριτοποίηση η οποία όμως παρουσιάζει σοβαρά προβλήματα στην επίλυση υπερβολικού τύπου εξισώσεων. Μετά από επιστάμενη έρευνα και καθιέρωση ειδικών τεχνικών όμως τελικά χρησιμοποιείται και αυτή η μέθοδος με πολύ καλά αποτελέσματα πλέον.

Γενικά εξ αιτίας της δυσκολίας με την οποία επιλύονται οι εξισώσεις Saint-Venant, μέχρι της ανάπτυξης των υπολογιστικών μηχανών είχαν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι υπολογισμού πλημμυρικών κυμάτων.

Ετσι αναφέρουμε τα εμπειρικά μοντέλα, τα γραμμικά μοντέλα (όπου οι μη γραμμικοί όροι των εξισώσεων δεν συμπεριλαμβάνονταν στους υπολογισμούς ή γινόταν γραμμικοποίηση μερικών εξ αυτών), τα υδρολογικά μοντέλα, τα απλουστευτικά υδραυλικά μοντέλα και φυσικά τα δυναμικά μοντέλα που λύνουν τις εξισώσεις Saint-Venant στην ολοκληρωμένη τους μορφή και που η λύση τους εμπίπτει στις 3 κατηγορίες που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Από τα παραπάνω αξίζει να αναφέρουμε τα απλουστευμένα υδραυλικά μοντέλα τα οποία ουσιαστικά βασίζονται στην εξίσωση διατήρησης της μάζας (εξίσωση (1)) και μια απλοποιημένη μορφή της διατήρησης της ποσότητας κίνησης (εξίσωση (2)). Στη κατηγορία αυτή ανήκει το απλό μαθηματικό μοντέλο του "κινηματικού" κύματος, σύμφωνα με το οποίο η εξίσωση (2) απλοποιείται και καταλήγει στη μορφή της εξίσωσης Manning (εξίσωση (3)).

Το μοντέλο αυτό εφαρμόζεται στις περιπτώσεις καναλιών μεγάλης κλίσεως και τραχύτητας όπου η κλίση της ελεύθερης επιφάνειας και οι όροι αδρανείας είναι αμελητέοι, και υπάρχει μια αλγεβρική σχέση μεταξύ της παροχής και του βάθους. Η εξίσωση συνεχείας καταλήγει στην μορφή

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{dQ}{dy} \frac{\partial y}{\partial x} = 0 \quad \dots \dots \dots (4)$$

Το μοντέλο επιτρέπει μόνο κίνηση προς τα κατάντι. Παρά τους περιορισμούς στην εφαρμογή του, και παρά το γεγονός ότι κοντά στο μέτωπο κύματος παρουσιάζει φτωχή προσέγγιση αν συγκριθεί με ακριβέστερες μεθόδους, εν τούτοις λόγω της απλότητος του χρησιμοποιήθηκε και χρησιμοποιείται από μηχανικούς για την πρόβλεψη των χαρακτηριστικών μεγεθών πλημμυρικού κύματος.

Θα μπορούσαμε ακόμη να αναφέρουμε το μοντέλο μηδενικής αδρανείας (zero-inertia model), το οποίο σε ορισμένες περιπτώσεις βρίσκει εφαρμογή.

Τα πεπερασμένα στοιχεία βασισμένα στην κλασική μέθοδο του Galerkin όταν εφαρμόζονται σε προβλήματα ασυνεχών ασταθών ροών σε ανοικτούς αγωγούς παρέχουν πολύ φτωχές λύσεις. Ακόμη και κατά την απουσία των ασυνεχειών, η μέθοδος του Galerkin είναι ελάχιστα αποδεκτή σαν μέσο αριθμητικής επίλυσης προβλημάτων σε ανοικτούς αγωγούς. Μόλις υπάρχει από μαθηματικής πλευράς απόδειξη ότι η μέθοδος Galerkin δεν μπορεί να επιτύχει βέλτιστη ακρίβεια σε υπερβολικού τύπου εξισώσεις, όπως αποδεικνύεται ότι επιτυγχάνει σε ελλειπτικού και παραβολικού τύπου. Ακόμη όμως και αν το κριτήριο της βέλτιστης ακρίβειας παραβλεφθεί, πάλι η προσέγγιση με τη μέθοδο αυτή είναι ακατάλληλη ειδικά στην περίπτωση ύπαρξης ασυνεχειών.

Ο χαρακτήρας της μεθόδου που είναι "dispersive" και "nondissipative" οδηγεί αμέσως στη δημιουργία παρασιτικών ταλαντώσεων γύρω από την περιοχή του μετώπου του κύματος και επειδή η περιοχή εφαρμογής εκτείνεται στο άπειρο, επηρεάζει όλη τη λύση.

Ετσι λοιπόν αν η προσπάθεια εστιαστεί στη τεχνητή απορρόφηση αυτών των ταλαντώσεων με αριθμητικές μεθόδους (λύνοντας στην ουσία λάθος πρόβλημα), το αποτέλεσμα είναι να γίνει μια "επέκταση" της περιοχής του μετώπου, το οποίο καταλαμβάνει σαφώς περισσότερα πεπερασμένα στοιχεία και οι γωνίες του απότομου μετώπου γίνονται καμπύλες.

Ο βασικός στόχος επομένως είναι αφ' ενός να "απορροφηθούν" οι ταλαντώσεις και αφ' ετέρου να μην διαταραχθεί το σχήμα του μετώπου σχεδόν κάθετο στη διεύθυνση της ροής.

Οι εξισώσεις Saint-Venant σε συντηρητική μορφή για πρισματικό αγωγό ορθογωνικής διατομής λαμβάνουν την μορφή

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q^2}{y} + \frac{gy^2}{2} \right) = 0 \quad \dots\dots\dots(6)$$

όπου y =βάθος της ροής, q =παροχή ανά μονάδα πλάτους. Στις παραπάνω εξισώσεις θεωρήθηκε χάριν απλότητας ότι το κανάλι είναι οριζόντιο και λείο και δεν περιλαμβάνονται οι όροι των τριβών.

Οι εξισώσεις 4 και 5 γράφονται υπό μορφή πινάκων ως ακολούθως

$$\frac{\partial U}{\partial t} + A \frac{\partial U}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots(7)$$

όπου

$$U = (y \ q)^T$$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ c^2 - u^2 & 2u \end{pmatrix}$$

και u είναι η μέση ταχύτητα ροής

$c = \sqrt{gy}$ είναι η ταχύτητα διάδοσης του στοιχειώδους κύματος

Αν ορίσουμε τις συναρτήσεις βάρους (σχ.3) της μεθόδου Galerkin σαν N_i τότε:

$$N_1 = \frac{1}{2}(1 - \xi) \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$N_2 = \frac{1}{2}(1 + \xi) \quad \dots\dots\dots(9)$$

όπου N_1, N_2 αναφέρονται στους κόμβους 1 και 2 του πεπερασμένου στοιχείου και ξ (-1,1)

Η αριθμητική προσέγγιση της εξίσωσης (3) ορίζεται

$$U = N \{U\}$$

όπου $\{U\}$ είναι οι τιμές στους κόμβους και στη κλασική μέθοδο Galerkin το λάθος που γίνεται από την παραπάνω προσέγγιση ελαχιστοποιείται συνολικά δηλ.

$$\sum_{n=1}^N \int_L N^T \left(\frac{\partial U}{\partial t} + A \frac{\partial U}{\partial x} \right) dx = 0 \quad \dots\dots\dots(10)$$

Με την εφαρμογή της μεθόδου αυτής δημιουργούνται οι ταλαντώσεις στην λύση που είναι δυνατό να απορροφηθούν με τη χρήση του τεχνητού ιξώδους (artificial viscosity) εις βάρος όμως της ακρίβειας της λύσης (καταστροφή του σχήματος του μετώπου) όπως φαίνεται στο σχ. 3.

Ετσι λοιπόν αρκετοί ερευνητές προσπάθησαν να βρουν μια λύση στο αρχικό πρόβλημα και τελικά κατέληξαν στη χρήση της μεθόδου Peiron-Galerkin η οποία διαφοροποιείται κατ' αρχήν από την απλή στο γεγονός ότι οι συναρτήσεις βάρους διαφέρουν από τις συναρτήσεις ελέγχου. Οι τελευταίες είναι ασυνεχείς σε κάθε πεπερασμένο στοιχείο (σχ. 4) και μαθηματικά εκφράζονται:

$$N_i = N + e A^T \frac{\partial N}{\partial x} \dots\dots\dots (11)$$

όπου e = παράμετρος επιπέδου απορρόφησης

και με βάση την ασυνεχή συνάρτηση ελέγχου N η μέθοδος αυτή παίρνει τη μορφή:

$$\sum_{n=1}^n \int_L N_n^T \left(\frac{\partial(N\{U\})}{\partial t} + A \frac{\partial(N\{U\})}{\partial x} \right) dx = 0 \dots\dots\dots (12)$$

και μετά τις πράξεις καταλήγουμε στην εξίσωση

$$M U + C U = 0 \dots\dots\dots (13)$$

όπου $M = 0$ πίνακας μάζας (mass matrix)

και $C = 0$ πίνακας μεταφοράς (convection matrix).
Οι δύο πίνακες βρίσκονται στο σχ. 10.

Οι γραμμικοποιημένες εξισώσεις διαφορών που αντιστοιχούν στην εξίσωση 12 είναι "κεντρικές" παρά το σχήμα της συναρτήσεως ελέγχου. Ο Johnson απέδειξε ότι οι ανεχές της αναλυτικής λύσης "συλλαμβάνονται" σχεδόν ακριβώς από την μέθοδο αυτή.

Αν η εξίσωση 12 ολοκληρωθεί με την μέθοδο της ολοκλήρωσης κατά Gauss ως προς 1 σημείο, αντικατασταθούν οι παράγωγοι ως προς τον χρόνο με forward difference, γίνει διαγωνικός ο πίνακας μάζας και επιλεγεί η παράμετρος απορρόφησης $e = \Delta t / 2$ τότε οι εξισώσεις διαφορών καταλήγουν στη μορφή:

$$U_j^{n+1} = U_j^n - \frac{1}{2} A \frac{\Delta t}{\Delta x} (U_{j+1}^n - U_{j-1}^n) + \frac{1}{2} \left(A \frac{\Delta t}{\Delta x} \right)^2 (U_{j+1}^n - 2U_j^n + U_{j-1}^n) \dots\dots\dots (14)$$

που αμέσως αναγνωρίζεται σαν η LAX-WENDROFF μέθοδος πεπερασμένων διαφορών, γνωστή για την πολύ καλή εφαρμογή της στα προβλήματα ανοικτών αγωγών.

Η παράμετρος e είναι δυνατό να επιλεγεί κατά μαθηματικό τρόπο που διασφαλίζει την ελαχιστοποίηση του συνολικού λάθους προσέγγισης της αριθμητικής μεθόδου. Τούτο επιτυγχάνεται με την βοήθεια της ανάλυσης κατά Fourier των εξισώσεων διαφορών που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου Peiron-Galerkin και τελικά λαμβάνεται ίση με

$$e = \frac{\Delta x}{|u + c| \sqrt{15}}$$

όπως φαίνεται η παράμετρος e εξαρτάται από το μέγεθος του πεπερασμένου στοιχείου και από την άλλη πλευρά αν ληφθεί ίση με $\Delta t / 2$ δίδει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ετσι καθίσταται φανερό ότι η επιλογή της e δεν είναι σημαντικά δύσκολη.

Ας δούμε τώρα πως συμπεριφέρεται η μέθοδος σε σύγκριση με άλλες στο πρόβλημα της προέλασης πλημμυρικού κύματος. Το κανάλι είναι οριζόντιο και θεωρείται χωρίς πρακτική τραχύτητα, και έχει νερό ακίνητο βάθους 1 m. Στο χρόνο $t=0$, η παροχή αυξάνεται σε 1 m³/S. Το μέτωπο κύματος προελαύνει στο ακίνητο νερό με σταθερή ταχύτητα. Χρησιμοποιήθηκαν όμοια πεπερασμένα στοιχεία μήκους 0.05 m. Η ροή είναι υποκρίσιμη και απο τις δυο πλευρές του μετώπου.

Στο σχ. 5 συγκρίνονται οι λύσεις που προκύπτουν από τις δυο μεθόδους Galerkin και Peiron-Galerkin στην ίδια χρονική στιγμή. Το $e=0,0258$ είναι διπλάσιο της βέλτιστης τιμής του και όπως φαίνεται η λύση με την μέθοδο αυτή είναι σαφώς καλλίτερη από την απλή μέθοδο Galerkin. Υπάρχει βεβαίως στο κάτω μέρος ένα μικρό "φούσκωμα" που όμως δεν επηρεάζει την λύση του προβλήματος. Το σχ. 6 δείχνει πως μεταβάλλεται η λύση με την αλλαγή το μήκους του πεπερασμένου στοιχείου, και κατα συνέπεια των τιμών της παραμέτρου e .

Γενικά από υπολογιστικούς πειρατισμούς που δεν έχουν συμπεριληφθεί σχηματικά στην παρούσα εισήγηση, όταν χρησιμοποιούμε για την παράμετρο e τιμές που δημιουργούν ένα ακριβές μέτωπο κύματος, οδηγούμεθα σε ύπαρξη του "φουσκώματος" στο κάτω άκρο του μετώπου. Ενω αν μειώσουμε την τιμή του e το "φούσκωμα" ελαττώνεται αλλά το μέτωπο καταλαμβάνει τώρα 3-4 πεπερασμένα στοιχεία.

Βεβαίως χρειάζονται περισσότεροι πειρατισμοί και προσπάθεια για μαθηματική εξήγηση για να δούμε ποια στοιχεία επηρεάζουν και γιατί τους υπολογισμούς (όπως π.χ. οι κατάντι οριακές συνθήκες κλπ.).

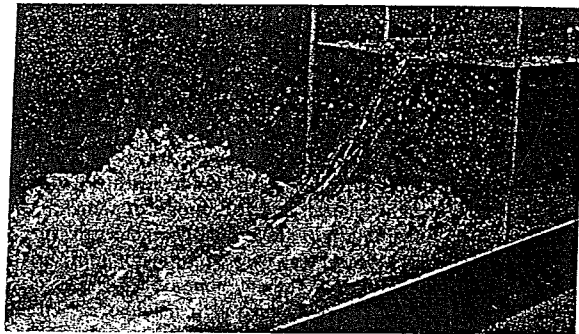
Θα πρέπει να αναφερθεί ότι κατά καιρούς έχουν γίνει προσπάθειες για καθαρά ερευνητικούς λόγους να επιλυθεί το πρόβλημα χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις Navier-Stokes ώστε να φανεί και η κατανομή της πίεσης κατά την κατακόρυφη στα πρώτα δευτερόλεπτα του φαινομένου που δεν είναι υδροστατική.

Αποτελέσματα φαίνονται από την μέθοδο particle and cells στο σχ. 7.

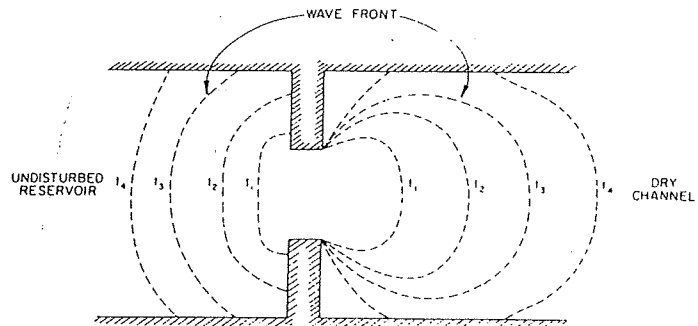
Γενικά η επίλυση των Navier-Stokes για προβλήματα ανοικτών αγωγών ειδικά με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων είναι δύσκολη και δημιουργεί πολλά προβλήματα ειδικά στην περιοχή όπου αναπτύσσεται πλήρως η τυρβώδης ροή και απαιτεί αρκετά προσπάθεια ή ταυτόχρονη χρήση μοντέλων διάχυσης της τυρβώδους κινητικής ενέργειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

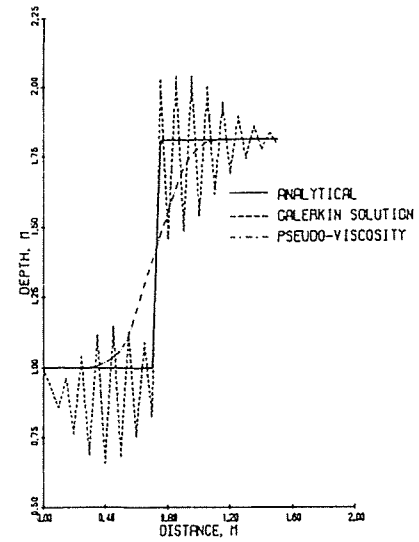
1. Cooley, R.L., and Moin, S.A., "Finite Element Solution of Saint-Venant Equations," *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, Vol.102, No HY6, Proc. Paper 12213, June, 1976, pp.759-775.
2. Gray, W.G., "Do Finite Element Models Simulate Surface Flow?," *Finite Elements in Water Resources III*, S.Y.Wang, et al., eds., University of Mississippi Press, 1980, pp. 1.122-1.136.
3. Johnson, C., "Finite Element Methods for Convection-Diffusion Problems", Fifth International Symposium on Computing Methods in Engineering and Applied Sciences, INRI, 1981, Versailles, France.
4. Katopodes, N.D., and Streckloff, T., "Two-Dimensional Shallow Water-Wave Models," *Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE*, Vol.105, No. EM2, Proc. Paper 14532, Apr., 1979, pp.317-334.
5. Katopodes, N.D., "Finite Element Model for Open-Channel Flow Near Critical Conditions", *Finite Elements in Water Resources III*, S.Y.Wang, et al., eds., University of Mississippi Press, 1980, pp.5.37-5.46.
6. Meissner, U., "An Explicit-Implicit Water-Level Model for Tidal Computations of Rivers," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol.13, 1978, pp.221-232.
7. Wahlbin, L.B., "A Dissipative Galerkin Method for the Numerical solution of First Order Hyperbolic Equations," *Mathematical Aspects of Finite Elements in Partial Differential Equations*, C.de Boor, ed., Academic Press, New York, N.Y., 1974.
8. Harlow F.H. and J.E. Welch, Numerical Calculation of Time-Dependent Viscous Incompressible Flow Incompressible Flow of Fluid with Free Surface", *The Physics of Fluids*, Vol.8, No.12, Dec.1965, pp.2.182-2.189
9. Τερζίδης Γ., Μαθήματα Υδραυλικής, 3.Ανοικτοί αγωγοί, Θεσσαλονίκη 1982.
10. Tsaras I.G., and N.D.Katopodes, "Computation of Free Surface Flows, Proceedings International Conference in Computational Methods and Experimental Measurements, Porto Carras, Greece, Sept.1986, pp.309-315.



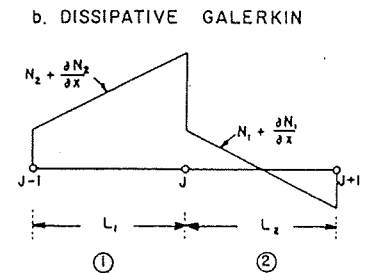
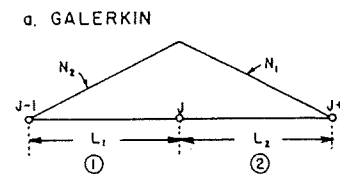
Σχ.1 Πειραματική μερική θραύση φράγματος



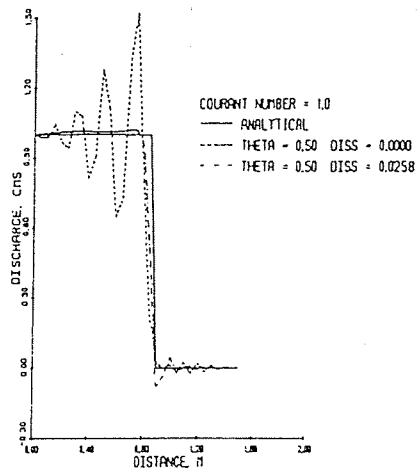
Σχ.2 Σχηματική διάταξη διάδοσης μετώπου κύματος



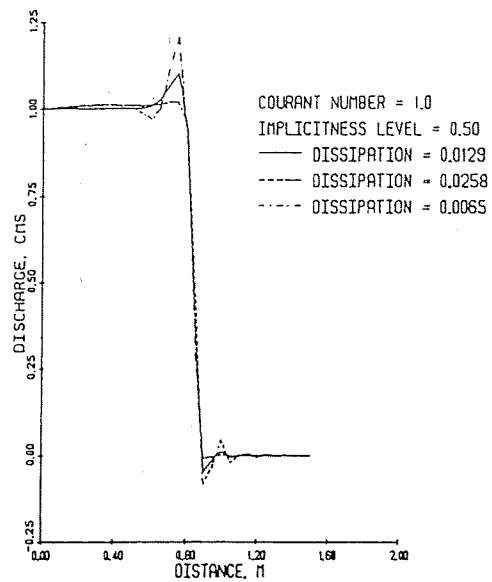
Σχ.3 Επίλυση υδραυλικού άλματος με τη μέθοδο Galerkin



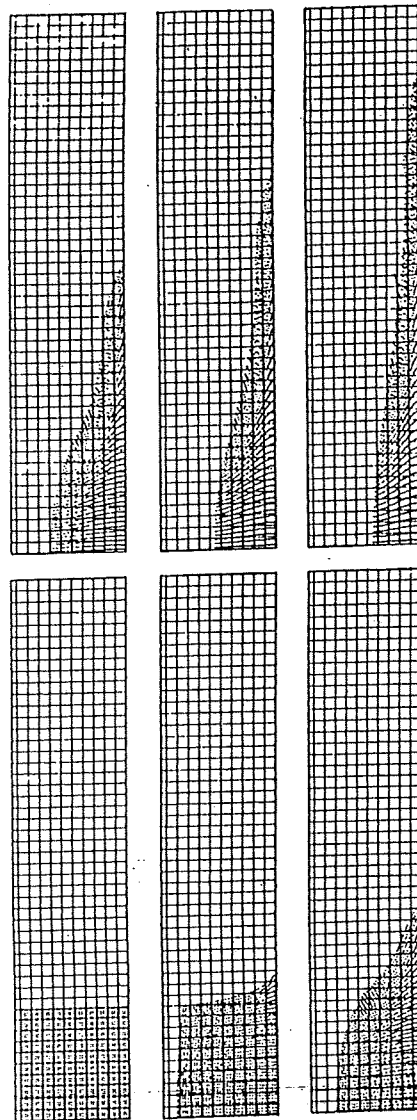
Σχ.4 α. Συναρτήσεις βάρους Galerkin και Petrov Galerkin
β. Συναρτήσεις ελέγχου Petrov-Galerkin



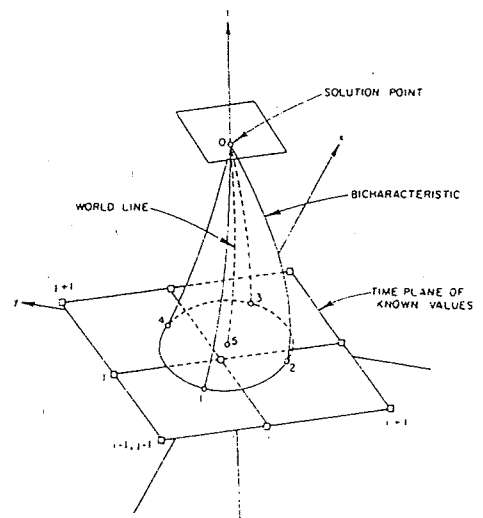
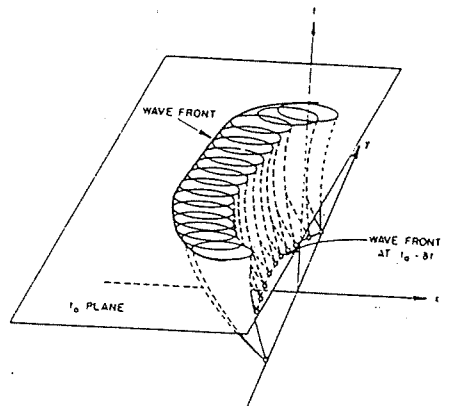
Σχ.5 Επίδραση της παραμέτρου ϵ στη λύση



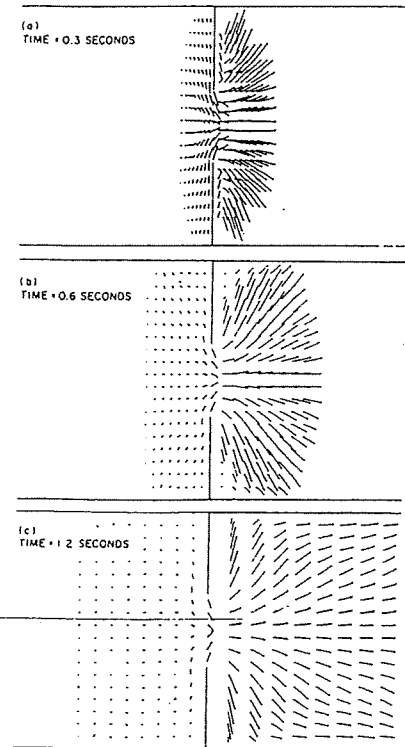
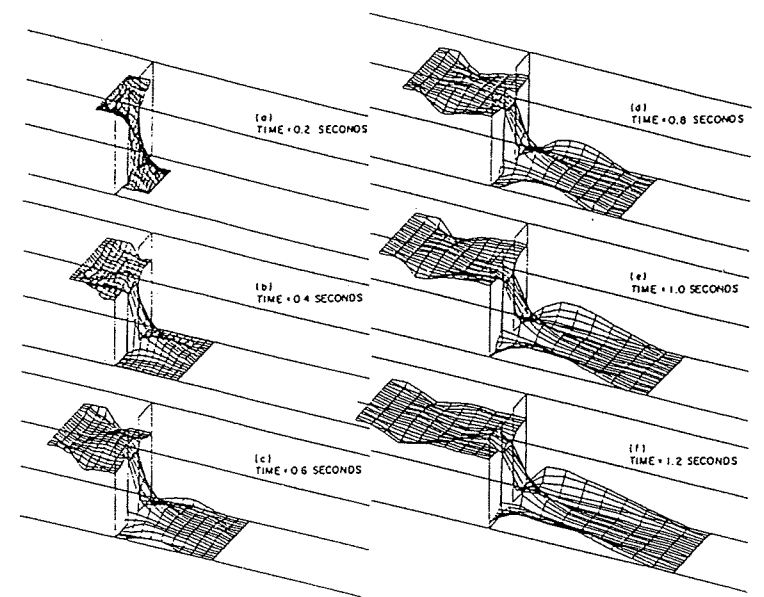
Σχ.6 Επίδραση του Δx στο μέτωπο κύματος



Σχ.7 Εφαρμογή των εξισώσεων Navier-Stokes. Λύσεις για χρόνον $t=0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5$



Σχ.8 Χαρακτηριστικές επιφάνειες και υπολογιστικό σχήμα



Σχ.9 Διάδοση μετώπου κύματος 2-D Μέθοδος χαρακτηριστικών

$$M = \begin{bmatrix} \frac{L}{3} & \frac{L}{6} & -\frac{\epsilon}{2} & -\frac{\epsilon}{2} \\ \frac{L}{6} & \frac{L}{3} & \frac{\epsilon}{2} & \frac{\epsilon}{2} \\ -\frac{\epsilon}{2}(c^2 - u^2) & -\frac{\epsilon}{2}(c^2 - u^2) & \frac{L}{3} - \epsilon u & \frac{L}{6} - \epsilon u \\ \frac{\epsilon}{2}(c^2 - u^2) & \frac{\epsilon}{2}(c^2 - u^2) & \frac{L}{6} + \epsilon u & \frac{L}{3} + \epsilon u \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} \frac{\epsilon}{L}(c^2 - u^2) & -\frac{\epsilon}{L}(c^2 - u^2) & -\frac{1}{2} + \frac{2\epsilon u}{L} & \frac{1}{2} - \frac{2\epsilon u}{L} \\ -\frac{\epsilon}{L}(c^2 - u^2) & \frac{\epsilon}{L}(c^2 - u^2) & -\frac{1}{2} - \frac{2\epsilon u}{L} & \frac{1}{2} + \frac{2\epsilon u}{L} \\ (c^2 - u^2) \left(-\frac{1}{2} + \frac{2\epsilon u}{L} \right) & (c^2 - u^2) \left(\frac{1}{2} - \frac{2\epsilon u}{L} \right) & \frac{\epsilon}{L}(c^2 - u^2) - u + \frac{4\epsilon u^2}{L} & -\frac{\epsilon}{L}(c^2 - u^2) + u - \frac{4\epsilon u^2}{L} \\ (c^2 - u^2) \left(-\frac{1}{2} - \frac{2\epsilon u}{L} \right) & (c^2 - u^2) \left(\frac{1}{2} + \frac{2\epsilon u}{L} \right) & -\frac{\epsilon}{L}(c^2 - u^2) - u - \frac{4\epsilon u^2}{L} & \frac{\epsilon}{L}(c^2 - u^2) + u + \frac{4\epsilon u^2}{L} \end{bmatrix}$$

Σχ.10 Οι πίνακες μάζας M και μεταφοράς C

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΧΩΜΑΤΙΝΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΔΙΗΘΗΣΕΙΣ

Τηλιγάδας Ελεήμων, Αγρονόμος-Τοπογράφος Μηχανικός, ΥΠΕΧΩΔΕ, Δ/νση
Εγγ/κών Έργων (Δ7), Dr.Ing. de l'Universite de Paris VI.

1. Γενικά

Η βασική αρχή του σχεδιασμού ενός φράγματος είναι να παράξει μια ικανοποιητικώς λειτουργούσα κατασκευή με το ελάχιστο συνολικό κόστος. Ένα χωμάτινο φράγμα πρέπει να είναι ασφαλές και σταθερό κατά τη διάρκεια όλων των σταδίων κατασκευής και λειτουργίας του ταμιευτήρα του. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω συνθήκες:

- 1) Το ανάχωμα πρέπει να είναι εξασφαλισμένο από τον κίνδυνο υπερπήδησης λόγω εμφάνισης της πλημμύρας σχεδιασμού. Αυτό επιτυγχάνεται με την πρόβλεψη υπερχειλιστών ικανοποιητικής παροχής.
- 2) Τα πρανή του αναχώματος πρέπει να είναι ευσταθή κατά τη διάρκεια της κατασκευής και κάτω από όλες τις συνθήκες λειτουργίας του ταμιευτήρα συμπεριλαμβανομένης της απότομης ταπείνωσης της στάθμης του.
- 3) Το ανάχωμα πρέπει να είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο ούτως ώστε να μη μεταφέρει υπερβολικές τάσεις στη θεμελίωση του.
- 4) Η διήθηση μέσω του αναχώματος της θεμελίωσης και των αντρευσμάτων πρέπει να ελέγχεται ούτως ώστε να μη δημιουργούνται φαινόμενα εσωτερικής διάβρωσης και να μην υπάρχει διασωλήνωση στην περιοχή που εμφανίζεται η διήθηση. Ο όγκος του νερού που χάνεται λόγω διήθησης πρέπει να ελέγχεται για να μη δημιουργεί προβλήματα λειτουργίας.
- 5) Το ανάχωμα πρέπει να είναι ευσταθές έναντι υπερπήδησης από την ύπαρξη κυματισμών.
- 6) Το ανάντη πρανές του αναχώματος πρέπει να προστατεύεται από τη διάβρωση που οφείλεται στη δράση του ανέμου και η στέψη και το κατάντη πρανές πρέπει να προστατεύονται από τη διάβρωση που οφείλεται στον άνεμο και στη βροχή. Ένα χωμάτινο φράγμα που σχεδιάστηκε ούτως ώστε να ικανοποιεί τα παραπάνω κριτήρια θα είναι διαρκώς ασφαλές υπό την προϋπόθεση ότι χρησιμοποιήθηκαν οι κατάλληλες μέθοδοι κατασκευής και ελέγχου. Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με το κριτήριο υπ' αριθμόν 4, δηλαδή με τον έλεγχο της διήθησης διαμέσου του αναχώματος, θα αναπτυχθούν δε κατ' αρχήν μερικά στοιχεία σχετικά με τις δυνάμεις διήθησης.

2. Δυνάμεις διήθησης

Η ροή του νερού μέσω μιάς διαπερατής θεμελίωσης δημιουργεί δυνάμεις διήθησης ως αποτέλεσμα της τριβής μεταξύ του νερού και των τοιχωμάτων των πόρων του εδάφους, ανάλογη με την τριβή που αναπτύσσεται κατά τη ροή του νερού σε ένα κλειστό αγωγό. Το σχήμα 1 δείχνει μία γραμμή ροής μέσω μιάς διαπερατής θεμελίωσης ενός φράγματος. Το νερό κατεισδύοντας στον ανάντη πόδα του φράγματος αυξάνει το κορεσμένο βάρος W_s του εδάφους κατά την αρχική δύναμη διήθησης F_1 . Η συνισταμένη των δύο δυνάμεων είναι η R_1 . Καθώς το νερό συνεχίζει την κίνησή του κατά μήκος της γραμμής ροής, συνεχίζει να ασκεί δυνάμεις διήθησης, κατά την κατεύθυνση της ροής, οι οποίες είναι ανάλογες προς την απώλεια φορτίου ανά μονάδα απόστασης. Όταν η διατομή του ροικού σωλήνα μειώνεται, παραδείγματος χάριν κάτω από το φράγμα η ταχύτητα διήθησης για τη δεδομένη παροχή αυξάνεται. Αυτό συνεπάγεται μία αύξηση της απώλειας φορτίου που με τη σειρά της οδηγεί σε αύξηση της δύναμης διήθησης. Αυτό απεικονίζεται στο σχήμα 1 με τα διανύσματα F_2 και F_3 που είναι μεγαλύτερα από τα F_1 και F_4 . Καθώς το νερό κινείται κατακόρυφα από τα κάτω προς τα πάνω στον κατάντη πόδα του φράγματος, τείνει να ανασπώσει το έδαφος, ελαττώνοντας το βάρος του. Αν η F_4 είναι μεγαλύτερη του W_s η συνισταμένη θα έχει φορά προς τα άνω και το χώμα θα αρχίσει να διαρρέει. Η διάβρωση θα προχωρήσει αντίστροφα κατά μήκος της γραμμής ροής έως ότου σχηματισθεί μία σωλήνωση προς τον ταμιευτήρα, που θα επιτρέψει μία ταχεία εκκένωσή του και συνεπώς την αστοχία του φράγματος. Η πράξη απέδειξε ότι αυτή η δράση μπορεί να είναι βραδεία και αθροιστική και η προκύπτουσα αστοχία μπορεί να είναι μία ξαφνική ανύψωση της θεμελίωσης στον κατάντη πόδα του φράγματος. Μερικοί συγγραφείς αναφέρονται σ' αυτό το είδος της αστοχίας σαν "αστοχία λόγω ανύψωσης". Δεν εξυπακούεται ότι η διασωλήνωση θα οδηγήσει πάντοτε σ' αυτό το είδος της αστοχίας. Αν το έδαφος θεμελίωσης είναι ανομογενές, μπορεί το λεπτόκοκκο υλικό να παρασυρθεί αφήνοντας στη θέση του το χονδρόκοκκο υλικό, δημιουργώντας έτσι ένα αντίστροφο φίλτρο που μπορεί να εμποδίσει την περαιτέρω διασωλήνωση. Επειδή δεν είναι δυνατόν να προβλεφθεί αν το φαινόμενο της διασωλήνωσης θα οδηγήσει σε αστοχία ή αντίθετως σε ενδεχόμενη σταθεροποίηση συνιστάται ο σχεδιασμός της κατασκευής να γίνεται πάντοτε με γνώμονα την αποφυγή του φαινομένου της διασωλήνωσης. Το μέγεθος των δυνάμεων διήθησης μέσω της θεμελίωσης και στον κατάντη πόδα του φράγματος όπου η διασωλήνωση θα ξεκινήσει, εξαρτάται από τον ρυθμό της απώλειας φορτίου του κατεισδύοντος νερού. Σχετικώς αδιαπεράτες θεμελιώσεις ή διαπερατές θεμελιώσεις με κατάλληλες τάφρους στεγανότητας δεν είναι

επιδεκτικές σε διασωλήνωση διότι το αδιαπέρατο έδαφος προβάλλει τέτοια αντίσταση στη ροή του νερού ούτως ώστε το φορτίο του ταμιευτήρα καταναλίσκεται για να υπερνικηθεί η τριβή προτού να φθάσει (το νερό) στον κατάντη πόδα του αναχώματος. Αντίθετως οι διαπερατές θεμελιώσεις (ομογενείς ή στρωματοποιημένες) μπορεί να επιτρέψουν στο νερό να φθάσει στον κατάντη πόδα του αναχώματος χωρίς σημαντική απώλεια φορτίου οφειλόμενη στην τριβή. Σε παρόμοιες περιπτώσεις πρέπει να εξασφαλίζεται ότι οι δυνάμεις διήθησης στον κατάντη πόδα δεν θα οδηγήσουν σε ανύψωση (blowouts). Ένας άλλος τύπος αστοχίας λόγω διασωλήνωσης οφείλεται στην εσωτερική διάβρωση που ξεκινάει με μορφή πηγών στον κατάντη πόδα και προχωράει ανάντη κατά μήκος της βάσης του φράγματος, των τοίχων ενός αγωγού, μιάς στρώσης ιδιαίτερας διαπερατής ή άλλου αδύνατου σημείου της κατασκευής που επιτρέπει σε σημαντική ποσότητα του κατεισδύοντος νερού να φθάσει στην κατάντη του φράγματος περιοχή χωρίς μεγάλες απώλειες λόγω τριβών. Αυτό το είδος αστοχίας αναφέρεται από μερικούς συγγραφείς σαν "αστοχία λόγω υπόγειας διήθησης". Το μέγεθος και η κατανομή των δυνάμεων διήθησης στην θεμελίωση μπορεί να ευρεθούν με τη βοήθεια των δικτύων γραμμών ροής και δυναμικού που είναι γραφική απεικόνιση των γραμμών ροής και των ισοδυναμικών γραμμών. Πρέπει να τονισθεί ότι η κατασκευή του δικτύου ροής σε ανομογενή και ανισότροπα εδάφη προϋποθέτει την ακριβή γνώση του μεγέθους των συντελεστών υδραυλικής αγωγιμότητας K και ειδικής αποθηκευτικότητας S όλων των στρώσεων πράγμα εξαιρετικά δύσκολο αν όχι αδύνατο. Επιπλέον αρκετές αστοχίες που οφείλονται σε εσωτερική διάβρωση δεν μπορούν να αναλυθούν με τη χρήση δικτύου ροής ή άλλων θεωρητικών μεθόδων.

3. Μέθοδοι ελέγχου των διηθήσεων

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την προστασία των χωματινών φραγμάτων και των θεμελιώσεων τους από την διήθηση μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες που θα αναλυθούν στη συνέχεια:

3.1. Μέθοδοι που μειώνουν την διηθούμενη ποσότητα νερού

3.1.1. Τάφρος στεγανότητας

Συχνά τα φράγματα κατασκευάζονται πάνω σε θεμελιώσεις που αποτελούνται από διάφορων ειδών αλλουβιακά εδάφη που υπέρκεινται ενός μητρικού πετρώματος. Το σχήμα 2 παρουσιάζει μία τέτοια διατομή. Εδώ η

θεμελίωση από διαπερατά εδάφη μέσου πάχους καλύπτει ένα αδιαπέρατο μητρικό πέτρωμα. Αν τα αλλοβία δεν είναι μεγάλου πάχους, μία τάφρος στεγανότητας αποτελεί το ιδανικό μέσο για πλήρη έλεγχο της διήθησης. Στην περίπτωση μεγάλου πάχους αλλοβίων χρησιμοποιούνται άλλες μέθοδοι όπως πασσαλοσανίδες και στενά ορύγματα που διατηρούνται ανοικτά με τη χρήση ενός μίγματος αργίλου και μπεντονίτη και πληρούνται με διάφορα μίγματα εδάφους, μπεντονίτη και τσιμέντου.

Η τάφρος στεγανότητας πρέπει να είναι ανάντη από τον άξονα του φράγματος αλλά όχι πέραν του σημείου όπου το κάλυμμα του αδιαπέρατου αναχώματος πάνω από την τάφρο δεν μπορεί να προβάλλει αντίσταση στη διήθηση, ίση τουλάχιστον με αυτή της τάφρου. Ο άξονας της τάφρου πρέπει να παραμένει παράλληλος προς τον άξονα του φράγματος κατά μήκος του πυθμένα της χαράδρας, αλλά να συγκλίνει προς τον άξονα του φράγματος προκειμένου να διατηρηθεί το απαιτούμενο κάλυμμα του αναχώματος. Προκειμένου να εξασφαλίσει ένα ικανοποιητικό πάχος αδιαπέρατου υλικού και μια κατάλληλη επαφή με τον βράχο ή τα άλλα αδιαπέρατα υποστρώματα, το πλάτος πυθμένα της τάφρου πρέπει να αυξάνει συναρτήσει του φορτίου του ταμιευτήρα. Εν τούτοις, το πλάτος του πυθμένα της τάφρου μπορεί να μειώνεται όσο το βάθος εκκαπής αυξάνει, επειδή η δύναμη λόγω διήθησης στην επαφή με τη θεμελίωση θα μειώνεται λόγω μείωσης του φορτίου όσο το βάθος αυξάνει. Το πλάτος της τάφρου μπορεί να ευρεθεί από τον τύπο:

$$w = h - d$$

όπου:

w: πλάτος πυθμένα της τάφρου.

h: ύψος ταμιευτήρα υπεράνω της στάθμης των εδαφών.

d: βάθος εκκαπής κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

Για να είναι αποτελεσματική η τάφρος στεγανότητας πρέπει να διαπερνά όλα τα διαπερατά στρώματα.

Στο σχήμα 2 φαίνεται η σχέση μεταξύ βάθους της τάφρου και διηθούμενης ποσότητας. Έτσι παραδείγματος χάριν μία τάφρος στεγανότητας που διεισδύει κατά 90% το διαπερατό στρώμα μειώνει μόνο κατά 61% τη διηθούμενη ποσότητα. Εν κατακλείδι, όπου αυτό είναι εφικτό από οικονομικής απόψεως, η τάφρος στεγανότητας είναι η ασφαλέστερη μέθοδος για τον έλεγχο της διάβρωσης.

3.1.2. Μερικώς εισδύουσα τάφρος στεγανότητας (Μ.Τ.Σ) (partial cut off trench)

Μία Μ.Τ.Σ. μπορεί να είναι αποτελεσματική σε μία στρωματοποιημένη θεμελίωση διακόπτοντας τα πλέον διαπερατά στρώματα της θεμελίωσης και αυξάνοντας σημαντικά το κατακόρυφο τμήμα των γραμμών ροής. Δεν μπορεί εντούτοις να είναι αποδοτική στην περίπτωση αυτή αν τα πλέον διαπερατά στρώματα δεν είναι συνεχή. Οι διαπερατές θεμελιώσεις αποτελούνται ενίοτε από μία αδιαπέρατη στρώση σημαντικού πάχους που περικλείεται μεταξύ δύο διαπερατών στρώσεων και στην περίπτωση αυτή μία Μ.Τ.Σ. θα αποκόψει μόνο το ανώτερο διαπερατό στρώμα. Η τάφρος θα είναι αποτελεσματική εάν τα πάχη του αδιαπέρατου και του ανώτερου διαπερατού στρώματος επαρκούν για να αντισταθούν στις δυνάμεις διήθησης που υπάρχουν στο κατώτερο διαπερατό στρώμα στην γειτονιά του κατάντη ποδός ούτως ώστε να μη εμφανισθούν φαινόμενα διασωλήνωσης.

3.1.3. Πέτασμα τσιμεντενέσεων (grout curtain)

Η διαδικασία αυτή συνίσταται στη διοχέτευση υπό πίεση ενέματος διά μέσου ενός κενού περιστροφικού τρυπανιού στην άκρη του οποίου βρίσκεται η κεφαλή αναμίξεως. Η κεφαλή αυτή προκαλεί την ανάμιξη του ενέματος και του υλικού θεμελίωσης καθώς προχωρά προς τα κάτω διά μέσω αυτού. Το αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός ενός κυλινδρικού στοιχείου από άμμο και χαλίκια συγκολλημένα με τσιμέντο. Διαδοχικά αλληλοεπικαλυπτόμενα στοιχεία σχηματίζουν ένα συνεχές πέτασμα, το οποίο λειτουργεί ως φράγμα για τη διέλευση του νερού. Το σχήμα 3 δείχνει το ρόλο του πετάσματος τσιμεντενέσεων στη μείωση των διηθήσεων.

Διάφορα υλικά έχουν χρησιμοποιηθεί προκειμένου να αναπτυχθούν μέθοδοι ενέσεων που θα βελτιώσουν τη σταθερότητα και θα μειώσουν τη διαπερατότητα των θεμελιώσεων. Μεταξύ αυτών των υλικών είναι το τσιμέντο, η άσφαλτος, η άργιλος και διάφορες χημικές ουσίες. Οι τσιμεντενέσεις δεν είναι αποτελεσματικές σε λεπτοκοκκώδη υλικά λόγω του σχετικά μεγάλου μεγέθους των κόκκων του τσιμέντου που περιορίζει τη διείδυση. Τα ενέματα αργίλου είναι αμφιβόλου αξίας διότι οι κόκκοι της παρασύρονται εύκολα από τις δυνάμεις διήθησης. Τα ενέματα χημικών ουσιών παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι έχουν το ίδιο ιξώδες με το νερό και συνεπώς μπορεί να γίνει έγχυση τους σε διαπερατά εδάφη. Συνήθως χρησιμοποιούνται δύο ουσίες που αντιδρούν μεταξύ τους και σχηματίζουν ένα αδιάλυτο στερεό gel. Τα ενέματα χημικών ουσιών είναι δαπανηρή διαδικασία, οι τεχνικές εφαρμογής τους είναι περίπλοκες, η επιλογή του ενέματος απαιτεί σημαντικές εργασίες πεδίου και εργαστηριακούς ελέγχους.

Επιπλέον τα αποτελέσματα των ενέσεων είναι δύσκολο να αποτιμηθούν. Για τους παραπάνω λόγους τα ενέματα χημικών ουσιών δεν έχουν τύχει ευρείας διάδοσης.

3.1.4. Διαφράγματα Πασσαλοσανίδων (Sheet - Piling Cutoff)

Τα διαφράγματα πασσαλοσανίδων χρησιμοποιούνται ενίοτε σε συνδυασμό με Μ.Τ.Σ. ως σχετικώς οικονομική λύση αύξησης του βάθους του διαφράγματος και ενίοτε μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί της τάφρου στεγανότητας. Οι πασσαλοσανίδες σχεδόν πάντοτε είναι μεταλλικές. Η χρήση τους περιορίζεται σε θεμελιώσεις από ιλύ, άμμο και λεπτό χαλίκι. Με τις καλύτερες συνθήκες εφαρμογής και με καλή επαφή του πυθμένα των πασσαλοσανίδων με την αδιαπέρατη θεμελίωση πρέπει να αναμένεται ότι οι πασσαλοσανίδες θα είναι αποτελεσματικές κατά 80-90%. Στην περίπτωση κακής εκτέλεσης η αποτελεσματικότητά τους δεν θα ξεπεράσει το 50%.

3.1.5. Ανάντη αδιαπέρατη επένδυση

Η διαδρομή των γραμμών ροής σε διαπερατές θεμελιώσεις είναι δυνατόν να αυξηθεί με την κατασκευή μιας επένδυσης από αδιαπέρατο υλικό που συνδέεται με τη αδιαπέρατη ζώνη του φράγματος και επεκτείνεται ανάντη από τον πόδα του φράγματος. Οι επενδύσεις χρησιμοποιούνται συνήθως στην περίπτωση που οι τάφροι στεγανότητας δεν είναι εφαρμόσιμοι λόγω υπερβολικού βάθους. Χρησιμοποιούνται επίσης σε συνδυασμό με Μ.Τ.Σ. Η τοπογραφία αμέσως ανάντη του φράγματος και η διαθεσιμότητα αδιαπεράτου υλικού αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την επιλογή της λύσης της αδιαπέρατης επένδυσης. Η αδιαπέρατη επένδυση μπορεί να απαιτείται να εφαρμοστεί μόνο στην κοίτη του υδατορεύματος που έχει διαβρωθεί αλλά μπορεί να απαιτείται επίσης και σε τμήματα των αντρευσμάτων.

Αν και οι επενδύσεις μπορούν να υπολογιστούν με θεωρητικά μέσα, στην πράξη χρησιμοποιείται μια απλοποιημένη προσέγγιση για τα μικρά φράγματα. Ένα κατάλληλο πάχος επένδυσης για μικρά φράγματα είναι το 1/10 του βάθους του ταμειυτήρα υπεράνω της επένδυσης, με ελάχιστο πάχος επένδυσης το ένα μέτρο. Τα παραπάνω ισχύουν για επενδύσεις που κατασκευάζονται με υλικά κατάλληλα για τον πυρήνα του φράγματος και συμπυκνώνονται με τις ίδιες μεθόδους.

Το μήκος της επένδυσης καθορίζεται από το επιδιωκόμενο ποσοστό μείωσης της διηθημένης ποσότητας κάτω από το φράγμα. Όπως προκύπτει από το νόμο του Darcy η διηθημένη ποσότης νερού είναι αντιστρόφως ανάλογη προς το μήκος

των γραμμών ροής (για ομογενείς ισότροπες θεμελιώσεις). Ορίζοντας λοιπόν μια ελάχιστη επιτρεπόμενη διηθημένη ποσότητα νερού μπορούμε να υπολογίσουμε το μήκος της ανάντη επένδυσης.

Μία ανάντη επένδυση δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι μειώνει τις δυνάμεις διήθησης μέσω της θεμελίωσης σε σημείο ώστε να αποκλείει εντελώς την καταστροφή λόγω διασολήνωσης. Αν και από θεωρητικής απόψεως, στην περίπτωση ομογενούς θεμελίωσης, μια αδιαπέρατη επένδυση μπορεί να ανταποκριθεί στο ρόλο αυτό, στην πράξη η θεμελίωση γίνεται σε αλλουβιακά εδάφη που παρουσιάζουν μια φυσική διαστρωμάτωση. Είναι λοιπόν πιθανόν, για υψηλές πιέσεις να παρατηρηθούν φαινόμενα διασολήνωσης σε μία ή περισσότερες στρώσεις της θεμελίωσης στον κατάντη πόδα του φράγματος.

Συμπερασματικά, αν δεν είναι δυνατή η κατασκευή μίας τάφρου στεγανότητας που φτάνει μέχρι το μητρικό πέτρωμα, πρέπει να χρησιμοποιούνται πάντοτε οι μέθοδοι που θα αναπτυχθούν στη συνέχεια.

3.2. Μέθοδοι στράγγισης του διηθηθέντος νερού

3.2.1. Οριζόντιος στραγγιστήριος τάπητας (Horizontal drainage blanket)

Ο σκοπός του οριζόντιου στραγγιστήριου τάπητα είναι να επιτρέπει την παροχέτευση της διήθησης και να ελαχιστοποιεί την πιθανότητα αστοχιών λόγω διασολήνωσης. Εκπληρεί αυτό το σκοπό προσφέροντας βάρος στο τμήμα της θεμελίωσης κατάντη του πυρήνα του φράγματος όπου υπάρχουν μεγάλες ανωστικές δυνάμεις διήθησης. Ο στραγγιστήριος τάπητας πρέπει να είναι διαπερατός ούτως ώστε να επιτυγχάνεται η στράγγιση και ταυτόχρονα πρέπει να είναι σχεδιασμένος κατά τέτοιο τρόπο ούτως ώστε να εμποδίζει την κίνηση των εδαφικών κόκκων της θεμελίωσης ή του αναχώματος υπό την επίρεια των δυνάμεων διήθησης.

Ο οριζόντιος στραγγιστήριος τάπητας θα έπρεπε να χρησιμοποιείται σε όλα τα μικρά φράγματα που θεμελιώνονται σε ομογενείς διαπερατές στρώσεις όπου δεν προβλέπεται κατασκευή ορύγματος στεγανότητας. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σχετικά ομογενείς διαπερατές στρώσεις που καλύπτονται από λεπτά αδιαπέρατα στρώματα. Στην περίπτωση αυτή ο στραγγιστήριος τάπητας θα σταθεροποιήσει με το ίδιο βάρος του τη θεμελίωση και θα ανακουφίσει τις πιέσεις που θα διαφύγουν μέσω της αδιαπέρατης στρώσης. Στην περίπτωση στρωματοποιημένης διαπερατής θεμελίωσης χωρίς όρυγμα στεγανότητας, η αποτελεσματικότητά του οριζόντιου στραγγιστήριου τάπητα δεν είναι μεγάλη διότι η στρωματοποίηση εμποδίζει τη στράγγιση κατά την κατακόρυφο διεύθυνση.

Τυπικές διατομές οριζόντιου στραγγιστήριου τάπητα παρουσιάζονται στο σχήμα 4. Σε κάθε εμφανιζόμενη περίπτωση ο στραγγιστήριος τάπητας για λόγους οικονομίας έχει ενσωματωθεί στον κατάντη πόδα του αναχώματος.

Στις περιπτώσεις (α) και (β) του σχήματος 4 η ανάγκη στράγγισης ικανοποιείται από την υπερκείμενη διαπερατή ζώνη, στην περίπτωση (c) το ανάχωμα είναι ομογενές και χρειάζεται ένα ξεχωριστό στραγγιστήριο φίλτρο.

3.2.2. Κριτήρια επιλογής φίλτρου

Τα ακόλουθα κριτήρια συνιστώνται για να εξασφαλίζεται η ευστάθεια του φίλτρου και για να επιτυγχάνεται αυξημένη διηθητικότητα του φίλτρου σε σχέση με το υλικό βάσης. Τα τέσσερα αυτά κριτήρια ισχύουν για φυσική άμμο και χαλίκι, ή για θραυστό υλικό και για ομοιόμορφα ή για διαβαθμισμένα φίλτρα.

$$(1) \quad \frac{D_{15} \text{ φίλτρου}}{D_{15} \text{ υλικού βάσης}} = 5 \text{ έως } 40$$

με την προϋπόθεση ότι το φίλτρο δεν περιέχει περισσότερο από 5% υλικού λεπτότερου των 0,074 mm (κόσκινο 200)

$$(2) \quad \frac{D_{15} \text{ φίλτρου}}{D_{85} \text{ υλικού βάσης}} \leq 5$$

$$(3) \quad \frac{D_{85} \text{ φίλτρου}}{\text{Μέγιστη σχισμή στρ. σωλήνα}} \geq 2$$

$$(4) \quad \text{Η κοκκομετρική καμπύλη του φίλτρου πρέπει να είναι χοντρικά παράλληλη προς την καμπύλη του υλικού βάσης.}$$

Εάν απαιτείται να χρησιμοποιηθούν περισσότερες της μίας στρώσεις φίλτρου, ακολουθούνται τα ίδια κριτήρια. Το λεπτότερο φίλτρο θεωρείται τότε ως το "υλικό βάσης" για την επιλογή του χοντρότερου φίλτρου.

Εκτός από τα παραπάνω κριτήρια δεν πρέπει να χρησιμοποιείται υλικό με διάμετρο κόκκων μεγαλύτερη των 3 ιντσών (7,62 cm) για να αποφευχθεί η συσσωμάτωση και η δημιουργία "γεφυρών" κατά την τοποθέτηση του φίλτρου.

Η εφαρμογή των παραπάνω κριτηρίων εξηγείται στο παράδειγμα που ακολουθεί:

Δίδονται :

Η κοκκομετρική καμπύλη του εδάφους θεμελίωσης με $D_{15}=0,006$ mm και $D_{85}=0,10$ mm καθώς και ότι το άνοιγμα των σχισμών του στραγγιστήριου σωλήνα είναι 1,27 cm.

Ζητούνται :

Η κοκκομετρική καμπύλη των φίλτρων

Λύση

- 1) Το κατώτερο όριο της D_{15} του φίλτρου είναι $5 \cdot 0,006 = 0,03$ mm
- 2) Το ανώτερο όριο της D_{15} του φίλτρου είναι η μικρότερη των τιμών $40 \cdot 0,006 = 0,24$ mm και $5 \cdot 0,1 = 0,5$ mm, άρα επιλέγω 0,24 mm.

Για να ικανοποιηθούν οι συνθήκες (1) και (2) και η συνθήκη της παραλληλότητας επιλέγεται μια άμμος που φαίνεται με το σύμβολο F_1 στο σχήμα 5. Το υλικό αυτό είναι πολύ ψιλό για να τοποθετηθεί σε επαφή με τον στραγγιστήριο σωλήνα που έχει άνοιγμα σχισμών 1,27 cm γιατί πρέπει να πληρούται και η συνθήκη D_{85} τουλάχιστο ίσο προς $2 \cdot 1,27$ cm = 2,54 cm. Άρα απαιτείται να χρησιμοποιηθεί μία δεύτερη στρώση από χαλίκια.

Κάτω όριο του D_{15} του χαλικιού είναι $5 \cdot 0,14 = 0,70$ mm.

Άνω όριο του D_{15} του χαλικιού είναι η μικρότερη από τις τιμές $40 \cdot 0,14 = 5,6$ mm και $5 \cdot 2,14 = 10,7$ mm άρα επιλέγω 5,6 mm.

Ελάχιστη τιμή D_{85} του φίλτρου είναι $2 \cdot 12,7$ mm = 25,4 mm.

Η καμπύλη F_2 του σχήματος 5 ικανοποιεί τις παραπάνω συνθήκες και το κριτήριο της παραλληλότητας.

3.2.3. Στραγγιστήριοι σωλήνες και στραγγιστικοί τάφροι

Οι στραγγιστήριοι σωλήνες (Σ.Σ.) τοποθετούνται συνήθως στον κατάντη πόδα του φράγματος σε συνδυασμό με τον οριζόντιο στραγγιστήριο τάπητα όπως φαίνεται στο σχήμα 4. Ο σκοπός των στραγγιστήριων σωλήνων είναι να συλλέγουν το διηθούμενο νερό που παροχετεύεται από τους οριζόντιους στραγγιστήριους τάπητες και να το οδηγούν σε ένα αποδέκτη που το παροχετεύει στην λεκάνη αποσβέσεως ενεργείας ή στην κοίτη του υδατορεύματος. Στραγγιστήριοι σωλήνες χρησιμοποιούνται επίσης σε αδιαπέρατες θεμελιώσεις για

να εξασφαλίσουν ότι κάθε διήθηση που προέρχεται από τη θεμελίωση ή το ανάχωμα θα συλλεγεί και ότι η υπόγεια στάθμη ελέγχεται ούτως ώστε να παραμείνει κάτω από την επιφάνεια του εδάφους για να αποφύγουμε τη δημιουργία μη ορατών λιμναζόντων νερών κάτω από το φράγμα.

Οι στραγγιστήριες σωλήνες μπορεί να είναι ηλιοσωλήνες ή κυματοειδείς διάτρητοι σωλήνες από χάλυβα με ασφαλική επάλειψη. Οι στραγγιστήριες σωλήνες τοποθετούνται σε ορύγματα σε ικανοποιητικό βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ούτως ώστε να εξασφαλίζουν τη σωστή σύλληψη της διήθησης. Το ελάχιστο βάθος είναι περίπου 1,30 μέτρα. Το πλάτος πυθμένα του ορύγματος είναι 60-90 cm ανάλογα με τη διάμετρο του σωλήνα. Η ελάχιστη διάμετρος του σωλήνα είναι 15 cm. Ο στραγγιστήριος σωλήνας πρέπει να περιβάλλεται από φίλτρο ούτως ώστε να εμποδισθεί η εμφραξη των σχισμών του. Μερικές φορές μπορεί να απαιτούνται δύο στρώσεις φίλτρου.

Όταν οι διαπερατές στρώσεις της θεμελίωσης καλύπτονται από αδιαπέρατα στρώματα, τότε μόνο ένα ποσοστό της διήθησης μπορεί να αντιμετωπισθεί από τον στραγγιστήριο σωλήνα. Σε παρόμοιες περιπτώσεις ο στραγγιστήριος σωλήνας μπορεί να συνδυασθεί με πηγάδια εκτόνωσης ή να αντικατασταθεί πλήρως από αυτά.

3.2.4. Λοξά στραγγιστήρια (chimney drains)

Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζονται ζώνες φίλτρου που εκτείνονται κατακόρυφα ή κεκλιμένα στο κατάντη τμήμα του φράγματος και έχουν ως σκοπό να ελέγξουν τη διήθηση και να οδηγήσουν το διηθούμενο νερό στον οριζόντιο στραγγιστήριο τάπητα. Ο ρόλος των λοξών στραγγιστηρίων φαίνεται παραστατικά στο σχήμα 6.

3.2.5. Πηγάδια εκτόνωσης (relief wells)

Όταν τα διαπερατά στρώματα κάτω από τα φράγματα είναι αρκετά βαθειά, ούτως ώστε να μη μπορούν να διαπεραστούν από ορύγματα στεγανότητας ή αβαθή στραγγιστήρια, τα πηγάδια εκτόνωσης προσφέρουν ένα μέσο αντιμετώπισης των ανωστικών πιέσεων επειδή μπορεί να εισχωρήσουν στα πλέον διαπερατά στρώματα της θεμελίωσης. Τα πηγάδια εκτόνωσης πρέπει να κατασκευάζονται σε πυκνή διάταξη ούτως ώστε να μειώσουν τις πιέσεις σε ασφαλές επίπεδο. Τα πηγάδια πρέπει να είναι εφοδιασμένα με φίλτρα για να εμποδίζουν τη διέλευση των εδαφικών κόκκων και πρέπει να είναι ανθεκτικά στη

διάβρωση και τις καταστροφές που οφείλονται στα βακτηρίδια. Για την επιλογή των φίλτρων μπορεί να χρησιμοποιηθούν τα κριτήρια που προαναφέρθηκαν.

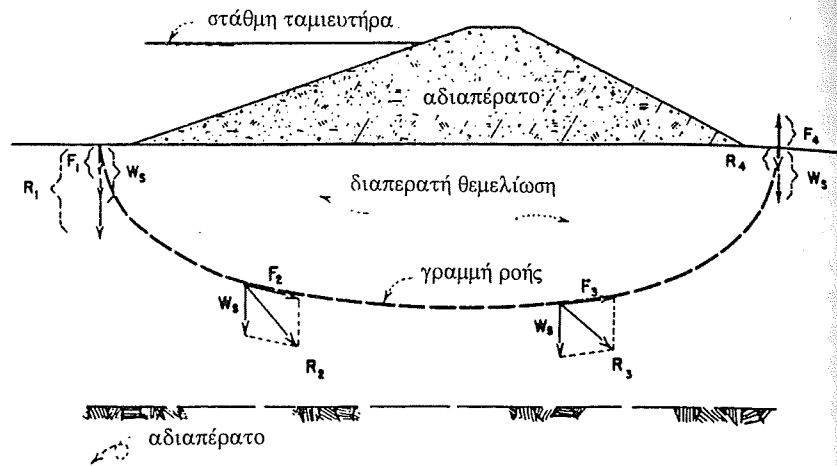
Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των πηγαδιών εκτόνωσης είναι η ευκολία με την οποία μπορεί να επεκταθούν, αν η αρχική εγκατάσταση δεν προσφέρει τον απαιτούμενο έλεγχο της διήθησης. Ένα αρχικό σύστημα πηγαδιών μπορεί να εγκατασταθεί βασισμένο στην διαθέσιμη γνώση των εδαφικών συνθηκών και αν το σύστημα δεν προσφέρει τον απαιτούμενο βαθμό ελέγχου, στη συνέχεια μπορούν να διανοιγούν συμπληρωματικά πηγάδια έως ότου επιτευχθεί ο έλεγχος της διήθησης.

4. Παραδείγματα εφαρμογής μεθόδων ελέγχου της διήθησης

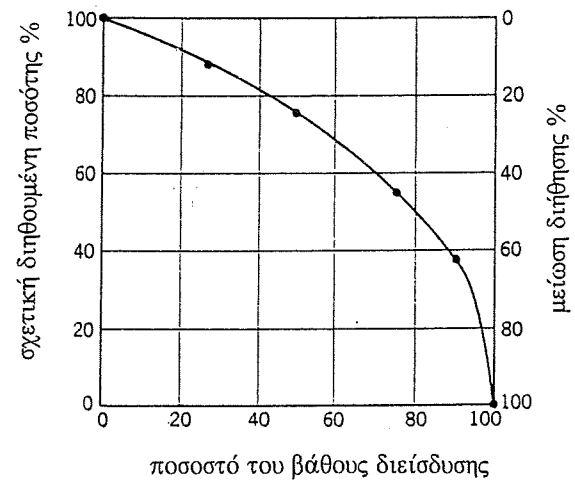
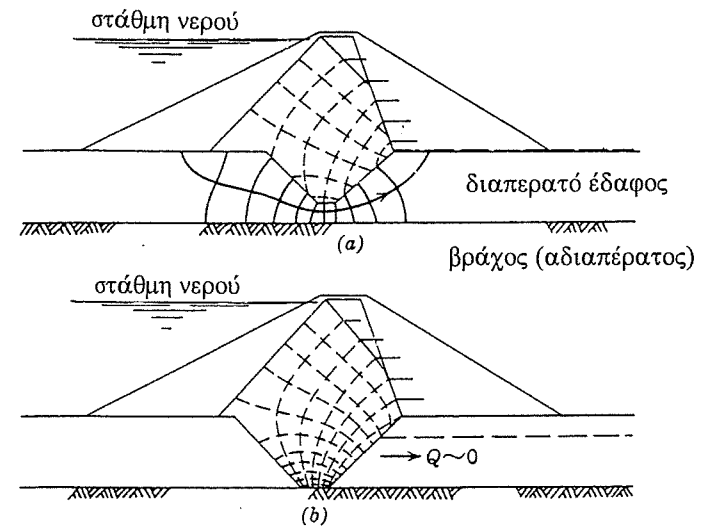
Η εφαρμογή των μεθόδων αντιμετώπισης του φαινομένου της διήθησης που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους καθώς και οι συνδυασμοί τους, αναλόγως της γεωλογικής σύστασης της θεμελίωσης, παρουσιάζονται στα σχήματα 7 έως και 10.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

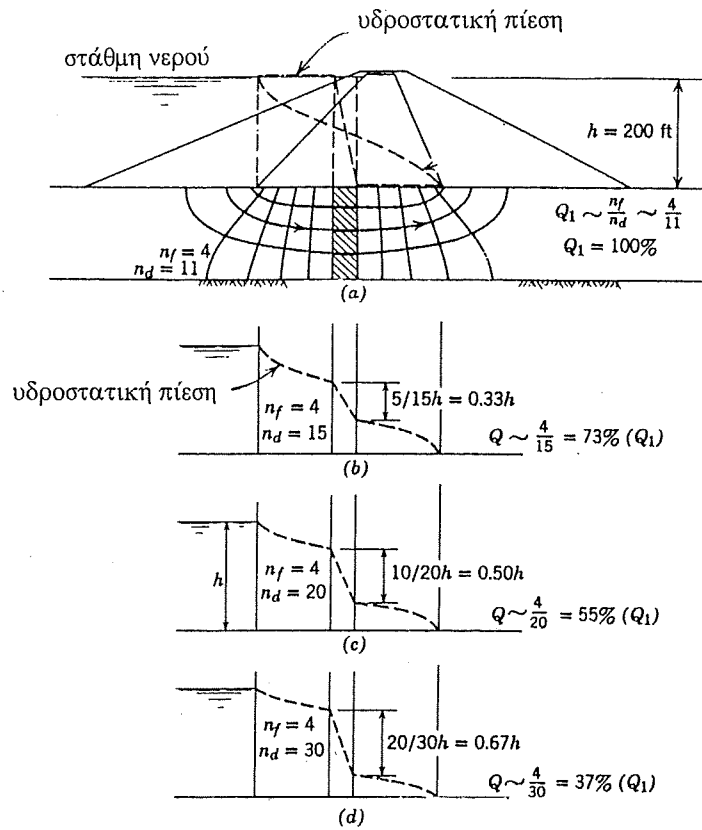
1. Design of small dams. Bureau of Reclamation.
2. H. Cedergren, Seepage, Drainage, and Flow Nets. John Wiley and Sons.



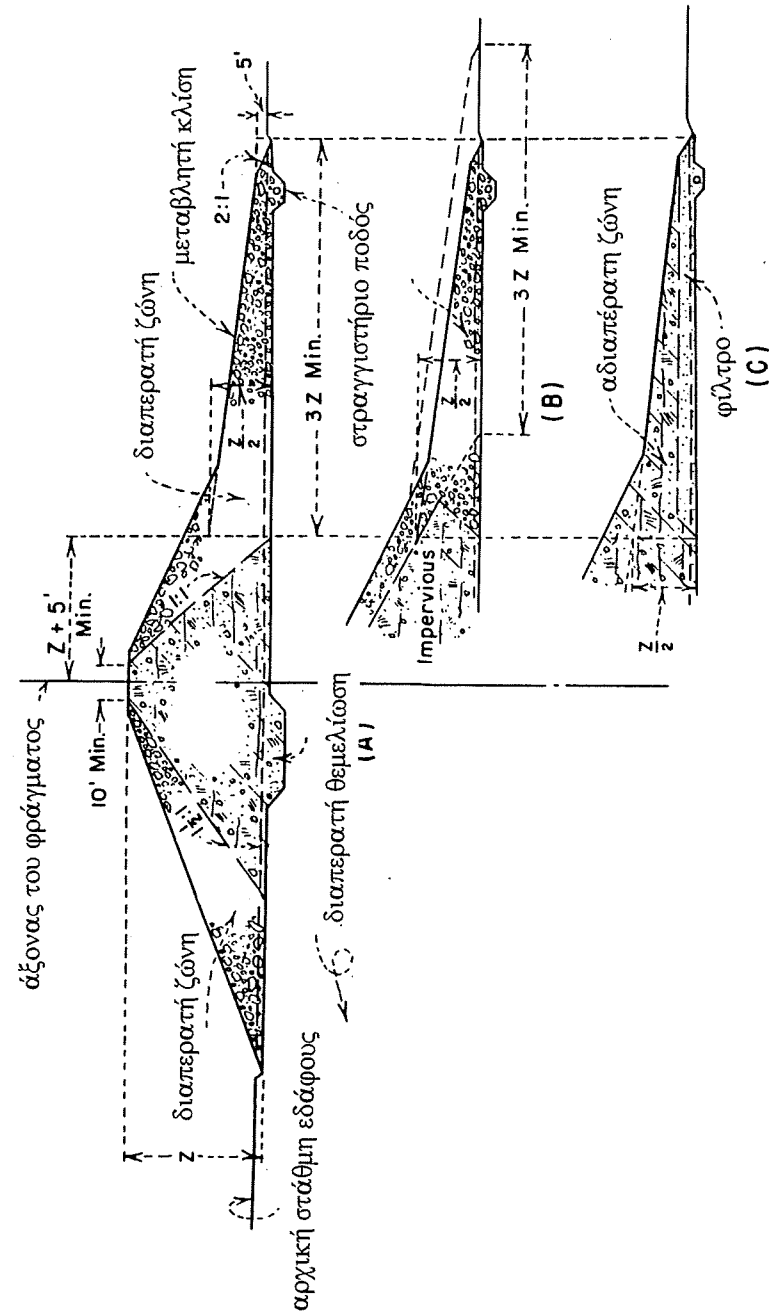
Σχήμα 1 Συνιστώσες της δύναμης διήθησης



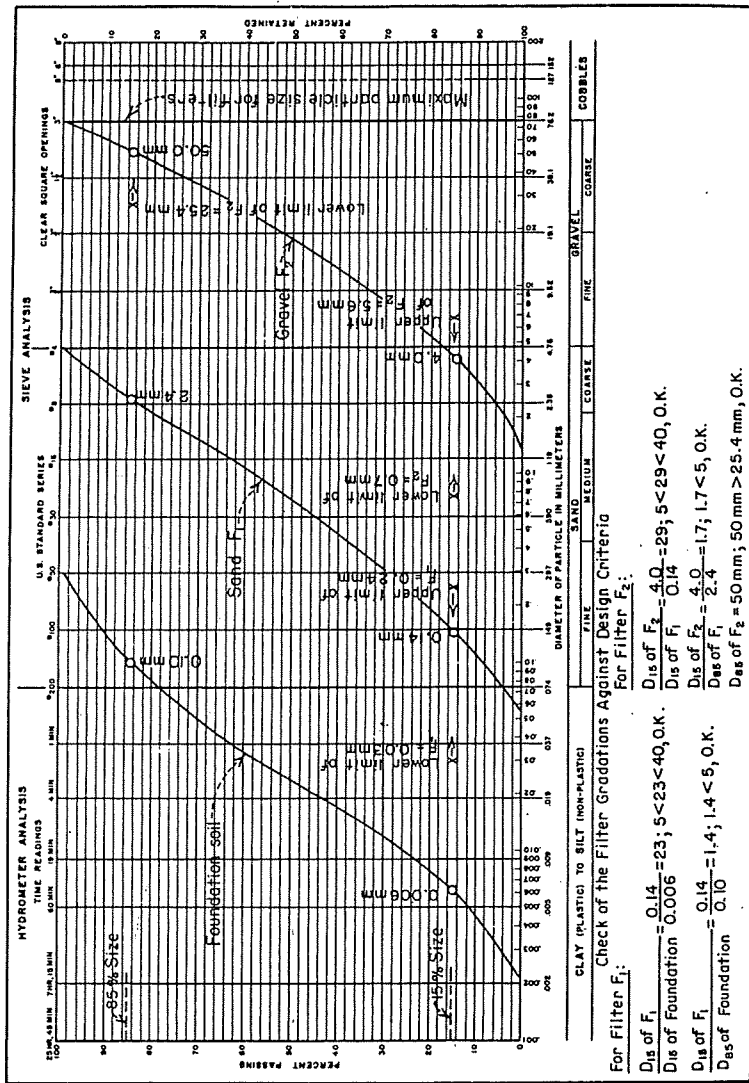
Σχ.2 Μελέτη μερικής τάφρου στεγανότητας. (α) Εγκάρσια διατομή και διάγραμμα ροής για μερική τάφρο στεγανότητας. (β) Τάφρος στεγανότητας (πλήρης έλεγχος διήθησης). (γ) Σχέση μεταξύ βάθους τάφρου στεγανότητας και διηθημένης ποσότητας.



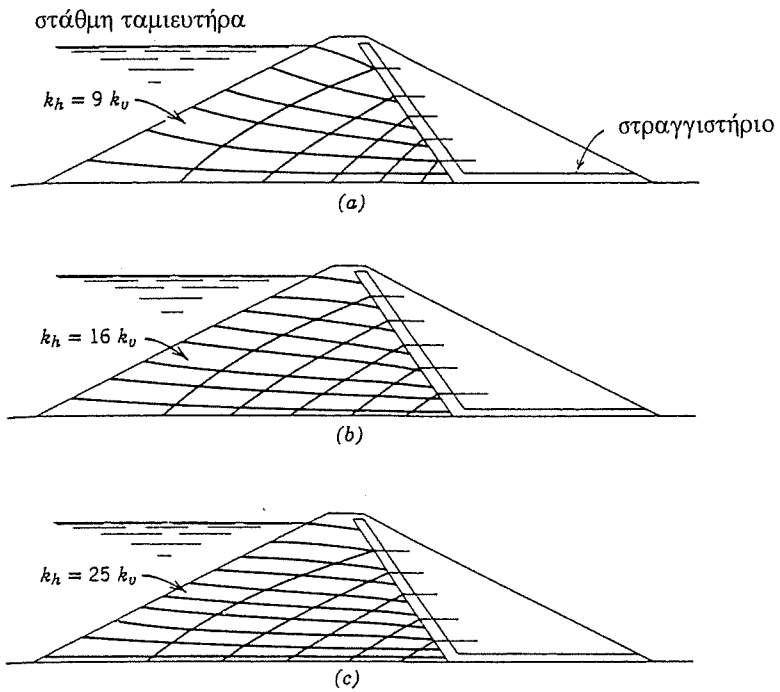
Σχ. 3 Μελέτη με διάγραμμα ροής της αποτελεσματικότητας τσιμεντέσεων κάτω από τον πυρήνα χωματινού φράγματος. (a) Εγκάρσια διατομή και τυπικό διάγραμμα ροής. (b) Τσιμεντένεση αποτελεσματική κατά 80 % ($k_g=0.2k$) (c) Τσιμεντένεση αποτελεσματική κατά 90 % ($k_g=0.1k$) (d) Τσιμεντένεση αποτελεσματική κατά 95% ($k_g=0.05k$). k = υδραυλική αγωγιμότητα του μητρικού πετρώματος.



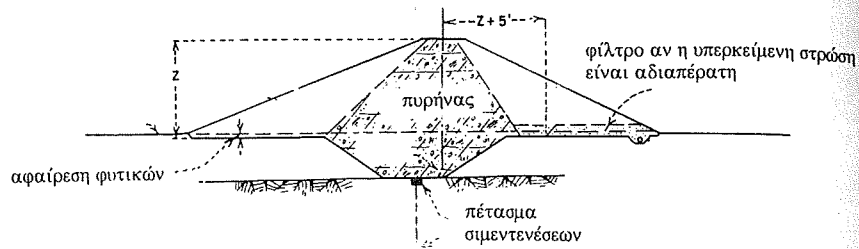
Σχ.4 Οριζόντιος σφραγιστήριος τάπης



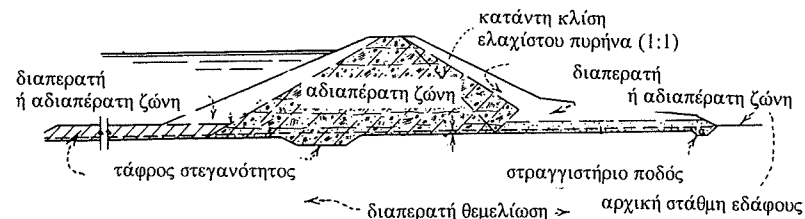
Σχ. 5 Σχεδιασμός φίλτρου



Σχ. 6 Φράγματα με διάφορους βαθμούς στρωματοποίησης εφοδιασμένα με κατακόρυφο στραγγιστήριο (Η διήθηση ελέγχεται σε όλες τις περιπτώσεις)
 (a) $k_h = 9k_v$, (b) $k_h = 16k_v$, (c) $k_h = 25k_v$

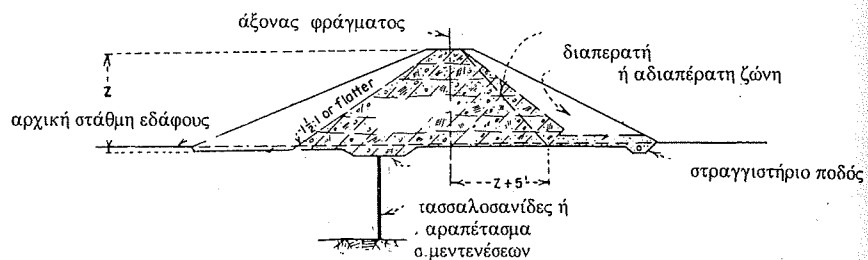


(Α) ΑΒΑΘΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ



(Γ) ΒΑΘΕΙΑ ΔΙΑΠΕΡΑΤΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ

Σχ.8 Αντιμετώπιση της διήθησης στη περίπτωση διαπερατής θεμελίωσης.



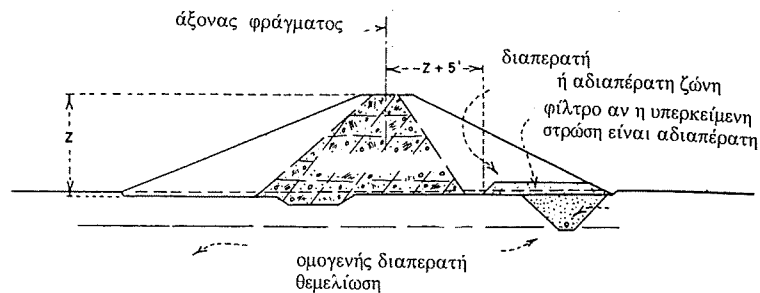
(B) ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ

Σχ.7 Αντιμετώπιση της διήθησης στη περίπτωση διαπερατής θεμελίωσης.

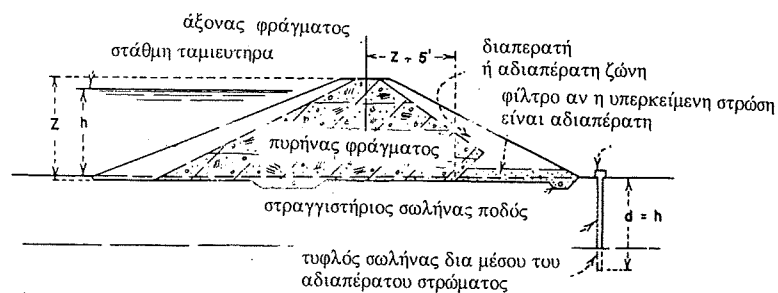


εντόνος στρωματοποιημένη διαπερατή θεμελίωση με πολύ διαπερατά (p) και σχετικώς αδιαπέρατα στρώματα (i)

Σχ.9 Εναλλακτική αντιμετώπιση της διήθησης σε περίπτωση διαπερατής θεμελίωσης μέσου και μεγάλου βάθους και έντονης διαστρωμάτωσης.



(Α) ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟ ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟ ΣΤΡΩΜΑ ΠΟΥ ΛΙΑΠΕΡΝΑΤΑΙ ΑΠΟ ΣΤΡ. ΤΑΦΡΟ



(Β) ΠΗΓΑΔΙ ΕΚΤΟΝΩΣΗΣ

Σχ. 10 Αντιμετώπιση της διήθησης στην περίπτωση ύπαρξης υπερκείμενου στρώματος πάχους μεγαλύτερου του 1.5 μ και μικρότερου της στάθμης του ταμειυτήρα.

ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Οικονόμου Αθανάσιος, Βιολόγος, Τμήμα Γενικών Περιβαλλοντικών Θεμάτων, ΥΠΕΧΩΔΕ

Εισαγωγή

Το άρθρο 24 του Συντάγματος του 1975 καθιέρωσε, ως υποχρέωση του Ελληνικού Κράτους την προστασία του περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα στο άρθρο αυτό καθορίζεται ότι : "η προστασία του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος αποτελεί υποχρέωση του κράτους" και ότι η ανάπτυξη πρέπει να γίνεται με τελικό στόχο την εξυπηρέτηση των οικισμών και την εξασφάλιση των καλύτερων όρων διαβίωσης των πολιτών.

Σε εφαρμογή της Συνταγματικής Επιταγής ψηφίστηκε ο Ν. 1650/86, ο οποίος καθορίζει ότι η προστασία του περιβάλλοντος συνίσταται στη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας και η εξασφάλιση της αναπαραγωγικής ικανότητας των φυσικών οικοσυστημάτων καθώς και στη διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας. Με την προστασία του περιβάλλοντος σχετίζεται ακόμα η προστασία του εδάφους, των νερών και της ατμόσφαιρας από τη ρύπανση και η διατήρηση της φύσης και του τοπίου.

Ένα από τα σημαντικότερα μέσα για την ουσιαστική και αποτελεσματική προστασία του περιβάλλοντος είναι η πρόβλεψη των επιπτώσεων από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, πρόβλεψη η οποία διεθνώς γίνεται μέσω των Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Μ.Π.Ε.).

Με τις μελέτες αυτές επιζητείται ο προσδιορισμός της κατάστασης του συγκεκριμένου περιβάλλοντος που ενδέχεται να επηρεαστεί από έργα ή δραστηριότητες του ανθρώπου, εκτιμάται το είδος και μέγεθος των βλαβών που μπορούν να προκύψουν και σχεδιάζονται τα αναγκαία μέτρα και έργα για την αντιμετώπιση και ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων και των βλαβών.

Οι Μ.Π.Ε. καθιερώθηκαν για πρώτη φορά το 1970 στις Η.Π.Α. με τον Εθνικό Νόμο για την Πολιτική Περιβάλλοντος (National Environmental Policy Act). Το παράδειγμα των Η.Π.Α. ακολούθησε το 1973 ο Καναδάς και το 1975 η Γαλλία.

Το 1981 με το Προεδρικό Διάταγμα 1180/81 επιβάλλεται η εκπόνηση και υποβολή Μ.Π.Ε. για τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις ορισμένων κατηγοριών. Μια

από τις πρώτες μελέτες μεγάλων έργων που εκπονούνται με βάση τις προδιαγραφές του Προεδρικού αυτού Διατάγματος είναι η Μ.Π.Ε. του Πετροχημικού Συγκροτήματος στις Εκβολές Αχελώου (Ο.Αγγελίδης, Θ.Λέκκας, Δ.Ζαφειρόπουλος & Μ.Αγγελίδης).

Το 1985 η οδηγία 85/337/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 27-6-1985 καθιέρωσε ως υποχρεωτική τη Μελέτη των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για ένα μεγάλο αριθμό μεγάλων έργων, είτε δημόσιων ή ιδιωτικών.

Το 1986 ο Ν. 1650/86 για την προστασία του περιβάλλοντος καθιστά υποχρεωτικές τις Μ.Π.Ε. για το σύνολο σχεδόν των έργων και δραστηριοτήτων (Δημόσια και Ιδιωτικά έργα) και το 1990 η Κοινή Υπουργική Απόφαση Κ.Υ.Α. 69269/5387/90 καθορίζει το περιεχόμενο και τις διαδικασίες εκπόνησης και έγκρισης των Μ.Π.Ε.

Πριν ακόμα γίνουν υποχρεωτικές στη χώρα μας οι Μ.Π.Ε. για τα μεγάλα δημόσια έργα (1986) και πρωτού καθιερωθούν οι διαδικασίες εκπόνησης και έγκρισής τους (1990), διάφοροι, δημόσιοι κυρίως οργανισμοί είχαν ήδη αναθέσει την εκπόνηση τέτοιων μελετών.

Σαν παράδειγμα αναφέρονται οι Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων και Επανορθωτικών Μέτρων, οι οποίες ανατέθηκαν από τη Δ.Ε.Η. το 1978 και αφορούσαν την εκτίμηση των επιπτώσεων στις ζώνες άμεσης επιρροής των έργων και τις προτάσεις για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος και ιδίως του θιγόμενου από τα έργα πληθυσμού. Τέτοιες μελέτες αφορούσαν το υδροηλεκτρικό έργο Θησαυρού στο Νέστο (Μελετητής Θ.Παπαγιάννης), οι Μ.Π.Ε. για τα έργα στην παραλίμνια ζώνη Ιωαννίνων (Μελετητές Γ.Βαβίζος, Κ.Ζαννάκη, Α.Οικονόμου, 1982), οι Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων και Επανορθωτικών Μέτρων για τα Υ.Η.Ε. εκτροπής του Αχελώου στη Θεσσαλία (Μεσοχώρα, Συκιά (Μελετητής Α.Παρασκευόπουλος, 1985) Πύλη, Μουζάκι, Μαυρομάτι (1986, Μελετητές Θ.Θεοφύλακτος, Γ.Βαβίζος, Κ.Ζαννάκη) κ.ά.

Απο το 1986 και μετά (οπότε καθορίστηκε επακριβέστερα το αντικείμενο των Μ.Π.Ε. από τη Νομοθεσία μας και την σχετική Οδηγία της Ε.Ο.Κ.) συνεχίζουν να εκπονούνται τέτοιες μελέτες με σημαντικές όμως διαφορές απ'ό,τι στο παρελθόν.

Οι διαφοροποιήσεις που επιβλήθηκαν αφορούν κύρια το αντικείμενο της προστασίας του περιβάλλοντος, νοούμενου ως η προστασία των οικοσυστημάτων, γεγονός που συνεπάγεται διεύρυνση του αντικειμένου και της περιοχής μελέτης.

Σαν χαρακτηριστικά παραδείγματα για την ανάγκη διεύρυνσης και

διαφοροποίησης του αντικειμένου των Μ.Π.Ε. αναφέρονται οι επισημάνσεις των μελετητών της Μ.Π.Ε. των Υ.Η.Ε. Τέμενους Πλατανόβρυσης και Αρκουδορέματος στον π.Νέστο (1988, Μελετητές Α.Ρογκάν, Γ.Βαβίζος κ.ά) όπου εντοπίζεται η ανάγκη μελέτης των επιπτώσεων όχι μόνο στη ζώνη των έργων αλλά και στην ευρύτερη περιοχή με έμφαση στο δέλτα των εκβολών.

Όταν η παραπάνω μελέτη υποβλήθηκε στις αρμόδιες υπηρεσίες για γκρίση, η δ/ση Περιβάλλοντος του ΥΠΕΧΩΔΕ (με αφορμή την επισήμανση των μελετητών) καθόρισε ότι για σημαντικά έργα το πεδίο μελέτης δεν μπορεί να περιορίζεται μόνο στη ζώνη εκτέλεσης των έργων αλλά πρέπει να αφορά το σύνολο της περιοχής που πραγματικά επηρεάζεται.

Σαν παραδείγματα αναφέρονται η επιβολή μελέτης για τις συνολικές επιπτώσεις από τα Υ.Η.Ε. του Αχελώου στην Δυτ.Ελλάδα (1989, Μελετητές Δωπηρεσιακή Ομάδα), των Υ.Η.Ε. του π.Αλιάκμονα π.μ.ε αφορμή τα νέα έργα στη θέση Βαρβάρες (1992, Μελετητές Γ.Βαβίζος, Σ.Κώνστας, Α.Παρασκευόπουλος) κ.ά.

Το Νομικό καθεστώς που ισχύει σήμερα στη χώρα μας για τις Μ.Π.Ε. προβλέπει την εκπόνηση τους από τον ενδιαφερόμενο για το έργο ή τη δραστηριότητα (Δημόσιο, ΟΤΑ, ΝΠΔΔ, ΝΠΙΔ, φυσικά πρόσωπα, αστικές εταιρείες κτλ.) τον έλεγχο τους από τη Διεύθυνση Περιβάλλοντος του ΥΠΕΧΩΔΕ και την έγκριση περιβαλλοντικών όρων με κοινή απόφαση του Υπουργού ΠΕΧΩΔΕ και των κατά περίπτωση συναρμόδιων Υπουργών.

Μεθοδολογία εκπόνησης

Οι τεχνικές προδιαγραφές για την εκπόνηση των Μ.Π.Ε. καθορίζονται με την Κ.Υ.Α. 69269/5387/90 και αφορούν βασικά 4 ενότητες:

- περιγραφή και καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης του περιβάλλοντος της
- περιοχής του έργου ή της δραστηριότητας.
- περιγραφή του προτεινόμενου έργου ή δραστηριότητας
- εκτίμηση και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- μέτρα για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων.

Από την εξέταση των τεχνικών προδιαγραφών για τις Μ.Π.Ε., όπως αυτές καθορίζονται στους σχετικούς πίνακες του άρθρου 16 της Κ.Υ.Α. που

προαναφέρθηκε, φαίνεται ότι οι συντάκτες των προδιαγραφών έδωσαν ιδιαίτερη έμφαση στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις (όπου υπήρχε προηγούμενη εμπειρία από το Π.Δ. 1180/81) ενώ δεν αντιμετώπισαν επαρκώς άλλα έργα και δραστηριότητες που δεν περιλαμβάνουν βιομηχανικές διεργασίες και εγκαταστάσεις.

Από τις προδιαγραφές Μ.Π.Ε. φαίνεται ακόμα μια αγαντιστοιχία μεταξύ του Νόμου για το Περιβάλλον (ο οποίος σαφώς αναφέρεται στην προστασία των οικοσυστημάτων και των φυσικών πόρων) και του σχετικού κεφαλαίου της Κ.Υ.Α., το οποίο καθορίζει μια σειρά έργων και δραστηριοτήτων ως εχόντων ιδιαίτερα σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και των σχετικών προδιαγραφών που αναφέρονται στην περιγραφή του περιβάλλοντος και στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι υπάρχει ρητή υποχρέωση για αναφορά στην κατάσταση ρύπανσης του αέρα, των νερών και του εδάφους (σε σχέση με θεσμοθετημένα όρια) ενώ δεν είναι σαφώς καθορισμένος στην Κ.Υ.Α. ο τρόπος περιγραφής και εκτίμησης των επιπτώσεων στα φυσικά οικοσυστήματα.

Οι αδυναμίες αυτές της Κ.Υ.Α. έχουν οδηγήσει τις αρμόδιες υπηρεσίες στην εξειδίκευση των προδιαγραφών Μ.Π.Ε. για ομάδες έργων ή δραστηριοτήτων.

Στις ομάδες έργων ή δραστηριοτήτων στις οποίες έχουν επιβληθεί ειδικές προδιαγραφές περιλαμβάνονται και τα υδραυλικά έργα.

Για τα υδραυλικά έργα, τα τελευταία χρόνια οι Μ.Π.Ε. εκπονούνται με ειδικές προδιαγραφές, τις οποίες οι αρμόδιες υπηρεσίες καθορίζουν στη διαδικασία για την προέγκριση χωροθέτησης.

Με βάση τις ειδικές αυτές προδιαγραφές η Μ.Π.Ε. των υδραυλικών έργων θα πρέπει να διασφαλίσει όχι μόνο την εκτίμηση και την αντιμετώπιση των επιπτώσεων από τις κατασκευές (φράγματα, ταμιευτήρες, δανειοθάλαμοι, συναφή έργα κτλ), αλλά και από τις μεταβολές στο υδρολογικό δίκτυο και τις χρήσεις του νερού στο σύνολο της περιοχής που ενδέχεται να επηρεασθεί. Ακόμα ο σκοπός της αντιμετώπισης των επιπτώσεων καθορίζεται ότι δεν αποσκοπεί απλά στη μείωση της βλάβης αλλά και στην κατά το δυνατόν αναβάθμιση του περιβάλλοντος, σύμφωνα με τις νεότερες αντιλήψεις της οικολογικής επιστήμης, η οποία προτείνει αναβάθμιση του περιβάλλοντος με τεχνικές παρεμβάσεις ως αντισταθμιστική ενέργεια από τα έργα που προκαλούν υποβάθμιση.

Οι Μ.Π.Ε. των υδραυλικών έργων, σύμφωνα με τις προδιαγραφές εκπόνησής τους, πρέπει να αντιμετωπίσουν:

α). Την περιγραφή και καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης του περιβάλλοντος.

β) Την εκτίμηση, αξιολόγηση και αντιμετώπιση των επιπτώσεων από το συγκεκριμένο έργο και τα άλλα έργα ή δραστηριότητες που επηρεάζουν ή επηρεάζονται από αυτό. Τα άλλα έργα ή δραστηριότητες αφορούν υφιστάμενα ή έργα ή δραστηριότητες που ενδέχεται να δρομολογηθούν από το συγκεκριμένο είτε στη φάση κατασκευής (π.χ. λατομεία) ή από τη λειτουργία (π.χ. αρδεύσεις, δρόμοι, ιχθυοτροφεία, τουριστικές εγκαταστάσεις κτλ).

Σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές η Μ.Π.Ε. των υδραυλικών έργων περιλαμβάνει την περιγραφή του έργου (γεωγραφική θέση, σχέση του έργου με άλλα προγραμματιζόμενα έργα κτλ, τις εναλλακτικές λύσεις και τις φάσεις υλοποίησης του έργου), την περιγραφή του περιβάλλοντος της περιοχής και την εκτίμηση των επιπτώσεων.

Για την πρόβλεψη και εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, εκτός από τα χαρακτηριστικά του έργου, απαιτούνται και στοιχεία για τα χαρακτηριστικά και την κατάσταση τόσο του φυσικού όσο και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος της περιοχής όπου σχεδιάζεται να γίνει το έργο.

Τα χαρακτηριστικά του φυσικού περιβάλλοντος που απαιτούνται σε γενικές γραμμές είναι τα μετεωρολογικά και κλιματικά στοιχεία, τα χαρακτηριστικά των υπόγειων και επιφανειακών νερών, τα γεωλογικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά, τα χερσαία, υδατικά και θαλάσσια οικοσυστήματα, οι βιότοποι, η χλωρίδα και η πανίδα.

Όσον αφορά το ανθρωπογενές περιβάλλον απαιτούνται στοιχεία για τους παραγωγικούς τομείς, τη χρήση γης, τα δημογραφικά χαρακτηριστικά, τις οικονομικές δραστηριότητες, τα δίκτυα υποδομής, τα ισχύοντα για την περιοχή ρυθμιστικά ή πολεοδομικά σχέδια.

Στην εκτίμηση της κατάστασης του περιβάλλοντος περιλαμβάνεται η καταγραφή των πιέσεων που υφίσταται το φυσικό ή ανθρωπογενές περιβάλλον και η περιγραφή της κατάστασης ρύπανσης των επιφανειακών, υπόγειων και θαλάσσιων νερών, της ατμόσφαιρας και του εδάφους.

Όπως θα αναφερθεί και στη συνέχεια, ένα από τα προβλήματα στην εκπόνηση των Μ.Π.Ε. των υδραυλικών έργων (αλλά και άλλων μεγάλων έργων ή δραστηριοτήτων) είναι ότι πολύ συχνά τα υπάρχοντα στοιχεία για το φυσικό περιβάλλον, είναι ανεπαρκή, ή (σε ορισμένες περιπτώσεις) δεν υπάρχουν καθόλου.

Η έλλειψη στοιχείων απαιτεί παραγωγή πρωτογενών στοιχείων με

εργασίες και έρευνες πεδίου. Η πρακτική αυτή ακολουθείται και σε χώρες που διαθέτουν εκτεταμένα στοιχεία για το περιβάλλον, όταν κρίνεται ότι τα υπάρχοντα στοιχεία είναι ανεπαρκή (CANTER, 1983). Αλλά και στις περιπτώσεις που υπάρχουν στοιχεία οι έρευνες πεδίου είναι επιβεβλημένες, προκειμένου να διαπιστωθούν τυχόν μεταβολές τους.

Η εκτίμηση, η αξιολόγηση και η αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα υδραυλικά έργα είναι ουσιαστικά και το δυσκολότερο στάδιο της μελέτης.

Ένα από τα σημαντικότερα ερωτήματα που έχουν απασχολήσει τη διεθνή βιβλιογραφία είναι ο καθορισμός της περιβαλλοντικής επίπτωσης.

Έχει υποστηριχθεί ότι ο βαθμός εκτίμησης της αλλαγής των χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος και ο χαρακτηρισμός των αλλαγών αυτών ως σημαντικών ή όχι είναι πολύ συχνά υποκειμενική και εξαρτάται όχι μόνο από τα επιστημονικά στοιχεία που έχουμε στη διάθεσή μας αλλά και από κοινωνικούς παράγοντες (BISSET, 1983).

Η κατασκευή και λειτουργία ενός υδραυλικού έργου σε μια περιοχή μπορεί να θεωρηθεί από ορισμένες κοινωνικές ομάδες (π.χ. αγρότες, κτηνοτρόφοι, τουριστικά επαγγέλματα κ.ά) σαν μια αφετηρία σημαντικής οικονομικής ανάπτυξης με δημιουργία μεγαλύτερου εισοδήματος, νέων δραστηριοτήτων και θέσεων εργασίας.

Για άλλες κοινωνικές ομάδες η κατάλυση εδαφους από τους ταμιευτήρες ή τα συναφή έργα μπορεί να ερμηνευτεί σαν σοβαρή διαταραχή των πηγών εξασφάλισης εισοδήματος, της ποιότητας του περιβάλλοντος ή ακόμα και σαν μια σοβαρή καταστροφή του φυσικού περιβάλλοντος και της αναπαραγωγικής ικανότητας των οικοσυστημάτων.

Ένας δεύτερος σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι ότι το σημερινό επίπεδο γνώσης και κατανόησης των φυσικών οικοσυστημάτων και των επιδράσεων σε αυτά των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων δεν επιτρέπει την ακριβή και ποσοτική πρόβλεψη των επιπτώσεων (CLARK, 1983).

Για την πρόβλεψη και εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες που επιτρέπουν την περισσότερο ορθολογιστική και αντικειμενική προσέγγιση του προβλήματος. Οι μεθοδολογίες συνίστανται στη χρήση καταλόγων των απαραίτητων περιβαλλοντικών παραγόντων (CHECKLISTES), μητρών αλληλεπίδρασης (INTERACTION

MATRICES), δικτύων (NETWORKS) και ενεργειακών διαγραμμάτων (ENERGY SYSTEMS DIAGRAMMS) (CANTER, 1983).

Οι κατάλογοι περιβαλλοντικών παραγόντων χρησιμεύουν στο να εξασφαλισθεί ότι όλοι οι σημαντικοί παράγοντες έχουν ληφθεί υπόψη τόσο για τη συγκέντρωση των απαραίτητων στοιχείων όσο και για την πρόβλεψη των επιπτώσεων.

Για την πρόβλεψη των επιπτώσεων χρησιμοποιούνται ευρύτατα οι μήτρες αλληλεπίδρασης που περιλαμβάνουν στον ένα άξονα τις διάφορες διαδικασίες στη φάση κατασκευής ή λειτουργίας ενός έργου και στον άλλο άξονα τους διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Οι πιθανές επιδράσεις σημειώνονται στο ανάλογο τετραγωνίδιο. Οι μήτρες αλληλεπίδρασης είναι ιδιαίτερα χρήσιμες γιατί εξασφαλίζουν τον εντοπισμό όλων των πιθανών επιπτώσεων.

Για την πρόβλεψη των δευτερογενών και τριτογενών επιπτώσεων χρησιμοποιούνται σε πολλές περιπτώσεις δίκτυα. Με αυτά είναι δυνατό να προβλέψουμε τις πιθανές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παρεμβάσεων και των περιβαλλοντικών παραγόντων αλλά και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των παραγόντων αυτών.

Για παράδειγμα η δημιουργία ενός μεγάλου υδραυλικού έργου μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των στερεοπαροχών και των πλημμυρικών φαινομένων με ευμενείς συνέπειες στη γεωργία και τους οικισμούς ενώ παράλληλα να διαφοροποιήσει τις γεωργικές δραστηριότητες (αρδεύσεις, νέες καλλιέργειες κτλ) με συνέπειες στην αύξηση της ρύπανσης των νερών από χημικά καλλιεργητικά μέσα και στην εξέλιξη των ακτογραμμών.

Οι επιπτώσεις από την κατασκευή και λειτουργία των υδραυλικών έργων αφορούν συνήθως τις συνέπειες στην περιοχή των τεχνικών έργων (φράγματα, αγωγοί κτλ) στις περιοχές όπου επέρχονται μεταβολές στις περιβαλλοντικές συνθήκες (ταμιευτήρες, αρδεύσεις κτλ), στα υδρολογικά δίκτυα και στην υδρολογία, στους πληθυσμούς, στην αισθητική του περιβάλλοντος, στα φυσικά οικοσυστήματα (δάση, βιότοποι, υγροβιότοποι, θαλασσινά οικοσυστήματα κτλ.) στις περιπτώσεις των έργων σε περιοχές όπου θεωρείται ότι το περιβάλλον είναι ακόμα ανέπαφο.

Οι παραπάνω διακρίσεις όμως είναι αναποτελεσματικές αν δεν αντιμετωπίσουν την προστασία του περιβάλλοντος ολιστικά, δηλαδή, χωρίς να παραγνωρίσουν το αναντήρητο γεγονός ότι ο άνθρωπος είναι συντελεστής των οικοσυστημάτων και ότι ως βιολογικοκοινωνικό ον επηρεάζει και επηρεάζεται από

τις οικολογικές ισορροπίες.

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να τονισθεί ότι η εκτίμηση και αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων δεν μπορεί να αποτελεί μια ανεξάρτητη μελέτη, αλλά, πρέπει να είναι ένα αναπόσπαστο μέρος του όλου σχεδιασμού ενός υδραυλικού έργου.

Από τις πρώτες φάσεις της τεχνικής μελέτης του έργου (προκαταρκτική τεχνική μελέτη) τα περιβαλλοντικά κριτήρια κυρίως πρέπει να είναι αναπόσπαστο μέρος στην αναζήτηση και μελέτη των τεχνικο-οικονομικά εφικτών εναλλακτικών λύσεων.

Η εκτίμηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων πρέπει ουσιαστικά αποτελεί ένα από τα κριτήρια για την προεπιλογή των εναλλακτικών αυτών λύσεων.

Η εκπόνηση Μ.Π.Ε. υδραυλικών έργων (όπως και των άλλων έργων ή δραστηριοτήτων), απαιτεί την απασχόληση πολλών εξειδικευμένων και πεπειραμένων επιστημόνων πολλών διαφορετικών ειδικοτήτων.

Επιστημονική ειδικότητα, με αποκλειστικότητα σε θέματα περιβάλλοντος (περιβαλλοντολόγος) δεν υπάρχει.

Η οικολογία (αν και καθαρά βιολογική επιστήμη σε επίπεδο έρευνας και εκτίμησης της εξέλιξης του περιβάλλοντος), για τις προβλέψεις της και για το σχεδιασμό της ανάπτυξης, έχει ανάγκη από διεπιστημονικές προσεγγίσεις.

Η οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη, σύμφωνα με τις διεθνείς δεσμεύσεις (Συνδιάσκεψη του Ο.Η.Ε. για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη, Rio De Janeiro, 1992) πρέπει να διασφαλίζει την προστασία του περιβάλλοντος και για τούτο κάθε σχετική προσέγγιση θα πρέπει να γίνεται από διεπιστημονική ομάδα.

Οι απαιτούμενες επιστημονικές ειδικότητες θα πρέπει να εξασφαλίζουν κατ'αρχήν τη δυνατότητα της εκτίμησης της κατάστασης και των δυναμικών ισορροπιών που διέπουν την εξέλιξη των οικοσυστημάτων με αναφορά στην κατάσταση "κλίμαξ" των φυτοκοινωνικών διαπλάσεων (κανονικές σειρές, οπισθοδρομικές σειρές).

Στη συνέχεια θα πρέπει να υπάρχουν οι επιστημονικές ειδικότητες, οι οποίες μπορούν να προτείνουν παρεμβάσεις με στόχο τη διατήρηση ή αναβάθμιση των δυναμικών ισορροπιών στα οικοσυστήματα μέσω της διασφάλισης συνθηκών που επιτρέπουν στους φυσικούς κύκλους την απρόσκοπτη λειτουργία των οικοσυστημάτων.

Οι γνώσεις αυτές μπορούν να εξασφαλισθούν από επιστήμονες, οι οποίοι

έχουν σπουδάσει τα οικοσυστήματα (βιολόγοι, γεωπόνοι, δασολόγοι) από επιστήμονες οι οποίοι μπορούν να μελετήσουν τους μη βιοτικούς παράγοντες του περιβάλλοντος (γεωλόγοι, χημικοί, φυσικοί, κτλ.) και τέλος τεχνικούς επιστήμονες με γνώσεις κατασκευής των απαραίτητων έργων αντιμετώπισης των συνεπειών από τα έργα.

Προφανώς θεωρείται δεδομένο ότι ο σχεδιασμός των υδραυλικών έργων γίνεται πάντα συνυπολογίζοντας όλα τα στοιχεία που επιτρέπουν την αποτελεσματικότητα και τη χρησιμότητά τους (χωροταξικές μελέτες, γεωργικές μελέτες, κτλ.).

Εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας είναι ο συντονισμός των επιστημόνων και τεχνικών όλων αυτών των ειδικοτήτων από επιστήμονες με μεγάλη εμπειρία στην εκπόνηση Μ.Π.Ε. καθώς και η προηγούμενη συνεργασία των βασικών συντελεστών της ομάδας μελέτης.

Προβλήματα εκπόνησης

Το σημαντικότερο πρόβλημα της εκπόνησης Μ.Π.Ε. υδραυλικών έργων σήμερα στην Ελλάδα είναι ότι η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων δεν ξεκινά από τα αρχικά στάδια της μελέτης και σχεδίασης του έργου. Ουσιαστικά πολύ συχνά οι Μ.Π.Ε. εκπονούνται για ένα έργο που η θέση κατασκευής του, το μέγεθος και ο τρόπος κατασκευής και λειτουργίας του είναι προαποφασισμένα και δεν προτείνονται για συγκριτική εξέταση εναλλακτικές τεχνικές λύσεις.

Ένα δεύτερο σημαντικό πρόβλημα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, συνίσταται στην υποχρέωση του ενδιαφερόμενου για ένα υδραυλικό έργο στη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας των φυσικών οικοσυστημάτων και στην εξασφάλιση της αναπαραγωγικής τους ικανότητας.

Αυτό συχνά είναι δύσκολο να εξασφαλισθεί γιατί τα οικοσυστήματα δέχονται και άλλες πιέσεις που ο ενδιαφερόμενος για το έργο ή τη δραστηριότητα δεν μπορεί να ελέγχει ή να καταργήσει.

Σαν παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε την προστασία υδροβιότοπων από υδραυλικά έργα σε απόσταση από τον τόπο κατασκευής των έργων. Οι υδροβιότοποι (εκτός από τις συνέπειες από τα υδραυλικά έργα) υφίστανται πιέσεις από άλλους παράγοντες τους οποίους δεν μπορεί να αντιμετωπίσει (με τα όσα σήμερα ισχύουν) μόνος του ο ενδιαφερόμενος (π.χ. ΔΕΗ) για ένα υδραυλικό έργο.

Αν τα οικοσυστήματα δέχονται (όπως συνήθως συμβαίνει) και άλλες πιέσεις (αποπλύσεις εδαφών, κατάληψη εδάφους, ρύπανση του αέρα κτλ.) δεν μπορεί να εξασφαλισθεί η προστασία τους από τις επιδράσεις ενός νέου υδραυλικού έργου, γιατί έστω και αν περιορισθούν οι επιδράσεις από το έργο αυτό είναι δυνατό να μη διασφαλίζεται η προστασία του οικοσυστήματος. Το πρόβλημα αυτό σχετίζεται και με τις αρμοδιότητες του ενδιαφερόμενου για το έργο αλλά και με τις πραγματικές δυνατότητες παρέμβασης που έχει.

Προβλήματα στην εκπόνηση των Μ.Π.Ε. παρουσιάζονται και στα διαθέσιμα στοιχεία για το περιβάλλον. Για παράδειγμα σε γενικές γραμμές στον ελλαδικό χώρο δεν υπάρχουν αναλυτικά υδρογεωλογικά στοιχεία και υδρογεωλογικοί χάρτες με εξαίρεση πολύ λίγες περιοχές, ούτε υπάρχουν στοιχεία από πάρα πολλές ιδιωτικές γεωτρήσεις, στοιχεία στάθμης νερών ώστε να μπορεί να προκύψουν επιπτώσεις όπως ταπεινώση ή ανύψωση της στάθμης. Πολύ συχνά δεν υπάρχουν ακόμα γεωμορφολογικοί χάρτες ώστε να μπορούν να προκύψουν στοιχεία για τις διεργασίες διάβρωσης - απόθεσης υλικών.

Άλλο παράδειγμα είναι η έλλειψη στοιχείων για τα χαρακτηριστικά των οικοσυστημάτων και τη σύνθεση της χλωρίδας και πανίδας ή η έλλειψη των απαραίτητων για την πρόβλεψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μετεωρολογικών και κλιματολογικών στοιχείων.

Ειδικά για τα οικοσυστήματα δεν υπάρχουν καταγραφές των χαρακτηριστικών διαπλασεων κλίμαξ (εκτός αυτών για τα δασικά οικοσυστήματα του ΕΘΙΓΕ). Τα ερευνητικά ιδρύματα με ελάχιστα οικοσυστήματα (νηρικά, μεταβατικά κτλ) έχουν ασχοληθεί και οι εργασίες τους τις περισσότερες φορές είναι απόσπασματικές και περιορισμένες.

Για τη σωστή εκπόνηση των Μ.Π.Ε. υδραυλικών έργων και για τον εντοπισμό των σημαντικών επιπτώσεων και των απαιτούμενων μέτρων για την αντιμετώπιση τους χρειάζεται μεγαλύτερη ελευθερία στον μελετητή να επιλέγει αιτιολογημένα τα εκάστοτε σημαντικά στοιχεία του περιβάλλοντος, του χώρου και των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων και να προχωρεί σε βάθος ανάλογα με την ιεράρχηση κάθε στοιχείου.

Έτσι μπορούν να αποφευχθούν οι πλατειασμοί σε αναλύσεις δευτερευόντων κατά περίπτωση στοιχείων. Χρειάζεται ακόμα ελευθερία στον μελετητή να επιλέγει την καταλληλότερη μέθοδο εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων

και όχι η επιβολή συγκεκριμένων μεθόδων που ουσιαστικά παρακάμπτουν τα ουσιαστικά προβλήματα, όπου γίνεται συνήθως με την ευλαβή τήρηση των προδιαγραφών των Υπηρεσιών, οι οποίες αναθέτουν και ελέγχουν τις σχετικές μελέτες.

Αντίστοιχα απαιτείται μεγαλύτερη ευελιξία των υπηρεσιών στον καθορισμό και στην αποδοχή προδιαγραφών για τις Μ.Π.Ε. των υδραυλικών έργων, διεπιστημονικές ομάδες ελέγχου των μελετών αξιολόγησης και καθορισμού των περιβαλλοντικών όρων.

Ταυτόχρονα απαιτείται βασική έρευνα για το περιβάλλον και ιδίως για τα οικοσυστήματα στη χώρα μας, γεγονός που ανάγεται στις δραστηριότητες των ερευνητικών ιδρυμάτων.

Για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων το νομικό εργαλείο είναι ο καθορισμός Περιβαλλοντικών Όρων, δηλαδή ειδικών προδιαγραφών που επιβάλλονται για την κατασκευή και τη λειτουργία των έργων.

Οι Περιβαλλοντικοί Όροι για να είναι αποτελεσματικοί πρέπει να διασφαλίζουν την αντιμετώπιση του συνόλου των επιπτώσεων σε όλο το μέγεθος του περιβάλλοντος που επηρεάζεται, γεγονός που συνεπάγεται ευρύτερη θεώρηση των περιβαλλοντικής σημασίας έργων, μέτρων ή ρυθμίσεων.

Το πρόβλημα εκτίμησης των επιπτώσεων από ένα συγκεκριμένο υδραυλικό έργο και η συνεισφορά του έργου αυτού στη διαμόρφωση της κατάστασης του περιβάλλοντος στην ευρύτερη περιοχή (συνεργιακή δράση) γίνεται επιβάλλοντας τη συνολική εκτίμηση των επιπτώσεων όχι μόνο από το συγκεκριμένο έργο αυτό αλλά και από το σύνολο των υφιστάμενων ή των αναμενόμενων έργων ή δραστηριοτήτων στην περιοχή που ενδέχεται να επηρεασθεί από το συγκεκριμένο έργο.

Η επιβολή περιβαλλοντικών όρων στη συνέχεια γίνεται καθορίζοντας ειδικούς όρους κατασκευής και λειτουργίας για το συγκεκριμένο έργο καθώς και με τη θεσμοθέτηση ειδικών ρυθμίσεων για το σύνολο της περιοχής που επηρεάζεται, επιμερίζοντας ταυτόχρονα τις υπευθυνότητες για την εφαρμογή των όρων αυτών.

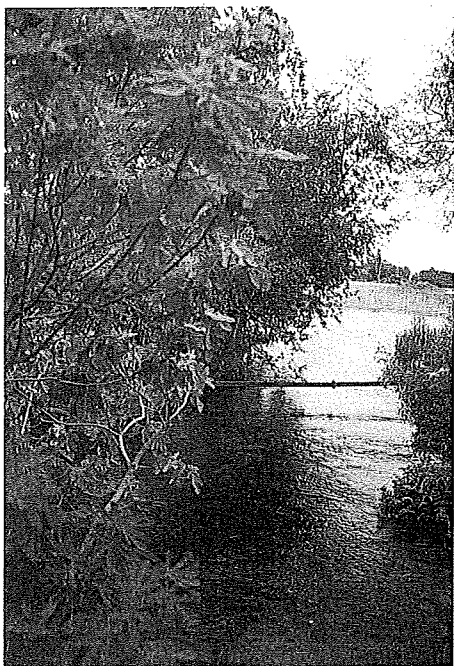
Φυσικά υπάρχει και η περίπτωση από τη Μ.Π.Ε. να προκύπτει ότι η υλοποίησή του είναι ασύμβατη με την προστασία του περιβάλλοντος, όπως έγινε για παράδειγμα στην περίπτωση των υδραυλικών έργων στον Ενυπέα.

Για την εφαρμογή των όσων προβλέπουν οι Περιβαλλοντικοί Όροι (στους περιβάλλοντικούς όρους περιλαμβάνονται και όσα προτείνονται στη Μ.Π.Ε.), η πρακτική των υπηρεσιών για τα Δημόσια Έργα είναι να ενσωματώνονται οι δαπάνες των περιβαλλοντικής σημασίας έργων και των ρυθμίσεων στον προϋπολογισμό του έργου ώστε να ελέγχεται η υλοποίησή τους με την πρόοδο των εργασιών. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται ο έλεγχος της υλοποίησης στη φάση πιστοποίησης των εργασιών και πληρωμών με ευθύνη της επιτροπής επίβλεψης και της επιτροπής παραλαβής της υπηρεσίας επίβλεψης.

Για τα ιδιωτικά έργα η εφαρμογή των περιβαλλοντικών όρων είναι προϋπόθεση για την έκδοση της άδειας λειτουργίας τους.

Βιβλιογραφία

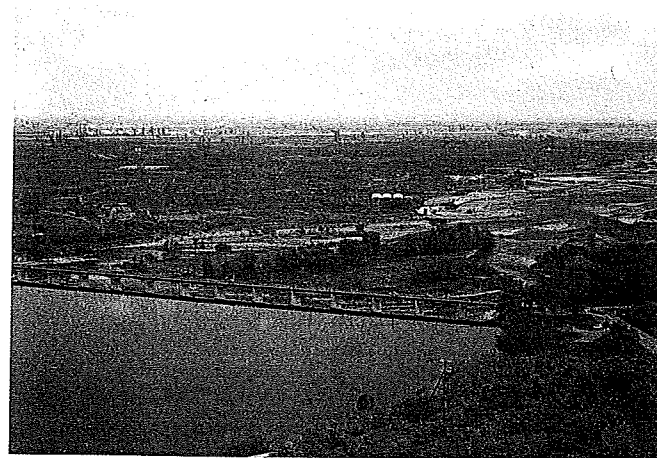
1. Βαβίζος, Γ. Ζαννάκη, Κ. Ζαφειρόπουλος, Δ. (1993): Εισήγηση στο Συνέδριο για την Τεχνολογία του Περιβάλλοντος, ΤΒΕ, Helleco, Αθήνα.
2. Γρηγορίου, Π. Σαμιώτης, Γ. Τσάλτας, Γ. (1993): Συνδιάσκεψη για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη του Ο.Η.Ε. στο Rio De Janeiro, Εκδ. Παπαζήση, Αθήνα.
3. Bisset, R. (1983) : Introduction to Methods for Environmental Impact Assesment, Environmental Impact Assesment, PADC Env. Impact Ass. and Planning Unit : Martinus Nijhoff Publishers, 131.
4. Canter, L.W. (1983) : Water Pollution Impacts, Ibid, 335.
5. Clark, B.D. (1983) : EIA manuals : General Objectives and the PADC manual, Ibid 149.
6. Dorney, R.S. (1987) : The Professional Practice of Environmental Manager, Springer - Verlag, N.York.
7. Gisotti, G. Bruschi, S. (1990): Valutare l'Ambiente, Ed.Nuova Italia Scientifica, Roma.
8. Mitsch, W. Jorgensen, S.(1989): Ecological Engineering, Ed.Willy, U.S.A
9. Polelli, M. (1987) : Valutazione di Impatto Ambientale, Ed. Reda, Roma.
10. Zavatti, A. (1989 : Valutazione e Bilancio di Imapatto Ambientale, Pitagora Ed. Bologna.



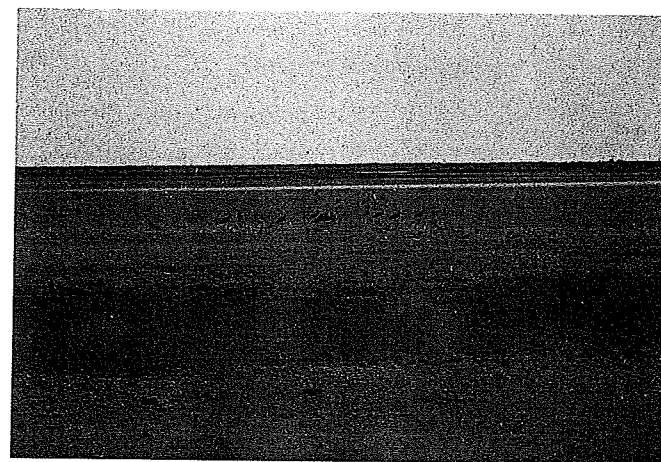
Εικ.1 Πηγές Τυρνάβου



Εικ.2 Εκβολές Αχελώου



Εικ.3 Βαρβάρες (Αλιάκμονας)



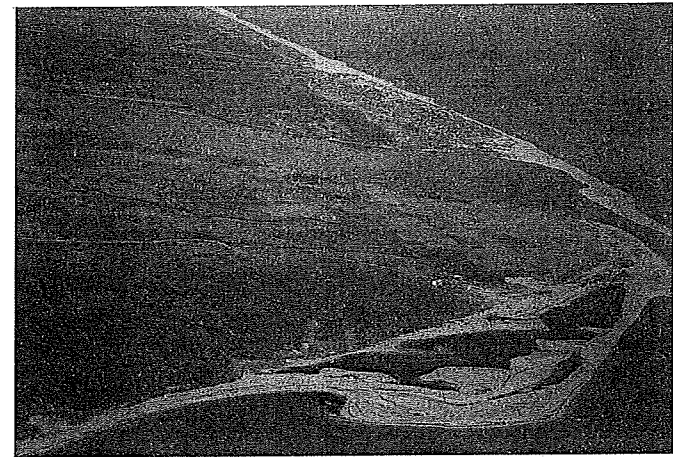
Εικ.4 Δέλτα Εβρου (Μαυροπέλαγος)



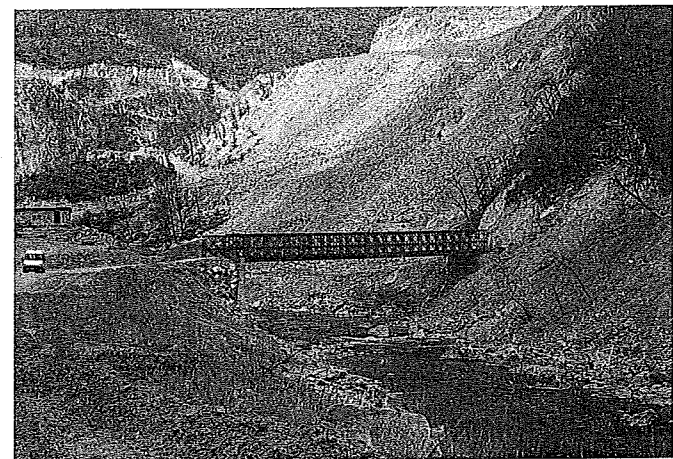
Εικ.5 Ζώνη εκβολών Νέστου



Εικ.6 Κερκίνη(Τσικνιάδες)



Εικ.7 Εκβολές Νέστου



Εικ.8 Δ.Ε.Η. Θησαυρός

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΟΥΤΟ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΕΡΚΙΝΗΣ, ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

Πυροβέτση Μυρτώ, Επίκουρη Καθηγήτρια Οικολογίας, Τομέας Οικολογίας,
Τμήμα Βιολογίας, Α.Π.Θ.

Χωρίς αμφιβολία, οι λιμνοδεξαμενές και τα φράγματα έχουν προσφέρει σημαντικά οφέλη στον άνθρωπο ικανοποιώντας τους σκοπούς για τους οποίους κατασκευάστηκαν. Τα οφέλη από αυτά τα υδραυλικά έργα είναι τόσο μεγάλα και τόσο εμφανή ώστε για χρόνια ελάχιστη σημασία δίδονταν σε πιθανές βλαβερές επιδράσεις, εκτός από τις καταστροφές που μπορεί να προκαλούνταν από τη ρήξη των φραγμάτων. Έτσι ελάχιστα έχουν διερευνηθεί οι συνέπειες που προκαλούν τόσο η κατασκευή, όσο και η λειτουργία αυτών στο φυσικό περιβάλλον ευρύτερα, ειδικότερα δε στη διατήρηση των οικολογικών λειτουργιών αλλά και της ποικιλότητας των φυσικών συστημάτων. Πιστεύω ότι η έλλειψη διερεύνησης αυτού του τομέα οφείλεται κυρίως στο ότι δεν αναγνωρίζεται αρκούντως η σημασία της διατήρησης των φυσικών στοιχείων και βέβαια δεν συνδέεται η ανάγκη διατήρησης της φύσης και των πόρων της με το αναπτυξιακό έργο που συνήθως αποτελούν οι λιμνοδεξαμενές και τα φράγματα.

Τα μέτρα σχεδιασμού και διαχείρισης τα οποία συνήθως λαμβάνονται αφορούν κυρίως την αποφυγή καταστροφών από ρήξη των φραγμάτων, ενώ έχουμε την εμφάνιση ανεπιθύμητων παρενεργειών στο περιβάλλον συχνά ακόμα και μακριά τόσο τοπικά όσο και χρονικά από την ίδια την κατασκευή. Πολλές απ'αυτές τις επιδράσεις δρουν με διαφορετικούς και συχνά αντικρουόμενους τρόπους στους ζωντανούς οργανισμούς, έτσι ώστε οι τελικές βιολογικές συνέπειες πολλές φορές δεν είναι δυνατό να προβλεφθούν με σιγουριά. Εν ολίγοις, είναι σαν να σχεδιάζουμε και να προγραμματίζουμε τα έργα αυτά ανεξάρτητα από το φυσικό περιβάλλον στο οποίο εντάσσονται και το οποίο συνεχίζει να λειτουργεί σαφώς αλλοιωμένο από την παρουσία τους.

Το ερώτημα που προκύπτει είναι: Πώς μπορεί η επιστήμη της οικολογίας να συμβάλλει στο βέλτιστο σχεδιασμό και λειτουργία των λιμνοδεξαμενών και φραγμάτων;

Για να απαντήσουμε στο ερώτημα αυτό απαραίτητο είναι καταρχήν να μελετήσουμε τις διαταραχές και τα προβλήματα που προκαλούνται από τα υδραυλικά αυτά έργα, να επανεξετάσουμε δηλαδή την έως σήμερα εμπειρία, και τα ευρήματα αυτά να τα θέσουμε υπόψη των μηχανικών και υδρολόγων. Κατόπιν, σε συνεργασία με τους τελευταίους να

μελετήσουμε πώς θα εξαλειφθούν ή τουλάχιστον πώς θα ελαχιστοποιηθούν αυτά τα προβλήματα και θα αποκατασταθούν οι φυσικές οικολογικές διεργασίες. Αυτό το σκοπό θα προσπαθήσω να εξυπηρετήσω με την εργασία αυτή, παίρνοντας σαν χώρο μελέτης την περίπτωση της λίμνης Κερκίνης, ώστε να κινητοποιήσω τους περιβαλλοντολόγους και μηχανικούς-υδραυλικούς σε σχέση με τα προβλήματα που συνδέονται με τα παραπάνω έργα.

Όπως είναι ήδη γνωστό η λίμνη Κερκίνη έχει χαρακτηριστεί από το 1975 Υγρότοπος Διεθνούς Σημασίας σύμφωνα με τη Σύμβαση Ramsar και ανήκει στις Ειδικά Προστατευόμενες Φυσικές Περιοχές σύμφωνα με την Οδηγία 79/409 της Ευρωπαϊκής Κοινότητας. Στην Ελλάδα η λίμνη κατέχει την πρώτη θέση για την παραγωγικότητά της και ξεχωρίζει για τον πλούτο τις ορνιθοπανίδας της.

Εδώ κρίνω απαραίτητο να άρω μια παρεξήγηση, διευκρινίζοντας αυτά που έχουν γραφεί στον τύπο επανειλημμένως, ότι δηλαδή η Κερκίνη έγινε σημαντικός υγρότοπος από τότε που κατασκευάστηκε το φράγμα και έγινε η τεχνητή λίμνη. Αυτό δεν ανταποκρίνεται στην αλήθεια, διότι ο υγρότοπος της Κερκίνης προϋπήρχε του φράγματος και όλων των σχετικών έργων διευθέτησης του Στρυμόνα, εφόσον ο υγρότοπος προέκυψε από την πλημμυρογενή δράση του ποταμού στο συγκεκριμένο πεδίο. Αντίθετα, τα διάφορα έργα που εκτελέστηκαν εκεί μετά το 1930 (Monks & Ulen 1929) αλλοίωσαν τον υγρότοπο και αυτές τις μεταβολές θέλω να παρουσιάσω με την εισήγησή μου.

Τα πρώτα αναχώματα και το πρώτο φράγμα στην Κερκίνη αλλά και οι διευθετήσεις του Στρυμόνα έγιναν το 1930 για να περιορίσουν τις καταστροφές από την πλημμυρογενή δράση του ποταμού και τον ίδιο τον εξαιρετικά εκτεταμένο υγρότοπο που υπήρχε στην περιοχή αυτή. Ελος το ονόμαζαν και οφείλουμε να ομολογήσουμε ότι, πέρα από τον πλούτο της πανίδας και χλωρίδας που διέθετε, οι κάτοικοι υπέφεραν σοβαρά από ελονοσία. Τα έργα οδήγησαν στην εξαιρετική συρρόκνωση του υγροτόπου και στη δημιουργία της πρώτης λίμνης Κερκίνης. Από κει και πέρα άρχισε να καλείται "τεχνητή" η λίμνη. Παρόλο που περιορισμένος ο υγρότοπος, καθώς πλαισιώανε μόνο το βόρειο τμήμα της λίμνης, υπήρξε εξαιρετικά πλούσιος και οδήγησε στον χαρακτηρισμό της ως Διεθνούς Σημασίας. Οι συνθήκες οι οποίες προκάλεσαν αυτόν τον χαρακτηρισμό ήταν η παρουσία μιας λίμνης ρηχής που πλαισιώνονταν από εκτάσεις περιοδικά καλυμμένες με νερό, αβαθείς κι όπου επικρατούσε έντονη η εναλλαγή του υγρού στοιχείου με την ξηρά. Η μεσόφαση αυτή ανάμεσα στα υδάτινα και χερσαία συστήματα έχει τεράστια οικολογική αξία που οφείλεται στη συνύπαρξη των δύο αυτών στοιχείων

και δίνει υψηλή βιολογική παραγωγικότητα. Έτσι αναπτύχθηκε εκεί μια βλάστηση πλούσια τόσο σε αριθμό ειδών φυτών όσο και σε πυκνότητα. Τα τρία αυτά στοιχεία -η ποικιλότητα της βλάστησης μαζί με το νερό και το γόνιμο έδαφος, εμπλουτισμένο με τις θρεπτικές ουσίες που μεταφέρει ο ποταμός- δημιουργούν στην περιοχή ένα πλήθος βιοτόπων, διαφορετικών τόσο σε δομή όσο και λειτουργικότητα. Με τη σειρά της η ποικιλότητα αυτή των βιοτόπων ευνοεί την ανάπτυξη ενός μεγάλου αριθμού διαφορετικών ειδών ζώων -από τα κατώτερα είδη ζωοπλαγκτού ως τα ανώτερα θηλαστικά ή πουλιά- που βρίσκουν κατάλληλες συνθήκες για διαβίωση, αναπαραγωγή, διατροφή και καταφύγιο.

Αναγνωρίζω ότι τα παραπάνω ισχύουν λίγο ή πολύ σε πολλούς υγρότοπους της χώρας μας. Ποιοί όμως είναι οι φυσικοί παράγοντες που ξεχωρίζουν την Κερκίνη από την Πρέσπα, την Κορώνεια ή Βόλβη που είναι σημαντικές λίμνες επίσης, και την κάνουν να υπερέχει στη βιολογική ποικιλότητα και τον πλούτο;

Τους παράγοντες αυτούς μπορούμε να τους συνοψίσουμε στα παρακάτω:

1. Η ίδια η τοπογραφία της λίμνης που είναι στην πραγματικότητα μια πλημμυρογενής κοιλάδα ποταμού.
2. Η υδροπερίοδος -χαρακτηριστική των παραποτάμιων υγροτόπων- με την ανώτερη και κατώτερη στάθμη του νερού να συμβαίνει στην ίδια βλαστική περίοδο ετήσια. Εδώ σαν παρένθεση θάθελα να διευκρινίσω ότι η υδροπερίοδος (διακύμανση της στάθμης) είναι μια λειτουργία-κλειδί από την οποία καθορίζεται η δομή της βλάστησης και η συνολική παραγωγικότητα του οικοσυστήματος. Οι τεχνητές αυτές πλημμύρες μπορούν να ενδυναμώσουν αλλά και να καταπονήσουν ένα οικοσύστημα, ανάλογα με την έντασή τους και το χρόνο κατά τον οποίο συμβαίνουν (Ewel 1978).
3. Η κατάκλυση των εδαφών -βάθος του πλημμυρισμού- για πολλά χρόνια ήταν σχετικά ήπια και επέτρεπε μεταβολές της στάθμης κάτω από 2 μέτρα εποχιακά. Η σταθερότητα επίσης στην επανάληψη της κατάκλισης των εδαφών με νερό κάθε χρόνο εξασφάλιζε σταθερότητα στον ίδιο τον υγρότοπο.
4. Η μεγάλη έκταση της λεκάνης απορροής σε σχέση με την έκταση της λίμνης επιδρούσε έμμεσα στην ποιότητα του εισρέοντος νερού, καθώς μεταφέρονταν μεγάλες ποσότητες οργανικών και ανόργανων υλικών στη λίμνη.
5. Η "ταλάντωση της υδροπεριόδου" (hydroperiod pulse) αντιστοιχεί και με μία ταλάντωση εισροής θρεπτικών υλών που συνοδεύει τα ιζήματα. Το φράγμα περιοδικώς λειτουργεί σαν μία παγίδα αυτών των θρεπτικών και της οργανικής αποσυντιθέμενης βιομάζας που προέρχεται από τους νεκρούς χερσαίους και υδρόβιους οργανισμούς. Ο σύντομος υδραυλικός χρόνος παραμονής του νερού στη

λίμνη (Καμαριανός κ.ά. 1989) επιτρέπει τη συχνή ανανέωση του νερού της λίμνης και την εξαγωγή μέρους των θρεπτικών ουσιών στα κατάντι του Στρυμόνα, η οποία ελέγχεται από το άνοιγμα των θυρίδων του φράγματος και την εκροή των νερών. Αυτές οι παροχές υδρολογικές/θρεπτικών καθορίζουν σημαντικά την υψηλή παραγωγικότητα του υγροτόπου και τους ρυθμούς αποσύνθεσης της ύλης σ'αυτόν.

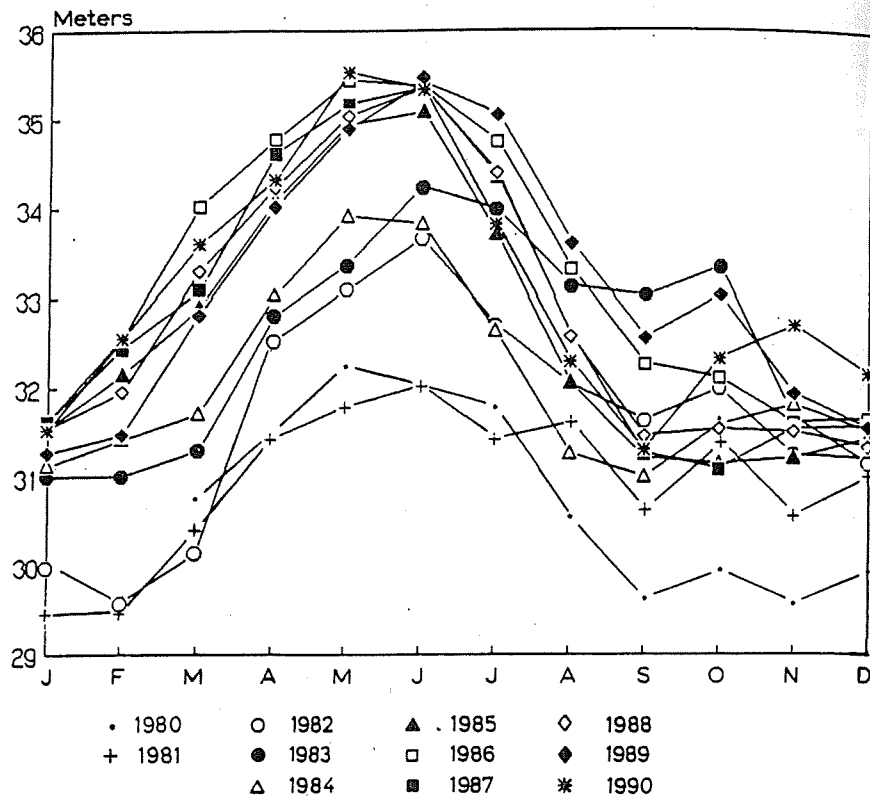
6. Η είσοδος θρεπτικών στοιχείων και σπόρων οδήγησε σε μια μοναδική σύνθεση βλάστησης ενώ η υδρολογία ευνόησε την αφθονία της βλάστησης.
7. Η ίδια η λίμνη λειτούργησε σαν παγίδα ιζημάτων που σχημάτισαν εκτεταμένες αμμολωρίδες και λασπότοπους. Αυτή η χωρική ετερογένεια επαύξησε κατά πολύ τις οικολογικές θέσεις του υγροτόπου.
8. Ο υψηλός βαθμός πρωτογενούς παραγωγικότητας και η ποικιλότητα των ενδιαιτημάτων, τόσο σε δομή όσο και λειτουργικότητα, ευνόησε μια πλούσια πανίδα. Επιπλέον, η θέση της Κερκίνης στη μεταναστευτική πορεία των υδρόβιων πουλιών συνέβαλε στην παρουσία μιας εξαιρετικά πλούσιας και ποικίλης σε είδη πτηνοπανίδας. Η ίδια η λίμνη, αποτελώντας τον κρίκο ανάμεσα στα ανάντι και κατάντι του ποταμού Στρυμόνα, συνέδεε οικοσυστήματα επιτρέποντας έτσι τη μετανάστευση των ψαριών.

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες συνήρτησαν έτσι ώστε η Κερκίνη να γίνει ένας από τους πιο σημαντικούς υγρότοπους της Νότιας Ευρώπης. Αυτά μέχρι το 1982, οπότε με την κατασκευή και λειτουργία του νέου σύγχρονου φράγματος και των νέων υπερυψωμένων αναχωμάτων πολλοί από τους προαναφερθέντες παράγοντες άλλαξαν, επηρεάζοντας δυσμενώς τον υγρότοπο, ενώ άλλες αρνητικές συνέπειες στον ίδιο δεν είναι ακόμα οφθαλμοφανείς.

Ας δούμε ποιοί είναι οι παράγοντες που άλλαξαν και τί συνέπειες είχαν στα επιμέρους στοιχεία του υγροτόπου.

Η κύρια μεταβολή υπήρξε αυτή της υδροπεριόδου και ειδικότερα του βάθους της κατάκλισης και της εποχής (του timing ακριβέστερα) της προκαλούμενης ανύψωσης της στάθμης (Σχήμα 1).

Η στάθμη του νερού της λίμνης η οποία είναι στα χαμηλότερα επίπεδά της κατά τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες, αυξάνει βαθμηδόν από τον Ιανουάριο, ταχύτερα από το Μάρτιο και φθάνει στο μέγιστο ύψος της στα μέσα Μαΐου (άνω των 5 μέτρων μεταβολή) οπότε, εξαιτίας της άρδευσης, πέφτει μέχρι το Σεπτέμβριο. Αποτέλεσμα αυτής της μεταβολής της στάθμης ήταν η αλλαγή της φυσιογνωμίας όλης της λίμνης και κυρίως του υγροτόπου της που υπήρξε σημαντική. Διότι: η μεν ανοικτή λίμνη έγινε



Σχήμα 1. Μέσες μηνιαίες μεταβολές της στάθμης της λίμνης Κερκίνης από το 1980 έως το 1990.

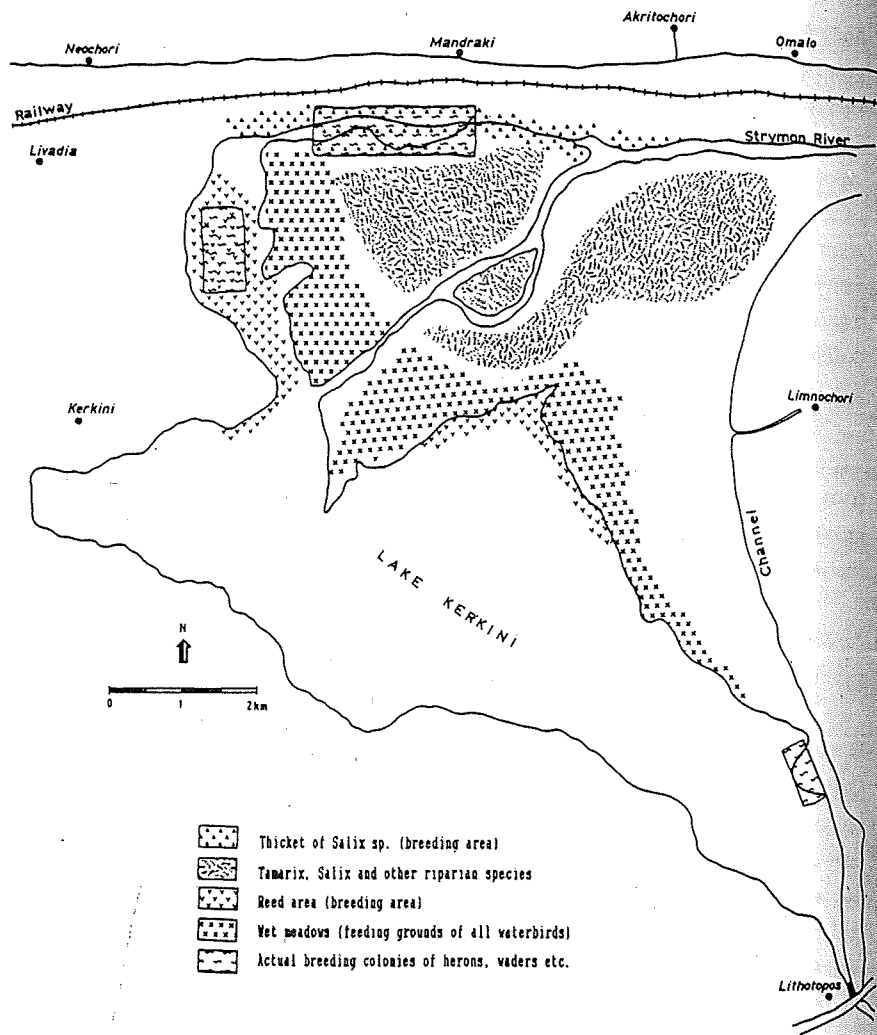
βαθύτερη με εκτεταμένη πελαγική ζώνη, ενώ τα ρηχά και η παράκτια ζώνη μερικώς μόνο παρέμειναν, συρρικνούμενα στα βόρεια της λίμνης. Η μεταβολή της υδροπεριόδου επηρέασε επίσης αρκετά είδη που παρ'όλο που είναι χαρακτηριστικά των πλημμυρογενών κοιλάδων, δεν μπόρεσαν να αντέξουν και να προσαρμοστούν σε βάθος νερού άνω των 5 μέτρων, ειδικά κατά την κρίσιμη βλαστική περίοδο. Η ετερογένεια του υγροτόπου, απαραίτητη για την παραγωγικότητα της υδρόβιας πτηνοπανίδας, μειώθηκε σημαντικά μια και η μωσαϊκή δομή βλάστησης-νερού-χέρσου και η ενδοανάμιξη αυτών των στοιχείων περιορίστηκε σε μια μικρή έκταση στην περιοχή εισόδου του ποταμού στη λίμνη.

Χάθηκαν τα λασποτόπια και οι αμμολωρίδες ξηράς που αποτελούν σημαντικό ενδιάστημα των υδρόβιων πουλιών. Γενικώς οι συνθήκες του έλους-υγροτόπου υποβαθμίστηκαν, καθώς το μεγαλύτερο τμήμα του κατακλύζεται από βαθιά νερά κατά την άνοιξη, ενώ αποξηραίνεται τελείως μετά το καλοκαίρι. Ισως σημαντικότερο απ'όλα είναι η εξαφάνιση των καλαμώνων και των υγρολίβαδων που ενώ στο παρελθόν κατελάμβαναν μεγάλες εκτάσεις και ευνόησαν την ανάπτυξη του πλούτου της πανίδας, σήμερα περιορίστηκαν στο ελάχιστο.

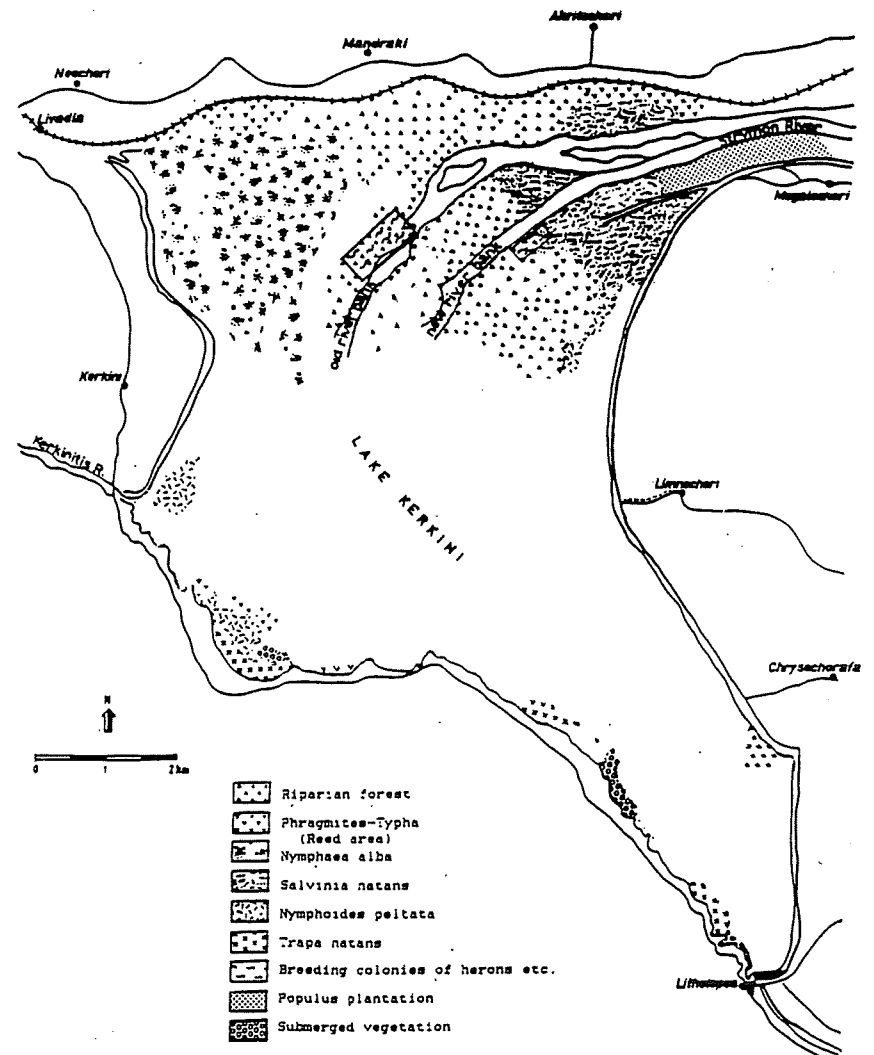
Ας δούμε όμως πώς μεταβλήθηκαν τα επιμέρους στοιχεία του υγροτόπου σαν συνέπεια της κατασκευής του νέου φράγματος:

Η ποιότητα του νερού

Όπως είναι γνωστό το μεγάλο πρόβλημα των λιμνοδεξαμενών είναι τα φερτά υλικά τα προερχόμενα από τη διάβρωση στη λεκάνη απορροής. Αυτά μεταφέρουν και θρεπτικές ουσίες ή φυτικά υπολείμματα που εμπλουτίζουν το νερό της λίμνης. Πέρα όμως από αυτήν την εξωτερική πηγή θρεπτικών υπάρχει και μια εσωτερική πηγή που προέρχεται από την κατάκλιση των εδαφών εποχιακά, τα οποία "ξεπλένονται" ή ελευθερώνουν στο νερό θρεπτικά στοιχεία από την απουσιάζουσα βλάστηση. Σαν αποτέλεσμα αυτών είναι να αυξηθεί σημαντικά το τροφικό δυναμικό της λίμνης, να αυξηθεί η πρωτογενής παραγωγικότητα αυτής και βαθμηδόν (με τις επιπλέον εσωτερικές διεργασίες) να μετατραπεί σε ευτροφική λίμνη με τάσεις υπερευτροφικής -κυρίως εξαιτίας των υψηλών φορτίων φωσφόρου που προέρχονται από τη λεκάνη απορροής (Καμαριανός κ.ά. 1989). Όπως αναμένεται, αυξημένη είναι και η θολότητα του νερού εξαιτίας της λάσπης και των υλικών που μεταφέρονται. Επιπλέον, το φράγμα, λόγω του τρόπου που κατασκευάστηκε, δεν επιτρέπει το πλήρες "ξέπλυμα" στα κατάντι του ποταμού αυτών των συγκεκριμένων θρεπτικών στοιχείων και των ιζημάτων. Βεβαίως οι σημερινές τάσεις της ποιότητας του νερού δεν ευνοούν όλο το σύστημα της λίμνης.



Σχήμα 2. Χάρτης λίμνης Κερκίνης με τους κύριους τύπους βλάστησης πριν την κατασκευή του φράγματος (προσαρμοσμένος από τους Conrarty & Muller, 29-10-1972).



Σχήμα 3. Χάρτης λίμνης Κερκίνης με τους κύριους τύπους βλάστησης όπως εμφανίζονται το 1988.

Η βλάστηση

Πριν από τα έργα, το παραποτάμιο δάσος στην κοιλάδα του Στρυμόνα ήταν εξαιρετικά εκτεταμένο και πλουσιότατο (Σχήμα 2). Σήμερα το δάσος έχει συρρικνωθεί σε μια μικρή έκταση στα βόρεια της λίμνης (Σχήμα 3). Οι επανειλημμένες διευθετήσεις του Στρυμόνα και τα έργα καναλοποίησής του στην είσοδό του στη λίμνη είχαν σοβαρότατες επιπτώσεις στο δάσος, του οποίου μείωσαν τόσο την ποικιλότητα όσο και την αφθονία της βλάστησης.

Πέρα όμως από την αναταραχή του δάσους και την κοπή των δένδρων που προκάλεσαν οι ίδιες οι χωματοργικές εργασίες των διευθετήσεων, οι επιπτώσεις συνεχίστηκαν και επιδεινώθηκαν από τη λειτουργία του φράγματος και την κατάκλιση των εδαφών. Θα πρέπει να σημειώσω ότι οι μεταβολές της στάθμης του νερού, η διάρκεια της κατάκλισης και οι συνθήκες υγρασίας του εδάφους επηρεάζουν την κατανομή και την αφθονία των αρτιβλάστων.

Από την έρευνα σε 3 διαφορετικές δειγματοληπτικές επιφάνειες στο παρυδάτιο δάσος βρήκαμε ότι σήμερα τα κυριότερα είδη είναι οι ιτιές (*Salix* sp.), οι λεύκες (*Populus alba*), τα αρμυρίκια (*Tamarix*), ο ζαμπούκος (*Sambucus*) με επικρατέστερες τις ιτιές (Pytonetsi & Papastergiadou, 1992). Αυτό οφείλεται πιθανόν στη μεγαλύτερη αντοχή της ιτιάς σε πλημμυρισμένα εδάφη και σε υψηλές μεταβολές της στάθμης. Αντίθετα, όπου το βάθος του νερού ήταν μεγαλύτερο εμφανίζεται μια δραματική μείωση των θάμνων με αρμυρίκια (*Tamarix*), τα οποία ήταν επικρατέστερα κατά το παρελθόν. Ειδικά, όπου η ανύψωση στις στάθμης ξεπέρασε τα 2 μέτρα έχουν εκκλειψει τελείως οι θάμνοι με αρμυρίκια αλλά και τα είδη ιτιάς π.χ. *Salix aurita*, *S. purpurea*, που έχουν θαμνώδη μορφή. Η νέκρωση των δένδρων αυτών οφείλεται στο γεγονός ότι, παρ'όλο που είναι ανθεκτικά στις πλημμύρες είδη, παραμένουν βυθισμένα στο νερό σχεδόν καθ'όλη τη διάρκεια της αυξητικής τους περιόδου. Επίσης, οφείλεται στο γεγονός ότι η λειτουργία της φωτοσύνθεσης παρεμποδίζεται στα καλυμμένα από νερό τμήματα του φυλλώματος. Αυτό είναι εμφανές από τον αριθμό των νεκρών δένδρων και την πλήρη έλλειψη θάμνων σε βάθος νερού 2-2,5 μέτρα (Πίνακας 1). Και στις τρεις δειγματοληπτικές επιφάνειες το ποσοστό των νεκρών δένδρων αυξάνεται με το βάθος του νερού. Παρομοίως, η αναγέννηση του δάσους είναι ανύπαρκτη στα μέρη που πλημμυρίζουν βαθιά την άνοιξη, ενώ εμφανίζεται άφθονη εκεί όπου το βάθος του νερού είναι λίγα εκατοστά του μέτρου και η κατάκλιση του σύντομη. Σ'αυτές τις περιπτώσεις, η ποικιλότητα των ειδών του παραποτάμιου δάσους που αναγεννάται δηλώνει ακόμα μια φορά την πίεση που ασκεί στο υπόλοιπο δάσος η ανύψωση της στάθμης. Δυστυχώς, πέρα από την πίεση αυτή η παράνομη υλοτόμηση, κυρίως των μεγαλύτερων και ωριμότερων δένδρων, έχει αφανίσει μεγάλο τμήμα του.

Πίνακας 1. Παράμετροι βλάστησης στις τρεις πειραματικές επιφάνειες του παρυδάτιου δάσους της λίμνης Κερκίνης, Μακεδονία.

| Χαρακτηριστικά | Πειραματική επιφάνεια | | |
|---|--|------------------|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| Μέγιστο βάθος νερού (m) | 2.0-2.5 | 1.5-2.0 | 0.0-0.5 |
| Συνολικός αριθμός δένδρων θάμνων | 55 0 | 36 10 | 66 Αρκετά |
| Παρόντα είδη | <i>Salix</i> sp. | <i>Salix</i> sp. | <i>Salix</i> sp., <i>Sambucus</i> sp., <i>Populus alba</i> , <i>Amorpha fruticosa</i> , <i>Alnus</i> sp., <i>Phragmites</i> sp. |
| Ποσοστά ζώντων δένδρων θάμνων | 54.5 0.0 | 69.7 16.7 | 100.0 100.0 |
| Ποσοστό νεκρών δένδρων | 45.5 | 30.3 | 0.0 |
| Ποσοστό υλοτομηθέντων δένδρων | 0.0 | 8.3 | 53.0 |
| Μέση ηλικία δένδρων (έτη) | 10 | 15 | 9 |
| Μέσο ύψος δένδρων (m) | 8 | 8 | 8 |
| Βασική επιφάνεια (m ²) | 0.41 | 0.77 | 0.25 |
| Ξυλοπόθεμα (m ³ /ha) | 50.4 | 97.5 | 17.7 |
| Νέα αρτιβλάστα | Κανένα | Κανένα | Αρκετά |
| Φυσική αναγέννηση | Ανύπαρκτη | Πολύ σπανιά | Αρκετά |
| Συνθήκες φυσικής αναγέννησης | Πολύ κακή. Όλα τα χαμηλά δένδρα & θάμνοι νεκρά | Κακή | Καλή. Αρκετά αρτιβλάστα |
| Γενική εμφάνιση δειγματοληπτικές επιφάνειες | Πτωχή. Χωρίς υποόροφο. Όλα τα δένδρα & θάμνοι κάτω των 2m νεκρά. | Κακή | Υγιή δένδρα & θάμνοι. Αφθονία διαφορετικών ειδών |
| Συνθήκες προσέγγισης | Πολύ κακή, το πλείστον του έτους | Κακή | Καλή, το πλείστον του έτους |

Συμπερασματικά, το παραποτάμιο δάσος της Κερκίνης, εξαιρετικός βιότοπος και πυρήνας του υγροτόπου της, δεν φαίνεται να έχει κανένα μέλλον εξαιτίας, αφενός μεν της φυσικής νέκρωσης που οφείλεται στην παρατεταμένη βύθιση των δένδρων στο νερό, αφετέρου δε εξαιτίας της παρεμπόδισης της αναγέννησης του δάσους. Για τους ίδιους λόγους, έχει πλήρως εκκλείψει ο ποώδης υποόροφος των δένδρων.

Όσον αφορά την υδρόβια μακροφυτική βλάστηση του υγροτόπου, αυτή έχει ποικιλοτρόπως επηρεασθεί από τις μεταβολές της στάθμης του νερού. Τα τυπικά ελοφυτικά είδη εμφανίζουν σαφή μείωση όπως τα καλάμια (*Phragmites australis*), τα οποία παρότι είναι ανθεκτικά στο νερό, ουσιαστικά εξαφανίστηκαν από το χώρο εξάπλωσής τους. Αντίστοιχα, τα *Typha angustifolia* (ψαθό), *Scirpus lacustris* (βούρλα) περιορίστηκαν μόνο στα υψώματα της όχθης των καναλιών. Η μείωση αυτή, μετά τις νέες συνθήκες της υδροπεριόδου, οφείλεται αφενός μεν στην έλλειψη οξυγόνου, εξαιτίας του εξαιρετικά αναερόβιου υποστρώματος που δημιουργήθηκε στη ριζική τους περιοχή, αφετέρου δε στην παρεμπόδιση της φωτοσύνθεσης λόγω της θολότητας του νερού.

Ενα άλλο είδος που υπέστη σοβαρή μείωση εξαιτίας των δραστικών μεταβολών της στάθμης είναι το υδρόβιο πλευστόφυτο *Typha natans* (νεροκάστανο), είδος απειλούμενο με εξαφάνιση παγκόσμια (IUCN 1982) που ενώ στο παρελθόν είχε μεγάλη εξάπλωση, το βρίσκουμε πολύ λίγο σήμερα στην Κερκίνη.

Αντίθετα από την εξαφάνιση των παραπάνω ειδών από το 1983 έχουμε μια επικράτηση των βενθόφυτων, μακροφύτων με επιπλέοντα φύλλα, τα οποία και άλλαξαν τελείως τη φυσιογνωμία του υγροτόπου. Τα νούφαρα, (*Nymphae alba*), και λιγότερο τα λυμνάνθεμα, (*Nymphaoides peltata*), είδη προσαρμοσμένα σε μεταβολές της στάθμης του νερού, ευνοήθηκαν και η εξάπλωσή τους σήμερα καταλαμβάνει έκταση περίπου 7,5 km² στα βορειοδυτικά της λίμνης. Τα είδη αυτά σπάνια ανευρίσκοντο στο παρελθόν, ενώ σήμερα καταλαμβάνουν τις περιοχές που προηγουμένως καλύπτονταν από καλαμώνες (Σχήματα 2 & 3): στα βαθύτερα σημεία βρίσκεται το *Nymphaea alba* και στα ρηχότερα νερά το *Nymphaoides peltata*. Η επικράτηση αυτών των ειδών οφείλεται στην ικανότητά τους να φωτοσυνθέτουν με τα επιπλέοντα φύλλα τους που βρίσκονται διαρκώς στην επιφάνεια του νερού (Brock et al. 1987), αλλά και στο μακρύ βλαστό τους. Το ριζικό τους σύστημα επίσης είναι καλώς ανεπτυγμένο και τα κρατά αγκυροβολημένα στο υπόστρωμα, έτσι ώστε δεν παρασύρονται από τα νερά. Γενικώς τα νούφαρα είναι το μόνο είδος που παρουσιάζει τόσες προσαρμογές στις δυσμενείς για τα υπόλοιπα είδη συνθήκες της λίμνης, ενώ η ποικιλότητα των ειδών του υγροτόπου μη προσαρμοζόμενη σ' αυτές τις συνθήκες έχει υποστεί σοβαρή μείωση.

Ζώα

Παρόλο που τα ασπόνδυλα αποτελούν σημαντικότατο κρίκο στην τροφική αλυσίδα των ανώτερων οργανισμών δεν θα τα εξετάσω αναλυτικά επί του παρόντος, ώστε να ασχοληθώ με τους ανώτερους οργανισμούς. Ωστόσο είναι απαραίτητο να τονισθεί ότι η απώλεια της τυπικής ελώδους βλάστησης, που αποτελεί το ενδιάθετο των περισσότερων ασπονδύλων, συνοδεύτηκε από δραστικές μειώσεις των πληθυσμών τους και της ποικιλότητάς τους. Η συνεχής επίσης εναπόθεση φερτών υλών και λάσπης προκαλεί καταστροφή των εδραίων βενθικών ασπονδύλων.

Τα ψάρια

Η λίμνη Κερκίνη υπήρξε και ίσως είναι ακόμα η πλουσιότερη σε ψάρια λίμνη της Ελλάδας. Και όχι μόνον ως προς τους πληθυσμούς τους αλλά και ως προς τον αριθμό των διαφορετικών ειδών ψαριών. Αυτό είναι αρκετά σύνηθες σε νέες υδατοδεξαμενές για τα πρώτα χρόνια της λειτουργίας τους (Ellis 1941). Η έρευνα έδειξε ότι στο σύστημα Στρυμώνα-Κερκίνης έχουν καταγραφεί 36 είδη ψαριών από τα οποία 27 καταγράφηκαν στη λίμνη Κερκίνη (Οικονομίδης 1991). Ωστόσο τα τελευταία 15 χρόνια, και κυρίως μετά το 1980 -λειτουργία του νέου φράγματος- τουλάχιστον έξι είδη εξαφανίστηκαν από την Κερκίνη ή οι πληθυσμοί τους μειώθηκαν τόσο ώστε βαινουν σε εξαφάνιση από τη λίμνη. Συνοπτικά, τα αίτια αυτών των μειώσεων-εξαφανίσεων ήταν:

1. Η κατασκευή του νέου φράγματος εμπόδισε τη μετανάστευση αρκετών ειδών ψαριών εφόσον στο φράγμα δεν κατασκευάστηκαν αναβαθμίδες για τη διευκόλυνση της μετακίνησής τους από τα κατάντι του ποταμού στη λίμνη. Τέτοια ψάρια είναι οι Γουλιανοί (*Silurus glanis*), τα Χέλια (*Anguilla anguilla*), τα Λέστια (*Abramis brama*), η Μπράνα (*Barbus cyclolepis*). Εξαιτίας αυτού σταμάτησε ο φυσικός εμπλουτισμός της λίμνης από τα παραπάνω είδη.
2. Η αύξηση του ευτροφισμού στέρησε από το Γουλιανό και τη Μπράνα την απαραίτητη ποιότητα νερού.
3. Η εξαφάνιση των καλαμώνων και η μείωση των ρηχών νερών στέρησε από την Τούρνα (*Esox lucius*) και το Περκί (*Perca fluviatilis*) το απαραίτητο για αναπαραγωγή ενδιάθετο.
4. Αλλά και η αναπαραγωγή των υπολοίπων ψαριών δραματικά μειώθηκε μια και περίπου το 90% της ιχθυοπανίδας ωτοκοεί στα ρηχά νερά, τα οποία πλέον μεταβάλλονται αστραπιαία σε βαθιά κατά την άνοιξη, πριν προλάβουν να αναπτυχθούν τα ιχθύδια.

5. Η απόσυρση των υδάτων μετά το Μάιο είναι επίσης ολέθρια για τους πληθυσμούς των ψαριών που ωαποθέτουν στα ρηγά νερά, διότι οι τόποι τους μπορεί αιφνιδίως να παραμείνουν χωρίς καθόλου νερό ενώ ακόμα υπάρχουν αυγά ή νεαρά ιχθύδια.
6. Η ιζηματοαπόθεση που προκαλείται από την πλημμυρίδα την άνοιξη καταστρέφει τα αυγά και τα έμβρυα πολλών ειδών, ειδικότερα όσων ωαποθέτουν στους καλαμώνες ή σε πετρώδες υπόστρωμα. Επιπλέον τα ιζήματα παρεμβαίνουν με την κυκλοφορία του νερού ανάμεσα στο πετρώδες υπόστρωμα προκαλώντας ασφυξία στα ψάρια (Hynes 1973).
7. Τα στοιχεία των αλιευόμενων ποσοτήτων δείχνουν πτώση των αλιευμάτων τα τελευταία χρόνια (Υπουργείο Γεωργίας, 1991). Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται εν μέρει και στο γεγονός ότι τα ψάρια κρύβονται σήμερα καλύτερα στο πλούσιο ενδιάστημα καταφυγίου που προσφέρει η λίμνη. Ο πυθμένας της, ειδικότερα στα βαθύτερα σημεία του, είναι γεμάτος από νεκρούς κορμούς δένδρων που παρασύρθηκαν από το δάσος προς το φράγμα και αποτελούν άριστο καταφύγιο για τα ψάρια.

Καταλήγοντας, μπορούμε να πούμε ότι η κυριότερη επίδραση της κατασκευής του νέου φράγματος στην ιχθυοπανίδα της λίμνης είναι η δραστική μείωση της ποικιλότητας των ψαριών.

Ορνιθοπανίδα

Τα πουλιά είναι τα ζώα που περισσότερο εμφανώς απ'όλα δέχθηκαν τις επιπτώσεις της λειτουργίας της λιμνοδεξαμενής. Η Κερκίνη ανακηρύχθηκε υγρότοπος της Σύμβασης Ramsar για την ποικιλότητα και τους πληθυσμούς της πτηνοπανίδας της. Από τα 244 διαφορετικά είδη που είχαν καταγραφεί το 1980 (Hallmann 1981, ΥΠΕΧΩΔΕ 1986) (70 από τα οποία θεωρούνται προστατευόμενα σύμφωνα με την Οδηγία 79/409 της ΕΟΚ) ένας αριθμός έχει εγκαταλείψει την Κερκίνη, ιδιαίτερα κατά τις δυσμενείς συνθήκες της άνοιξης. Η μεταβολή του υγροτόπου από τη βαλτώδη-ελώδη μορφή σε ανοικτή λίμνη και η μείωση των διαφορετικών μορφών υδροβία βλάστησης (π.χ. καλαμώνες, υγρολίβαδα, θαμνώδεις εκτάσεις) στέρησε πολλά είδη πουλιών από το ζωτικό τους ενδιαίτημα. Συνέπεια αυτού ήταν η μείωση των αντίστοιχων πληθυσμών. Το τελευταίο επιδεινώθηκε από την ένταση και δρμύτητα της ανύψωσης της στάθμης του νερού που μετέτρεψε τον υγρότοπο σ'ένα εξαιρετικά ασταθές και απρόβλεπτο ενδιαίτημα για οποιοδήποτε ζώο.

Πολλά παρυδάτια πουλιά που φωλιάζουν σε αμμολωρίδες και λασποτόπια έχασαν ολοκληρωτικά το ενδιαίτημα αναπαραγωγής τους. Ή ακόμα το ίδιο το προϊόν της αναπαραγωγής τους που με την άνοδο της στάθμης καλύπτεται από τα νερά και

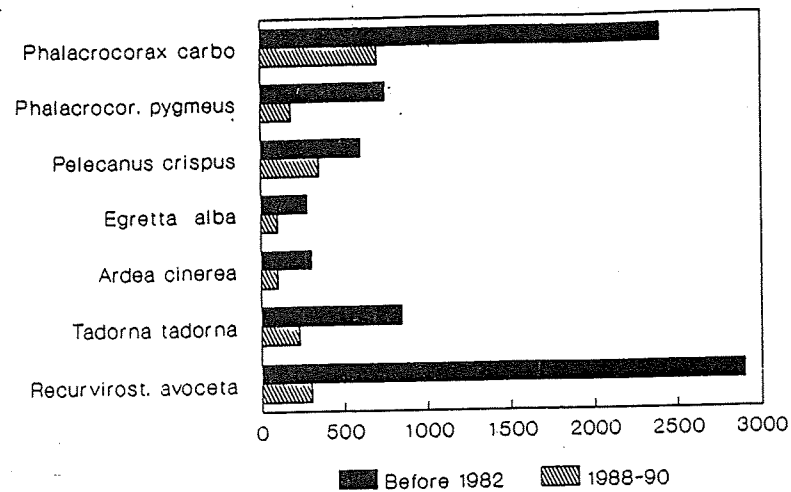
παρασύρεται. Σ'αυτήν την περίπτωση έχουμε πολλά είδη υδροβίων πουλιών που είτε φωλιάζουν στο έδαφος είτε σε επιπλέουσα βλάστηση ή και στα χαμηλότερα κλαδιά των δένδρων και υφίστανται εξαιρετικές απώλειες. Εάν οι απώλειες αυτές συμβούν στην αρχή της περιόδου αναπαραγωγής, πολλά είδη επαναλαμβάνουν την ωοτοκία αλλού, αλλά και πάλι με απρόβλεπτα αποτελέσματα.

Πολλά παρυδάτια όπως οι ποταμοσφυριχτάδες, αβοκέτες, καλαμοκανάδες, νεροπουλάδες, που φωλιάζαν στην Κερκίνη πριν το 1983 (Hallmann 1981), μειώθηκαν σε χαμηλότατα επίπεδα ή χάθηκαν τελείως από τη λίμνη. Παρομοίως οι πάπιες επιφανείας μειώθηκαν εξαιρετικά όταν έχασαν τα ρηγά νερά με την υδροβία βλάστηση και χαρακτηριστικά του βιοτόπου που τους είναι απαραίτητα, όπως την έντονη εναλλαγή του νερού με βλάστηση και ξηρά. Και τα διαχειμάζοντα όμως υδροβία πουλιά εμφανίζουν μείωση κατά 53% (Από 40.900 το 1968-74 σε 29.900 το 1982-86) (Athanasίου 1987) από τη λειτουργία του νέου φράγματος (Σχήμα 4, Pyrovetsi & Papastergiadiou 1992).

Η υποβάθμιση του παρυδάτιου δάσους ανακλάται στους πληθυσμούς των πουλιών που το χρησιμοποιούν για φώλιασμα και αναπαραγωγή. Μερικά από τα σημαντικότερα είδη όπως οι Νυκτοκόρακες, Κρυπτοτσικνιάδες, Λευκοτσικνιάδες, Χουλιαρομούτες και Κορμοράνοι μειώθηκαν (Σχήμα 5) εξαιτίας κυρίως της καταστροφής των φωλιών τους (μαζί με το περιεχόμενό τους) από την απότομη ανύψωση της στάθμης του νερού την άνοιξη. Ακόμα και οι ίδιες αποικίες αναπαραγωγής, ως σύνολο πολλών ειδών, άλλαξαν θέση επανειλημμένως τα τελευταία χρόνια, σε μια προσπάθεια των πουλιών να ξεπεράσουν την απώλεια των αυγών και των νεοσσών τους. Πέραν όμως από την απώλεια των βιοτόπων αναπαραγωγής, στη μείωση αυτών των πληθυσμών συνέβαλε και η εξαφάνιση των βιοτόπων διατροφής που είναι τα υγρολίβαδα, τα ρηγά στάσιμα νερά και οι θαμνώδεις συστάδες.

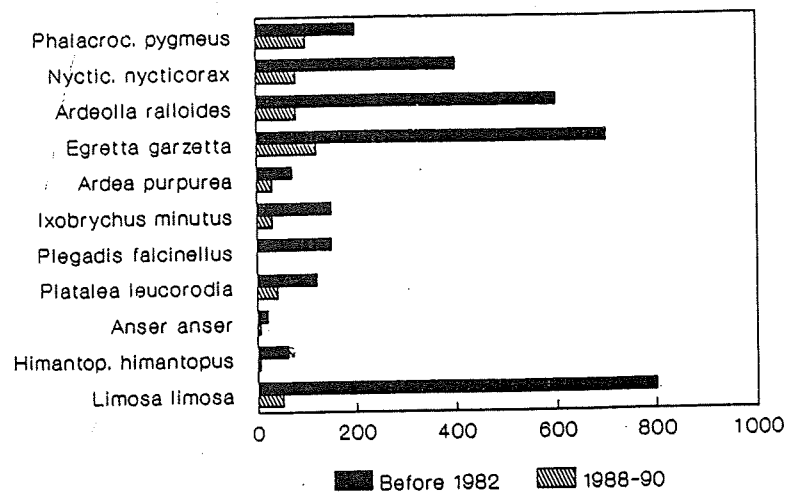
Καταλήγοντας, οι μεταβολές που συνέβησαν στην Κερκίνη την τελευταία δεκαετία αποβαίνουν καθοριστικές για τον υγρότοπό της. Παρόλο που δεν είναι επιθυμητή η στατικότητα σ'έναν υγρότοπο, οι ακραίες μεταβολές της στάθμης του νερού για περισσότερα από 5 μέτρα σε διάστημα μικρότερο των 4 μηνών (ειδικά κατά την άνοιξη) στερεί από την περιοχή τους σημαντικότερους πόρους της -τα είδη, τα ενδιαίτηματα, τους βιοτόπους, τα οικοσυστήματα ακόμα και ευρύτερα οικοσυσπλέγματα.

Ο οικοτόνος, η ζώνη ανάμεσα στα βαθιά νερά και την ξηρά, που έχει τεράστια οικολογική αξία εφόσον περιέχει ένα περίπλοκο σύστημα διαφορετικών ενδιαιτημάτων που εξυπηρετούν πλήθος διαφορετικών ειδών πανίδας και χλωρίδας χάνεται τελείως την



Σχήμα 4. Πληθυσμοί ορισμένων διαχειμαζόντων υδρόβιων πουλιών στη λίμνη Κερκίνη. Οι προ του 1982 καταμετρήσεις είναι από τον Hallmann (1981) και τον Sevastos (1976).

Σχήμα 5. Πληθυσμοί ορισμένων υδρόβιων πουλιών που αναπαράγονται στη λίμνη Κερκίνη. Οι προ του 1982 καταμετρήσεις είναι από τον Hallmann (1981) και τον Sevastos (1976).



άνοιξη. Η βλάστηση αλλά και η αντίστοιχη πανίδα των τυπικών υγροτόπων -βαλτώδους φύσης- έχει ήδη εξαφανιστεί. Το παρυδάτιο δάσος, ελάχιστο απομεινάρι και σπάνιο πλέον στον τόπο μας, δεν έχει μέλλον και η υποβάθμισή του είναι ραγδαία. Οι καλαμιάνες και τα υγρολιβαδά αντικαταστάθηκαν ήδη είτε από βαθιά νερά χωρίς υδρόβια βλάστηση είτε από τη μονοκαλλιέργεια των νούφαρων που είναι εντυπωσιακή μεν, στείρα όμως για την πλειονότητα της άγριας πανίδας. Η πανίδα, τόσο ψάρια όσο και πουλιά, αντέδρασαν στις δραματικές μεταβολές της στάθμης με μείωση των πληθυσμών τους, έως εξαφάνιση αυτών. Αυτό πλέον που είναι περισσότερο ανησυχητικό και απαιτεί κινητοποίηση είναι η συνολική δραματική μείωση της βιοποικιλότητας του συστήματος και η επιταχυνόμενη υποβάθμιση των βιοτικών πόρων.

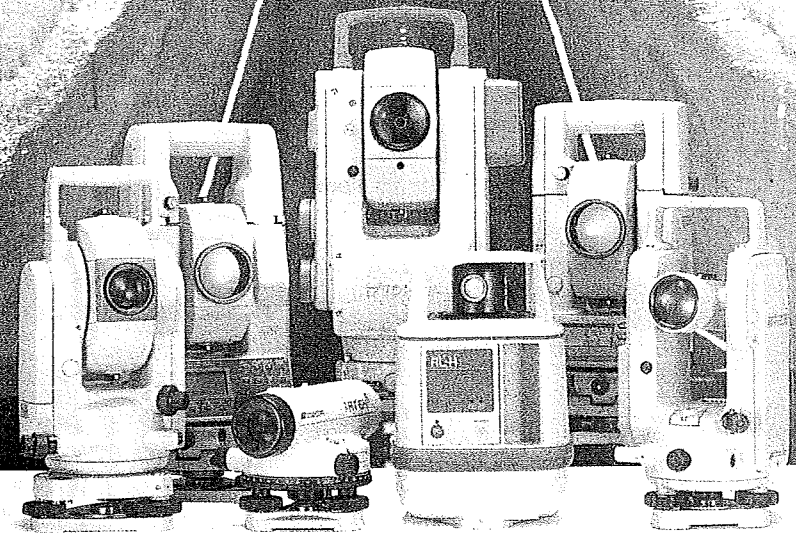
Δυστυχώς όλα τα υπάρχοντα σχέδια και οι προγραμματισμοί για τη λίμνη αφορούν ένα μοναδικό πόρο: Το νερό προς άρδευση. Αγνοούν πλήρως τις επιπτώσεις που είναι πλέον εμφανείς στους βιοτικούς πόρους, καμία πρόνοια δεν λαμβάνεται για άρση αυτών των επιπτώσεων, για τις τάσεις που διαφαίνονται στο μέλλον, για την αντιμετώπιση του συστήματος ως σύνολο και για την αειφορία του. Από δω και πέρα η υποβάθμιση των φυσικών πόρων της Κερκίνης θα κατοπτρίζεται και στην απόδοση της γεωργικής γης την οποία εξυπηρετεί.

Άμεσης προτεραιότητας είναι: (1) η αποκατάσταση του υγροτόπου, (2) η επανάκαμψη των οικολογικών διεργασιών και (3) η διατήρηση των συνθηκών εκείνων στον υγρότοπο που ευνοούν τη δυναμική του συστήματος και τη βιοποικιλότητά του. Η διαχείριση του νερού πρέπει πλέον να αντιμετωπίζει το σύστημα συνολικά και όχι μονοδιάστατα, κι οφείλει να ακολουθεί τις υδρολογικές ταλαντώσεις των φυσικών υγροτόπων. Δεν είναι πλέον μονον εθνικής αλλά διεθνούς σημασίας να συνεχίσει να παίζει η Κερκίνη το ρόλο της ως Υγρότοπος Διεθνούς Σημασίας. Για να επιτευχθεί αυτό υπάρχει άμεση ανάγκη αποδοτικής στενής συνεργασίας οικολόγων και μηχανικών υδραυλικών έργων που θα εξασφαλίσουν την αειφορία των πολύτιμων και ευαίσθητων φυσικών πόρων του υγροτόπου.

Βιβλιογραφία

- Athanasiou H. (1987). Past and Present Importance of Greek Wetlands for Wintering Waterfowl. IWRB Report, 63 pp.
- Brock. Th.C.M., Velde G. van der & Steeg H.M. van der (1987). The effects of extreme water level fluctuations on the wetland vegetation of a nymphaeid-dominated oxbow lake in the Netherlands. Arch. Hydrobiol. Beih. 27:57-73.
- Ellis M.M. (1941). Freshwater impoundments. Trans. Am. Fish. Soc. 71:80-93.
- Ewel K. (1978). Riparian ecosystems: conservation of their unique characteristics. In: Proceedings of the Symposium on "Strategies for Protection and Management of Floodplain Wetlands and Other Riparian Ecosystems 1978", pp. 56-61, US Department of Agriculture Forest Service, GTR-WO-12.
- Hallmann B. (1981). Note on bird nesting and conservation of some Greek wetlands. Nature, Bull. Hellenic Soc. Protection Nature 25:44-88.
- Hynes H.B.N. (1973) The effects of sediment on the biota in running water. In: Fluvial Processes and Sedimentation, pp. 652-663, Proc. Hydrology Symposium, Edmonton, Alberta, Canada, May 1973.
- IUCN Threatened Plants Committee Secretariat (1982). The rare, threatened and endemic plants of Greece. Ann. Mussei Goulandria 5:69-105.
- Καμαριανός Α., Κιλικίδης Σ., Καραμανλής Ξ., Φώτης Γ. & Κουσουρής Θ. (1989). Προοπτικές διαχείρισης των τεχνητών λιμνών Κερκίνης και Πολυφύτου με σκοπό τη βελτίωση της ιχθυοπαραγωγής τους. Εργασία που παρουσιάστηκε στο Συνέδριο "Προστασία Περιβάλλοντος και Γεωργική Παραγωγή", σελ. 545-556, Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Θεσσαλονίκη 21-23/5/1989.
- Monks J. & Ulen J. (1929). Μελέτη των υδραυλικών έργων στις Σέρρες και Δράμα. (Αδημοσίευτο έγγραφο).
- Οικονομίδης Π. (1991). Τα ψάρια του συστήματος του Σπρυμόνα και της Λίμνης Κερκίνης. Ειδική Έκδοση Τομέα Ζωολογίας Α.Π.Θ., σελ. 21.
- Ρυγοветς Μ. & Παπαστεργιάδου Ε. (1992). Biological Conservaton Implications of Water-level Fluctuations in a Wetland of International Importance: Lake Kerkini, Macedonia, Greece. Environmental Conservation 19:235-244.
- Sevastos C.G. (1976). National Report for Greece, Proc. Int. Conf. Cons. Wetlands and Waterfowl, Heiligenhafen, 1974, IWRB. pp. 97-102.
- Υπουργείο Γεωργίας (1991). Στατιστικά στοιχεία Αλιείας στη Λίμνη Κερκίνη.

We Love Surveying

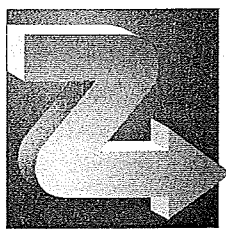


Topcon Mind since 1932



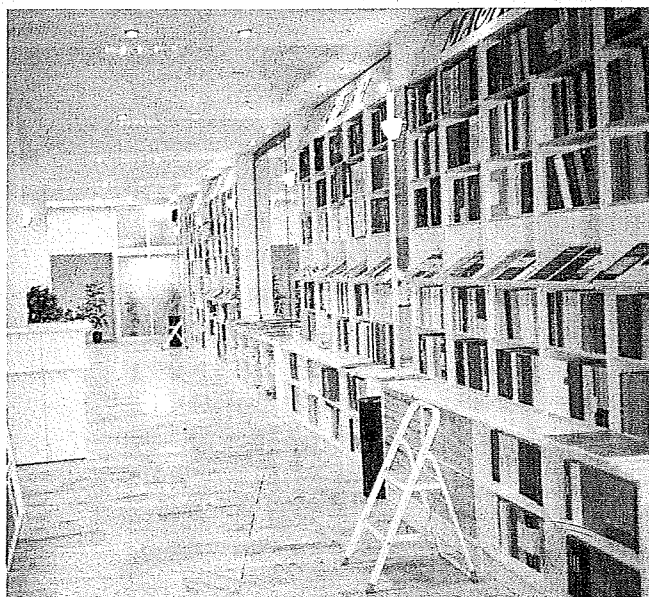
ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΟΙ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ
TREE COMPUTER CORPORATION
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Α.Ε.Β.Ε.
ΠΕΙΡΑΙΑΣ: 185 31, Ηρώων Πολυτεχνείου 4
Τηλ.: (01) 4170307 - 4179694 - 4172238 Fax: (01) 4176523
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ: **TREE COMPUTER NORTH Ε.Π.Ε.**
Πολυτεχνείου 17 Β', Πτέρυγα - 546 26 ΘΕΣ/ΝΙΚΗ
Τηλ.: (031) 543951 - 545305 - Fax: (031) 545305





ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ

Αρμενοπούλου 27 (Πίσω από τη Ροτόντα)
Τηλ. 031 - 203.720, Fax: 849.178 • Θεσσαλονίκη 546 35



Στο άνετο βιβλιοπωλείο μας θα βρείτε βιβλία των εκδόσεων μας και άλλων εκδοτών που σας ενδιαφέρουν σε θέματα:

- **Τεχνικά**
(Τοπογράφων, Πολ. Μηχανικών, Γεωπόνων κ.τ.λ.)
- Πληροφορικής
- Φυσικής
- Μαθηματικών
- Χημείας
- Επιστημονικά διαφόρων θεμάτων

Βιβλία

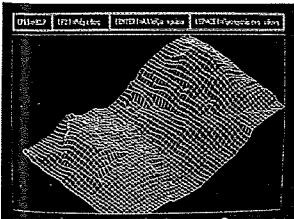
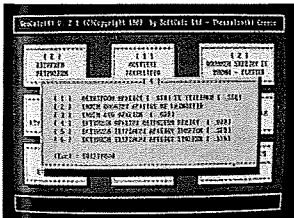
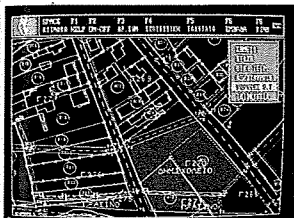
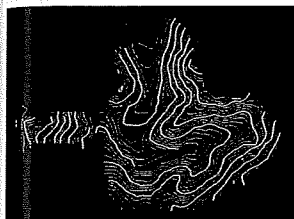
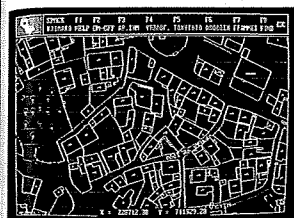
- Για μαθητές
 - ✓ της Δέσμης
 - ✓ του Λυκείου
 - ✓ του Γυμνασίου

- Για σπουδαστές
 - ✓ των ΑΕΙ
 - ✓ των ΤΕΙ
 - ✓ των ΙΕΚ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ GeoCalc.

Το πακέτο προγραμμάτων τοπογραφίας GeoCalc σας δίνει δυνατότητες για:

1. **ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ.** Επίλυση βασικών τοπογραφικών προβλημάτων. Εισαγωγή δεδομένων από καταγραφικά. Εισαγωγή δεδομένων με ηλεκτρολόγηση. Επίλυση οδύσεων. Ταχυμετρία. Απόδοση (σχεδίαση) σε γραφική οθόνη. Όλες οι απαραίτητες γεωμετρικές κατασκευές και υπολογισμοί, δημιουργία βιβλιοθήκης συμβόλων, δημιουργία τίτλων και υπομνημάτων, επιλογή τύπου όλων των γραμμών και κωδικοποίηση χρωμάτων, συναρμογές τζξων, προσαρμογές καμπυλών, σχεδίαση πρωνών. Αυτό saving για την προστασία των αρχείων.
2. **ΙΣΟΥΨΕΙΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ.** 1. Υπολογισμός και σχεδίαση ισοψών σε γραφική οθόνη και plotter με οποιαδήποτε ισοδιάσταση και κλίμακα. Editing καμπυλών.
3. **ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΔΕΛΛΟ** εδάφους και στροφή του μοντέλλου κατά τους άξονες ΧΥΖ. Διατομές. Ογκομετρήσεις. Γραφικές απεικονίσεις στην οθόνη και σχεδίασης στον plotter.
4. **Ε.Π.Α. (ΚΤΗΜΑΤΟΓΡΑΦΗΣΗ).** Πλήρης αρχειοθέτηση ιδιοκτησιών και απεικόνιση σε γραφική οθόνη. Διαμόρφωση ιδιοκτησιών με όλους τους δυνατούς τρόπους. Πίνακες Α και Β. Εισαγωγή συντεταγμένων με τη βοήθεια ηλεκτρονικού εμβοδομέτρου (ψηφιοποίηση). Αυτόματη σχεδίαση πινακίδων με προδιαγραφές Ε.Π.Α.
5. **ΠΡΑΞΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ. ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α, Β, Γ.** Μεταφορά εγκεκριμένης πολεοδομικής μελέτης στο κτηματογραφικό διάγραμμα με υλοποίηση οικοδομικών τετραγώνων και ασφονοδιασταυρώσεων, είτε με γεωμετρικές κατασκευές από Φ/Γ με ηλεκτρονικό εμβοδομέτρο (ψηφιοποίηση). Αυτόματος υπολογισμός και αρίθμηση (P1, P2,...) των σημείων τμήσης των ιδιοκτησιών με την ρυμοτομική γραμμή. Αυτόματος υπολογισμός των ρυμοτομωμένων χώρων κ.λπ. Αυτόματος αναλυτικός υπολογισμός των ρυμοτομωμένων και δεσμευομένων ιδιοκτησιών για κοινωφελείς χώρους. Υψομετρική μελέτη, μπκοτομές δρόμων που περιλαμβάνονται στην πολεοδομική μελέτη (αναπτύγματα αξόνων και εγκάρσιων). Σύνταξη πράξης εφαρμογής, αυτόματος υπολογισμός των ισοζυγίων γης, αυτόματη τακτοποίηση ιδιοκτησιών, αυτόματος αναλογισμός περιοχών με πυκνοδομημένα, αυτόματη δημιουργία πινάκων αναλογισμού και εισφορών, σύνταξη πινάκων επικειμένων και σχεδίαση διαγράμματος Πράξης Εφαρμογής. Αυτόματη δημιουργία αρχείων για παράδοση του άρθρου 13. Το πρόγραμμα περιέχει όλη την υπάρχουσα Νομοθεσία και λειτουργεί σύμφωνα με αυτή, επιτρέπει δε στον χρήστη να συμπεριλάβει κάθε μελλοντική αλλαγή.
6. Σχεδίαση όλων των εργασιών σε plotter.



ΤΟ ΤΑΧΥΤΕΡΟ, 100% ΕΛΛΗΝΙΚΟ, ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΟΥ ΔΙΑΧΕΡΙΖΕΤΑΙ ΑΠΕΡΙΟΡΙΣΤΟ ΑΡΙΘΜΟ ΣΗΜΕΙΩΝ, ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΩΝ, ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ ΚΑΙ ΟΛΕΣ ΟΙ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΙΝΟΝΤΑΙ ΣΕ ΘΘΝΕΣ ΓΡΑΦΙΚΩΝ

ΤΟ ΑΥΤΟΔΥΝΑΜΟ ΠΑΚΕΤΟ, ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΟ ΒΟΗΘΗΜΑ ΚΑΘΕ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΥ ΚΑΙ ΠΟΛΕΟΔΟΜΟΥ.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ-ΔΙΑΘΕΣΗ:

SoftCalc ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΕΠΕ
ΝΕΣΤΩΡΟΣ ΤΥΠΑ 7 546 46 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

Τηλ. (031) 422 558, 422 569 Fax: (031) 425 284

GR